

TERMODINAMICA

Leggi, cicli
e applicazioni



MATERIALI

Proprietà, trattamenti
e applicazioni



METROLOGIA

Strumenti, misure
e tolleranze



+250

+250
MAPPE

MAPPE MENTALI

DI INGEGNERIA MECCANICA

Impara, ripassa e memorizza
i principali contenuti in modo
visuale e intuitivo



ORGANIZZATO
PER ARGOMENTI



VISIVO
E INTUITIVO



FOCALIZZATO
SU CIÒ CHE CONTA

MECCANICA DEI FLUIDI

Proprietà, flussi
e tubazioni



ELEMENTI DI MACCHINE

Alberi, giunti
e molle



INGRANAGGI E TRASMISSIONI

Tipi, rapporti
e dimensionamento



*Dalla teoria
alla pratica*



*Conoscenza
che mette
in moto il tuo futuro*



STUDIA DOVE
E QUANDO VUOI



IMPARA IN MODO
VISIVO



CONCENTRATI SU CIÒ
CHE CONTA DAVVERO

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA

BENVENUTO NEL MANUALE

PERCHÉ QUESTE MAPPE MENTALI FUNZIONANO

1 OBIETTIVO

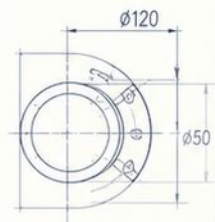


Trasformare i concetti chiave dell'ingegneria meccanica in schemi semplici, visivi e facili da ricordare.

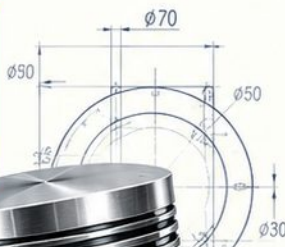
2 COSA TROVERAI



Mappe mentali, formule essenziali, esempi pratici, collegamenti tra argomenti e richiami rapidi.



*Conoscenza
che mette
in moto il tuo futuro*



*Idee
Concetti
Competenze*

3 A CHI È UTILE



Studenti universitari, candidati ad esami, tecnici e professionisti che vogliono ripassare in modo rapido.

4 VANTAGGI



Più chiarezza, meno dispersione, ripasso veloce e maggiore memorizzazione.



DA RICORDARE:



**Studia in modo più chiaro,
più visuale e più efficace**



**STUDIA DOVE
E QUANDO VUOI**



**IMPARA IN MODO
VISIVO**



**CONCENTRATI SU CIÒ
CHE CONTA**

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA

COME USARE LE MAPPE MENTALI

*Dalla teoria
alla pratica*

UN METODO SEMPLICE PER CAPIRE, RICORDARE E RIPASSARE

1 LEGGI IL CONCETTO CENTRALE

Parti dall'idea principale e identifica subito il tema della pagina.



2 SEGUI I RAMI PRINCIPALI

Osserva definizioni, formule, esempi e collegamenti.



3 BLOCCA LE FORMULE

Evidenzia relazioni e simboli fondamentali.



4 RIPETI AD ALTA VOCE

Usa la mappa come traccia per spiegare l'argomento con parole tue.



5 VERIFICA LA MEMORIA

Copri la pagina e ricostruisci i punti chiave.



LEGENDA VISUALE

- Arancione = concetti chiave
- Box = informazioni da ricordare
- Diagrammi = relazioni visive
- Footer = riferimento rapido

ESEMPIO DI MAPPA MENTALE

DEFINIZIONE

Trasforma l'energia chimica del combustibile in energia meccanica.



*Un esempio
semplice per
capire la struttura*

MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA

COMPONENTI

Cilindro
Pistone
Valvole
Albero motore



CICLO DI FUNZIONAMENTO

- Aspirazione
- Compressione
- Combustione
- Scarico



APPLICAZIONI

Automobili
Motocicli
Macchine operatrici
Generatori



*Dalle idee
a una visione
d'insieme*



**LEGGI, COLLEGA, RIPETI, VERIFICA:
COSÌ LA MAPPA DIVENTA MEMORIA**



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



INDICE DEI MACRO-ARGOMENTI

*Dalla teoria
alla pratica*

LE PRINCIPALI AREE COPERTE DALLE +250 MAPPE

1 DISEGNO TECNICO MECCANICO

Lettura, quote e tolleranze



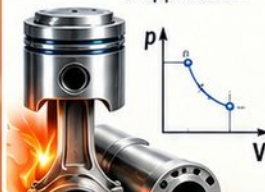
2 MECCANICA DEI SOLIDI

Sforzi, deformazioni e resistenza



3 TERMODINAMICA

Leggi, cicli e applicazioni



4 TRASMISSIONE DEL CALORE

Conduzione, convezione e irraggiamento



5 MECCANICA DEI FLUIDI

Proprietà, flussi e tubazioni



6 ELEMENTI DI MACCHINE

Alberi, giunti e molle



7 INGRANAGGI E TRASMISSIONI

Tipi, rapporti e dimensionamento



8 PROCESSI DI FABBRICAZIONE

Lavorazioni, formatura e produzione



9 MATERIALI PER L'INGEGNERIA

Proprietà, trattamenti e applicazioni



10 METROLOGIA

Strumenti, misure e tolleranze



11 MANUTENZIONE MECCANICA

Preventiva, predittiva e correttiva



12 MACCHINE TERMICHE

Motori, turbine e compressori



13 DINAMICA DELLE MACCHINE

Equilibrio, movimento e analisi



14 CONTROLLO E STRUMENTAZIONE

Sensori, attuatori e automazione



15 ENERGIA E SOSTENIBILITÀ

Efficienza energetica e fonti rinnovabili



16 NORME TECNICHE E SICUREZZA

Norme UNI, EN, ISO e buone pratiche



Ogni sezione è organizzata per concetti, formule, esempi e applicazioni



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SISTEMI TERMODINAMICI

Dalla teoria alla pratica

CONCETTI FONDAMENTALI, DEFINIZIONI E APPLICAZIONI

1 DEFINIZIONE

Porzione di universo scelta per l'analisi.



Sistema di studio

2 SISTEMA APERTO

Scambia massa ed energia con l'esterno.



3 SISTEMA CHIUSO

Scambia energia ma non massa.



4 SISTEMA ISOLATO

Non scambia né massa né energia.



Nessuno scambio con l'esterno

5 CONFINE

Superficie reale o immaginaria che separa sistema e ambiente.



Ambiente

SISTEMA, CONFINE E AMBIENTE

6 AMBIENTE

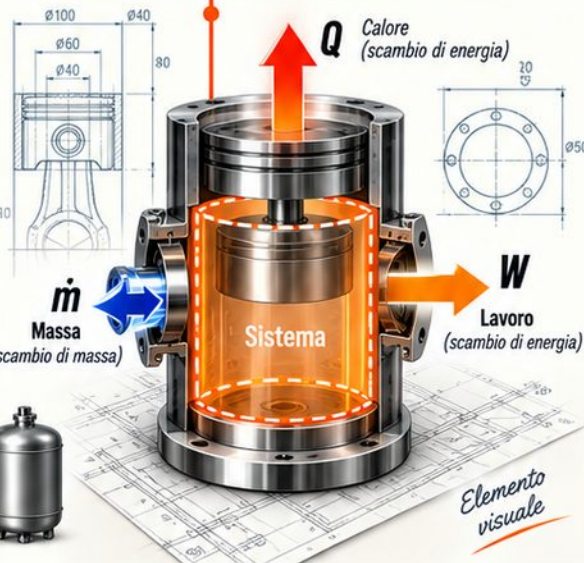
Tutto ciò che è esterno al sistema.



7 STATO DEL SISTEMA

Descritto da proprietà come P, T, V e m.

P	Pressione	[Pa]
T	Temperatura	[K]
V	Volume	[m ³]
m	Massa	[kg]



8 EQUILIBRIO

Può essere termico, meccanico e chimico.



9 ESEMPI

Cilindro-pistone, turbina, compressore, recipiente rigido.



10 UTILITÀ

È la base per impostare ogni bilancio energetico.



DA MEMORIZZARE:

“ Definire bene sistema e confini è il primo passo di ogni analisi termodinamica ”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

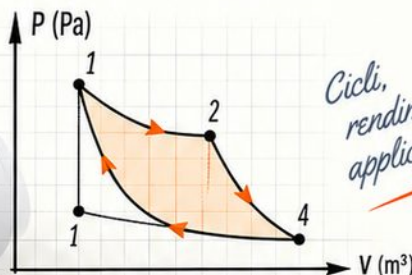


CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

TERMODINAMICA

LEGGI, GAS, ENERGIA, CICLI E APPLICAZIONI

*Comprendere
l'energia
che muove
il mondo*



*Cicli,
rendimento,
applicazioni reali*

*Dalle leggi
alle macchine*



Mappe della sezione

- 001 Sistemi termodinamici
- 002 Proprietà di stato
- 003 Primo principio della termodinamica
- 004 Energia interna ed entalpia
- 005 Calore e lavoro
- 006 Gas ideale ed equazione di stato
- 007 Trasformazione isobara
- 008 Trasformazione isocora

- 009 Trasformazione isoterma
- 010 Trasformazione adiabatica
- 011 Lavoro di frontiera
- 012 Diagrammi P-V, T-s e h-s
- 013 Secondo principio
- 014 Entropia
- 015 Macchine termiche, frigoriferi e pompe di calore



*Conoscenza
che mette
in moto il tuo futuro*



Dalle basi ai cicli termici: una sezione costruita per capire davvero



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PROPRIETÀ DI STATO

*Dalla teoria
alla pratica*

RELAZIONI, GRANDEZZE E DESCRIZIONE DEL SISTEMA

1 PROPRIETÀ INTENSIVE

Non dipendono dalla massa: P , T , ρ .



2 PROPRIETÀ ESTENSIVE

Dipendono dalla massa: V , m , U .



3 PRESSIONE

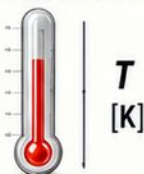
Forza per unità di area.

$$P = \frac{F}{A}$$



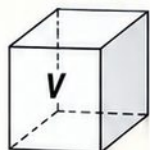
4 TEMPERATURA

Misura dello stato termico del sistema.



5 VOLUME

Spazio occupato;
 $v = V/m$.



$$v = \frac{V}{m}$$

[m³/kg]

VARIABILI TERMODINAMICHE

6 MASSA E DENSITÀ

m e $\rho = m/V$.



$$\rho = \frac{m}{V}$$

[kg/m³]

7 ENERGIA INTERNA ED ENTALPIA

u e h descrivono lo stato energetico.

$$u = \frac{U}{m}$$

[kJ/kg]

$$h = \frac{H}{m}$$

[kJ/kg]

8 ENTROPIA

s è fondamentale per il secondo principio.

$$\Delta s \geq 0$$

[kJ/(kg·K)]



9 STATO DEL SISTEMA

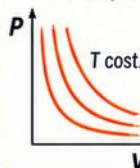
È definito dall'insieme delle proprietà.



- ☒ P
- ☒ T
- ☒ V
- ☒ m
- ☒ u
- ☒ s

10 DIAGRAMMI

P - V , T - s e h - s aiutano l'interpretazione.



Altri diagrammi:

$T-s$
 $h-s$



DA MEMORIZZARE:



Le proprietà descrivono completamente lo stato del sistema



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

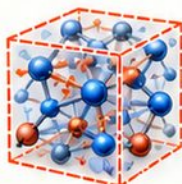
ENERGIA INTERNA ED ENTALPIA

Dalla teoria alla pratica

CON CALORI SPECIFICI E RELAZIONI FONDAMENTALI

1 ENERGIA INTERNA

u dipende dallo stato microscopico del fluido.



*Moti
molecolari
Energia
interna*

2 ENTALPIA

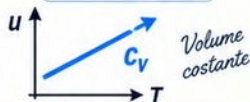
$$h = u + Pv.$$

$$h = u + Pv$$

3 CALORE SPECIFICO c_v

Misura la variazione di u con la temperatura.

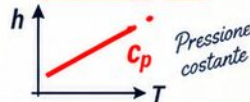
$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$



4 CALORE SPECIFICO c_p

Misura la variazione di h con la temperatura.

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$



5 PER GAS IDEALE

$$u = u(T).$$

$$u = u(T)$$

*Dipende solo
dalla temperatura*



u, h, c_p e c_v

6 PER GAS IDEALE

$$h = h(T).$$

$$h = h(T)$$

*Dipende solo
dalla temperatura*

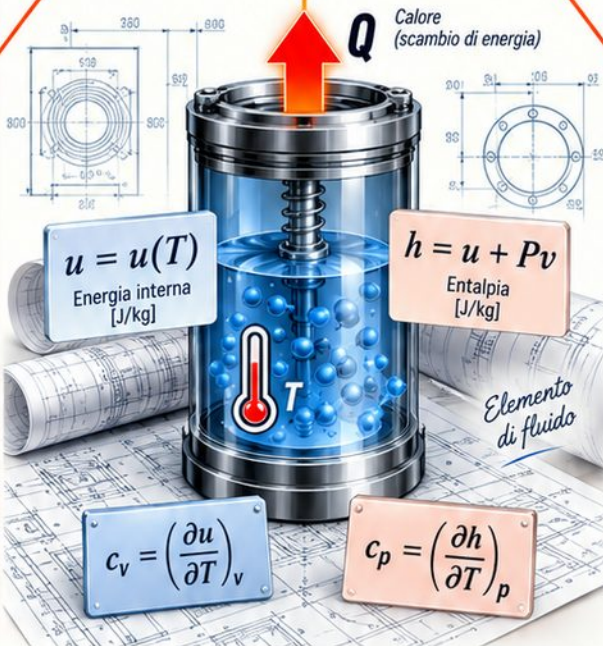


7 RELAZIONE FONDAMENTALE

$$c_p - c_v = R.$$

$$c_p - c_v = R$$

Per gas ideale



8 RAPPORTO DEI CALORI

$$\gamma = c_p / c_v.$$

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

*Per gas ideale
($\gamma > 1$)*

9 UTILITÀ

Servono per calcolare ΔU e ΔH .



$$\Delta U = m c_v \Delta T$$

$$\Delta H = m c_p \Delta T$$

*Nei processi reali
e ideali*

10 APPLICAZIONI

Processi isobari, isocori e macchine termiche.



Isobari
($P = \text{cost}$)



Isocori
($V = \text{cost}$)



Macchine
termiche



DA MEMORIZZARE:



**u e h descrivono l'energia del fluido;
 c_p e c_v misurano come varia con T**



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

*Dalla teoria
alla pratica*

BILANCIO ENERGETICO E CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

1 ENUNCIATO

L'energia non si crea
e non si distrugge.



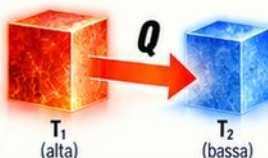
2 SISTEMA CHIUSO

$$\Delta U = Q - W$$



3 CALORE Q

Energia trasferita per
differenza di temperatura.



4 LAVORO W

Energia trasferita
tramite azioni
meccaniche.



5 SEGNI

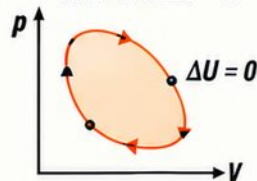
$Q > 0$ entrante,
 $W > 0$ se il sistema
compie lavoro.



CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

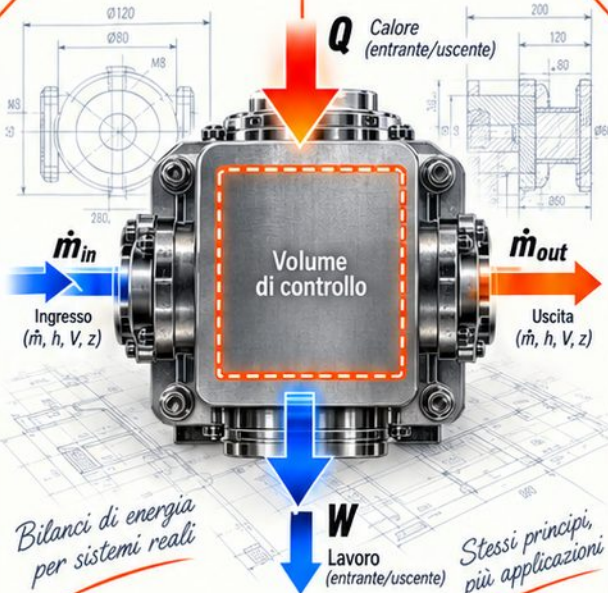
6 CICLO

Su un ciclo: $\Delta U = 0$.



7 SISTEMA APERTO

Entrano in gioco h ,
energia cinetica
e potenziale.



8 APPLICAZIONI

Compressori, turbine,
ugelli, scambiatori.



9 ERRORE COMUNE

Calore e lavoro non sono
proprietà di stato.



10 IDEA CHIAVE

Il principio quantifica
accumulo, ingresso
e uscita di energia.



*Bilanci di energia
per sistemi reali*

*Stessi principi,
più applicazioni*



DA MEMORIZZARE:



Nel sistema chiuso: $\Delta U = Q - W$



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



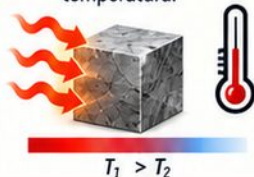
CALORE E LAVORO

*Dalla teoria
alla pratica*

I DUE MODI PRINCIPALI DI TRASFERIRE ENERGIA

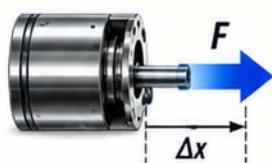
1 CALORE Q

Trasferimento dovuto a differenza di temperatura.



2 LAVORO W

Trasferimento dovuto a forze e spostamenti.



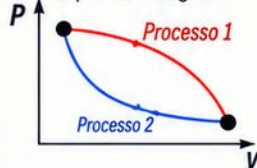
3 NON SONO PROPRIETÀ DI STATO

Esistono solo durante una trasformazione.



4 DIPENDONO DAL PERCORSO

Il valore cambia in base al processo seguito.



5 UNITÀ SI

J e kJ.

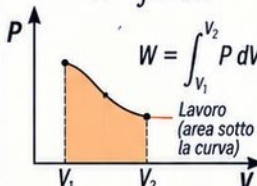
$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$$

MODI DI TRASFERIMENTO DELL'ENERGIA

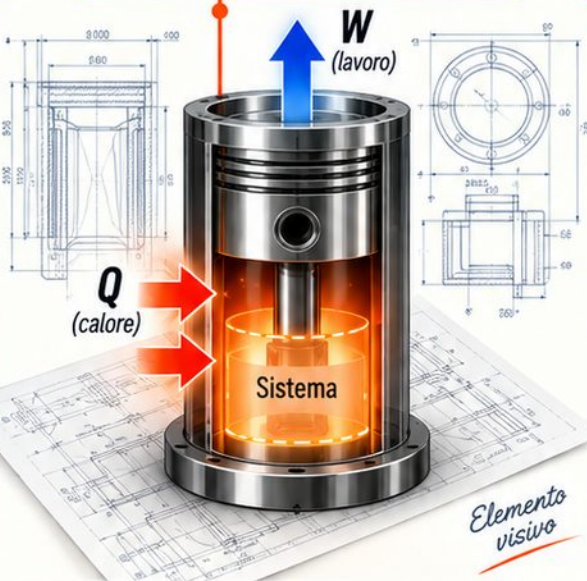
6 LAVORO DI FRONTIERA

$$W = \int P dV$$



7 CALORE IN INGRESSO O USCITA

Modifica l'energia del sistema.



8 SEGNI

$Q > 0$ entrante,
 $W > 0$ uscente.



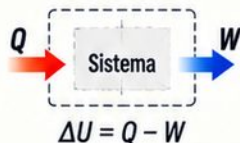
9 ESEMPI

Resistenza elettrica, pistone, albero motore.



10 COLLEGAMENTO

Per sistemi chiusi:
 $\Delta U = Q - W$.



DA MEMORIZZARE:



Calore e lavoro sono modi diversi di trasferire energia



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA

*Conoscenza
che mette
in moto il tuo futuro*



GAS IDEALE ED EQUAZIONE DI STATO

Dalla teoria alla pratica

MODELLO SEMPLIFICATO E RELAZIONI FONDAMENTALI

1 DEFINIZIONE

Modello semplificato di gas in cui le molecole sono considerate puntiformi, con volume trascurabile e interazioni intermolecolari nulle, eccetto durante gli urti.



2 EQUAZIONE DI STATO

$$PV = nRT$$

Legge dei gas ideali

3 FORMA SPECIFICA

$$Pv = RT$$

P = pressione [Pa]
 V = volume [m^3]
 n = numero di moli [mol]
 R = costante del gas [J/(mol·K)]
 T = temperatura assoluta [K]
 v = volume specifico [m^3/kg]

4 CONDIZIONI DI VALIDITÀ

- basse pressioni
- alte temperature
- lontano dal punto di condensazione



5 COMPORTAMENTO

Se T aumenta, a seconda del vincolo possono aumentare P o V .

Se V diminuisce, P tende ad aumentare se la temperatura rimane costante.

Relazioni dirette



6 TERMODINAMICA

Per il gas ideale:
 $u = u(T)$, $h = h(T)$.

Energia interna ed entalpia dipendono soprattutto dalla temperatura.

Dipende solo da T

7 APPLICAZIONI TIPICHE

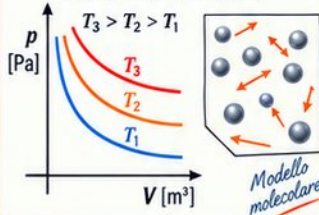
- aria atmosferica
- gas nei compressori
- cicli termici idealizzati
- studio preliminare dei sistemi energetici



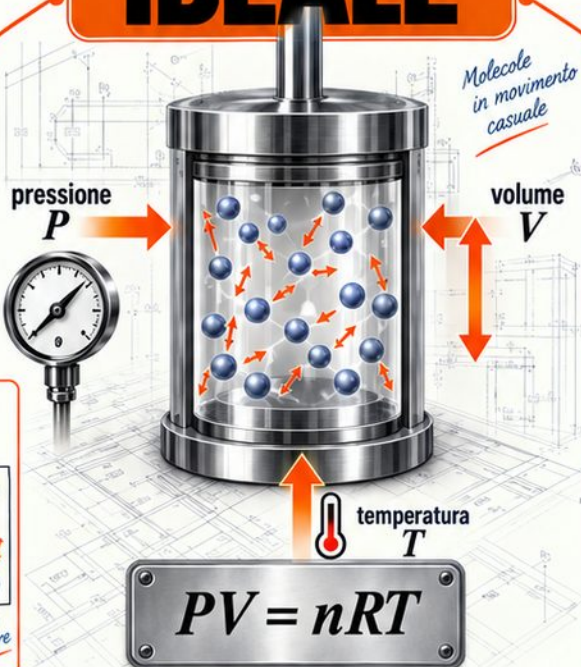
Dal disegno alla realtà

9 VISUALE

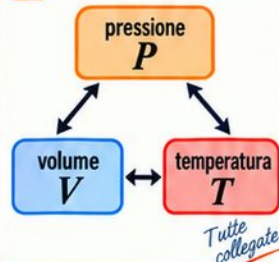
Diagramma p-V (isoterme)



Modello molecolare



8 RELAZIONI TRA VARIABILI



10 IDEA CHIAVE

Gas ideale = modello fondamentale per analizzare molti sistemi termici in modo semplificato.



DA MEMORIZZARE:

“ Il gas ideale lega pressione, volume e temperatura con relazioni semplici ed efficaci. ”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



TRASFORMAZIONE ISOBARA

Dalla teoria alla pratica

PROCESSO A PRESSIONE COSTANTE

1 DEFINIZIONE

Trasformazione nella quale la pressione rimane costante.



2 RELAZIONE CARATTERISTICA

$$P = \text{costante}$$



La pressione del sistema non varia durante tutto il processo.

3 PER GAS IDEALE

Da $Pv = RT$, se P è costante:

$$\frac{v}{T} = \text{costante}$$

A pressione costante volume e temperatura sono proporzionali.

4 LAVORO DI FRONTIERA

$$W = P(V_2 - V_1)$$



Il sistema compie lavoro espandendosi.

5 CALORE SCAMBIATO

Per gas ideale a pressione costante:

$$Q = m c_p (T_2 - T_1)$$



7 COMPORTAMENTO FISICO

- se il sistema viene riscaldato → il volume aumenta
- se il sistema viene raffreddato → il volume diminuisce

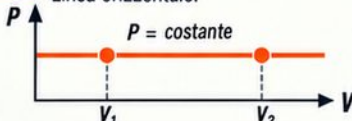


PRESSIONE COSTANTE



9 DIAGRAMMA P-V

Linea orizzontale.



La pressione rimane costante mentre il volume varia.

6 VARIAZIONE DI ENTALPIA

$$\Delta H = m c_p (T_2 - T_1)$$

A pressione costante, la variazione di entalpia dipende solo dalla variazione di temperatura (gas ideale).

8 ESEMPIO PRATICO

Gas contenuto in un cilindro con pistone mobile soggetto a carico costante.



Esempio tipico: riscaldamento di un gas in un cilindro con peso costante.

10 COLLEGAMENTO IMPORTANTE

Nelle trasformazioni isobare l'entalpia assume un ruolo molto utile nel bilancio energetico.



- ☒ Utile in cicli termodinamici
- ☒ Semplifica i calcoli energetici
- ☒ Importante in molte applicazioni ingegneristiche



DA MEMORIZZARE:



Isobara = pressione costante.
Riscaldamento → aumento del volume.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



TRASFORMAZIONE ISOCORA

Dalla teoria alla pratica

PROCESSO A VOLUME COSTANTE

1 DEFINIZIONE

Trasformazione nella quale il volume rimane costante.



2 RELAZIONE CARATTERISTICA

$$V = \text{costante}$$

Il volume non cambia

3 PER GAS IDEALE

Se V è costante:

$$\frac{P}{T} = \text{costante}$$

Quindi $P \propto T$

4 LAVORO DI FRONTIERA

$$W = 0$$

Poiché non c'è variazione di volume.



Nessun spostamento del confine

5 PRIMO PRINCIPIO

Se $W = 0$, allora:

$$Q = \Delta U$$

Il calore fornito aumenta l'energia interna del sistema.

VOLUME COSTANTE

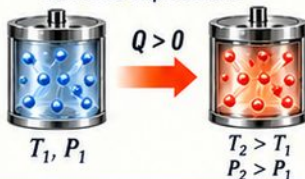
6 PER GAS IDEALE

$$Q = m c_v (T_2 - T_1)$$

Il calore scambiato dipende dalla variazione di temperatura e dal calore specifico a volume costante.

7 COMPORTAMENTO FISICO

- se si fornisce calore → la temperatura aumenta
- aumentando la temperatura in volume costante → aumenta la pressione



La temperatura aumenta, la pressione aumenta

$$V = \text{costante}$$

$$T \uparrow$$

$$P \uparrow$$

$$W = 0$$

$$Q = \Delta U$$

8 ESEMPIO PRATICO

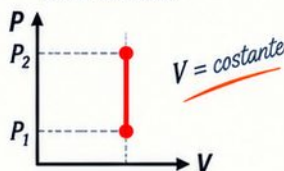
Riscaldamento di un gas in un recipiente rigido.



Recipiente rigido e chiuso

9 DIAGRAMMA P-V

Linea verticale.

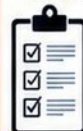


Sistema in recipiente rigido

Q
Calore in ingresso (energia termica)

10 UTILITÀ DIDATTICA

Perfetta per comprendere il legame diretto tra calore ed energia interna.



- ☒ Collega calore e ΔU
- ☒ Mostra l'effetto sulla pressione
- ☒ Utile per gas ideali e reali
- ☒ Applicazioni negli impianti chiusi



DA MEMORIZZARE:



Isocora = nessun lavoro di espansione.
Tutto il calore va nella variazione di energia interna.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



TRASFORMAZIONE ISOTERMA

Dalla teoria alla pratica

PROCESSO A TEMPERATURA COSTANTE

1 DEFINIZIONE

Trasformazione nella quale la temperatura resta costante.



$T = \text{costante}$

2 RELAZIONE CARATTERISTICA

$T = \text{costante}$

$T = \text{costante}$

3 PER GAS IDEALE

$PV = \text{costante}$

$PV = \text{costante}$

$P_1 V_1 = P_2 V_2$

4 ENERGIA INTERNA

Per gas ideale: $\Delta U = 0$ perché l'energia interna dipende solo dalla temperatura.

$\Delta U = 0$

Dipende solo da T

5 PRIMO PRINCIPIO

Se $\Delta U = 0$, allora:

$$Q = W$$



Calore (sistema)



Lavoro (sistema)

TEMPERATURA COSTANTE

6 LAVORO ISOTERMO REVERSIBILE

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

n = moli di gas

R = costante universale dei gas

T = temperatura (costante)

V_1, V_2 = volumi iniziale e finale

7 COMPORTAMENTO FISICO

- se il gas si espande → compie lavoro e assorbe calore
- se il gas si comprime → subisce lavoro e cede calore



Espansione
 $Q > 0$ $W > 0$



Compressione
 $Q < 0$ $W < 0$

9 ESEMPIO PRATICO

Espansione lenta di un gas mantenuto in contatto con una sorgente termica a temperatura costante.

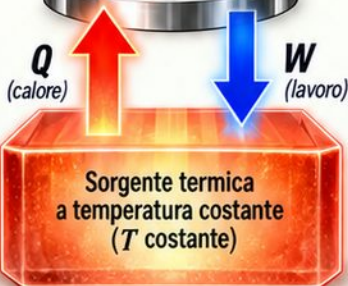


T costante

Scambio di calore con la sorgente



Scambio di calore per mantenere T costante



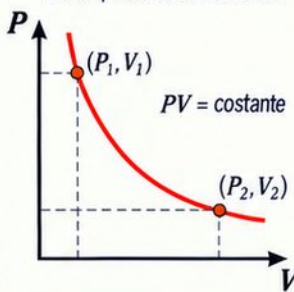
Q (calore)

W (lavoro)

Sorgente termica a temperatura costante (T costante)

8 DIAGRAMMA P-V

Curva iperbolica decrescente.



10 IDEA ESSENZIALE

Il calore scambiato serve a compensare esattamente il lavoro compiuto o ricevuto, mantenendo costante la temperatura.

$$Q = W \quad (\Delta U = 0)$$

La temperatura non cambia



DA MEMORIZZARE:



Isoterma = temperatura costante.
Per gas ideale: $\Delta U = 0$ e $Q = W$.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



TRASFORMAZIONE ADIABATICA

Dalla teoria alla pratica

PROCESSO SENZA SCAMBIO DI CALORE

1 DEFINIZIONE

Trasformazione nella quale non c'è scambio di calore con l'ambiente.



Sistema isolato termicamente

2 RELAZIONE CARATTERISTICA

$$Q = 0$$

Nessuno scambio di calore

3 PRIMO PRINCIPIO

Per sistema chiuso:

$$\Delta U = -W$$



Il lavoro riduce o aumenta l'energia interna

4 SIGNIFICATO FISICO

- se il sistema compie lavoro → l'energia interna **diminuisce**
- se il sistema riceve lavoro → l'energia interna **aumenta**



5 PER GAS IDEALE

In trasformazione adiabatica reversibile:

$$PV^\gamma = \text{costante}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{costante}$$

dove $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$
(≈ 1,4 per l'aria)

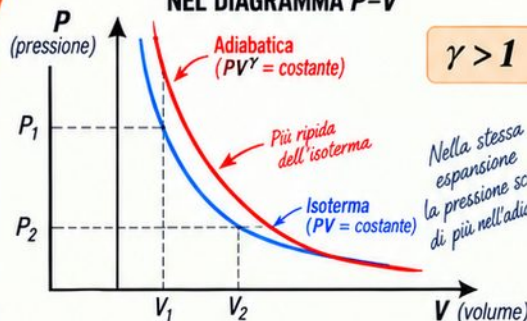
7 ESEMPI PRATICI

- compressione rapida in un compressore
- espansione in una turbina idealizzata



$$Q = 0$$

CONFRONTO TRA ISOTERMA E ADIABATICA NEL DIAGRAMMA P-V



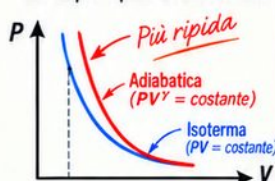
6 TEMPERATURA

- in espansione adiabatica: **T diminuisce**
- in compressione adiabatica: **T aumenta**



8 DIAGRAMMA P-V

Curva più ripida dell'isoterma.



9 DIFFERENZA IMPORTANTE

Adiabatica non significa necessariamente isoterma. Nell'adiabatica la temperatura di solito cambia.

$$Q = 0 \neq T = \text{costante}$$

Processi diversi!

10 APPLICAZIONI

Fondamentale nello studio dei cicli Otto, Diesel, Brayton e nei processi rapidi.



Ciclo Otto e Diesel



Ciclo Brayton (turbine a gas)



Processi rapidi



DA MEMORIZZARE:



Adiabatica = $Q = 0$.
Lavoro e variazione di energia interna sono direttamente collegati.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



LAVORO DI FRONTIERA

Dalla teoria alla pratica

IN UN SISTEMA CHIUSO

LAVORO DI ESPANSIONE / COMPRESSIONE

1 DEFINIZIONE

Lavoro associato allo spostamento del confine del sistema durante una variazione di volume.



Confine mobile

2 FORMULA DIFFERENZIALE

$$\delta W = P dV$$

δW = lavoro elementare [J]
 P = pressione [Pa]
 dV = variazione di volume [m³]

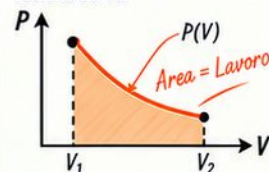
3 LAVORO TOTALE

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

W = lavoro totale [J]
 P = pressione [Pa]
 V_1, V_2 = volumi iniziale e finale [m³]

4 INTERPRETAZIONE GRAFICA

Nel diagramma $P-V$, il lavoro è rappresentato dall'area sotto la curva.



5 SEGNO DEL LAVORO

- espansione $\rightarrow W > 0$
 - compressione $\rightarrow W < 0$
- secondo la convenzione termodinamica più comune



Espansione ($W > 0$)



Compressione ($W < 0$)

LAVORO DI ESPANSIONE / COMPRESSIONE

6 CASI PARTICOLARI

- isobara: $W = P(V_2 - V_1)$
- isocora: $W = 0$



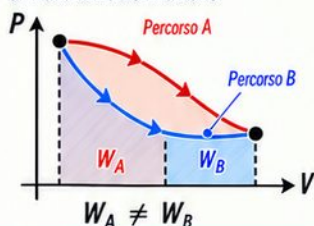
Trasformazione isobara (P costante)



Trasformazione isocora (V costante)

7 DIPENDENZA DAL PERCORSO

Il lavoro non è proprietà di stato. Dipende da come avviene la trasformazione.



9 COLLEGAMENTO CON IL PRIMO PRINCIPIO

Il lavoro è una delle principali modalità di trasferimento energetico.

$$\Delta U = Q - W$$

ΔU = variazione energia interna
 Q = calore scambiato
 W = lavoro di frontiera

Espansione ($V \uparrow, W > 0$)



Compressione ($V \downarrow, W < 0$)



Sistema chiuso con pistone mobile

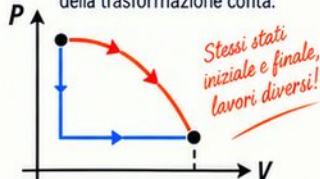
8 SISTEMA FISICO TIPICO

Gas in cilindro con pistone mobile.



10 ATTENZIONE CONCETTUALE

Stesso stato iniziale e finale non significa stesso lavoro: il percorso della trasformazione conta.



DA MEMORIZZARE:



Il lavoro di frontiera dipende dalla variazione di volume e dal percorso nel diagramma $P-V$.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
 SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
 E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
 E IMPARA DI PIÙ



DIAGRAMMI TERMODINAMICI

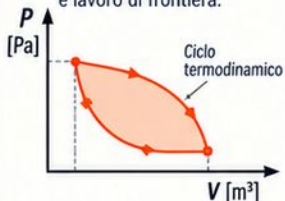
Dalla teoria alla pratica

P-V, T-s e h-s

LETTURA DEI DIAGRAMMI TERMODINAMICI

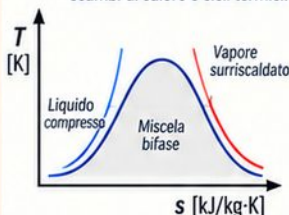
1 DIAGRAMMA P-V

Mostra la relazione tra pressione e volume. Utile per visualizzare espansioni, compressioni e lavoro di frontiera.



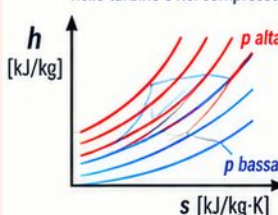
2 DIAGRAMMA T-s

Mostra la relazione tra temperatura ed entropia. Molto utile per analizzare scambi di calore e cicli termici.



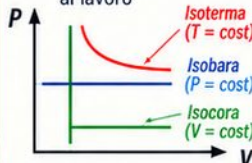
3 DIAGRAMMA h-s

Conosciuto anche come diagramma di Mollier. Utile nei sistemi a fluido, nelle turbine e nei compressori.



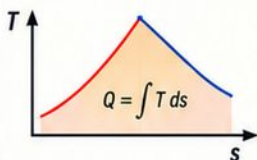
4 COSA SI OSSERVA NEL P-V

- isobare
- isocore
- isoterme
- cicli e area corrispondente al lavoro



5 COSA SI OSSERVA NEL T-s

- riscaldamento
- raffreddamento
- entropia crescente o decrescente
- area associabile al calore nei processi reversibili



7 UTILITÀ DIDATTICA

I diagrammi trasformano formule astratte in relazioni visive immediate.



Vedere per capire

9 ERRORE COMUNE

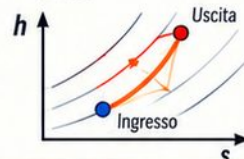
Confondere il significato fisico delle aree: ogni diagramma evidenzia informazioni diverse.



Stesso grafico, significati diversi!

6 COSA SI OSSERVA NEL h-s

- variazioni di entalpia
- confronti tra stati di ingresso e uscita
- rendimento di macchine a fluido



8 COLLEGAMENTO CON I CICLI

I cicli Rankine, Brayton e frigoriferi vengono spesso interpretati attraverso questi diagrammi.



Dai cicli ai diagrammi

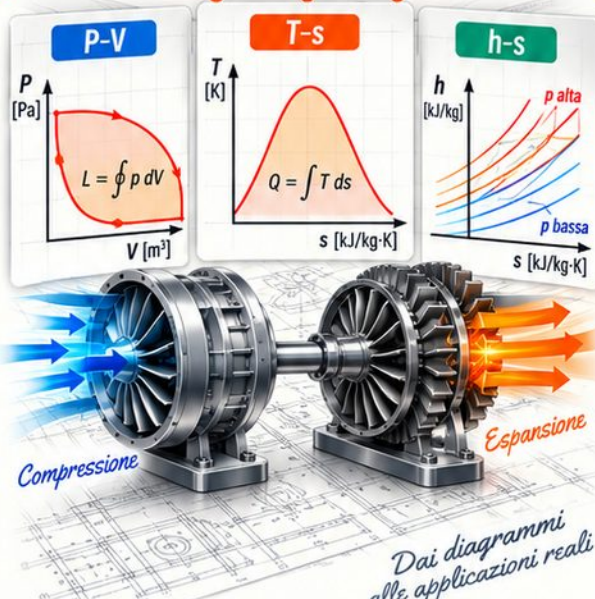
10 SINTESI FINALE

- P-V → lavoro
- T-s → calore e irreversibilità
- h-s → sistemi a fluido e macchine termiche



Tre diagrammi, una visione completa

LETTURA DEI DIAGRAMMI



DA MEMORIZZARE:

P-V → lavoro. T-s → calore e irreversibilità. h-s → macchine a fluido.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



SECONDO PRINCIPIO

DELLA TERMODINAMICA

DIREZIONE NATURALE DEI PROCESSI

*Dalla teoria
alla pratica*

1 PERCHÉ SERVE

Il primo principio afferma la conservazione dell'energia, ma non indica la direzione spontanea dei processi.



CONSERVAZIONE
SENZA DIREZIONE

2 ENUNCIATO DI CLAUSIUS

Il calore non passa spontaneamente da un corpo freddo a uno caldo.



3 ENUNCIATO DI KELVIN-PLANCK

È impossibile costruire una macchina termica che trasformi integralmente in lavoro il calore assorbito da una sola sorgente.



Non è possibile:
 $\eta = 100\%$

4 SIGNIFICATO FISICO

Ogni trasformazione reale presenta vincoli e irreversibilità.



TRASFORMAZIONI REALI
SONO IRREVERSIBILI

5 CONSEGUENZE PRINCIPALI

- esiste una direzione privilegiata dei processi →
- non tutto il calore può diventare lavoro utile →
- per refrigerare occorre fornire lavoro →

DIREZIONE NATURALE DEI PROCESSI

6 REVERSIBILE E IRREVERSIBILE

Reversibile: ideale, senza dissipazioni.

Irreversibile: reale, con attriti, scambi non ideali, perdite.



REVERSIBILE
(ideale)



IRREVERSIBILE
(reale)

7 COLLEGAMENTO CON ENTROPIA

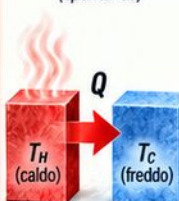
Il secondo principio porta alla definizione di entropia.

$$dS \geq 0$$

L'entropia di un sistema isolato non può diminuire.



SCAMBIO DI CALORE (spontaneo)



Il calore fluisce spontaneamente dal caldo al freddo

MACCHINA TERMICA (impossibile al 100%)



Una parte del calore deve essere sempre rifiutata

FRIGORIFERO (necessita lavoro)



Per trasferire calore dal freddo al caldo serve lavoro

8 ESEMPI PRATICI

- tazza calda che si raffredda
- motore termico che rifiuta parte del calore
- frigorifero che necessita energia elettrica



9 IDEA VISUALE SINTETICA

Energia si conserva → primo principio.
Qualità dell'energia e direzione dei processi → secondo principio.

Primo principio:
 $\Delta U = Q - W$ → energia si conserva

Secondo principio:
indica la direzione e la qualità dell'energia

10 MESSAGGIO FINALE

Il secondo principio stabilisce i limiti reali dell'efficienza energetica.



*Limiti
reali,
opportunità
ingegneristiche*

DA MEMORIZZARE:

“ Il secondo principio stabilisce la direzione dei processi e i limiti dell'efficienza energetica. ”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ENTROPIA

ENTROPIA S

QUALITÀ DELL'ENERGIA E IRREVERSIBILITÀ

Dalla teoria alla pratica

1 DEFINIZIONE INTUITIVA

Grandezza che aiuta a misurare la dispersione dell'energia e il grado di irreversibilità di un processo.



2 DEFINIZIONE DIFFERENZIALE

$$dS = \frac{\delta Q_{rev}}{T}$$

dS = variazione infinitesima di entropia [J/K]

δQ_{rev} = calore scambiato in modo reversibile [J]

T = temperatura assoluta [K]

3 PROPRIETÀ DI STATO

Dipende dallo stato del sistema, non dal percorso.



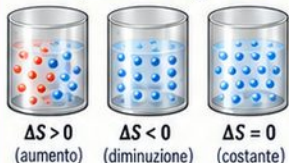
4 SIGNIFICATO PRATICO

Maggiore entropia significa minore capacità dell'energia di essere convertita integralmente in lavoro utile.



5 VARIAZIONE DI ENTROPIA

Può aumentare, diminuire o restare costante, a seconda del processo e degli scambi.



7 CASO REVERSIBILE

Processo ideale senza dissipazioni.

$$\Delta S_{universo} = 0$$



9 ESEMPI INTUITIVI

- miscelazione spontanea
- trasferimento di calore da caldo a freddo
- attrito meccanico



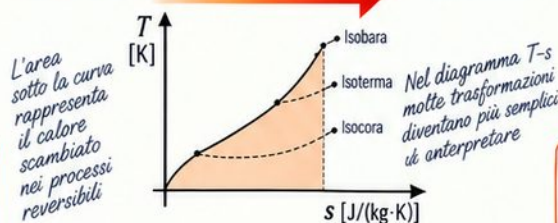
ENTROPIA S

SISTEMA



Nei processi spontanei l'entropia aumenta

UNIVERSO



6 UNIVERSO E SECONDO PRINCIPIO

Per i processi reali:

$$\Delta S_{universo} \geq 0$$



8 CASO IRREVERSIBILE

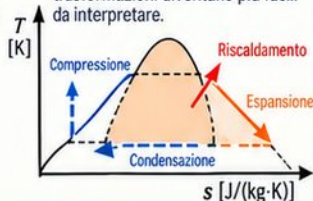
Processo reale con dissipazioni (attrito, gradiente finito, mescolamenti, ecc.).

$$\Delta S_{universo} > 0$$



10 COLLEGAMENTO AI DIAGRAMMI

Nel diagramma T-s, molte trasformazioni diventano più facili da interpretare.



DA MEMORIZZARE:



Entropia = strumento fondamentale per capire qualità dell'energia e irreversibilità.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

MACCHINE TERMICHE, FRIGORIFERI E POMPE DI CALORE

*Dalla teoria
alla pratica*

DISPOSITIVI TERMODINAMICI CICLICI

1 MACCHINA TERMICA

Dispositivo che riceve calore da una sorgente calda, produce lavoro e scarica parte del calore verso una sorgente fredda.



2 RENDIMENTO TERMICO

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

η = rendimento termico [-]
 W = lavoro prodotto [J]
 Q_H = calore assorbito [J]
 Q_L = calore ceduto [J]

3 FRIGORIFERO

Dispositivo che sottrae calore da una sorgente fredda grazie a lavoro esterno.



4 COP DEL FRIGORIFERO

$$COP_R = \frac{Q_L}{W}$$

COP_R = coefficiente di prestazione (refrigeratore) [-]
 Q_L = calore sottratto alla sorgente fredda [J]
 W = lavoro assorbito [J]

5 POMPA DI CALORE

Trasferisce calore verso l'ambiente caldo per riscaldamento.



7 DIFFERENZA FONDAMENTALE

- macchina termica → obiettivo: produrre lavoro
- frigorifero → obiettivo: raffreddare
- pompa di calore → obiettivo: riscaldare

9 COLLEGAMENTO COL SECONDO PRINCIPIO

Non è possibile avere rendimento del 100% in una macchina termica reale.



Una parte del calore deve sempre essere ceduta alla sorgente fredda.



DA MEMORIZZARE:



Stesso principio energetico, obiettivi diversi: produrre lavoro, raffreddare o riscaldare.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



TRASMISSIONE DEL CALORE

Dalla teoria alla pratica

CONDUZIONE, CONVEZIONE E IRRAGGIAMENTO

1 DEFINIZIONE

Trasferimento di energia termica dovuto a una differenza di temperatura tra due corpi o tra un corpo e l'ambiente.



Sempre da caldo a freddo!

2 FORZA MOTRICE

Il calore fluisce spontaneamente dal corpo caldo al corpo freddo. La forza motrice è il gradiente di temperatura.

$$\Delta T = T_{\text{caldo}} - T_{\text{freddo}}$$

Il calore non torna mai spontaneamente indietro!

3 GRANDEZZE UTILI

Q = calore scambiato [J] (energia termica)
 $\dot{Q}$ = potenza termica [W] (flusso di calore)
 q'' = flusso termico [W/m²] (per unità di superficie)

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$$

Diverse grandezze per diversi contesti!

4 CONDUZIONE

Scambio di calore per contatto e diffusione microscopica tra le particelle, tipico nei solidi.



Tipica nei solidi (es. metalli)

5 CONVEZIONE

Scambio di calore tra una superficie e un fluido in movimento (liquido o gas).



Il fluido trasporta il calore!

6 IRRAGGIAMENTO

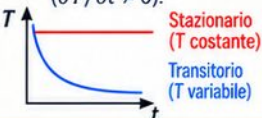
Scambio di calore mediante onde elettromagnetiche, che non necessita di un mezzo materiale e avviene anche nel vuoto.



Avviene anche nel vuoto!

7 REGIMI

- **Stazionario:** le temperature sono costanti nel tempo ($\partial T / \partial t = 0$).
- **Transitorio:** le temperature variano nel tempo ($\partial T / \partial t \neq 0$).



9 APPLICAZIONI

- pareti isolate (edilizia)
- radiatori (riscaldamento)
- scambiatori di calore (processi industriali)
- elettronica (raffreddamento)
- forni (alte temperature)



Tre modi, un unico risultato: il trasferimento di calore!

Il controllo del calore è ovunque!

8 BILANCIO ENERGETICO

In un sistema il calore può:

- entrare (Q_{in})
- uscire (Q_{out})
- accumularsi (ΔU)

$$Q_{in} - Q_{out} = \Delta U$$

Conservazione dell'energia!

10 IDEA CHIAVE

Tre meccanismi diversi, un solo obiettivo: trasferire calore in modo controllato.



Conoscere per progettare meglio!



DA MEMORIZZARE:



Il calore fluisce da caldo a freddo e può trasferirsi per conduzione, convezione e irraggiamento.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



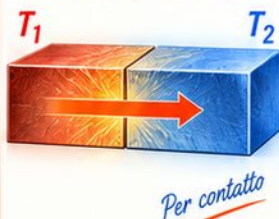
CONDUZIONE TERMICA

Dalla teoria alla pratica

SCAMBIO DI CALORE PER CONTATTO

1 DEFINIZIONE

Il calore si propaga all'interno di un corpo o tra corpi a contatto.



2 LEGGE DI FOURIER

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

oppure

$$q'' = -k \frac{dT}{dx}$$

q = flusso di calore [W]
 q'' = flusso termico [W/m²]
 k = conducibilità [W/m·K]
 A = area [m²]
 dT/dx = gradiente di temperatura [K/m]

3 CONDUCEBILITÀ k

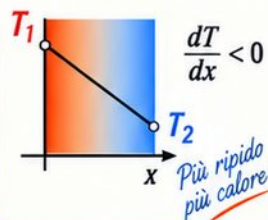
Misura la capacità di un materiale di condurre calore.



Materiali diversi, comportamenti diversi!

4 GRADIENTE TERMICO

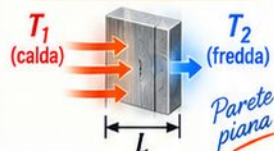
Maggiore è dT/dx , maggiore è il flusso conduttivo.



5 PARETE PIANA

Per uno strato uniforme in regime stazionario:

$$Q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L}$$



7 MATERIALI

- **Metalli:** alta conducibilità (ottimo conduttori).
- **Isolanti:** bassa conducibilità (riducono il flusso di calore).



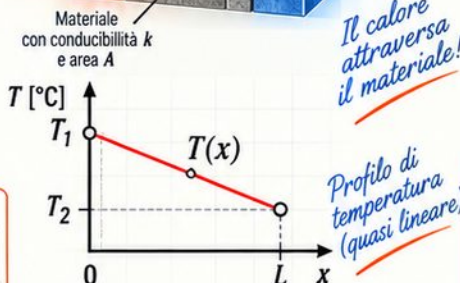
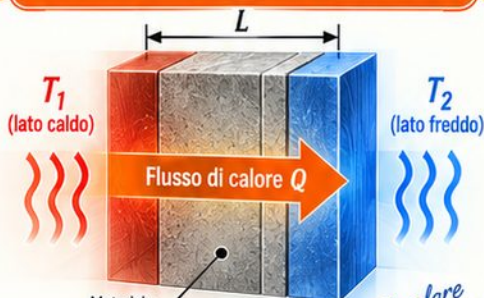
La scelta del materiale fa la differenza!

9 ESEMPI PRATICI



- barra metallica (conduzione lungo la barra)
- parete di edificio (isolamento termico)
- padella (trasferimento al cibo)
- dissipatore di calore (raffreddamento di componenti)

CALORE PER CONTATTO



Stessa fisica, mille applicazioni!

6 RESISTENZA TERMICA

La resistenza termica alla conduzione è:

$$R_{cond} = \frac{L}{kA} \quad [K/W]$$

Maggiore L ⇒ maggiore R!

8 PROFILO DI TEMPERATURA

In 1D stazionario e k costante il profilo di temperatura è quasi lineare.



10 IDEA CHIAVE

La conduzione dipende da:

- materiale (k)
- spessore (L)
- area (A)
- differenza di temperatura (ΔT)

Quattro fattori, un unico risultato!



DA MEMORIZZARE:



Nella conduzione il calore attraversa il materiale in funzione di k , A , L e ΔT .



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



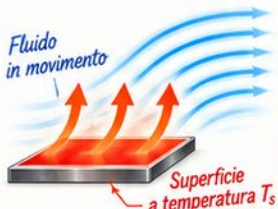
CONVEZIONE TERMICA

Dalla teoria alla pratica

SCAMBIO TRA SUPERFICIE E FLUIDO

1 DEFINIZIONE

Trasferimento di calore tra una superficie e un fluido in movimento.



2 LEGGE DI NEWTON

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

q = flusso di calore [W]
 h = coefficiente convettivo [W/m^2K]
 A = area di scambio [m^2]
 T_s = temperatura superficie [K]
 T_∞ = temperatura fluido lontano dalla superficie [K]

3 COEFFICIENTE h

Rappresenta l'efficacia dello scambio convettivo e dipende dalle proprietà del fluido e dalle condizioni di moto.



4 CONVEZIONE NATURALE

Il moto del fluido nasce per differenze di densità dovute a variazioni di temperatura (galleggiamento).



5 CONVEZIONE FORZATA

Il moto del fluido è imposto da ventole, pompe o sistemi di ventilazione.



7 FATTORI INFLUENTI

- velocità del fluido
- geometria della superficie
- proprietà fisiche del fluido (ρ , μ , k , c_p)
- regime di moto (laminare o turbolento)



9 INDICI UTILI

Numeri adimensionali usati come parametri di progetto.

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (\text{Reynolds})$$

$$Nu = hL/k \quad (\text{Nusselt})$$

Correlazioni per casi reali

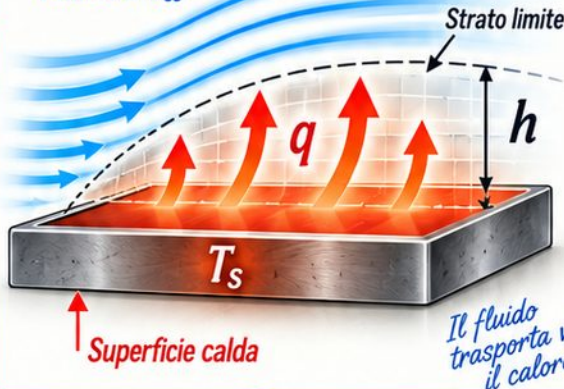
10 IDEA CHIAVE

Il fluido trasporta il calore e il coefficiente h riassume l'intensità dello scambio convettivo, dipendendo da fluido, moto e geometria.



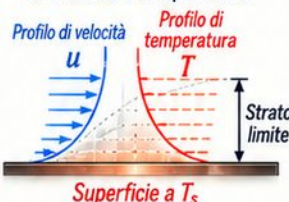
SCAMBIO FLUIDO-SUPERFICIE

Fluido a T_∞



6 STRATO LIMITE

Vicino alla parete si sviluppano gradienti di velocità e temperatura.



8 ESEMPI PRATICI

- radiatore per riscaldamento
- raffreddamento elettronico
- scambiatori e tubazioni
- climatizzazione (HVAC)



DA MEMORIZZARE:

Nella convezione il fluido trasporta energia: h descrive quanto efficace è lo scambio.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



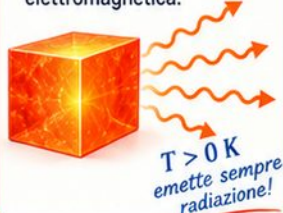
IRRAGGIAMENTO TERMICO

Dalla teoria alla pratica

SCAMBIO DI CALORE PER ONDE ELETTRMAGNETICHE

1 DEFINIZIONE

Ogni corpo a temperatura superiore allo zero assoluto emette radiazione elettromagnetica.



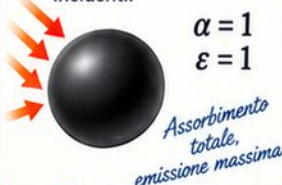
2 SENZA CONTATTO

L'irraggiamento non richiede un mezzo materiale e può avvenire nel vuoto.



3 CORPO NERO

Modello ideale che assorbe ed emette al massimo livello tutte le radiazioni incidenti.



4 EMISSIVITÀ ε

I corpi reali emettono una frazione rispetto al corpo nero.

$$0 \leq \varepsilon \leq 1$$

- $\varepsilon = 1$ corpo nero
- $\varepsilon \approx 0,9$ superfici scure
- $\varepsilon \approx 0,3$ superfici metalliche lucide
- $\varepsilon \approx 0,1$ superfici riflettenti

5 STEFAN-BOLTZMANN

Flusso termico netto emesso da una superficie:

$$q = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{amb}^4)$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$$

T_s = temperatura superficie [K]

T_{amb} = temperatura ambiente [K]

ε = emissività [-]

A = area [m²]

ENERGIA EMESSA COME ONDE

6 ASSORBIMENTO E RIFLESSIONE

La finitura superficiale e il colore influenzano il comportamento radiativo.



7 FATTORE DI VISTA

La geometria e l'orientamento delle superfici influenzano lo scambio di calore.



9 ESEMPI PRATICI

- Sole → Terra (radiazione solare)
- stufa radiante (riscaldamento ambienti)
- forno industriale (processi ad alta temperatura)
- pannello solare (conversione in energia)



8 QUANDO DOMINA

L'irraggiamento è dominante quando:

- le temperature sono alte
- in forni e processi industriali
- per superfici esposte al sole
- nel vuoto (assenza di fluido)

Più alta è la temperatura, più conta l'irraggiamento!

10 IDEA CHIAVE

L'irraggiamento cresce fortemente con la temperatura (ed è importante anche senza fluido).



DA MEMORIZZARE:



L'irraggiamento trasferisce calore anche nel vuoto e aumenta rapidamente con la temperatura.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



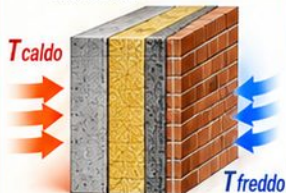
RESISTENZE TERMICHE E PARETI PIANE

Dalla teoria alla pratica

DALLO STRATO SINGOLO ALLA PARETE COMPOSTA

1 PARETE PIANA

Strato singolo o insieme di strati attraversati dal calore.



2 RESISTENZA DI CONDUZIONE

Resistenza termica di uno strato omogeneo.

$$R_{cond} = \frac{L}{kA}$$

L = spessore dello strato [m]

k = conducibilità termica [W/mK]

A = area della superficie [m²]

3 RESISTENZA DI CONVEZIONE

Resistenza termica tra superficie e fluido.

$$R_{conv} = \frac{1}{hA}$$

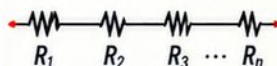
h = coefficiente di scambio termico [W/m²K]

A = area della superficie [m²]

4 SERIE

Nelle pareti multistrato le resistenze si sommano.

$$R_{tot} = \sum_{i=1}^n R_i$$



5 FLUSSO TERMICO

Il calore attraversa la parete per effetto della differenza di temperatura.

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{tot}}$$

Q = flusso termico [W]

ΔT = differenza di temperatura [K]

R_{tot} = resistenza totale [K/W]

Più resistenza meno calore!

7 COEFFICIENTE GLOBALE U

Il coefficiente globale di trasmissione termica U è l'inverso della resistenza totale della parete.

$$Q = UA\Delta T$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad [W/m^2K]$$

Parametro chiave in edilizia!

9 APPLICAZIONI

- edilizia (pareti, tetti, solai)
- camere fredde e celle frigorifere
- forni e alte temperature
- tubazioni isolate
- serbatoi e impianti industriali

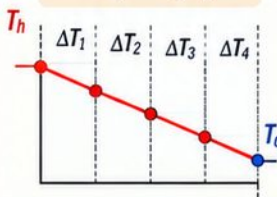


Stessi principi, applicazioni diverse!

6 SALTI DI TEMPERATURA

Ogni strato produce un diverso abbassamento di temperatura.

$$\Delta T_i = Q R_i$$



8 PONTI TERMICI

Zone con resistenza minore rispetto alla parete circostante e maggiori perdite di calore.



10 IDEA CHIAVE

La rete di resistenze termiche semplifica il calcolo degli scambi in sistemi complessi.



Un modello semplice per problemi reali!



DA MEMORIZZARE:



Le resistenze termiche si combinano come una rete e permettono di calcolare Q in modo semplice.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



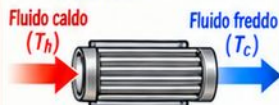
SCAMBIATORI DI CALORE

*Dalla teoria
alla pratica*

SCAMBIO TERMICO TRA DUE FLUIDI

1 DEFINIZIONE

Dispositivi che trasferiscono calore tra due fluidi a temperatura diversa, separati da una superficie di scambio.



*Scambio di energia
senza mescolamento*

2 BILANCIO TERMICO

Il calore scambiato da ciascun fluido si calcola con:

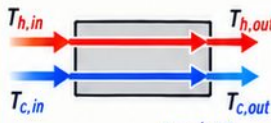
$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Q = calore scambiato [W]
 m = portata massica [kg/s]
 c_p = calore specifico [J/kg K]
 ΔT = variazione di temperatura [K]

*Lo stesso calore
per i due fluidi!*

3 FLUSSI PARALLELI

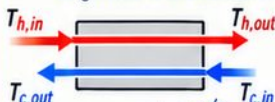
I due fluidi scorrono nella stessa direzione (all'ingresso le temperature sono più distanti).



Stessa direzione

4 CONTROCORRENTE

I fluidi scorrono in direzioni opposte. Spesso è più efficace perché mantiene un salto di temperatura più elevato lungo tutto lo scambiatore.



*Direzioni opposte
maggiore efficacia!*

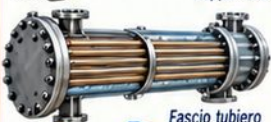
5 TIPI COSTRUTTIVI

Principali configurazioni:

- a doppio tubo
- a fascio tubiero
- a piastre



Doppio tubo



Fascio tubiero



A piastre

8 PRESTAZIONI

Le prestazioni dipendono da:

- area di scambio (A)
- coefficiente di scambio (U)
- sporcamento (fouling)
- portata e regime dei fluidi
- proprietà termofisiche
- configurazione e materiali



*Più efficienza
con la giusta
progettazione!*

9 APPLICAZIONI

- radiatori (autoveicoli)
- condensatori
- evaporatori
- impianti di processo chimico e petrolchimico
- riscaldamento e climatizzazione
- recupero di calore
- impianti alimentari e farmaceutici



*Ovunque
c'è scambio
di energia!*

SCAMBIO TRA DUE FLUIDI

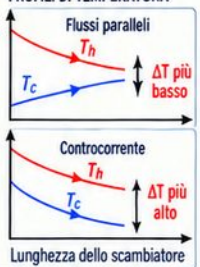


Scambiatore a fascio tubiero



Scambiatore a piastre

PROFILI DI TEMPERATURA



Lunghezza dello scambiatore

6 RELAZIONE GLOBALE

Il calore scambiato si calcola con:

$$Q = U A \Delta T_{lm}$$

Q = calore scambiato [W]
 U = coefficiente globale di scambio termico [W/m²K]
 A = area di scambio [m²]
 ΔT_{lm} = salto termico logaritmico medio [K]

*Più area e un buon U
migliorano lo scambio!*

7 ΔT LOGARITMICA MEDIA

Misura il salto termico efficace lungo lo scambiatore.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

ΔT_1 = salto termico all'ingresso [K]
 ΔT_2 = salto termico all'uscita [K]

*Rappresenta il vero
potenziale di scambio!*

10 IDEA CHIAVE

Aumentare l'area di scambio, usare configurazioni adeguate e mantenere un buon accoppiamento termico tra i fluidi migliora lo scambio di calore.



*Grande area
= grandi risultati!*



DA MEMORIZZARE:



Negli scambiatori il calore passa da un fluido all'altro grazie a U, A e al salto termico efficace.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



ALETTE E SUPERFICI ESTESE

Dalla teoria alla pratica

AUMENTARE L'AREA DI SCAMBIO

1 PERCHÉ USARLE

Servono ad aumentare la superficie disponibile per lo scambio termico.



2 PRINCIPIO

Più area esterna significa maggiore calore scambiato con il fluido.

$$\dot{Q} = h A (T_s - T_\infty)$$

Aumentando l'area A aumenta $\dot{Q}$.

Stessa legge, più superficie!

3 MATERIALI

Si preferiscono materiali con alta conducibilità termica.



Alluminio Rame Rame Leghe

Alta conducibilità = minore resistenza termica.

4 TIPI

- Alette rettilinee
- Alette anulari
- Alette a spillo
- Dissipatori alettati



5 EFFICIENZA η_f

Misura quanto bene tutta l'aletta lavora realmente.

$$\eta_f = \frac{\dot{Q}_{reale}}{\dot{Q}_{ideale}}$$

$$0 < \eta_f \leq 1$$

Dipende da materiale, geometria e condizione al contorno.

Non tutta l'aletta è alla temperatura di base!

7 PROGETTO

Lunghezza, spessore e distanza tra alette influenzano il risultato.



9 APPLICAZIONI

- Dissipatori elettronici
- Cilindri alettati
- Radiatori
- Motori
- Scambiatori di calore



Elettronica



Cilindri alettati



Radiatori



Motori

Ovunque serve più area!

10 IDEA CHIAVE

Le superfici estese sono fondamentali quando h è moderato e lo spazio va sfruttato bene.

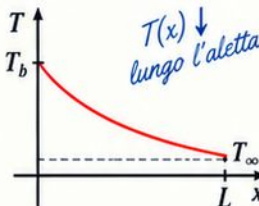


Piccole alette, grandi risultati!



6 PROFILO DI TEMPERATURA

La temperatura diminuisce lungo la lunghezza dell'aletta.



8 VANTAGGI E LIMITI

- ✓ Aumentano la superficie di scambio
- ✓ Migliorano il trasferimento di calore
- ✓ Utili con h moderato
- ✗ Maggiore ingombro
- ✗ Costo più elevato
- ✗ Possibile accumulo di polvere e sporcizia

Sempre un compromesso!



DA MEMORIZZARE:



Le alette migliorano lo scambio aumentando l'area, ma la loro efficacia dipende da materiale e geometria.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



TRANSITORIO TERMICO E CAPACITÀ CONCENTRATA

Dalla teoria alla pratica

QUANDO LA TEMPERATURA CAMBIA NEL TEMPO

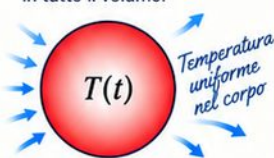
1 REGIME TRANSITORIO

Le temperature non sono costanti nel tempo, ma variano fino al raggiungimento dell'equilibrio termico.



2 CAPACITÀ CONCENTRATA

Si assume il corpo quasi isoterma internamente, cioè la temperatura è uniforme in tutto il volume.



3 CRITERIO DI BIOT

L'approssimazione a capacità concentrata è valida se:

$$Bi < 0,1$$

$$Bi = \frac{hL_c}{k}$$

h = coefficiente di scambio $[W/m^2K]$

L_c = lunghezza caratteristica $[m]$

k = conducibilità termica $[W/mK]$

4 LEGGE TEMPORALE

La temperatura varia nel tempo secondo una legge esponenziale.

$$\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-t/\tau}$$

T = temperatura del corpo $[^\circ C]$

T_∞ = temperatura ambiente $[^\circ C]$

T_i = temperatura iniziale $[^\circ C]$

τ = costante di tempo $[s]$

5 COSTANTE DI TEMPO

La costante di tempo dipende dalle proprietà del corpo e dal coefficiente di scambio termico.

$$\tau = \frac{\rho c V}{h A}$$

ρ = densità $[kg/m^3]$

c = calore specifico $[J/kgK]$

V = volume $[m^3]$

h = coeff. di scambio $[W/m^2K]$

A = area di scambio $[m^2]$

7 INERZIA TERMICA

La massa (o volume) e il calore specifico influenzano la rapidità della risposta: maggiore è $\rho c V$, più lenta sarà la variazione di temperatura.



Maggiore inerzia termica = risposta più lenta

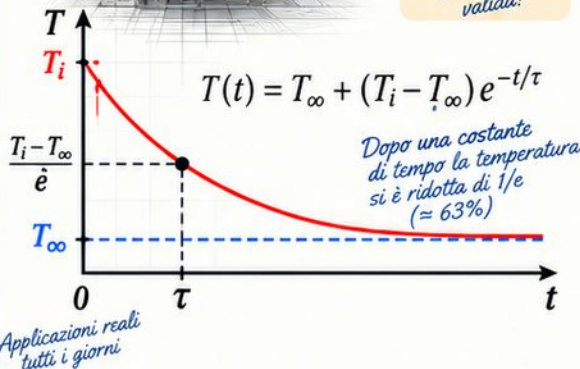
9 ESEMPI PRATICI

- sonda termica
- raffreddamento di una sfera
- pezzo metallico
- bevanda calda



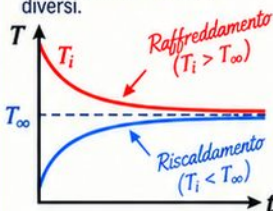
Applicazioni reali tutti i giorni

TEMPERATURA VARIA NEL TEMPO



6 RISCALDAMENTO E RAFFREDDAMENTO

La stessa legge vale sia per il raffreddamento ($T_i > T_\infty$) sia per il riscaldamento ($T_i < T_\infty$), verso valori di equilibrio diversi.



8 GRAFICO T(t)

La temperatura segue una curva esponenziale che si avvicina asintoticamente alla temperatura ambiente.



10 IDEA CHIAVE

Il transitorio termico descrive come velocemente un sistema si avvicina alla temperatura ambiente.



DA MEMORIZZARE:

“ Nel transitorio termico la temperatura evolve nel tempo e la costante τ governa la rapidità della risposta. ”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



ISOLAMENTO TERMICO E MATERIALI ISOLANTI

*Dalla teoria
alla pratica*

RIDURRE LE PERDITE DI CALORE

1 OBIETTIVO

Limitare le dispersioni termiche e migliorare l'efficienza energetica di edifici, impianti e processi industriali.



2 PROPRIETÀ CHIAVE

Bassa conducibilità termica k .

$$k \text{ bassa}$$

$$[W / (m \cdot K)]$$

Minore è k , migliore è il potere isolante del materiale.

Materiali che frenano il calore

3 MATERIALI TIPICI

- lana di roccia
- polistirene (EPS/XPS)
- poliuretano (PUR)
- fibra ceramica
- aerogel

Soluzioni per ogni applicazione



4 SPESSORE

Aumentando lo spessore L cresce la resistenza termica.

$$R = \frac{L}{kA}$$

R = resistenza termica $[m^2K/W]$

L = spessore isolante $[m]$

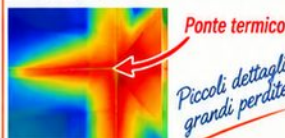
k = conducibilità termica $[W/mK]$

A = area $[m^2]$

Più spesso più efficace

5 PONTI TERMICI

Zone sfavorite dove il calore bypassa l'isolamento a causa di discontinuità costruttive, materiali più conduttivi o giunzioni non corrette.



8 APPLICAZIONI

- edilizia (pareti, tetti, solai)
- tubazioni e condotte
- serbatoi e accumuli
- forni e impianti industriali
- impianti criogenici (LNG, gas tecnici)



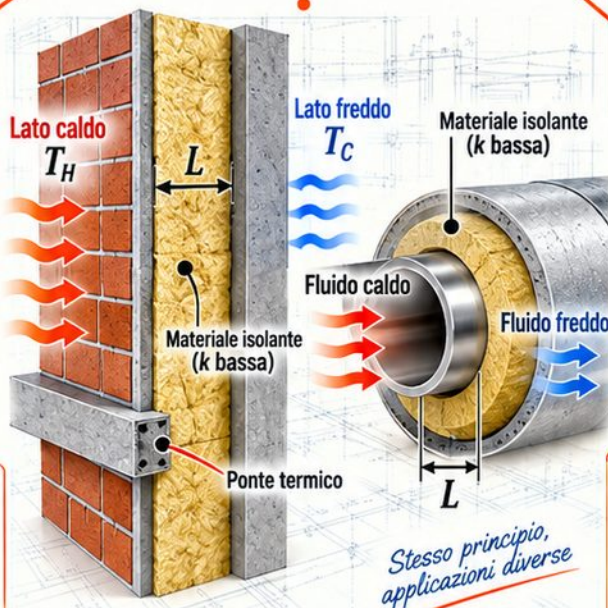
9 EFFETTO SUL SISTEMA

Minore flusso termico Q , minori consumi energetici e migliori prestazioni del sistema.

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

Meno Q più risparmio

RIDURRE IL FLUSSO TERMICO



6 VANTAGGI

- ✓ risparmio energetico
- ✓ maggiore comfort termico
- ✓ sicurezza (meno superfici calde)
- ✓ controllo di processo
- ✓ riduzione delle emissioni di CO_2



Efficienza oggi, ambiente domani

7 VINCOLI

- umidità (rischio di degrado)
- temperatura d'esercizio
- costo
- resistenza al fuoco (incendio)
- resistenza meccanica
- durata nel tempo

Scegliere in base alle condizioni reali

10 IDEA CHIAVE

Scegliere bene materiale e spessore significa controllare lo scambio termico e ottenere sistemi più efficienti, affidabili e sostenibili.



La scelta giusta fa la differenza



DA MEMORIZZARE:



L'isolamento termico riduce Q aumentando la resistenza allo scambio.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



SINTESI DELLA TRASMISSIONE DEL CALORE

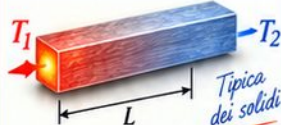
Dalla teoria alla pratica

TRE MECCANISMI, UN SOLO OBIETTIVO

1 CONDUZIONE

Domina nei solidi e dipende da k , A , L , ΔT .

$$\dot{Q} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

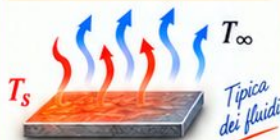


Tipica dei solidi

2 CONVEZIONE

Domina nello scambio superficie-fluido e dipende da h .

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty)$$

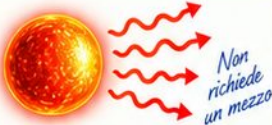


Tipica dei fluidi

3 IRRAGGIAMENTO

Importante ad alte temperature e dipende da ϵ e T^4 .

$$\dot{Q} = \epsilon \sigma A(T_s^4 - T_{amb}^4)$$



Non richiede un mezzo

4 FORMULE CHIAVE

Fourier (conduzione)

$$\dot{Q} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

Newton (convezione)

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty)$$

Stefan-Boltzmann (irraggiamento)

$$\dot{Q} = \epsilon \sigma A(T_s^4 - T_{amb}^4)$$

5 QUANDO DOMINA

Scegliere il meccanismo prevalente aiuta il progetto.



Conduzione
solidi, contatto diretto



Convezione
superficie-fluido, moti del fluido



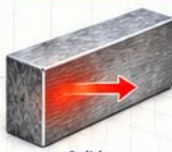
Irraggiamento
alte temperature, grandi distanze

Valuta sempre il contesto!

CONDUZIONE + CONVEZIONE + IRRAGGIAMENTO

STESSO OBIETTIVO: TRASFERIRE ENERGIA TERMICA

CONDUZIONE



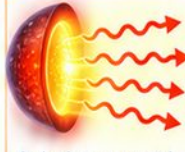
Solido

CONVEZIONE



Fluidi in moto

IRRAGGIAMENTO



Onde elettromagnetiche

Tre meccanismi, un unico risultato:
lo scambio di calore.

Spesso agiscono insieme!

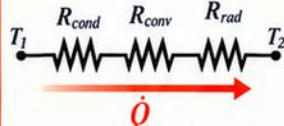
6 COMBINAZIONI REALI

Nella maggior parte dei casi i tre meccanismi agiscono insieme.



7 RETE TERMICA

Utile per semplificare sistemi complessi.



Modello semplice ed efficace!

8 APPLICAZIONI

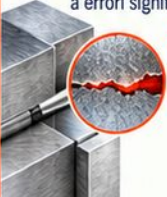
- scambiatori di calore
- edifici e isolamento termico
- elettronica e raffreddamento
- energia solare
- refrigerazione e climatizzazione
- processi industriali

Dalla piccola alla grande scala



9 ERRORE COMUNE

Trascurare il meccanismo dominante o le resistenze di contatto può portare a errori significativi.



- ✗ Meccanismo dominante ignorato
- ✗ Resistenze di contatto trascurate

Piccoli dettagli, grandi effetti!

10 MESSAGGIO FINALE

Capire il meccanismo corretto permette di controllare meglio il calore.



- ✓ Analizza il sistema
- ✓ Individua il meccanismo dominante
- ✓ Usa il modello corretto
- ✓ Progetta soluzioni efficaci

Conoscere per progettare meglio!



DA MEMORIZZARE:



Capire il meccanismo dominante permette di controllare meglio lo scambio termico.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



MECCANICA DEI FLUIDI

*Dalla teoria
alla pratica*

PROPRIETÀ, FLUSSI E TUBAZIONI

1 DEFINIZIONE

La meccanica dei fluidi studia il comportamento dei fluidi in quiete (statica) e in moto (dinamica), e le loro interazioni con le superfici e i sistemi di trasporto.



2 PROPRIETÀ FONDAMENTALI

- **Densità:** $\rho = \frac{m}{V}$ [kg/m³]
Massa per unità di volume
- **Viscosità:** resistenza al moto
 - dinamica μ [Pa·s]
 - cinematica $\nu = \mu/\rho$ [m²/s]
- **Pressione:** forza per unità di area

$$p = \frac{F}{A} \text{ [Pa]}$$



Proprietà che definiscono il comportamento!

3 GRANDEZZE DI FLUSSO

- **Portata volumetrica:**

$$Q = A \cdot v \text{ [m}^3/\text{s]}$$

A = area
 v = velocità media

- **Portata massica:**

$$\dot{m} = \rho Q \text{ [kg/s]}$$



Il flusso mette in moto il mondo!

4 STATICA DEI FLUIDI

- **Pressione:**

$$p = \frac{F}{A} \text{ [Pa]}$$

- **Legge di Stevino:**

$$p = p_0 + \rho gh$$

La pressione aumenta con la profondità!



MECCANICA DEI FLUIDI



Dai principi alle applicazioni reali!

5 DINAMICA DEI FLUIDI

- **Equazione di continuità** (con fluido incompressibile):

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

- **Equazione di Bernoulli** (lungo una linea di corrente):

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{costante}$$

- **Perdite di carico:**

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2}$$

f = fattore d'attrito
 L = lunghezza della condotta
 D = diametro

Ogni flusso incontra resistenza!

6 APPLICAZIONI

- Pompe e sistemi di pompaggio
- Condotte e reti di distribuzione
- Sistemi HVAC (riscaldamento, ventilazione, climatizzazione)
- Impianti industriali (chimica, energia, trattamento acque)
- Oleodinamica e pneumatica
- Trasporto di fluidi e gas



Pompe



Tubazioni



Impianti industriali



Sistemi HVAC

I fluidi muovono l'industria e la vita quotidiana!



DA MEMORIZZARE:



La meccanica dei fluidi unisce la teoria alla realtà, dai principi fisici alle applicazioni che ci circondano.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



PROPRIETÀ DEI FLUIDI

Dalla teoria alla pratica

DENSITÀ, VISCOSITÀ, COMPRIMIBILITÀ E TENSIONE SUPERFICIALE

1 DENSITÀ

- La **densità** (massa volumica) è la massa di fluido per unità di volume.
- Dipende da temperatura e pressione.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

- Il **peso specifico** è il peso per unità di volume.

$$\gamma = \rho g \quad [\text{N/m}^3]$$



Acqua $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$
Olio $\rho \approx 850 \text{ kg/m}^3$

Stessa grandezza, masse diverse!

2 VISCOSITÀ

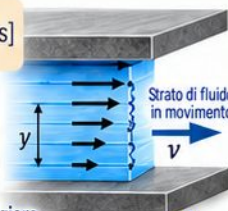
- La **viscosità** misura la resistenza interna del fluido allo scorrimento.
- Viscosità dinamica** μ : sforzo di taglio per gradiente di velocità.

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}]$$

- Viscosità cinematica:**

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

- Maggiore viscosità = maggiore resistenza al moto.



La viscosità rallenta il flusso!

3 COMPRIMIBILITÀ

- La **comprimibilità** indica la variazione di volume al variare della pressione.
- Si usa il modulo di comprimibilità (modulo di volume):

$$K = -V \frac{dp}{dV} \quad [\text{Pa}]$$

- I **liquidi** sono quasi incompressibili (K molto elevato).
- I **gas** sono facilmente comprimibili (K basso).

I liquidi si comprimono poco, i gas molto!



Liquido (ΔV molto piccolo)



Gas (ΔV significativo)

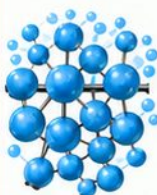
4 TENSIONE SUPERFICIALE E CAPILLARITÀ

- La **tensione superficiale** è la forza per unità di lunghezza che agisce sulla superficie del fluido.

$$\sigma = \frac{F}{L} \quad [\text{N/m}]$$

- È dovuta alle forze di coesione tra le molecole.
- La **capillarità** causa la risalita o discesa del liquido in tubi sottili.

La superficie del fluido si comporta come una pellicola elastica!



Molecole della superficie



Risalita nei liquidi che bagnano il tubo (es. acqua)



Discesa nei liquidi che non bagnano il tubo (es. mercurio)

5 PRESSIONE DI VAPORE E CAVITAZIONE

- La **pressione di vapore** è la pressione alla quale il fluido passa allo stato di vapore.
- La **cavitazione** avviene quando la pressione locale scende sotto la pressione di vapore, formando bolle di vapore che poi implodono.



Effetti della cavitazione:

- Rumore e vibrazioni
- Erosione delle superfici
- Perdita di efficienza
- Danneggiamento di pompe e turbine

Controllare la pressione per evitare la cavitazione!

6 EFFETTI PRATICI

- Le proprietà dei fluidi influenzano molte applicazioni ingegneristiche.



LUBRIFICAZIONE

La viscosità riduce l'usura e dissipa calore.



POMPAFFIO

La densità e la viscosità influenzano la potenza richiesta.



MISURA

Densità, pressione e viscosità sono parametri chiave nei sistemi di misura.



PROCESSI INDUSTRIALI

Le proprietà dei fluidi determinano il comportamento in scambiatori, reattori, tubazioni e separatori.

Conoscere le proprietà dei fluidi significa progettare meglio!



DA MEMORIZZARE:



Densità, viscosità, comprimibilità, tensione superficiale e pressione di vapore determinano il comportamento dei fluidi in ogni applicazione.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



STATICA DEI FLUIDI E PRESSIONE

Dalla teoria alla pratica

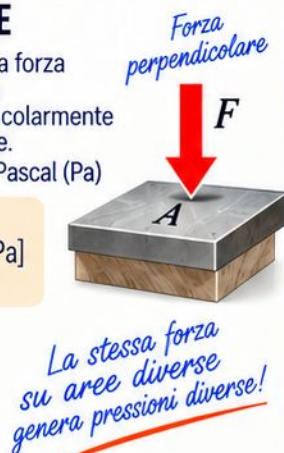
LEGGI FONDAMENTALI E DISTRIBUZIONE IDROSTATICA

1 PRESSIONE

- La pressione è la forza per unità di area agente perpendicolarmente su una superficie.
- Unità di misura: Pascal (Pa)

$$p = \frac{F}{A} \quad [\text{Pa}]$$

F = forza [N]
 A = area [m²]



2 LEGGE DI STEVINO

- La pressione in un fluido in quiete aumenta linearmente con la profondità.
- Valida per fluidi incompressibili a densità costante.

$$p = p_0 + \rho gh$$

p_0 = pressione alla superficie [Pa]
 ρ = densità del fluido [kg/m³]
 g = accelerazione di gravità [m/s²]
 h = profondità [m]

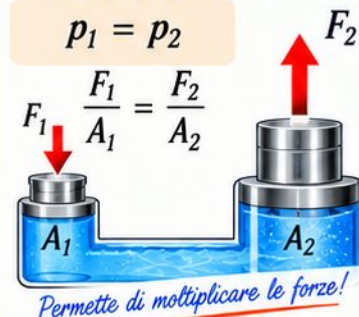


3 PRINCIPIO DI PASCAL

- Una variazione di pressione in un fluido confinato si trasmette integralmente e in tutte le direzioni.

$$p_1 = p_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

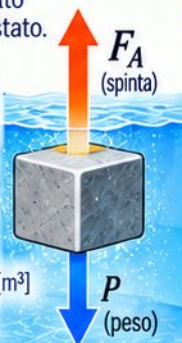


4 SPINTA DI ARCHIMEDE

- Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto pari al peso del fluido spostato.

$$F_A = \rho g V_{\text{spostato}}$$

F_A = spinta di Archimede [N]
 ρ = densità del fluido [kg/m³]
 g = accelerazione di gravità [m/s²]
 V_{spostato} = volume di fluido spostato [m³]



Un corpo galleggia se la spinta eguaglia il suo peso!

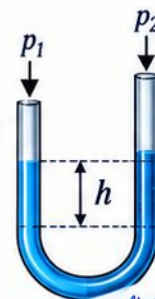
STATICA DEI FLUIDI

5 MANOMETRI E MISURE DI PRESSIONE

- I manometri misurano la pressione di un fluido rispetto alla pressione atmosferica.
- Tipo a tubo di U (fluido manometrico):

$$\Delta p = \rho_m gh$$

Δp = differenza di pressione [Pa]
 ρ_m = densità del fluido manometrico
 g = accelerazione di gravità [m/s²]
 h = dislivello [m]



Misura semplice, grande utilità!

6 APPLICAZIONI

- Serbatoi e torri piezometriche (distribuzione della pressione)
- Dighe (spinta idrostatica)
- Martinetti idraulici (trasmissione della pressione)
- Galleggiamento di navi e corpi
- Misurazione della pressione in impianti e condotte



Stessi principi, tante applicazioni nella vita reale!



DA MEMORIZZARE:



Nei fluidi in quiete la pressione aumenta con la profondità, si trasmette ovunque e genera una spinta verso l'alto.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
 SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
 E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
 E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



EQUAZIONE DI CONTINUITÀ

Dalla teoria alla pratica

CONSERVAZIONE DELLA MASSA NEI FLUSSI

1 PORTATA MASSICA

- La portata massica è la massa di fluido che attraversa una sezione nell'unità di tempo.

$$\dot{m} = \rho A v \quad [\text{kg/s}]$$

- $\dot{m}$ = portata massica [kg/s]
- ρ = densità del fluido [kg/m³]
- A = area della sezione [m²]
- v = velocità media [m/s]



Più area e velocità, più massa in movimento!

2 FLUIDO INCOMPRESSIBILE

- Per un fluido incompressibile (densità costante) la portata si conserva lungo la condotta:

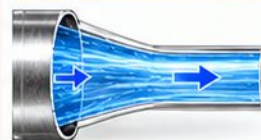
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

- Se la sezione diminuisce aumenta la velocità.
- Se la Sezione aumenta diminuisce la velocità.

La massa si conserva sempre!

3 CONDOTTE CONVERGENTI E DIVERGENTI

Condotta convergente (sezione in diminuzione)



$$A_2 < A_1 \Rightarrow v_2 > v_1$$

Il fluido accelera!

Condotta divergente (sezione in aumento)

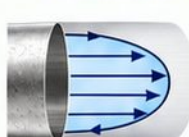


$$A_2 > A_1 \Rightarrow v_2 < v_1$$

Il fluido rallenta!

4 SEZIONI, VELOCITÀ MEDIA E PROFILO DI VELOCITÀ

- La velocità indicata nell'equazione è la velocità media sulla sezione.
- Nei condotti reali il profilo di velocità non è uniforme (tipicamente parabolico nei tubi).



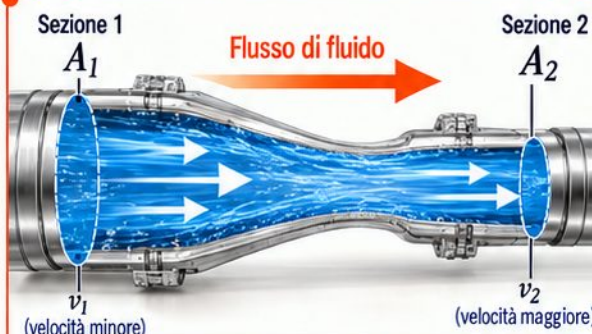
Profilo di velocità tipico (moto laminare)



Sezione trasversale di area A

La velocità varia nella sezione!

CONTINUITÀ



$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 = \dot{m} = \text{costante}$$

Stessa massa, in ogni sezione!

5 UGELLI E DIFFUSORI

Ugello (convergente)



- Trasforma pressione in velocità.
- Usato per aumentare la velocità del fluido.
- Esempi: ugelli, getti, eiettori.

Diffusore (divergente)



- Trasforma velocità in pressione.
- Rallenta il fluido aumentando la sezione.
- Esempi: diffusori, recuperatori di pressione.

Geometria che controlla l'energia del fluido!

6 APPLICAZIONI PRATICHE

- Reti di tubazioni (distribuzione acqua, gas, oli)
- Impianti di ventilazione e condizionamento
- Pompe e sistemi di pompaggio
- Scambiatori di calore e impianti industriali
- Misura della portata (venturimetri, diaframmi)
- Impianti antincendio e reti idriche



Reti di tubazioni



Ventilazione HVAC



Pompe



Misura di portata (venturimetro)

Stessi principi, applicazioni infinite!



DA MEMORIZZARE:



In un flusso stazionario, la massa si conserva: la portata è la stessa in ogni sezione della condotta.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



EQUAZIONE DI BERNOULLI

Dalla teoria alla pratica

ENERGIA DEL FLUIDO LUNGO UNA LINEA DI CORRENTE

1 FORMULA DI BERNOULLI

Lungo una linea di corrente per un fluido incompressibile, stazionario e non viscoso:

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{costante}$$

p = pressione statica [Pa]
 ρ = densità del fluido [kg/m³]
 g = accelerazione di gravità [m/s²]
 v = velocità del fluido [m/s]
 z = quota (altezza) [m]

La somma delle energie rimane costante!

2 SIGNIFICATO DEI TERMINI

Ogni termine rappresenta una forma di energia per unità di peso del fluido:

z

Quota (energia potenziale)
 z = altezza rispetto a un piano di riferimento [m]

$\frac{p}{\rho g}$

Pressione (energia di pressione)
 $p/\rho g$ = altezza di carico dovuta alla pressione [m]

$\frac{v^2}{2g}$

Velocità (energia cinetica)
 $v^2/2g$ = altezza di carico dovuta alla velocità [m]

Tre forme di energia, una sola somma!

3 BERNOULLI REALE (CON PERDITE)

Nei sistemi reali si considerano le perdite di carico e le macchine che scambiano energia:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + h_p - h_t - h_f = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

h_p = altezza di carico aggiunta da una pompa [m]
 h_t = altezza di carico sottratta da una turbina [m]
 h_f = perdite di carico (attrito e perdite localizzate) [m]

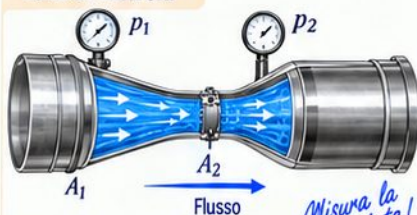


Nella realtà l'energia si trasforma!

4 TUBO DI VENTURI E TUBO DI PITOT

Il tubo di Venturi sfrutta la variazione di sezione per misurare la portata. Il tubo di Pitot misura la pressione totale (di ristagno).

TUBO DI VENTURI

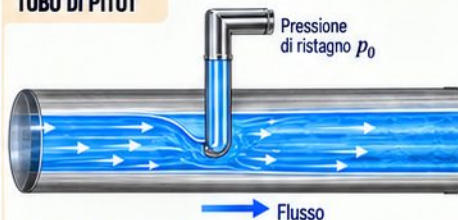


Nel restringimento la velocità aumenta e la pressione diminuisce.

$$Q = C_d A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad C_d = \text{coefficiente di efflusso}$$

Misura la portata!

TUBO DI PITOT



Misura la velocità del fluido confrontando la pressione di ristagno con quella statica.

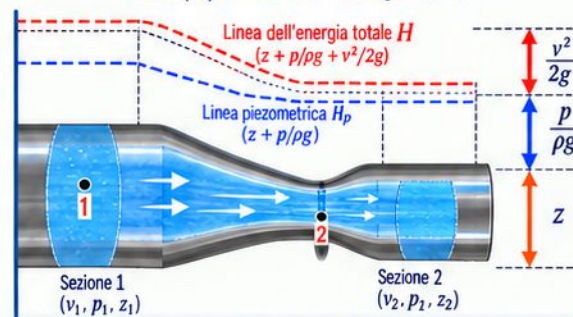
$$v = \sqrt{\frac{2(p_0 - p)}{\rho}}$$

Semplice, efficace, indispensabile!

BERNOULLI

5 INTERPRETAZIONE ENERGETICA

La linea piezometrica (H_p) rappresenta la somma dell'energia di quota e di pressione. La linea dell'energia totale (H) include anche l'energia cinetica.



L'energia si trasforma lungo il percorso!

6 APPLICAZIONI

L'equazione di Bernoulli è fondamentale in molte applicazioni dell'ingegneria:

MISURATORI DI PORTATA

- Tubi di Venturi
- Orifizi e diaframmi
- Tubi di Pitot

Misurare per controllare!



CONDOTTE E RETI IDRAULICHE

- Calcolo delle pressioni
- Dimensionamento
- Analisi di perdite di carico

Progettare sistemi sicuri e affidabili!



AERODINAMICA DI BASE

- Portanza sugli aeroplani
- Profilo alare
- Effetto Venturi e depressioni



L'equazione che fa volare le idee!



DA MEMORIZZARE:

“Lungo una linea di corrente l'energia totale del fluido si conserva, modificandosi solo per effetto di perdite o macchine.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



PERDITE DI CARICO

*Dalla teoria
alla pratica*

ATTRITO, RUGOSITÀ E RESISTENZE LOCALI

1 PERDITE DISTRIBUITE

- Dovute all'attrito tra il fluido e le pareti della condotta, lungo la lunghezza del tubo.
- Dipendono da lunghezza, diametro, velocità, viscosità e rugosità.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

h_f = perdita distribuita [m]
 f = fattore di attrito [-]
 L = lunghezza tubo [m]
 D = diametro interno [m]
 v = velocità media [m/s]
 g = 9,81 [m/s²]



*Più lunga la condotta,
più perdite!*

2 PERDITE LOCALIZZATE

- Dovute a curve, valvole, raccordi, allargamenti, restringimenti e altri componenti.
- Si esprimono tramite un coefficiente di perdita K , che dipende dalla geometria.

$$h_m = K \cdot \frac{v^2}{2g}$$

h_m = perdita localizzata [m]
 K = coefficiente di perdita [-]
 v = velocità media [m/s]
 g = 9,81 [m/s²]

*Ogni componente
introduce una resistenza!*



3 FATTORE DI ATTRITO E NUMERO DI REYNOLDS

- Il fattore di attrito f dipende dal numero di Reynolds e dalla rugosità relativa.
- Regimi di moto:
 - Laminare: $Re < 2.300$ $f = 64/Re$
 - Transizione: $2.300 < Re < 4.000$
 - Turbolento: $Re > 4.000$ f da diagramma di Moody

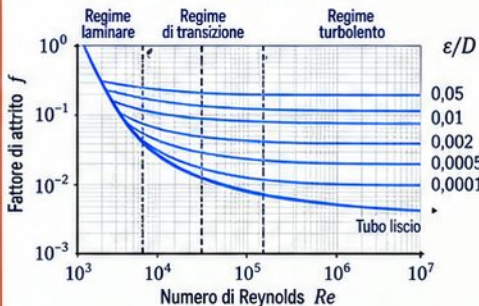
$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

ρ = densità del fluido [kg/m³]
 v = velocità media [m/s]
 D = diametro [m]
 μ = viscosità dinamica [Pa·s]

*Il numero di Reynolds
definisce il regime di moto!*

4 RUGOSITÀ RELATIVA E DIAGRAMMA DI MOODY

- La rugosità relativa ϵ/D influenza il fattore di attrito nel regime turbolento.
- Il diagramma di Moody fornisce il valore di f in funzione di Re e di ϵ/D .



*Più rugosa la superficie,
maggiori sono le perdite!*

PERDITE DI CARICO



*La pressione diminuisce lungo il percorso
a causa delle perdite di carico!*

5 COMPONENTI CHE GENERANO PERDITE

- Ogni discontinuità nel percorso del fluido genera perdite localizzate.
- Il valore di K dipende dalla geometria e dalle condizioni di flusso.

Curva a 90°	Curva a 45°	Valvola a sfera
$K \approx 0,3 \div 1,0$	$K \approx 0,2 \div 0,4$	$K \approx 0,05 \div 0,2$
Valvola a saracinesca (tutta aperta)	Restringimento (conico)	Allargamento (conico)
$K \approx 0,1 \div 0,3$	$K \approx 0,1 \div 0,5$	$K \approx 0,1 \div 0,3$

Ogni accessorio ha la sua resistenza!

6 EFFETTI PRATICI SUL DIMENSIONAMENTO

- Le perdite di carico influenzano la scelta del diametro delle tubazioni e la potenza delle pompe.
- Un maggiore diametro riduce la velocità e quindi le perdite, ma aumenta i costi.
- La somma delle perdite distribuite e localizzate determina il salto di pressione richiesto alla pompa.
- È necessario verificare che la pompa fornisca la prevalenza totale: $H_{tot} = (h_f + \sum h_m) + \Delta z$

$$P = \rho g Q H_{tot}$$

P = potenza idraulica [W]
 ρ = densità del fluido [kg/m³]
 g = 9,81 [m/s²]
 Q = portata [m³/s]
 H_{tot} = prevalenza totale [m]



*Minori perdite
garantiscono
maggiore efficienza!*



DA MEMORIZZARE:



Le perdite di carico sono inevitabili, ma possono essere ridotte con una corretta progettazione!



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



REGIMI DI MOTO E NUMERO DI REYNOLDS

*Dalla teoria
alla pratica*

FLUSSO LAMINARE, TRANSITORIO E TURBOLENTO

1 NUMERO DI REYNOLDS

Il numero di Reynolds (Re) è un parametro adimensionale che esprime il rapporto tra le forze di inerzia e le forze viscosse nel moto di un fluido.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

ρ = densità del fluido [kg/m³]

v = velocità media [m/s]

D = diametro caratteristico [m]

μ = viscosità dinamica [Pa·s]

*Un solo
numero,
grandi
informazioni!*

2 FLUSSO LAMINARE

- $Re < 2300$
- Il fluido si muove in strati paralleli e ordinati.
- Le linee di corrente sono regolari e stabili.
- Dominano le forze viscosse.
- Tipico di bassi valori di velocità e piccoli diametri.

*Moto ordinato
e prevedibile!*

3 FLUSSO TRANSITORIO

- Circa 2300 – 4000
- Condizione intermedia tra laminare e turbolento.
- Il moto diventa instabile e sensibile alle perturbazioni.
- Piccole variazioni possono far passare da laminare a turbolento e viceversa.

*Zona di transizione,
moto instabile!*

4 FLUSSO TURBOLENTO

- $Re > 4000$
- Il fluido si muove in modo irregolare e caotico.
- Si formano vortici e fluttuazioni di velocità in tutte le direzioni.
- Dominano le forze di inerzia.
- Tipico di alte velocità, grandi diametri e fluidi poco viscosi (es. acqua, aria).

*Moto caotico
e altamente miscelato!*

FLUSSO LAMINARE ($Re < 2300$)



Linee di corrente ordinate e parallele

Da strati ordinati...

REGIMI DI MOTO

STESSO TUBO, TRE COMPORTAMENTI DIVERSI

FLUSSO TRANSITORIO ($Re \approx 2300 - 4000$)



Struttura instabile con zone ordinate e vortici

FLUSSO TURBOLENTO ($Re > 4000$)



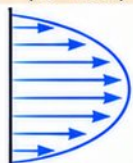
Linee di corrente irregolari e vortici

... a vortici caotici!

5 PROFILI DI VELOCITÀ E MESCOLAMENTO

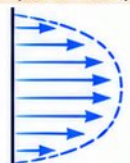
La distribuzione della velocità nella sezione del tubo cambia a seconda del regime di moto.

Laminare
($Re < 2300$)



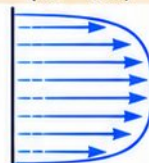
Profilo parabolico
 $v_{\max} = 2 v_{\text{media}}$

Transitorio
(2300 – 4000)



Profilo variabile
Struttura instabile

Turbolento
($Re > 4000$)



Profilo più piatto
 $v_{\max} \approx 1,2 v_{\text{media}}$

Laminare
(poco mescolamento)



*Nel regime turbolento il mescolamento
del fluido è molto più intenso!*

Turbolento
(forte mescolamento)



6 CONSEGUENZE SU ATTRITO, SCAMBIO TERMICO E PERDITE

- Nel regime turbolento aumentano l'attrito tra fluido e pareti e le perdite di carico.
- Il coefficiente di scambio termico è generalmente più alto in regime turbolento grazie al maggiore mescolamento.
- La scelta del regime di moto influisce sulla progettazione di tubazioni, scambiatori di calore e sistemi di pompaggio.

*Il regime di moto influenza
prestazioni ed efficienza!*



DA MEMORIZZARE:



Il numero di Reynolds ci permette di prevedere il regime di moto e di progettare sistemi più efficienti e sicuri.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



MISURA DELLA PORTATA

Dalla teoria alla pratica

STRUMENTAZIONE E TECNICHE DI MISURA NEI FLUIDI

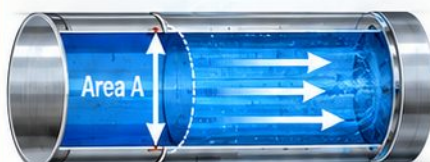
1 PORTATA VOLUMETRICA

La portata volumetrica è il volume di fluido che attraversa una sezione nell'unità di tempo.

$$Q = A \cdot v \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

A = area della sezione $[\text{m}^2]$

v = velocità media del fluido $[\text{m/s}]$

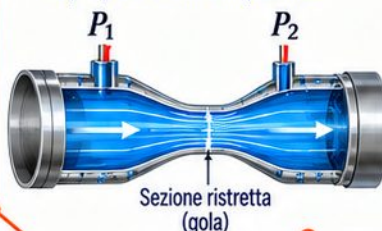


Velocità v

Più sezione o più velocità, maggiore portata!

2 VENTURIMETRO

- Sfrutta l'effetto Venturi: il fluido accelera nella sezione ristretta e la pressione diminuisce.
- La differenza di pressione Δp è proporzionale alla portata.



$$Q = C \cdot A_t \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

C = coefficiente di scarico

A_t = area della gola $[\text{m}^2]$

Δp = differenza di pressione $[\text{Pa}]$

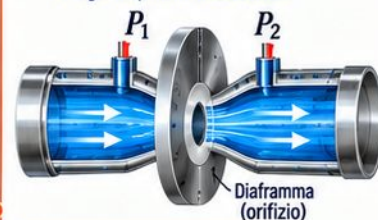
ρ = densità del fluido $[\text{kg}/\text{m}^3]$

β = rapporto diametri (d_t/D)

Semplice, robusto e affidabile!

3 DIAFRAMMA / ORIFIZIO

- Piastra con foro che crea una riduzione di sezione e una caduta di pressione.
- Soluzione economica e diffusa negli impianti industriali.



$$Q = C \cdot A_o \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

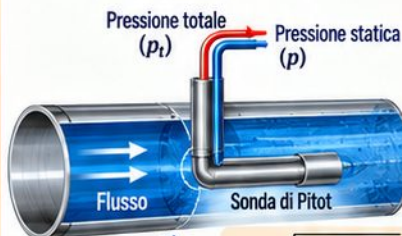
A_o = area dell'orifizio

$\beta = d/D$

Molto usato in industria!

4 TUBO DI PITOT

- Misura la velocità del fluido tramite la pressione di ristagno (pressione totale).
- La differenza tra pressione totale e statica fornisce la velocità.
- Utile per misure in condotte e canali, soprattutto nei gas.



Misura la velocità direttamente nel flusso!

$$v = \sqrt{\frac{2(p_t - p)}{\rho}}$$

5 ROTAMETRO E MISURATORI INDUSTRIALI

- Rotametro: misura la portata tramite un galleggiante in un tubo conico verticale.
- Altri misuratori: elettromagnetici, a ultrasuoni, a turbina, a coriolis, a vortici, ecc.

Tecnologie diverse per ogni esigenza!



Rotametro



Misuratore elettromagnetico



Misuratore a ultrasuoni



Misuratore a turbina

6 SENSORI, PRECISIONE ED ERRORI DI MISURA

- La scelta dello strumento dipende da fluido, campo di misura, precisione, costo e condizioni di esercizio.
- Principali fonti di errore:
 - taratura e incertezza strumento
 - condizioni di installazione (tratti rettilinei)
 - variazioni di temperatura e densità
 - vibrazioni e turbolenze
 - usura e sporcamento

Precisione tipica (indicativa)

- Rotametro: $\pm 2-5\%$
- Venturimetro: $\pm 1-2\%$
- Diaframma: $\pm 2-4\%$
- Elettromagnetico: $\pm 0,5-1\%$
- Ultrasuoni: $\pm 1-3\%$
- Turbina: $\pm 0,5-1\%$
- Coriolis (massa): $\pm 0,1-0,5\%$

Misurare bene significa controllare meglio il processo!



DA MEMORIZZARE:



La portata si misura con diversi principi fisici: la scelta corretta garantisce affidabilità, efficienza e controllo del processo.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



POMPE E MACCHINE IDRAULICHE

Dalla teoria alla pratica

PREVALENZA, RENDIMENTO E CAVITAZIONE

1 PREVALENZA H E POTENZA IDRAULICA

- La prevalenza H è l'energia per unità di peso fornita al fluido dalla pompa.
- Potenza idraulica:

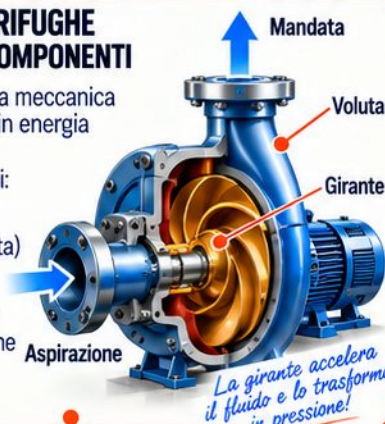
$$P = \rho g Q H \quad [\text{W}]$$

ρ = densità del fluido [kg/m^3]
 g = accelerazione di gravità [m/s^2]
 Q = portata volumetrica [m^3/s]
 H = prevalenza [m]

Più portata e più prevalenza, più potenza!

2 POMPE CENTRIFUGHE PRINCIPIO E COMPONENTI

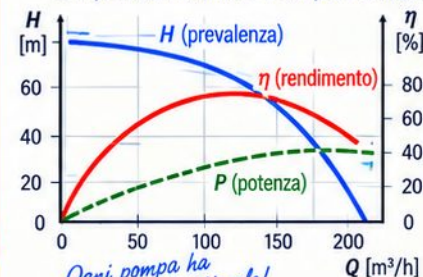
- Trasformano l'energia meccanica di un albero rotante in energia idraulica del fluido.
- Principali componenti:
 - Girante (rotore)
 - Corpo pompa (voluta)
 - Albero
 - Tenute meccaniche
 - Bocche di aspirazione e mandata



La girante accelera il fluido e lo trasforma in pressione!

3 CURVE CARATTERISTICHE Q - H - η

- Le curve mostrano come variano la prevalenza (H), il rendimento (η) e la potenza al variare della portata (Q).



Ogni pompa ha il suo punto ottimale!

5 NPSH E CAVITAZIONE

- Il NPSH (Net Positive Suction Head) è la prevalenza netta disponibile in aspirazione.
- Se la pressione scende sotto la pressione di vapore, si formano bolle di vapore che possono implodere causando danni: è la cavitazione.

$$NPSH = \frac{p_{asp} - p_{vap}}{\rho g} + \frac{v_{asp}^2}{2g}$$



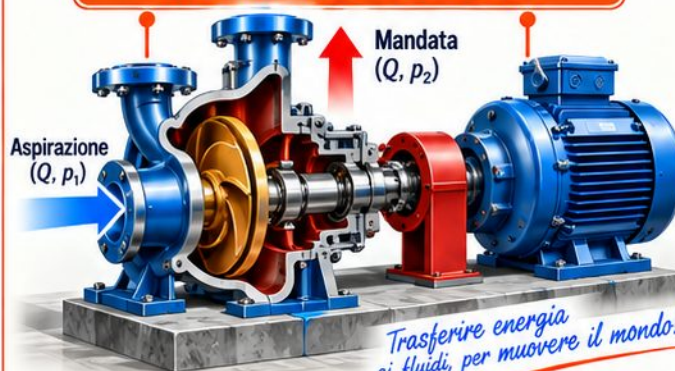
Girante nuova



Girante danneggiata da cavitazione

Evita la cavitazione con un NPSH adeguato!

POMPE E MACCHINE IDRAULICHE



Trasferire energia ai fluidi, per muovere il mondo!

4 RENDIMENTO GLOBALE E PERDITE

- Il rendimento globale η tiene conto di tutte le perdite (idrauliche, meccaniche e volumetriche).

$$\eta = \frac{P_{idraulica}}{P_{assorbita}} = \frac{\rho g Q H}{P_{assorbita}}$$

- Perdite idrauliche: turbolenze, attriti nella pompa e nelle tubazioni
- Perdite meccaniche: attriti nei cuscinetti e nelle tenute
- Perdite volumetriche: trafileamenti interni

Rendimento alto = maggiore efficienza e minori costi!

6 APPLICAZIONI

- Sollevamento di acqua (acquedotti, irrigazione)
- Circolazione in impianti HVAC (riscaldamento, ventilazione, climatizzazione)
- Impianti industriali (processi chimici, petrolchimici)
- Impianti antincendio e di servizio
- Movimentazione di liquidi in generale



Acquedotti e sollevamento



Impianti industriali



HVAC e climatizzazione



Impianti antincendio



DA MEMORIZZARE:



Le pompe trasformano energia meccanica in energia idraulica, per sollevare, trasferire e far circolare i fluidi.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



APPLICAZIONI DELLA MECCANICA DEI FLUIDI

*Dalla teoria
alla pratica*

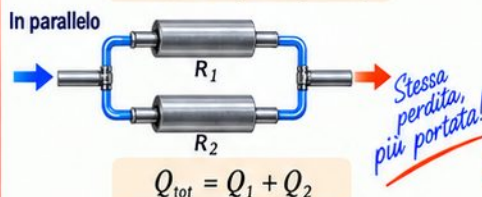
TUBAZIONI, RETI E SISTEMI INDUSTRIALI

1 RETI DI TUBAZIONI IN SERIE E IN PARALLELO

- In serie:** stessa portata attraverso tutte le sezioni, le perdite si sommano.
- In parallelo:** stessa perdita di carico, la portata si divide.



$$\Delta p_{tot} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3$$



$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2$$

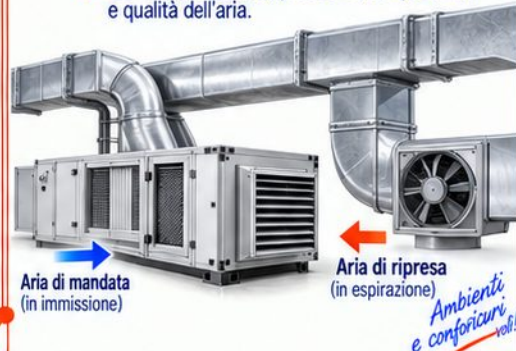
2 VALVOLE, POMPE E SERBATOI

- Valvole:** controllano portata, pressione e direzione del fluido.
- Pompe:** forniscono energia al fluido aumentando la pressione.
- Serbatoi:** accumulano fluido, stabilizzano la pressione e compensano variazioni di portata.



3 HVAC E VENTILAZIONE

- Movimentazione di aria e gas in edifici civili e industriali.
- Reti di condotti, ventilatori, filtri, scambiatori di calore.
- Controllo di portata, pressione, temperatura e qualità dell'aria.



5 OLEODINAMICA E PNEUMATICA COME SISTEMI APPLICATIVI

- Oleodinamica:** utilizza oli in pressione per trasmettere grandi forze.
- Pneumatica:** utilizza aria compressa per movimenti rapidi e sicuri.
- Applicazioni:** macchine utensili, automazione industriale, robotica, movimentazione.



*Forza, precisione
e automazione
nella pratica!*

APPLICAZIONI



4 TRATTAMENTO ACQUE E IMPIANTI DI PROCESSO

- Potabilizzazione e depurazione delle acque.
- Trasporto di fluidi in impianti chimici, farmaceutici, alimentari e petrolchimici.
- Utilizzo di pompe, valvole, scambiatori, filtri e reattori.



6 CRITERI DI PROGETTO

- Portata (Q):** fabbisogno dell'impianto.
- Pressione (p):** condizioni di esercizio.
- Perdite di carico (Δp):** dovute a tubazioni, curve, valvole e componenti.
- Sicurezza:** scelta di materiali, fattori di sicurezza e rispetto delle normative.
- Efficienza energetica:** riduzione dei consumi e dell'impatto ambientale.

*Progettare
con metodo
per un futuro
sostenibile!*



DA MEMORIZZARE: “

La meccanica dei fluidi trova applicazione in ogni settore industriale, dalle reti di tubazioni agli impianti più complessi, trasformando i principi in soluzioni reali.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU OÙ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



Prestazioni



Sicurezza



Efficienza



Normative



ELEMENTI DI MACCHINE

Dalla teoria alla pratica

ORGANI, FUNZIONI E CRITERI DI PROGETTO

1 DEFINIZIONE

Gli elementi di macchine sono componenti che trasmettono, supportano o controllano moto e forze nei sistemi meccanici.



La base dei sistemi meccanici!

2 FUNZIONI PRINCIPALI

- Trasmettere potenza
- Guidare il moto
- Collegare componenti
- Accumulare energia elastica
- Ridurre attrito e usura



Più funzioni, un unico obiettivo!

3 CLASSIFICAZIONE

- Alberi e assi
- Giunti
- Cuscinetti
- Molle
- Viti e collegamenti
- Tenute



Tanti elementi un grande sistema!

4 SOLLECITAZIONI TIPICHE



Sollecitazioni reali, progetti più sicuri!

5 CRITERI DI PROGETTO

- Resistenza
- Rigidezza
- Durata
- Sicurezza
- Manutenzione
- Costo



Analizzare, valutare, progettare!

PROGETTARE ORGANI MECCANICI

6 MATERIALI

- Acciai (alta resistenza)
- Ghise (buona colabilità)
- Bronzi (basso attrito)
- Alluminio (leggerezza)
- Polimeri tecnici (applicazioni specifiche)



Proprietà meccaniche e lavorabilità guidano la scelta.

Il materiale giusto per ogni esigenza!

8 MODI DI CEDIMENTO

- Snervamento (plastificazione)
- Usura (perdita di materiale)
- Fatica (rottura per cicli)
- Instabilità (perdita di stabilità)
- Grippaggio (perdita di lubrificazione)



Dai principi alla realtà!

Componenti diversi, un unico obiettivo: trasmettere, supportare e controllare il moto.

Elementi che fanno la differenza!

7 NORMALIZZAZIONE

- Norme UNI, EN, ISO
- Definiscono dimensioni, tolleranze e caratteristiche
- Garantiscono intercambiabilità
- Aumentano affidabilità e sicurezza



Norme oggi, compatibilità domani!

9 APPLICAZIONI

- Riduttori di velocità
- Pompe
- Macchine utensili
- Automotive
- Impianti industriali



Dall'industria della vita quotidiana!

10 IDEA CHIAVE

Un buon elemento di macchina nasce dall'equilibrio tra funzione, sollecitazioni, materiale e geometria.



DA MEMORIZZARE:



Gli elementi di macchine trasformano i principi della meccanica in componenti reali, affidabili e sicuri.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



ALBERI E ASSI

Dalla teoria alla pratica

SOSTEGNO E TRASMISSIONE DEL MOTO

1 DEFINIZIONE

- Gli alberi e gli assi sono elementi di macchine generalmente cilindrici che sostengono organi (rotori, ingranaggi, pulegge) e, nel caso degli alberi, trasmettono il moto e la coppia.



Componenti chiave della trasmissione!

2 ALBERO vs ASSE

ALBERO

- Trasmette coppia
- Sostiene organi
- Ruota



Coppia e moto!

ASSE

- Sostiene organi
- Non trasmette coppia significativa
- Può essere fisso



Solo sostegno!

3 CARICHI TIPICI

- Flessione
- Torsione
- Taglio
- Carichi assiali (trazione o compressione)



4 ELEMENTI GEOMETRICI

- Diametri e spallamenti
- Gole
- Sedi di chiavetta
- Raccordi e smussi



La geometria migliora le prestazioni!

5 MATERIALI E TRATTAMENTI

- Acciai da costruzione (e da bonifica)
- Cementazione
- Nitrurazione
- Trattamenti superficiali



Materiali giusti per ogni esigenza!

8 CONCENTRAZIONI DI TENSIONE E INTAGLI

- Spallamenti
- Gole e sedi di chiavetta
- Raccordi insufficienti
- Variazioni di sezione



Attenzione agli intagli!

GEOMETRIA + CARICHI + SUPPORTI



Un sistema ben progettato dura nel tempo!

6 SUPPORTI E CUSCINETTI

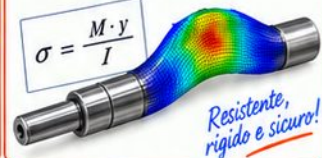
- Appoggi (cuscinetti radiali e assiali)
- Vincoli (fissi e mobili)
- Disposizione e distanza
- Allineamento e montaggio



Il giusto supporto garantisce precisione!

7 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

- Resistenza (tensioni ammissibili)
- Rigidezza (deformazioni)
- Vibrazioni e velocità critica
- Sicurezza e affidabilità



Resistente, rigido e sicuro!

9 APPLICAZIONI

- Riduttori e ingranaggi
- Motori elettrici
- Pompe
- Mandrini di macchine utensili
- Ventilatori e compressori
- Macchine industriali



Dalla teoria all'industria!

10 IDEA CHIAVE

Un buon albero nasce dal corretto equilibrio tra geometria, carichi e supporti, per garantire prestazioni, affidabilità e lunga durata.



L'equilibrio fa la differenza!



DA MEMORIZZARE:



Alberi e assi sono organi fondamentali: sostengono componenti e, nel caso degli alberi, trasmettono coppia e moto.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



TORSIONE E FLESSIONE NEGLI ALBERI

Dalla teoria alla pratica

SOLLECITAZIONI COMBinate

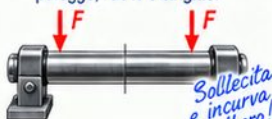
1 COPPIA TORCENTE E TORSIONE

- La coppia torcente T genera una sollecitazione di torsione nell'albero.
- Provoca tensioni di taglio sulla sezione trasversale.
- È tipica di alberi di trasmissione (ingranaggi, pulegge, giunti).



2 MOMENTO FLETTENTE E FLESSIONE

- Il momento flettente M genera una sollecitazione di flessione.
- Provoca tensioni normali di trazione e compressione sulla sezione.
- È dovuto a carichi trasversali provenienti da ingranaggi, pulegge, ruote e cinghie.



3 FORMULA TORSIONE

$$\tau = \frac{T r}{J}$$

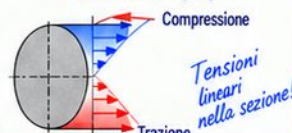
- τ = tensione di taglio [Pa]
- T = coppia torcente [N m]
- r = raggio della sezione [m]
- J = momento polare d'inerzia [m⁴]



4 FORMULA FLESSIONE

$$\sigma = \frac{M y}{I}$$

- σ = tensione normale [Pa]
- M = momento flettente [N m]
- y = distanza dall'asse neutro [m]
- I = momento d'inerzia della sezione [m⁴]



5 ANGOLO DI TORSIONE E RIGIDEZZA TORSIONALE

- L'angolo di torsione θ è la rotazione relativa tra due sezioni.
- Formula (albero circolare):

$$\theta = \frac{T L}{G J}$$

- G = modulo di taglio [Pa]
- L = lunghezza dell'albero [m]
- J = momento polare [m⁴]



7 SOVRAPPOSIZIONE DELLE TENSIONI

- Le tensioni di torsione e flessione si sommano.
- La sezione critica è quella più sollecitata (spallamenti, scanalature, sedi di chiave).
- Si usano criteri di resistenza (es. von Mises) per valutare la tensione equivalente.



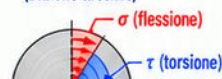
Diagramma del momento flettente M



Diagramma della coppia torcente T



Distribuzione delle tensioni (sezione circolare)



Torsione e flessione agiscono insieme!

6 DIAGRAMMI DI TAGLIO, MOMENTO E COPPIA

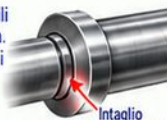
- Il diagramma del taglio V descrive le forze trasversali.
- Il diagramma del momento M descrive la flessione.
- Il diagramma della coppia T descrive la torsione.
- Si ricavano in base ai carichi e agli appoggi.

Strumenti essenziali per il progetto!



8 FATICA E EFFETTO DEGLI INTAGLI

- Le sollecitazioni variabili possono causare fatica.
- Gli intagli e le variazioni di sezione aumentano le tensioni locali.
- Si utilizza il fattore di concentrazione delle tensioni K_t .



Gli intagli riducono la resistenza a fatica!

9 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO E FATTORE DI SICUREZZA

- Si verifica la resistenza statica e a fatica.
- Si utilizza la tensione equivalente (es. von Mises).
- Si applica un fattore di sicurezza n in funzione del tipo di carico e di servizio.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

- σ_{eq} = tensione equivalente [Pa]
- n = fattore di sicurezza (tip. 1,5 ÷ 3)

Progettare con margine di sicurezza!

10 IDEA CHIAVE

- Negli alberi reali torsione e flessione agiscono spesso insieme.
- Il progetto deve considerare i carichi combinati, le condizioni di servizio, la fatica e le discontinuità geometriche.
- Un buon dimensionamento garantisce affidabilità, durata e sicurezza.



Teoria, calcoli e applicazioni reali!



DA MEMORIZZARE:



Il progetto degli alberi richiede di valutare insieme torsione, flessione e fatica.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MIGLIORAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



CHIAVETTE, LINGUETTE E CALETTAMENTI

Dalla teoria alla pratica

COLLEGARE ALBERO E MOZZO

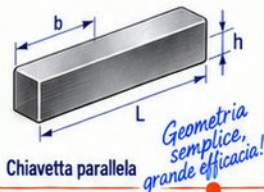
1 FUNZIONE DEI COLLEGAMENTI ALBERO-MOZZO

- Trasmettere coppia
- Evitare lo slittamento relativo
- Garantire il corretto posizionamento
- Resistere ai carichi in esercizio



2 CHIAVETTE: PRINCIPIO E GEOMETRIA

- Elemento normalizzato
- Inserita in cave su albero e mozzo
- Trasmette la coppia per taglio e schiacciamento
- Forme comuni: parallela, quadro, a nasello



3 LINGUETTE: PRINCIPIO E VANTAGGI

- Come le chiavette ma con nasello
- Facilitano il montaggio e lo smontaggio
- Utilizzate per applicazioni con frequenti interventi
- Normate (es. UNI, DIN)



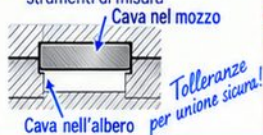
4 CALETTAMENTI CON INTERFERENZA

- Collegamento per interferenza
- Elevata capacità di trasmettere coppia
- Nessun elemento aggiuntivo
- Adatto per alte velocità e carichi elevati



5 CAVE, TOLLERANZE E ACCOPPIAMENTI

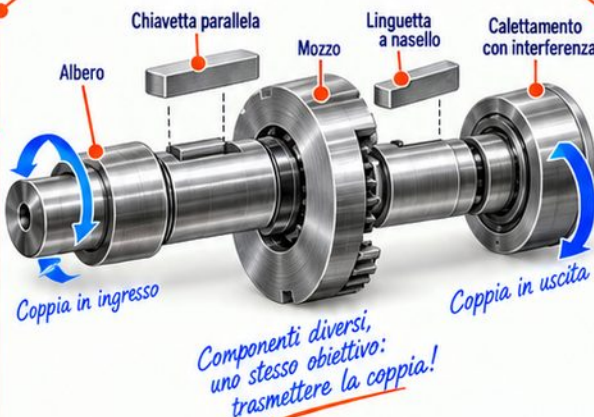
- Cave su albero e mozzo secondo norme (es. UNI)
- Tolleranze dimensionali
- Accoppiamenti corretti per evitare giochi eccessivi o interferenze
- Controllo con strumenti di misura



8 VANTAGGI E LIMITI DEI DIVERSI SISTEMI

- Chiavette
 - + Semplici ed economiche
 - Gioco possibile
 - Linguette
 - + Montaggio rapido
 - Minore resistenza
 - Calettamenti
 - + Elevata capacità di coppia
 - Richiedono lavorazioni precise
- Ogni sistema ha il suo campo di utilizzo!*

TRASMETTERE COPPIA IN SICUREZZA



6 PRESSIONE DI CONTATTO E TAGLIO NEL COLLEGAMENTO

- La coppia si trasmette per:
 - Taglio sulla chiavetta/linguetta
 - Schiacciamento (pressione di contatto) sulle superfici
- Verifiche a resistenza
- Dipende da materiali, dimensioni e condizioni di carico



7 MONTAGGIO E SMONTAGGIO

- Pulire e controllare le superfici
- Inserire correttamente la chiavetta o la linguetta
- Per calettamenti: riscaldamento del mozzo o raffreddamento dell'albero
- Smontaggio con estrattori
- Evitare danneggiamenti delle cave



9 APPLICAZIONI

- Pulegge (trasmissioni a cinghia)
- Ingranaggi
- Volani
- Giunti
- Altri organi rotanti



10 IDEA CHIAVE

- La scelta del collegamento dipende da:
- Coppia da trasmettere
 - Frequenza di montaggio e smontaggio
 - Precisione richiesta
 - Condizioni di esercizio (velocità, carichi, ambiente)
 - Costi di lavorazione e manutenzione

La scelta giusta fa la differenza!



DA MEMORIZZARE:



I collegamenti albero-mozzo devono trasmettere coppia, evitare slittamenti e consentire il montaggio corretto.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



GIUNTI MECCANICHE

Dalla teoria alla pratica

UNIRE DUE ALBERI E TRASMETTERE COPPIA

1 DEFINIZIONE E FUNZIONE

- Elemento meccanico che unisce due alberi per trasmettere coppia e moto
- Può compensare disallineamenti e smorzare vibrazioni
- Protegge il sistema da sovraccarichi e urti



Più affidabilità al tuo impianto!

2 GIUNTI RIGIDI

- Giunti a flange
- Giunti a manicotto
- Giunti a calettamento
- Elevata rigidità
- Richiedono buon allineamento



Semplici, robusti e affidabili!

3 GIUNTI ELASTICI

- Giunti a spine e boccole
- Giunti a denti (jaw)
- Giunti a disco o membrana
- Giunti a soffietto
- Compensano piccoli disallineamenti
- Smorzano vibrazioni e urti



Elasticità per maggiore durata!

4 GIUNTI ARTICOLATI E CARDANICI

- Giunti cardanici (a crociera)
- Giunti omocinetici
- Trasmettono coppia tra alberi non allineati
- Adatti ad ampi angoli



Moto sicuro anche con grandi disallineamenti!

5 DISALLINEAMENTI

- Radiale (offset)
- Angolare
- Assiale (spostamento)
- Spesso presenti contemporaneamente



Radiale



Angolare



Assiale

Nella realtà gli allineamenti non sono perfetti!

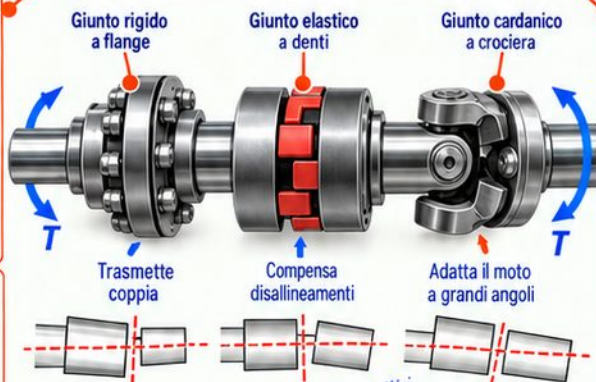
8 MODI DI GUASTO E CONTROLLI

- Usura degli elementi elastici
- Allentamento viti e bulloni
- Giochi eccessivi
- Affaticamento e rottura
- Disallineamenti persistenti
- Controlli periodici e manutenzione



Prevenire i guasti per evitare fermi impianto!

ALLINEARE, COMPENSARE, TRASMETTERE



Trasmette coppia

Compensa disallineamenti

Adatta il moto a grandi angoli

Stessi obiettivi, soluzioni diverse!

9 APPLICAZIONI INDUSTRIALI

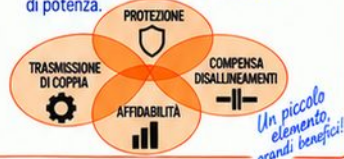
- Pompe e compressori
- Motori elettrici
- Nastri trasportatori
- Macchine utensili
- Impianti industriali
- Settore automotive
- Macchine mobili e off-road



In moltissimi settori industriali!

10 IDEA CHIAVE

Il giunto non collega soltanto due alberi, ma protegge il sistema, compensa i disallineamenti, smorza le vibrazioni e rende più affidabile la trasmissione di potenza.



Un piccolo elemento, grandi benefici!

Un moto più fluido e silenzioso!

Senza giunto elastico Con giunto elastico

DA MEMORIZZARE:

Un giunto corretto trasmette coppia, compensa i disallineamenti e migliora l'affidabilità del sistema.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



VITI E COLLEGAMENTI FILETTATI

Dalla teoria alla pratica

PRECARICO, SERRAGGIO E SICUREZZA

1 FUNZIONE DEI COLLEGAMENTI FILETTATI

- Unire componenti
- Trasmettere carichi
- Garantire smontabilità
- Consentire regolazioni
- Utilizzati in quasi tutte le macchine



Semplici, efficaci, indispensabili!

2 ELEMENTI PRINCIPALI

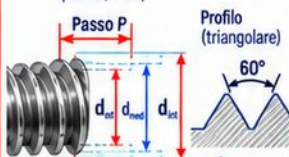
- Vite (bullone)
- Dado
- Rondella
- Filetto



Piccoli elementi, grandi risultati!

3 GEOMETRIA DEL FILETTO

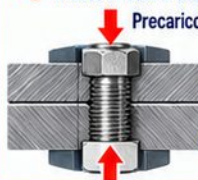
- Passo (P)
- Diametro (esterno, interno, medio)
- Profilo (triangolare, trapezoidale, quadro, ecc.)



La geometria definisce le prestazioni!

4 PRECARICO E FORZA DI SERRAGGIO

- Il serraggio genera un precarico
- Il precarico tiene unite le parti
- Evita l'apertura del giunto
- Distribuisce i carichi
- Riduce i rischi di allentamento



Il precarico mantiene il giunto in sicurezza!

5 RELAZIONE COPPIA-SERRAGGIO

- La coppia applicata genera il precarico
- Dipende da attrito, lubrificazione e geometria
- Solo una parte della coppia diventa forza nel bullone
- Formule e coefficienti empirici

$$F \approx \frac{k \cdot T}{d}$$

F = forza di serraggio (N)

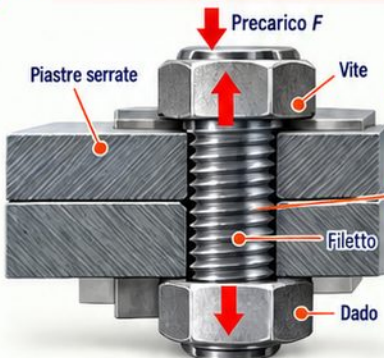
T = coppia applicata (N·m)

d = diametro nominale (m)

k = coefficiente (0,15 – 0,25)

La coppia è un mezzo, il precarico è l'obiettivo!

SERRARE E BLOCCARE IN MODO AFFIDABILE



Un buon serraggio garantisce affidabilità e durata nel tempo!

8 MODI DI GUASTO

- Snervamento della vite
- Strappo del filetto (nel dado o nel pezzo)
- Allentamento per vibrazioni
- Usura e corrosione
- Montaggio errato



Conoscere i guasti per prevenirli!

9 APPLICAZIONI STRUTTURALI E MECCANICHE

- Macchine utensili e impianti
- Carpenterie metalliche
- Motori e trasmissioni
- Componenti smontabili
- Ambienti gravosi (vibrazioni, alte temperature)



Dall'industria alla vita quotidiana!

10 IDEA CHIAVE

In un collegamento filettato conta più il precarico corretto della sola coppia applicata.

La differenza fa la sicurezza!



DA MEMORIZZARE:



I collegamenti filettati funzionano bene quando precarico, materiale e montaggio sono corretti.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



CUSCINETTI VOLVENTI

Dalla teoria alla pratica

ATTRITO RIDOTTO E GUIDA ROTANTE

1 FUNZIONE DEI CUSCINETTI

- Ridurre l'attrito tra albero e supporto
- Consentire la rotazione con minimo sforzo
- Sostenere carichi radiali e/o assiali
- Garantire precisione, stabilità e durata



Rotazione fluida e affidabile!

2 COMPONENTI PRINCIPALI

- Anello interno (calettato sull'albero)
- Anello esterno (nel supporto)
- Corpi volventi (sfere o rulli)
- Gabbia (separatore)
- Tenute (schermi o guarnizioni)

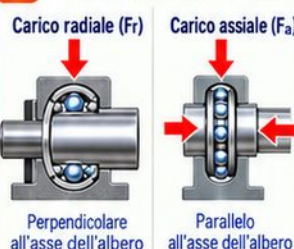


3 TIPI DI CUSCINETTI

- A sfere (radiali)
- A rulli cilindrici
- A rulli conici
- Orientabili di sfere
- Assiali (a sfere o rulli)



4 CARICHI RADIALI E ASSIALI



Spesso agiscono insieme!

5 VITA NOMINALE L10

- L10 = numero di giri che il 90% dei cuscinetti raggiunge o supera
- Dipende da carico, velocità e condizioni di esercizio
- Maggiore la durata, maggiore l'affidabilità

Più lunga è la vita, più valore!



ROTAZIONE PRECISA E AFFIDABILE

6 LUBRIFICAZIONE E PROTEZIONE

- Lubrificazione con grasso o olio
- Riduce usura e temperatura
- Protegge da contaminanti
- Tenute, schermi e labirinti
- Scelta del lubrificante in base a velocità, carico e ambiente



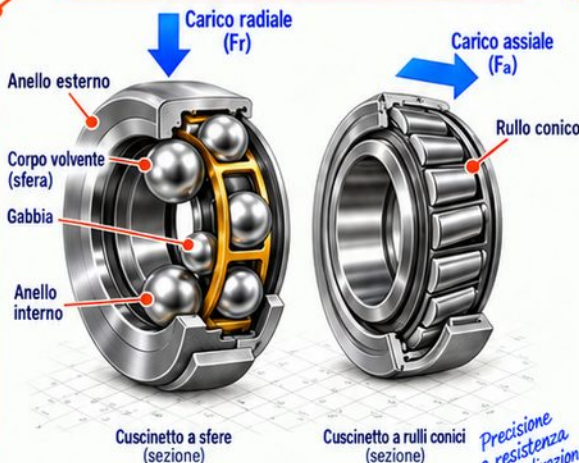
Lubrificare e proteggere per durare!

7 MONTAGGIO, PRECARICO E ACCOPPIAMENTI

- Montaggio corretto e con attrezzi idonei
- Precarico per maggiore rigidità e precisione
- Accoppiamenti con tolleranze adeguate (albero e alloggiamento)
- Evitare danneggiamenti durante il montaggio



Un montaggio corretto fa la differenza!



8 MODI DI GUASTO

- Pitting (fatica del materiale)
- Contaminazione (polvere, sporco, umidità)
- Surriscaldamento (lubrificazione insufficiente)
- Usura e grippaggio
- Corrosione

Prevenire i guasti aumenta la durata!



9 APPLICAZIONI

- Motori elettrici
- Ruote e mozi automobilistici
- Riduttori e trasmissioni
- Macchine utensili
- Pompe e ventilatori
- Attrezzature industriali
- Elettrodomestici



Motori



Ruote



Riduttori



Macchine utensili

Dall'industria alla vita quotidiana!

10 IDEA CHIAVE

Il corretto cuscinetto volvente migliora precisione, efficienza e durata delle macchine, riducendo attrito, consumi e costi di manutenzione.



La scelta giusta crea valore!



DA MEMORIZZARE:



I cuscinetti volventi riducono l'attrito e guidano il moto rotatorio con precisione e durata.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



CUSCINETTI RADENTI E LUBRIFICAZIONE

Dalla teoria alla pratica

FILM LUBRIFICANTE E USURA CONTROLLATA

1 DEFINIZIONE

Il cuscinetto radente è un elemento di macchina che permette la rotazione relativa tra albero e supporto tramite superfici a contatto diretto, separate da un film lubrificante.



Semplice, robusto, affidabile!

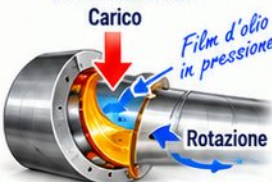
2 REGIMI DI LUBRIFICAZIONE

- Lubrificazione limite (contatto delle asperità)
- Lubrificazione mista (contatto parziale)
- Lubrificazione idrodinamica (separazione completa tramite film d'olio)



3 FILM D'OLIO E PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

- La rotazione trascina l'olio nel cuneo convergente.
- Si genera una pressione idrodinamica che separa le superfici.
- Il carico è sostenuto dal film lubrificante.



4 MATERIALI

- Bronzi (stagno, piombo, alluminio)
- Leghe antifrizione (babbitt, leghe bianche)
- Polimeri (PTFE, PEEK, nylon)
- Materiali compositi (metallo-polimero)



5 VISCOSITÀ, GIOCO E PRESSIONE SPECIFICA

- La viscosità dell'olio influenza lo spessore del film.
- Il gioco tra albero e bronza deve essere adeguato.
- La pressione specifica non deve superare i valori ammissibili.



7 VANTAGGI E LIMITI RISPETTO AI VOLVENTI

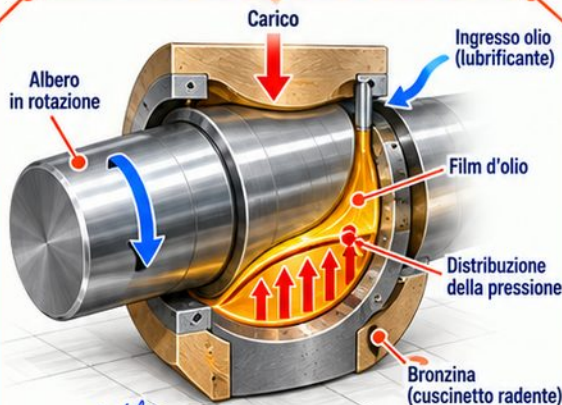
Vantaggi:

- ✓ Elevata capacità di carico
- ✓ Funzionamento silenzioso
- ✓ Buona smorzamento delle vibrazioni
- ✓ Adatti ad alte velocità

Limiti:

- ✗ Maggiore attrito di avviamento
- ✗ Richiedono lubrificazione
- ✗ Usura più elevata
- ✗ Maggiore manutenzione

ATTRITO, OLIO E DURATA



Un sottile film d'olio fa la differenza!

6 METODI DI LUBRIFICAZIONE

- Bagno d'olio (schizzo o immersione)
- Grasso (per basse velocità e carichi)
- Circolazione forzata (con pompa e filtri)
- Lubrificazione a perdere (o a nebbia d'olio)



8 GUASTI

- Grippaggio (mancanza di lubrificazione)
- Usura (abrasiva, adesiva)
- Surrisaldamento (eccesso di carico o olio inadeguato)
- Cavitazione (nelle alte velocità)



9 APPLICAZIONI

- Turbine e generatori
- Motori a combustione interna
- Grandi macchine industriali
- Compressori e pompe
- Macchine navali
- Impianti siderurgici



10 IDEA CHIAVE

La lubrificazione corretta crea un film d'olio che separa le superfici, riduce l'attrito, controlla l'usura e prolunga la vita del sistema.



DA MEMORIZZARE:



Nei cuscinetti radenti il film lubrificante è l'elemento decisivo per ridurre attrito e usura.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



MOLLE MECCANICHE

Dalla teoria alla pratica

ENERGIA ELASTICA E COMPLIANCE

1 FUNZIONE DELLE MOLLE

- Immagazzinare energia
- Restituire forza
- Assorbire urti e vibrazioni
- Mantenere contatto
- Compensare tolleranze
- Controllare spostamenti

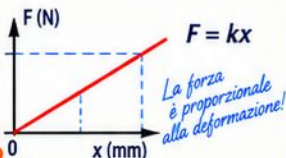


Piccoli elementi, grandi funzioni!

2 LEGGE DI HOOKE

$$F = kx$$

- F = forza elastica (N)
- k = rigidezza (N/mm)
- x = deformazione (mm)



3 TIPI DI MOLLE

- Compressione
- Trazione
- Torsione
- Balestra
- A tazza (disco)



Tanti tipi per tante applicazioni!

4 RIGIDEZZA k E PARAMETRI GEOMETRICI

k dipende da:

- Materiale (modulo G)
- Diametro filo (d)
- Diametro medio (D)
- Numero di spire (n)
- Geometria e passo (p)

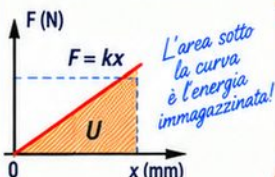
La geometria definisce il comportamento!



5 ENERGIA ELASTICA

$$U = \frac{1}{2} kx^2$$

- U = energia elastica (J)
- k = rigidezza (N/mm)
- x = deformazione (mm)



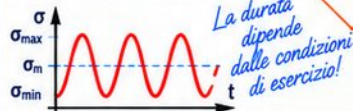
FORZA ELASTICA E DEFORMAZIONE



Energia oggi, forza domani!

7 FATICA E CICLI DI LAVORO

- Carichi ciclici e variabili
- Limite di fatica
- Influenza di tensioni residue
- Effetto intaglio e finitura
- Progettazione a vita finita
- Verifica con curve S-N



6 MATERIALI E TRATTAMENTI SUPERFICIALI

- Acciai per molle (es. C60, 51CrV4)
- Acciai inossidabili (AISI 302, 316)
- Leghe di rame e bronzo
- Leghe speciali (Inconel, titanio)



Trattamenti superficiali:

- Pallinatura
- Zincatura / fosfatazione
- Rivestimenti antiusura
- Trattamenti termici

Più durata e resistenza nel tempo!

8 MONTAGGIO, GUIDE E PRECARICO

- Corretto allineamento
- Guide e sedi di scorrimento
- Precarico iniziale
- Limitatori di corsa
- Evitare carichi eccentrici
- Controllo dell'attrito

Un buon montaggio garantisce prestazioni affidabili!



9 APPLICAZIONI

- Valvole e attuatori
- Sospensioni e ammortizzatori
- Meccanismi e ritorni
- Stampi e utensili
- Frizioni e freni
- Settore automotive
- Macchine automatiche
- Dispositivi di sicurezza



Dall'industria alla vita quotidiana!

10 IDEA CHIAVE

Una molla non è solo elasticità, ma uno strumento per controllare forza, spostamento ed energia in modo sicuro e affidabile.



DA MEMORIZZARE:



Le molle accumulano energia e trasformano spostamenti in forze elastiche controllate.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



SINTESI DEGLI ELEMENTI DI MACCHINE

Dalla teoria alla pratica

FUNZIONE, RESISTENZA E AFFIDABILITÀ

1 ALBERI E ASSI

- Trasmettono potenza e moto
- Sostengono organi rotanti
- Resistono a torsione e flessione
- Possono essere pieni o cavi



Ruolo essenziale nei sistemi meccanici!

2 COLLEGAMENTI ALBERO-MOZZO

- Linguette e scanalature
- Calettamenti (a interferenza)
- Chiavette e profili scanalati
- Press-fit, coni, bussole



Trasmettere la coppia in sicurezza!

3 GIUNTI MECCANICI

- Compensano disallineamenti
- Trasmettono coppia
- Assorbono urti e vibrazioni
- Tipi: rigidi, elastici, cardanici



Flessibilità e affidabilità nel sistema!

4 CUSCINETTI

- Riducono l'attrito
- Sostengono carichi radiali e assiali
- Permettono la rotazione
- Tipi: a sfere, a rulli, orientabili
- Scelta in base a carichi, velocità e ambiente



Rotazione più efficiente!

5 MOLLE

- Accumulano energia elastica
- Assorbono urti e vibrazioni
- Mantengono forze di contatto
- Tipi: a compressione, trazione, torsione
- Materiali e trattamenti specifici



Piccole ma essenziali!

7 SOLLECITAZIONI DOMINANTI

- Torsione (trasmissione di potenza)
- Flessione (carichi trasversali)
- Fatica (carichi ciclici)
- Usura (contatti e attrito)



Elementi i carichi per progettazione duraturo!

9 ERRORI COMUNI DI PROGETTO E MANUTENZIONE

- Sottodimensionamento dei componenti
- Scelta errata dei materiali
- Mancata considerazione dei carichi reali
- Disallineamenti e montaggi scorretti
- Lubrificazione insufficiente
- Controlli e manutenzione trascurati



Prevenire gli errori per evitare guasti e costi elevati!

10 MESSAGGIO FINALE

Gli elementi di macchine trasformano teoria e meccanica applicata in sistemi reali e robusti, che rendono possibile il movimento, la trasmissione di potenza e il progresso tecnologico.

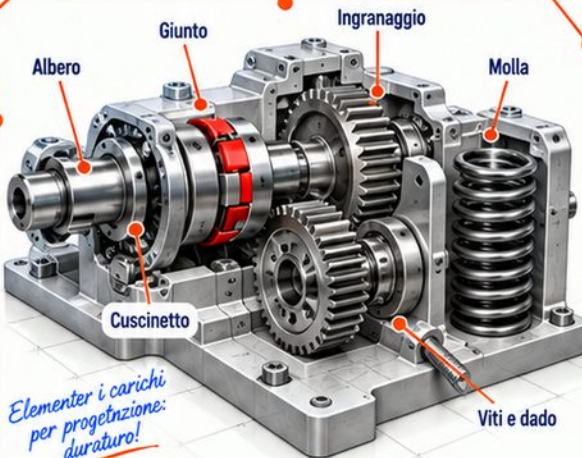
Teoria + Progetto = Sistemi Reali

Dalla conoscenza alle soluzioni reali!



Meccanica del mondo reale!

**FUNZIONE +
RESISTENZA +
AFFIDABILITÀ**



6 VITI E SERRAGGI

- Uniscono componenti
- Trasmettono carichi
- Devono resistere a trazione e taglio
- Tipi: viti, bulloni, prigionieri
- Critici il precarico e la coppia di serraggio



Giunzioni sicure e affidabili!

8 WORKFLOW DI SCELTA

GEOMETRIA
Quali dimensioni?

VERIFICA
È sicuro e affidabile?

MATERIALE
Quali proprietà?

CARICHI
Quali sollecitazioni?

FUNZIONE
Cosa deve fare?



DA MEMORIZZARE:



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



SINTESI DI INGRANAGGI E TRASMISSIONI

Dalla teoria alla pratica

SCELTA, PRESTAZIONI E APPLICAZIONI

1 INGRANAGGI CILINDRICI

- Trasmettono moto tra assi paralleli
- Profili a denti dritti
- Semplici, robusti, affidabili
- Adatti per medie e alte potenze



Soluzione semplice e affidabile!

2 ELICOIDALI

- Denti inclinati
- Trasmissione più fluida e silenziosa
- Maggiore capacità di carico
- Generano uno sforzo assiale da considerare



Più fluidità meno rumore!

3 CONICI

- Trasmettono moto tra assi incidenti (di solito 90°)
- Denti dritti o elicoidali
- Adatti per cambi di direzione del moto
- Usati in differenziali e rinvii angolari



Cambia direzione al tuo progetto!

4 VITE SENZA FINE

- Grandi rapporti di trasmissione in spazi compatti
- Funzionamento silenzioso
- Possibilità di non retrocedibilità
- Usata in riduttori e posizionamenti



Alti rapporti in poco spazio!

5 CINGHIE E PULEGGE

- Trasmissione flessibile
- Assorbe urti e vibrazioni
- Semplice ed economica
- Possibile slittamento in caso di sovraccarico



Flessibilità in movimento!

7 CRITERI DI SCELTA

- Potenza da trasmettere
- Velocità di rotazione
- Coppia richiesta
- Precisione e gioco
- Distanza tra gli assi
- Ambiente di lavoro
- Costo e manutenzione



Le domande giuste portano alla soluzione migliore!

MOTO + COPPIA + AFFIDABILITÀ



Ogni soluzione di trasmissione nasce dal compromesso tra prestazioni, ingombri, costo e manutenzione.

6 CATENE E PIGNONI

- Trasmissione positiva senza slittamento
- Adatte per potenze elevate
- Robuste e affidabili
- Richiedono lubrificazione e corretta tensione



Potenza senza slittamenti!

8 EFFICIENZA E MANUTENZIONE

- Corretta lubrificazione
- Allineamento accurato
- Giusta tensione (cinghie e catene)
- Controllo di rumori e vibrazioni
- Verifica dell'usura
- Manutenzione periodica



Manutenzione oggi, affidabilità domani!

9 ERRORI COMUNI

- Scelta errata del rapporto di trasmissione
- Lubrificazione insufficiente
- Disallineamento tra gli assi
- Tensione non corretta di cinghie o catene
- Sottovalutare i carichi reali



Evita questi errori!

10 MESSAGGIO FINALE / IDEA CHIAVE

- La trasmissione giusta trasforma la teoria in movimento affidabile
- Ogni applicazione richiede la soluzione più adatta
- Un buon progetto bilancia prestazioni, ingombri, costo e manutenzione
- La qualità della trasmissione determina la vita della macchina



Dalla teoria al movimento reale!

LA TRASMISSIONE GIUSTA TRASFORMA LE IDEE IN MACCHINE AFFIDABILI.



DA MEMORIZZARE:



Scegliere bene una trasmissione significa bilanciare rapporto, efficienza, affidabilità, costo e manutenzione.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



RAPPORTI DI TRASMISSIONE

Dalla teoria alla pratica

VELOCITÀ, COPPIA E RIDUZIONE

1 DEFINIZIONE

- Il rapporto di trasmissione confronta la velocità di rotazione tra ingresso e uscita di un sistema di ingranaggi.
- Indica di quante volte la velocità (e la coppia) viene modificata.



2 FORMULA BASE

- Il rapporto di trasmissione si può esprimere come:

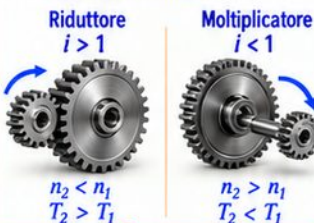
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

- n = velocità di rotazione [giri/min]
- ω = velocità angolare [rad/s]
- z = numero di denti

Stessa formula in modi diversi!

3 RIDUTTORE E MOLTIPLICATORE

- Se $i > 1 \rightarrow$ **riduttore**:
 - la velocità diminuisce
 - la coppia aumenta
- Se $i < 1 \rightarrow$ **moltiplicatore**:
 - la velocità aumenta
 - la coppia diminuisce



4 LEGAME CON I DENTI

- Il rapporto dipende dal numero di denti.
- Più denti ha l'ingranaggio condotto, più la velocità di uscita è bassa (a parità di ingranaggio motore).



5 COPPIA E POTENZA

- La potenza trasmessa è il prodotto tra coppia e velocità angolare:

$$P = T \cdot \omega$$

- In condizioni ideali, se la velocità diminuisce la coppia aumenta (e viceversa), mantenendo la stessa potenza (trascurando le perdite).

Stessa potenza, velocità e coppia si trasformano!

7 VERSO DI ROTAZIONE

- Due ingranaggi esterni invertono il verso di rotazione.
- L'inserimento di un ingranaggio folle (intermedio) non modifica il valore del rapporto, ma ripristina il verso originario.



9 ESEMPI PRATICI

- I rapporti di trasmissione sono utilizzati in molti settori:



Stesso principio, diverse applicazioni!

10 IDEA CHIAVE

Il rapporto di trasmissione si sceglie in base a:

- velocità di uscita richiesta
- coppia di uscita richiesta
- spazio disponibile
- rendimento desiderato
- tipo di applicazione e condizioni di lavoro
- costi e manutenzione

Il giusto rapporto per ogni esigenza!



DA MEMORIZZARE:

Il rapporto di trasmissione determina come una macchina trasforma velocità e coppia tra ingresso e uscita.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERLA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



INGRANAGGI CILINDRICI

Dalla teoria alla pratica

DENTI DRITTI, GEOMETRIA E PRESA

1 DEFINIZIONE

- Gli ingranaggi cilindrici a denti dritti trasmettono il moto e la potenza tra alberi paralleli mediante l'ingranamento diretto dei denti.



2 ELEMENTI GEOMETRICI

- Numero di denti (z)
- Diametro primitivo (d)
- Modulo (m)
- Passo (p)



3 FORMULE FONDAMENTALI

- Relazione tra modulo, diametro primitivo e numero di denti.

$$m = \frac{d}{z}$$

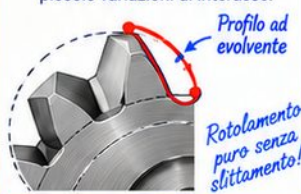
- Passo circolare:

$$p = \pi \cdot m$$

m = modulo [mm]
d = diametro primitivo [mm]
z = numero di denti
p = passo [mm]

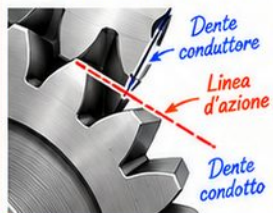
4 PROFILO AD EVOLVENTE

- Il profilo del dente è una evolvente di cerchio, che garantisce il corretto rotolamento e una trasmissione con rapporto di velocità costante, anche con piccole variazioni di interasse.



5 PRESA TRA I DENTI

- Il contatto tra i denti avviene lungo la linea d'azione, lungo la quale si trasmette il moto con rotolamento e scorrimento controllato.



7 MATERIALI E TRATTAMENTI

- Acciai da bonifica e da cementazione
- Ghisa per applicazioni leggere
- Trattamenti superficiali: cementazione, nitrurazione, tempra a induzione
- Lubrificazione adeguata per ridurre usura e rumore.



9 APPLICAZIONI

- Scatole di ingranaggi
- Riduttori di velocità
- Macchine utensili
- Automazione industriale
- Impianti e macchinari in genere



10 IDEA CHIAVE

- Prestazioni e durata dipendono da:
- corretta geometria del dente (modulo e profilo)
- preciso allineamento degli alberi
- buona lubrificazione
- scelta adeguata dei materiali e dei trattamenti
- corretto montaggio e manutenzione.



PROFILO, PASSO E MODULO



La geometria del dente rende possibile una trasmissione precisa e regolare.

6 FORZE IN GIOCO

- La forza tangenziale (Ft) trasmette la potenza.
- La forza radiale (Fr) tende a separare i denti.
- Negli ingranaggi cilindrici a denti dritti non si genera una forza assiale significativa.



8 VANTAGGI E LIMITI

- Semplicità costruttiva
- Elevata precisione di trasmissione
- Alto rendimento
- Adatti a velocità medio-basse
- Maggiore rumorosità rispetto agli ingranaggi elicoidali alle alte velocità.



DA MEMORIZZARE:



Negli ingranaggi a denti dritti modulo, profilo e corretto accoppiamento determinano precisione ed efficienza.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



INGRANAGGI ELICOIDALI

Dalla teoria alla pratica

CONTATTO PROGRESSIVO E SILENZIOSITÀ

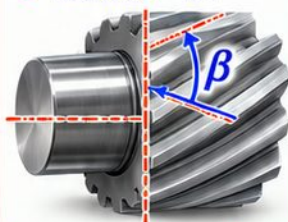
1 DEFINIZIONE

- Ingranaggi con denti inclinati (elicoidali) che lavorano su alberi paralleli.
- Trasmettono moto e potenza tra due ruote dentate.



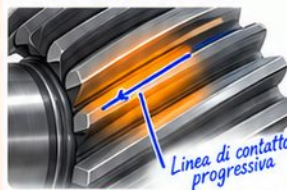
2 ANGOLAZIONE DEL DENTE

- I denti sono inclinati rispetto all'asse dell'ingranaggio.
- L'angolo di inclinazione si chiama angolo d'elica β .
- Valori tipici: $8^\circ - 25^\circ$.



3 CONTATTO PROGRESSIVO

- Più denti sono in presa contemporaneamente.
- Il contatto avviene gradualmente lungo la linea di azione.
- Il risultato è un moto più fluido e silenzioso.



4 FORZE IN GIOCO

- La forza tangenziale F_t trasmette la potenza.
- La forza radiale F_r tende ad allontanare gli ingranaggi.
- La forza assiale F_a è dovuta all'inclinazione del dente.

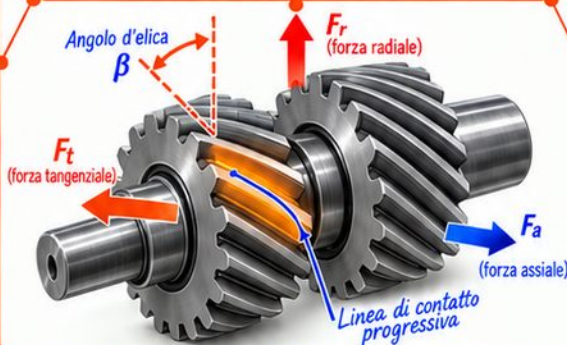


5 CONFRONTO CON DENTI DRITTI

- Più silenziosi grazie al contatto graduale.
- Maggiore capacità di carico.
- Generano spinta assiale.
- Più complessi e costosi da realizzare.



PIÙ DENTI IN PRESA, MOTO PIÙ FLUIDO



6 MATERIALI E LUBRIFICAZIONE

- Acciai da bonifica o da cementazione.
- Trattamenti termici: tempra e rinvenimento.
- Lavorazioni di precisione per ridurre la rugosità.
- Lubrificazione in bagno d'olio (ingranaggi chiusi) o a circolazione forzata nei riduttori.



7 MONTAGGIO E SUPPORTI

- Sono necessari supporti (cuscinetti) che possano assorbire le spinte assiali.
- Spesso si utilizzano cuscinetti a sfere obliqui o cuscinetti a rulli conici.



8 VANTAGGI E LIMITI

VANTAGGI

- Funzionamento più silenzioso
- Più denti in presa
- Maggiore capacità di carico
- Trasmissione più regolare
- Ingombri più compatti

LIMITI

- Generano spinta assiale
- Più complessi da realizzare
- Costo maggiore
- Richiedono supporti adeguati
- Maggiore sensibilità al montaggio

L'inclinazione dei denti migliora continuità di contatto e regolarità del moto.

9 APPLICAZIONI

- Trasmissioni automobilistiche (cambi, riduttori, differenziali).
- Riduttori industriali.
- Macchine utensili.
- Compressori e pompe.
- Generatori e turbine.



10 IDEA CHIAVE

Gli ingranaggi elicoidali si scelgono quando serve una trasmissione regolare, silenziosa e ad alta capacità di carico, accettando la presenza di spinta assiale.

- ✓ Contatto progressivo
- ✓ Funzionamento silenzioso
- ✓ Maggiore capacità di carico
- ✓ Trasmissione compatta
- ✓ Richiedono supporti per la spinta assiale

La scelta giusta per un moto più fluido



DA MEMORIZZARE:



Negli ingranaggi elicoidali l'angolo del dente aumenta la continuità di contatto ma introduce spinta assiale.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



INGRANAGGI CONICI

*Dalla teoria
alla pratica*

TRASMISSIONE TRA ASSI INCIDENTI

1 DEFINIZIONE

- Gli ingranaggi conici trasferiscono il moto e la potenza tra due alberi che si incontrano (assi incidenti), generalmente a 90°.



2 GEOMETRIA DI BASE

- Denti disposti su superficie conica.
- Coni primitivi che si incontrano nel vertice.
- L'angolo tra gli assi dipende dall'applicazione (tipicamente 90°).



Coni primitivi e angolo tra gli assi

3 TIPI PRINCIPALI

- Denti dritti (conici dritti).
- Denti elicoidali/spirali (conici elicoidali) più silenziosi e con maggiore capacità di carico.



Denti dritti



Denti elicoidali o spirali

4 RAPPORTO DI TRASMISSIONE

- Il rapporto di trasmissione dipende dal numero di denti dei due coni.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

n = velocità di rotazione [giri/min]

z = numero di denti

i = rapporto di trasmissione

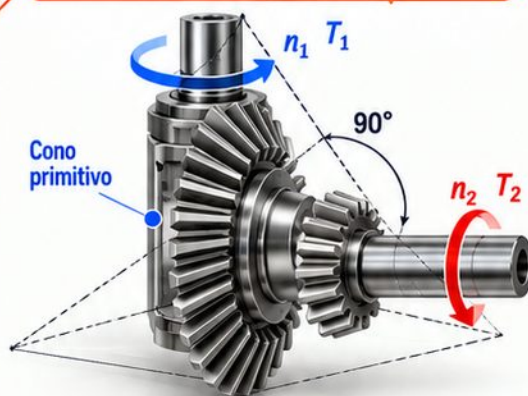


5 FORZE E CARICHI

- La forza di contatto si scompone in tre componenti:
 - Forza tangenziale (F_t) trasmette la coppia.
 - Forza radiale (F_r) spinge i coni.
 - Forza assiale (F_a) genera carichi sugli alberi.



CAMBIARE DIREZIONE DEL MOTO



Gli ingranaggi conici trasferiscono moto e coppia tra alberi che si incontrano.

6 MONTAGGIO E ALLINEAMENTO

- Il corretto posizionamento e l'allineamento sono fondamentali per un funzionamento regolare e silenzioso.
- Sono necessarie elevate precisioni di montaggio e controllo del contatto.



7 MATERIALI E LUBRIFICAZIONE

- Acciai da cementazione e da bonifica.
- Lubrificazione con oli per ingranaggi (EP).
- Alloggiamenti rigidi e ben dimensionati per garantire la corretta lubrificazione.



8 VANTAGGI E LIMITI

- ✓ Permettono di cambiare direzione del moto in modo compatto.
- ✓ Adatti ad elevate coppie.
- ✓ Disponibili in diverse esecuzioni (denti dritti o elicoidali).
- ✗ Più sensibili agli errori di montaggio.
- ✗ Generano carichi assiali e radiali.
- ✗ Generalmente più costosi rispetto ad altri ingranaggi.

9 APPLICAZIONI

- Differenziali automobilistici.
- Rinvii ad angolo retto.
- Riduttori e moltiplicatori di giri.
- Macchine utensili.
- Impianti industriali.
- Robotica e automazione.



Differenziale



Rinvio ad angolo retto



Macchine utensili



Riduttori industriali

Stessa tecnologia, tante applicazioni!

10 IDEA CHIAVE

- Gli ingranaggi conici sono la soluzione classica quando gli assi si incontrano e si deve cambiare la direzione del moto in modo efficiente, trasmettendo coppia con affidabilità.

PRESTAZIONI
(coppia, affidabilità)

COMPATTEZZA
(spazio ridotto)

CAMBIO DI DIREZIONE
(efficiente)



DA MEMORIZZARE:



Gli ingranaggi conici permettono di trasmettere coppia tra assi incidenti cambiando la direzione del moto.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



VITE SENZA FINE

*Dalla teoria
alla pratica*

GRANDI RIDUZIONI E ASSI INCROCIATI

1 DEFINIZIONE

- La vite senza fine è un sistema di ingranaggi composto da una vite (elica) e una ruota, con assi incrociati, di solito a 90°.



2 ELEMENTI PRINCIPALI

- Vite senza fine
- Ruota dentata
- Carcassa
- Alberi di ingresso e uscita
- Cuscinetti



3 RAPPORTO DI TRASMISSIONE

- Consente di ottenere rapporti di riduzione molto elevati in un solo stadio.

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

z_1 = numero di principi della vite (di solito 1)

z_2 = numero di denti della ruota

i = rapporto di riduzione

Rapporti elevati (10:1 - 100:1 e oltre!)

4 CONTATTO E SCORRIMENTO

- Il contatto tra vite e ruota è prevalentemente di scorrimento, non di rotolamento, con maggiori attriti e usura.



5 AUTOFREANZA

- In alcune condizioni, la vite senza fine può essere autofrenante, cioè impedire il moto inverso della ruota (la ruota non può trascinare la vite).

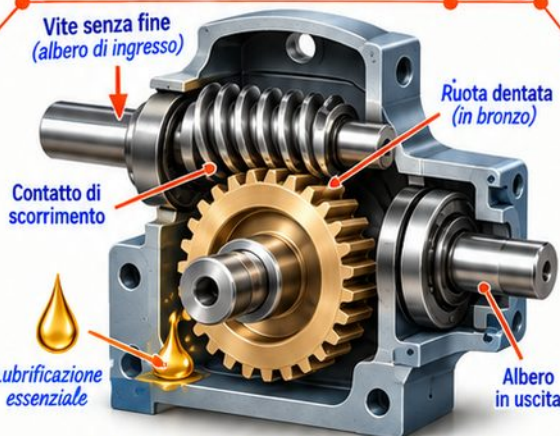


7 MATERIALI

- Vite: acciaio temprato e rettificato
- Ruota: bronzo (lega rame-stagno)
- Carcassa: ghisa o alluminio
- Lubrificanti: oli specifici per alte pressioni e temperatura



RIDUZIONE E COPPIA COMPATTA



La vite senza fine è ideale per grandi riduzioni in poco spazio.

6 EFFICIENZA E CALORE

- Lo scorrimento genera attriti significativi, con perdite di potenza e produzione di calore. È indispensabile una corretta lubrificazione.



8 VANTAGGI E LIMITI

Vantaggi:

- ✓ Grandi rapporti di riduzione
- ✓ Design compatto
- ✓ Trasmissione silenziosa
- ✓ Buone capacità di coppia

Limiti:

- ✗ Efficienza limitata (50-90%)
- ✗ Maggiori attriti e usura
- ✗ Generazione di calore
- ✗ Necessità di lubrificazione

9 APPLICAZIONI

- Ascensori e montacarichi
- Nastri trasportatori
- Attuatori per cancelli e portoni
- Sistemi di posizionamento
- Riduttori e motoriduttori
- Macchine agricole e industriali



*Tante applicazioni,
una soluzione affidabile!*

10 IDEA CHIAVE

Scegli la vite senza fine quando sono più importanti:

- grandi rapporti di riduzione
- ingombri compatti
- trasmissione regolare e silenziosa
- buone capacità di coppia

... anche a costo di una minore efficienza rispetto ad altri sistemi di ingranaggi.



La scelta giusta dipende dalle esigenze dell'applicazione!



DA MEMORIZZARE:



La vite senza fine consente grandi riduzioni e buone capacità di coppia, ma richiede attenzione a efficienza e lubrificazione.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



TRENI DI INGRANAGGI

Dalla teoria alla pratica

COMBINARE PIÙ STADI

1 DEFINIZIONE

- Un treno di ingranaggi è un insieme di due o più ingranaggi che lavorano insieme per trasmettere moto e potenza tra alberi distanti.



2 TRENO SEMPLICE

- Ogni ingranaggio è montato su un albero indipendente.
- Il moto si trasmette in sequenza da un albero all'altro.



Stadio 1 Stadio 2 Stadio 3

3 TRENO COMPOSTO

- Almeno un albero porta due o più ingranaggi rigidamente collegati.
- Permette di ottenere rapporti più elevati in spazi ridotti.



4 RUOTA OZIOSA

- La ruota oziosa (folle) serve a cambiare il senso di rotazione ma non modifica il valore assoluto del rapporto di trasmissione.



5 RAPPORTO TOTALE

- Il rapporto totale di un treno di ingranaggi è il prodotto dei rapporti dei singoli stadi.

$$i_{\text{tot}} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_n$$

dove $i = \frac{n_1}{n_2}$
(rapporto di riduzione). *Più stadi, più possibilità!*

SOMMARE RAPPORTI, DISTRIBUIRE POTENZA

TRENO SEMPLICE



Stadio 1
 i_1

Stadio 2
 i_2

Stadio 3
 i_3

TRENO COMPOSTO



Stadio 1
 i_1

Stadio 2
 i_2

Stadio 3
 i_3

Più ruote dentate permettono di ottenere il rapporto finale desiderato.

6 COPPIA E VELOCITÀ

- Ad ogni stadio la velocità può diminuire e la coppia aumentare (riduttore), oppure l'opposto (moltiplicatore).



7 INGOMBRI E LAYOUT

- Più stadi permettono di ottenere grandi rapporti in spazi compatti.
- È importante scegliere la disposizione degli alberi (paralleli, coassiali, ortogonali) per ottimizzare ingombri e prestazioni.



Layout compatto, grandi risultati!

8 EFFICIENZA TOTALE

- Ad ogni stadio si hanno piccole perdite per attrito.
- L'efficienza totale è il prodotto delle efficienze dei singoli stadi.

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n \quad (< 1)$$



9 APPLICAZIONI

- Riduttori e moltiplicatori di velocità
- Cambi e trasmissioni per veicoli
- Orologeria di precisione
- Macchine industriali
- Robotica e automazione
- Sistemi di posizionamento

Dai microingranaggi agli impianti industriali!



Riduttori



Cambi



Orologi



Macchine industriali



Robotica

10 IDEA CHIAVE

- I treni di ingranaggi permettono di ottenere rapporti molto grandi o molto specifici che una sola coppia di ingranaggi non può fornire facilmente.
- Consentono di combinare più stadi per adattare velocità, coppia, direzione e ingombri alle esigenze dell'applicazione.
- Fondamentali per trasmissioni compatte, efficienti e affidabili.



DA MEMORIZZARE:



Nei treni di ingranaggi il rapporto totale nasce dalla combinazione dei singoli stadi.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



CINGHIE E PULEGGE

Dalla teoria alla pratica

FLESSIBILITÀ, DISTANZA E SEMPLICITÀ

1 DEFINIZIONE

- La trasmissione a cinghia e pulegge trasmette il moto e la potenza tra due alberi separati mediante l'aderenza della cinghia sulle pulegge.



2 TIPI DI CINGHIA

- Cinghia piatta *Semplice e versatile*
- Cinghia trapezoidale (a V) *Maggiore aderenza*
- Cinghia dentata (sincrona) *Senza slittamento*



3 RAPPORTO DI TRASMISSIONE

- Il rapporto di trasmissione dipende dal diametro delle pulegge e, in prima approssimazione, è:

$$i = \frac{D_2}{D_1}$$

D_1 = diametro puleggia motrice
 D_2 = diametro puleggia condotta
 i = rapporto di trasmissione



4 RAMO TESO E RAMO LENTO

- La cinghia ha due rami:
- ramo teso:** lato in trazione, che trasmette la potenza
- ramo lento:** lato in ritorno, con minore tensione.



5 SLITTAMENTO

- Nelle cinghie per aderenza può verificarsi lo slittamento tra cinghia e puleggia, soprattutto sotto carichi elevati. Le cinghie dentate evitano lo slittamento grazie all'ingranamento dei denti.



TRASMISSIONE PER ADERENZA

Trasmissione con cinghia piatta (a rami aperti)



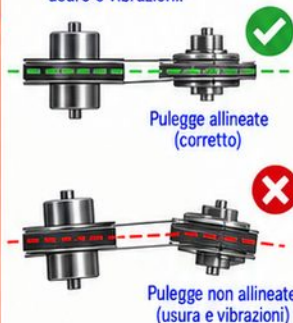
Trasmissione con cinghia trapezoidale (a V)



Le cinghie collegano alberi lontani con semplicità e buona economicità.

6 TENDITURA E ALLINEAMENTO

- Una corretta tenditura garantisce la trasmissione della potenza e riduce lo slittamento. È fondamentale mantenere le pulegge allineate per evitare usure e vibrazioni.



7 VANTAGGI

- Basso costo
- Semplicità costruttiva
- Funzionamento silenzioso
- Assorbimento di urti e vibrazioni
- Possibilità di collegare alberi a lunga distanza



Semplice, economica e affidabile!

8 LIMITI

- Possibile slittamento (nelle cinghie per aderenza)
- Usura della cinghia
- Necessità di manutenzione e controllo della tensione
- Minore precisione di trasmissione rispetto ad altri sistemi (per alcuni tipi di cinghia)



9 APPLICAZIONI

- Ventilatori e soffianti
- Compressori
- Organi ausiliari per autoveicoli
- Nastri trasportatori
- Macchine utensili
- Macchine industriali



10 IDEA CHIAVE

- Le trasmissioni a cinghia sono ideali quando sono importanti la semplicità, il basso costo e la possibilità di collegare alberi a distanza variabile.



Semplicità che fa la differenza!



DA MEMORIZZARE:



Le trasmissioni a cinghia sono semplici e versatili, ma richiedono corretta tensione e controllo dello slittamento.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
 SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
 E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
 E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



CATENE E PIGNONI

Dalla teoria alla pratica

SINCRONISMO SENZA SLITTAMENTO

1 DEFINIZIONE

- La trasmissione a catena trasferisce il moto e la potenza tra due alberi mediante l'accoppiamento tra le maglie della catena e i denti dei pignoni.



2 COMPONENTI PRINCIPALI

- Pignone motore
- Pignone condotto
- Catena a rulli
- Tenditore
- Carter di protezione



3 RAPPORTO DI TRASMISSIONE

- Il rapporto di trasmissione dipende dal numero di denti dei pignoni.

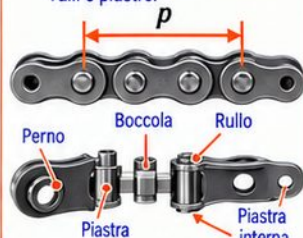
$$i = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Z_1 = numero di denti del pignone motore
 Z_2 = numero di denti del pignone condotto
 i = rapporto di trasmissione



4 PASSO DELLA CATENA

- Il passo (p) è la distanza tra i centri di due maglie consecutive. La catena è formata da maglie composte da perni, boccole, rulli e piastre.

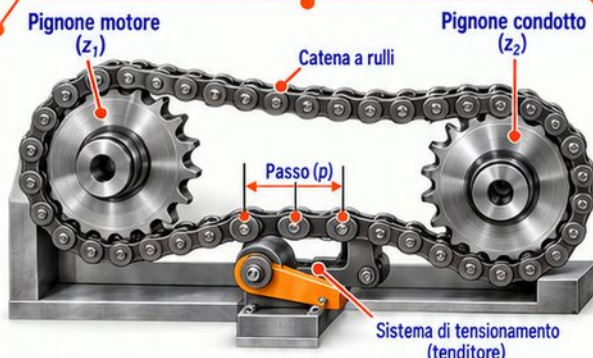


5 LUBRIFICAZIONE E TENSIONAMENTO

- Una corretta lubrificazione riduce l'usura tra perni e boccole, mentre il giusto tensionamento mantiene l'efficienza e prolunga la durata della catena.



MOTO AFFIDABILE TRA ALBERI DISTANTI



La catena trasmette moto senza slittamento, anche con coppie significative.

6 VANTAGGI

- Trasmissione senza slittamento
- Buon rendimento
- Adatta a carichi e coppie elevate
- Funzionamento affidabile
- Adatta ad alberi distanti
- Ampia gamma di soluzioni e dimensioni



7 LIMITI

- Maggiore rumorosità rispetto alle cinghie
- Usura di perni e boccole
- Allungamento progressivo
- Sensibile al disallineamento
- Necessità di lubrificazione
- Richiede manutenzione periodica



8 SICUREZZA E MANUTENZIONE

- Installare carter di protezione
- Verificare periodicamente usura e tensione
- Controllare allineamento dei pignoni
- Lubrificare regolarmente
- Sostituire la catena se allungata o danneggiata



9 APPLICAZIONI

- Biciclette e e-bike
- Motocicli
- Nastri trasportatori
- Macchine utensili
- Trasmissioni di distribuzione (e.g. motori)
- Impianti industriali
- Macchine agricole
- Altre applicazioni meccaniche

Ovunque serve potenza senza slittamento!



10 IDEA CHIAVE

- Le trasmissioni a catena si scelgono quando è necessario trasmettere moto e potenza in modo positivo, senza slittamento, tra alberi distanti con affidabilità e robustezza.

CONDIZIONI IDEALI

- ✓ Trasmissione positiva
- ✓ Niente slittamento
- ✓ Alberi a distanza moderata
- ✓ Carichi e coppie significative
- ✓ Ambienti industriali gravosi



DA MEMORIZZARE:



Nelle trasmissioni a catena il sincronismo deriva dall'accoppiamento positivo tra maglie e denti del pignone."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



SINTESI DI INGRANAGGI E TRASMISSIONI

Dalla teoria alla pratica

SCELTA, PRESTAZIONI E APPLICAZIONI

1 INGRANAGGI CILINDRICI

- Trasmettono moto tra assi paralleli
- Profili a denti dritti
- Semplici, robusti, affidabili
- Adatti per medie e alte potenze



Soluzione semplice e affidabile!

2 ELICOIDALI

- Denti inclinati
- Trasmissione più fluida e silenziosa
- Maggiore capacità di carico
- Generano uno sforzo assiale da considerare



Più fluidità meno rumore!

3 CONICI

- Trasmettono moto tra assi incidenti (di solito 90°)
- Denti dritti o elicoidali
- Adatti per cambi di direzione del moto
- Usati in differenziali e rinvii angolari



Cambia direzione al tuo progetto!

4 VITE SENZA FINE

- Grandi rapporti di trasmissione in spazi compatti
- Funzionamento silenzioso
- Possibilità di non retrocedibilità
- Usata in riduttori e posizionamenti



Alti rapporti in poco spazio!

5 CINGHIE E PULEGGE

- Trasmissione flessibile
- Assorbe urti e vibrazioni
- Semplice ed economica
- Possibile slittamento in caso di sovraccarico



Flessibilità in movimento!

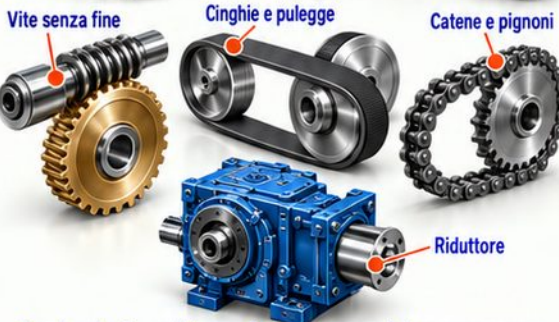
7 CRITERI DI SCELTA

- Potenza da trasmettere
- Velocità di rotazione
- Coppia richiesta
- Precisione e gioco
- Distanza tra gli assi
- Ambiente di lavoro
- Costo e manutenzione



Le domande giuste portano alla soluzione migliore!

MOTO + COPPIA + AFFIDABILITÀ



Ogni soluzione di trasmissione nasce dal compromesso tra prestazioni, ingombri, costo e manutenzione.

6 CATENE E PIGNONI

- Trasmissione positiva senza slittamento
- Adatte per potenze elevate
- Robuste e affidabili
- Richiedono lubrificazione e corretta tensione



Potenza senza slittamenti!

8 EFFICIENZA E MANUTENZIONE

- Corretta lubrificazione
- Allineamento accurato
- Giusta tensione (cinghie e catene)
- Controllo di rumori e vibrazioni
- Verifica dell'usura
- Manutenzione periodica



Manutenzione oggi, affidabilità domani!

9 ERRORI COMUNI

- Scelta errata del rapporto di trasmissione
- Lubrificazione insufficiente
- Disallineamento tra gli assi
- Tensione non corretta di cinghie o catene
- Sottovalutare i carichi reali



Evita questi errori!

10 MESSAGGIO FINALE / IDEA CHIAVE

- La trasmissione giusta trasforma la teoria in movimento affidabile
- Ogni applicazione richiede la soluzione più adatta
- Un buon progetto bilancia prestazioni, ingombri, costo e manutenzione
- La qualità della trasmissione determina la vita della macchina



Dalla teoria al movimento reale!

LA TRASMISSIONE GIUSTA TRASFORMA LE IDEE IN MACCHINE AFFIDABILI.



DA MEMORIZZARE:



Scegliere bene una trasmissione significa bilanciare rapporto, efficienza, affidabilità, costo e manutenzione.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



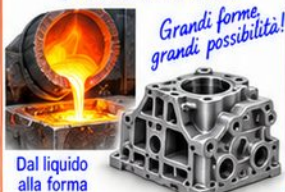
SINTESI DEI PROCESSI DI FABBRICAZIONE

Ogni pezzo richiede una scelta!

SCELTA, QUALITÀ E PRODUTTIVITÀ

1 FUSIONE

- Adatta a geometrie complesse
- Ideale per grandi masse di produzione
- Pezzi vicini alla forma finale
- Ampia gamma di materiali
- Attenzione a difetti (porosità, inclusioni, ritiri)



2 ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

- Alta precisione dimensionale
- Ottima finitura superficiale
- Processi: tornitura, fresatura, foratura, alesatura
- Grande flessibilità
- Adatta a piccoli e medi lotti



3 DEFORMAZIONE PLASTICA

- Basso spreco di materiale
- Elevata produttività
- Migliora le proprietà meccaniche del materiale
- Processi: forgiatura, laminazione, estrusione, imbutitura
- Particolarmente adatta alla produzione in serie



4 SALDATURA

- Unione permanente di componenti
- Adatta a strutture e assemblaggi
- Ampia gamma di materiali e spessori
- Processi: ad arco, MIG, TIG, resistenza, laser
- Richiede controllo di qualità



5 MANIFATTURA ADDITIVA

- Ideale per geometrie complesse
- Libertà di progettazione
- Personalizzazione e piccoli lotti
- Prototipazione rapida
- Adatta anche a materiali avanzati



**PROCESSO GIUSTO =
QUALITÀ + COSTO +
PRESTAZIONI**



6 CRITERI DI SCELTA

- Tipo di materiale
- Volume produttivo
- Geometria e complessità
- Tolleranze richieste
- Finitura superficiale
- Costo di produzione
- Tempo di realizzazione

Processo corretto = valore reale



7 QUALITÀ E CONTROLLO

- Verifica dimensionale e geometrica
- Controllo difetti (cricche, porosità, inclusioni)
- Ripetibilità e tracciabilità
- Sistemi di ispezione (CMM, prove non distruttive)
- Conformità agli standard



Ogni tecnologia nasce dal compromesso tra geometria, materiale, quantità, precisione e investimento.

8 EFFICIENZA E COSTI

- Costi di attrezzaggio
- Tempo macchina
- Scarto di materiale
- Manutenzione e usura utensili
- Automazione e produttività
- Analisi del ciclo di vita



9 ERRORI COMUNI

- Scegliere un processo solo per abitudine
- Ignorare le tolleranze richieste
- Sottovalutare le lavorazioni successive
- Non considerare costi e tempi reali
- Trascurare la sicurezza e il controllo qualità



10 MESSAGGIO FINALE / IDEA CHIAVE

- Non esiste un processo universalmente migliore in assoluto
- La scelta dipende da materiale, geometria, quantità, precisione e costo
- Una buona ingegneria di produzione allinea progettazione, processo e funzione
- Integrare conoscenze e tecnologie per ottenere il miglior risultato

Dall'idea alla produzione



DA MEMORIZZARE:



Scegliere bene un processo di fabbricazione significa bilanciare qualità, tempo, costo e prestazioni del componente.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



FUSIONE E COLATA

Dalla teoria alla pratica

FORMARE PEZZI PARTENDO DAL METALLO LIQUIDO

1 DEFINIZIONE

- Processo di fabbricazione che consiste nel versare il metallo liquido in uno stampo e lasciarlo solidificare per ottenere il pezzo desiderato.



2 FASI DEL PROCESSO

- Fusione del metallo
- Preparazione dello stampo
- Colata
- Solidificazione
- Distaffatura (rimozione dello stampo)
- Finitura e controlli



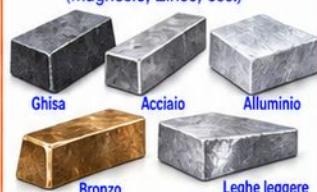
3 TIPI DI STAMPO

- Stampi a perdere (in sabbia)
- Stampi permanenti (in conchiglia metallica)
- Pressofusione (alta pressione)



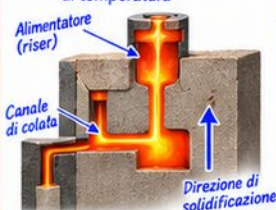
4 MATERIALI

- Ghisa
- Acciai colabili
- Alluminio
- Bronzo
- Leghe leggere (Magnesio, Zinco, ecc.)

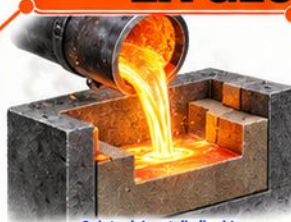


5 SOLIDIFICAZIONE

- Ritiro del materiale
- Alimentatori (risers)
- Canali di colata
- Direzione di solidificazione
- Controllo dei gradienti di temperatura



RIEMPIRE UNO STAMPO E SOLIDIFICARE LA GEOMETRIA



6 DIFETTI TIPICI

- Porosità e soffiature
- Cricche (fessurazioni)
- Inclusioni di scorie
- Mancate colate
- Ritiri e cavità da ritiro



7 VANTAGGI

- Consente di realizzare forme molto complesse
- Adatta a pezzi di grandi dimensioni
- Buona economicità per medie e grandi serie
- Ampia scelta di materiali
- Possibilità di ottenere cavità interne e geometrie integrate

Forma complessa? Fusione!



La fusione è ideale per forme complesse e grandi volumi di materiale.

8 LIMITI

- Precisione dimensionale inferiore alla lavorazione meccanica
- Possibili difetti metallurgici
- Finitura superficiale spesso da migliorare
- Tempo di ciclo relativamente lungo
- Necessità di controlli di qualità



9 APPLICAZIONI

- Basamenti di macchine
- Carter e scatole
- Corpi pompa
- Corpi valvola
- Componenti automotive
- Componenti per impianti industriali
- Turbine e grandi strutture



10 IDEA CHIAVE

- Scegli la fusione quando la geometria è complessa, il volume di materiale è elevato e la produzione near-net-shape è vantaggiosa.

La forma dà valore!



DA MEMORIZZARE:



Nella fusione la qualità finale dipende da stampo, colata, solidificazione e controllo dei difetti.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



TORNITURA MECCANICA

Dalla teoria alla pratica

ROTAZIONE DEL PEZZO E AVANZAMENTO DELL'UTENSILE

1 DEFINIZIONE

- Processo di lavorazione per asportazione di truciolo dove il pezzo ruota e l'utensile avanza per generare la superficie desiderata.



2 MOTI PRINCIPALI

- Moto di taglio (rotazione del pezzo)
- Avanzamento dell'utensile (moto lineare)
- Profondità di passata (penetrazione radiale)



3 TORNIO E COMPONENTI

- Mandrino
- Contropunta
- Torretta portautensili
- Carro longitudinale
- Carro trasversale
- Utensile da tornitura



4 OPERAZIONI

- Cilindratura (lavorazione esterna)
- Sfacciatura (superfici frontali)
- Troncatura (separazione pezzo)
- Filettatura (filetti esterni/interni)
- Alesatura (lavorazioni interne)
- Profilatura (forme complesse)



5 PARAMETRI DI TAGLIO

- Velocità di taglio (V_c)
- Avanzamento (f)
- Profondità di passata (a_p)

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000}$$

V_c = velocità di taglio [m/min]

D = diametro pezzo [mm]

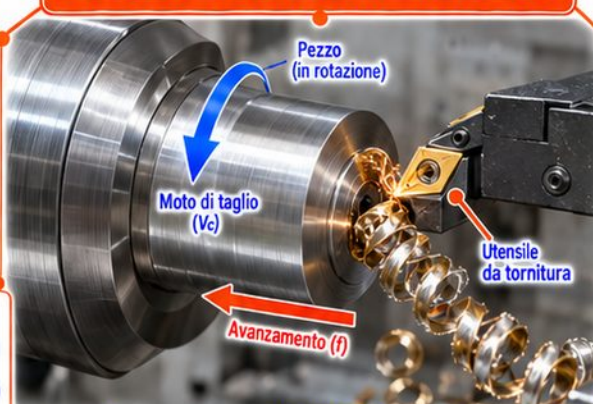
n = giri al minuto [rpm]

f = avanzamento [mm/giro]

a_p = profondità di passata [mm]

Velocità + avanzamento!

PEZZO IN ROTAZIONE, UTENSILE IN AVANZAMENTO



La tornitura genera superfici cilindriche, coniche e frontali con elevata versatilità.

6 FORMAZIONE DEL TRUCIOLO

- Il truciolo si forma per deformazione plastica del materiale sotto l'azione dell'utensile.
- Si generano calore, pressioni e elevate sollecitazioni.
- La geometria del truciolo dipende dai parametri di taglio e dal materiale.



7 UTENSILI E MATERIALI

- Utensili in acciaio rapido (HSS)
- Utensili in metallo duro
- Inserti rivestiti (TiN, TiAlN, ecc.)
- Geometrie specifiche per diversi materiali
- Refrigerante per raffreddare e migliorare la durata



8 TOLLERANZE E FINITURA

- Elevata precisione dimensionale
- Buona finitura superficiale
- Ripetibilità delle quote
- Controlli con strumenti di misura
- Adatta per tolleranze strette



9 APPLICAZIONI

- Alberi (trasmissione di potenza)
- Boccole (supporti e guide)
- Perni e spine
- Viti e componenti filettati
- Rulli e cilindri
- Flange e componenti per macchine



10 IDEA CHIAVE

- La tornitura è il processo di riferimento per i pezzi a geometria di rotazione.
- Combina alta produttività, versatilità e precisione.
- La scelta corretta di utensile, parametri e strategia permette di ottenere il miglior compromesso tra qualità, tempo e costo.



DA MEMORIZZARE:



"Nella tornitura il controllo di velocità, avanzamento e utensile determina qualità, tempo e durata del processo."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



FRESATURA

UTENSILE ROTANTE, SUPERFICI E PROFILI

Dalla teoria alla pratica

1 DEFINIZIONE

- Processo di asportazione di truciolo con utensile rotante a più taglienti
- L'utensile ruota e il pezzo è alimentato
- Realizza superfici piane, curve e complesse



2 FRESA E MACCHINA

- Fresatrice verticale e orizzontale
- Macchine CNC a 3, 4 e 5 assi
- Mandrino porta-utensile
- Tavola e sistemi di bloccaggio
- Controllo numerico e percorsi utensile



3 TIPI DI FRESA

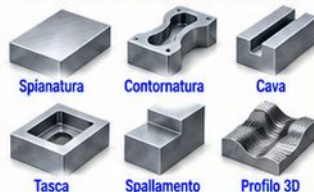
- Fresa cilindrica (a rulli)
- Fresa a candela
- Fresa a spianare (testa)
- Fresa a disco
- Fresa sferica (torica)
- Frese speciali e modulari



Cilindrica A candela A spianare A disco Sferica

4 OPERAZIONI

- Spianatura
- Contornatura
- Cave e scanalature
- Tasche (pocket milling)
- Spallamenti
- Profili 3D e superfici complesse



5 CONCORDE E DISCORDE

- Concorde (climb milling): lo spessore del truciolo diminuisce
- Discorde (conventional): lo spessore del truciolo aumenta
- Influiscono su finitura, usura e forze di taglio



UTENSILE ROTANTE, GEOMETRIE COMPLESSE

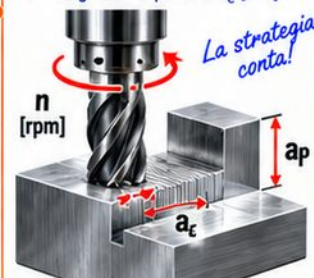


La fresatura realizza piani, cave, spallamenti e profili con grande flessibilità.

Grande flessibilità!

6 PARAMETRI DI FRESATURA

- Velocità di rotazione n [rpm]
- Velocità di taglio V_c [m/min]
- Avanzamento per dente f_z [mm/dente]
- Profondità di passata a_p [mm]
- Larghezza di passata a_e [mm]



7 FORZE, TRUCIOLO E CALORE

- Forze di taglio nelle tre direzioni
- Truciolo discontinuo
- Generazione di calore
- Importanza della lubrificazione e dell'evacuazione truciolo
- Usura dell'utensile



8 QUALITÀ E FINITURA

- Precisione dimensionale *Piano, cava, profilo!*
- Rugosità superficiale
- Influenza di utensile e parametri
- Vibrazioni e loro controllo
- Strategie di lavorazione



9 APPLICAZIONI

- Stampi e attrezzature
- Piastre e basamenti
- Carter e scocche
- Supporti e componenti meccanici
- Prototipi e piccoli lotti
- Lavorazioni CNC complesse



Stampi Carter Piastre Componenti CNC

10 IDEA CHIAVE

- La fresatura è il processo chiave per ottenere pezzi prismatici e geometrie complesse
- Unisce flessibilità, precisione e alta produttività
- La scelta di utensile, strategia e parametri determina il risultato



DA MEMORIZZARE:



Nella fresatura la scelta della fresa e dei parametri influenza precisione, finitura e produttività.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



FORATURA ALESATURA E FILETTATURA

Un foro non è mai solo un foro!

REALIZZARE E RIFINIRE I FORI

1 DEFINIZIONE

- La foratura crea fori in un pezzo.
- L'alesatura migliora precisione e finitura del foro.
- La filettatura realizza filetti interni o esterni per il collegamento di componenti.



Stesso foro, diversi obiettivi!

2 UTENSILI PRINCIPALI

- Punta elicoidale (per foratura)
- Alesatore (per finitura)
- Maschio (per filettatura interna)
- Svasatore (per smussi e sedi)



Punta elicoidale Alesatore Maschio Svasatore

3 FASI DELLA FORATURA

- Centrata (punta a centrare)
- Foratura
- Evacuazione truciolo
- Refrigerazione e lubrificazione



Precisione passo dopo passo!

4 ALESATURA

- Operazione di finitura del foro preesistente
- Migliora il diametro, la tolleranza e la rugosità
- Garantisce coassialità e buona finitura superficiale



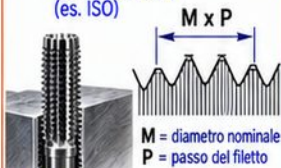
Prima forare, poi rifinire!

Alesatore

Migliore finitura e precisione

5 FILETTATURA

- Filetti interni (maschi) e filetti esterni (filieri)
- Caratterizzati da passo (P) e diametro (M)
- Consentono giunzioni smontabili e resistenti
- Devono rispettare norme standard (es. ISO)



Filetto esterno

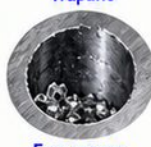
DAL FORO GREZZO AL FORO FUNZIONALE



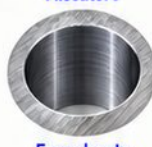
Trapano

Alesatore

Maschio



Foro grezzo



Foro alesato

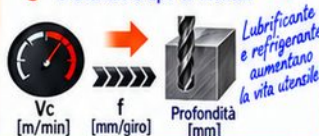


Foro filettato

I fori richiedono spesso più fasi per ottenere diametro, qualità e funzione richiesti.

6 PARAMETRI DI LAVORAZIONE

- Velocità di taglio (Vc)
- Avanzamento (f)
- Profondità di foratura
- Refrigerante e lubrificante
- Materiale e tipo di utensile



Vc [m/min]

f [mm/giro]

Profondità [mm]

Lubrificante e refrigerante aumentano la vita utensile!

7 DIFETTI COMUNI

- Foro fuori asse
- Bava in entrata o uscita
- Conicità del foro
- Rottura dell'utensile
- Scarsa finitura superficiale



Fuori asse

Bava

Conicità

Rottura utensile

8 MACCHINE E SUPPORTI

- Trapano a colonna
- Centro di lavoro CNC
- Maschiatrice (manuale o automatica)
- Morse, staffaggi e dime
- Sistemi di refrigerazione



Trapano a colonna

Centro di lavoro CNC

Maschiatrice

Morsa e staffaggi

9 APPLICAZIONI

- Flange e raccordi
- Piastre e basamenti
- Corpi macchina
- Giunzioni bullonate
- Passaggi per cavi e fluidi



Flange

Piastre

Corpi macchina

Giunzioni bullonate

10 IDEA CHIAVE

- Un foro funzionale dipende dalla corretta sequenza di lavorazioni, dalla precisione richiesta e dalla scelta dell'utensile più adatto.

La qualità di un foro si vede nei dettagli!



Sequenza corretta

Utensile giusto

Precisione e qualità

DA MEMORIZZARE:

Nelle lavorazioni dei fori ogni passaggio contribuisce a precisione, assemblabilità e affidabilità.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



SALDATURA

UNIRE MATERIALI CON CONTINUITÀ STRUTTURALE

Dalla teoria alla pratica

1 DEFINIZIONE

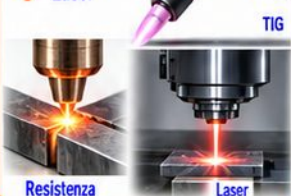
- Processo di giunzione permanente di materiali mediante fusione e/o pressione
- Crea continuità metallurgica tra i pezzi
- Produce un collegamento resistente e duraturo

Unione permanente!



2 PRINCIPALI PROCESSI

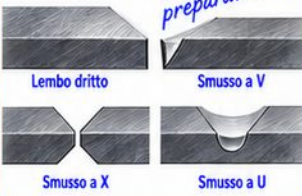
- Arco elettrico (SMAW)
- MIG/MAG (GMAW)
- TIG (GTAW)
- Resistenza (puntatura)
- Laser



3 PREPARAZIONE DEL GIUNTO

- Lembi da unire
- Smussi e geometria del giunto
- Accoppiamento e allineamento
- Pulizia da ossidi, oli, vernici
- Eliminazione di impurità

Il giunto va preparato bene!



4 ZONE DELLA SALDATURA

- Materiale base
- Cordone di saldatura
- Zona Termicamente Alterata (ZTA o HAZ)
- Gradiente di proprietà meccaniche e microstruttura



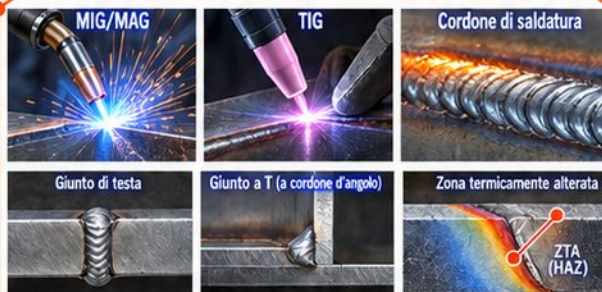
5 PARAMETRI DI SALDATURA

- Corrente di saldatura
- Tensione d'arco
- Velocità di avanzamento
- Apporto termico
- Gas di protezione
- Diametro del filo / elettrodo
- Polarità e tecnica

Parametri giusti = qualità!



GIUNZIONE PERMANENTE CON CALORE E/O PRESSIONE



La saldatura unisce componenti creando un collegamento resistente e permanente.

6 DIFETTI DI SALDATURA

- Porosità (inclusioni di gas)
- Cricche (a caldo o a freddo)
- Mancanza di penetrazione
- Inclusioni di scorie
- Spruzzi
- Deformazioni e tensioni residue



7 SICUREZZA E SALUTE

- Maschera con filtro adeguato
- Guanti e indumenti protettivi
- Protezione da fumi e gas nocivi
- Radiazioni UV/IR
- Ventilazione e aspirazione
- Schermature per l'ambiente

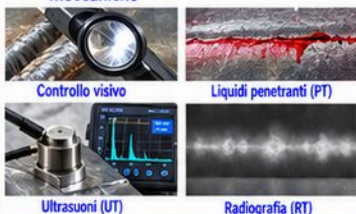
Sicurezza sempre!



8 CONTROLLI E VERIFICHE

- Controllo visivo
- Liquidi penetranti (PT)
- Ultrasuoni (UT)
- Radiografia (RT)
- Controlli dimensionali
- Verifica delle proprietà meccaniche

Qualità = processo + controllo



9 APPLICAZIONI

- Carpenteria metallica
- Serbatoi e recipienti in pressione
- Tubazioni e condotte
- Telai e strutture saldate
- Industria automotive
- Cantieristica navale
- Macchine e impianti industriali



10 IDEA CHIAVE

- Il processo di saldatura più adatto dipende da:
 - Materiale da unire
 - Spessore dei componenti
 - Accessibilità del giunto
 - Qualità richiesta
 - Condizioni di esercizio
 - Costi e produttività



La scelta giusta fa la differenza!



DA MEMORIZZARE:



“Nella saldatura preparazione, parametri e controllo determinano resistenza e affidabilità del giunto.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



DEFORMAZIONE PLASTICA

Dalla teoria alla pratica

CAMBIARE FORMA SENZA ASPORTARE MATERIALE

1 DEFINIZIONE

- Cambiamento di forma permanente del materiale oltre il limite elastico
- Il pezzo mantiene la nuova forma anche dopo la rimozione del carico



2 COMPORTAMENTO DEL MATERIALE

- Comportamento elastico: deformazione reversibile
- Comportamento plastico: deformazione permanente
- Snervamento: inizio della deformazione plastica
- Duttilità: capacità di deformarsi senza rompersi



3 LAVORAZIONE A CALDO E A FREDDO

- A caldo: temperatura > di ricristallizzazione
- Minori forze richieste
- Maggiore duttilità
- Grani più grandi
- Adatta a grandi deformazioni
- A freddo:
- Maggiori forze richieste
- Maggiore precisione
- Migliori proprietà meccaniche (per incrudimento)
- Grani più fini


Minori forze
Grani più grandi

Maggiore precisione
Grani più fini

4 PRINCIPALI PROCESSI

- Laminazione
- Estrusione
- Trafilatura
- Piegatura
- Stampaggio



5 VANTAGGI

- Poco scarto di materiale
- Buone proprietà meccaniche
- Elevata produttività
- Possibilità di forme complesse
- Miglioramento delle proprietà (es. incrudimento)



RIDISTRIBUIRE IL MATERIALE SFRUTTANDO LA DUTTILITÀ

PIEGATURA



ESTRUSIONE



TRAFILATURA



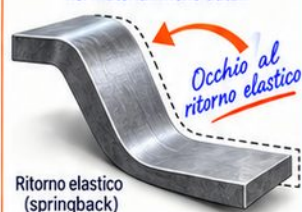
COMPRESSIONE



La deformazione plastica sfrutta la capacità del materiale di cambiare forma in modo permanente. *Il materiale scorre*

6 LIMITI

- Elevate forze richieste
- Attrezzature dedicate e costose
- Ritorno elastico (springback) nei laminati
- Possibili difetti (grinze, cricche)
- Limiti di deformazione nei materiali meno duttili



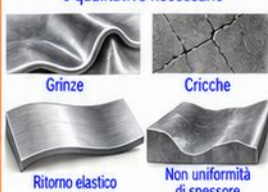
7 FORZE E ATTREZZATURE

- Presse meccaniche e idrauliche
- Rulli di laminazione
- Matrici e punzoni
- Filere per trafilatura
- Stampi per stampaggio
- Attrezzature robuste e resistenti all'usura



8 QUALITÀ E DIFETTI

- Grinze (pieghe indesiderate)
- Cricche (rottture)
- Ritorno elastico
- Non uniformità di spessore
- Difetti superficiali
- Controllo dimensionale e qualitativo necessario



9 APPLICAZIONI

- Lamiere per automotive (carrozzerie, pannelli)
- Profili estrusi (alluminio)
- Tubi e condotte
- Fili e cavi metallici
- Componenti strutturali
- Contenitori, imballaggi
- Settori: automotive, edilizia, aerospaziale, beni di consumo



10 IDEA CHIAVE

- La deformazione plastica è un processo efficiente quando la continuità del materiale e l'elevata produttività sono prioritarie.


DA MEMORIZZARE:


Nella deformazione plastica il materiale non si toglie: si guida nella forma desiderata.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



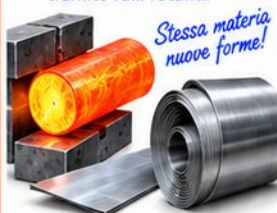
FORGIATURA E LAMINAZIONE

Dalla teoria alla pratica

FORZA, CALORE E ORIENTAMENTO DELLE FIBRE

1 DEFINIZIONE

- La forgiatura comprime il materiale tra utensili per deformarlo plasticamente.
- La laminazione riduce lo spessore o modifica la sezione del materiale tramite rulli rotanti.



2 FORGIATURA LIBERA E A STAMPO

- Forgiatura libera tra matrici piane o sagomate.
- Forgiatura a stampo in cavità chiuse per forme complesse e ad alta ripetibilità.



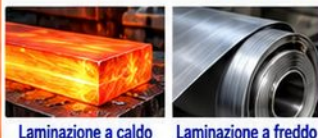
3 LAMINAZIONE

- A caldo: alte temperature per grandi riduzioni di spessore.
- A freddo: a temperatura ambiente per maggiore precisione e migliore finitura superficiale.
- Produzione di lamiera, nastri, profili e barre.



4 A CALDO VS A FREDDO

	A CALDO	A FREDDO
Precisione	Minore	Maggiore
Forza richiesta	Minore	Maggiore
Finitura superficiale	Più grezza	Migliore
Effetti meccanici	Grani raffinati e buona tenacità	Maggiore durezza e resistenza



5 FIBRATURA E PROPRIETÀ

- La deformazione allinea e orienta le fibre del materiale seguendo la forma del pezzo.
- Le proprietà meccaniche (maggiore resistenza, tenacità e fatica) sono migliori della fusione.
- Le fibre seguono il profilo del componente.



COMPATTARE, ALLUNGARE E RINFORZARE IL MATERIALE



Forgiatura e laminazione migliorano forma e proprietà meccaniche attraverso deformazione controllata.

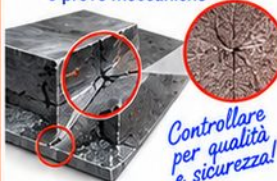
6 MACCHINE E ATTREZZI

- Presse idrauliche e meccaniche
- Magli
- Rulli di laminazione
- Stampi e matrici
- Sistemi di riscaldamento e movimentazione



7 DIFETTI E CONTROLLI

- Pieghe e ripiegamenti
- Cricche e fessurazioni
- Ossidazione e scaglia
- Disuniformità di spessore
- Difetti dimensionali
- Controlli visivi, ultrasuoni e prove meccaniche



8 VANTAGGI

- Elevate proprietà meccaniche
- Buona produttività anche per grandi serie
- Adatto a molte geometrie
- Ridotto spreco di materiale rispetto alla asportazione di truciolo



9 APPLICAZIONI

- Bielle e manovellismi
- Alberi e assi
- Ruote e ingranaggi
- Lamiere e nastri
- Travi e profilati
- Componenti strutturali
- Settore automotive, energia e costruzioni



10 IDEA CHIAVE

- Scegli la forgiatura o la laminazione quando le prestazioni meccaniche e la produttività sono strategiche.
- Sfrutta la deformazione controllata per ottenere componenti più resistenti, leggeri e affidabili.



DA MEMORIZZARE:



Forgiatura e laminazione non solo danno forma: costruiscono anche prestazioni meccaniche.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



MANIFATTURA ADDITIVA

Dalla teoria alla pratica

COSTRUIRE STRATO DOPO STRATO

1 DEFINIZIONE

- Processo di fabbricazione che costruisce il pezzo strato dopo strato
- Parte da un modello digitale 3D
- Aggiunge o consolida materiale in modo selettivo



Libertà geometrica!

2 FLUSSO DIGITALE

- Modellazione CAD
- Esportazione in STL
- Slicing (suddivisione in strati)
- Generazione supporti
- Stampa
- Post-processo



3 TECNOLOGIE PRINCIPALI

- FDM / FFF (filamento fuso)
- SLA (resina fotopolimerica)
- SLS (polveri polimeriche)
- SLM / DMLS (polveri metalliche)



4 MATERIALI

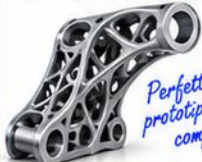
- Polimeri termoplastici (PLA, ABS, PETG, Nylon)
- Resine fotopolimeriche
- Metalli (Ti, Al, Inox, CoCr)
- Polveri tecniche (polimeri, ceramiche, compositi)
- Materiali avanzati (carbonio, PEEK, ecc.)



Digitale + materia

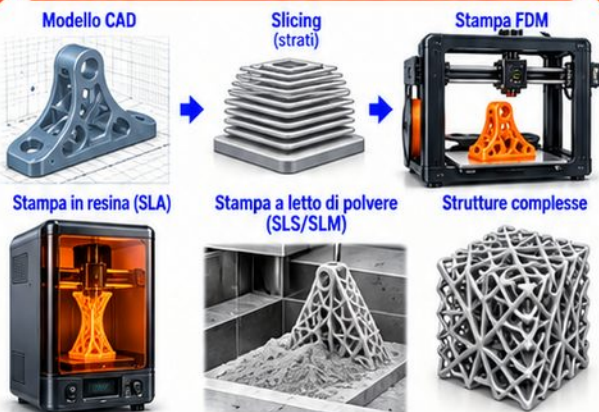
5 VANTAGGI

- Libertà geometrica
- Personalizzazione di massa
- Nessun attrezzaggio dedicato
- Rapidità di prototipazione
- Riduzione degli scarti
- Produzione on-demand



Perfetta per prototipi e forme complesse!

DAL MODELLO DIGITALE AL PEZZO FISICO



La manifattura additiva crea geometrie complesse depositando o consolidando materiale strato dopo strato.

6 LIMITI

- Tempi di produzione lunghi per grandi volumi
- Proprietà meccaniche anisotrope
- Necessità di supporti
- Post-processo spesso necessario
- Precisione e finitura limitate rispetto alla lavorazione tradizionale
- Costi dei materiali



Ogni processo ha i suoi limiti!

7 REGOLE DI PROGETTO

- Progettare supporti adeguati
- Evitare eccessivi overhang
- Rispettare spessori minimi
- Ottimizzare l'orientazione
- Considerare tolleranze e ritiro
- Progettare per la rimozione dei supporti



Progetta per stampare!

8 QUALITÀ E POST-PROCESSO

- Finitura superficiale (rugosità)
- Trattamenti termici
- Lavorazioni meccaniche
- Rimozione supporti
- Sabbatura, lucidatura
- Controlli dimensionali
- Trattamenti superficiali (verniciatura, anodizzazione)



9 APPLICAZIONI

- Prototipi funzionali
- Settore biomedicale (protesi, impianti)
- Aerospazio (componenti leggeri)

- Attrezzature e utensili
- Componenti alleggeriti e topologicamente ottimizzati
- Ricambi e produzione on-demand



10 IDEA CHIAVE

- La manifattura additiva è ideale quando la complessità geometrica e la personalizzazione sono più importanti del solo costo unitario.
- Permette soluzioni impossibili con i metodi tradizionali.
- Trasforma rapidamente un'idea in un pezzo reale.

Complessità oggi, possibilità domani!



DA MEMORIZZARE:



"Nella manifattura additiva il progetto digitale diventa direttamente geometria fisica, strato dopo strato."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



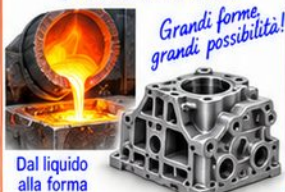
SINTESI DEI PROCESSI DI FABBRICAZIONE

Ogni pezzo richiede una scelta!

SCELTA, QUALITÀ E PRODUTTIVITÀ

1 FUSIONE

- Adatta a geometrie complesse
- Ideale per grandi masse di produzione
- Pezzi vicini alla forma finale
- Ampia gamma di materiali
- Attenzione a difetti (porosità, inclusioni, ritiri)



2 ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

- Alta precisione dimensionale
- Ottima finitura superficiale
- Processi: tornitura, fresatura, foratura, alesatura
- Grande flessibilità
- Adatta a piccoli e medi lotti



3 DEFORMAZIONE PLASTICA

- Basso spreco di materiale
- Elevata produttività
- Migliora le proprietà meccaniche del materiale
- Processi: forgiatura, laminazione, estrusione, imbutitura
- Particolarmente adatta alla produzione in serie



4 SALDATURA

- Unione permanente di componenti
- Adatta a strutture e assemblaggi
- Ampia gamma di materiali e spessori
- Processi: ad arco, MIG, TIG, resistenza, laser
- Richiede controllo di qualità



5 MANIFATTURA ADDITIVA

- Ideale per geometrie complesse
- Libertà di progettazione
- Personalizzazione e piccoli lotti
- Prototipazione rapida
- Adatta anche a materiali avanzati



**PROCESSO GIUSTO =
QUALITÀ + COSTO +
PRESTAZIONI**



6 CRITERI DI SCELTA

- Tipo di materiale
- Volume produttivo
- Geometria e complessità
- Tolleranze richieste
- Finitura superficiale
- Costo di produzione
- Tempo di realizzazione



7 QUALITÀ E CONTROLLO

- Verifica dimensionale e geometrica
- Controllo difetti (cricche, porosità, inclusioni)
- Ripetibilità e tracciabilità
- Sistemi di ispezione (CMM, prove non distruttive)
- Conformità agli standard



Ogni tecnologia nasce dal compromesso tra geometria, materiale, quantità, precisione e investimento.

8 EFFICIENZA E COSTI

- Costi di attrezzaggio
- Tempo macchina
- Scarto di materiale
- Manutenzione e usura utensili
- Automazione e produttività
- Analisi del ciclo di vita



9 ERRORI COMUNI

- Scegliere un processo solo per abitudine
- Ignorare le tolleranze richieste
- Sottovalutare le lavorazioni successive
- Non considerare costi e tempi reali
- Trascurare la sicurezza e il controllo qualità



10 MESSAGGIO FINALE / IDEA CHIAVE

- Non esiste un processo universalmente migliore in assoluto
- La scelta dipende da materiale, geometria, quantità, precisione e costo
- Una buona ingegneria di produzione allinea progettazione, processo e funzione
- Integrare conoscenze e tecnologie per ottenere il miglior risultato

Dall'idea alla produzione



DA MEMORIZZARE:



Scegliere bene un processo di fabbricazione significa bilanciare qualità, tempo, costo e prestazioni del componente.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



VIBRAZIONI MECCANICHE

*Dalla teoria
alla pratica*

OSCILLAZIONI, DIAGNOSI E CONTROLLO

1 DEFINIZIONE

- Le vibrazioni meccaniche sono moti oscillatori di un sistema attorno a una posizione di equilibrio.
- Possono essere desiderate (funzionamento) o indesiderate (fenomeno da ridurre).



2 PERCHÉ CONTANO

- Comfort e benessere
- Precisione delle lavorazioni
- Resistenza a fatica
- Rumore e inquinamento acustico
- Affidabilità delle macchine
- Sicurezza di persone e impianti

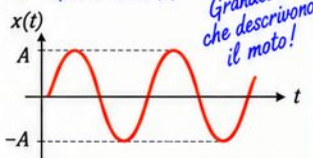


3 GRANDEZZE PRINCIPALI

- Ampiezza (A)
- Frequenza (f)
- Periodo (T)
- Fase (φ)
- Velocità (v)
- Accelerazione (a)
- Spostamento (x)

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2\pi f$$



4 CAUSE COMUNI

- Sbilanciamento delle masse
- Disallineamento di alberi
- Allentamenti (giunti, supporti)
- Urti e carichi impulsivi
- Risonanza
- Cuscinetti usurati
- Eccitazioni periodiche (motori, ingranaggi, ecc.)



5 TIPI DI VIBRAZIONE

- Libera (risposta naturale)
- Forzata (eccitazione esterna)
- Smorzata (con dissipazione di energia)
- Non smorzata
- Torsionale (alberi)
- Longitudinale (lungo l'asse)
- Trasversale (perpendicolare all'asse)



OSCILLAZIONI DA CAPIRE, MISURARE E CONTROLLARE



Le vibrazioni descrivono il moto oscillatorio dei sistemi meccanici e ne influenzano prestazioni, durata e sicurezza.

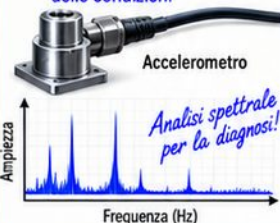
6 EFFETTI

- Rumore e vibrazioni percepibili
- Usura di componenti
- Cricche e danneggiamenti
- Cedimenti per fatica
- Perdita di precisione
- Disagio per gli operatori



7 MISURA E ANALISI

- Accelerometri (sensori di vibrazione)
- Acquisizione del segnale
- Analisi nel dominio del tempo
- Analisi in frequenza (FFT)
- Diagnosi e monitoraggio delle condizioni



8 CONTROLLO

- Bilanciatura delle masse
- Smorzamento (smorzatori)
- Isolamento dalle vibrazioni
- Allineamento degli alberi
- Modifica della rigidità strutturale
- Manutenzione preventiva



9 APPLICAZIONI

- Macchine rotanti (motori, turbine, compressori)
- Veicoli (auto, treni, aerei)
- Strutture civili e industriali
- Macchine utensili
- Monitoraggio di condizione (condition monitoring)
- Collaudi e test di prodotto



10 IDEA CHIAVE

Per ridurre efficacemente le vibrazioni è fondamentale capire:

- la sorgente (causa)
- la frequenza (contenuto spettrale)
- il percorso di trasmissione (struttura)



DA MEMORIZZARE:



“Le vibrazioni non sono solo un effetto: sono un segnale del comportamento dinamico del sistema e della sua salute meccanica.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



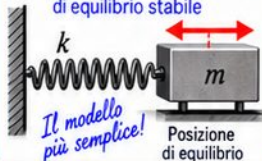
MOTO ARMONICO SEMPLICE

La sinusoide spiega tanto!

IL MODELLO BASE DEL MOTO OSCILLATORIO

1 DEFINIZIONE

- Il moto armonico semplice (MAS) è un moto oscillatorio dove lo spostamento varia sinusoidalmente nel tempo
- È un modello ideale ma molto utile per descrivere molte vibrazioni reali
- Descrive il moto attorno ad una posizione di equilibrio stabile



2 FORZA DI RIPRISTINO

- Nel MAS la forza di richiamo è proporzionale e opposta allo spostamento

Legge di Hooke:

$$F = -kx$$

- k = rigidità elastica [N/m]
 - Il segno meno indica che la forza è diretta verso la posizione di equilibrio
- Più ti allontani, più ti riporta indietro!*

3 LEGGE ORARIA

- Lo spostamento nel tempo è una funzione sinusoidale:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

- A = ampiezza [m]
 - ω = pulsazione [rad/s]
 - φ = fase iniziale [rad]
 - La soluzione generale può essere anche in forma coseno: $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$
- Una sinusoide nel tempo!*

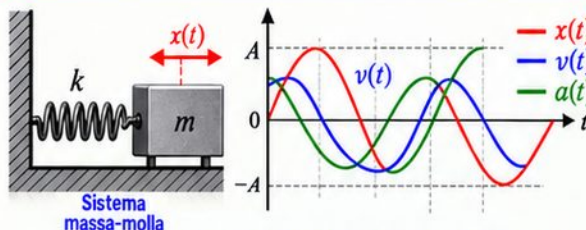
4 GRANDEZZE PRINCIPALI

- Ampiezza (A) [m]
 - Periodo (T) [s]
 - Frequenza (f) [Hz]
 - Pulsazione ($\omega = 2\pi f$) [rad/s]
 - Fase (φ) [rad]
- $T = \frac{1}{f}$
 $\omega = 2\pi f$
- T, f e ω dicono quanto è veloce!*

5 SPOSTAMENTO, VELOCITÀ E ACCELERAZIONE

- Spostamento: $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$
 - Velocità: $v(t) = A\omega \cos(\omega t + \varphi)$
 - Accelerazione: $a(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) = -\omega^2 x(t)$
 - L'accelerazione è proporzionale e opposta allo spostamento
- v è in anticipo di 90° rispetto a x!*

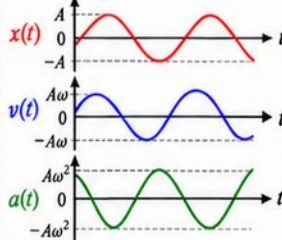
IL MOTO OSCILLATORIO PIÙ SEMPLICE E PIÙ UTILE



Nel moto armonico semplice lo spostamento varia sinusoidalmente nel tempo e accelera verso la posizione di equilibrio.

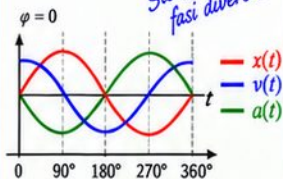
6 GRAFICI NEL TEMPO

- Lo spostamento, la velocità e l'accelerazione sono sinusoidali
- $v(t)$ è sfasata di 90° rispetto a $x(t)$
- $a(t)$ è sfasata di 180° rispetto a $x(t)$
- Stessa frequenza, ampiezze diverse ($A, A\omega, A\omega^2$)



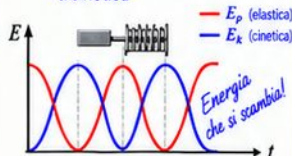
7 SFASAMENTI

- La velocità è in anticipo di 90° rispetto allo spostamento
 - L'accelerazione è in opposizione di fase (180°)
 - Lo sfasamento dipende dalla scelta di sin o cos e dalla fase iniziale φ
- Stessa frequenza, fasi diverse!*



8 ENERGIA NEL MAS

- Energia cinetica: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$
- Energia elastica: $E_p = \frac{1}{2} k x^2$
- L'energia totale si conserva: $E = E_k + E_p = \frac{1}{2} k A^2$
- Durante il moto l'energia passa ciclicamente da elastica a cinetica



9 ESEMPI REALI

- Sistema massa-molla (lineare)
- Pendolo semplice (per piccole oscillazioni)
- Componenti di macchine vibranti (alberi, supporti, strutture)
- Molte vibrazioni meccaniche possono essere approximate localmente con un MAS



10 SIGNIFICATO PRATICO

- Il MAS è il modello base per l'analisi delle vibrazioni
 - Permette di comprendere frequenze naturali, risonanza e risposta dinamica
 - Molte strutture e componenti reali vibrano in modo approssimativamente armonico per piccoli spostamenti
 - Utile per progettazione, diagnosi e controllo delle vibrazioni
- Un modello semplice, grandi risultati!*



DA MEMORIZZARE: “Capire il moto armonico semplice significa capire il linguaggio base con cui descriviamo molte vibrazioni meccaniche.”

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



VIBRAZIONI LIBERE

*Tolgo la forza,
resta la dinamica!*

RISPOSTA NATURALE DEL SISTEMA

1 DEFINIZIONE

- Vibrazioni che si verificano dopo una perturbazione iniziale, in assenza di forze esterne nel tempo successivo
- Il sistema risponde da solo per effetto delle sue proprietà dinamiche
- Rappresentano la risposta naturale del sistema



Sistema rilasciato dopo una deformazione iniziale

2 CONDIZIONI INIZIALI

- La risposta è determinata dalle condizioni iniziali:
- Spostamento iniziale $x(0)$
- Velocità iniziale $v(0)$
- Possono essere dovute a: uno spostamento, una velocità iniziale o entrambi

$$x(0) = x_0$$

$$v(0) = v_0$$

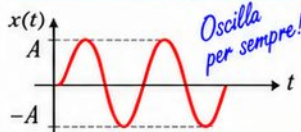
Da qui parte la risposta!

3 RISPOSTA NON SMORZATA

- Oscillazione sinusoidale a ampiezza costante
- Frequenza pari alla frequenza naturale
- Assenza di dissipazione di energia

$$x(t) = A \cos(\omega_n t + \phi)$$

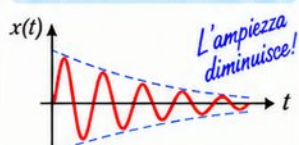
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$



4 RISPOSTA SMORZATA

- Oscillazione a ampiezza decrescente nel tempo
- L'attrito e altre dissipazioni riducono gradualmente l'ampiezza
- Il sistema torna alla posizione di equilibrio
- La rapidità del decadimento dipende dallo smorzamento

$$x(t) = Ae^{-\zeta\omega_n t} \cos(\omega_d t + \phi)$$



5 FREQUENZA NATURALE

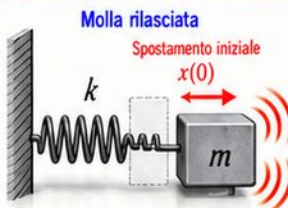
- È la frequenza alla quale il sistema oscilla liberamente in assenza di smorzamento
- Dipende da massa e rigidità
- Caratteristica fondamentale del sistema
- Ogni sistema ha una o più frequenze naturali

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

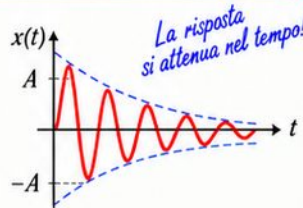
Proprietà del sistema!

DOPO LA PERTURBAZIONE, IL SISTEMA RISPONDE DA SOLO



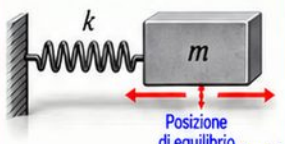
Sistema che oscilla liberamente dopo essere stato spostato.

Nelle vibrazioni libere la risposta dipende soprattutto da massa, rigidità, smorzamento e condizioni iniziali.



6 OSCILLAZIONE ATTORNO ALL'EQUILIBRIO

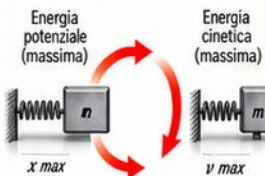
- Il sistema vibra attorno alla posizione di equilibrio statico
- La forza di richiamo (rigidità) tende a riportare il sistema all'equilibrio
- Lo smorzamento dissipa energia riducendo l'ampiezza



Sempre attorno all'equilibrio!

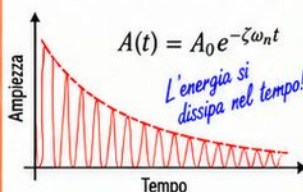
7 SCAMBIO DI ENERGIA

- Nelle vibrazioni libere non smorzate l'energia si scambia continuamente tra:
- Energia potenziale elastica (rigidità)
- Energia cinetica (massa)
- L'energia totale si conserva



8 EFFETTO DELLO SMORZAMENTO

- La presenza di smorzamento causa la dissipazione di energia
- L'ampiezza decresce esponenzialmente nel tempo
- Il sistema ritorna alla posizione di equilibrio
- Il tempo di decadimento dipende dal coefficiente di smorzamento



9 ESEMPI DI VIBRAZIONI LIBERE

- Trave pizzicata e rilasciata (come una corda)
- Sistema massa-molla rilasciato dopo uno spostamento
- Componente colpito e lasciato vibrare
- Albero rotante dopo un urto
- Strutture che oscillano dopo un evento impulsivo



10 IMPORTANZA

- Permettono di identificare le proprietà dinamiche del sistema
- Utilizzate per la stima di: frequenza naturale, smorzamento, rigidità, massa
- Fondamentali nelle prove sperimentali (es. test modale)
- Utili per il monitoraggio dello stato di salute di macchine e strutture



DA MEMORIZZARE:



“La vibrazione libera rivela la firma dinamica del sistema: frequenza naturale e capacità di dissipare energia.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



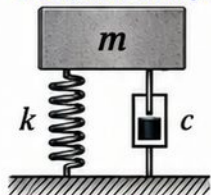
SISTEMA MASSA-MOLLA-SMORZATORE

*Tre elementi,
un sistema!*

IL MODELLO DINAMICO FONDAMENTALE

1 GLI ELEMENTI DEL SISTEMA

- **Massa (m):** rappresenta l'inerzia del sistema
- **Molla (k):** rappresenta l'elasticità e la forza di richiamo
- **Smorzatore (c):** rappresenta la dissipazione di energia



2 SIGNIFICATO FISICO

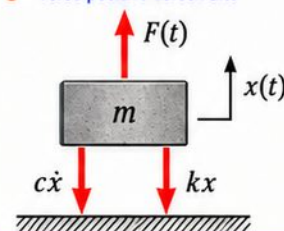
- **Inerzia (m):** si oppone alle variazioni di moto (accelerazione)
- **Elasticità (k):** genera una forza di richiamo proporzionale allo spostamento
- **Smorzamento (c):** dissipa energia (ad es. attrito viscoso) e riduce l'ampiezza delle vibrazioni



Tre fenomeni complementari!

3 DIAGRAMMA DEL CORPO LIBERO

- Forze sul blocco di massa m:
- Forza elastica: $F_k = -kx$
- Forza di smorzamento: $F_c = -c\dot{x}$
- Forza esterna: $F(t)$
- Verso positivo verso l'alto



4 EQUAZIONE DEL MOTO

- Equazione differenziale del secondo ordine:
- $$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t)$$
- Descrive il moto del sistema in funzione delle forze e dei parametri m, c, k
 - Soluzione dipende dalle condizioni iniziali $x(0)$, $\dot{x}(0)$

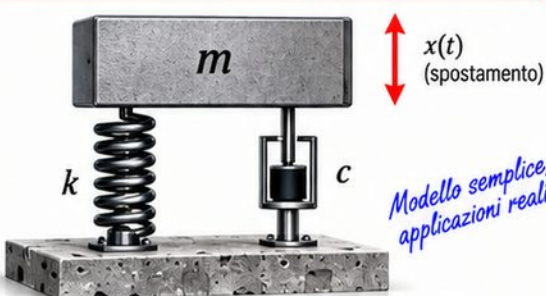
*Un'equazione,
grandi informazioni!*

5 UNITÀ DI MISURA

- Massa (m): kilogrammo (kg)
- Rigidezza (k): newton/metro (N/m)
- Coefficiente di smorzamento (c): newton-secondo/metro (N-s/m)
- Forza (F): newton (N)
- Spostamento (x): metro (m)
- Velocità ($\dot{x}$): metro/secondo (m/s)
- Accelerazione ($\ddot{x}$): metro/secondo² (m/s²)

Grandezza	Simbolo	Unità SI
Massa	m	kg
Rigidezza	k	N/m
Smorzamento	c	N-s/m
Forza	F	N
Spostamento	x	m

INERZIA, ELASTICITÀ E SMORZAMENTO IN UN SOLO MODELLO



Il modello massa-molla-smorzatore rappresenta molti sistemi vibranti reali e aiuta a prevederne il comportamento.

*Modello semplice,
applicazioni reali!*

6 FREQUENZA NATURALE E RAPPORTO DI SMORZAMENTO

- Frequenza naturale (non smorzata):

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [\text{rad/s}]$$

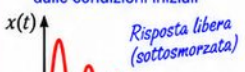
- Rapporto di smorzamento:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad [-]$$

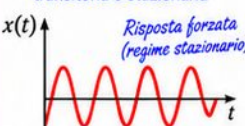
- $\zeta < 1$: sottosmorzato (oscillatorio)
- $\zeta = 1$: criticamente smorzato
- $\zeta > 1$: sovrasmorzato (senza oscillazioni)

7 RISPOSTA DEL SISTEMA

- Senza forza esterna ($F(t) = 0$): moto libero, determinate dalle condizioni iniziali



- Con forza esterna ($F(t) \neq 0$): moto forzato, con risposta transitoria e stazionaria



8 ESEMPI DI SISTEMI REALI

- Sospensione di un veicolo (massa su molle e ammortizzatori)
- Macchina montata su supporti antivibranti
- Isolamento di strumenti di misura di precisione



9 EFFETTO DEI PARAMETRI

- Aumentare la massa (m): riduce la frequenza naturale ($\omega_n \downarrow$)
- Aumentare la rigidezza (k): aumenta la frequenza naturale ($\omega_n \uparrow$)
- Aumentare lo smorzamento (c): riduce l'ampiezza delle vibrazioni ($\zeta \uparrow$)



*I parametri cambiano
la risposta!*

10 APPLICAZIONI

- Progettazione di sistemi antivibranti e sospensioni
- Analisi e diagnosi di macchine rotanti
- Isolamento di strumenti sensibili
- Progettazione strutturale antisismica
- Controllo delle vibrazioni
- Valutazione del comfort di veicoli e macchinari
- Monitoraggio e manutenzione predittiva



*Un modello
tante applicazioni!*



DA MEMORIZZARE:



“Molti problemi di vibrazione diventano comprensibili quando il sistema reale viene ricondotto a un modello massa-molla-smorzatore.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



RISONANZA E FREQUENZA NATURALE

Vicino alla frequenza naturale, attenzione ai picchi!

QUANDO LA DINAMICA AMPLIFICA LA RISPOSTA

1 FREQUENZA NATURALE

- È la frequenza con cui un sistema vibra liberamente dopo una perturbazione iniziale
- Dipende da massa, rigidità e condizioni di vincolo
- Ogni sistema meccanico ha una o più frequenze naturali

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Proprietà intrinseca del sistema!



2 COSA È LA RISONANZA

- La risonanza si verifica quando la frequenza di eccitazione è uguale o molto vicina alla frequenza naturale del sistema
- L'energia viene trasferita in modo efficiente al sistema
- Si ottengono grandi ampiezze di vibrazione anche con piccole forze



3 PERCHÉ SI VERIFICA

- Quando la frequenza di eccitazione f si avvicina a f_n , le forze si sommano in fase
- Il sistema accumula energia ad ogni ciclo
- La risposta cresce fino a un valore massimo (limitato dallo smorzamento)



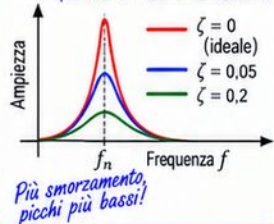
4 AMPLIFICAZIONE DELL'AMPIEZZA

- Vicino alla risonanza l'ampiezza di vibrazione aumenta drasticamente
- In assenza di smorzamento l'ampiezza teorica diventa infinita
- Nella realtà è limitata da smorzamento, non linearità e perdite



5 EFFETTO DELLO SMORZAMENTO

- Lo smorzamento riduce l'ampiezza di picco
- Maggiore è lo smorzamento, più il picco è basso e largo
- Lo smorzamento non elimina la risonanza, ma ne limita gli effetti
- Sistemi reali hanno sempre qualche forma di smorzamento



SE LA FREQUENZA DI ECCITAZIONE COINCIDE, L'AMPIEZZA CRESCE

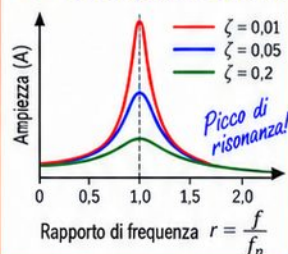


- Grandi vibrazioni
- Usura accelerata
- Rumore elevato
- Possibili cedimenti

La risonanza è uno dei fenomeni più critici nella progettazione e nel controllo delle vibrazioni.

6 CURVA DI RISONANZA

- Mostra come varia l'ampiezza di risposta al variare della frequenza di eccitazione
- Il picco si verifica in corrispondenza di $f \approx f_n$
- La forma del picco dipende dallo smorzamento
- Utilizzata per analisi e progetto



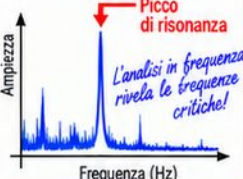
7 ESEMPI APPLICATIVI

- Macchine rotanti (motori, turbine, pompe)
- Ponti e passerelle pedonali
- Alberi e sistemi flessibili
- Macchine utensili
- Strutture telai leggeri
- Supporti elastici e isolatori
- Componenti con massa e rigidità concentrate



8 RILEVAMENTO E DIAGNOSI

- Misura delle vibrazioni (accelerometri)
- Analisi in frequenza (FFT)
- Individuazione dei picchi di risonanza
- Prove sperimentali (modal testing)
- Monitoraggio continuo



9 STRATEGIE DI PREVENZIONE

- Modificare la massa (del sistema)
- Modificare la rigidità (geometria, materiali)
- Aumentare lo smorzamento (smorzatori, isolatori)
- Cambiare la frequenza di eccitazione (evitare le zone critiche)
- Progettare con margini di sicurezza
- Utilizzare isolatori e supporti elastici



10 IDEA CHIAVE

- Conoscere e controllare la frequenza naturale è essenziale per la sicurezza e l'affidabilità
- La risonanza può causare danni gravi e costosi
- Una corretta progettazione e manutenzione la previene
- Valutare sempre l'effetto delle variazioni operative (nuovi carichi, modifiche, usura)

- Progetta sicuro!**
- ✓ Conosci f_n
 - ✓ Evita la risonanza
 - ✓ Usa smorzamento
 - ✓ Monitora nel tempo

DA MEMORIZZARE:

“Conoscere la frequenza naturale di un sistema è essenziale per evitare condizioni di risonanza e danni dinamici.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



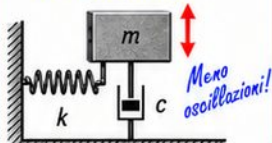
SMORZAMENTO

*Senza smorzamento,
si oscilla di più!*

DISSIPARE ENERGIA E RIDURRE LE OSCILLAZIONI

1 DEFINIZIONE

- Lo smorzamento è il meccanismo che dissipa l'energia meccanica delle vibrazioni riducendone l'ampiezza nel tempo.
- Trasforma l'energia vibratoria in calore o in altre forme di energia (non recuperabile).



2 ORIGINE FISICA

- Attrito tra superfici
- Isteresi dei materiali
- Resistenza di fluidi (aria, olio, acqua)
- Giunti e connessioni
- Contatti e micro-slittamenti
- Conversione in calore

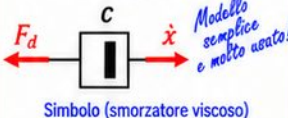


3 MODELLO VISCOSO

- Forza di smorzamento proporzionale alla velocità relativa:

$$F_d = c \dot{x}$$

- c = coefficiente di smorzamento [N·s/m]
- La forza è opposta al moto.



4 RAPPORTO DI SMORZAMENTO

- Parametro adimensionale che misura l'entità dello smorzamento:

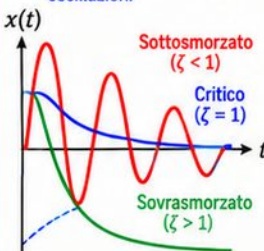
$$\zeta = \frac{c}{c_{cr}}$$

- $\zeta = 0$ assenza di smorzamento
- $\zeta = 1$ smorzamento critico
- $\zeta > 1$ sovrasmorzamento

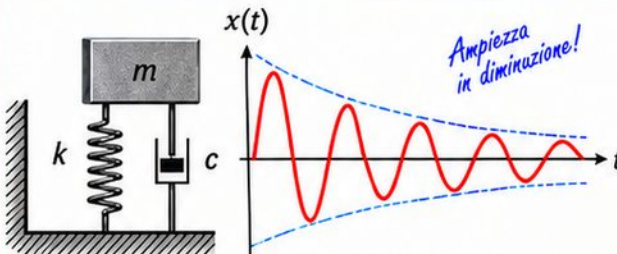
con $c_{cr} = 2m\omega_n$ *Indica quanto è smorzata!*

5 COMPORTAMENTI

- Sottosmorzato ($0 < \zeta < 1$)
- Oscillazioni smorzate
- Smorzamento critico ($\zeta = 1$)
- Ritorno più rapido e senza oscillazioni
- Sovrasmorzato ($\zeta > 1$)
- Ritorno lento e senza oscillazioni



LO SMORZAMENTO TRASFORMA ENERGIA VIBRATORIA IN DISSIPAZIONE



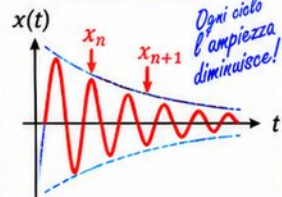
Lo smorzamento controlla la velocità con cui le vibrazioni si attenuano e limita i picchi di risposta.

6 DECREMENTO LOGARITMICO

- Misura la riduzione di ampiezza tra due picchi successivi (oscillazioni sottosmorzate).

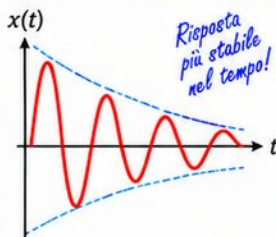
$$\delta = \ln \left(\frac{x_n}{x_{n+1}} \right)$$

- Tipicamente $\delta = 2\pi\zeta$ (per ζ piccolo)
- Permette di stimare ζ dai dati sperimentali.



7 EFFETTI SUL TRANSITORIO

- Riduce l'ampiezza delle oscillazioni
- Accorcia il tempo di assestamento ($\zeta \approx 1$)
- Limita i picchi di risposta
- Aumenta la stabilità del sistema



8 ESEMPI REALI

- Ammortizzatori (veicoli)
- Smorzatori idraulici
- Supporti in gomma o elastomeri
- Chiudiporta (molle idrauliche)
- Smorzatori per macchinari



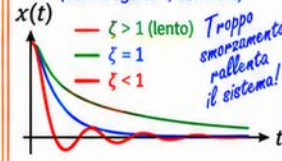
9 RUOLO IN MACCHINE E STRUTTURE

- Riduce le vibrazioni indesiderate
- Protegge componenti e giunti
- Aumenta la durata a fatica
- Migliora comfort e sicurezza
- È essenziale in edifici, ponti, macchine rotanti, veicoli
- Consente di controllare le risonanze



10 LIMITI DI UNO SMORZAMENTO ECCESSIVO

- Rallenta troppo la risposta
- Aumenta i tempi di assestamento
- Può richiedere maggior energia
- Non è sempre desiderabile (serve un compromesso)
- Può ridurre le prestazioni di sistemi dinamici (es. inseguitori, controlli)



DA MEMORIZZARE:



“Un buon smorzamento non elimina la dinamica, ma ne riduce gli effetti indesiderati in modo controllato.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



VIBRAZIONI FORZATE

Se forzo il sistema, ottengo una risposta!

QUANDO UN'ECCITAZIONE ESTERNA GOVERNA LA RISPOSTA

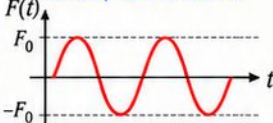
1 DEFINIZIONE

- Vibrazioni forzate: la risposta del sistema è dovuta a un'eccitazione esterna (periodica o generica).
- Il sistema vibra alla frequenza dell'eccitazione (in regime).
- L'ampiezza e la fase dipendono da frequenza, smorzamento e caratteristiche del sistema.

Non è il sistema che sceglie, ma l'eccitazione!

2 ECCITAZIONE ARMONICA

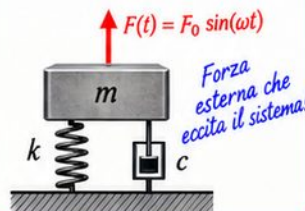
- Forza esterna periodica di tipo sinusoidale.
- $F(t) = F_0 \sin(\omega t)$
- F_0 = ampiezza dell'eccitazione
- ω = frequenza angolare dell'eccitazione (rad/s)
- $T = 2\pi/\omega$ = periodo
- Esempi: sbilanciamento, macchine rotanti, irregolarità stradali, motori alternativi.



3 MODELLO DEL SISTEMA

- Sistema massa-molla-smorzatore sottoposto a forza armonica.
- Equazione del moto:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin(\omega t)$$



4 RISPOSTA: TRANSITORIA E REGIME STAZIONARIO

- Risposta totale = risposta transitoria + risposta stazionaria.
- La transitoria dipende dalle condizioni iniziali e si smorza nel tempo.
- In regime stazionario il sistema vibra alla frequenza dell'eccitazione con ampiezza e fase costanti.



5 AMPIEZZA E FASE

- La risposta stazionaria è: $x(t) = X \sin(\omega t - \varphi)$
- X = ampiezza della risposta
- φ = sfasamento tra forza e risposta
- X e φ dipendono da:
 - frequenza di eccitazione
 - smorzamento
 - rigidità e massa



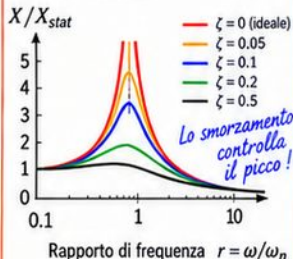
UN SISTEMA SOLLECITATO RISPONDE IN FUNZIONE DELLA FREQUENZA DI ECCITAZIONE



Nelle vibrazioni forzate la frequenza dell'eccitazione determina l'ampiezza e la fase della risposta, specialmente vicino alla risonanza.

6 INFLUENZA DELLA FREQUENZA DI ECCITAZIONE

- L'ampiezza della risposta varia con il rapporto $r = \omega/\omega_n$
- Massima amplificazione vicino alla risonanza ($r \approx 1$).
- Lo smorzamento riduce il picco di risonanza.



7 ESEMPI DI ECCITAZIONE PERIODICA

- Sbilanciamento di masse rotanti
- Motori e turbine (forze aerodinamiche)
- Ingranaggi (forze di ingranamento)
- Irregolarità del manto stradale
- Macchine alternative (forze inerziali)



Sbilanciamento



Motori alternativi



Ingranaggi

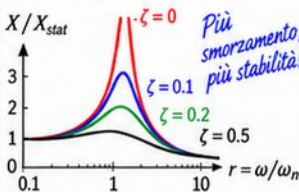


Irregolarità stradali

Molte macchine sono sempre eccitate!

8 RUOLO DELLO SMORZAMENTO

- Lo smorzamento limita l'ampiezza della risposta.
- Riduce il picco di risonanza e allarga la zona di frequenze critiche.
- Migliora la stabilità e riduce i tempi di assestamento.



9 RELAZIONE TRA ECCITAZIONE E RISPOSTA

- In regime stazionario la risposta vibra alla stessa frequenza dell'eccitazione.
- La forza e la risposta sono sfasate di un angolo φ .
- L'ampiezza della risposta è proporzionale all'ampiezza della forza, ma dipende dalla frequenza e dallo smorzamento.



10 IMPLICAZIONI PRATICHE

- Progettare per evitare frequenze critiche (risonanza).
- Ridurre le forze di eccitazione (sbilanciamento, irregolarità).
- Aumentare lo smorzamento.
- Isolare le macchine dalle fondazioni.
- Importante per affidabilità, durata e comfort (veicoli, edifici).



DA MEMORIZZARE:



"Nelle vibrazioni forzate il problema non è solo quanto forza, ma soprattutto a quale frequenza forza."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



ISOLAMENTO DELLE VIBRAZIONI

RIDURRE LA TRASMISSIONE TRA SORGENTE E STRUTTURA

Non fermo sempre la sorgente: spesso isolo il percorso!

1 DEFINIZIONE E SCOPO

- Ridurre la trasmissione delle vibrazioni dalla sorgente alla struttura
- Proteggere persone, macchine e ambienti
- Limitare rumore, usura e danni
- Migliorare comfort, precisione e affidabilità



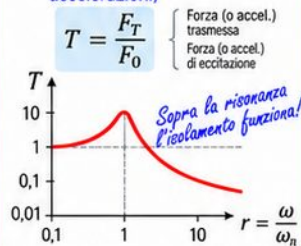
2 TIPI DI ISOLATORI PASSIVI

- Supporti elastomerici (gomma, poliuretano)
- Molle metalliche
- Supporti pneumatici (ad aria)
- Supporti a molla + smorzatori
- Isolatori ibridi e a più stadi



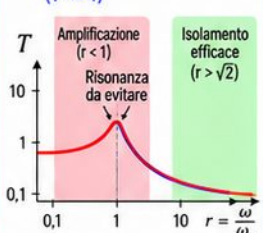
3 TRASMISSIBILITÀ

- Rapporto tra risposta trasmessa e eccitazione
- Dipende dal rapporto di frequenza $r = \omega / \omega_n$
- Influenza di smorzamento ζ
- Si esprime con T (forze o accelerazioni)



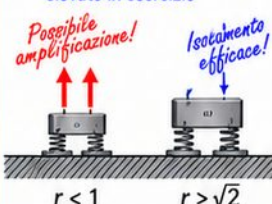
4 EFFETTO DEL RAPPORTO DI FREQUENZA

- $r < 1$: possibile amplificazione
- $r = 1$: risonanza (da evitare)
- $r > \sqrt{2}$: inizia l'isolamento
- $r > 3$: isolamento efficace ($T < 1$)



5 ISOLAMENTO vs AMPLIFICAZIONE

- A basse frequenze l'isolatore può amplificare le vibrazioni
- L'isolamento è efficace solo oltre la frequenza propria del sistema
- Necessario progettare per avere r sufficientemente elevato in esercizio



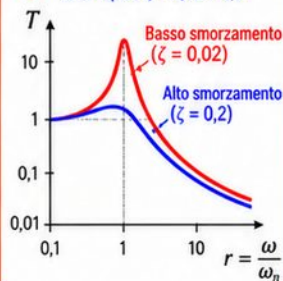
INTERROMPERE O RIDURRE IL PASSAGGIO DELLE VIBRAZIONI



L'isolamento vibrazionale agisce sul percorso di trasmissione e protegge strutture, operatori e componenti sensibili.

6 RUOLO DELLO SMORZAMENTO

- Lo smorzamento riduce l'ampiezza alla risonanza
- Limita l'amplificazione a basse frequenze
- Influenza la pendenza della curva di trasmissibilità
- Valori tipici: $\zeta = 0,02 \div 0,3$



7 ECCITAZIONE DELLA BASE e TRASMISSIONE

- Vibrazioni trasmesse attraverso il supporto (base in movimento)
- Analisi con trasmissibilità da spostamento, velocità o forza
- Importante per macchine su fondazioni, piani e veicoli
- Considerare eccitazioni multiple e multidirezionali



8 CRITERI DI PROGETTO

- Frequenza propria bassa ($\omega_n \ll \omega$ di esercizio)
- Scelta del tipo di isolatore
- Capacità di carico statica e dinamica
- Controllo dello smorzamento
- Rigidità orizzontale/verticale
- Stabilità e sicurezza
- Condizioni ambientali (T, agenti chimici)
- Facilità di installazione e manutenzione



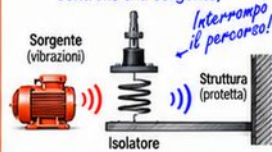
9 APPLICAZIONI

- Macchine rotanti (motori, pompe, compressori)
- Veicoli (auto, treni, macchine operatrici)
- Impianti HVAC (ventilatori, chiller)
- Strumenti di precisione (microscopi, macchine di misura)
- Edifici e impianti (tubazioni, centrali, macchinari di servizio)
- Sistemi elettronici sensibili



10 IDEA CHIAVE

- L'isolamento non elimina la causa, ma riduce la trasmissione
- Fondamentale quando non è possibile agire sulla sorgente
- Scegliere la soluzione ottimale in base a requisiti, costi e condizioni operative
- Parte di un approccio integrato (isolamento + controllo alla sorgente)



DA MEMORIZZARE:



"Un buon isolamento non elimina la causa, ma limita la trasmissione delle vibrazioni dove non sono desiderate."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



MISURA E DIAGNOSI VIBRAZIONALE

Misurare bene per capire meglio!

DAL SEGNALE ALLA DIAGNOSI DEL GUASTO

1 SENSORI E ACCELEROMETRI

- Accelerometri piezoelettrici
- Elevata sensibilità e banda di frequenza
- Montaggio su strutture rigide
- Posizionamento corretto (punti significativi)
- Direzioni di misura (assiale, radiale, verticale)

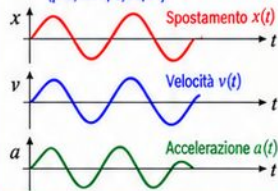


2 GRANDEZZE MISURATE

- Spostamento (x)
- Velocità (v)
- Accelerazione (a)
- Legami nel dominio della frequenza
- Unità di misura ($\mu m, mm/s, m/s^2$)

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$a = \frac{dv}{dt}$$



3 CATENA DI ACQUISIZIONE

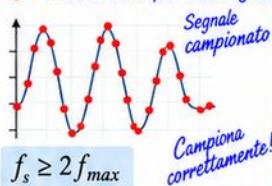
- Sensore (accelerometro)
- Cavi e condizionamento segnale
- Scheda di acquisizione (DAQ)
- Filtraggio e amplificazione
- Conversione A/D
- Software di analisi

Dal sensore alla diagnosi!



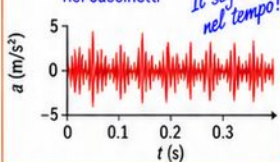
4 CAMPIONAMENTO

- Frequenza di campionamento adeguata (Teorema di Nyquist)
- Anti-aliasing (filtro passa-basso)
- Durata della misura
- Risoluzione in frequenza
- Scelta dei parametri di acquisizione
- Influenza sulla qualità del segnale



5 ANALISI NEL DOMINIO DEL TEMPO

- Visualizzazione del segnale
- Valori caratteristici (RMS, picco, picco-picco)
- Analisi transitori
- Trend temporali
- Rilevamento di eventi anomali
- Utile per urti e difetti nei cuscinetti

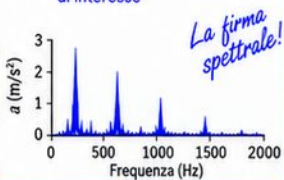


IL SEGNALE VIBRATORIO DIVENTA INFORMAZIONE DIAGNOSTICA



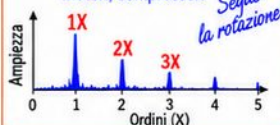
6 ANALISI NEL DOMINIO DELLA FREQUENZA

- Trasformata di Fourier (FFT)
- Identificazione delle componenti
- Ampiezza e fase
- Risoluzione spettrale
- Rumore e filtraggio
- Individuazione di frequenze di interesse

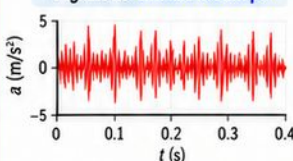


7 ANALISI D'ORDINE

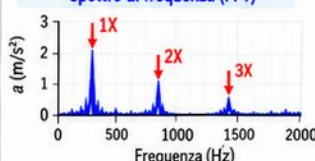
- Utile per macchine rotanti
- Spettro in funzione degli ordini
- Elimina l'effetto delle variazioni di velocità
- Identificazione di componenti sincrone e asincrone
- Applicazioni su turbine, motori, compressori



Segnale nel dominio del tempo



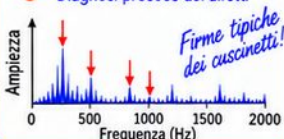
Spettro di frequenza (FFT)



L'analisi vibrazionale consente di individuare anomalie, pianificare interventi e aumentare l'affidabilità degli impianti.

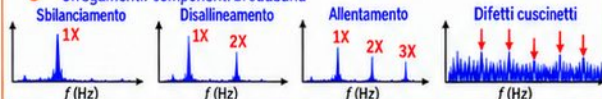
8 INVILUPPI E FIRME DI DIFETTO

- Tecnica dell'inviluppo (envelope)
- Rileva difetti nei cuscinetti
- Analisi ad alta frequenza
- Identificazione delle frequenze caratteristiche (BPFO, BPFI, BSF, FTF)
- Utile in presenza di rumore
- Diagnosi precoce dei difetti



9 INDICATORI DI GUASTO COMUNI

- Sbilanciamento: picco a 1X (radiale)
- Disallineamento: picchi a 1X e 2X
- Allentamenti: armoniche multiple
- Difetti cuscinetti: bande laterali e inviluppo
- Problemi di ingranaggi: frequenze di mesh
- Sfrecciamenti: componenti broadband



10 MONITORAGGIO E MANUTENZIONE PREDITTIVA

- Trend nel tempo (RMS, picco, spettro)
- Soglie di allarme e allerta
- Diagnosi automatica e sistemi online
- Pianificazione interventi
- Riduzione dei fermi impianto
- Maggiore affidabilità e durata
- Integrazione con altre tecniche (temperatura, olio, ecc.)



DA MEMORIZZARE:



"Nella diagnostica vibrazionale il valore non è nel dato grezzo, ma nella corretta interpretazione del segnale."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERLA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



SINTESI DELLE VIBRAZIONI MECCANICHE

Capire la dinamica per decidere meglio!

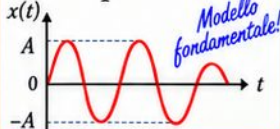
SORGENTE, RISPOSTA, DIAGNOSI E CONTROLLO

1 MOTO ARMONICO SEMPLICE

- Moto periodico e sinusoidale
- Grandezze principali: ampiezza, periodo, frequenza, fase, velocità e accelerazione
- Modello ideale non smorzato
- Base per l'analisi delle vibrazioni reali

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

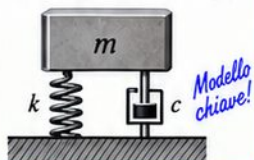
$$f = \frac{1}{T} \quad \omega = 2\pi f$$



2 SISTEMA MASSA-MOLLA-SMORZATORE

- Modello base per molte applicazioni meccaniche
- Equazione del moto
- Include rigidità, massa e smorzamento
- Rappresenta la risposta reale dei sistemi

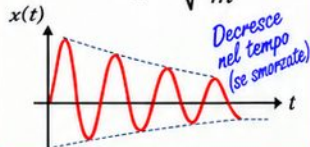
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t)$$



3 VIBRAZIONI LIBERE

- Risposta solo alle condizioni iniziali (nessuna forza esterna)
- Non smorzate: ampiezza costante
- Smorzate: ampiezza decrescente nel tempo
- Frequenza naturale del sistema

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$



4 VIBRAZIONI FORZATE

- Eccitate da una forza periodica (es. macchine rotanti)
- Risposta dipende da frequenza di eccitazione e smorzamento
- A basse frequenze segue la forza
- Vicino alla risonanza l'ampiezza aumenta
- A alte frequenze l'ampiezza diminuisce

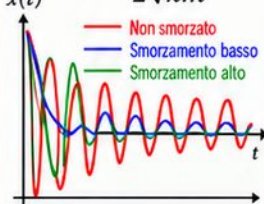
$$F(t) = F_0 \sin(\omega t)$$



5 SMORZAMENTO

- Dissipa energia riducendo l'ampiezza delle vibrazioni
- Tipi: viscoso, strutturale, per attrito, ecc.
- Riduce la risonanza e stabilizza la risposta
- Aumenta la sicurezza e la durata dei componenti

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

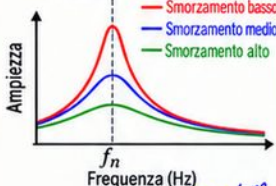


VIBRAZIONI = DINAMICA + MISURA + CONTROLLO



6 RISONANZA E FREQUENZA NATURALE

- Si verifica quando la frequenza di eccitazione è vicina a quella naturale
- L'ampiezza della risposta aumenta molto
- Dipende dallo smorzamento
- Può essere utile o dannosa
- Da evitare nelle applicazioni critiche



Attenzione alla risonanza!

7 ISOLAMENTO

- Interporre elementi elastici tra sorgente e struttura
- Riduce la trasmissibilità delle vibrazioni
- Più efficace per alte frequenze
- Progettare la frequenza naturale dell'isolatore
- Ampio uso in macchinari e impianti



Le vibrazioni meccaniche si comprendono combinando modelli, osservazione sperimentale e strategie di controllo.

8 MISURA E DIAGNOSI

- Accelerometri e sensori di vibrazione
- Analisi nel dominio del tempo e della frequenza (FFT)
- Identificazione delle componenti
- Individuazione di difetti (sbilanciamento, disallineamento, usura, ecc.)
- Monitoraggio delle condizioni



9 ERRORI COMUNI E ATTENZIONI

- Confondere sintomi e cause
- Ignorare lo smorzamento
- Trascurare le condizioni operative
- Misure non corrette o mal posizionate
- Sottovalutare la risonanza
- Soluzioni solo sulla struttura
- Mancata manutenzione



Analizza, non improvvisare!

10 MESSAGGIO FINALE E IDEA CHIAVE

- Le vibrazioni sono un segnale utile, non solo un problema
- Integrare modello, misura e controllo
- Intervenire su sorgente, struttura e risposta
- Approccio sistematico e basato sui dati
- Maggiore affidabilità, prestazioni e sicurezza



DA MEMORIZZARE: "Gestire le vibrazioni significa conoscere il sistema, leggere correttamente i segnali e intervenire su sorgente, struttura e risposta."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK | IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE | CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA

MANUTENZIONE MECCANICA

Manutenere bene costa meno che fermarsi!

PREVENIRE GUASTI, RIDURRE FERMÌ E AUMENTARE L'AFFIDABILITÀ

1 DEFINIZIONE

- Insieme di attività pianificate e sistematiche
- Finalizzate a preservare o ripristinare la funzione delle macchine
- Mantiene sicurezza, prestazioni e affidabilità
- Riduce il rischio di guasti e fermi imprevisti

Macchine più affidabili!



2 OBIETTIVI

- Affidabilità
- Disponibilità
- Sicurezza
- Qualità
- Riduzione dei costi
- Continuità produttiva



Obiettivi chiari!

- ✓ Meno guasti
- ✓ Meno fermi
- ✓ Maggiore efficienza
- ✓ Più competitività

3 TIPI PRINCIPALI

- Manutenzione correttiva (a guasto)
- Manutenzione preventiva (pianificata)
- Manutenzione predittiva (basata sulle condizioni)
- Manutenzione migliorativa (per aumentare le prestazioni)
- Manutenzione autonoma (eseguita dagli operatori)

Strategie complementari!



4 CICLO DI GESTIONE

- Ispezionare (controlli e diagnosi)
- Pianificare (risorse e interventi)
- Intervenire (manutenzione)
- Verificare (risultati e collaudo)
- Registrare (dati e storico)
- Migliorare (analisi e azioni correttive)



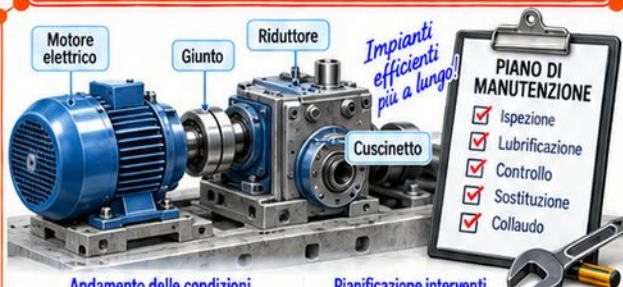
5 COMPONENTI CRITICI

- Cuscinetti e supporti
- Alberi e assi
- Giunti e accoppiamenti
- Riduttori e trasmissioni
- Pompe e valvole
- Motori elettrici
- Nastri e sistemi di trasporto

Elementi da monitorare!

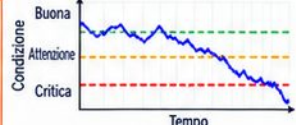


PREVENIRE, MONITORARE E RIPRISTINARE



Andamento delle condizioni

Pianificazione interventi



Pianificare oggi per domani!

La manutenzione meccanica protegge prestazioni, sicurezza e disponibilità degli impianti.

6 COSTO DEL GUASTO

- Fermo impianto e mancata produzione
- Scarti e difetti di qualità
- Ritardi nelle consegne
- Danni secondari ad altri componenti
- Perdita di efficienza energetica
- Rischi per la sicurezza



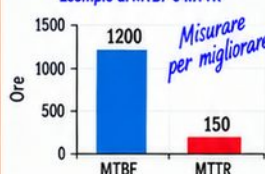
- ▲ Costi diretti
- ▲ Costi indiretti
- ▲ Perdita clienti
- ▲ Danni reputazionali

7 INDICATORI

- MTBF: tempo medio tra i guasti
- MTTR: tempo medio di ripristino
- Disponibilità dell'impianto
- Backlog di manutenzione
- % di manutenzione preventiva
- Costo di manutenzione (€/h o €/anno)

$$\text{Disponibilità} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Esempio di MTBF e MTTR



Misurare per migliorare!

8 STRUMENTI DI SUPPORTO

- Checklist e procedure operative
- Software CMMS (gestione manutenzione)
- Storico interventi e analisi dati
- Sensori e sistemi di monitoraggio
- Gestione ricambi e magazzino
- Piani di lavoro e programmazione



Dati per decidere!

9 APPLICAZIONI

- Macchine rotanti (motori, pompe, compressori)
- Linee produttive
- Impianti HVAC (ventilazione, climatizzazione)
- Impianti industriali e di processo
- Veicoli e mezzi di lavoro
- Officine e reparti manutenzione



10 IDEA CHIAVE

- Una buona manutenzione combina prevenzione, dati, metodo e miglioramento continuo
- Non è solo riparare, ma gestire l'affidabilità nel tempo
- Serve organizzazione, competenze e strumenti adeguati
- Genera valore riducendo i rischi e aumentando le prestazioni

Manutenzione = valore nel tempo!



DA MEMORIZZARE:



“La manutenzione non è solo riparazione: è gestione intelligente dell'affidabilità.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



MANUTENZIONE PREVENTIVA

Meglio prima che dopo!

INTERVENTI PROGRAMMATI PER EVITARE IL GUASTO

1 DEFINIZIONE

- Manutenzione pianificata
- eseguita prima che si verifichi il guasto
- Insieme di attività periodiche e sistematiche
- Mira a mantenere l'efficienza, l'affidabilità e la sicurezza
- Basata su tempo, utilizzo o condizioni operative



2 LOGICHE DI PIANIFICAZIONE

- A tempo (es. ogni mese)
- A ore di lavoro (es. ogni 500 h)
- A cicli (es. ogni 10.000 cicli)
- A calendario (es. annuale)
- In base all'utilizzo e alle condizioni di esercizio



Diversi criteri per ogni esigenza!

3 ATTIVITÀ TIPICHE

- Ispezione e controllo visivo
- Pulizia di componenti e aree
- Lubrificazione
- Serraggio di bulloni e fissaggi
- Sostituzione periodica di parti soggette a usura
- Taratura e regolazione
- Verifica funzionale



4 VANTAGGI

- Riduce i fermi macchina imprevisti
- Aumenta la durata dei componenti
- Maggiore sicurezza per persone e impianti
- Costi di manutenzione più controllati
- Migliora l'affidabilità e la continuità produttiva



5 LIMITI

- Possibile sostituzione troppo anticipata di componenti ancora efficienti
- Richiede organizzazione, pianificazione e personale qualificato
- Necessità di gestione dei ricambi
- Può comportare costi iniziali più elevati
- Non elimina tutti i guasti imprevisti



INTERVENIRE PRIMA DEL GUASTO



La manutenzione preventiva trasforma l'esperienza e lo storico in azioni programmate.

6 CHECKLIST E STANDARD

- Procedure operative standard (SOP)
- Istruzioni di manutenzione
- Checklist di controllo
- Schede macchina
- Registro degli interventi
- Rispetto delle norme di sicurezza (es. LOTO – Lock Out/Tag Out)



7 FREQUENZE E PRIORITÀ

- Basate sulla criticità del componente
- Considerano la severità del servizio
- Influenzate dall'ambiente di lavoro (polvere, umidità, ecc.)
- Definite dallo storico guasti
- Possono essere differenziate per macchina o linea



8 ESEMPI REALI

- Sostituzione cuscinetti
- Cambio filtri aria/olio
- Controllo e sostituzione cinghie
- Cambio olio e lubrificanti
- Pulizia scambiatori e ventilatori
- Verifica pompe e tenute
- Ispezione riduttori e giunti



9 PIANIFICAZIONE RISORSE

- Personale qualificato
- Definizione dei tempi di intervento
- FERMATE PROGRAMMATE (e coordinamento con produzione)
- Disponibilità di materiali e ricambi
- Attrezzature e strumenti adeguati
- Gestione e documentazione
- Verifica dell'efficacia (post-intervento)



10 MESSAGGIO CHIAVE

- La manutenzione preventiva riduce la probabilità di guasto
- Aumenta l'affidabilità e la disponibilità degli impianti
- Consente di pianificare tempi e costi
- È un investimento che genera valore nel tempo
- La continuità operativa dipende da una buona manutenzione



DA MEMORIZZARE: "Programmare gli interventi significa controllare il rischio e non subirlo."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK | IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE | CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



MANUTENZIONE CORRETTIVA

Riparare sì, ma capire perché!

RIPRISTINARE LA FUNZIONE DOPO IL GUASTO

1 DEFINIZIONE

- Intervento eseguito dopo il guasto o quando la prestazione non è più accettabile
- Ripristina la funzione originaria della macchina
- Necessaria per ridurre i tempi di fermo
- Spesso reattiva e non preventiva

Intervenire quando serve!



Macchina guasta

2 GUASTO E SINTOMI

- Rottura di componenti
- Usura eccessiva
- Rumore anormale
- Vibrazioni elevate
- Surriscaldamento
- Perdita di lubrificante
- Blocco o malfunzionamento
- Prestazioni ridotte



Rottura

Usura

Rumore

Vibrazioni

Surriscaldamento

Perdita

3 TIPI DI CORRETTIVA

- **Immediata** (intervento urgente e non differibile)
- **Differita** (intervento posticipato quando possibile)
- **Pianificata dopo diagnosi** (basata sull'analisi della causa)



Scegliere il momento giusto!



4 FASI DELL'INTERVENTO

- 1 Mettere in sicurezza (macchina e persone)
- 2 Diagnosticare il guasto (individuare la causa)
- 3 Smontare i componenti
- 4 Riparare o sostituire le parti difettose
- 5 Collaudare il funzionamento
- 6 Riavviare la macchina



5 RICAMBI E MAGAZZINO

- Disponibilità di ricambi critici
- Codifica e identificazione dei componenti
- Gestione delle scorte (min-max, rotazione)
- Tempi di approvvigionamento (lead time)
- Ricambi equivalenti e compatibilità
- Gestione dei fornitori



Il ricambio giusto, al momento giusto!

RIPRISTINARE IL FUNZIONAMENTO DOPO IL GUASTO



Componente danneggiato

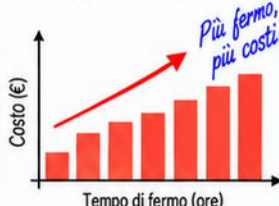
- ✓ Diagnosi
- ✓ Sostituzione ricambi
- ✓ Rimontaggio
- ✓ Collaudo

Di nuovo in servizio!

La correttiva riporta la macchina in servizio, ma il vero valore nasce dall'analisi della causa.

6 IMPATTO DEL FERMO

- Costi di produzione persa
- Tempi di inattività
- Ritardi nelle consegne
- Impatto sulla qualità del prodotto
- Rischi per la sicurezza
- Effetto sull'efficienza complessiva
- Possibili danni secondari ad altre macchine



7 DOPO LA RIPARAZIONE

- Test funzionale della macchina
- Verifica dell'effettiva eliminazione del guasto
- Analisi della causa radice
- Aggiornamento dello storico manutentivo
- Eventuali miglioramenti per evitare il ripetersi
- Condivisione delle informazioni con il team



Chiudere il ciclo e imparare!

8 ESEMPI DI INTERVENTI

- Sostituzione di un cuscinetto danneggiato
- Cinghia di trasmissione rotta
- Giunto usurato
- Pompa bloccata
- Tenuta meccanica che perde
- Motore elettrico guasto
- Riduttore con ingranaggi danneggiati
- Valvola non funzionante

Esempi reali!



Cuscinetto danneggiato

Cinghia rotta

Giunto usurato

Pompa bloccata

9 RISCHI E LIMITI

- Intervento non pianificato e spesso urgente
- Possibili danni secondari ad altri componenti
- Tempi di riparazione incerti
- Disponibilità limitata di ricambi
- Pressione sui tempi e sul ripristino della produzione
- Costi elevati
- Rischio di ripetizione del guasto se non si analizza la causa



Risolvere oggi, prevenire domani!

10 IDEA CHIAVE

- La manutenzione correttiva è necessaria per garantire la continuità operativa
- Non deve essere l'unica strategia di manutenzione
- Va integrata con la manutenzione preventiva e predittiva
- L'analisi della causa trasforma un problema in un'opportunità di miglioramento
- Meno guasti significa maggiore affidabilità, produttività e sicurezza



Non solo riparare, ma migliorare!

DA MEMORIZZARE: "Ogni guasto è anche una fonte di apprendimento."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERLA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



MANUTENZIONE PREDITTIVA

Intervengo quando serve!

DECIDERE L'INTERVENTO IN BASE ALLE CONDIZIONI REALI

1 DEFINIZIONE

- Manutenzione basata sulle condizioni (Condition Based Maintenance)
- Utilizza dati reali monitorati per decidere quando intervenire
- Sostituisce la manutenzione a tempi fissi con interventi mirati
- Evita interventi inutili e riduce il rischio di guasti

Dai dati alle decisioni!



2 VARIABILI OSSERVATE

- Vibrazioni (accelerazione, velocità, spostamento)
- Temperatura (cuscinetti, motori, quadri elettrici)
- Corrente assorbita
- Pressione (oleodinamica, pneumatica)
- Stato dell'olio (contaminazione, viscosità)
- Rumore (ultrasuoni, emissioni acustiche)



Vibrazioni



Temperatura



Corrente



Pressione



Olio



Rumore

Più variabili, maggiore affidabilità!

3 TECNOLOGIE

- Accelerometri piezoelettrici
- Termocamere e sensori IR
- Sensori IoT e sistemi wireless
- Analisi dell'olio in laboratorio o in linea
- Sensori di corrente e potenza
- Ultrasuoni e emissioni acustiche
- Sistemi di acquisizione e monitoraggio continuo
- Software di analisi e diagnostica con algoritmi e AI



Tecnologia al servizio dell'affidabilità!

4 TREND E SOGLIE

- Monitoraggio continuo delle variabili nel tempo
- Definizione di soglie di attenzione e allarme
- Analisi delle tendenze e individuazione di anomalie
- Previsione del degrado del componente
- Visualizzazione su dashboard e report automatici



5 VANTAGGI

- Meno guasti improvvisi
- Maggiore disponibilità degli impianti
- Uso ottimale del componente (secondo il suo reale stato)
- Pianificazione migliore degli interventi
- Riduzione dei costi di manutenzione
- Aumento della sicurezza
- Maggiore vita utile dei componenti



Più efficienza, meno sorprese!

I DATI AIUTANO A PREVEDERE IL MOMENTO GIUSTO



La predittiva riduce i fermi non pianificati e migliora il timing dell'intervento.

6 LIMITI

- Costo iniziale di sensori e sistemi
- Necessità di competenze tecniche specialistiche
- Gestione e interpretazione di grandi quantità di dati
- Possibili falsi allarmi
- Dipende dalla qualità dell'installazione e dai dati raccolti
- Non sostituisce del tutto altre strategie di manutenzione



Un corretto utilizzo evita falsi allarmi!

7 FLUSSO OPERATIVO

- Misurare**
Acquisire i dati dalle variabili rilevanti
- Analizzare**
Elaborare i dati e individuare anomalie e tendenze
- Diagnosticare**
Identificare la causa e stimare la gravità
- Pianificare**
Definire l'intervento e le risorse
- Intervenire**
Eseguire la manutenzione al momento giusto



Un processo continuo per macchine più affidabili!

8 APPLICAZIONI

- Motori elettrici
- Riduttori
- Pompe
- Ventilatori
- Compressori
- Trasmissioni e cuscinetti
- Impianti oleodinamici e pneumatici
- Macchine utensili
- Linee di produzione
- Impianti industriali



Dalla singola macchina all'intero impianto!

9 DECISIONE BASATA SUI DATI

- CONTINUARE**
Stato nella norma
Nessuna azione
- ISPEZIONARE**
Segnali anomali iniziali
Verifica programmata
- RIPARARE**
Degrado evidente
Pianificare l'intervento
- SOSTITUIRE**
Fine vita imminente
Sostituire il componente

La decisione è oggettiva e basata su evidenze!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- La manutenzione predittiva anticipa il guasto
- Permette di intervenire quando serve, non a calendario
- Si basa su dati reali e misurabili
- Integra misura, diagnosi e pianificazione
- Riduce i costi e aumenta l'affidabilità degli impianti
- È una scelta strategica per impianti moderni e competitivi



Dati oggi, affidabilità domani!



DA MEMORIZZARE:



Misurare lo stato della macchina è meglio che sostituire a calendario senza criterio."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



MONITORAGGIO DELLE CONDIZIONI

I segnali raccontano il guasto!

OSSERVARE I SEGNALI PER CAPIRE LO STATO DELLA MACCHINA

1 CONCETTO

- Conoscere lo stato di salute della macchina
- Basato su segnali misurabili
- Rilevare anomalie prima del guasto
- Ridurre fermi non pianificati
- Migliorare affidabilità e disponibilità
- Supportare decisioni di manutenzione



2 ROUTE E ISPEZIONI

- Percorsi di controllo periodici
- Definizione dei punti di misura
- Frequenze e responsabilità
- Checklist standardizzate
- Raccolta e registrazione dati
- Confronto con valori storici
- Azioni correttive e follow-up



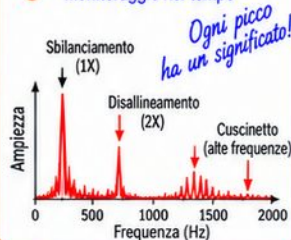
3 CATENA DATI

- Sensore e trasduttore
- Acquisizione del segnale
- Condizionamento e conversione
- Archiviazione nel database
- Analisi e diagnosi
- Generazione di report
- Integrazione con sistemi CMMS



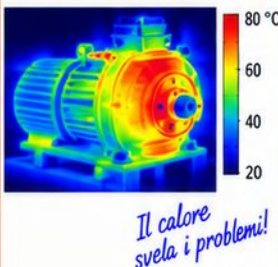
4 ANALISI VIBRAZIONALE

- Sbilanciamento
- Disallineamento
- Difetti dei cuscinetti
- Difetti di ingranaggi
- Risonanze
- Allentamenti strutturali
- Monitoraggio nel tempo

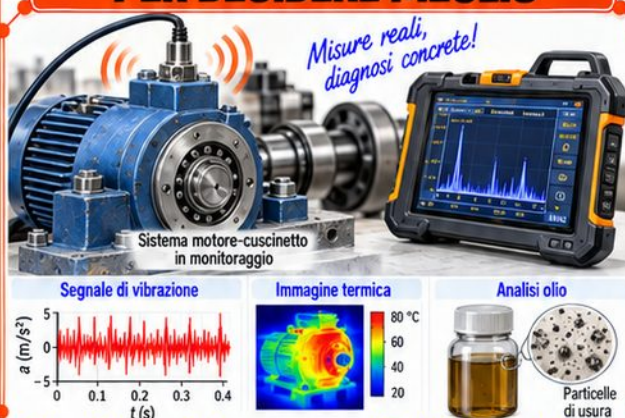


5 TERMOGRAFIA

- Individua punti caldi (hot spot)
- Rivela attriti e sovraccarichi
- Controlla connessioni elettriche
- Evidenzia lubrificazione scarsa
- Utile anche su quadri elettrici
- Misura senza contatto
- Consente interventi mirati



OSSERVARE LO STATO REALE PER DECIDERE MEGLIO



6 ANALISI OLIO

- Rileva contaminazione e particelle
- Classificazione delle particelle (di usura, sporco, ecc.)
- Controllo della viscosità
- Presenza di acqua
- Degradazione dell'olio
- Identificazione dell'usura dei componenti
- Definisce intervalli di cambio



7 ULTRASUONI

- Rileva perdite di fluidi o gas
- Individua attriti e sfregamenti
- Monitoraggio dei cuscinetti
- Rileva scariche elettriche
- Funziona anche in ambienti rumorosi
- Consente diagnosi precoci
- Utile per valvole, tenute, impianti pneumatici



Il condition monitoring converte segnali fisici in informazioni utili per manutenzione e affidabilità.

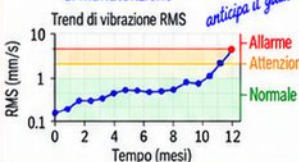
8 ISPEZIONE VISIVA

- Verifica perdite (olio, fluidi, aria)
- Controllo bulloneria e serraggi
- Stato di giunti, cinghie e protezioni
- Condizioni generali dei componenti
- Verifica allineamento e fissaggi
- Ricerca di segni di usura o danni
- Supporta le altre tecniche



9 ALLARMI E TREND

- Definizione delle soglie di allarme
- Confronto con valori di baseline
- Analisi dei trend nel tempo
- Rilevazione di deviazioni anomale
- Classificazione della criticità
- Notifiche e gestione allarmi
- Supporto alle decisioni di manutenzione



10 DIAGNOSI INTEGRATA

- Combina più tecniche di misura
- Confronta e correla i risultati
- Aumenta l'affidabilità della diagnosi
- Identifica la causa radice
- Priorizza gli interventi
- Riduce i costi di manutenzione
- Supporta strategie di manutenzione predittiva



DA MEMORIZZARE: "Più misure coerenti = diagnosi più affidabile."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERLA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



LUBRIFICAZIONE INDUSTRIALE

Poca o troppa lubrificazione danneggia!

RIDURRE ATTRITO, USURA E TEMPERATURA

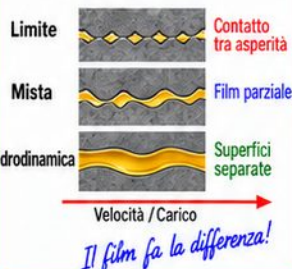
1 FUNZIONE DEL LUBRIFICANTE

- Riduce l'attrito tra le superfici
- Diminuisce l'usura
- Allontana il calore
- Protegge dalla corrosione
- Aiuta a mantenere pulite le superfici (rimozione contaminanti)
- Migliora l'affidabilità e la durata dei componenti



2 REGIMI DI LUBRIFICAZIONE

- Regime limite: film sottile, contatto tra asperità
- Regime mista: film parziale
- Regime idrodinamica: superfici separate dal film di lubrificante



3 TIPI DI LUBRIFICANTI

- Oli minerali (base petrolifera)
- Oli sintetici (alte prestazioni)
- Grassi lubrificanti (consistenti, per cuscinetti)
- Lubrificanti biodegradabili (ambienti sensibili)
- Additivi (antiusura, anticorrosivi, antiossidanti, antimoussa, EP - estrema pressione)



4 PROPRIETÀ CHIAVE

- Viscosità (resistenza allo scorrimento)
- Classe NLGI (per i grassi)
- Punto di goccia (per i grassi)
- Stabilità termica e all'ossidazione
- Protezione dalla corrosione
- Compatibilità con materiali e tenute
- Pulizia (assenza di impurità)



5 CONTAMINAZIONE

- Polvere e sporco ambientale
- Acqua e umidità
- Particelle metalliche di usura
- Ossidazione e degradazione
- Altri contaminanti (prodotti chimici, vernici, ecc.)



L'ATTRITO SI CONTROLLA CON IL LUBRIFICANTE GIUSTO



6 RILUBRIFICAZIONE

- Quantità corretta di lubrificante
- Frequenza adeguata (in base a uso e condizioni)
- Metodo (manuale, automatico)
- Utilizzo dei punti di ingrassaggio (ingrassatori)
- Controllo dello stato del lubrificante
- Registrazione degli interventi



7 STOCCAGGIO E GESTIONE

- Etichettatura chiara dei prodotti
- Conservazione in luoghi puliti, secchi e protetti
- Utilizzo di contenitori puliti e chiusi
- Filtrazione durante il travaso
- Evitare la contaminazione incrociata
- Verifica della compatibilità dei lubrificanti



Una buona lubrificazione allunga la vita dei componenti e migliora l'efficienza.

8 COMPONENTI LUBRIFICATI

- Cuscinetti volventi e radenti
- Ingranaggi e riduttori
- Catene e trasmissioni
- Guide e slitte
- Alberi e giunti
- Viti a ricircolo di sfere
- Compressori, pompe, motori
- Altri organi in movimento



9 ERRORI COMUNI

- Miscela di lubrificanti incompatibili
- Eccesso di lubrificante (suriscaldamento, tenute danneggiate)
- Difetto di lubrificazione (usura precoce)
- Lubrificante sbagliato per l'applicazione
- Rilubrificazione irregolare
- Contaminazione durante il rabbocco
- Mancata sostituzione quando necessario



10 IDEA CHIAVE

- La lubrificazione non è un costo, ma un investimento
- È un'attività strategica di manutenzione
- Garantisce affidabilità, efficienza e continuità operativa
- Richiede conoscenza, pianificazione e controllo
- Contribuisce alla sicurezza e alla sostenibilità



DA MEMORIZZARE: La lubrificazione corretta è una delle forme più economiche di affidabilità.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERLA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



ANALISI GUASTI, RCA + FMEA

Non fermarti al sintomo!

CAPIRE LE CAUSE E PREVENIRE LE RIPETIZIONI

1 GUASTO VS SINTOMO

- Vibrazioni, surriscaldamento, rumore, perdite sono sintomi
- Non indicano sempre la causa radice
- Lo stesso sintomo può avere cause diverse
- È necessario indagare e analizzare il sistema



Sintomi, non sempre la causa!

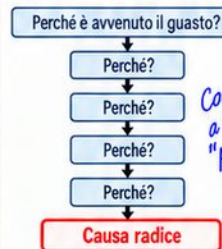
2 ROOT CAUSE ANALYSIS

- Identifica le cause profonde tecniche e organizzative
- Analizza i fattori che hanno portato al guasto
- Considera persone, processi, procedure, progettazione
- Evita di fermarsi alle cause evidenti
- Usa metodi strutturati (5 Why, Ishikawa, ecc.)



3 5 WHY

- Chiedi "perché?" ripetutamente
- Di solito servono 5 o più iterazioni
- Ogni risposta diventa la causa della domanda successiva
- Si arriva alla causa radice
- Metodo semplice ma efficace



Continua a chiedere "perché?"

4 DIAGRAMMA DI ISHIKAWA

- Strumento per identificare le possibili cause
- Organizza le cause in categorie
- Favorisce il lavoro di gruppo
- Utile nella fase di analisi del guasto



5 FMEA

- Analizza potenziali guasti (prima che si verifichino)
- Per ogni componente/funzione si valutano:
 - Modo di guasto
 - Effetti del guasto
 - Cause del guasto
- Aiuta a prevenire e ridurre i rischi
- Utile in fase di progettazione e manutenzione

Esempio di tabella FMEA

Funzione	Modo di guasto	Effetto	Causa
Cuscinetto	Blocco	Fermo macchina	Contaminazione

Prevenire è meglio che riparare!

CAPIRE LE CAUSE PER EVITARE CHE IL GUASTO SI RIPETA



RCA e FMEA trasformano il guasto in conoscenza utile per migliorare il sistema.

6 INDICI FMEA

- Severità (S): gravità dell'effetto
- Occorrenza (O): probabilità di accadimento
- Rilevabilità (D): probabilità di individuare il guasto
- $RPN = S \times O \times D$
- Priorità di intervento per i RPN più alti
- Valori da 1 (basso) a 10 (alto)

Modo di guasto	S	O	D	RPN
Perdita di tenuta	7	4	5	140
Usura cuscinetto	8	6	4	192
Surriscaldamento	6	3	3	54
Rottura albero	9	2	4	72

$RPN \geq 200$	Rischio alto - intervento immediato
$100 \leq RPN < 200$	Rischio medio - pianificare
$RPN < 100$	Rischio basso - monitorare

Dai numeri alle azioni!

7 AZIONI

- Azione di contenimento (ridurre l'impatto immediato)
- Azione correttiva (eliminare la causa radice)
- Azione preventiva (evita che si ripeta)
- Verifica dell'efficacia delle azioni intraprese



Dal problema alla soluzione duratura!

8 DOCUMENTAZIONE

- Registra l'analisi e le conclusioni
- Conserva le evidenze e i dati
- Aggiorna procedure e standard
- Condividi le lezioni apprese
- Forma il personale
- Usa un sistema di gestione (management della conoscenza)



9 ESEMPI

- Cuscinetto contaminato
 - Sintomo: vibrazioni, rumore
 - Causa: contaminazione da polveri/olio
- Disallineamento
 - Sintomo: vibrazioni, usura
 - Causa: montaggio errato, basi
- Scarsa lubrificazione
 - Sintomo: surriscaldamento, usura
 - Causa: olio errato, intervalli troppo lunghi
- Sovraccarico
 - Sintomo: surriscaldamento, rotture
 - Causa: condizioni operative fuori specifica



10 IDEA CHIAVE

- Non fermarti al sintomo
- Analizza le cause radice
- Applica azioni correttive e preventive
- Condividi e standardizza le soluzioni
- Un sistema che impara dai guasti è più affidabile, sicuro ed efficiente



DA MEMORIZZARE:

“La riparazione risolve l'effetto, l'analisi della causa risolve il problema.”

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA

ALLINEAMENTO, BILANCIAMENTO

Precisione = durata!

PICCOLI CONTROLLI CHE EVITANO GRANDI GUASTI

1 PERCHÉ CONTANO

- Disallineamento e squilibrio sono tra le principali cause di vibrazioni
- Aumentano l'usura di cuscinetti, tenute e giunti
- Riducono l'affidabilità dell'impianto
- Incrementano i consumi energetici
- Generano fermi macchina e costi elevati



2 ALLINEAMENTO ALBERI

- Corregge il disallineamento tra alberi accoppiati
- Tipi di disallineamento:
 - Angolare
 - Parallelo (radiale)
- Metodi di allineamento:
 - Sistema laser
 - Comparatori meccanici
- Controllo su entrambi i piani (verticale e orizzontale)
- Riduce vibrazioni e carichi sui cuscinetti



3 BILANCIAMENTO ROTORI

- Elimina lo squilibrio di massa nei rotori in rotazione
- La massa eccentrica genera una forza centrifuga
- Correzione con masse di bilanciamento
- Bilanciamento su uno o due piani
- Classi di qualità secondo ISO 21940
- Indicata l'analisi vibrazionale dopo l'intervento



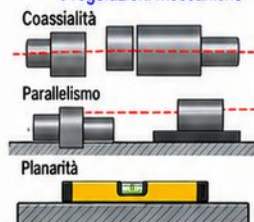
4 TENSIONAMENTO

- Cinghie: trasmissione silenziosa ed efficiente
- Catene: corretta tensione riduce usura e rumorosità
- Una tensione eccessiva sovraccarica i cuscinetti
- Una tensione insufficiente causa slittamenti e vibrazioni
- Controllare periodicamente e regolare secondo specifiche

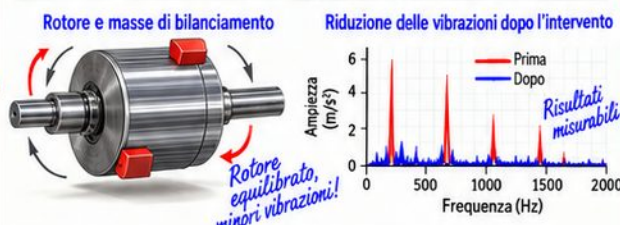


5 CONTROLLI GEOMETRICI

- Coassialità degli alberi
- Parallelismo tra basi e supporti
- Planarità delle superfici di appoggio
- Verifica con strumenti di misura di precisione
- Correzione tramite spessori e regolazioni meccaniche



CONTROLLI DI PRECISIONE, RISULTATI CONCRETI



Allineamento e bilanciamento riducono vibrazioni, consumo energetico e usura precoce.

6 SERRAGGIO E BULLONERIA

- Coppia di serraggio corretta secondo specifiche
- Fissaggi saldi di motori, pompe e supporti
- Controllo periodico del serraggio
- Uso di rondelle, frenafiletti e sistemi antisvitamento
- Verifica delle condizioni dei supporti e delle basi



7 STRUMENTI

- Sistema di allineamento laser
- Comparatori a quadrante
- Analizzatore di vibrazioni (portatile)
- Chiavi dinamometriche
- Livelle e spessori calibrati
- Software di analisi e report



8 EFFETTI DEGLI ERRORI

- Cuscinetti che si surriscaldano
- Guarnizioni usurate e perdite
- Aumento del rumore
- Maggiori consumi energetici
- Rotture di giunti, alberi e supporti
- Fermi macchina non pianificati
- Costi di manutenzione elevati

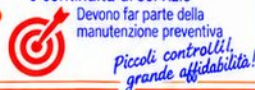


9 ESEMPI PRATICI



10 MESSAGGIO CHIAVE

- I controlli di precisione sono interventi semplici e a basso costo
- Prevengono guasti gravi e costosi
- Migliorano efficienza, sicurezza e continuità di servizio
- Devono far parte della manutenzione preventiva



DA MEMORIZZARE:

“Molti guasti iniziano da piccoli disallineamenti o squilibri.”



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



AFFIDABILITÀ E INDICATORI

Ciò che misuri, migliori!

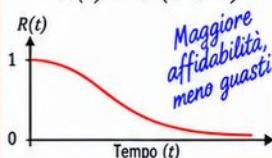
MISURARE PRESTAZIONI, DISPONIBILITÀ E TEMPI

1 AFFIDABILITÀ

- Probabilità che un sistema svolga la funzione richiesta in condizioni definite per un certo periodo di tempo
- Dipende da progetto, uso, manutenzione e ambiente
- Si esprime con la funzione di affidabilità $R(t)$

$$R(t) = P(T > t)$$

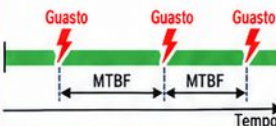
Maggiore affidabilità, meno guasti!



2 MTBF

- Mean Time Between Failures (tempo medio tra i guasti)
- Tempo medio di funzionamento tra due guasti consecutivi
- Indicatore di affidabilità
- Più è alto, maggiore è l'affidabilità del sistema

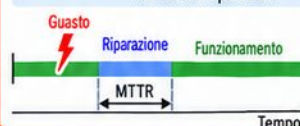
$$MTBF = \frac{\text{Tempo di funzionamento}}{\text{Numero di guasti}}$$



3 MTTR

- Mean Time To Repair (tempo medio di riparazione)
- Tempo medio necessario per ripristinare la funzionalità dopo un guasto
- Dipende da competenze, ricambi, procedure e organizzazione
- Più è basso, minore l'impatto del guasto

$$MTTR = \frac{\text{Tempo di riparazione totale}}{\text{Numero di riparazioni}}$$



4 DISPONIBILITÀ

- Percentuale di tempo in cui il sistema è disponibile e in grado di svolgere la funzione
- Dipende da MTBF e MTTR
- Indice chiave di prestazione
- Valori tipici: 80-99%

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$



Più disponibilità, più valore!

5 OEE E KPI

- OEE (Overall Equipment Effectiveness) misura l'efficacia complessiva
- Si basa su:
 - Disponibilità (A)
 - Prestazione (P)
 - Qualità (Q)
- $OEE = A \times P \times Q$
- Altri KPI utili:
 - % manutenzione pianificata
 - Numero di guasti
 - Tempo di fermo
 - MTBF, MTTR

Misura per migliorare!



$$OEE = 0,90 \times 0,85 \times 0,98 = 75\%$$

MISURARE L'AFFIDABILITÀ PER MIGLIORARE LE PRESTAZIONI

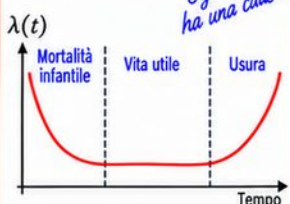


Gli indicatori aiutano a capire dove intervenire per aumentare disponibilità e continuità operativa.

6 TASSO DI GUASTO

- Il tasso di guasto $\lambda(t)$ descrive la probabilità di guasto nel tempo
- Tipica curva a "vasca da bagno"
- Tre fasi caratteristiche:
 - Mortalità infantile: guasti iniziali dovuti a difetti
 - Vita utile: tasso di guasto basso e costante
 - Usura: aumento dei guasti a fine vita

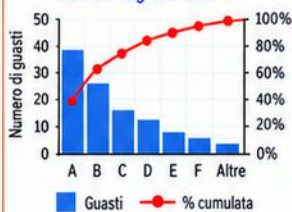
Ogni fase ha una causa!



7 PARETO GUASTI

- Pochi guasti causano la maggior parte dei problemi
- La regola 80/20 aiuta a concentrare gli sforzi sulle cause più critiche
- Utile per pianificare azioni di miglioramento

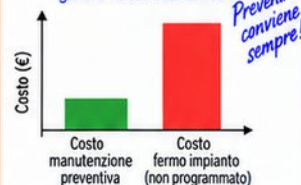
Concentrati sul 20% che conta!



8 COSTI E BENEFICI

- La manutenzione preventiva riduce la probabilità di guasto
- Confronto tra costi di prevenzione e costi di fermo impianto
- Considera costi diretti e indiretti (produzione persa, qualità, sicurezza)
- Un buon piano di manutenzione genera valore economico

Prevenire conviene sempre!



9 USO DEI DATI

- Raccolta e analisi dei dati di funzionamento e guasto
- Prioritizzazione degli impianti critici
- Giustificazione degli investimenti
- Miglioramento continuo dei piani di manutenzione
- Utilizzo di software CMMS e dashboard di monitoraggio



10 IDEA CHIAVE

- Gli indicatori trasformano la manutenzione da attività reattiva a processo gestito
- Permettono di misurare, confrontare e migliorare
- Integrare misura, analisi e controllo
- Obiettivo: maggiore affidabilità, disponibilità e competitività



Dai numeri al valore reale!

DA MEMORIZZARE: "Senza indicatori non si governa la manutenzione, la si subisce."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



SINTESI DELLA MANUTENZIONE MECCANICA

Affidabilità costruita ogni giorno!

PREVENZIONE, DATI, INTERVENTO E MIGLIORAMENTO CONTINUO

1 PANORAMICA

- Mantenere la funzionalità degli impianti
- Garantire sicurezza delle persone
- Massimizzare la disponibilità
- Contenere i costi
- Assicurare la qualità del prodotto



2 PREVENTIVA

- Interventi pianificati prima del guasto
- Basata su tempo, cicli o condizioni operative
- Sostituzione programmata
- Ispezioni periodiche
- Pulizia e lubrificazione
- Riduce la probabilità di guasto
- Aumenta la vita utile dei componenti



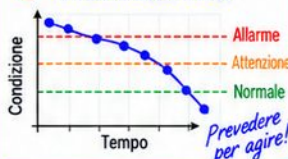
3 CORRETTIVA

- Intervento dopo il guasto
- Ripristina la funzionalità
- Può essere non pianificata (emergenza) o pianificata
- Analisi del guasto e sostituzione componenti
- Tempi di fermo e costi più alti
- Importante analizzare la causa per evitare il ripetersi



4 PREDITTIVA

- Interventi basati sulle condizioni reali
- Utilizza dati da sensori e analisi (vibrazioni, temperatura, olio, ultrasuoni, ecc.)
- Individua anomalie in anticipo
- Permette interventi mirati
- Riduce i fermi impianto
- Ottimizza costi e risorse



5 MONITORAGGIO

- Analisi vibrazioni
- Misura temperatura
- Analisi olio lubrificante
- Ultrasuoni
- Ispezioni visive e termografiche
- Raccolta e analisi dati
- Individuazione di anomalie e trend



MANUTENZIONE = PREVENZIONE + CONTROLLO + MIGLIORAMENTO

Impianto e componenti

Monitoraggio e dati

Diagnosi e analisi

Intervento pianificato

Affidabilità ripristinata



Risorsa da mantenere e proteggere

Misure reali e continue

Individuazione di anomalie e cause

Azioni mirate e controllo risultati

Impianto sicuro, efficiente e disponibile



- ☒ Pianificare
- ☒ Eseguire
- ☒ Verificare
- ☒ Migliorare

Lubrificante di qualità

Allineamento preciso

Indicatori di prestazione

La manutenzione meccanica efficace integra strategia, misure, competenze e azioni correttive.

6 LUBRIFICAZIONE

- Riduce l'attrito
- Minimizza usura e surriscaldamento
- Protegge dalla corrosione
- Allunga la vita dei componenti
- Corretta scelta del lubrificante
- Controllo della contaminazione
- Piani di lubrificazione

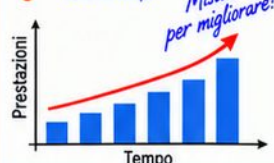


8 INDICATORI

- MTBF: tempo medio tra i guasti
- MTRT: tempo medio di ripristino
- Disponibilità impianto
- OEE: efficienza complessiva
- Costi di manutenzione
- Analisi di Pareto dei guasti
- Trend nel tempo

8 INDICATORI

- Costi di manutenzione
- Analisi di Pareto dei guasti
- Trend nel tempo



9 RCA E FMEA

- RCA: analisi delle cause profonde
- Individuazione della causa radice
- Eliminazione delle cause, non solo dei sintomi
- FMEA: analisi dei modi di guasto e dei loro effetti
- Valutazione di severità, probabilità, rilevabilità
- Prioritizzazione del rischio (RPN)
- Azioni preventive e miglioramento continuo

Dalle cause alle soluzioni!

CAUSA

ANALISI

AZIONE

PREVENZIONE

10 MESSAGGIO FINALE

- La manutenzione meccanica è fondamentale per la competitività
- Unisce prevenzione, controllo e intervento
- Trasforma i dati in decisioni
- Richiede competenze, metodo e strumenti
- Aumenta affidabilità, disponibilità e sicurezza
- È un processo di miglioramento continuo
- Crea valore per l'intera organizzazione



Oggi manutenzione, domani valore!

- ☒ AFFIDABILITÀ
- ☒ DISPONIBILITÀ
- ☒ SICUREZZA
- ☒ MIGLIORAMENTO CONTINUO



DA MEMORIZZARE:



"Gestire bene la manutenzione significa trasformare i dati in affidabilità."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA



TRIBOLOGIA

ATTRITO, USURA E LUBRIFICAZIONE NEI CONTATTI MECCANICI

Capire il contatto = aumentare la durata!

1 DEFINIZIONE

- Scienza che studia le superfici in contatto e in moto relativo
- Analizza attrito, usura e lubrificazione
- Fondamentale per affidabilità, efficienza e durata dei sistemi meccanici
- Integra meccanica, materiali e chimica



Il contatto governa le prestazioni!

2 OBIETTIVI

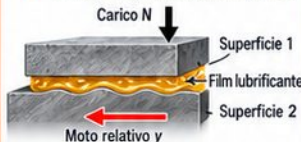
- Ridurre l'attrito
- Limitare l'usura
- Controllare la temperatura
- Migliorare l'efficienza energetica
- Estendere la vita dei componenti
- Prevenire i guasti



MENO ATTRITO
PIÙ DURATA
MAGGIORE
EFFICIENZA

3 TRIBOSISTEMA

- Superficie 1 (controparte)
- Superficie 2
- Mezzo interfacciale (lubrificante, aria, contaminanti)
- Carico (normale e/o tangenziale)
- Velocità relativa
- Temperatura
- Ambiente (umidità, polveri, fluidi)



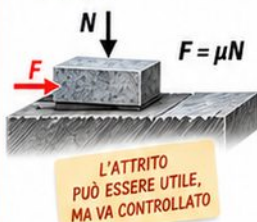
4 FENOMENI PRINCIPALI

- Attrito
- Usura
- Lubrificazione
- Adesione
- Abrasione
- Fatica superficiale
- Corrosione



5 ATTRITO

- Resistenza al moto relativo tra superfici
- Attrito statico e dinamico
- Dipende da carico, materiali, rugosità e lubrificazione
- Descritto dal coefficiente di attrito μ



L'ATTRITO
PUÒ ESSERE UTILE,
MA VA CONTROLLATO

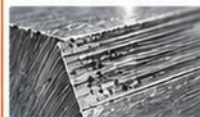
CONTROLLARE IL CONTATTO PER RIDURRE ATTRITO E USURA



La tribologia trasforma il contatto meccanico in affidabilità, efficienza e durata.

6 USURA

- Rimozione di materiale o danneggiamento superficiale
- Provoca perdita di precisione e di efficienza
- Può essere di tipo adesivo, abrasivo, a fatica o corrosivo



L'usura
modifica
le superfici
nel tempo

7 LUBRIFICAZIONE

- Separa le superfici in contatto
- Riduce attrito e calore
- Protegge dalla corrosione
- Trasporta i contaminanti
- Può utilizzare oli, grassi o lubrificanti solidi



UN FILM
SOTTILE
FA LA
DIFFERENZA

8 VARIABILI INFLUENTI

- Carico applicato
- Velocità di scorrimento
- Rugosità delle superfici
- Temperatura
- Contaminazione (polveri, particelle)
- Viscosità del lubrificante
- Coppia di materiali
- Allineamento e condizioni di montaggio



9 APPLICAZIONI

- Cuscinetti volventi e radenti
- Ingranaggi
- Guide lineari
- Catene di trasmissione
- Tenute e guarnizioni
- Teppe
- Camme
- Pistoni e cilindri
- Utensili ed elementi di macchine



10 MESSAGGIO CHIAVE

- La tribologia migliora affidabilità e efficienza dei sistemi meccanici
- Molti guasti iniziano dalle superfici di contatto
- Controllare attrito e lubrificazione riduce costi e tempi di fermo



DA MEMORIZZARE:

"La maggior parte dei guasti meccanici nasce dove due superfici si toccano."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

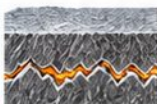
ATTRITO E COEFFICIENTE μ

FORZE DI CONTATTO, RESISTENZA AL MOTO E FATTORI INFLUENTI

Più controllo dell'attrito, più efficienza!

1 DEFINIZIONE

- L'attrito è la resistenza al moto relativo tra due superfici a contatto
- Nasce dalle interazioni microscopiche tra asperità
- Dipende dal materiale e dallo stato delle superfici
- Può opporsi all'avvio del moto o al moto già in corso

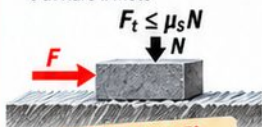


Le asperità si interbloccano a livello microscopico

L'attrito nasce dalle asperità!

2 ATTRITO STATICO

- Si manifesta prima dell'inizio dello scorrimento
- La forza di attrito statico aumenta con la forza applicata fino a un valore massimo
- Il massimo attrito statico è la forza necessaria per vincere l'aderenza e avviare il moto

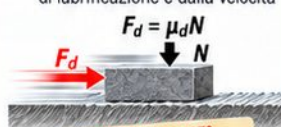


$$F_t \leq \mu_s N$$

PRIMA DEL MOTO: L'ATTRITO STATICO SI OPPONE ALL'AVVIO

3 ATTRITO DINAMICO

- Si manifesta durante lo scorrimento
- Generalmente è inferiore all'attrito statico
- Tende a rimanere più costante al variare della velocità (in un certo range)
- Dipende dalle condizioni di lubrificazione e dalla velocità



$$F_d = \mu_d N$$

DURANTE IL MOTO: L'ATTRITO DINAMICO È SOLITAMENTE PIÙ BASSO

4 FORMULE CHIAVE

- Attrito statico (prima del moto)

$$F_t \leq \mu_s N$$

- Attrito dinamico (in moto)

$$F_d = \mu_d N$$

- N = forza normale [N]
- μ_s = coefficiente di attrito statico (adimensionale)
- μ_d = coefficiente di attrito dinamico (adimensionale)

Stessa formula, diverso coefficiente!

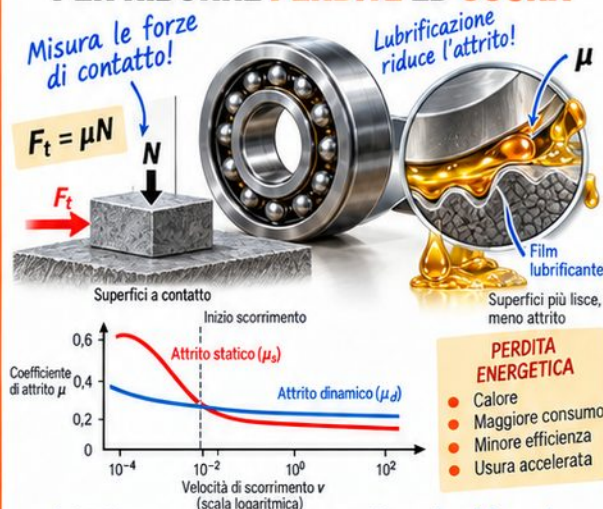
5 FATTORI INFLUENTI

- Carico normale
- Coppia di materiali
- Rugosità delle superfici
- Velocità di scorrimento
- Temperatura
- Lubrificazione
- Contaminazione (polveri, particelle)
- Umidità e ambiente



LE CONDIZIONI REALI POSSONO VARIARE IL VALORE DI μ ANCHE DI MOLTO!

MISURARE E CONTROLLARE L'ATTRITO PER RIDURRE PERDITE ED USURA



L'attrito governa consumo energetico, riscaldamento, controllo del moto e durata dei componenti.

6 ATTRITO UTILE E DANNOSO

- Utile: necessario per trasmettere forze e coppie (freni, frizioni, trasmissioni, aderenza)
- Dannoso: causa usura, perdite energetiche, riscaldamento e rumore
- La sfida è ottenere il giusto livello di attrito



Utile (freni e frizioni)

Dannoso (usura e perdite)

STESSO FENOMENO, EFFETTI DIVERSI A SECONDA DELL'APPLICAZIONE!

7 COEFFICIENTE μ

- È un numero adimensionale
- Dipende dalla coppia di materiali e dalle condizioni di contatto
- Permette di confrontare diverse superfici
- Varia in base a stato delle superfici, lubrificazione e ambiente

IL COEFFICIENTE μ NON È UNA COSTANTE: VA MISURATO NELLE CONDIZIONI REALI!

8 ESEMPI APPLICATIVI

- Freni (attrito controllato e stabile)
- Frizioni (trasmissione di coppia)
- Cuscinetti (attrito ridotto)
- Guide lineari (scorrimento)
- Ingranaggi (attrito e lubrificazione)
- Tenute e guarnizioni (attrito per tenuta)



9 RIDUZIONE DELL'ATTRITO

- Lubrificazione adeguata (oli, grassi, lubrificanti solidi)
- Rivestimenti superficiali (trattamenti e coating)
- Miglioramento della finitura superficiale
- Corretta progettazione e allineamento
- Scelta di materiali appropriati
- Controllo della contaminazione



Una buona lubrificazione fa la differenza!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- L'attrito non va semplicemente eliminato, ma compreso e gestito
- Un corretto controllo dell'attrito aumenta efficienza, affidabilità e durata
- Ogni applicazione richiede il giusto compromesso
- Misurare, analizzare e ottimizzare l'attrito è parte della buona progettazione

"L'attrito può essere utile o dannoso: il valore sta nel saperlo controllare."

DA MEMORIZZARE:

"La maggior parte dei guasti meccanici nasce dove due superfici si toccano."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

TIPI DI USURA E MECCANISMI

Riconoscere l'usura significa prevenire il guasto!

COME LE SUPERFICI SI DANNEGGIANO NEL TEMPO

1 DEFINIZIONE

- L'usura è la perdita di materiale o il danneggiamento superficiale di un corpo solido dovuto al contatto relativo con un altro corpo
- Processo progressivo e inevitabile
- Dipende da condizioni di esercizio e ambiente
- Influenza prestazioni, affidabilità e durata



Usura = perdita di funzionalità nel tempo

2 USURA ADESIVA

- Micro-saldatura tra superfici
- Distacco di materiale durante lo strisciamento
- Tipica di alti carichi, bassa lubrificazione
- Può portare al grippaggio
- Superfici con trasferimento di materiale



Materiale trasferito

GRIPPAGGIO nei casi estremi

3 USURA ABRASIVA

- Particelle dure o asperità che tagliano la superficie
- Solchi e rigature parallele
- Dovuta a contaminanti o superfici ruvide
- Comune in ambienti polverosi
- Aumenta con la durezza delle particelle



Solchi tipici dell'usura abrasiva

4 USURA A FATICA

- Carichi ciclici e ripetuti
- Formazione e propagazione di cricche superficiali
- Pitting, spalling, distacco di frammenti
- Tipica di cuscinetti e ingranaggi
- Favorita da carichi variabili e lubrificazione insufficiente



Distacchi superficiali dovuti a fatica

5 USURA CORROSIVA / TRIBOCORROSIONE

- Interazione tra fenomeni chimici ed azione meccanica
- Rimozione di film protettivi
- Ossidazione, corrosione e usura simultanee
- Comune in ambienti aggressivi (umidità, agenti chimici)
- Accelera il danneggiamento delle superfici



La chimica amplifica l'usura

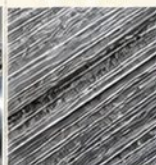
RICONOSCERE IL MECCANISMO DI USURA PER SCEGLIERE LA SOLUZIONE GIUSTA

USURA ADESIVA



Trasferimento di materiale

USURA ABRASIVA



Solchi e rigature

USURA A FATICA



Pitting e distacchi

USURA CORROSIVA



Ossidazione e rimozione di materiale

DALLE EVIDENZE ALLA DIAGNOSI

Osserva la superficie danneggiata

Confronta con le caratteristiche dei meccanismi

Identifica la causa principale

Scegli la soluzione correttiva

La stessa usura apparente può nascere da cause diverse: diagnosi corretta = azione efficace.

6 PARAMETRI INFLUENTI

- Carico e pressione di contatto
- Rugosità delle superfici
- Velocità di strisciamento
- Durezza dei materiali
- Lubrificazione (tipo e quantità)
- Contaminazione (polveri, particelle)
- Temperatura di esercizio
- Ambiente (umidità, agenti chimici)
- Geometria e allineamento
- Cicli di carico e vibrazioni

Più fattori agiscono insieme!



Carico



Velocità



Temperatura



Lubrificazione



Contaminazione



Rugosità

7 SEGNAI DI ALLARME

- Rumore anormale
- Aumento delle vibrazioni
- Incremento della temperatura
- Giochi eccessivi
- Presenza di particelle di usura nell'olio o nei filtri
- Peggioramento delle prestazioni
- Tracce visibili di danneggiamento



Piccoli segnali possono prevenire grandi guasti!

8 PREVENZIONE

- Scelta corretta dei materiali
- Lubrificazione adeguata
- Filtrazione e tenuta dei contaminanti
- Controllo della rugosità
- Corretto allineamento e montaggio
- Rivestimenti superficiali (trattamenti, coating)
- Monitoraggio delle condizioni
- Progettazione adeguata



Prevenire l'usura allunga la vita dei componenti!

9 ESEMPI DI COMPONENTI

- Cuscinetti volventi e radenti
- Ingranaggi
- Camme e alberi a camme
- Guide lineari e pattini
- Tenute e anelli di tenuta



Cuscinetti



Ingranaggi



Camme



Guide lineari



Tenute



Valvole

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Identificare il meccanismo di usura per scegliere l'azione correttiva giusta
- La stessa usura può avere cause diverse
- Osservazione, analisi e confronto sono essenziali
- Prevenire è più efficace che riparare
- Una corretta gestione dell'usura aumenta affidabilità, sicurezza e durata



La diagnosi corretta porta alla soluzione giusta!

DA MEMORIZZARE:

"Non basta vedere il danno: bisogna capire come si è formato."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



CURVA DI STRIBECK E REGIMI DI LUBRIFICAZIONE DAL CONTATTO LIMITE AL FILM IDRODINAMICO

*Capire il regime =
scegliere il lubrificante
giusto!*

1 COS'È LA CURVA DI STRIBECK

- Mostra la relazione tra coefficiente di attrito μ e parametro di lubrificazione
- Evidenzia i diversi regimi di lubrificazione
- Valida per cuscinetti, ingranaggi e contatti striscianti in generale
- Strumento fondamentale per la scelta del lubrificante e delle condizioni operative

UN UNICO
GRAFICO,
TANTI
INSIGHTS!



Richard Stribeck
(1861-1950)

2 ASSE E PARAMETRI

- Asse y: coefficiente di attrito μ (scala logaritmica)
- Asse x: parametro di lubrificazione

$$\frac{\eta \cdot v}{P}$$

- η = viscosità del lubrificante (Pa·s)
- v = velocità relativa (m/s)
- P = carico unitario (Pa)
- Il parametro $\eta \cdot v / P$ rappresenta lo spessore relativo del film lubrificante

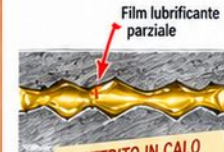
3 REGIME LIMITE

- Film lubrificante assente o insufficiente
- Contatto tra asperità delle superfici
- Attrito elevato e usura significativa
- Tipico in avviamento, arresto e basse velocità
- Lubrificanti ad alta additivazione (EP, antiusura) sono importanti



4 REGIME MISTO

- Coesistenza di film lubrificante e contatti tra asperità
- Attrito in diminuzione
- Usura ridotta ma ancora presente
- Regime tipico di molte applicazioni reali
- Transizione tra limite e idrodinamico



5 REGIME IDRODINAMICO / EHL

- Separazione completa delle superfici
- Attrito molto basso
- Usura trascurabile
- Tipico ad alte velocità e/o alta viscosità
- EHL: film molto sottile ma in grado di separare le superfici sotto elevati carichi

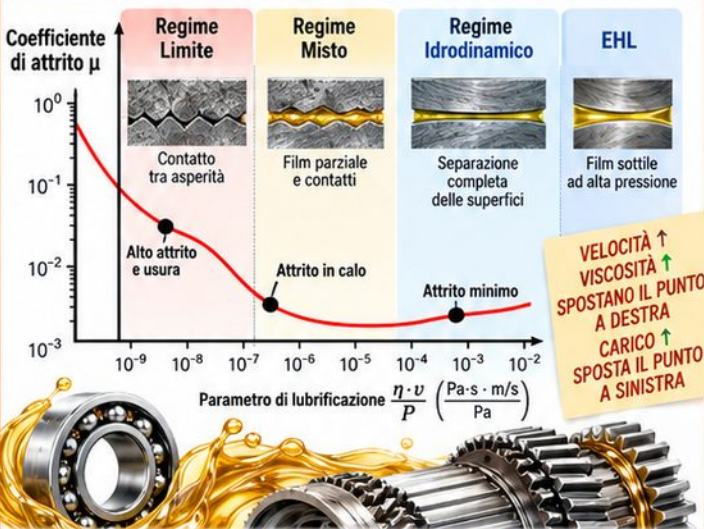


6 COSA CAMBIA IL REGIME

- Velocità relativa (v)
- Viscosità del lubrificante (η)
- Carico applicato (P)
- Temperatura (influenza la viscosità)
- Rugosità delle superfici
- Geometria e materiale
- Condizioni operative (avviamento, transitori)

- ↑** Velocità → sposta a destra
- ↑** Viscosità → sposta a destra
- ↑** Carico → sposta a sinistra
- ↑** Temperatura → spesso sposta a sinistra
- Rugosità → rende più difficile il regime idrodinamico

IL FILM LUBRIFICANTE CAMBIA RADICALMENTE ATTRITO, CALORE E USURA



La curva di Stribeck aiuta a collegare teoria tribologica e comportamento reale dei componenti.

7 LUBRIFICAZIONE NEI CUSCINETTI E INGRANAGGI

- Cuscinetti radenti: tutti i regimi a seconda di velocità e carico
- Cuscinetti volventi: di solito regime misto/EHL nelle condizioni normali
- Ingranaggi: regime misto o EHL (pressioni elevate)
- Essenziale garantire la formazione del film nelle condizioni di progetto



8 RISCHI DI REGIME ERRATO

- Usura eccessiva
- Aumento della temperatura
- Grippaggio e scuffing
- Riduzione dell'efficienza
- Danni superficiali (pitting, scoring)
- Vita utile del componente ridotta
- Costi di manutenzione aumentati



UN REGIME
SBAGLIATO
PUÒ PORTARE
A GUASTI GRAVI!

9 COME OTTIMIZZARE

- Scegliere il lubrificante corretto (viscosità e additivi)
- Garantire un'adeguata alimentazione
- Controllare temperatura e carico
- Progettare superfici con rugosità adeguata
- Considerare le condizioni di avviamento e transitorio
- Monitorare lo stato del lubrificante
- Usare calcoli e prove per verificare il regime operativo



10 MESSAGGIO CHIAVE

- L'attrito dipende fortemente dal regime di lubrificazione
- La curva di Stribeck mostra come variano attrito, usura e temperatura
- Scegliere il lubrificante e le condizioni operative giuste permette di lavorare nel regime ottimale
- Conoscere il regime aiuta a prevenire guasti e aumentare affidabilità, efficienza e durata

IL REGIME
DI LUBRIFICAZIONE
FA LA DIFFERENZA!

*Attrito più basso
= componenti
più affidabili!*

DA MEMORIZZARE:

"Un sottile film lubrificante può cambiare tutto."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERLA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CUSCINETTI RADENTI E FILM LUBRIFICANTE

PORTANZA, VISCOSITÀ E CONTATTO NELLE SUPERFICI IN SCORRIMENTO

*Senza film corretto,
il contatto si degrada!*

1 DEFINIZIONE

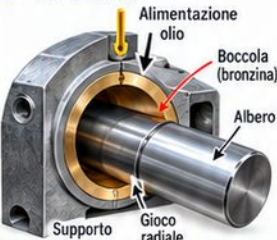
- Cuscinetti radenti: supporti in cui l'albero scorre su una superficie liscia senza elementi volenti
- Contatto strisciante separato da un film lubrificante
- Trasmettono carichi radiali e talvolta assiali
- Utilizzati per alte velocità, grandi carichi e ambienti severi



*Semplici,
robusti
e affidabili!*

2 COMPONENTI

- Albero (perno) in rotazione
- Boccola o bronzina (materiale antifrizione)
- Gioco radiale
- Alimentazione dell'olio
- Sedi e supporto
- Tenute laterali



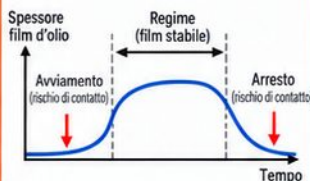
3 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

- La rotazione dell'albero trascina l'olio verso la zona convergente
- Si genera una sovrappressione idrodinamica nel film lubrificante
- La pressione sostiene il carico e separa le superfici
- La portanza nasce dall'effetto cuneo e dalla viscosità dell'olio
- Non c'è contatto metallico durante il regime di lavoro stabile



4 REGIMI DI LAVORO

- Avviamento: film d'olio assente o sottile, rischio di contatto
- Regime: film stabile, portanza idrodinamica, basso attrito
- Arresto: il film si riduce, il contatto può ripresentarsi
- Importante la corretta strategia di lubrificazione nelle fasi transitorie



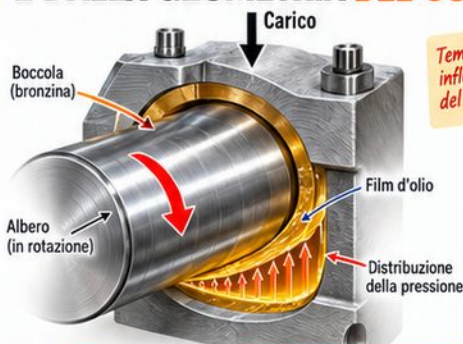
5 VANTAGGI

- Struttura semplice e compatta
- Elevata capacità di carico
- Buon smorzamento di vibrazioni e urti
- Funzionamento silenzioso
- Adatti ad alte velocità e grandi dimensioni
- Manutenzione relativamente semplice



*Ideali per
carichi elevati
e ambienti difficili.*

LA PORTANZA NASCE DAL FILM D'OLIO E DALLA GEOMETRIA DEL CONTATTO



*Temperatura e viscosità
influenzano lo spessore
del film d'olio.*

Temperatura ↑
Viscosità ↓
Film più sottile

Temperatura ↓
Viscosità ↑
Film più spesso

6 LIMITI

- Richiedono una corretta lubrificazione continua
- Sensibili a contaminazione dell'olio (particelle, acqua)
- Sensibili a disallineamenti e deformazioni
- Maggiore usura durante le fasi transitorie
- Necessità di controllo della temperatura
- Non adatti a movimenti alternativi ad alta frequenza



*Contaminazione
e disallineamento
riducono la durata.*

8 GUASTI TIPICI

- Grippaggio (seizure)
- Usura abrasiva o adesiva
- Surriscaldamento
- Rigature (scoring)
- Cavitazione dell'olio
- Deformazioni della bronzina
- Vibrazioni e rumorosità
- Contaminazione del lubrificante



*La maggior parte dei guasti
è legata alla lubrificazione
e alla contaminazione.*

FUNZIONAMENTO CORRETTO



Superfici separate dal film lubrificante

FUNZIONAMENTO CRITICO



Contatto metallico e usura

*Il film d'olio
evita il contatto
e riduce usura,
calore e vibrazioni.*

*Nei cuscinetti radenti la tribologia si vede chiaramente:
geometria, velocità e viscosità determinano l'affidabilità.*

9 APPLICAZIONI

- Turbine (gas e vapore)
- Pompe e compressori
- Motori a combustione interna (albero motore)
- Macchine industriali pesanti
- Generatori e alternatori
- Macchine navali
- Impianti siderurgici e minerari
- Ventilatori e macchine di processo



Turbine



Pompe



Albero motore



Macchine pesanti

*Dai motori alle grandi macchine:
una soluzione affidabile
per molte applicazioni.*

7 PARAMETRI CHIAVE

- Gioco radiale
- Viscosità del lubrificante
- Velocità di rotazione
- Carico applicato
- Temperatura di esercizio
- Geometria e rugosità delle superfici
- Tipo di lubrificazione (olio in pressione, a perdita, ecc.)



Gioco



Viscosità



Velocità



Carico



Temperatura



Rugosità



Geometria

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il carico è sostenuto dal film d'olio quando geometria, viscosità, velocità e temperatura sono nelle condizioni corrette.

*"Un buon film d'olio sostiene
il carico senza contatto
metallico diretto."*



DA MEMORIZZARE:

"Un buon film d'olio sostiene il carico senza contatto metallico diretto."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



LUBRIFICANTI

OLI, GRASSI E ADDITIVI

COME SCEGLIERE IL MEZZO INTERFACCIALE GIUSTO

Il lubrificante giusto protegge, raffredda e fa durare!

1 FUNZIONI

- Riduce l'attrito
- Dissipa il calore
- Protegge da usura e corrosione
- Pulisce (trasporta i contaminanti)
- Sigilla le superfici



2 OLI MINERALI E SINTETICI

- **Oli minerali:** derivati dal petrolio, costo contenuto, buone prestazioni generali
- **Oli sintetici:** migliori prestazioni a alte/basse temperature, maggiore stabilità, vita più lunga
- Scelta in base a prestazioni, condizioni operative e costo



Olio minerale



Olio sintetico

PRESTAZIONI SUPERIORI NEI CONDIZIONI PIÙ ESTREME

3 GRASSI

- Miscela di olio base, addensante e additivi
- Addensante: saponi (litio, calcio, alluminio, complessi, ecc.)
- Consistenza classificata con grado NLGI (da 000 a 6)
- Adatti a carichi elevati, basse velocità e tenuta del lubrificante nel tempo



Alcuni saponi comuni:

- Litio
- Calcio
- Alluminio
- Complessi
- Poliurea

4 ADDITIVI

- Antiusura (AW)
- Estrema pressione (EP)
- Antiossidanti
- Anticorrosivi
- Detergenti e dispersanti
- Antischiuma
- Modificatori di attrito
- Miglioratori dell'indice di viscosità

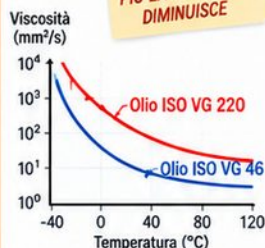


Piccole quantità, grandi benefici!

5 VISCOSITÀ

- Resistenza allo scorrimento del lubrificante
- Classificazione ISO VG (es. ISO VG 32, 68, 220)
- La viscosità diminuisce con l'aumentare della temperatura
- Scelta della viscosità in base a carico, velocità e temperatura di esercizio

PIÙ È ALTA LA TEMPERATURA, PIÙ LA VISCOSITÀ DIMINUISCE



IL LUBRIFICANTE È UN COMPONENTE ATTIVO DEL SISTEMA TRIBOLOGICO



CRITERI DI SCELTA

- Velocità
- Carico
- Temperatura
- Ambiente
- Contaminazione

Scegliere il lubrificante corretto significa governare attrito, usura, temperatura e affidabilità.

6 PROPRIETÀ CHIAVE

- Stabilità all'ossidazione (e vita utile)
- Punto di scorrimento (pour point)
- Punto di infiammabilità (flash point)
- Compatibilità con materiali (tenute, vernici, elastomeri)
- Stabilità al taglio (per oli)
- Separazione dell'olio (per grassi)



PRESTAZIONI AFFIDABILI IN OGNI CONDIZIONE

7 SCELTA DEL LUBRIFICANTE

- Tipo di carico (leggero, pesante, urti)
- Velocità di scorrimento
- Temperatura di esercizio
- Presenza di contaminanti (polveri, acqua, agenti chimici)
- Ambiente operativo (interno, esterno, umido, corrosivo)
- Requisiti normativi o ambientali



ANALIZZA LE CONDIZIONI E SCEGLI CON METODO

8 ERRORI COMUNI

- Usare una viscosità non adeguata
- Miscelare prodotti incompatibili
- Sottolubrificazione o eccesso di lubrificante
- Non considerare la temperatura
- Ignorare la contaminazione
- Usare il lubrificante sbagliato per l'applicazione



UN LUBRIFICANTE INADATTO PUÒ CAUSARE GUASTI PRECOCI

9 APPLICAZIONI

- Cuscinetti volventi e radenti
- Ingranaggi e riduttori
- Catene e nastri trasportatori
- Sistemi idraulici
- Compressori
- Guide lineari e viti a ricircolo di sfere
- Giunti e organi di trasmissione
- Macchine utensili e impianti industriali



Cuscinetti



Ingranaggi



Catene



Idraulica



Compressori

10 MESSAGGIO CHIAVE

- La scelta del lubrificante è una decisione progettuale e manutentiva
- Influenza direttamente prestazioni, durata e costi
- Richiede conoscenze tecniche e analisi delle condizioni operative
- Un buon lubrificante aumenta l'affidabilità dell'intero sistema

INVESTIRE NELLA GIUSTA LUBRIFICAZIONE CONVIENE SEMPRE



DA MEMORIZZARE:

"Non esiste il lubrificante migliore in assoluto, ma quello più adatto all'applicazione."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

CONTAMINAZIONE E ANALISI DELL'OLIO

LE PARTICELLE RACCONTANO LO STATO DEL SISTEMA

*Un piccolo campione
può prevenire
grandi guasti!*

1 PERCHÉ ANALIZZARE L'OLIO

- Strumento di condition monitoring
- Rivela lo stato del sistema e dei componenti
- Permette manutenzione predittiva
- Riduce fermi macchina e costi di riparazione
- Aumenta affidabilità e durata



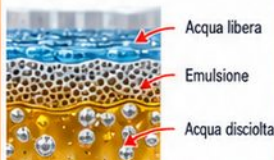
2 CONTAMINANTI SOLIDI

- Polveri dall'ambiente (sabbia, silice, sporco)
- Particelle di usura (metalli, ossidi)
- Residui di processo (trucioli, sfidi, guarnizioni)
- Fibre, vernici, sigillanti
- Possono causare abrasione, usura e aumento della rugosità superficiale



3 ACQUA E UMIDITÀ

- Riduce la capacità lubrificante del film
- Favorisce la corrosione
- Può causare idrolisi degli additivi
- Accelera l'ossidazione
- Può essere libera, emulsionata o disciolta



4 DEGRADAZIONE CHIMICA

- Ossidazione (contatto con O_2 , temperature elevate)
- Formazione di morchie (sludge)
- Depositi e vernici (varnish)
- Esaurimento degli additivi
- Aumento dell'acidità (TAN)
- Riduzione della stabilità termica e della vita utile

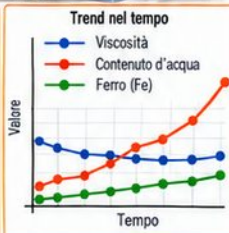
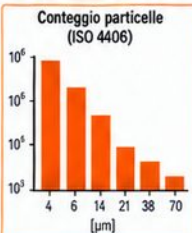


5 PARAMETRI MISURATI

- Viscosità (a 40°C e 100°C)
- Conteggio delle particelle (ISO 4406)
- Contenuto d'acqua (ppm, %)
- TAN / TBN (acidità/basicità)
- Metalli di usura (Fe, Cu, Al, Cr, Pb, Sn, ...)
- Contaminanti (Si, Na, K, ...)
- Stato degli additivi



ANALIZZARE IL LUBRIFICANTE PER DIAGNOSTICARE IL CONTATTO MECCANICO



*L'olio porta con sé tracce del funzionamento interno:
leggerle bene significa anticipare il degrado.*

6 WEAR DEBRIS

- Ferro (Fe): usura di ingranaggi, alberi, cuscinetti
- Rame (Cu): bronzine, bussole, scambiatori di calore
- Alluminio (Al): carter, pistoni, componenti leggeri
- Cromo (Cr): rulli, piste di cuscinetti
- Piombo (Pb): bronzine, rivestimenti
- Stagno (Sn): leghe antirifusione
- Silicio (Si): polveri ambientali (o tenute)
- Sodio/Potassio (Na, K): ingressi di refrigerante



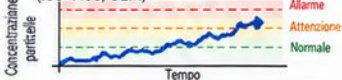
7 PRELIEVO DEL CAMPIONE

- Rappresentativo del sistema
- Nel punto corretto e al momento giusto (in esercizio)
- Contenitore pulito e idoneo
- Evitare contaminazioni esterne
- Procedura ripetibile



8 INTERPRETAZIONE TREND

- Confrontare con valori iniziali (baseline)
- Valutare l'andamento nel tempo
- Considerare limiti di allarme
- Identificare variazioni anomale
- Correlare con condizioni operative
- Usare standard e linee guida (ISO 4406, OEM)



9 AZIONI CORRETTIVE

- Filtrazione del lubrificante
- Sostituzione dell'olio
- Verifica e sostituzione delle tenute
- Miglioramento della filtrazione e della respirazione
- Ricerca della causa radice
- Monitoraggio dopo l'intervento



10 MESSAGGIO CHIAVE

- L'analisi dell'olio trasforma la tribologia in informazioni diagnostiche
- Permette di vedere ciò che non è visibile
- Aiuta a prevenire guasti e ottimizzare la manutenzione
- Aumenta affidabilità, efficienza e durata
- Un piccolo campione può fare una grande differenza



DA MEMORIZZARE:

"L'analisi dell'olio è una finestra aperta sulla salute del sistema."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SUPERFICI E RUGOSITÀ

TRATTAMENTI TRIBOLOGICI

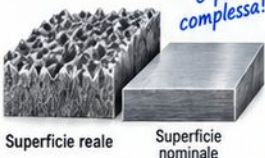
DAL MICROPROFILO AL COMPORTAMENTO IN ESERCIZIO

La superficie
conta più di
quanto sembri!

1 SUPERFICIE REALE VS NOMINALE

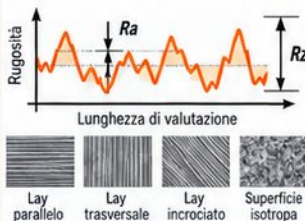
- La superficie nominale è ideale e geometrica
- La superficie reale è irregolare e composta da asperità
- La superficie reale è molto maggiore della nominale
- Influenza contatto, attrito, usura e capacità di ritenzione del lubrificante

La realtà è più complessa!



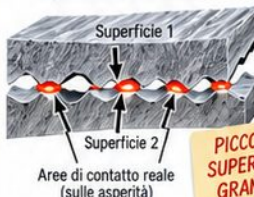
2 PARAMETRI DI RUGOSITÀ

- Ra**: scostamento medio aritmetico del profilo
- Rz**: altezza media delle asperità
- Waviness**: ondulazione a passo maggiore
- Lay**: direzione predominante delle tracce
- Altri parametri: Rt, Rq, Rsk, Rku
- Norme ISO 4287, ISO 4288



3 CONTATTO TRA ASPERITÀ

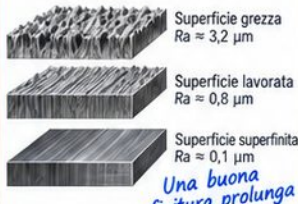
- Il contatto avviene solo sulle cime delle asperità
- Area di contatto reale molto minore di quella nominale
- Elevate pressioni locali
- Deformazione elastica e plastica delle asperità
- Influenza su attrito, usura e generazione di calore



PICCOLE
SUPERFICI
GRANDI
PRESSIONI!

4 EFFETTO DELLA FINITURA

- Superfici più lisce riducono l'attrito (in molti casi)
- Favorisce la ritenzione del film lubrificante
- Riduce l'usura e il rischio di grippaggio
- La finitura ottimale dipende dal tipo di contatto e dal regime di lubrificazione



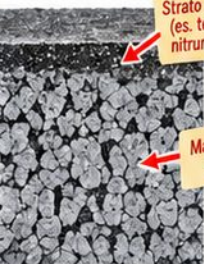
Una buona
finitura prolunga
la vita del
componente!

5 DUREZZA E MICROSTRUTTURA

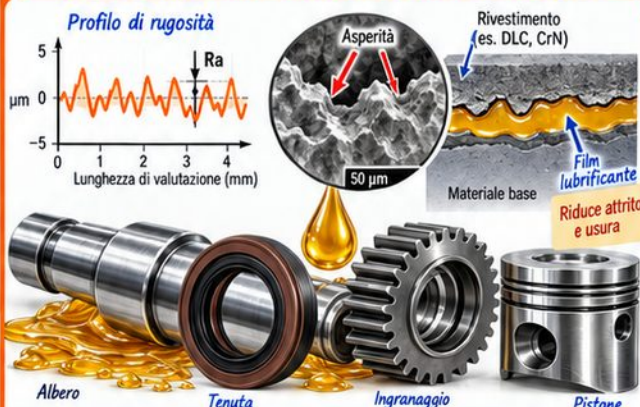
- Maggiore durezza → maggiore resistenza all'usura
- La microstruttura influenza attrito e meccanismi di usura
- Trattamenti termici modificano le proprietà superficiali
- Strati superficiali induriti migliorano il comportamento tribologico

Strato indurito
(es. tempra,
nitrazione)

Materiale
base



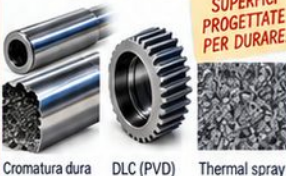
LA TOPOGRAFIA SUPERFICIALE INFLUENZA ATTRITO, FILM LUBRIFICANTE E USURA



La superficie non è solo geometria: è una vera interfaccia funzionale tra materiale, carico e lubrificante.

6 RIVESTIMENTI E TRATTAMENTI

- Nitrurazione e nitrocarburação
- Cromatura dura
- Rivestimenti PVD (es. TiN, CrN, DLC)
- Rivestimenti CVD
- Thermal spray (HVOF, plasma)
- Rivestimenti polimerici e solidi (es. MoS₂, PTFE)
- Migliorano durezza, riducono attrito e usura, aumentano la resistenza a corrosione e fatica



SUPERFICI
PROGETTATE
PER DURARE!

7 SUPERFINISH E LAPPATURA

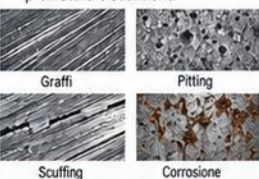
- Superfinish: finitura con bassa rugosità ($Ra < 0,1 \mu m$)
- Lappatura: massima precisione e planarità
- Riduce attrito e usura di avviamento
- Migliora la ritenzione del lubrificante
- Usata per tenute, cuscinetti, componenti di precisione

Precisione al servizio della durata!



8 DIFETTI SUPERFICIALI

- Graffi e rigature (scratches)
- Pitting (vulnatura)
- Scuffing (grippaggio)
- Corrosione e ossidazione
- Cavità e porosità
- Difetti da lavorazione o montaggio
- Possono innescare usura prematura e cedimenti



9 APPLICAZIONI

- Alberi e supporti
- Tenute e guarnizioni
- Ingranaggi
- Cuscinetti volventi e radenti
- Pistoni e cilindri
- Utensili da taglio e stampi
- Guide lineari e viti a ricircolo
- Componenti in ambienti gravosi



10 MESSAGGIO CHIAVE

- La prestazione tribologica inizia dalla superficie
- La rugosità, la finitura e i trattamenti determinano attrito, usura e durata
- Non esiste una superficie "perfetta" in assoluto
- La superficie giusta è quella adatta al compito
- Progettare, misurare e controllare la superficie è essenziale
- Piccoli dettagli superficiali fanno grande differenza



LA SUPERFICIE
GIUSTA
FA LA
DIFFERENZA!



DA MEMORIZZARE:

"Una buona superficie non è solo liscia: è adatta al compito che deve svolgere."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



GUASTI TRIBOLOGICI E MONITORAGGIO

SEGNALI, CAUSE E TECNICHE DI DIAGNOSI

I danni superficiali lasciano sempre indizi!

1 GUASTI TIPICI

- Grippaggio (seizure)
- Scuffing (strisciamento)
- Pitting (vaioatura)
- Lucidatura (polishing)
- Fretting (micro-usura)
- Usura corrosiva (tribocorrosione)



2 SINTOMI

- Aumento della temperatura
- Rumore anomalo
- Vibrazioni crescenti
- Particelle metalliche nell'olio
- Perdite di lubrificante
- Variazioni di coppia
- Peggioramento del rendimento



3 CAUSE RADICE

- Problemi di lubrificazione (quantità, qualità, viscosità)
- Contaminazione (polveri, acqua, particelle)
- Sovraccarico e condizioni estreme
- Disallineamento e montaggio errato
- Incompatibilità dei materiali
- Progettazione inadeguata
- Condizioni ambientali aggressive (umidità, corrosione)



4 COMPONENTI CRITICI

- Cuscinetti volventi e radenti
- Ingranaggi e riduttori
- Tenute e guarnizioni
- Guide lineari e pattini
- Camme e sistemi a camme
- Alberi e accoppiamenti



5 TECNICHE DI MONITORAGGIO

- Analisi delle vibrazioni
- Termografia a infrarossi
- Analisi dell'olio lubrificante
- Ultrasuoni
- Ispezione visiva/endoscopica
- Misura di temperatura
- Monitoraggio della coppia e della potenza



8 ESEMPI DI CASI

- Pitting su cuscinetto volante
- Scuffing su ingranaggi
- Usura di tenute
- Allungamento catena
- Fretting su accoppiamenti
- Usura corrosiva in ambienti umidi



9 AZIONI CORRETTIVE

- Pulizia e ripristino delle superfici
- Sostituzione dei componenti danneggiati
- Eliminazione della causa radice
- Aggiornamento delle procedure e standard
- Verifica delle condizioni di esercizio
- Pianificazione della manutenzione preventiva



RISOLVERE LA CAUSA, NON SOLO IL SINTOMO!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- I guasti tribologici sono prevedibili, monitorabili e gestibili
- Il monitoraggio permette di individuare i problemi in anticipo
- L'analisi integrata dei dati porta a diagnosi affidabili
- La prevenzione aumenta affidabilità, efficienza e durata
- Ogni danno superficiale racconta una storia

"Ogni danno superficiale racconta una storia: il monitoraggio aiuta a leggerla in tempo."



CONOSCERE I SEGNALE PER UN FUTURO PIÙ AFFIDABILE!

OSSERVARE I SEGNALE DEL CONTATTO PER PREVENIRE IL DANNO



Nel contatto meccanico, il monitoraggio trasforma il guasto da sorpresa a fenomeno interpretabile.

6 CORRELAZIONE DEI DATI

- Integrare più fonti di informazione
- Confrontare con dati storici e baseline
- Individuare pattern ricorrenti
- Usare soglie e allarmi
- Confermare la diagnosi con più tecniche



7 PREVENZIONE

- Pulizia e controllo della contaminazione
- Piano di lubrificazione efficace
- Corretto allineamento e montaggio
- Scelta di materiali e trattamenti idonei
- Controllo delle condizioni operative
- Monitoraggio continuo



PREVENIRE COSTA MENO DI RIPARARE!

DA MEMORIZZARE:

"La maggior parte dei guasti meccanici nasce dove due superfici si toccano."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



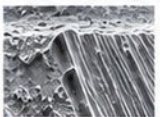
SINTESI DELLA TRIBOLOGIA

*Dove c'è contatto,
c'è tribologia!*

CONTATTO, SUPERFICI, LUBRIFICAZIONE E AFFIDABILITÀ

1 PANORAMICA

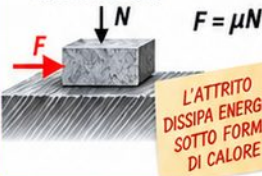
- La tribologia studia il comportamento delle superfici in contatto relativo
- Analizza attrito, usura e lubrificazione
- Considera materiali, lubrificanti, condizioni operative e ambiente
- È fondamentale per affidabilità, efficienza energetica e sostenibilità
- Coinvolge meccanica, materiali, chimica e diagnostica



Scienza del contatto per un mondo più efficiente!

2 ATTRITO

- Forza che si oppone al moto relativo
- Dissipa energia (calore)
- Può essere utile o dannoso
- Dipende da materiali, stato delle superfici, lubrificazione e carico
- Tipi: statico, dinamico, radente, volvente



3 USURA

- Rimozione progressiva di materiale
- Meccanismi: adesiva, abrasiva, fatica superficiale, corrosiva, tribochimica
- Dipende da carico, velocità, temperatura, lubrificazione, contaminanti
- Riduce precisione, efficienza e vita utile



L'usura modifica le superfici nel tempo

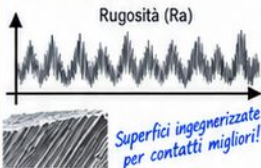
4 LUBRIFICAZIONE

- Separa le superfici in contatto
- Riduce attrito, usura e calore
- Protegge dalla corrosione
- Migliora efficienza e affidabilità
- Regimi: lubrificazione limite, mista, idrodinamica, elastoidrodinamica
- Può essere a olio, grasso, secco o solido



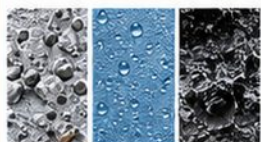
5 SUPERFICI

- Topografia, rugosità e finitura influenzano attrito e usura
- Parametri principali: Ra, Rz, Rt
- Trattamenti superficiali: tempra, rivestimenti, DLC, nitrurazione, anodizzazione
- Modifica delle superfici per migliorare prestazioni e durata
- Analisi con profilometria e microscopia



7 CONTAMINAZIONE

- Particelle solide (polveri, usura)
- Acqua e umidità
- Prodotti di degradazione (ossidazione, vernici, morchie)
- Provoca abrasione, usura, corrosione e perdita di proprietà del lubrificante
- Controllo con filtrazione, tenute, pulizia e monitoraggio



La pulizia allunga la vita!



DA MEMORIZZARE:

"La maggior parte dei guasti meccanici nasce dove due superfici si toccano."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

TRIBOLOGIA =

ATTRITO + USURA + LUBRIFICAZIONE + SUPERFICI + DIAGNOSI

Contatto tra superfici → Film lubrificante → Usura controllata → Affidabilità e lunga durata



Gestire bene la tribologia significa ridurre guasti, perdite energetiche e costi lungo tutto il ciclo di vita del componente.

La tribologia trasforma il punto di contatto in un punto di forza del sistema.

8 MONITORAGGIO

- Analisi vibrazioni
- Termografia
- Analisi dell'olio (particelle, viscosità, stato di salute)
- Ispezioni visive e endoscopiche
- Misura di temperatura e condizioni operative
- Permette la manutenzione predittiva

Dai dati alle decisioni!



9 APPLICAZIONI

- Cuscinetti volventi e radenti
- Ingranaggi e riduttori
- Tenute e guarnizioni
- Guide lineari e pattini
- Pistoni e cilindri
- Catene e trasmissioni
- Giunti, camme e valvole
- In molti settori: automotive, aerospaziale, energia, macchine utensili, industriale



10 MESSAGGIO FINALE

- La tribologia collega la meccanica del contatto all'affidabilità
- Una corretta gestione di attrito, usura, lubrificazione e superfici riduce i fermi macchina
- Il monitoraggio e la manutenzione prolungano la vita dei componenti
- La tribologia crea valore: maggiore efficienza, sicurezza e sostenibilità



MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA

Dal combustibile al moto!

PRINCIPI, CICLI E SISTEMI DELLA CONVERSIONE ENERGETICA

1 DEFINIZIONE

- Macchina che converte l'energia chimica del combustibile in lavoro meccanico.
- La combustione avviene all'interno del cilindro.
- Ampiamente utilizzato in campo automotive, industriale, agricolo e navale.
- Si basa su cicli termodinamici.



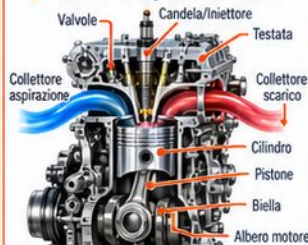
2 CLASSIFICAZIONI

- Per accensione:
 - Otto (accensione comandata).
 - Diesel (accensione spontanea).
- Per numero di tempi:
 - 2 tempi (2T), 4 tempi (4T).
- Per combustibile:
 - benzina, diesel, gas, biocombustibili.
- Per aspirazione:
 - aspirato, turbo.
- Per raffreddamento:
 - aria, liquido.



3 COMPONENTI PRINCIPALI

- Cilindro.
- Pistone.
- Biella.
- Albero motore.
- Testata.
- Valvole di aspirazione e scarico.
- Candela o iniettore.
- Collettori di aspirazione e scarico.



4 TRASFORMAZIONE ENERGETICA

- La combustione aumenta pressione e temperatura dei gas.
- I gas spingono il pistone.
- La biella-manovella trasforma il moto alternativo in moto rotatorio.
- Perdite dovute a calore, attriti e pompaggio.



5 PARAMETRI FONDAMENTALI

- Cilindrata (volume totale dei cilindri).
- Alesaggio e corsa.
- Rapporto di compressione.
- Regime di rotazione.
- Coppia e potenza.
- Rendimento.



IL MOTORE TRASFORMA PRESSIONE E COMBUSTIONE IN MOTO ROTATORIO



8 APPLICAZIONI

- Automobili e motocicli.
- Veicoli commerciali.
- Macchine agricole.
- Gruppi elettrogeni.
- Imbarcazioni.
- Macchine movimento terra.



DA MEMORIZZARE: "Un motore a combustione interna converte l'energia del combustibile in lavoro meccanico attraverso un ciclo termodinamico."

9 VANTAGGI E LIMITI

Vantaggi	Limiti
✓ Elevata densità energetica del combustibile.	✗ Emissioni inquinanti (CO ₂ , NO _x , particolato).
✓ Grande autonomia.	✗ Perdite di calore.
✓ Ampia diffusione.	✗ Rumore e vibrazioni.
✓ Rifornimento rapido.	✗ Maggiore complessità di manutenzione.
✓ Tecnologie mature e affidabili.	✗ Sensibilità alla qualità del combustibile.

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le prestazioni del motore dipendono dal ciclo di funzionamento, dalla combustione e dai sistemi ausiliari.
- La progettazione richiede un equilibrio tra potenza, efficienza, emissioni e affidabilità.
- La diagnosi parte dalla comprensione del processo di combustione e dei suoi effetti sul sistema.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CICLO OTTO

ACCENSIONE COMANDATA, 4 TEMPI E TRASFORMAZIONE DELLA MISCELA IN LAVORO

La scintilla avvia il ciclo!

1 DEFINIZIONE

- Il ciclo Otto è il ciclo termodinamico dei motori a accensione comandata (benzina).
- La miscela aria-carburante è omogenea e viene compressa nel cilindro.
- La combustione è innescata da una scintilla (candela).
- È tipico dei motori a benzina di automobili, motocicli e piccoli motori.



Miscela aria-carburante omogenea!

2 FASI DEL CICLO

- Il ciclo Otto si svolge in 4 tempi:

- Aspirazione** (ingresso della miscela).
- Compressione** (aumento di pressione e temperatura).
- Combustione/espansione** (la scintilla accende la miscela e i gas si espandono).
- Scarico** (espulsione dei gas combusti).

4 tempi, un ciclo completo!

3 COMPONENTI CHIAVE

- Candela (accensione).
- Valvole di aspirazione e scarico.
- Pistone.
- Cilindro.
- Biella.
- Albero motore.
- Collettore di aspirazione e scarico.
- Sistema di alimentazione (iniezione o carburatore).



4 ACCENSIONE COMANDATA

- La candela genera una scintilla elettrica che accende la miscela aria-carburante.
- Il momento dell'accensione è controllato dalla centralina elettronica (anticipo di accensione).
- L'anticipo varia con regime, carico e condizioni di funzionamento.
- Una corretta fasatura migliora rendimento, potenza ed emissioni.



La scintilla accende la miscela al momento giusto!

5 RAPPORTO DI COMPRESSIONE

- È il rapporto tra il volume massimo e il volume minimo del cilindro.
- Nei motori a benzina varia tipicamente da 8:1 a 12:1 (anche oltre nei motori moderni).
- Un rapporto più alto aumenta il rendimento termico.
- Rapporti elevati possono provocare il fenomeno del battito in testa (knock).



$$r = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$$

Più compressione = maggiore rendimento (ma attenzione al knock!)

NEL CICLO OTTO LA MISCELA VIENE COMPRESSA E ACCESA DA UNA SCINTILLA



LE 4 FASI DEL CICLO OTTO



- Aspirazione**
La miscela aria-carburante entra nel cilindro.
- Compressione**
La miscela viene compressa.
- Combustione**
La scintilla accende la miscela e i gas si espandono.
- Scarico**
I gas combusti vengono espulsi.

8 LIMITI

- ✗ Rendimento termico inferiore rispetto ai motori Diesel.
- ✗ Rischio di battito in testa (knock) con alti rapporti di compressione.
- ✗ Maggiore consumo di carburante, soprattutto sotto carico.
- ✗ Maggiore sensibilità alla qualità del combustibile.
- ✗ Emissioni di CO, HC e NOx più elevate rispetto ai Diesel.



Il knock danneggia il motore!

Diagramma p-V ideale



Vantaggi e limiti

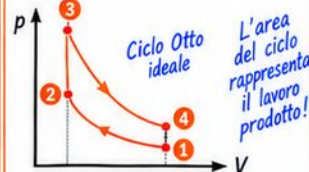
- ✓ Semplice ed affidabile
- ✓ Buone prestazioni a regimi elevati
- ✓ Combustione controllata
- ✓ Minori vibrazioni
- ✗ Rendimento inferiore al Diesel
- ✗ Rischio di battito in testa (knock)
- ✗ Maggiore consumo di carburante sotto carico

Nel motore Otto la qualità della miscela e il controllo dell'accensione determinano prestazioni ed efficienza.

6 DIAGRAMMA p-V IDEALE

- Il ciclo Otto ideale è composto da 4 trasformazioni:

- 1-2 Compressione adiabatica (isentropica).
- 2-3 Combustione a volume costante.
- 3-4 Espansione adiabatica.
- 4-1 Scarico a volume costante.



7 VANTAGGI

- ✓ Elevati regimi di rotazione.
- ✓ Funzionamento regolare e silenzioso.
- ✓ Motori generalmente più leggeri e compatti.
- ✓ Minori vibrazioni rispetto ai Diesel.
- ✓ Buona risposta ai transitori di carico.



Prestazioni e prontezza di risposta!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il ciclo Otto rappresenta un ottimo equilibrio tra semplicità, rapidità di risposta e combustione controllata.
- È la soluzione ideale per applicazioni dove sono richieste alte prestazioni, leggerezza e funzionamento regolare.
- La corretta gestione della miscela e dell'accensione è fondamentale per efficienza, durata del motore e riduzione delle emissioni.



Semplicità, prestazioni e controllo!

DA MEMORIZZARE: "Nel ciclo Otto la miscela aria-carburante viene compressa e accesa da una scintilla."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

MOTORE A 4 TEMPI

ASPIRAZIONE, COMPRESSIONE, COMBUSTIONE-ESPANSIONE E SCARICO

Quattro fasi,
due giri dell'albero!

1 DEFINIZIONE

- Il motore a 4 tempi è una macchina termica che converte l'energia chimica del combustibile in lavoro meccanico.
- Il ciclo si completa in due giri dell'albero motore (720° di rotazione).
- Ogni cilindro compie un ciclo ogni due giri dell'albero.
- È il tipo di motore più diffuso in ambito automobilistico, industriale e nautico.



2 ASPIRAZIONE

- Il pistone scende dal PMS al PMI.
- La valvola di aspirazione si apre e quella di scarico rimane chiusa.
- Nel cilindro entra la miscela aria-combustibile (benzina) o solo aria (diesel).
- Il riempimento del cilindro influenza la potenza del motore.



3 COMPRESSIONE

- Il pistone risale dal PMI al PMS.
- Entrambe le valvole sono chiuse.
- La miscela aria-combustibile viene compressa aumentando temperatura e pressione.
- Rapporti di compressione tipici: 8:1 + 12:1 (benzina) 14:1 + 22:1 (diesel).



4 COMBUSTIONE ED ESPANSIONE

- Vicino al PMS la candela (benzina) accende la miscela, oppure il gasolio si autoaccende per l'alta temperatura (diesel).
- I gas combusti si espandono spingendo il pistone verso il PMI.
- Questa è la fase utile che produce il lavoro meccanico.
- Temperatura dei gas: 2000 + 2500°C.



5 SCARICO

- Il pistone risale dal PMI al PMS.
- La valvola di scarico si apre e quella di aspirazione rimane chiusa.
- I gas combusti vengono espulsi dal cilindro.
- La corretta evacuazione dei gas migliora il rendimento e riduce le emissioni inquinanti.

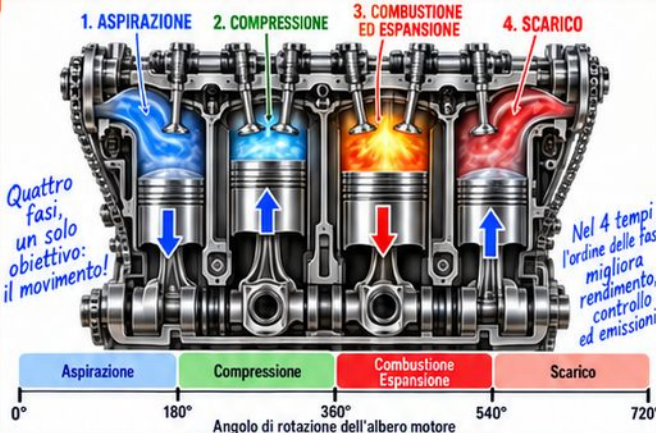


6 FASATURA DEL CICLO

- Un ciclo completo richiede 720° di rotazione dell'albero motore (due giri).
- Ogni fase dura 180°.
- Le valvole si aprono e si chiudono in anticipo e in ritardo rispetto al PMS/PMI per migliorare il riempimento e lo scarico.
- La fasatura varia in base al tipo di motore e alle condizioni di funzionamento.



IL 4 TEMPI ORGANIZZA IL LAVORO DEL MOTORE IN UNA SEQUENZA PRECISA



Angolo di rotazione dell'albero motore

CONFRONTO 4 TEMPI vs 2 TEMPI		
Caratteristica	4 TEMPI	2 TEMPI
Ciclo completo	720° (due giri)	360° (un giro)
Fasi del ciclo	Aspirazione, compressione, combustione, scarico	Aspirazione + compressione Scarico + combustione (sovrapposte)
Rendimento	Maggiore	Minore
Emissioni	Più basse	Più alte
Consumo specifico	Minore	Maggiore
Complesso meccanicamente	Sì	No (più semplice)
Applicazioni tipiche	Auto, moto, industria, nautica	Scoter, attrezzature, piccoli motori

8 DIFFERENZE RISPETTO AL 2 TEMPI

- Il 2 tempi completa il ciclo in un solo giro dell'albero (360°).
- Nel 2 tempi le fasi si sovrappongono e non ci sono valvole (spesso usa luci di travaso e scarico).
- Il 4 tempi ha fasi separate e valvole, garantendo maggiore controllo.
- Il 2 tempi è più semplice, leggero e con maggiore potenza specifica, ma più inquinante.



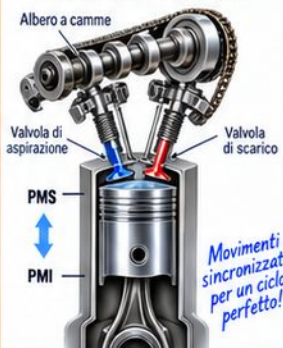
Due soluzioni esigenze diverse!

VANTAGGI E LIMITI

Vantaggi	Limiti
Maggiore rendimento e minor consumo	Maggiore complessità meccanica
Minori emissioni inquinanti	Più costoso da costruire
Funzionamento più regolare e silenzioso	Maggiore peso e ingombro
Maggiore durata e affidabilità	Numero di componenti più elevato
Amplia diffusione e disponibilità di tecnologie	Potenza specifica inferiore al 2 tempi
Migliore controllo della combustione	Sistema di distribuzione più delicato
Adatto a normative ambientali severe	Necessita di lubrificazione accurata

7 MOVIMENTO DI PISTONE E VALVOLE

- Il pistone compie un moto alternativo tra PMS (punto morto superiore) e PMI (punto morto inferiore).
- Le valvole sono comandate dall'albero a camme tramite bilancieri o punterie.
- La corretta sincronizzazione tra pistone e valvole è fondamentale per il funzionamento del motore.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il motore a 4 tempi trasforma l'energia del combustibile in lavoro meccanico attraverso una sequenza ordinata di quattro fasi.
- Questa organizzazione permette un miglior equilibrio tra prestazioni, consumi, emissioni e affidabilità.
- È la soluzione più utilizzata nei veicoli moderni e nelle applicazioni professionali.



"Nel motore a 4 tempi un ciclo completo richiede due giri dell'albero motore."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CICLO DIESEL

Qui il combustibile
si accende da solo!

AUTOACCENSIONE, ALTO RAPPORTO DI COMPRESSIONE E COPPIA ELEVATA

1 DEFINIZIONE

- Motore a combustione interna ad accensione per compressione (compression-ignition).
- Il combustibile (gasolio) si autoaccende per effetto dell'elevata temperatura dell'aria compressa.
- Non sono necessarie candele di accensione.
- Utilizzato per applicazioni che richiedono elevata efficienza e robustezza.

Compressione e calore accendono il combustibile!



2 SEQUENZA DEL CICLO

- 1 Aspirazione:** viene aspirata solo aria nel cilindro.
- 2 Compressione:** l'aria viene compressa a temperature elevate (700–900 °C).
- 3 Iniezione e combustione:** il gasolio viene iniettato ad alta pressione vicino al PMS e si autoaccende.
- 4 Espansione:** i gas caldi si espandono e compiono lavoro sul pistone.
- 5 Scarico:** vengono espulsi i gas combusti.

3 COMPONENTI CHIAVE

- Iniettori ad alta pressione
- Camera di combustione
- Pistone
- Valvole di aspirazione e scarico
- Pompa di iniezione (alta pressione o common rail)
- Spesso abbinato a turbocompressore
- Centralina di gestione elettronica (ECU)



4 AUTOACCENSIONE

- L'aria viene compressa a pressioni a temperature molto elevate (700–900 °C).
- Il gasolio viene iniettato finemente nebulizzato vicino al Punto Morto Superiore (PMS).
- Il combustibile si autoaccende a contatto con l'aria calda, senza bisogno di scintilla.
- La combustione inizia in più punti e si propaga rapidamente.



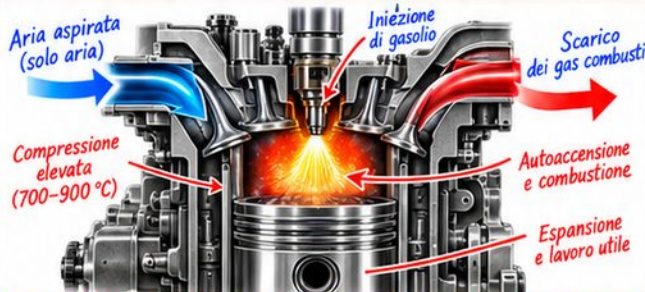
5 RAPPORTO DI COMPRESSIONE

- Valori tipici: 14:1 – 22:1 (contro 8:1 – 12:1 dei motori a benzina).
- Temperature in fine compressione: 700–900 °C.
- Più alto è il rapporto di compressione, maggiore è il rendimento termico.
- Consente l'autoaccensione del gasolio.



Aria fortemente compressa
Rapporto di compressione elevato = maggiore efficienza!

NEL CICLO DIESEL L'ARIA SI COMPRIME E IL COMBUSTIBILE SI AUTOACCENDE



LE 4 FASI DEL CICLO DIESEL



CONFRONTO OTTO vs DIESEL

Ciclo Otto (benzina)	Ciclo Diesel (gasolio)
Accensione con scintilla	Autoaccensione per compressione
Rapporto di compressione: 8:1 – 12:1	Rapporto di compressione: 14:1 – 22:1
Aggiunta di calore a volume costante (isocora)	Aggiunta di calore a pressione costante (isobara)

6 DIAGRAMMA p-V IDEALE DEL DIESEL

- Il calore viene aggiunto a pressione pressoché costante (isobara).
- Il ciclo è più "disteso" rispetto a quello Otto.
- L'area racchiusa dal ciclo rappresenta il lavoro utile.



7 VANTAGGI

- Elevato rendimento termico (35–45%).
- Coppia elevata a bassi regimi.
- Ottimo consumo specifico di combustibile.
- Maggiore autonomia dei veicoli.
- Robustezza e affidabilità.
- Adatto a carichi gravosi e utilizzo continuo.

Più chilometri con meno carburante!



Il Diesel eccelle quando servono efficienza, coppia e robustezza.

8 LIMITI

- Maggiore rumorosità della combustione.
- Emissioni più elevate di NO_x e particolato (PM).
- Richiede sistemi di trattamento dei gas di scarico (EGR, DPF, SCR).
- Struttura più pesante e costosa.
- Cicli di combustione più rapidi e sollecitazioni meccaniche elevate.



Prestazioni elevate, ma più emissioni da controllare!

9 APPLICAZIONI

- Veicoli commerciali pesanti (camion e autobus).
- Macchine agricole e movimento terra.
- Gruppi elettrogeni.
- Applicazioni navali.
- Macchine industriali e da cantiere.
- Alcune autovetture e veicoli commerciali leggeri.



Dal trasporto all'agricoltura, dal mare all'industria.

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Nel ciclo Diesel il combustibile si autoaccende grazie all'elevata temperatura dell'aria compressa.
- È la soluzione ideale quando servono efficienza, coppia e robustezza.
- Richiede sistemi di controllo delle emissioni.
- Rappresenta una tecnologia fondamentale per il trasporto pesante, l'agricoltura e l'industria.



Efficienza, forza e durata per un mondo che lavora!

"Nel ciclo Diesel il combustibile viene iniettato nell'aria fortemente compressa e si autoaccende."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERLA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PISTONE, BIELLA E ALBERO MOTORE

IL CINEMATISMO CHE TRASFORMA IL MOTO ALTERNATIVO IN ROTAZIONE

Qui nasce il moto rotatorio!

1 FUNZIONE DEL CINEMATISMO

- Converte il moto alternativo del pistone in moto rotatorio dell'albero motore.
- Trasmette la forza dei gas in coppia meccanica.
- Deve resistere a carichi elevati, alte temperature e velocità.
- Determina il carattere del motore (regolarità, vibrazioni, elasticità).



Dalla spinta lineare alla coppia rotante!

2 PISTONE: TENUTA, GUIDA, CARICO

- Riceve la pressione dei gas.
- Garantisce la tenuta in camera di combustione.
- Scorre nella canna del cilindro guidato dalle fasce.
- Trasferisce il carico alla biella tramite lo spinotto.
- Deve resistere ad alte temperature, pressioni e usura.



Leggero, resistente, affidabile!

3 FASCE ELASTICHE E SPINOTTO

- Le fasce garantiscono:
 - tenuta dei gas
 - controllo dell'olio
 - dissipazione del calore
- Lo spinotto collega pistone e biella e sopporta carichi alternati.
- Materiali ad alta resistenza e trattamenti superficiali.



4 BIELLA: COLLEGAMENTO E SOLLECITAZIONI

- Collega pistone e albero motore.
- È soggetta a trazione (durante l'aspirazione) e compressione (durante la combustione).
- Lavora a fatica con carichi alternati.
- Deve essere leggera, rigida e resistente.



Leggerezza e resistenza alla fatica!

5 ALBERO MOTORE: MANOVELLE, PERNI, CONTRAPPESSI

- Trasforma il moto alternativo in rotazione.
- Costituito da manovelle e perni di banco e di biella.
- I contrappesi riducono le vibrazioni e bilanciano le masse in movimento.
- Deve essere rigido, resistente a fatica e ben bilanciato.



Equilibrio e affidabilità nel tempo!

IL SISTEMA BIELLA-MANOVELLA CONVERTE LA SPINTA SUL PISTONE IN COPPIA ALL'ALBERO



Geometria, massa e lubrificazione del cinematismo influenzano vibrazioni, attriti e durata.

6 CUSCINETTI E BRONZINE

- Riducono l'attrito tra parti in moto relativo.
- Le bronzine sono rivestimenti di materiale antiriflesso (alluminio, rame, piombo).
- Lavorano in regime di lubrificazione idrodinamica.
- Devono garantire resistenza all'usura, alla fatica e alle alte temperature.



Film d'olio in regime idrodinamico

7 VOLANO E REGOLARITÀ DEL MOTO

- Il volano accumula energia cinetica durante le fasi attive.
- Rende più uniforme la rotazione dell'albero motore.
- Riduce le oscillazioni di velocità e le vibrazioni.
- È particolarmente importante nei motori a pochi cilindri.



Più inerzia per un moto più regolare!

POSIZIONE DEL PISTONE E ANGOLO DELL'ALBERO



SOLLECITAZIONI SULLA BIELLA



Carichi alternati ad alta frequenza!

- ✓ Elevate forze
- ✓ Cicli ripetuti
- ✓ Variazioni di temperatura
- ✓ Vibrazioni
- ✓ Rischio di fatica

8 MATERIALI E FABBRICAZIONE

- Pistoni: leghe di alluminio (forgiate o pressofuse).
- Bielle: acciaio forgiato.
- Alberi motore: acciaio forgiato o fuso.
- Trattamenti: tempra, nitrurazione, rivestimenti antiusura.
- Produzione: fusione, forgiatura, lavorazioni CNC, equilibratura dinamica.



Materiali e processi per alte prestazioni!

9 GUASTI TIPICI: USURA, GRIPPAGGIO, FATICA...

- Usura di pistone, fasce, cilindro e bronzine.
- Grappaggio per lubrificazione insufficiente.
- Fatica su biella e albero motore.
- Ovalizzazione dei fori (spinotto, bronzine).
- Gioco eccessivo e aumento dei battiti.
- Crisi per sovratemperatura o detonazione.

La manutenzione previene i guasti più gravi!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Pistone, biella e albero motore lavorano insieme come un sistema.
- La loro geometria, massa, materiali e lubrificazione determinano prestazioni, consumi, vibrazioni e durata del motore.
- Un corretto progetto e una buona manutenzione assicurano affidabilità e lunga vita utile.



Cinematismo efficiente = motore più performante e duraturo!

DA MEMORIZZARE: "Il meccanismo biella-manovella converte la pressione dei gas in coppia meccanica."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

DISTRIBUZIONE E VALVOLE

FASATURA, COMANDO E CONTROLLO DEI FLUSSI NEL MOTORE

Aprire e chiudere al momento giusto!

1 DEFINIZIONE DEL SISTEMA DI DISTRIBUZIONE

- Insieme di componenti che gestisce l'apertura e la chiusura delle valvole.
- Sincronizza il movimento delle valvole con l'albero motore.
- Permette lo scambio dei gas (aspirazione e scarico).
- Influenza prestazioni, consumi ed emissioni.



Il cuore della respirazione del motore!

2 VALVOLE DI ASPIRAZIONE E SCARICO

- Valvola di aspirazione: fa entrare la miscela aria-carburante (o solo aria nei Diesel).
- Valvola di scarico: espulde i gas combusti.
- Realizzate in acciaio speciale, resistenti ad alte temperature.
- Forma e diametro ottimizzati per il flusso.



Valvola di aspirazione

Valvola di scarico

3 ALBERO A CAMME, PUNTERIE, BILANCIERI, MOLLE

- L'albero a camme trasforma il moto rotatorio in moto alternativo.
- Le camme comandano l'apertura delle valvole.
- Punterie, bilancieri e diti trasmettono il movimento alla valvola.
- Le molle riportano la valvola in chiusura.
- Soluzioni: punterie meccaniche, idrauliche o a rullino.



Punteria

Bilanciere

Molla

Valvola

4 FASATURA: ANTICIPO E RITARDO

- Le valvole non si aprono e chiudono esattamente al PMS o PMI, ma con anticipo e ritardo.
- L'anticipo di apertura e il ritardo di chiusura permettono un miglior riempimento e svuotamento del cilindro.
- La fasatura varia in base al regime di rotazione e al tipo di motore.
- Una fasatura corretta migliora coppia, potenza e riduce le emissioni.



Anticipo e ritardo per usare l'inerzia dei gas!

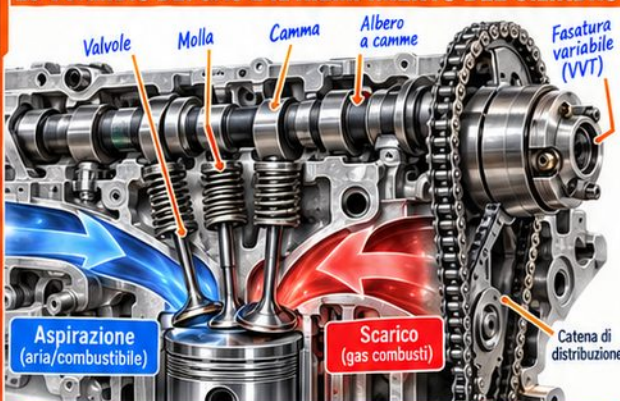
5 DIAGRAMMA DI DISTRIBUZIONE

- Rappresenta gli angoli di apertura e chiusura delle valvole rispetto al PMS e PMI.
- Mostra le fasi di aspirazione, compressione, combustione e scarico.
- Aiuta a comprendere la durata e la sovrapposizione delle valvole.



Le valvole si sovrappongono!

LA DISTRIBUZIONE REGOLA LO SCAMBIO DEI GAS E IL RIEPIIMENTO DEL CILINDRO



Una fasatura corretta migliora coppia, rendimento ed emissioni.

6 COMANDI: CATENA, CINGHIA, INGRANAGGI

- Trasmettono il moto dall'albero motore all'albero a camme.
- Catena: robusta e durevole.
- Cinghia dentata: silenziosa, leggera, richiede sostituzione periodica.
- Ingranaggi: molto precisi, usati in applicazioni specifiche.



Catena Cinghia dentata Ingranaggi

Trasmissione precisa e affidabile!

7 SISTEMI VVT / FASATURA VARIABILE

- Modificano la fasatura in modo continuo o a gradini.
- Ottimizzano il riempimento ai diversi regimi di rotazione.
- Migliorano prestazioni, consumi e riducono le emissioni.
- Azionamento idraulico con elettrovalvole di controllo.



Variatore di fase (VVT)

8 VANTAGGI DI UNA CORRETTA FASATURA

- Migliore riempimento del cilindro.
- Maggiore coppia e potenza.
- Riduzione dei consumi.
- Minori emissioni inquinanti.
- Funzionamento più regolare e silenzioso.
- Maggiore durata del motore.



Una buona respirazione fa la differenza!

9 GUASTI TIPICI

- Usura delle camme e delle punterie.
- Gioco eccessivo delle valvole (rumore e minor rendimento).
- Rottura della cinghia di distribuzione (con gravi danni al motore).
- Allungamento della catena.
- Perdita di tenuta delle valvole (usura sedi e guide).
- Molle valvole indebolite o rotte.



Usura camma

Cinghia rotta

Valvola danneggiata

La manutenzione previene i problemi più costosi!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- La distribuzione sincronizza il moto delle valvole con la rotazione dell'albero motore.
- Una fasatura corretta garantisce il giusto scambio dei gas in ogni condizione di funzionamento.
- Influenza direttamente prestazioni, consumi, emissioni e durata del motore.
- Richiede manutenzione e controlli periodici.



Valvole e fasatura: più efficienza, un motore migliore e un ambiente più pulito!

La distribuzione sincronizza il moto delle valvole con la rotazione dell'albero motore.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

ALIMENTAZIONE E INIEZIONE

La giusta miscela fa la differenza!

ARIA, CARBURANTE E DOSAGGIO DELLA MISCELA

1 FUNZIONE DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE

- Immagazzina il carburante.
- Filtra e pressurizza.
- Dosa e inietta il carburante nel momento giusto.
- Miscela il carburante con l'aria in quantità corretta.
- Garantisce prestazioni, efficienza ed emissioni ridotte.



2 SERBATOIO, POMPA, FILTRO, RAIL, INIETTORI

- Serbatoio: contiene il carburante.
- Pompa: invia il carburante in pressione.
- Filtro: trattiene le impurità.
- Rail: distribuisce il carburante agli iniettori.
- Iniettori: dosano e nebulizzano il carburante.



3 ASPIRAZIONE DELL'ARIA E FILTRO ARIA

- L'aria viene aspirata dal motore tramite il filtro aria.
- Il filtro trattiene polvere, impurità e particelle.
- Un flusso d'aria pulito garantisce migliore combustione, maggiore durata del motore e minori emissioni.



4 RAPPORTO ARIA/CARBURANTE E MISCELA STECHIOMETRICA

- Rapporto stechiometrico per benzina: 14,7 : 1 (aria : carburante).
- La miscela ideale garantisce combustione completa, efficienza e basse emissioni.
- Miscela magra: più aria (minori consumi, più NOx).
- Miscela ricca: più carburante (maggiore potenza, più consumi e inquinanti).

Rapporto stechiometrico (benzina)
14,7 : 1

La giusta quantità al momento giusto!

5 INIEZIONE INDIRETTA E DIRETTA

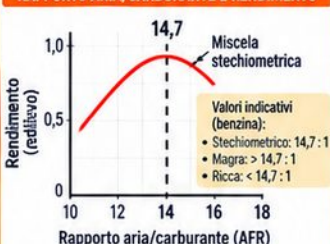
- Iniezione indiretta (MPI): il carburante è iniettato nel collettore di aspirazione.
- Iniezione diretta (GDI): il carburante è iniettato direttamente nella camera di combustione.
- La diretta migliora efficienza e prestazioni, ma richiede maggiore controllo e genera più particolato.



IL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DOSA ARIA E CARBURANTE PER OTTENERE UNA COMBUSTIONE EFFICIENTE



RAPPORTO ARIA/CARBURANTE E RENDIMENTO



CONFRONTO TRA INIEZIONE INDIRETTA E DIRETTA

Iniezione indiretta (MPI)	Iniezione diretta (GDI)
✓ Tecnologia più semplice	✓ Maggiore efficienza
✓ Minori costi	✓ Più potenza
✓ Minori emissioni di particolato	✓ Miglior controllo della combustione
✓ Adatta a molti motori	✓ Maggiore complessità
	✓ Maggiore particolato (se non gestito)

6 CARBURATORE VS INIEZIONE ELETTRONICA

- Carburatore: miscela aria e carburante in modo meccanico, semplice ma meno preciso.
- Iniezione elettronica: dosaggio controllato dalla centralina ECU in base a sensori e condizioni di funzionamento.
- L'iniezione garantisce migliori prestazioni, consumi ridotti e minori emissioni.



7 SENSORI E CENTRALINA ECU

- Sensore massa aria (MAF).
- Sensore pressione collettore (MAP).
- Sonda lambda (sensore O₂).
- Sensore temperatura motore.
- Sensore posizione farfalla (TPS).
- Centralina ECU: elabora i segnali e comanda l'iniezione.



8 PROBLEMI TIPICI

- Filtro carburante ostruito: riduce il flusso di carburante.
- Iniettori sporchi: nebulizzazione scadente, irregolarità.
- Pompa carburante debole: pressione insufficiente.
- Miscela magra: difficoltà di avviamento, perdita di potenza, temperature elevate.
- Miscela ricca: consumi alti, fumo nero, candela sporca.



Manutenzione regolare = motore affidabile!

9 BENEFICI DEL CONTROLLO PRECISO DELLA MISCELA

- ✓ Maggiore efficienza energetica.
- ✓ Minori consumi di carburante.
- ✓ Riduzione delle emissioni inquinanti (CO, HC, NOx, particolato).
- ✓ Migliori prestazioni e risposta del motore.
- ✓ Funzionamento più regolare e duraturo.
- ✓ Adattamento alle diverse condizioni di marcia (carico, temperatura, altitudine).



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il sistema di alimentazione dosa con precisione aria e carburante per ottenere la migliore combustione possibile.
- La gestione elettronica consente di adattare la miscela in tempo reale a tutte le condizioni di funzionamento.
- Un sistema efficiente significa meno consumi, meno emissioni e maggiore affidabilità.



"Dosare correttamente aria e carburante è essenziale per efficienza, prestazioni ed emissioni."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

LUBRIFICAZIONE E RAFFREDDAMENTO

CONTROLLARE ATTRITO, TEMPERATURA E DURATA DEL MOTORE

olio e temperatura decidono la vita del motore!

1 FUNZIONE DEI DUE SISTEMI

- La lubrificazione riduce l'attrito, l'usura, pulisce e protegge i componenti.
- Il raffreddamento mantiene la temperatura entro limiti ottimali, evitando surriscaldamenti.
- Insieme garantiscono efficienza, affidabilità e lunga durata del motore.



Olio e freschezza per un motore a lunga vita!

2 CIRCUITO DELL'OLIO

- La pompa olio aspira l'olio dalla coppa e lo invia in pressione al filtro e alle gallerie.
- Il filtro trattiene le impurità.
- L'olio raggiunge cuscinetti, albero motore, albero a camme, valvole e altri organi.
- Dopo la lubrificazione, l'olio ritorna alla coppa per essere riutilizzato.



3 TIPI DI LUBRIFICAZIONE

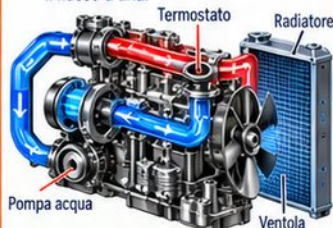
- A sbattimento: semplice, per piccoli motori.
- A pressione: la più diffusa, con pompa e filtro.
- Mista: combina i due sistemi.
- Importante la viscosità dell'olio, che deve essere adatta alla temperatura di esercizio.



La giusta viscosità protegge sempre!

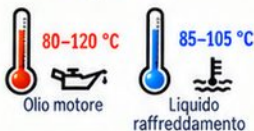
4 CIRCUITO DI RAFFREDDAMENTO

- La pompa acqua fa circolare il liquido di raffreddamento nel motore.
- Il termostato regola la temperatura.
- Il radiatore dissipa il calore all'esterno.
- La ventola e, nei moderni motori, la ventola elettrica, aumentano il flusso d'aria.



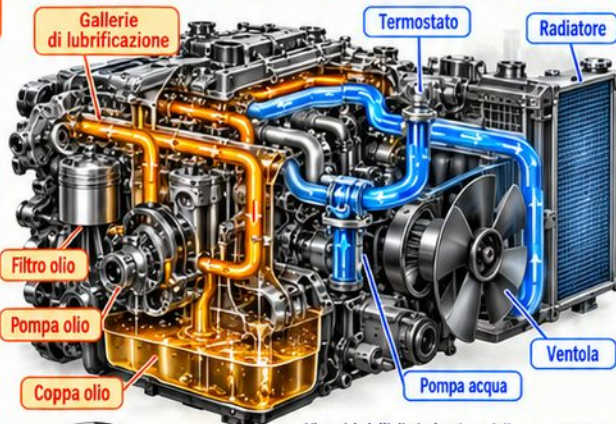
5 TEMPERATURE DI ESERCIZIO

- Temperatura olio: 80-120 °C.
- Temperatura liquido di raffreddamento: 85-105 °C.
- Temperature troppo basse riducono l'efficienza.
- Temperature troppo alte accelerano l'usura e possono causare gravi danni.



La temperatura giusta fa la differenza!

SENZA LUBRIFICAZIONE E RAFFREDDAMENTO IL MOTORE PERDE EFFICIENZA E SI DANNEGGIA



Temperatura liquido di raffreddamento



Gestire bene olio e calore significa ridurre attrito, usura e cedimenti.

6 RUOLO DEL LUBRIFICANTE

- Riduce l'attrito tra le superfici in movimento.
- Limita l'usura e prolunga la vita dei componenti.
- Pulisce, rimuovendo impurità e prodotti di combustione.
- Aiuta la tenuta tra pistone e cilindro.
- Protegge dalla corrosione.
- Contribuisce al raffreddamento.



Un buon olio protegge, pulisce e fa durare di più!

7 RUOLO DEL RAFFREDDAMENTO

- Evita il surriscaldamento del motore.
- Mantiene la stabilità termica dei componenti.
- Previene deformazioni e cedimenti.
- Garantisce prestazioni costanti.
- Protegge guarnizioni, testata e altri organi.



Il calore sotto controllo per un motore affidabile!

8 GUASTI TIPICI

- Bassa pressione dell'olio.
- Olio contaminato o emulsione (acqua nell'olio).
- Perdite di olio o liquido.
- Radiatore intasato.
- Termostato guasto (aperto o bloccato).
- Ventola non funzionante.
- Surriscaldamento del motore con possibili danni gravi.



Spia pressione olio



Emulsione olio-acqua



Radiatore intasato

9 MANUTENZIONE

- Sostituire regolarmente olio motore e liquido di raffreddamento secondo le indicazioni del costruttore.
- Controllare e sostituire il filtro olio.
- Verificare il livello dei fluidi.
- Controllare tenuta e assenza di perdite.
- Pulire il radiatore e verificare il corretto funzionamento del termostato e della ventola.
- Usare lubrificanti e refrigeranti di qualità e conformi alle specifiche.

Manutenzione oggi, motore domani!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Lubrificazione e raffreddamento lavorano insieme per un motore efficiente, sicuro e duraturo.
- Un corretto controllo di olio e temperatura evita guasti, costose riparazioni e fermi macchina.
- La cura regolare di questi sistemi è fondamentale per prestazioni, affidabilità e rispetto dell'ambiente.



Olio e freddo: una squadra vincente!



DA MEMORIZZARE: "Lubrificazione e raffreddamento sono indispensabili per affidabilità ed efficienza del motore."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

PRESTAZIONI DEL MOTORE

La prestazione
va letta nei grafici!

COPPIA, POTENZA, CONSUMI E RENDIMENTO

1 DEFINIZIONI DI COPPIA, POTENZA E RENDIMENTO

- **Coppia (C):** momento torcente prodotto dal motore [Nm].
- **Potenza (P):** lavoro per unità di tempo [kW o CV].
- **Rendimento (η):** rapporto tra energia utile all'albero e energia chimica del combustibile.
- Indicano la capacità del motore di compiere lavoro in modo efficiente.



La coppia fa ruotare, la potenza fa muovere!

2 RELAZIONE TRA COPPIA E POTENZA

- La potenza è proporzionale alla coppia e al regime di rotazione.
- Formula:

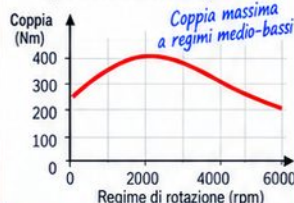
$$P = C \cdot \omega$$

$$\text{oppure } P [\text{kW}] = \frac{C [\text{Nm}] \cdot n [\text{rpm}]}{9550}$$

- Se la coppia aumenta, aumenta la potenza.
- A parità di coppia, la potenza cresce con il regime di rotazione.
- La coppia è massima a regimi medio-bassi, la potenza a regimi più elevati.

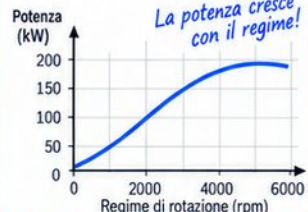
3 CURVA DI COPPIA

- La coppia cresce dai bassi regimi, raggiunge un valore massimo e poi diminuisce.
- Dipende da geometria, distribuzione, aspirazione, combustione e sovralimentazione.
- Una curva piatta garantisce maggiore elasticità e guidabilità.
- Nei motori diesel la coppia è più elevata ai bassi regimi.



4 CURVA DI POTENZA

- La potenza aumenta con il regime, raggiunge un massimo e poi tende a stabilizzarsi o diminuire.
- Dipende da riempimento, efficienza volumetrica, combustione e perdite.
- Nei motori benzina il regime massimo è più elevato rispetto ai diesel.
- La potenza determina la velocità massima e la capacità di accelerazione.



5 CONSUMO SPECIFICO E RENDIMENTO TERMICO

- Il consumo specifico (BSFC) è la quantità di carburante necessaria per produrre una unità di potenza utile [g/kWh].
- È minimo nella zona di massimo rendimento.
- Il rendimento termico indica la percentuale di energia chimica trasformata in lavoro utile.
- Nei motori moderni benzina: 25–35%; diesel: 35–45%.



LE PRESTAZIONI DERIVANO DALLA COMBINAZIONE TRA COMBUSTIONE, GEOMETRIA E REGIME

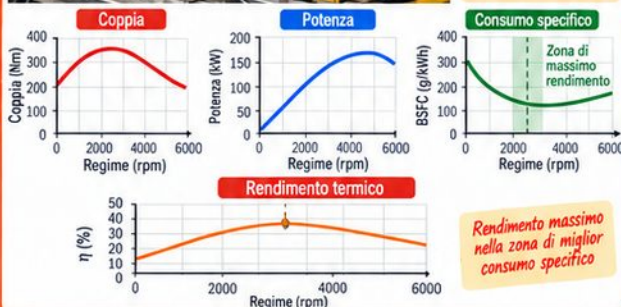


Una buona curva di coppia rende il motore elastico; una buona efficienza riduce i consumi.

$$P = C \cdot \omega$$

$$P = C \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

P = potenza [W]
C = coppia [Nm]
ω = velocità angolare [rad/s]
n = regime di rotazione [rpm]



8 FATTORI CHE INFLUENZANO LE PRESTAZIONI

- Rapporto di compressione.
- Fasatura e alzata delle valvole.
- Qualità della miscela e combustione.
- Sovralimentazione e intercooler.
- Gestione elettronica (ECU).
- Tipo di carburante e anticipo.
- Temperatura di aspirazione.
- Scarico e contropressione.
- Attriti interni.
- Condizioni ambientali (temperatura, altitudine).

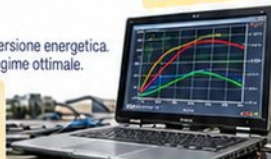
Tutto è collegato!



9 INTERPRETAZIONE DEI GRAFICI MOTORE

- La coppia indica l'elasticità del motore.
- La potenza indica le prestazioni massime.
- Il consumo specifico mostra l'efficienza.
- Il rendimento evidenzia la qualità della conversione energetica.
- Confronta sempre le curve per scegliere il regime ottimale.

- ✓ Individua la coppia massima
- ✓ Individua la potenza massima
- ✓ Trova il minimo consumo specifico
- ✓ Verifica il regime di utilizzo ideale



7 PERDITE MECCANICHE E VOLUMETRICHE

- Le perdite meccaniche assorbono una parte della potenza (attriti, pompe, organi ausiliari).
- Le perdite volumetriche riducono la massa d'aria effettiva (aspirazione e scarico).
- Aumentano con il regime e la temperatura.
- Un buon progetto riduce le perdite e migliora il rendimento.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le prestazioni sono il risultato dell'equilibrio tra coppia, potenza, consumi e rendimento.
- Non esiste un motore perfetto: conta l'uso e la corretta interpretazione dei grafici.
- Un motore efficiente offre buone prestazioni con consumi ridotti e minori emissioni.

Più efficienza, più strada da percorrere!

"Coppia, potenza ed efficienza descrivono il comportamento reale del motore nelle diverse condizioni di esercizio."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GUASTI, DIAGNOSI E MANUTENZIONE

Ascoltare il motore evita grandi danni!

SEGNALI, CAUSE E CONTROLLI PER MANTENERE IL MOTORE AFFIDABILE

1 SINTOMI COMUNI

- Rumori anormali (battiti, ticchettii, fischi)
- Fumo allo scarico
- Perdita di potenza
- Consumi elevati
- Avviamento difficile
- Minimo irregolare
- Surriscaldamento



2 CAUSE RADICE

- Alimentazione (carburante, iniezione)
- Accensione (candele, bobine)
- Lubrificazione (olio, pressione)
- Raffreddamento (termostato, radiatore, pompa acqua)
- Usura meccanica (fasce, cuscinetti, valvole)
- Sensori e centralina (ECU)
- Qualità del carburante e manutenzione insufficiente



3 FUMO ALLO SCARICO

- Fumo nero (miscela ricca, iniezione difettosa)
- Fumo bianco (liquido refrigerante, condensa)
- Fumo blu (olio bruciato, usura fasce/valvole)



4 COMPRESSIONE E TENUTA CILINDRI

- Misura della compressione (per ogni cilindro)
- Prova di tenuta (leak-down)
- Valutazione di valvole, fasce e guarnizione testa
- Confronto con valori nominali



5 DIAGNOSI ELETTRONICA OBD / ECU

- Lettura codici guasto (DTC)
- Analisi parametri in tempo reale
- Controllo sensori e attuatori
- Verifica strategia di iniezione e accensione
- Diagnosi guidata e test attivi



UNA DIAGNOSI METODICA COLLEGA SINTOMI, MISURE E CAUSE REALI

SINTOMO → CONTROLLO → DIAGNOSI → INTERVENTO

SINTOMO → CONTROLLO → DIAGNOSI → INTERVENTO



ESEMPIO: ANALISI DEL FUMO ALLO SCARICO

Fumo nero	Fumo bianco	Fumo blu
✓ Miscela ricca	✓ Liquido refrigerante	✓ Olio motore
✓ Iniettori sporchi	✓ Guarnizione testa	✓ Usura fasce/valvole
✓ Filtro aria intasato	✓ Condensa (a freddo)	✓ Tenute valvole

- CHECKLIST RAPIDA**
- ✓ Livello olio
 - ✓ Livello liquido refrigerante
 - ✓ Stato filtri (aria, olio, carburante)
 - ✓ Candele / Iniettori
 - ✓ Cinghia distribuzione/servizi
 - ✓ Assenza di perdite
 - ✓ Codici errore (OBD)
 - ✓ Prova su strada

Manutenzione e diagnosi corretta aumentano durata, efficienza e affidabilità del motore.

9 AZIONI CORRETTIVE E SICUREZZA

- Riparazione o sostituzione componenti
- Pulizia e taratura sistemi
- Aggiornamento software ECU
- Prova su strada e verifica finale
- Rispetto delle norme di sicurezza

Sicurezza, competenza e ricambi di qualità!

7 MANUTENZIONE PREVENTIVA

- Rispetto dei piani di manutenzione
- Sostituzione periodica di olio e filtri
- Controllo cinghia di distribuzione
- Pulizia sistemi di alimentazione
- Verifica impianto di raffreddamento
- Uso di componenti e lubrificanti di qualità



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Un motore affidabile nasce da manutenzione regolare, diagnosi corretta e interventi tempestivi.
- Prevenire è sempre più conveniente che riparare.
- Un motore efficiente riduce consumi, emissioni e costi di esercizio.
- Affidabilità oggi, viaggi sereni domani.



8 GUASTI TIPICI

- Battito in testa (detonazione)
- Mancata accensione (misfire)
- Grippaggio (mancanza olio)
- Usura fasce elastiche (consumo olio)
- Guarnizione testa bruciata (miscela olio-liquido)
- EGR o catalizzatore intasati
- Iniettori sporchi o guasti
- Termostato o pompa acqua difettosi



DA MEMORIZZARE: "Prevenire e diagnosticare in tempo riduce costi, guasti e fermi macchina."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

MACCHINE TERMICHE

PRINCIPI, CLASSIFICAZIONE E CONVERSIONE DELL'ENERGIA

*Dal calore
al lavoro utile!*

1 DEFINIZIONE

- Macchina termica che trasforma l'energia termica fornita da una sorgente calda in lavoro meccanico attraverso un fluido di lavoro.
- Opera secondo un ciclo termodinamico.
- Esempi: motori a combustione interna, turbine a vapore, turbine a gas, motori Stirling.



2 CLASSIFICAZIONI

- **In base allo scopo:**
 - Motrici (producono lavoro)
 - Operatrici (assorbono lavoro, es. pompe di calore, frigoriferi)
- **In base al ciclo:**
 - Ciclo aperto (fluido non riciccolato)
 - Ciclo chiuso (fluido riciccolato)
- **In base al fluido:**
 - A gas (aria, gas di combustione)
 - A vapore (vapore d'acqua)
 - Altri fluidi (vapore organico, fluido supercritico, ecc.)



3 GRANDEZZE FONDAMENTALI

- **Potenza (P):** lavoro nel tempo [W].
- **Lavoro (L):** energia meccanica prodotta [J].
- **Portata (ṁ):** massa di fluido per unità di tempo [kg/s].
- **Rendimento (η):** rapporto tra lavoro utile ed energia termica fornita [%].
- **Pressione (p):** forza per unità di superficie [Pa].
- **Temperatura (T):** misura dello stato termico [K o °C].

$$\eta = \frac{L_{\text{utile}}}{Q_{\text{in}}}$$

Più rendimento = più energia utile!

4 CONVERSIONE ENERGETICA

- La macchina termica riceve calore da una sorgente calda (T_H)
- trasforma parte di esso in lavoro meccanico (W)
- e cede il calore residuo a una sorgente fredda (T_C).
- È regolata dalle leggi della termodinamica (I e II principio).

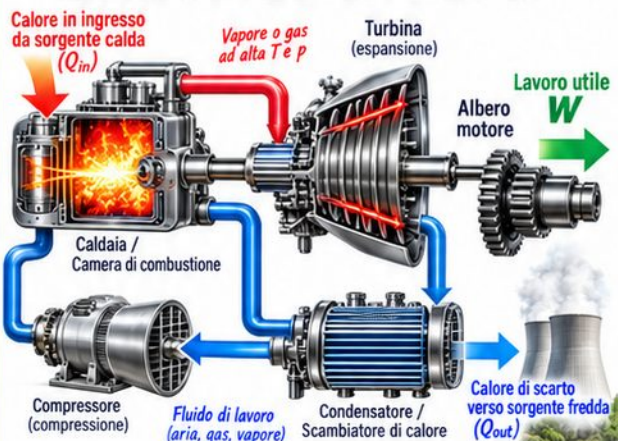


5 COMPONENTI COMUNI

- Generatore di calore (caldaia o camera di combustione)
- Turbina o motore (espansione del fluido)
- Compressore (nei cicli chiusi)
- Scambiatori di calore (condensatore, rigeneratore)
- Organi di trasmissione (albero, ingranaggi)
- Sistemi di controllo e sicurezza.



LA MACCHINA TERMICA TRASFORMA L'ENERGIA ATTRAVERSO UN FLUIDO DI LAVORO DAL CALORE ALL'ENERGIA MECCANICA



6 FLUIDO DI LAVORO E SORGENTI TERMICHE

- Fluido di lavoro: aria, gas di combustione, vapore d'acqua, fluidi organici, CO₂ supercritico.
- Sorgente calda: combustibili (fossili, biomasse), energia solare, calore nucleare, calore industriale.
- Sorgente fredda: ambiente (atmosfera, acqua, torri di raffreddamento).



7 APPLICAZIONI

- Centrali termoelettriche (vapore, gas, cicli combinati).
- Motori a combustione interna (automobili, moto, mezzi pesanti).
- Turbine a gas (aeronautica, industria).
- Recupero di calore industriale.
- Sistemi cogenerativi (calore + elettricità).



8 VANTAGGI

- ✓ Elevata densità energetica dei combustibili.
- ✓ Produzione continua e affidabile.
- ✓ Ampia gamma di applicazioni.
- ✓ Tecnologie mature e consolidate.
- ✓ Possibilità di cogenerazione.
- ✓ Integrazione con fonti rinnovabili (e.g. solare termico, biomasse).



9 LIMITI E VINCOLI

- ✗ Rendimento limitato (II principio della termodinamica).
- ✗ Emissioni inquinanti (CO₂, NO_x, polveri).
- ✗ Dipendenza dai combustibili fossili.
- ✗ Impatto ambientale e cambiamento climatico.
- ✗ Costi di impianto e manutenzione.
- ✗ Vincoli normativi sulle emissioni.
- ✗ Sicurezza e gestione di alte temperature e pressioni.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le macchine termiche trasformano il calore in lavoro utile attraverso un fluido di lavoro, seguendo un ciclo termodinamico.
- Sono fondamentali per i trasporti, la produzione di energia e l'industria.
- Maggiore è l'efficienza e minore è l'impatto ambientale, più sostenibile sarà il nostro futuro energetico.

Più efficienza per un domani sostenibile!



DA MEMORIZZARE: "Le macchine termiche convertono l'energia termica in lavoro utile attraverso un fluido di lavoro, seguendo un ciclo termodinamico."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



BILANCI ENERGETICI E RENDIMENTI

Ogni perdita conta!

POTENZA, CALORE, LAVORO E PERDITE NELLE MACCHINE TERMICHE

1 DEFINIZIONE DI BILANCIO ENERGETICO

- Il bilancio energetico è la contabilizzazione di tutte le forme di energia in ingresso, uscita e accumulata.
- Si basa sul principio di conservazione dell'energia.
- Permette di valutare prestazioni, perdite e rendimenti della macchina termica.



2 PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

- L'energia non si crea né si distrugge, ma si trasforma.
- Per un sistema aperto in regime stazionario:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_{out} - h_{in})$$

- $\dot{Q}$ = potenza termica [kW]
- $\dot{W}$ = potenza meccanica [kW]
- $\dot{m}$ = portata di massa [kg/s]
- h = entalpia specifica [kJ/kg]

L'energia si trasforma, non scompare!

3 CALORE, LAVORO E POTENZA

- Calore (Q): trasferimento di energia dovuto a differenza di temperatura.
- Lavoro (W): energia associata a forze e spostamenti.
- Potenza (P): energia per unità di tempo.

$$P = \frac{E}{t} \text{ [kW]}$$

- $\dot{Q}$ = potenza termica [kW]
- $\dot{W}$ = potenza meccanica [kW]
- 1 kW = 1000 J/s
- 1 kWh = 3,6 MJ



4 RENDIMENTO TERMICO

- Rapporto tra il lavoro utile prodotto e il calore fornito.
- Indica quanto del calore si trasforma in lavoro utile.

$$\eta_t = \frac{W_u}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

- $0 < \eta_t < 1$ (0-100%)
- Dipende dal ciclo termodinamico e dalle temperature di esercizio.
- Maggiore è la temperatura, maggiore è il rendimento.

Limite teorico: rendimento di Carnot

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_{fredda}}{T_{calda}}$$

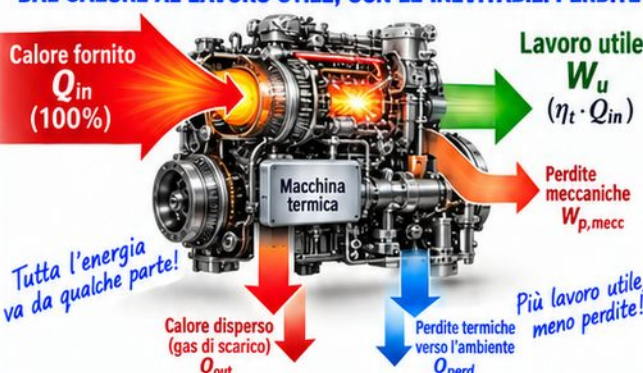
5 PERDITE TIPICHE NELLE MACCHINE TERMICHE

- Perdite per attrito meccanico (cuscinetti, tenute, organi mobili).
- Perdite termiche verso l'ambiente (radiazione, convezione).
- Perdite nei gas di scarico (calore residuo).
- Perdite per pompaggio (aspirazione e scarico).
- Perdite per combustione incompleta.



IL BILANCIO ENERGETICO DI UNA MACCHINA TERMICA

DAL CALORE AL LAVORO UTILE, CON LE INEVITABILI PERDITE



Rendimento termico	Rendimento meccanico	Rendimento isentropico	Rendimento globale
$\eta_t = \frac{W_u}{Q_{in}}$	$\eta_m = \frac{W_u}{W_i}$	$\eta_s = \frac{L_{reale}}{L_{ideale}}$	$\eta_g = \eta_t \cdot \eta_m$
Quanto calore si trasforma in lavoro utile	Rapporto tra potenza utile e potenza interna	Confronto con la trasformazione ideale (isentropica)	Considera tutte le perdite del sistema

6 RENDIMENTO ISENTROPICO

- Confronta il lavoro reale con il lavoro ideale in una trasformazione isentropica (stessa entropia).
- Usato per turbine, compressori, pompe.

$$\eta_s = \frac{h_{in} - h_{out, reale}}{h_{in} - h_{out, isen}}$$

- $0 < \eta_s < 1$ (0-100%)
- Indica la qualità della macchina.
- Più è vicino a 1, minori sono le perdite interne.



7 RENDIMENTO GLOBALE

- Tiene conto di tutte le perdite della macchina termica e dei sistemi ausiliari.

$$\eta_g = \frac{P_{utile}}{P_{assorbita}} = \eta_t \cdot \eta_m \cdot \eta_{aus}$$

- Include generatore, alternatore, sistemi di raffreddamento, ecc.
- È il parametro più significativo per il confronto tra diversi sistemi.

8 ESEMPI APPLICATIVI

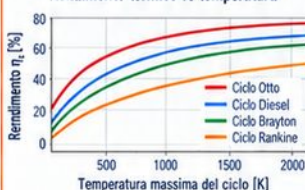
- Motore a combustione interna (benzina, diesel).
- Turbina a gas (ciclo Brayton).
- Turbina a vapore (ciclo Rankine).
- Centrali termo-elettriche.
- Motori aeronautici.
- Cogenerazione e trigenerazione.



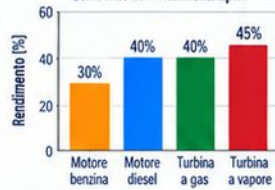
9 COME LEGGERE I GRAFICI E CONFRONTARE LE PRESTAZIONI

- I grafici mostrano come il rendimento varia con i parametri di esercizio (temperatura, rapporto di compressione, carico, ecc.).
- Permettono di confrontare diverse macchine e cicli.

Rendimento termico vs temperatura



Confronto dei rendimenti tipici



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Misurare tutte le forme di energia e le perdite è fondamentale per migliorare l'efficienza.
- Anche piccole riduzioni di perdita possono portare a grandi benefici economici e ambientali.
- Confrontare sempre i rendimenti nelle stesse condizioni di esercizio.
- L'efficienza energetica riduce consumi, emissioni e costi.



MISURARE L'ENERGIA E LE PERDITE È IL PRIMO PASSO PER MIGLIORARE L'EFFICIENZA."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CICLO RANKINE

Il vapore compie il lavoro!

POMPA, CALDAIA, TURBINA E CONDENSATORE NEL CICLO A VAPORE

1 DEFINIZIONE DEL CICLO

- Il ciclo Rankine è il ciclo termodinamico di riferimento per la produzione di lavoro mediante vapore d'acqua.
- Trasforma il calore in lavoro meccanico tramite una turbina a vapore.
- Ciclo chiuso con cambiamento di fase (liquido ↔ vapore).
- Ampio utilizzo in centrali termoelettriche e impianti industriali.

Dal calore all'energia elettrica!

2 LE 4 TRASFORMAZIONI

- 1 → 2: Compressione isentropica nella pompa (liquido).
- 2 → 3: Riscaldamento isobaro nella caldaia (evaporazione e possibile surriscaldamento).
- 3 → 4: Espansione isentropica nella turbina (vapore).
- 4 → 1: Condensazione isobara nel condensatore (da vapore a liquido).

Ciclo chiuso e continuo!



3 COMPONENTI DEL CIRCUITO

- Pompa: aumenta la pressione del liquido.
- Caldaia (generatore di vapore): fornisce calore a pressione costante.
- Turbina a vapore: produce lavoro meccanico.
- Condensatore: smaltisce il calore e riporta il vapore a liquido.



4 SURRISCALDAMENTO E RIGENERAZIONE

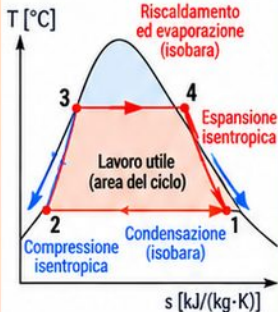
- Il surriscaldamento aumenta la temperatura del vapore, migliorando il rendimento e riducendo l'umidità in uscita dalla turbina.
- La rigenerazione utilizza parte del vapore per preriscaldare l'acqua di alimentazione, aumentando l'efficienza del ciclo.
- Spesso si impiegano più stadi di rigenerazione (riscaldatori rigenerativi).



Maggiore efficienza!

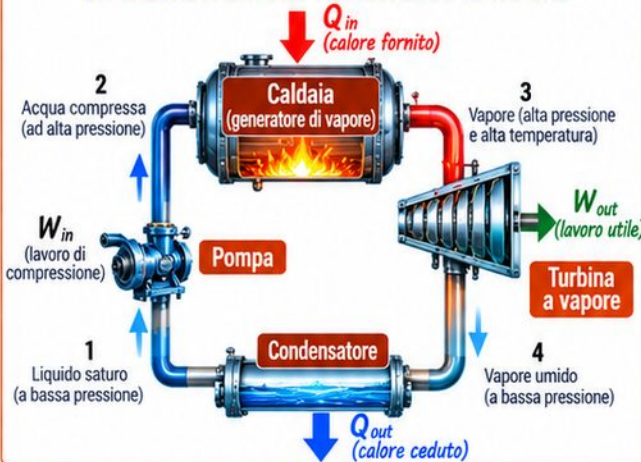
5 DIAGRAMMA T-s

- Il ciclo Rankine è rappresentato sul diagramma Temperatura - Entropia (T-s).
- Permette di visualizzare le 4 trasformazioni e l'area del lavoro utile.



SCHEMA DEL CICLO RANKINE

DA CALORE A LAVORO ATTRAVERSO IL VAPORE



6 EFFICIENZA DEL CICLO

- Il rendimento termico è il rapporto tra il lavoro netto e il calore fornito:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$$

- Dipende da pressione e temperatura di esercizio.
- Aumenta con il surriscaldamento e la rigenerazione.
- Valori tipici nelle centrali moderne: 35-45% (fino a >50% con cicli supercritici).

Temperature e pressioni più elevate → maggiore efficienza!



7 APPLICAZIONI

- Centrali termoelettriche a vapore (carbone, gas, biomasse).
- Cogenerazione (produzione combinata di elettricità e calore).
- Impianti industriali (cartiere, chimica, raffinerie).
- Recupero di calore da processi industriali e rifiuti.

Energia per un futuro sostenibile!



8 VANTAGGI

- ✓ Tecnologia matura e affidabile.
- ✓ Adatta a grandi potenze.
- ✓ Utilizza acqua (fluido economico, sicuro e non inquinante).
- ✓ Elevata efficienza (con cicli avanzati).
- ✓ Possibilità di cogenerazione e integrazione con fonti rinnovabili.
- ✓ Ampia flessibilità di progettazione.



Una tecnologia solida per grandi risultati!

9 LIMITI

- ✗ Rendimento limitato rispetto ad altri cicli (es. Brayton).
- ✗ Richiede alte pressioni e alte temperature.
- ✗ Tempi di avviamento lunghi.
- ✗ Impianti complessi e costosi.
- ✗ Perdite di calore inevitabili (nel condensatore).
- ✗ Impatto ambientale associato alla fonte di calore (es. combustibili fossili).



Sfide tecniche, ma continuo sviluppo e innovazione!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il ciclo Rankine è alla base delle macchine a vapore moderne e della produzione di energia elettrica.
- Ottimizzare pressioni, temperature e rigenerazione permette di ottenere elevate prestazioni.
- Resta una tecnologia fondamentale per la transizione energetica, integrabile con fonti rinnovabili e recupero di calore.

Il ciclo Rankine: una base solida per un'energia più pulita e affidabile!



DA MEMORIZZARE: "Il ciclo Rankine è il ciclo di riferimento delle macchine a vapore e della produzione di energia da calore."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



CALDAIE E GENERATORI DI VAPORE

Qui nasce
il vapore!

PRODUZIONE DEL VAPORE, SCAMBIO TERMICO E SICUREZZA

1 DEFINIZIONE E FUNZIONE

- La caldaia è un generatore di vapore che trasferisce calore da una fonte di energia all'acqua, producendo vapore a pressione e temperatura controllate.
- Il vapore viene utilizzato per produrre lavoro meccanico, per processi industriali o per il riscaldamento.
- Elemento fondamentale negli impianti di potenza e nei processi industriali.



2 TIPI PRINCIPALI

- A tubi di fumo**
(Il gas caldo nei tubi, l'acqua all'esterno)
 - Usate per basse-medie pressioni, impianti civili e industriali leggeri.
- A tubi d'acqua**
(L'acqua nei tubi, il gas caldo all'esterno)
 - Usate per alte pressioni e grandi potenze.
- A recupero**
(Heat Recovery Steam Generator)
 - Recuperano il calore dai gas di scarico di turbine o processi industriali.



3 COMPONENTI PRINCIPALI

- Bruciatore (combustione)
- Camera di combustione
- Economizzatore (preriscaldamento acqua alimento)
- Evaporatore (produzione vapore)
- Surriscaldatore (aumento temperatura vapore)
- Tamburo (se presente)
- Camino (scarico fumi)
- Sistemi di controllo e sicurezza



4 PROCESSO DI VAPORIZZAZIONE

- L'acqua alimento viene riscaldata in più stadi:
 - Preriscaldamento nell'economizzatore
 - Ebollizione nell'evaporatore
 - Eventuale surriscaldamento
 - Il vapore viene raccolto e inviato all'utenza

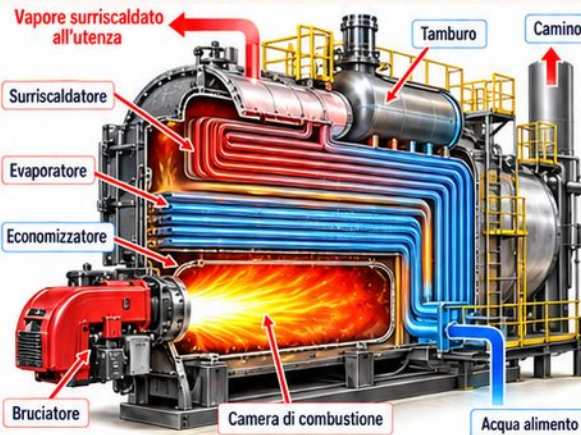


5 COMBUSTIBILI E BRUCIATORI

- Combustibili: gas naturale, gasolio, olio combustibile, biomasse, biogas, idrogeno.
- Il bruciatore miscela combustibile e aria, garantendo una combustione efficiente e pulita.
- Tipi di bruciatori: ad aria soffiata, modulatori, low-NOx.
- La corretta regolazione migliora il rendimento e riduce le emissioni.



LA CALDAIA TRASFORMA L'ACQUA IN VAPORE AD ALTA ENERGIA



6 CONTROLLI E SICUREZZA

- Controllo di pressione, temperatura e livello.
- Valvole di sicurezza (scarico vapore).
- Pressostati e termostati di blocco.
- Controllo fiamma e sistemi di interblocco.
- Dispositivi di arresto di emergenza.
- Rispetto norme (es. ISPEL, PED, UNI).



7 TRATTAMENTO DELL'ACQUA

- L'acqua deve essere pura per evitare incrostazioni, corrosioni e trascinamenti.
- Processi principali: addolcimento, demineralizzazione, degasazione.
- Controllo di pH, conducibilità e ossigeno.
- Dosaggio di prodotti chimici (anticorrosivi, antiossidanti, correttivi di pH).



8 RENDIMENTO E PERDITE

- Il rendimento dipende da:
 - Temperatura fumi (perdite al camino)
 - Qualità della combustione
 - Recupero di calore (economizzatore)
 - Isolamento termico
 - Spurghi e perdite di calore
 - Manutenzione e pulizia

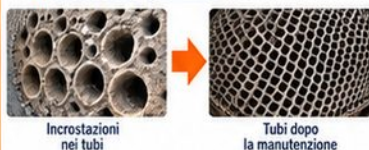
$$\eta = \frac{\text{Potenza utile}}{\text{Potenza del combustibile}} \times 100$$



Combustione ottimizzata
Recupero calore
Buon isolamento
Manutenzione regolare
Minori perdite

9 GUASTI TIPICI E MANUTENZIONE

- Incrostazioni (riduzione scambio termico)
- Corrosioni (lato acqua o fumi)
- Trascinamento di gocce d'acqua nel vapore
- Malfunzionamento bruciatore
- Intervento delle sicurezza
- Programma di manutenzione periodica:
 - Pulizia di fasci tubieri e superfici di scambio
 - Controllo valvole e strumenti
 - Verifica tenute e refrattari



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Produrre vapore in modo efficiente e sicuro significa energia, affidabilità e sostenibilità.
- Una caldaia ben progettata, condotta e mantenuta garantisce:
 - alta efficienza energetica
 - minori emissioni
 - maggiore sicurezza
 - lunga vita utile
 - continuità di servizio

Energia oggi
per un domani
più pulito!



DA MEMORIZZARE: "Produrre vapore in modo efficiente e sicuro è la base per l'energia dell'industria e per un futuro più sostenibile."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

TURBINE A VAPORE

ESPANSIONE DEL VAPORE, STADI E CONVERSIONE IN POTENZA

L'espansione fa ruotare!

1 DEFINIZIONE

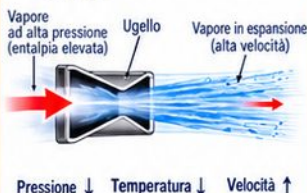
- Macchina termica rotante che converte l'energia termica del vapore in energia meccanica sull'albero.
- Il vapore in espansione attraversa più stadi di palette, facendo ruotare il rotore.
- Ampio impiego nella produzione di energia elettrica.



Dall'energia del vapore all'energia utile!

2 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

- Il vapore ad alta pressione e temperatura si espande attraverso ugelli e palette.
- L'energia di pressione e di entalpia del vapore si trasforma in energia cinetica e poi in lavoro meccanico sul rotore.
- L'espansione avviene in più stadi per sfruttare al meglio il salto entalpico.



Pressione ↓ Temperatura ↓ Velocità ↑

3 STADI E COMPONENTI

- **Statore:** palette fisse che guidano e accelerano il vapore.
- **Rotore:** palette mobili che trasformano l'energia cinetica in lavoro meccanico.
- **Ugelli** o diaframmi di regolazione.
- Più stadi in serie per grandi salti di entalpia.
- Albero, cuscinetti, tenute, carcassa.



4 TURBINE AD AZIONE E A REAZIONE

Turbina ad azione (es. De Laval, Curtis)

- La caduta di pressione avviene negli ugelli.
- Il rotore lavora solo con l'energia cinetica del getto.
- Adatta ad alte pressioni.



Solo forza di impulso

Turbina a reazione (es. Parsons)

- La caduta di pressione avviene sia nello statore che nel rotore.
- Il vapore accelera nello statore e continua ad espandersi nel rotore.
- Adatta a grandi potenze e bassi regimi specifici.



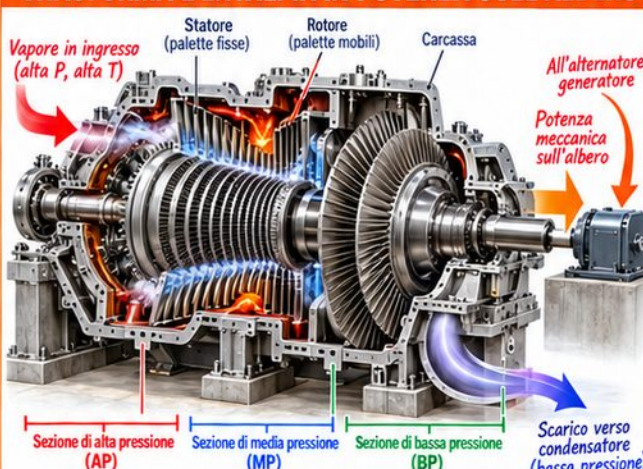
Forza di impulso e reazione

5 CONDENSAZIONE E CONTROPRESSIONE

- All'uscita la turbina scarica il vapore a bassa pressione nel condensatore.
- La condensazione riduce la contropressione e aumenta il salto entalpico disponibile.
- Il vuoto nel condensatore migliora il rendimento.
- Sistemi di vuoto e raffreddamento (ad acqua di mare o torri).



LA TURBINA A VAPORE TRASFORMA L'ENTALPIA IN POTENZA SULL'ALBERO



6 REGOLAZIONE E CONTROLLO

- Valvole di ammissione e regolazione della portata di vapore.
- Controllo della velocità (governor).
- Regolazione della pressione e della temperatura del vapore.
- Sistemi di by-pass e scarico rapido.
- Controlli automatici integrati in centrale.



7 RENDIMENTI E PERDITE

- Rendimento interno elevato (80-90%).
- Perdite per attrito, turbolenze, trafilamenti, umidità del vapore.
- Perdite meccaniche (cuscinetti, tenute) ed elettriche (generatore).
- Il rendimento aumenta con parametri di vapore più elevati (P e T) e con la condensazione.

Bilancio energetico (tipico)	
Potenza utile	80-90%
Perdite idrauliche	2-5%
Perdite meccaniche	1-3%
Perdite per umidità	1-5%
Altre perdite	< 2%

8 APPLICAZIONI

- Centrali termoelettriche a vapore (carbone, gas, biomassa).
- Centrali nucleari.
- Impianti di cogenerazione (telerscaldamento).
- Impianti industriali e chimici.
- Propulsione navale.
- Recupero di calore da processi industriali (cicli Rankine).



9 GUASTI TIPICI E MANUTENZIONE

- Erosione delle palette (umidità, particelle).
- Vibrazioni e disallineamenti.
- Usura di cuscinetti e tenute.
- Deformazioni termiche.
- Fessurazioni per fatica termomeccanica.
- Controlli periodici, monitoraggio vibrazioni, analisi olio, ispezioni visive e endoscopiche.
- Manutenzione programmata per garantire affidabilità e lunga vita operativa.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- La turbina a vapore trasforma l'entalpia del vapore in potenza meccanica in modo efficiente e affidabile.
- Più alto è il salto entalpico e più bassa è la contropressione, maggiore è il rendimento.
- La combinazione con il condensatore è essenziale per massimizzare la produzione di potenza.
- Tecnologia matura, robusta e fondamentale per la produzione di energia elettrica nel mondo.



Vapore, palette, potenza per un futuro più efficiente!



LA TURBINA A VAPORE: "Trasforma l'entalpia del vapore in potenza meccanica, muovendo il mondo con energia, efficienza e affidabilità."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

TURBINE A GAS

Aria, combustione e spinta!

COMPRESSORE, COMBUSTIONE E TURBINA NELLE MACCHINE A GAS

1 DEFINIZIONE

- La turbina a gas è una macchina termica a combustione interna a flusso continuo.
- Converte l'energia chimica del combustibile in lavoro meccanico, producendo un getto di gas caldi ad alta velocità o azionando un albero.
- È composta da compressore, camera di combustione e turbina.



Flusso continuo di aria e gas!

2 SEQUENZA DI FUNZIONAMENTO

- L'aria esterna viene aspirata e compressa.
- Nel combustore il combustibile viene iniettato e bruciato.
- I gas caldi ad alta temperatura si espandono in turbina.
- La turbina fornisce il lavoro per azionare il compressore e un eventuale carico utile.
- I gas di scarico vengono espulsi (ciclo aperto) o recuperati (ciclo chiuso).

3 COMPONENTI PRINCIPALI

- Compressore (assiale o centrifugo)
- Camera di combustione (annulare, tubolare o can-annulare)
- Turbina (ad alta temperatura)
- Albero di trasmissione
- Ugello di scarico (se presente)
- Sistemi ausiliari (avviamento, lubrificazione, raffreddamento, controllo)



Compressore

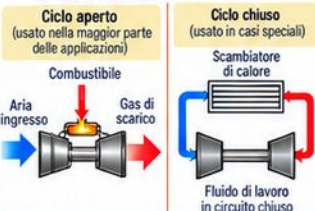
Camera di combustione

Turbina

Aria → Compressione → Combustione → Espansione turbina → Scarico

4 CICLO APERTO E CHIUSO

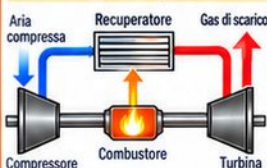
- Ciclo aperto:** aspira aria dall'ambiente, la comprime, la miscela con combustibile, espande i gas in turbina e li espelle in atmosfera.
- Ciclo chiuso:** il fluido di lavoro (aria o altro gas) viene riciclato dopo lo scambio termico in un circuito chiuso, con scambiatore di calore esterno.



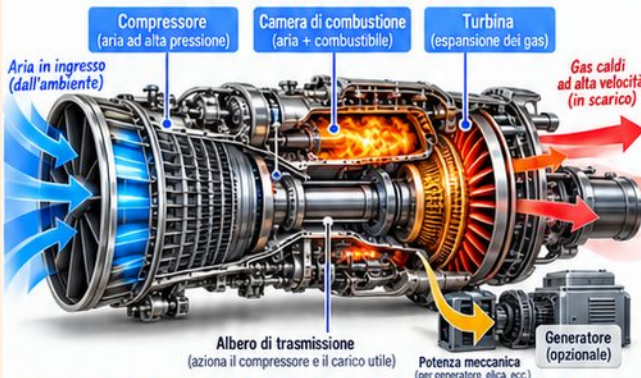
5 RECUPERAZIONE E MIGLIORAMENTI

- Recuperatore di calore (scambiatore aria-gas).
- Raffreddamento palette di turbina.
- Compressione multistadio con intercooler.
- Reheat (ricombustione).
- Cicli combinati con turbina a vapore.
- Materiali ad alta temperatura e rivestimenti.
- Riduzione delle emissioni (NOx, CO) con combustori a basse emissioni.

Ciclo con recuperatore



LA TURBINA A GAS DA ENERGIA CHIMICA A LAVORO MECCANICO IN UN FLUSSO CONTINUO



ALTE TEMPERATURE | ALTE PRESSIONI | GRANDE POTENZA

6 TURBOSHAFT, TURBOJET E APPLICAZIONI

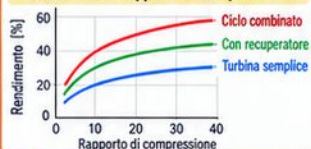
- Turbojet:** produce spinta con il getto di gas (aeronautica).
- Turbofan:** versione del turbojet con ventola (aerei civili e militari).
- Turboshaft:** fornisce potenza meccanica su albero (elicotteri).
- Turboprop:** aziona un'elica (aerei da trasporto).
- Applicazioni:** aviazione, generazione di energia elettrica, propulsione navale, industrie, impianti oil & gas.



7 RENDIMENTO E RAPPORTO DI COMPRESSIONE

- Il rendimento aumenta con il rapporto di compressione.
- Temperature di ingresso turbina elevate (fino a 1400–1700 °C).
- Rendimento tipico:
 - Turbina semplice: 25–40%
 - Con recuperatore: 40–50%
 - Ciclo combinato (gas + vapore): 55–62%
- Tecnologie avanzate (materiali e raffreddamento) permettono temperature più alte e rendimenti maggiori.

Rendimento vs rapporto di compressione



8 VANTAGGI

- ✓ Elevata densità di potenza (potenza elevata e peso ridotto).
- ✓ Avviamento rapido.
- ✓ Funzionamento continuo e affidabile.
- ✓ Dimensioni compatte.
- ✓ Adatte a molte applicazioni (aeronautica, navale, energia).
- ✓ Basse emissioni di particolato rispetto ai motori diesel.

Potenza elevata in poco spazio!



9 LIMITI E CRITICITÀ

- ✗ Rendimento inferiore ai motori diesel (in ciclo semplice).
- ✗ Sensibilità alla temperatura ambiente (prestazioni ridotte con aria calda).
- ✗ Elevate temperature di esercizio (materiali speciali).
- ✗ Emissioni di NOx (richiedono sistemi di abbattimento).
- ✗ Costi elevati.
- ✗ Maggiore consumo specifico a basso carico.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le turbine a gas sono macchine termiche compatte, potenti e versatili.
- La combinazione di compressore, combustione e turbina permette di ottenere alte prestazioni.
- Essenziali nell'aviazione e sempre più importanti nella produzione di energia e nelle applicazioni industriali.
- L'innovazione nei materiali, nel raffreddamento e nei cicli avanzati migliora rendimento e riduce le emissioni.

Tecnologia che muove il mondo!



DA MEMORIZZARE: "La turbina a gas è una macchina termica compatta, potente e versatile, che converte l'energia del combustibile in lavoro meccanico con un flusso continuo."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERLA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

COMPRESSORI

VOLUMETRICI E DINAMICI: PORTATA, PRESSIONE ED EFFICIENZA

Comprimere significa spendere energia!

1 FUNZIONE DEL COMPRESSORE

- Aumenta la pressione di un gas (aria o altro fluido comprimibile) assorbendo lavoro meccanico.
- Fornisce la portata e la pressione richieste dai processi.
- Elemento fondamentale nelle macchine termiche, impianti industriali e cicli combinati.
- Trasforma energia meccanica dall'albero in energia di pressione del fluido.



2 CLASSIFICAZIONI

- **Compressori volumetrici**
 - Alternativi (a pistoni)
 - Rotativi a vite
 - Rotativi a palette
 - A lobi (Roots)
- **Compressori dinamici**
 - Centrifughi (radiali)
 - Assiali

Elevato rapporto di pressione, portate inferiori

Grandi portate, pressioni moderate



3 COMPRESSIONE E LAVORO SPECIFICO

- Il lavoro specifico è l'energia richiesta per comprimere l'unità di massa di fluido.
- Per un gas ideale in trasformazione isentropica:

$$w_s = \frac{\gamma}{\gamma - 1} R T_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right]$$

Il lavoro reale è maggiore:

$$w = \frac{w_s}{\eta_{is}}$$

p_1 = pressione di aspirazione
 p_2 = pressione di mandata
 T_1 = temperatura di aspirazione
 γ = rapporto dei calori specifici
 η_{is} = rendimento isentropico

4 COMPONENTI PRINCIPALI

- Cassa e collettori (aspirazione/mandata)
- Elementi di compressione (pistoni, viti, girante, palette)
- Valvole (nei compressori alternativi)
- Albero di trasmissione e cuscinetti
- Tenute e lubrificazione
- Sistema di raffreddamento
- Interrefrigeratori (se presenti)
- Strumentazione (pressione, temperatura, vibrazioni)



5 RAPPORTO DI COMPRESSIONE E PORTATA

- Rapporto di compressione:

$$r_p = \frac{p_2}{p_1}$$

- Portata volumetrica: volume di gas aspirato per unità di tempo [m^3/s , m^3/h].
- Portata massica:

$$\dot{m} = \rho_1 \dot{V}_1$$

- La portata dipende da:
 - cilindrata (volumetrici)
 - velocità di rotazione
 - densità del gas
 - condizioni di aspirazione



Maggiore portata → maggiore potenza richiesta

8 APPLICAZIONI

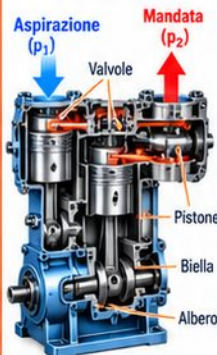
- Macchine termiche a gas (turbine a gas, cicli combinati)
- Impianti industriali (aria compressa)
- Refrigerazione e climatizzazione
- Processi chimici e petrolchimici
- Sistemi di sovralimentazione di motori endotermici (turbocompressori)
- Impianti pneumatici
- Gas tecnici (azoto, CO_2 , ecc.)



TIPI DI COMPRESSORI PER LE MACCHINE TERMICHE

COMPRESSORE ALTERNATIVO

Elevate pressioni, portate contenute



COMPRESSORE A VITE

Funzionamento continuo, affidabile e compatto



COMPRESSORE CENTRIFUGO

Grandi portate, funzionamento continuo



LAVORO MECCANICO IN INGRESSO → AUMENTO DI PRESSIONE DEL FLUIDO

6 INTERREFRIGERAZIONE E RENDIMENTO

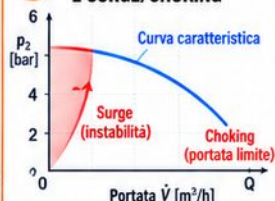
- La compressione si effettua in più stadi con interrefrigerazione per ridurre la temperatura e il lavoro richiesto.
- L'interrefrigerazione avvicina la trasformazione all'isoterma.
- Rendimento isentropico:

$$\eta_{is} = \frac{w_s}{w}$$



- Vantaggi:
 - minore lavoro specifico
 - minore temperatura di mandata
 - maggiore affidabilità

7 CURVE CARATTERISTICHE E SURGE/CHOKING



9 GUASTI TIPICI E MANUTENZIONE

Guasti tipici

- Usura di valvole e segmenti (alternativi)
- Usura o danneggiamento viti/giranti
- Perdite di tenuta
- Surrisaldamento
- Vibrazioni e disallineamenti
- Contaminazione dell'olio
- Surge nei centrifughi
- Riduzione della portata
- Rumore anormale



Manutenzione

- Controllo e sostituzione lubrificante
- Verifica di valvole, tenute e cuscinetti
- Controllo vibrazioni
- Pulizia intercooler e filtri
- Allineamento alberi
- Monitoraggio temperature e pressioni
- Ispezioni periodiche
- Analisi dell'olio

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il compressore aumenta la pressione del fluido assorbendo lavoro meccanico.
- La scelta del tipo di compressore dipende da portata, pressione richiesta e applicazione.
- L'interrefrigerazione migliora l'efficienza.
- Il corretto esercizio e la manutenzione garantiscono affidabilità e lunga vita utile.

Più pressione, più possibilità per i processi!



DA MEMORIZZARE: "Il compressore aumenta la pressione di un fluido comprimibile assorbendo lavoro meccanico dall'albero."



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERLA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CICLO BRAYTON

Qui il gas lavora in continuo!

COMPRESSIONE, COMBUSTIONE ED ESPANSIONE NELLE MACCHINE A GAS

1 DEFINIZIONE DEL CICLO

- Il ciclo Brayton (o Joule) è il ciclo termodinamico di riferimento per le macchine a gas a flusso continuo.
- Descrive la trasformazione dell'aria in lavoro meccanico attraverso compressione, combustione ed espansione.
- Si basa su un ciclo chiuso ideale, con aria come fluido di lavoro (gas perfetto).



Dall'aria al lavoro: energia in movimento!

2 LE 4 TRASFORMAZIONI IDEALI

- 1-2** Compressione isentropica (nel compressore): aumento di pressione e temperatura.
- 2-3** Apporto di calore a pressione costante (nella camera di combustione): aumento di temperatura.
- 3-4** Espansione isentropica (nella turbina): produzione di lavoro.
- 4-1** Cessione di calore a pressione costante (nel raffreddamento ideale).

Ciclo ideale con trasformazioni semplici e reversibili.

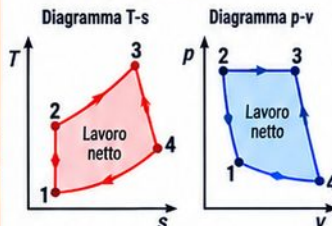
3 COMPONENTI DEL SISTEMA

- Compressore: aspira e comprime l'aria.
- Camera di combustione: miscelazione aria-combustibile e combustione a pressione costante.
- Turbina: espansione dei gas caldi e produzione di lavoro meccanico.
- Albero: collega turbina e compressore.
- Sistemi ausiliari: prese d'aria, ugelli, sistemi di controllo e raffreddamento.



4 DIAGRAMMA T-s E p-v

- Nel piano T-s il ciclo Brayton ideale è formato da due isentropiche (1-2, 3-4) e due isobare (2-3, 4-1).
- Nel piano p-v le trasformazioni appaiono come due isobare e due adiabatiche.
- L'area racchiusa rappresenta il lavoro netto del ciclo.



5 RAPPORTO DI COMPRESSIONE

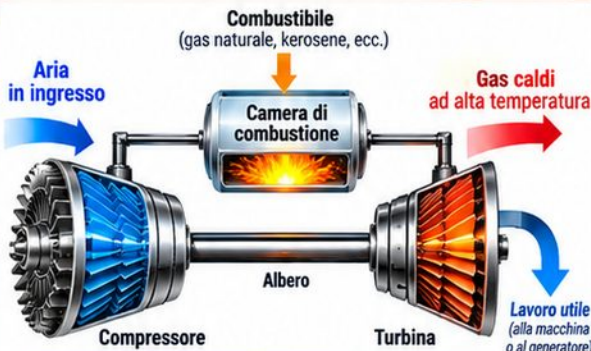
- Il rapporto di compressione del compressore è definito:

$$r_p = \frac{p_2}{p_1}$$

- Valori tipici: 10 - 40 (turbogas moderni anche > 50).
- Un rapporto elevato aumenta il rendimento, ma richiede materiali e raffreddamento più avanzati.
- Influisce su temperatura massima, lavoro specifico e rendimento del ciclo.

Rapporto di compressione più alto = maggiore efficienza (puntando ai limiti tecnologici!)

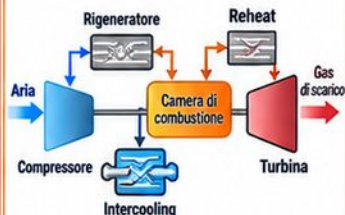
IL CICLO BRAYTON: DALL'ARIA ALL'ENERGIA UTILE



COMPRESSIONE → COMBUSTIONE → ESPANSIONE
Un ciclo termodinamico continuo per produrre lavoro meccanico

6 RIGENERAZIONE, INTERCOOLING E REHEAT

- Rigenerazione:** recupera calore dai gas di scarico per preriscaldare l'aria compressa, aumentando il rendimento.
- Intercooling:** raffredda l'aria tra più stadi di compressione, riducendo il lavoro specifico del compressore.
- Reheat:** riscalda nuovamente i gas tra più stadi di espansione, aumentando il lavoro prodotto dalla turbina.



7 RENDIMENTO DEL CICLO

- Il rendimento termico ideale del ciclo Brayton dipende solo dal rapporto di compressione:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r_p^{(\gamma-1)/\gamma}}$$

- Aumenta con il rapporto di compressione.
- Nelle applicazioni reali è inferiore a causa di irreversibilità, perdite e limiti di temperatura dei materiali.
- Valori tipici reali: 30 - 40% (turbogas semplici), fino a 60% nei cicli combinati.

8 APPLICAZIONI

- Turbogas per produzione di energia elettrica.
- Aviazione: motori aeronautici a getto e turbofan.
- Cogenerazione: produzione combinata di elettricità e calore (CHP).
- Propulsione navale e per veicoli militari.
- Impianti industriali e di processo.



9 VANTAGGI E LIMITI

Vantaggi	Limiti
✓ Ciclo semplice e robusto.	✗ Rendimento moderato nel ciclo semplice.
✓ Elevata densità di potenza.	✗ Richiede alte temperature dei materiali.
✓ Avviamento rapido.	✗ Emissioni di NOx (e altri inquinanti).
✓ Adatto al funzionamento continuo.	✗ Prestazioni sensibili alla temperatura ambiente.
✓ Ampia gamma di applicazioni.	✗ Costi elevati per tecnologie avanzate (raffreddamento, materiali speciali).
✓ Alte temperature (in combinazione) → rendimenti elevati.	

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il ciclo Brayton è il ciclo di riferimento per le turbine a gas e le macchine a flusso continuo.
- Permette di trasformare l'energia chimica del combustibile in lavoro meccanico in modo efficiente e continuo.
- È alla base di molte applicazioni strategiche, dall'aviazione alla produzione di energia.

Il ciclo Brayton: il riferimento per le macchine a gas moderne!



DA MEMORIZZARE: Il ciclo Brayton è il ciclo termodinamico di riferimento per le turbine a gas e le macchine a flusso continuo.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PRESTAZIONI, REGOLAZIONE E CONTROLLO

CARICO, PORTATA, EFFICIENZA E SISTEMI DI COMANDO

Controllare bene
significa rendere di più!

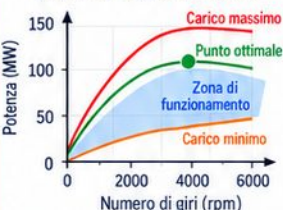
1 VARIABILI PRINCIPALI

- Pressione (p)
- Temperatura (T)
- Portata ($\dot{m}$)
- Numero di giri (n)
- Potenza (P)
- Consumo di combustibile ($\dot{m}_f$)
- Rendimento (η)
- Emissioni (NO_x , CO, CO_2)



2 CARICO E PUNTO DI FUNZIONAMENTO

- Il carico è la potenza richiesta alla macchina.
- Il punto di funzionamento dipende da carico, condizioni ambientali e regime.
- Esistono limiti operativi di sicurezza.
- Lavorare vicino al punto ottimale garantisce maggiore efficienza.



3 REGOLAZIONE DI PORTATA E COMBUSTIBILE

- La potenza si regola variando la portata di combustibile e/o d'aria.
- Sistemi di controllo modulanti mantengono stabile il punto di funzionamento.
- Risposta rapida alle variazioni di carico.
- Necessario un corretto rapporto aria/combustibile.



4 VALVOLE, UGELLI E GEOMETRIA VARIABILE

- Valvole di regolazione modulano la portata di fluidi.
- Ugelli a geometria variabile (es. turbine a gas) adattano il flusso alle condizioni di carico.
- La geometria variabile migliora rendimento e campo operativo.



Adattamento al carico
per massime prestazioni

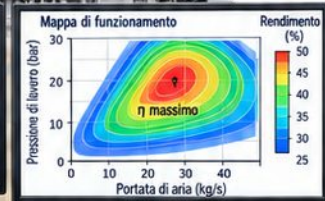
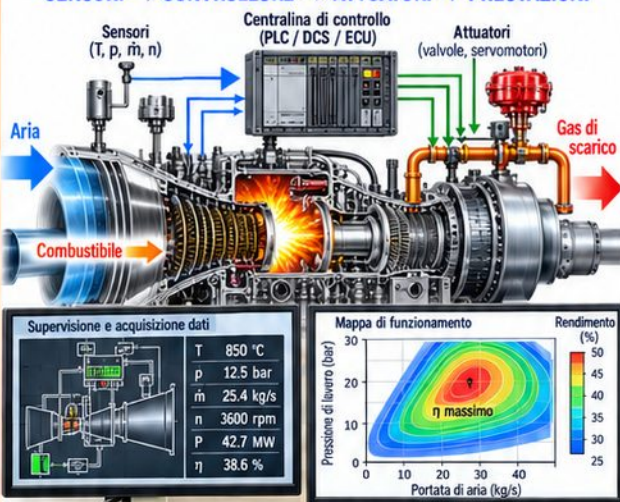
5 SENSORI E STRUMENTAZIONE

- Sensori di pressione, temperatura, portata, posizione, vibrazioni.
- Trasduttori e trasmettitori per il controllo in tempo reale.
- Strumentazione analogica e digitale.
- Misure affidabili sono essenziali per un controllo efficace.



MONITORAGGIO E CONTROLLO DELLE MACCHINE TERMICHE

SENSORI → CONTROLLORE → ATTUATORI → PRESTAZIONI



6 SISTEMI DI PROTEZIONE

- Protezione da sovratemperatura, sovrappressione, sovraripar.
- Allarmi e arresto automatico in condizioni di pericolo.
- Logiche di sicurezza (SIS).
- Ridondanza dei sensori critici.
- Protezione contro vibrazioni eccessive e mancanza di lubrificazione.



7 AUTOMAZIONE E CONTROLLO

- Sistemi PLC, DCS o ECU dedicati.
- Controllo in retroazione (feedback).
- Regolatori PID e logiche avanzate.
- Gestione automatica di avviamento, carico e arresto.
- Integrazione con sistemi di supervisione (SCADA).



8 INDICATORI DI PRESTAZIONE

- Potenza erogata e potenza assorbita.
- Rendimento termico ed energetico.
- Consumo specifico di combustibile (BSFC).
- Emissioni inquinanti.
- Disponibilità e affidabilità.
- Costi operativi.



9 DIAGNOSTICA ONLINE E MONITORAGGIO

- Analisi delle tendenze nel tempo.
- Rilevamento anomalie e condizioni di degrado.
- Manutenzione predittiva (con analisi vibrazionale e termica).
- Allarmi intelligenti e soglie adattive.
- Aumento di affidabilità e vita utile della macchina.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le prestazioni di una macchina termica dipendono da una corretta regolazione e da un controllo efficace.
- Misurare, monitorare e reagire in tempo reale permette di:
 - ✓ Aumentare il rendimento
 - ✓ Ridurre i consumi
 - ✓ Limitare le emissioni
 - ✓ Garantire la sicurezza
 - ✓ Prolungare la vita utile
 - ✓ Ridurre i costi operativi

Misura, controlla,
ottimizza:
è la chiave del rendimento!

DA MEMORIZZARE: "La misura e il controllo sono essenziali per un funzionamento sicuro, efficiente e duraturo delle macchine termiche."

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GUASTI, DIAGNOSI E MANUTENZIONE

AFFIDABILITÀ, VIBRAZIONI, USURA E SICUREZZA NELLE MACCHINE TERMICHE

Prevenire
costa meno
che fermarsi!

1 SINTOMI COMUNI

- Vibrazioni anomale
- Rumori e battiti
- Perdita di potenza ed efficienza
- Aumento temperature
- Consumi di combustibile elevati
- Perdite di fluido (vapore, olio, gas)
- Fumo anomalo allo scarico
- Difficoltà di avviamento
- Scatti e fermate improvvise



Sintomi
da non ignorare!

2 CAUSE RADICE

- Usura dei componenti
- Squilibri e disallineamenti
- Lubrificazione insufficiente
- Contaminazione (olio, aria, acqua)
- Fouling, corrosione, erosione
- Sovraccarichi e cicli gravosi
- Difetti di progettazione o installazione
- Qualità del combustibile scadente
- Manutenzione inadeguata
- Condizioni ambientali severe



3 VIBRAZIONI E SQUILIBRI

- Sbilanciamento rotore
- Disallineamento alberi
- Cedimenti dei supporti
- Risonanze strutturali
- Allentamenti meccanici
- Usura di cuscinetti e tenute
- Forze aerodinamiche/fluido-dinamiche
- Monitoraggio continuo delle vibrazioni



4 FOULING, CORROSIONE ED EROSIONE

- Depositi di calcare, ceneri e contaminanti
- Corrosione ad alta temperatura
- Erosione da particelle e gocce liquide
- Ossidazione e attacchi chimici
- Riduzione degli scambi termici
- Perdita di efficienza e aumento consumi
- Danni a palette, tubi e rivestimenti



5 LUBRIFICAZIONE E TENUTE

- Olio con corrette proprietà
- Controllo qualità e contaminazione
- Livelli, pressioni e temperature
- Stato di cuscinetti e tenute
- Perdite di olio e trafilemanti
- Piani di lubrificazione e ricambi
- Utilizzo di oli idonei (alta T, antiusura)



Una buona
lubrificazione
allunga la vita
della macchina!



Analisi vibrazioni

METODO DIAGNOSTICO DAL SINTOMO ALLA SOLUZIONE



6 SURRISCALDAMENTO E PERDITE TERMICHE

- Combustione non corretta
- Sporco degli scambiatori
- Malfunzionamento sistemi di raffreddamento
- Isolamenti danneggiati
- Perdite di calore da tubazioni e flange
- Aumento temperatura gas di scarico
- Rischio di danneggiamento componenti



Temperature
sotto controllo!

7 CONTROLLI DI BASE

- Ispezione visiva e verifica perdite
- Controllo temperature e pressioni
- Analisi vibrazioni e allineamenti
- Verifica qualità olio e filtrazione
- Controllo efficienza scambiatori
- Prova valvole di sicurezza
- Monitoraggio emissioni



Controlli
semplici,
grandi risultati!

8 MANUTENZIONE PREVENTIVA

- Piani di manutenzione programmata
- Ispezioni periodiche e monitoraggio
- Analisi di condizione (vibrazioni, olio, termografia)
- Pulizia e decoking
- Sostituzione componenti soggetti a usura
- Gestione ricambi e fermate programmate
- Registrazione degli interventi
- Miglioramento continuo

Pianifica oggi,
evita il fermo domani!

9 SICUREZZA E FERMATA IMPIANTO

- Riconoscere condizioni di rischio
- Procedure di arresto sicuro
- Isolamento di impianti e fonti di energia
- Raffreddamento controllato
- Utilizzo di DPI e permessi di lavoro
- Verifica atmosfere e rischio scottature
- Riavvio solo dopo verifiche e collaudi
- Analisi eventi e azioni correttive



**LA SICUREZZA
PRIMA DI TUTTO**

Persone sicure,
impianti affidabili!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- La diagnosi precoce riduce costi e fermate
- La manutenzione aumenta efficienza e vita utile
- Il monitoraggio continuo previene i guasti
- Impianti sicuri proteggono persone e ambiente
- Investire nella manutenzione conviene sempre

Efficienza,
sicurezza
e continuità
di servizio!



LA MANUTENZIONE E LA DIAGNOSI PROTEGGONO L'EFFICIENZA, LA SICUREZZA E LA CONTINUITÀ DI SERVIZIO DELLE MACCHINE TERMICHE



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CONFRONTO TRA CICLI TERMICI

OTTO, DIESEL, RANKINE E BRAYTON A COLPO D'OCCHIO

Confrontare aiuta a capire quando usare ogni ciclo!

1 PERCHÉ CONFRONTARLI

- Tutti i cicli termici convertono calore in lavoro utile, ma differiscono per:
- fluido di lavoro
- trasformazioni termodinamiche
- componenti principali
- applicazioni
- prestazioni ed efficienza

Stesso obiettivo, soluzioni diverse!



2 CICLO OTTO

- Motore a combustione interna a accensione comandata (bugie).
- Trasformazioni ideali: 2 isentropiche + 2 isocore.
- Uso tipico: autovetture, motociclette, motori leggeri.
- Punto di forza: semplicità e alti regimi di rotazione.



Alti regimi, prestazioni e affidabilità!

3 CICLO DIESEL

- Motore a combustione interna a accensione spontanea (compressione).
- Trasformazioni ideali: 2 isentropiche + apporto di calore a pressione quasi costante.
- Uso tipico: mezzi pesanti, navale, generatori.
- Punto di forza: maggiore efficienza e alto valore di coppia.



Più coppia, più efficienza!

4 CICLO RANKINE

- Ciclo a vapore per la produzione di potenza.
- Componenti principali: pompa, caldaia, turbina a vapore, condensatore.
- Uso tipico: centrali termoelettriche, cogenerazione, impianti nucleari e industriali.
- Punto di forza: produzione di grandi potenze.



Grandi potenze dal vapore!

5 CICLO BRAYTON

- Ciclo a turbina a gas.
- Componenti principali: compressore, camera di combustione, turbina a gas.
- Uso tipico: aviazione, turbine a gas, cicli combinati.
- Punto di forza: compattezza e funzionamento in continuo.



Potenza e continuità nel flusso di gas!

6 FLUIDO E SCAMBIO TERMICO

- Otto/Diesel: gas di combustione direttamente nel cilindro (sistema aperto).
- Rankine: acqua/vapore (sistema chiuso, con scambiatori).
- Brayton: aria + gas di combustione (sistema aperto).
- Ogni fluido ha proprietà diverse che influenzano rendimento, componenti e applicazioni.



PANORAMICA DEI PRINCIPALI CICLI TERMICI

DAL MOTORE ALLE CENTRALI: STESSO OBIETTIVO, SOLUZIONI DIVERSE

CICLO OTTO	CICLO DIESEL	CICLO RANKINE	CICLO BRAYTON
Apporto di calore A volume costante (combustione)	Apporto di calore A pressione quasi costante	Apporto di calore Nella caldaia (a pressione costante)	Apporto di calore A pressione costante (combustione)
Compressione Isentropica	Compressione Isentropica	Compressione Tramite pompa	Compressione Isentropica
Espansione Isentropica	Espansione Isentropica	Espansione Nella turbina (isentropica)	Espansione Isentropica
Fluido di lavoro Gas di combustione	Fluido di lavoro Gas di combustione	Fluido di lavoro Acqua/vapore	Fluido di lavoro Aria + gas di combustione
Applicazione tipica Autovetture, motociclette	Applicazione tipica Mezzi pesanti, navale, generatori	Applicazione tipica Centrali termoelettriche, cogenerazione	Applicazione tipica Aviazione, turbine a gas

SCELTA DEL CICLO = FUNZIONE DELL'APPLICAZIONE, DEL FLUIDO E DELL'EFFICIENZA RICHIESTA

7 RENDIMENTO E CAMPO D'USO

- Il rendimento e il campo d'uso variano in base a fluido, temperature, pressioni e tecnologia.
- Valori tipici indicativi (rendimento):



- Il campo d'uso dipende anche da potenza richiesta, continuità di esercizio e vincoli ambientali.

8 VANTAGGI E LIMITI

Ciclo	✓ Principali vantaggi	★ Principali limiti
Otto	✓ Semplice e leggero ✓ Alti regimi di rotazione	✗ Rendimento inferiore al Diesel ✗ Maggiori emissioni a parità di efficienza
Diesel	✓ Maggiore efficienza ✓ Elevata robustezza e coppia	✗ Emissioni più elevate (NOx, particolato) ✗ Sistemi più pesanti e costosi
Rankine	✓ Eccellente per grandi potenze ✓ Flessibilità di combustibile	✗ Impianto voluminoso e complesso ✗ Tempi di avviamento più lunghi
Brayton	✓ Elevata densità di potenza ✓ Funzionamento continuo ✓ Installazioni compatte	✗ Materiali per alte temperature ✗ Efficienza sensibile alle condizioni ambientali

CONFRONTO RAPIDO

Caratteristica	Otto	Diesel	Rankine	Brayton
Tipo di macchina	Motore alternativo	Motore alternativo	Impianto a vapore	Turbina a gas
Fluido	Gas di combustione	Gas di combustione	Acqua/vapore	Aria + gas di combustione
Calore	A volume costante	A pressione quasi costante	A pressione costante (caldaia)	A pressione costante
Uso tipico	Auto e motociclette	Mezzi pesanti e navale	Centrali termoelettriche	Aviazione e cicli combinati

9 SCELTA DEL CICLO NELLA PRATICA

Esempi di applicazioni tipiche e ciclo più adatto:



L'applicazione guida la scelta!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Non esiste un ciclo termico universalmente migliore: la scelta dipende da:
- applicazione e settore di utilizzo
- tipo di combustibile
- potenza richiesta
- fluido di lavoro
- efficienza desiderata
- vincoli tecnici, ambientali ed economici
- ogni ciclo ha un proprio contesto ideale.

Ogni ciclo ha il suo contesto ideale!



DA MEMORIZZARE: I cicli termici hanno lo stesso obiettivo — trasformare energia termica in lavoro utile — ma lo fanno con fluidi, componenti e applicazioni diverse.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SISTEMI IDRAULICI

*L'olio trasmette
forza con
precisione!*

PRINCIPI, COMPONENTI E TRASMISSIONE DELLA POTENZA CON I FLUIDI

1 DEFINIZIONE E PRINCIPIO GENERALE

- Sistema che trasmette potenza e movimento tramite un fluido incompressibile (olio idraulico).
- La pressione generata dalla pompa si trasmette in tutto il circuito.
- Consente di ottenere grandi forze con componenti compatti.
- Utilizzato per movimenti lineari, rotativi e di posizionamento preciso.

*Piccoli componenti,
grandi forze!*



2 GRANDEZZE FONDAMENTALI

- Pressione (p): forza per unità di superficie [Pa, bar].
- Portata (Q): volume di fluido per unità di tempo [L/min].
- Potenza (P): lavoro per unità di tempo [kW].
- Forza (F): data da pressione per superficie [N].

FORMULE PRINCIPALI

$$p = \frac{F}{A}$$

p = pressione (Pa)
F = forza (N)
A = area (m²)

$$P = p \cdot Q$$

P = potenza (W)
p = pressione (Pa)
Q = portata (m³/s)

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = portata (m³/s)
V = volume (m³)
t = tempo (s)

3 PRINCIPIO DI PASCAL

- La pressione esercitata su un fluido incompressibile si trasmette inalterata in tutte le direzioni.
- Permette di moltiplicare la forza utilizzando superfici di area diversa.
- È alla base del funzionamento di tutti i sistemi idraulici.



$$p_1 = p_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Stessa pressione ovunque!

4 COMPONENTI PRINCIPALI

- Serbatoio: contiene il fluido e favorisce il raffreddamento.
- Pompa: trasforma l'energia meccanica in energia idraulica.
- Valvole: controllano pressione, direzione e portata.
- Attuatori: trasformano l'energia idraulica in movimento.
- Tubazioni e raccordi: collegano i componenti.
- Filtri: mantengono pulito il fluido.



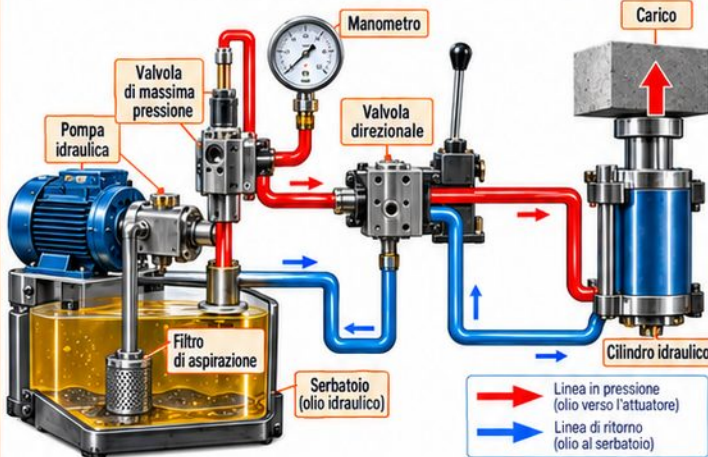
5 CENTRALE IDRAULICA

- Insieme di componenti che generano, controllano e forniscono la potenza idraulica.
- Comprende: serbatoio, motore elettrico, pompa, valvole, filtri, scambiatore di calore.
- Può essere compatta o personalizzata in base all'applicazione.



*Il cuore del
sistema idraulico!*

SCHEMA DI UN SISTEMA IDRAULICO COMPLETO DALLA GENERAZIONE DELLA PRESSIONE AL MOVIMENTO DELL'ATTUATORE



6 FLUIDO IDRAULICO E SUE PROPRIETÀ

- Generalmente oli minerali con additivi specifici.
- Incompressibile, lubrifica, raffredda e protegge i componenti.
- Proprietà principali:
 - Viscosità (scorrevolezza)
 - Indice di viscosità
 - Stabilità termica
 - Resistenza all'ossidazione
 - Protezione dalla corrosione
 - Buona filtrabilità

*Un fluido
che lavora
per te!*



7 VANTAGGI

- ✓ Grandi forze con componenti compatti
- ✓ Movimenti precisi e controllabili
- ✓ Ampia gamma di velocità
- ✓ Affidabilità e lunga durata
- ✓ Protezione dai sovraccarichi (valvole di sicurezza)
- ✓ Flessibilità di installazione
- ✓ Adatti ad ambienti gravosi



*Potenza,
precisione
e affidabilità!*

8 APPLICAZIONI

- Macchine movimento terra (escavatori, pale, gru)
- Presse e macchine utensili
- Impianti industriali e automazione
- Sistemi di sollevamento
- Attrezzature agricole
- Veicoli industriali
- Impianti navali e offshore
- Settore aeronautico
- Banchi prova e collaudo

*Ovunque
serve forza controllata!*



9 LIMITI E ATTENZIONI

- ✗ Possibili perdite di fluido
- ✗ Sensibilità alla contaminazione
- ✗ Variazioni delle prestazioni con la temperatura
- ✗ Necessità di manutenzione regolare
- ✗ Rischio di surriscaldamento
- ✗ Impatto ambientale in caso di perdite
- ✗ Rumore della pompa
- ✗ Costo dell'olio e smaltimento



*Manutenzione
e pulizia =
lunga durata!*



10 MESSAGGIO CHIAVE

- I sistemi idraulici permettono di trasmettere grandi forze con precisione e affidabilità.
- La corretta scelta dei componenti, del fluido e la manutenzione garantiscono efficienza, sicurezza e lunga durata.
- Sono fondamentali in moltissimi settori dell'ingegneria meccanica.

*La forza
per costruire
il tuo futuro!*



I SISTEMI IDRAULICI TRASMETTONO GRANDI FORZE CON COMPONENTI COMPATTI, UTILIZZANDO LA PRESSIONE DI UN FLUIDO INCOMPRESSIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PRESSIONE, PORTATA e POTENZA IDRAULICA

BAR, L/MIN, FORZA, VELOCITÀ E RELAZIONI FONDAMENTALI

Capire queste grandezze significa capire tutto il circuito!

1 VARIABILI FONDAMENTALI

- Pressione (p): forza per unità di superficie
- Portata (Q): volume di fluido per unità di tempo
- Forza (F): prodotta su un attuatore
- Velocità (v): velocità di movimento dell'attuatore
- Potenza (P): lavoro per unità di tempo
- Sono grandezze collegate tra loro nel circuito idraulico

Conoscere queste variabili ti permette di progettare e risolvere problemi!

2 PRESSIONE $p = F/A$

- La pressione è la forza applicata su una superficie.
- Si misura in Pascal (Pa) o più comunemente in bar.
- Nei sistemi idraulici la pressione si trasmette in tutte le direzioni (Principio di Pascal).
- A parità di forza, una superficie maggiore riduce la pressione.



3 PORTATA Q e VELOCITÀ DELL'ATTUATORE

- La portata è il volume di fluido che passa in un'unità di tempo.
- Si misura in L/min.
- La velocità di un cilindro dipende dalla portata e dall'area.

$$v = \frac{Q}{A}$$

v = velocità (m/s)
Q = portata (m³/s o L/min)
A = area del pistone (m²)

Più portata
più velocità!

4 POTENZA IDRAULICA $P = p \cdot Q$

- La potenza idraulica è il prodotto tra pressione e portata.
- Si misura in Watt (W) o kW.
- Rappresenta l'energia trasmessa dal fluido al circuito.
- La potenza utile all'utilizzatore sarà inferiore per effetto dei rendimenti.

$$P = p \cdot Q$$

P = potenza (W)
p = pressione (Pa o bar)
Q = portata (m³/s o L/min)

Più pressione
e più portata =
più potenza!

5 UNITÀ DI MISURA E CONVERSIONI

- Pressione: 1 bar = 100.000 Pa
- Portata: 1 L/min = 1,67·10⁻⁵ m³/s
- Potenza: 1 kW = 1.000 W
- Forza: 1 kN = 1.000 N
- Area: 1 cm² = 1·10⁻⁴ m²

Grandezza	Unità principali	Conversioni utili
Pressione	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa 1 MPa = 10 bar
Portata	L/min	1 L/min = 16,7·10 ⁻⁶ m ³ /s 1 m ³ /h = 16,7 L/min
Potenza	kW	1 kW = 1.000 W 1 CV = 0,735 kW
Forza	N	1 kN = 1.000 N
Area	cm ²	1 cm ² = 1·10 ⁻⁴ m ²

Usa sempre le unità corrette!

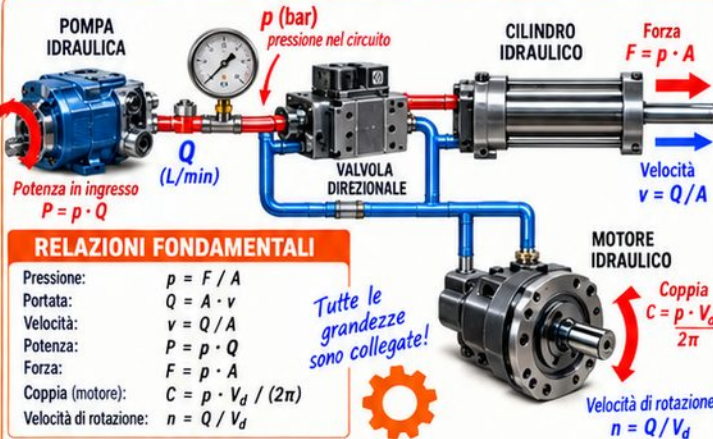
6 PERDITE DI CARICO

- Durante il flusso del fluido si generano perdite di carico dovute a:
 - attriti nelle tubazioni
 - curve, raccordi e valvole
 - restringimenti di sezione
 - viscosità del fluido
- Le perdite riducono la pressione disponibile agli utilizzatori e generano calore.



SCHEMA DI FUNZIONAMENTO E RELAZIONI PRINCIPALI

DALLA POMPA AGLI UTILIZZATORI: PRESSIONE CREA FORZA, PORTATA CREA MOVIMENTO



7 RENDIMENTO VOLUMETRICO, MECCANICO E GLOBALE

- Rendimento volumetrico (η_v): tiene conto delle perdite di portata per traframimenti.
- Rendimento meccanico (η_m): tiene conto degli attriti meccanici.
- Rendimento globale (η_g): prodotto dei due precedenti.

$$\eta_g = \eta_v \cdot \eta_m$$

Potenza utile:
 $P_u = \eta_g \cdot p \cdot Q$



8 ESEMPI APPLICATIVI

CILINDRO IDRAULICO	VELOCITÀ DELL'ATTUATORE
Diametro pistone: 63 mm Pressione: 150 bar Forza sviluppata: $F = p \cdot A$ $A = \pi \cdot (0,063)^2 / 4 = 0,0031 \text{ m}^2$ $F = 150 \cdot 10^5 \cdot 0,0031 = 46.500 \text{ N}$ $\approx 46,5 \text{ kN}$	Portata: 40 L/min Diametro pistone: 63 mm Velocità di avanzamento: $v = Q/A$ $Q = 40 / 1000 / 60 = 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ $A = 0,0031 \text{ m}^2$ $v = 6,67 \cdot 10^{-4} / 0,0031 = 0,215 \text{ m/s}$ $\approx 21,5 \text{ cm/s}$

Stessa pressione
ma diametri diversi =
forze diverse!

9 COME LEGGERE MANOMETRI E INDICATORI

MANOMETRO ANALOGICO	MANOMETRO DIGITALE	ALTRI INDICATORI
- Indica la pressione del circuito in bar. - Verifica la scala corretta e il campo di misura. - Controlla le variazioni durante il funzionamento.	- Maggiore precisione. - Può visualizzare anche la temperatura. - Utile per diagnosi e manutenzione.	- Misuratori di portata (L/min) - Termometri (°C) - Indicatori di livello - Sensori elettronici (pressione, temperatura, portata)



10 MESSAGGIO CHIAVE

- La pressione crea forza.
- La portata crea movimento.
- La potenza è data da pressione e portata.
- Le perdite riducono le prestazioni.
- I rendimenti sono sempre minori di 100%.
- Misura, controlla e interpreta i valori per un funzionamento efficiente e sicuro.

Conoscere queste grandezze ti rende un tecnico più consapevole e più efficace!

DA MEMORIZZARE: la pressione crea forza, la portata crea movimento, la potenza è data da pressione e portata.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

POMPE IDRAULICHE

INGRANAGGI, PALETTE E PISTONI: GENERARE PORTATA E PRESSIONE

La pompa crea
flusso, la resistenza
crea pressione!

1 DEFINIZIONE

- La pompa idraulica è una macchina che trasforma energia meccanica in energia idraulica.
- Genera una portata di fluido in grado di vincere le resistenze del circuito.
- Non crea pressione: la pressione nasce dal carico (resistenza) a valle.
- Elemento fondamentale dei sistemi idraulici.



2 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

- Il moto dell'albero mette in movimento elementi interni (ingranaggi, palette o pistoni).
- Il volume tra gli elementi aumenta nella zona di aspirazione, riducendo la pressione e richiamando il fluido.
- Il volume diminuisce nella zona di mandata, spingendo il fluido nel circuito.
- La pompa fornisce una portata continua proporzionale alla velocità di rotazione.



3 POMPE A INGRANAGGI

- Le più semplici e diffuse.
- Due ingranaggi che ruotano in senso opposto.
- Robuste, economiche, affidabili.
- Portata costante (cilindrata fissa).
- Adatte a medie pressioni (fino a 250–300 bar).
- Sensibili alla qualità del fluido.



Semplici,
affidabili, economiche!

4 POMPE A PALETTE

- Rotore eccentrico con palette scorrevoli.
- Buona silenziosità e regolarità di funzionamento.
- Portata costante (cilindrata fissa o variabile).
- Adatte a medie pressioni (fino a 210–250 bar).
- Miglior rendimento rispetto alle pompe a ingranaggi.



Silenziose
e regolari!

5 POMPE A PISTONI ASSIALI E RADIALI

- Pistoni che scorrono in cilindri (assiali o radiali).
- Cilindrata fissa o variabile.
- Alte pressioni (fino a 350–700 bar o più).
- Elevato rendimento.
- Adatte per applicazioni industriali e mobili impegnative.



Assiale
(piatto inclinato)

Radiale
(a stella)

Alte prestazioni
per grandi applicazioni!

6 PORTATA TEORICA E CILDRATA

- La portata teorica dipende dalla cilindrata (V_g) e dalla velocità di rotazione (n).
- Formula:

$$Q = V_g \cdot n$$

Q = portata [L/min]
 V_g = cilindrata [cm³/giro]
 n = velocità di rotazione [giri/min]

- Per tener conto delle perdite si usa la portata effettiva:

$$Q_{eff} = \eta_v \cdot V_g \cdot n$$



Più giri,
più portata!

CONFRONTO TRA LE PRINCIPALI POMPE IDRAULICHE

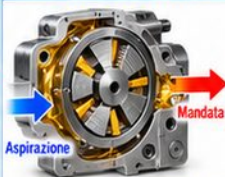
STESSO OBIETTIVO: FORNIRE PORTATA AL CIRCUITO • SOLUZIONI DIVERSE

POMPA A INGRANAGGI



Due ingranaggi in rotazione trasportano il fluido tra denti e carcassa.

POMPA A PALETTE



Un rotore eccentrico con palette varia il volume delle camere di pompaggio.

POMPA A PISTONI ASSIALI (piatto inclinato)



Pistoni assiali che scorrono in cilindri e variano il volume grazie al piatto inclinato.

Caratteristica	Ingranaggi	Palette	Pistoni assiali	Pistoni radiali
Cilindrata	Fissa	Fissa o variabile	Variabile	Fissa o variabile
Portata tipica	5 – 200 L/min	10 – 300 L/min	10 – 500 L/min	10 – 400 L/min
Pressione massima	250 – 300 bar	210 – 250 bar	350 – 700 bar	350 – 700 bar
Rendimento volumetrico	0,80 – 0,90	0,85 – 0,92	0,90 – 0,95	0,90 – 0,95
Rumorosità	Media	Bassa	Bassa	Bassa
Costo	Basso	Medio	Alto	Alto
Applicazioni tipiche	Semplici e mobili	Industriali generali	Alte prestazioni	Alte prestazioni

7 RENDIMENTO E REGOLAZIONE

- Rendimento volumetrico (η_v): perdite per trafilamenti interni.
- Rendimento meccanico (η_m): perdite per attrito.
- Pendimento totale: $\eta_t = \eta_v \cdot \eta_m$ (tipicamente 0,75 – 0,92).
- Regolazione della portata:
 - a cilindrata variabile (pompe a palette o pistoni),
 - con valvole di controllo (by-pass, load sensing),
 - controllo della velocità di rotazione (meno efficiente).



Cilindrata
variabile
= flessibilità!

8 APPLICAZIONI

- Macchine movimento terra (escavatori, pale, terne)
- Macchine agricole (trattori, sollevatori)
- Macchine industriali (presse, stampi, macchine utensili)
- Impianti mobili (autogru, piattaforma)
- Impianti fissi (centrali oleodinamiche)
- Circuiti di potenza e servocomandi.



Macchine terra

Macchine agricole

Macchine industriali

Impianti mobili

La potenza
in movimento!

9 GUASTI TIPICI

- Cavitazione: bolle di vapore per pressione troppo bassa in aspirazione.
- Usura: dovuta a contaminazione del fluido o lubrificazione insufficiente.
- Rumorosità: aria nel circuito, cavitazione, usura.
- Perdite interne: riduzione del rendimento e della portata.
- Surriscaldamento: fluido degradato o sovraccarico.



Cavitazione

Usura

Rumorosità

Perdite

10 MESSAGGIO CHIAVE

- La pompa fornisce una portata, la pressione dipende dal carico.
- Esistono diverse tecnologie (ingranaggi, palette, pistoni) per esigenze diverse.
- La scelta dipende da portata, pressione, rendimento, rumore, costo e applicazione.
- Una corretta manutenzione e un fluido pulito garantiscono affidabilità e lunga durata.

Portata oggi,
affidabilità domani!



DA MEMORIZZARE: la pompa trasforma energia meccanica in portata di fluido. La pressione è generata dal carico. Scelta, manutenzione e fluido pulito fanno la differenza.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

VALVOLE IDRAULICHE

Le valvole decidono dove va l'energia!

DIREZIONE, PRESSIONE E PORTATA: IL CONTROLLO DEL CIRCUITO

1 RUOLO DELLE VALVOLE

- Controllano la direzione del fluido
- Regolano la pressione
- Regolano la portata
- Proteggono i componenti
- Rendono il circuito sicuro e affidabile
- Permettono movimenti precisi e ripetibili

Piccole componenti, grandi risultati!



2 VALVOLE DIREZIONALI

- Deviano il flusso verso attuatori diversi
- Comandate manualmente, elettricamente, pneumaticamente o idraulicamente
- Tipologie: 2/2, 3/2, 4/2, 4/3
- Possono avere molle di ritorno o posizioni stabili



Gestiscono il percorso dell'olio!

3 VALVOLE DI PRESSIONE

- Valvola di massima: limita la pressione massima
- Valvole riduttrici: mantengono una pressione più bassa e costante
- Valvole di sequenza: attivano un circuito solo al raggiungimento di una certa pressione



Proteggono e regolano la forza!

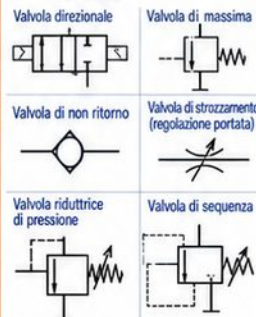
4 VALVOLE DI PORTATA

- Regolano la quantità di fluido che passa
- Possono essere a strozzamento fisso o regolabile
- Consentono il controllo della velocità degli attuatori
- Tipologie: regolatori unidirezionali, bidirezionali, compensati di pressione



Controllano la velocità!

5 SIMBOLOGIA OLEODINAMICA DI BASE



6 VALVOLE DI NON RITORNO

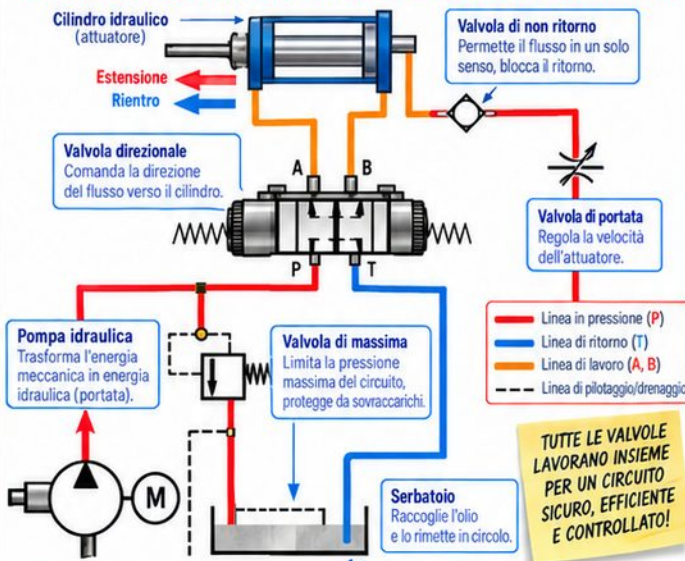
- Permettono il flusso in una sola direzione
- Impediscono il riflusso
- Tipologie: semplici, pilotate, doppie
- Usate per mantenere la posizione del carico e per la sicurezza



L'olio scorre solo in un senso!

SCHEMA DI UN CIRCUITO IDRAULICO CON LE PRINCIPALI VALVOLE

OGNI VALVOLA HA UN RUOLO SPECIFICO PER IL CORRETTO FUNZIONAMENTO



7 VALVOLE PROPORZIONALI E SERVO

- Regolano portata o pressione in modo continuo
- Il segnale elettrico è proporzionale alla posizione della valvola
- Consentono movimenti precisi e modulabili
- Usate in impianti automatici e ad alte prestazioni



Dal segnale elettrico al movimento perfetto!

8 APPLICAZIONI

- Macchine movimento terra
- Presse e macchine utensili
- Macchine agricole
- Impianti industriali
- Sollevamento e trasporto
- Sistemi di serraggio e bloccaggio
- Impianti mobili e veicolari



9 GUASTI E MALFUNZIONAMENTI

- Perdite interne (usura, sporcizia)
- Blocco della valvola
- Taratura errata
- Contaminazione dell'olio
- Funzionamento irregolare
- Rumori e vibrazioni
- Suriscaldamento
- Risposta lenta o assente



Una corretta manutenzione previene i guasti!

CAUSE COMUNI

- Olio contaminato
- Particelle e impurità
- Usura meccanica
- Errata installazione
- Tarature non corrette
- Sovrapressioni
- Temperatura eccessiva

EFFETTI

- Perdita di efficienza
- Movimenti instabili
- Danni ai componenti
- Fermi macchina
- Rischi per la sicurezza
- Aumento dei costi



Olio pulito, valvole più longeve!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le valvole sono il cuore del controllo idraulico
- Scegliere la valvola giusta fa la differenza
- Un corretto dimensionamento garantisce sicurezza ed efficienza
- La qualità dell'olio e la manutenzione sono fondamentali
- Le valvole permettono di adattare la potenza alle reali esigenze
- Tecnologie proporzionali e servo migliorano precisione e produttività
- Conoscere le valvole è essenziale per progettare e gestire impianti moderni

Controlla oggi le performance di domani!



DA MEMORIZZARE: le valvole idrauliche controllano direzione, pressione e portata — permettono sicurezza, precisione ed efficienza in ogni applicazione.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ATTUATORI IDRAULICI

Qui la pressione diventa movimento!

CILINDRI, MOTORI E CONVERSIONE DELLA PRESSIONE IN FORZA E COPPIA

1 DEFINIZIONE

- Gli attuatori idraulici trasformano l'energia del fluido in:
 - forza lineare (cilindri)
 - coppia rotante (motori)
- Sono robusti, compatti e adatti ad alte forze e coppie.
- Trovano impiego in macchine mobili, macchine utensili e impianti industriali.

Stessa energia, nuovo movimento!



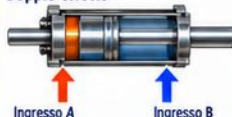
2 CILINDRI A SEMPLICE E DOPPIO EFFETTO

- Semplice effetto:** la pressione agisce in un solo verso, il ritorno avviene con molla o carico esterno.
- Doppio effetto:** la pressione agisce in entrambi i versi, con alimentazione alternata delle due camere.

Semplice effetto



Doppio effetto



3 MOTORI IDRAULICI

- Trasformano l'energia del fluido in coppia rotante e movimento continuo.
- Tipi principali:
 - a ingranaggi
 - a palette
 - a pistoni (assiali o radiali)
- Caratteristiche:
 - coppie elevate
 - velocità variabile
 - inversione del senso di rotazione
 - robustezza e affidabilità



Coppia da alta pressione!

4 FORZA DEL CILINDRO

- La forza sviluppata da un cilindro è proporzionale alla pressione e all'area del pistone.

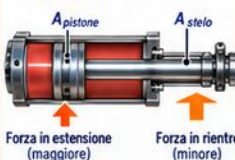
$$F = p \cdot A$$

F = forza [N]

p = pressione [Pa]

A = area del pistone [m²]

- In estensione: $A = A_{\text{pistone}}$
- In rientro: $A = A_{\text{pistone}} - A_{\text{stelo}}$ (forza minore)



5 VELOCITÀ E CORSA

- La velocità del cilindro dipende dalla portata del fluido e dall'area del pistone.

$$v = \frac{Q}{A}$$

v = velocità [m/s]

Q = portata [m³/s]

A = area del pistone [m²]

- La corsa è la distanza percorsa dallo stelo [mm].
- La velocità si regola variando la portata (valvole di regolazione).
- Corsa e velocità devono essere in funzione dell'applicazione.



6 TENUTE, STELI E CUSCINETTI

- Le tenute impediscono le perdite di fluido e mantengono l'efficienza.
- Lo stelo deve essere resistente e con trattamento superficiale (anticorrosione e antiusura).
- I cuscinetti e le guide supportano lo stelo e riducono l'attrito.
- Una corretta lubrificazione aumenta la durata.



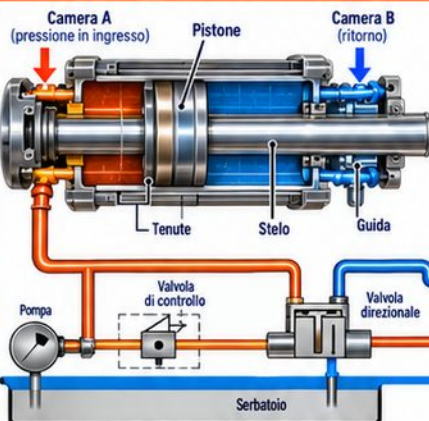
Tenute efficienti = meno perdite e più durata!



STRUTTURA E FUNZIONAMENTO DI CILINDRO E MOTORE IDRAULICI

UN UNICO CIRCUITO, DUE TIPI DI MOVIMENTO

CILINDRO IDRAULICO A DOPPIO EFFETTO



MOTORE IDRAULICO A INGRANAGGI



Il fluido gira la potenza!

Formule principali

Forza cilindro: $F = p \cdot A$

Velocità: $v = \frac{Q}{A}$

Coppia motore: $T = \frac{p \cdot V_d}{2 \cdot \pi}$

T = coppia [N·m]

p = pressione [Pa]

V_d = cilindrata [m³/giro]

Forza e velocità: un compromesso



Non si può avere tutto: si sceglie in base all'applicazione!

7 CONTROLLO DEL MOTO E AMMORTIZZAMENTO

- La velocità si controlla con:
 - valvole di regolazione di portata
 - valvole proporzionali o servovalvole
- Gli ammortizzamenti (fine corsa) riducono gli urti e le vibrazioni.
- Si utilizzano:
 - smorzatori integrati nei cilindri
 - valvole di decelerazione
 - profili di camma idraulici



8 APPLICAZIONI

- Macchine movimento terra (escavatori, pale, gru)
- Macchine utensili
- Pressi e impianti industriali
- Sistemi di sollevamento e movimentazione
- Macchine agricole e forestali
- Impianti mobili e veicoli speciali



9 GUASTI TIPICI

- Perdite interne (tenute usurate)
- Perdite esterne (danni alle guarnizioni)
- Movimento irregolare o a scatti
- Mancanza di forza o coppia
- Usura di steli, cuscinetti e guide
- Contaminazione del fluido (particelle, acqua)
- Suriscaldamento
- Rumori e vibrazioni anomale



La diagnosi previene il fermo macchina!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Gli attuatori idraulici permettono di ottenere forze e coppie elevate in spazi compatti.
- La scelta del tipo, delle dimensioni e dei controlli dipende dall'applicazione e dalle condizioni di lavoro.
- Una corretta progettazione, manutenzione e filtrazione del fluido garantisce efficienza, sicurezza e lunga durata.



FORZA



AFFIDABILITÀ



SICUREZZA



PRODUTTIVITÀ

La potenza dell'idraulica fa muovere il tuo lavoro!



DA MEMORIZZARE: gli attuatori idraulici trasformano la pressione del fluido in forza e coppia — la scelta corretta garantisce efficienza, sicurezza e produttività.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CIRCUITI IDRAULICI FONDAMENTALI

Un buon circuito fa lavorare bene tutta la macchina!

SOLLEVAMENTO, INVERSIONE, BLOCCAGGIO E SEQUENZA NELLE APPLICAZIONI REALI

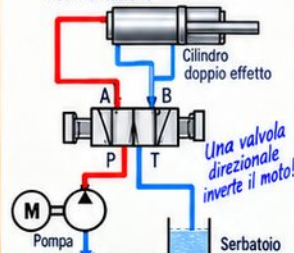
1 CIRCUITO BASE POMPA-SERBATOIO-ATTUATORE

- Elementi fondamentali del circuito
- Il flusso parte dalla pompa
- L'olio alimenta l'attuatore
- Ritorno al serbatoio
- Filtrazione e raffreddamento
- Schema semplice ma essenziale



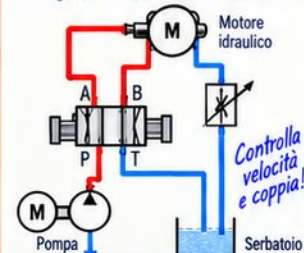
2 COMANDO DI UN CILINDRO DOPPIO EFFETTO

- Valvola direzionale 4/3 o 4/2
- Inversione del moto
- Controllo della velocità con regolatori di flusso
- Fine corsa con sensori o valvole
- Applicazioni: presse, sollevatori, movimentazione



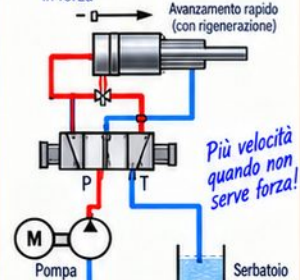
3 CONTROLLO DI UN MOTORE IDRAULICO

- Regolazione di velocità e coppia
- Valvola direzionale per inversione
- Controllo del flusso con strozzatori o regolatori
- Possibile uso di valvole di massa
- Applicazioni: nastri trasportatori, argini, ventole, macchine movimento terra



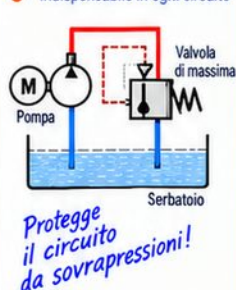
4 CIRCUITO RIGENERATIVO

- Recupero di portata sul lato stelo
- Movimento rapido in avanzamento
- Maggiore velocità, minore consumo
- Usato per carichi leggeri
- Si disattiva per la fase di lavoro in forza



5 VALVOLA DI MASSIMA E SICUREZZA

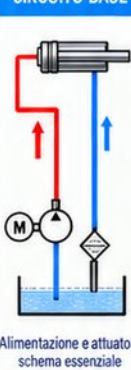
- Limita la pressione massima
- Protegge pompa, componenti e condotti
- Scarica l'olio al serbatoio
- Regolabile
- Indispensabile in ogni circuito



PANORAMICA DEI PRINCIPALI CIRCUITI IDRAULICI

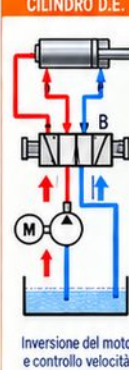
STESSI COMPONENTI, SOLUZIONI DIVERSE PER ESIGENZE DIVERSE

CIRCUITO BASE



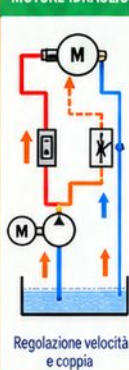
Alimentazione e attuatore schema essenziale

INVERSIONE CILINDRO D.E.



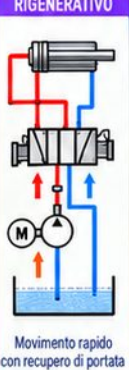
Inversione del moto e controllo velocità

MOTORE IDRAULICO



Regolazione velocità e coppia

CIRCUITO RIGENERATIVO



Movimento rapido con recupero di portata

PRINCIPALI SIMBOLI IDRAULICI



L'OLIO FLUISCE DALLA POMPA ATTRAVERSO LE VALVOLE, ESEGUE IL LAVORO E RITORNA AL SERBATOIO. STESSI COMPONENTI, MOLTE POSSIBILITÀ!

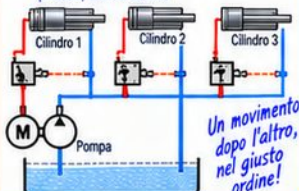
6 BLOCCO DEL CARICO E CONTROBILANCIAMENTO

- Valvole di blocco pilotate
- Valvole di controbilanciamento
- Evita movimenti incontrollati
- Mantiene il carico in posizione
- Controlla la discesa dei carichi
- Usato in gru, piattaforme, sollevatori



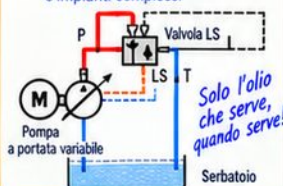
7 SEQUENZA DI MOVIMENTI

- Valvole di sequenza
- Esecuzione dei movimenti in ordine
- Utili in macchine con più attuatori
- Regolazione della pressione di intervento
- Applicazioni: macchine utensili, presse, automazioni



8 CIRCUITO LOAD-SENSING INTRODUTTIVO

- Adatta la portata alla richiesta
- Migliore efficienza energetica
- Minori perdite di potenza
- Valvola regolatrice LS
- Usato in macchine mobili e impianti complessi



9 ESEMPI APPLICATIVI



Gli stessi principi in tantissime macchine!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Un circuito ben progettato è:
- Sicuro e affidabile
- Efficiente ed economico
- Adatto all'applicazione
- Facile da mantenere
- Con componenti correttamente dimensionati

Progetta, verifica, applica... e la macchina lavora al meglio!



DA MEMORIZZARE: i circuiti idraulici trasformano l'energia in lavoro utile con controllo, sicurezza ed efficienza.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Un circuito affidabile parte da un olio pulito!

1. *Chlorophyll a* (Chl *a*)

Un buon serbatoio
aumenta la vita
del sistema!

Olio pulito = componenti più longevi!

Ogni filtro ha un compito preciso!

- Compatti
- Alte pressioni
- Economici
- Uso generale
- Grandi volumi
- Piccole capacità

Temperatura
corretta =
maggiore affidabilità.

*Dall'industria
al mobile,
sempre con olio pulito!*

Tutti gli elementi
lavorano insieme
per un sistema affidabile.

Individua
la causa,
trova

Contaminanti a controllo!

- Un sistema idraulico affidabile si basa su un fluido pulito, alla giusta temperatura e con una corretta riserva di energia
- Serbatoio, filtri e accumulatori sono elementi fondamentali da progettare, mantenere e monitorare
- La cura del fluido protegge l'intero sistema e riduce i costi di gestione

Prevenzione oggi, continuità domani!

DA MEMORIZZARE: serbatoio, filtri e accumulatori garantiscono pulizia, riserva di energia e stabilità del sistema idraulico.

**CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ**

PERDITE DI CARICO, RENDIMENTO E RISCALDAMENTO

Ogni perdita diventa calore!

ATTRITO, VISCOSITÀ, EFFICIENZA E CONTROLLO DELLA TEMPERATURA DELL'OLIO

1 ORIGINE DELLE PERDITE DI CARICO

- Attrito lungo le tubazioni
- Resistenze localizzate (curve, valvole, raccordi)
- Strozziature e variazioni di sezione
- Perdite interne nei componenti (pompe, distributori, attuatori)
- Turbolenze e cavitazione
- Usura e contaminazione



2 TUBI, CURVE E STROZZATURE

- La perdita di carico dipende da:
- Lunghezza dei tubi (L)
- Diametro interno (D)
- Rugosità della superficie (ε)
- Curve, raccordi e valvole (K)
- Velocità del fluido (v)
- Numero di Reynolds (Re)

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} + \sum K \frac{\rho v^2}{2}$$

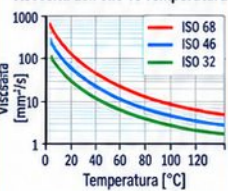


Curva Valvola Strozziatura

3 VISCOSITÀ E TEMPERATURA

- La viscosità influenza le perdite di carico
- All'aumentare della temperatura la viscosità diminuisce
- Olio troppo viscoso = più perdite e minore efficienza
- Olio troppo caldo = minore lubrificazione e usura
- Scegliere il grado ISO adeguato

Viscosità dell'olio vs Temperatura



4 RENDIMENTO VOLUMETRICO E MECCANICO

- Il rendimento volumetrico (η_v) dipende dalle perdite interne
- Il rendimento meccanico (η_m) dipende dagli attriti
- Il rendimento totale è:
- $\eta_t = \eta_v \times \eta_m$
- Le perdite riducono portata e aumentano la temperatura



$$\eta_t = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \eta_v \times \eta_m$$

5 RISCALDAMENTO DEL FLUIDO

- Le perdite di carico si trasformano in calore
- Principali cause di riscaldamento:
- Attriti interni
- Strozziature e valvole di controllo
- Perdite nei componenti
- Cicli continui ad alta pressione
- Scarsa capacità di raffreddamento

$$P_{calore} = Q \times \Delta p$$

$$P \text{ [kW]} = \frac{Q \text{ [L/min]} \times \Delta p \text{ [bar]}}{600}$$

Più perdite più calore!

6 SCAMBIATORI E RAFFREDDAMENTO

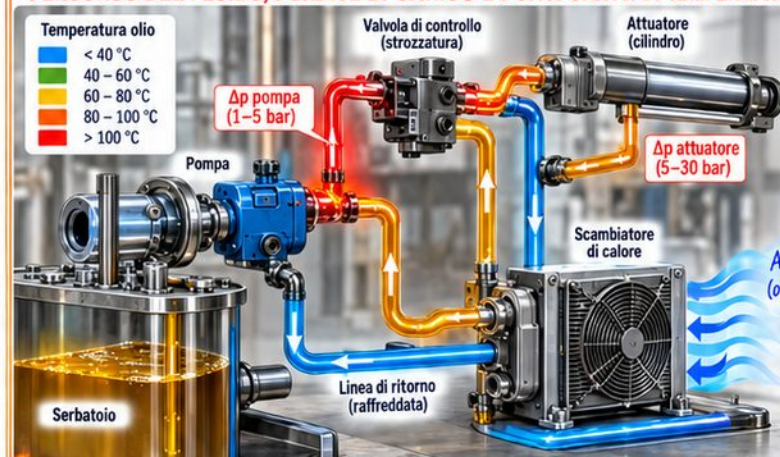
- Tipi di scambiatori:
- Aria/olio (radiatori)
- Acqua/olio (scambiatori a piastre o tubi)
- Con controllo termostatico
- Corretto dimensionamento in base alla potenza termica
- Posizionamento con buon flusso d'aria o acqua
- Manutenzione e pulizia



Un buon raffreddamento mantiene l'efficienza!

Radiatore aria/olio
Scambiatore acqua/olio

PANORAMICA DI UN SISTEMA IDRAULICO PERCORSO DEL FLUIDO, PERDITE DI CARICO E PUNTI CRITICI DI TEMPERATURA



Rendimento del sistema

$$\eta_t = \frac{P_{utile}}{P_{assorbita}}$$

- Perdite volumetriche
- Perdite meccaniche
- Perdite di carico (calore)
- Temperatura dell'olio

Controlla Δp e temperatura per un sistema affidabile!

7 SINTOMI DI SURRISCALDAMENTO

- Aumento della temperatura olio (> 70–80 °C)
- Calo di rendimento
- Perdita di potenza
- Movimenti lenti o irregolari
- Rumori anormali (cavitazione)
- Ossidazione e degradazione dell'olio
- Usura precoce dei componenti
- Attivazione allarmi termici



8 ESEMPI APPLICATIVI

- Circuito di pressa idraulica
- Impianto mobile (escavatore)
- Centrale oleodinamica industriale
- Impianto con più attuatori
- Circuiti ad alta pressione
- Confronto prima/dopo ottimizzazione



9 COME MIGLIORARE L'EFFICIENZA

- Progettare tubazioni con diametri adeguati
- Ridurre curve e strozzature
- Usare componenti a basse perdite
- Scegliere la corretta viscosità dell'olio
- Mantenere l'olio pulito
- Dimensionare correttamente lo scambiatore
- Evitare pressioni eccessive
- Monitorare temperatura e Δp
- Eseguire manutenzione regolare



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le perdite di carico sono inevitabili ma possono essere ridotte
- Ogni perdita si trasforma in calore
- Temperatura e viscosità vanno controllate
- Un sistema efficiente dura più a lungo
- Progettazione, manutenzione e monitoraggio fanno la differenza

Sistemi più freddi, più affidabili e più produttivi!



DA MEMORIZZARE: ridurre le perdite di carico migliora l'efficienza, limita il riscaldamento e aumenta la durata dell'impianto.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GUASTI, DIAGNOSI E MANUTENZIONE DEI SISTEMI IDRAULICI

Prevenire i guasti
costa meno
che fermarsi!

PERDITE, CONTAMINAZIONE, CAVITAZIONE E AFFIDABILITÀ

1 SINTOMI COMUNI

- Perdite di olio (esterne e interne)
- Rumori anomali (ronzii, colpi)
- Surriscaldamento del fluido
- Pressione instabile
- Movimenti irregolari o lenti
- Vibrazioni eccessive
- Schiuma nel serbatoio
- Perdita di efficienza
- Allarmi sulla macchina

Riconosci i sintomi
prima che sia
troppo tardi!



2 CAUSE RADICE

- Usura di componenti (pompe, valvole, cilindri)
- Contaminazione del fluido
- Installazione o serraggi errati
- Tenute danneggiate
- Sovraccarichi e picchi di pressione
- Temperatura eccessiva
- Cavitazione e aerazione
- Mancata manutenzione
- Fluido non idoneo o degradato
- Errori di progetto o dimensionamento



3 CONTAMINAZIONE DEL FLUIDO

- Particelle solide (polvere, metalli, sporco)
- Acqua (condensa, infiltrazioni)
- Aria (aerazione, schiuma)
- Degradazione chimica (ossidazione)
- Ingresso da manutenzioni scorrette
- Filtrazione inefficiente
- Stoccaggio e gestione non corretti
- Contaminanti generano usura, incrostazioni e blocchi

Un fluido pulito
allunga la vita
del sistema!



4 CAVITAZIONE E AERAZIONE

- Si verifica quando la pressione scende sotto la pressione di vapore
- Formazione di bolle di vapore
- Implosione delle bolle danneggia pompe e componenti
- Rumore, vibrazioni, perdita di portata
- Aerazione: presenza di aria nel fluido
- Cause: aspirazione insufficiente, filtri ostruiti, livello basso, temperature elevate, perdite lato aspirazione



La cavitazione
distrugge i componenti!

5 TUBI, RACCORDI E TENUTE

- Usura, invecchiamento e cricche
- Montaggio scorretto e tensioni
- Raccordi allentati o danneggiati
- Tenute usurate o incompatibili
- Vibrazioni e flessioni eccessive
- Temperatura e pressione oltre i limiti
- Perdite esterne e interne



Controlla
regolarmente
tubi e raccordi!



DAL SINTOMO ALLA SOLUZIONE

IL PERCORSO DIAGNOSTICO PER SISTEMI IDRAULICI



DATI, ANALISI E COMPETENZA PORTANO ALL'AFFIDABILITÀ!



6 METODO DIAGNOSTICO

- Raccolta informazioni e sintomi
- Controllo visivo dell'impianto
- Misura di pressioni, portate, temperature
- Analisi del fluido (particelle, acqua, vis.)
- Termografia per punti caldi
- Analisi vibrazioni su pompe e motori
- Verifica valvole, cilindri e tenute
- Confronto con dati di riferimento
- Definizione della causa e intervento



Un metodo
chiaro porta
a soluzioni certe!

7 CONTROLLI DI BASE

- Livello fluido nel serbatoio
- Stato e intasamento dei filtri
- Temperatura del fluido
- Pressione di esercizio
- Assenza di perdite
- Rumori e vibrazioni
- Stato dei tubi e raccordi
- Funzionamento valvole e attuatori
- Condizioni del serbatoio (respirazione, pulizia, livello)



Piccoli controlli
grandi risultati!

8 MANUTENZIONE PREVENTIVA

- Sostituzione periodica dei filtri
- Analisi regolare del fluido
- Controllo e serraggio raccordi
- Ispezione di tubi, tenute e componenti
- Pulizia serbatoio e sfiati
- Verifica allineamenti e supporti
- Monitoraggio temperature e vibrazioni
- Sostituzione fluido secondo specifiche
- Registrazione delle attività



La manutenzione
previene i guasti!

9 SICUREZZA E FERMATA IMPIANTO

- Seguire le procedure di lockout-tagout
- Rilasciare la pressione del sistema
- Mettere in sicurezza le energie residue
- Utilizzare DPI adeguati
- Gestire eventuali sversamenti di olio
- Smaltire il fluido esausto secondo norma
- Verificare l'assenza di pressione prima di intervenire
- Documentare l'intervento



La sicurezza
prima di tutto!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Un impianto idraulico efficiente è sicuro, produttivo e duraturo
- La diagnosi tempestiva evita fermi costosi
- La qualità del fluido è fondamentale
- La manutenzione preventiva è un investimento
- Affidabilità = continuità di servizio e competitività

Efficienza,
sicurezza
e continuità!



LA MANUTENZIONE DEI SISTEMI IDRAULICI PROTEGGE LA PRODUTTIVITÀ, LA SICUREZZA E IL VALORE DEL TUO IMPIANTO



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CONFRONTO TRA CONFIGURAZIONI IDRAULICHE

CIRCUITO APERTO, CHIUSO, LOAD-SENSING E CONTROLLO PROPORZIONALE

Confrontare aiuta a scegliere il sistema giusto!

1 PERCHÉ CONFRONTARLE

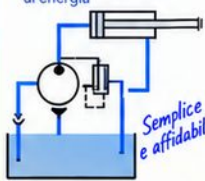
- Stesso obiettivo, soluzioni diverse
- Prestazioni, efficienza e costi differenti
- Scelta in base all'applicazione
- Importanza di valutare condizioni di lavoro, carichi e cicli operativi
- Impatto su consumi, temperatura e manutenzione

Non esiste la soluzione migliore in assoluto!



2 CIRCUITO APERTO

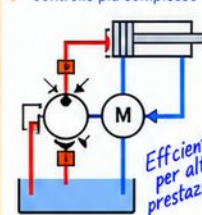
- La pompa invia fluido in continuo al circuito
- Il fluido in eccesso torna al serbatoio tramite valvola di massima
- Controllo semplice
- Adatto ad applicazioni con carichi variabili
- Maggiore dissipazione di energia



Semplice e affidabile!

3 CIRCUITO CHIUSO

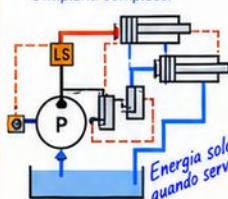
- La pompa invia fluido solo quando è richiesto
- Flusso bidirezionale (pompa reversibile)
- Alta efficienza energetica
- Adatto a trasmissioni idrostatiche e macchine mobili
- Controllo più complesso



Efficiente per alte prestazioni!

4 SISTEMA LOAD-SENSING

- La pompa varia la portata e la pressione in base al carico
- Mantiene solo la pressione minima necessaria
- Multifunzione con più utilizzatori
- Elevata efficienza e minori perdite di energia
- Diffuso su macchine mobili e impianti complessi



Energia solo quando serve!

5 CONTROLLO PROPORZIONALE E SERVO

- Valvole proporzionali o servo per controllo continuo
- Movimenti precisi e controllati
- Ideale per automazione industriale e applicazioni di alta precisione
- Richiede elettronica e sensori
- Maggiore complessità e costo



Precisione al servizio del controllo!

6 FLUIDO E SCAMBIO TERMICO

- Olio idraulico con proprietà specifiche (viscosità, stabilità, additivi)
- Il tipo di circuito influenza la temperatura del fluido
- Il circuito aperto genera più calore (strozzamenti)
- Nei circuiti chiusi e load-sensing minori perdite e minore riscaldamento
- Importanza di filtri, scambiatori di calore e corretta manutenzione



Controllare la temperatura allunga la vita del sistema!

CONFRONTO VISIVO DELLE CONFIGURAZIONI IDRAULICHE

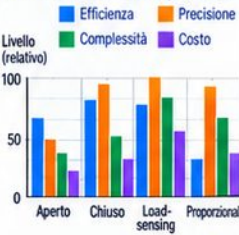
STESSO OBIETTIVO, SOLUZIONI DIVERSE PER ESIGENZE DIVERSE

	CIRCUITO APERTO	CIRCUITO CHIUSO	LOAD-SENSING	PROPORZIONALE/SERVO
Schema semplificato				
Componenti tipici	• Pompa fissa • Valvola di massima • Distributori • Serbatoio	• Pompa variabile reversibile • Motore idraulico • Valvole di sicurezza • Scambiatore di calore	• Pompa LS • Valvola di controllo LS • Distributori LS • Sensori di pressione	• Valvole proporzionali o servo • Centralina elettronica • Sensori (pressione, posizione) • Distributori dedicati
Comportamento	Flusso continuo, eccesso al serbatoio	Flusso solo su richiesta, bidirezionale	Portata e pressione variabili in base al carico	Controllo continuo di portata, pressione e posizione
Applicazioni tipiche	Pressi, macchine utensili semplici, impianti industriali	Trasmissioni idrostatiche, macchine mobili (escavatori, pale)	Macchine mobili (agricole, movimento terra), impianti multifunzione	Automazione industriale, robotica, macchine utensili CNC, banchi prova
Efficienza energetica	Bassa	Alta	Molto alta	Alta
Precisione di controllo	Bassa	Media	Buona	Molto alta
Complessità	Bassa	Media	Media	Alta
Costo	Basso	Medio	Medio	Alto
Esempi				
	Pressi industriali	Macchine mobili	Macchine agricole	Automazione industriale

7 RENDIMENTO E CAMPO D'USO

- Il rendimento dipende dalle perdite di energia (strozzamenti, trafilamenti, attriti)
- Il load-sensing e il circuito chiuso offrono i migliori rendimenti
- Il circuito aperto è più semplice ma meno efficiente
- Il proporzionale permette alta precisione con buon rendimento

Confronto indicativo delle prestazioni



Ogni configurazione ha il suo campo d'uso!

8 VANTAGGI E LIMITI

Configurazione	✓ Principali vantaggi	✗ Principali limiti
Aperto	✓ Semplice e robusto ✓ Costo contenuto ✓ Facile manutenzione	✗ Bassa efficienza ✗ Maggiore calore ✗ Sprechi di energia
Chiuso	✓ Alta efficienza ✓ Compatto ✓ Ideale per trasmissioni	✗ Maggiore complessità ✗ Costo elevato ✗ Richiede raffreddamento
Load-sensing	✓ Elevata efficienza ✓ Multifunzione ✓ Ideale a carichi variabili	✗ Più complesso ✗ Costo medio-alto ✗ Sensori e elettronica
Proporzionale / Servo	✓ Alta precisione ✓ Controllo continuo ✓ Ideale per automazione	✗ Elevato costo ✗ Maggiore complessità ✗ Richiede competenze specifiche

9 SCELTA NELLA PRATICA

- Analizzare requisiti dell'applicazione: forza, velocità, precisione
- Valutare ciclo di lavoro e profilo di carico
- Considerare efficienza energetica e costi di esercizio
- Tenere conto di spazio disponibile, manutenzione e affidabilità
- Scegliere la configurazione più adatta (o una soluzione ibrida)

Dall'analisi dei requisiti alla soluzione!



ESEMPLI DI APPLICAZIONE



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Conoscere le caratteristiche di ogni configurazione permette di scegliere la soluzione ottimale
- Non esiste un sistema migliore in assoluto, ma quello più adatto alle tue esigenze
- Efficienza, precisione, costi e affidabilità devono essere sempre bilanciati
- Una corretta progettazione e manutenzione garantiscono prestazioni elevate e lunga durata

La conoscenza trasforma la scelta in successo!

SCEGLI LA CONFIGURAZIONE GIUSTA — STESSO OBIETTIVO, PRESTAZIONI DIVERSE. ANALIZZA, CONFRONTA, APPLICA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

SISTEMI PNEUMATICI

PRINCIPI, COMPONENTI E USO DELL'ARIA COMPRESSA

L'aria compressa porta velocità e semplicità!

1 DEFINIZIONE E PRINCIPIO

- Un sistema pneumatico utilizza l'aria compressa come vettore di energia.
- La pressione dell'aria compressa viene trasformata in movimento meccanico lineare o rotativo.
- È una tecnologia semplice, affidabile e ampiamente diffusa nell'industria.

Dall'aria alla azione!



2 PERCHÉ USARLI

- Velocità di risposta elevata.
- Semplicità costruttiva e facilità di manutenzione.
- Ambiente di lavoro pulito.
- Sicuri anche in ambienti a rischio di esplosione (assenza di scintille).
- Peso ridotto dei componenti.
- Adatti a molti settori e condizioni operative.

Soluzioni semplici per grandi risultati!



3 COMPONENTI PRINCIPALI

- Compressore (genera l'aria compressa).
- Serbatoio (accumula e stabilizza la pressione).
- Filtri ed essiccatore (trattano l'aria).
- Regolatore di pressione.
- Lubrificatore (nei sistemi lubrificati).
- Valvole (direzionali, di controllo, logiche).
- Attuatori (cilindri, motori pneumatici).
- Tubazioni e raccordi.



4 PROPRIETÀ DELL'ARIA

- Comprimibile: la sua densità varia con la pressione.
- Pulita e disponibile ovunque.
- Elastica: può essere immagazzinata in serbatoi.
- Sensibile a temperatura, pressione e umidità.
- Può contenere vapore acqueo che genera condensa.



L'aria è leggera, ma fa muovere grandi cose!

Aria compressa

6 FLUIDO DI LAVORO

- Il fluido di lavoro è l'aria compressa, generalmente aria atmosferica filtrata e compressa.
- L'aria contiene umidità: durante la compressione si forma condensa che va rimossa con filtri ed essiccatori.
- È importante mantenere l'aria pulita, secca e adatta all'applicazione.
- La qualità dell'aria influenza l'efficienza, la durata dei componenti e l'affidabilità del sistema.



Aria pulita, impianto più affidabile!

5 SCHEMA DI UN IMPIANTO PNEUMATICO COMPLETO

DALLA GENERAZIONE DELL'ARIA ALL'UTILIZZO NEGLI ATTUATORI



7 VANTAGGI

- ✓ Velocità di movimento e cicli rapidi.
- ✓ Semplicità costruttiva.
- ✓ Facile installazione e manutenzione.
- ✓ Ambiente di lavoro pulito.
- ✓ Sicurezza (assenza di rischi elettrici).
- ✓ Componenti leggeri e compatti.
- ✓ Costi contenuti.
- ✓ Adatti ad ambienti difficili (atmosfera potenzialmente esplosive, alte temperature).



Veloci, affidabili, versatili!

8 APPLICAZIONI

- Macchine per il packaging.
- Linee di assemblaggio e pick-and-place.
- Macchine utensili e bloccaggi.
- Industria alimentare e farmaceutica.
- Sistemi di movimentazione e robotica.
- Automazione industriale e fine linea.
- Soffiaggio, espulsione, bloccaggio, sollevamento, posizionamento.



L'aria muove l'industria!

9 LIMITI E ATTENZIONI

- ✗ Forza inferiore rispetto ai sistemi idraulici.
- ✗ Comprimibilità dell'aria (minore rigidità e precisione).
- ✗ Possibili perdite di aria nei raccordi e nelle tenute.
- ✗ Rumore durante lo scarico dell'aria.
- ✗ Necessità di trattare e filtrare l'aria.
- ✗ Prestazioni influenzate da temperatura e umidità.
- ✗ Non sempre adatti per movimenti molto lenti e precisione elevata.



Controlla le perdite, mantieni l'efficienza!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- I sistemi pneumatici utilizzano l'aria compressa per ottenere movimenti rapidi, semplici e affidabili.
- Sono ideali per molte applicazioni industriali grazie alla loro versatilità e sicurezza.
- La corretta generazione, il trattamento e il controllo dell'aria sono fondamentali per garantire efficienza, durata e prestazioni.
- Conosci i componenti, progetta correttamente e mantieni il sistema: la semplicità dell'aria compressa è un grande vantaggio.

Piccoli grandi opportunità!



I SISTEMI PNEUMATICI TRASFORMANO L'ARIA COMPRESSA IN MOVIMENTO, RENDENDO L'AUTOMAZIONE PIÙ SEMPLICE, VELOCE E SICURA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PRESSIONE, PORTATA E CONSUMO D'ARIA

Capire queste grandezze significa capire tutto il circuito!

BAR, NI/min, FORZA, VELOCITÀ E RELAZIONI FONDAMENTALI

1 GRANDEZZE FONDAMENTALI

- **Pressione (p):** forza per unità di superficie.
- **Portata (Q):** quantità di aria che attraversa una sezione.
- **Volume (V):** quantità di aria contenuta in un recipiente.
- **Consumo d'aria:** aria utilizzata dal sistema (spesso in NI/min).
- **Forza (F):** forza generata dagli attuatori pneumatici.

Grandezze diverse, ma tutte collegate!



2 PRESSIONE

- La pressione è la forza per unità di superficie.
- Unità di misura: bar (più usata) e Pascal (Pa).
- 1 bar = 100.000 Pa = 0,1 MPa.
- Nel sistema pneumatico la pressione è generalmente tra 4 e 8 bar.

Formula

$$p = \frac{F}{A}$$

p = pressione (Pa o bar)
F = forza (N)
A = area (m²)



La pressione si misura con il manometro!

3 PORTATA E CONSUMO

- La portata (Q) è la quantità di aria che attraversa una sezione nell'unità di tempo.
- Unità di misura: L/min o NI/min (normalizzati a 1 bar e 20 °C).
- Il consumo d'aria è la portata utilizzata dal sistema (attuatori, valvole, perdite).
- Si usa NI/min per confrontare i consumi indipendentemente dalla pressione.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = portata (NI/min)
V = volume (l o NI)
t = tempo (min)

Il consumo influenza l'efficienza e i costi!

4 FORZA DEL CILINDRO

- La forza generata da un cilindro dipende dalla pressione e dall'area del pistone.
- Forza in avanzamento (spinta):

$$F_{\text{avan}} = p \cdot A_p$$

- Forza in ritorno (trazione):

$$F_{\text{rit}} = p \cdot (A_p - A_s)$$

p = pressione (Pa o bar)
A_p = area del pistone (m²)
A_s = area dello stelo (m²)



5 VELOCITÀ DELL'ATTUATORE

- La velocità del cilindro dipende dalla portata d'aria disponibile e dall'area del pistone.

$$v = \frac{Q}{A}$$

v = velocità (m/s)
Q = portata (m³/s o NI/min)
A = area (m²)

- Maggiore è la portata, maggiore è la velocità.



6 SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DI UN SISTEMA PNEUMATICO DALLA PRODUZIONE DELL'ARIA ALL'ATTUATORE



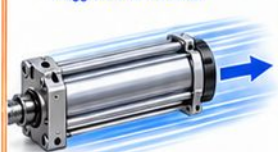
5 VELOCITÀ DELL'ATTUATORE

- La velocità del cilindro dipende dalla portata d'aria disponibile e dall'area del pistone.

$$v = \frac{Q}{A}$$

v = velocità (m/s)
Q = portata (m³/s o NI/min)
A = area (m²)

- Maggiore è la portata, maggiore è la velocità.



7 UNITÀ E CONVERSIONI

Grandezza	Unità	Conversioni utili
Pressione	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa 1 bar = 0,1 MPa
Portata	L/min	1 NI/min ≈ 1 L/min (a 1 bar e 20 °C)
Volume	litro (l)	1 m ³ = 1000 L 1 NI = 1 L (normalizzato)
Area	cm ²	1 cm ² = 10 ⁻⁴ m ²
Forza	Newton (N)	1 N = 1 kg · m/s ²
Velocità	m/s	1 m/s = 1000 mm/s



Usa sempre le unità corrette e verifica le conversioni!

8 PERDITE E CADUTE DI PRESSIONE

- L'aria perde pressione lungo tubazioni, raccordi, curve e componenti.
- Le principali cause di caduta di pressione:
 - Tubi di diametro insufficiente
 - Troppe curve e raccordi
 - Filtri sporchi
 - Valvole con passaggi ridotti
 - Lunghie distanze
 - Perdite (fughe) nel circuito



Minore pressione all'attuatore = minore forza e minore velocità!

9 COME LEGGERE MANOMETRI E MISURATORI

- Il manometro indica la pressione del circuito.
- I misuratori di portata indicano la portata istantanea o il consumo.
- Esistono versioni analogiche e digitali.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La pressione crea la forza.
- ✓ La portata determina la velocità.
- ✓ Il consumo d'aria influisce sull'efficienza e sui costi.
- ✓ Per un buon funzionamento è fondamentale scegliere correttamente i componenti e ridurre le perdite.
- ✓ Misurare e monitorare pressione e portata permette di ottimizzare il sistema.



I SISTEMI PNEUMATICI TRASFORMANO L'ENERGIA DELL'ARIA COMPRESSA IN LAVORO UTILE: PRESSIONE CREA FORZA, PORTATA CREA VELOCITÀ, IL CONSUMO DETERMINA L'EFFICIENZA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

COMPRESSORI E PRODUZIONE DELL'ARIA COMPRESSA

PISTONI, VITI, SERBATOI E PRESTAZIONI DELLA CENTRALE PNEUMATICA

Il compressore è il cuore della produzione d'aria!

1 RUOLO DEL COMPRESSORE

- Trasforma l'aria atmosferica in aria compressa aumentando la pressione.
- Fornisce l'energia pneumatica per azionare cilindri, valvole e componenti.
- Deve garantire continuità, affidabilità e qualità dell'aria.
- Elemento fondamentale della produttività aziendale.

Senza aria compressa non c'è automazione!



2 COMPRESSORI A PISTONI

- Funzionamento alternativo con pistoni e cilindri.
- Adatti a piccole e medie portate.
- Disponibili in versione monostadio o multistadio.
- Vantaggi: robusti, economici, semplici da mantenere.
- Limiti: funzionamento intermittente, più rumorosi, maggiori vibrazioni.



3 COMPRESSORI A VITE

- Funzionamento continuo con rotori a vite.
- Elevata portata e rendimento.
- Funzionamento silenzioso e con basse vibrazioni.
- Ideali per uso industriale e cicli continui.
- Vantaggi: alta efficienza, aria stabile, lunga durata.
- Limiti: costo maggiore, richiedono manutenzione specialistica.



4 ALTRE TECNOLOGIE

- Compressori scroll: compatti e silenziosi, per piccole portate.
- Compressori a palette: semplici e affidabili, per applicazioni leggere.
- Compressori centrifughi (turbo): per grandissime portate, uso industriale continuo.



5 SERBATOIO E RISERVA

- Il serbatoio (air receiver) accumula l'aria compressa.
- Stabilizza la pressione e riduce le pulsazioni.
- Funziona da riserva per i picchi di consumo.
- Favorisce la separazione della condensa.
- Dotato di valvola di sicurezza, manometro e scarico condensa.



6

STAZIONE DI PRODUZIONE DELL'ARIA SCHEMA DI UNA CENTRALE PNEUMATICA COMPLETA



7 PORTATA, PRESSIONE E POTENZA

- Portata (Q):** quantità di aria erogata, espressa in m³/h o l/min.
- Pressione di esercizio (p):** valore di lavoro, tipicamente 6-10 bar.
- Potenza assorbita (P):** dipende da portata e pressione, espressa in kW.
- Il rendimento varia in base alla tecnologia e alle condizioni di esercizio.

FORMULE UTILI (indicative)

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = portata (m³/h)
V = volume (m³)
t = tempo (h)

$$P \approx \frac{Q \cdot p}{600 \cdot \eta}$$

P = potenza (kW)
Q = portata (l/min)
p = pressione (bar)
η = rendimento

CONFRONTO TRA LE PRINCIPALI TECNOLOGIE

Caratteristica	Pistoni	Vite	Scroll	Palette	Centrifugo
Principio di funzionamento	Alternativo	Rotori a vite	Spirali	Palette rotanti	Centrifugo
Portata tipica	Bassa-Media	Media-Alta	Bassa	Bassa-Media	Molto alta
Pressione tipica	6-15 bar	6-13 bar	6-10 bar	6-10 bar	3-10 bar
Funzionamento	Intermittente	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo
Rumorosità	Alta	Bassa	Molto bassa	Media	Media
Rendimento	Medio	Alto	Medio	Medio	Alto
Costo iniziale	Basso	Medio-Alto	Medio	Medio	Alto
Applicazioni	Piccole e medie utenze	Industriali	Piccole utenze	Applicazioni leggere	Grandi impianti

Ogni tecnologia ha il suo campo d'impiego!

8 DIMENSIONAMENTO

- Valutare il fabbisogno d'aria delle utenze.
- Considerare il coefficiente di contemporaneità.
- Aggiungere un margine di riserva (20-30%).
- Scegliere la tecnologia più adatta al ciclo di lavoro.
- Considerare qualità dell'aria, rumorosità, spazio disponibile e costi di gestione.

Analizza, calcola, scegli la soluzione giusta!



9 GUASTI E MANUTENZIONE

- Suriscaldamento:** può ridurre il rendimento e danneggiare i componenti.
- Trascinamento d'olio:** dovuto a separatore inefficiente o usurato.
- Intasamento filtri:** riduce la portata e peggiora la qualità dell'aria.
- Perdite d'aria:** causano calo di pressione e aumento dei consumi.
- Condensa:** va scaricata regolarmente dal serbatoio e dai filtri.
- Manutenzione periodica:** controlli, sostituzione oli e filtri, verifica valvole.

La manutenzione mantiene efficiente il tuo impianto!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Una corretta produzione dell'aria compressa garantisce affidabilità, efficienza e qualità.
- Scegli la tecnologia adatta alle tue esigenze.
- Mantieni l'impianto in buone condizioni.
- Riduci gli sprechi e monitora i consumi.
- Aria di qualità = maggiore durata dei componenti e minori costi.

Aria compressa di qualità, più valore al tuo lavoro!

I SISTEMI PNEUMATICI TRASFORMANO L'ARIA IN ENERGIA PER UN'AUTOMAZIONE EFFICIENTE, AFFIDABILE E SOSTENIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

VALVOLE PNEUMATICHE

DIREZIONE, PRESSIONE E PORTATA: IL CONTROLLO DEL CIRCUITO

Le valvole decidono dove va l'aria!

1 RUOLO DELLE VALVOLE

- Controllano la direzione, la pressione e la portata dell'aria compressa.
- Permettono di avviare, arrestare e governare gli attuatori.
- Rendono il circuito sicuro, efficiente e affidabile.
- La scelta corretta migliora prestazioni, consumi e durata del sistema.

Piccoli componenti, grandi risultati!



2 VALVOLE DIREZIONALI

- Commutano il percorso dell'aria tra le varie connessioni.
- Si identificano con due numeri: vie/posizioni (es. 3/2).
- Possono essere azionate in diversi modi (manuale, meccanico, pneumatico, elettromagnetico).

TIPI PRINCIPALI E SIMBOLI

2/2 (2 vie, 2 posizioni)		
3/2 (3 vie, 2 posizioni)		
5/2 (5 vie, 2 posizioni)		
5/3 (5 vie, 3 posizioni)		

3 VALVOLE DI PRESSIONE

- Regolano, limitano o scaricano la pressione nel circuito.
- Proteggono i componenti e garantiscono la sicurezza.
- Mantengono stabile la pressione di lavoro.

TIPI PRINCIPALI

Riduttrice di pressione	
Valvola di massima (sicurezza)	
Scarico rapido	

4 VALVOLE DI PORTATA

- Regolano la quantità di aria che attraversa il circuito.
- Consentono di controllare la velocità degli attuatori.
- Possono essere unidirezionali (con valvola di non ritorno) o bidirezionali.

TIPI PRINCIPALI

Strozzatore regolabile	
Regolatore di flusso unidirezionale	

Controlla la velocità, migliora la precisione!

5 SIMBOLOGIA PNEUMATICA DI BASE

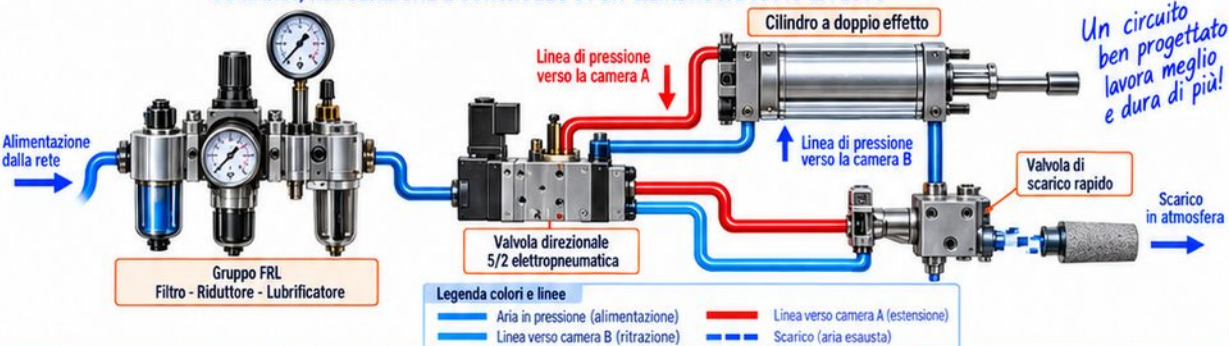
- La simbologia normalizzata (ISO 1219) permette di leggere e progettare i circuiti pneumatici.
- Ogni valvola è rappresentata da riquadri con vie, posizioni, attacchi e azionamenti.
- Conoscere i simboli è essenziale per analizzare e risolvere problemi.

SIMBOLI COMUNI

	2/2 valvola normalmente chiusa
	3/2 valvola normalmente aperta
	5/2 valvola monostabile
	Valvola di ritegno
	Strozzatore regolabile
	Riduttore di pressione
	Valvola di scarico rapido

6 SCHEMA DI UN CIRCUITO PNEUMATICO

COMANDI, REGOLAZIONE E CONTROLLO DI UN CILINDRO A DOPPIO EFFETTO



Un circuito ben progettato lavora meglio e dura di più!

7 AZIONAMENTI

- Le valvole possono essere azionate in diversi modi, in base all'applicazione.
- Ogni azionamento ha vantaggi specifici in termini di velocità, forza, affidabilità e controllo.

TIPI DI AZIONAMENTO



8 APPLICAZIONI

- Le valvole pneumatiche sono utilizzate in moltissimi settori industriali.
- Consentono di automatizzare movimenti, sequenze e cicli di lavoro.
- La scelta corretta aumenta produttività, sicurezza e affidabilità.
- Esempi tipici:
 - Serraggio e bloccaggio pezzi
 - Sequenze di movimentazione
 - Controllo della velocità degli attuatori
 - Sistemi di sicurezza (emergenza)
 - Espulsione e separazione pezzi
 - Automazione di macchine e linee



9 GUASTI E MALFUNZIONAMENTI

- Un malfunzionamento può compromettere tutto il sistema. È importante saper riconoscere le cause e intervenire.

PROBLEMA	POSSIBILI CAUSE	SOLUZIONI
La valvola non commuta	Bobina guasta Segnale assente Spola bloccata	Verificare alimentazione Controllare bobina Pulire o sostituire
Perdite d'aria	Guarnizioni usurate Raccordi allentati Corpo danneggiato	Sostituire guarnizioni Serrare i raccordi Controllare il corpo
Commutazione lenta o difficoltosa	Pressione insufficiente Contaminazione Scarico ostruito	Verificare pressione Pulire il componente Controllare lo scarico
Regolazione instabile	Taratura errata Valvola sporca Vibrazioni	Ricalibrare Pulire la valvola Fissare correttamente
Rumorosità eccessiva	Scarico diretto Senza silenziatore Usura componenti	Installare silenziatore Controllare lo stato della valvola



Mantenimento regolare e aria pulita evitano problemi!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le valvole pneumatiche sono essenziali per controllare movimenti, forze e sequenze negli impianti industriali.
- Conoscere i tipi, i simboli e le applicazioni permette di progettare e risolvere problemi con maggiore efficacia.
- Una corretta scelta, installazione e manutenzione garantisce:
 - ✓ Sicurezza
 - ✓ Affidabilità
 - ✓ Efficienza energetica
 - ✓ Minori fermi macchina
 - ✓ Maggiore vita utile

La conoscenza delle valvole fa la differenza!



LE VALVOLE PNEUMATICHE RENDONO I SISTEMI FLESSIBILI, SICURI ED EFFICIENTI: SCEGLI, ANALIZZA, APPLICA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ATTUATORI PNEUMATICI

Qui l'aria compressa diventa azione!

CILINDRI, ATTUATORI ROTANTI, PINZE E CONVERSIONE DELLA PRESSIONE IN MOVIMENTO

1 DEFINIZIONE

- Gli attuatori pneumatici convertono l'energia dell'aria compressa in movimento meccanico.
- Possono generare movimenti lineari, rotanti o di presa.
- Sono robusti, affidabili, economici e adatti ad ambienti gravosi.
- Ampio utilizzo nell'automazione industriale.

Energia pneumatica in movimento!



2 CILINDRI A SEMPLICE E DOPPIO EFFETTO

- **Semplice effetto:** l'aria agisce in un solo senso, il ritorno avviene con molla.
- **Doppio effetto:** l'aria agisce in entrambi i sensi per estensione e rientro.
- Disponibili in diverse versioni e dimensioni secondo le norme ISO (ISO 15552, ISO 6432).



Semplice effetto (con molla di ritorno)



Doppio effetto

3 CILINDRI SENZA STELO E SPECIALI

- **Cilindri senza stelo:** movimenti lineari lunghi con ingombri ridotti.
- Cilindri compatti, a guida integrata, tandem, multistadio e antirrotazione.
- Soluzioni speciali per ambienti difficili, alte temperature o applicazioni specifiche.



Cilindro senza stelo (a trascinamento magnetico)



Cilindro compatto

Cilindro tandem

4 ATTUATORI ROTANTI E MOTORI PNEUMATICI

- Attuatori rotanti a palette o a pignone-cremagliera (per movimenti angolari).
- Motori pneumatici per rotazione continua ad alta velocità.
- Compatti, leggeri e adatti ad ambienti gravosi.



Attuatore rotante (a pignone-cremagliera)



Motore pneumatico a palette

5 FORZA, VELOCITÀ E CORSA

- La forza generata dipende dalla pressione e dall'area del pistone.
- La velocità dipende dalla portata d'aria.
- La corsa è la distanza di movimento dell'attuatore.
- È importante considerare i carichi, gli attriti e le perdite di carico.

FORMULE PRINCIPALI

$$F = p \cdot A$$

F = forza (N)
p = pressione (Pa)
A = area (m²)

$$v = \frac{Q}{A}$$

v = velocità (m/s)
Q = portata (m³/s)
A = area (m²)

Più pressione, più forza!

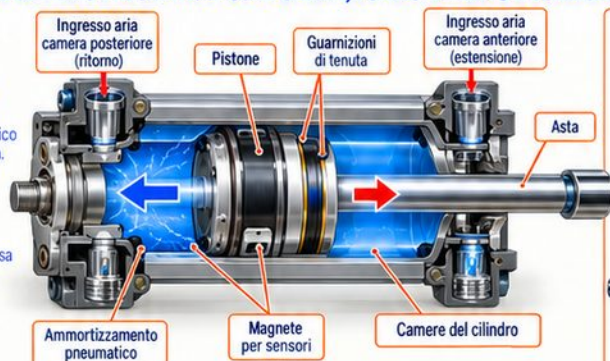
6

STRUTTURA E FUNZIONAMENTO

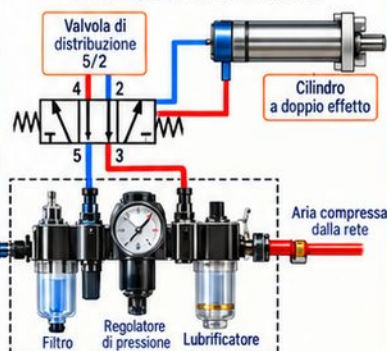
IL CILINDRO PNEUMATICO: COMPONENTI, FUNZIONAMENTO E COLLEGAMENTO ALL'IMPIANTO

- L'aria compressa entra nelle camere del cilindro, spingendo il pistone e generando il movimento.
- Le guarnizioni garantiscono la tenuta tra le camere.
- L'ammortizzamento pneumatico rallenta il pistone a fine corsa.
- I sensori magnetici rilevano la posizione.
- Il cilindro è collegato a una valvola di distribuzione e all'impianto di aria compressa tramite unità di trattamento.

Tecnologia semplice, grandi risultati!



COLLEGAMENTO ALL'IMPIANTO



7 CONTROLLO DEL MOTO E AMMORTIZZAMENTO

- La velocità si regola con regolatori di flusso.
- L'ammortizzamento pneumatico evita urti a fine corsa.
- Sono disponibili deceleratori idraulici per carichi elevati.
- Il controllo del moto migliora la precisione e la durata dell'attuatore.



Regolatore di flusso unidirezionale

Deceleratore idraulico

8 APPLICAZIONI

- Movimentazione e pick & place.
- Serraggio e bloccaggio pezzi.
- Assemblaggio e confezionamento.
- Applicazioni nel settore automotive, alimentare, farmaceutico e robotico.



Assemblaggio

Imballaggio

9 GUASTI TIPICI

- ✗ Perdite d'aria (guarnizioni, raccordi, tubazioni).
- ✗ Forza insufficiente (pressione bassa, perdite).
- ✗ Movimenti irregolari (stick-slip).
- ✗ Usura di guarnizioni e guide.
- ✗ Contaminazione da sporco o umidità.
- ✗ Ammortizzamento non efficace.
- ✗ Sensori non funzionanti.
- ✗ Allineamento scorretto.

Prevenire i guasti aumenta l'affidabilità!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Gli attuatori pneumatici sono una soluzione efficace, versatile ed economica per trasformare l'aria compressa in lavoro meccanico.
- La scelta corretta dell'attuatore, il controllo del moto e una buona manutenzione garantiscono prestazioni elevate e lunga durata.
- Conoscere principi, componenti e applicazioni permette di progettare sistemi affidabili, sicuri ed efficienti.

L'aria compressa muove le tue idee verso il futuro!



GLI ATTUATORI PNEUMATICI TRASFORMANO L'ARIA COMPRESSA IN MOVIMENTO. SCEGLI, APPLICA, CONTROLLA, OTTieni RISULTATI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CIRCUITI PNEUMATICI FONDAMENTALI

COMANDO DIRETTO, INDIRETTO, LOGICA E SEQUENZE NELLE APPLICAZIONI REALI

Stessi componenti,
soluzioni diverse!

1 CIRCUITO BASE

- Fonte di aria compressa
- Gruppo di trattamento (FRL)
- Valvola di comando
- Attuatore (cilindro)



2 COMANDO DIRETTO

- Una valvola manuale comanda direttamente l'attuatore.
- Soluzione semplice ed economica.
- Ideale per piccole applicazioni.



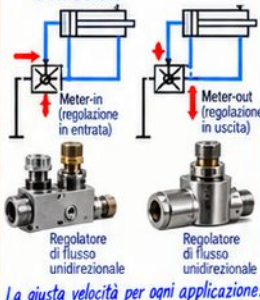
3 COMANDO INDIRETTO

- Una valvola di piccolo comando (pilota) aziona una valvola principale.
- Permette di comandare attuatori potenti con segnali di piccola potenza.
- Utilizzato nei sistemi automatici.



4 CONTROLLO DELLA VELOCITÀ

- Regolazione della velocità con regolatori di flusso.
- Meter-in: regola in entrata.
- Meter-out: regola in uscita (più stabile).
- Consente movimenti fluidi e controllati.



5 SCARICO RAPIDO E CICLI VELOCI

- La valvola di scarico rapido riduce la contropressione sullo scarico.
- Aumenta la velocità dell'attuatore.
- Utilizzata in cicli rapidi e con carichi leggeri.



6 PANORAMICA DEI PRINCIPALI CIRCUITI

SCHEMI ESSENZIALI A CONFRONTO PER CAPIRE LE DIFFERENZE E LE APPLICAZIONI

	CIRCUITO BASE	COMANDO DIRETTO	COMANDO INDIRETTO	CONTROLLO DELLA VELOCITÀ
Complessità	Bassa	Bassa	Media	Media
Costo	Basso	Basso	Medio	Medio
Velocità di risposta	Media	Alta	Alta	Regolabile
Potenza comandabile	Media	Limitata	Elevata	Media
Applicazioni tipiche	Applicazioni generali	Piccoli attuatori, comandi manuali	Sistemi automatici, attuatori grandi	Movimenti precisi e controllati

7 LOGICA PNEUMATICA

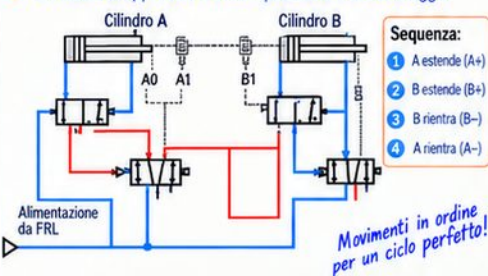
- Le valvole logiche consentono di realizzare funzioni logiche senza elettricità.
- Valvola AND (due pressioni): uscita solo se entrambi i segnali sono presenti.
- Valvola OR (selettore): uscita se uno dei segnali è presente.
- Elemento di memoria: mantiene il segnale (in bistabile pneumatico).

VALVOLA AND (dual pressure)	VALVOLA OR (selettore)	MEMORIA (bistabile)
Uscita $A \wedge B$	Uscita $A \vee B$	Uscita Memoria
Valvola AND	Valvola OR	Valvola bistabile

Logica, sequenze e memoria... solo con l'aria!

8 SEQUENZA DI MOVIMENTI

- Esempio con due cilindri in sequenza: A+ B+ B- A-.
- Realizzata con valvole di finecorsa, temporizzatori o sequenziatori pneumatici.
- Utilizzata in applicazioni di manipolazione e assemblaggio.



9 ESEMPI APPLICATIVI

- I circuiti pneumatici sono utilizzati in moltissimi settori industriali grazie alla loro semplicità e affidabilità.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Conoscere i circuiti pneumatici di base permette di progettare soluzioni semplici, sicure ed efficienti.
- La scelta del circuito dipende da: forza, velocità, precisione, costo e condizioni di lavoro.
- Gli stessi componenti possono essere configurati in modi diversi per ottenere funzioni differenti.
- Studia gli schemi, analizza le applicazioni e sperimenta: la pneumatica è un alleato prezioso nell'ingegneria meccanica!



I SISTEMI PNEUMATICI TRASFORMANO L'ARIA COMPRESSA IN MOVIMENTO AFFIDABILE, SEMPLICE E VERSATILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ELETTROPNEUMATICA

ELETTROVALVOLE, SENSORI, PLC E AUTOMAZIONE DEI MOVIMENTI

Quando elettrico e pneumatico lavorano insieme nasce l'automazione!

1 CHE COS'È L'ELETTROPNEUMATICA

- Integrazione tra comandi elettrici/elettronici e attuatori pneumatici.
- Permette di automatizzare movimenti, cicli e processi industriali.
- Unisce la semplicità e la potenza dell'aria compressa con la flessibilità del controllo elettrico.
- È alla base delle moderne macchine automatiche.

Ideale per movimenti veloci, sicuri e affidabili!



2 ELETTROVALVOLE

- Trasformano un segnale elettrico in un comando pneumatico.
- Composte da una bobina elettrica, da un pilotaggio e dal corpo valvola.
- Possono essere mono-stabili (ritorno a molla) o bi-stabili (doppia bobina).
- Disponibili in diverse vie (3/2, 5/2, 5/3) e taglie.



3 SENSORI

- Rilevano posizioni, presenze, pressioni e altre grandezze.
- Sensori magnetici (reed) per cilindri con magnete.
- Sensori induttivi per parti metalliche.
- Sensori fotoelettrici per oggetti senza contatto.
- Pressostati per il controllo della pressione.



4 PLC E SEGNALI

- Il PLC gestisce la logica di funzionamento dell'impianto.
- Legge i segnali dai sensori (ingressi).
- Elabora il programma e comanda le elettrovalvole (uscite).
- Permette di gestire sequenze, temporizzazioni, conteggi e condizioni di sicurezza.
- È flessibile, modificabile e adatto a diverse applicazioni.



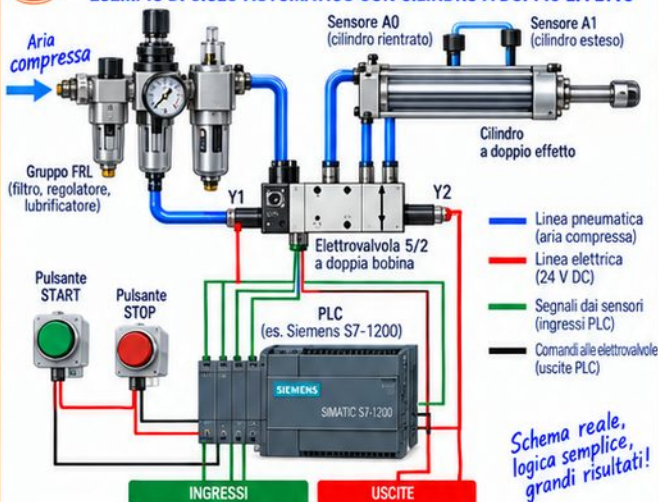
5 CABLAGGIO E ALIMENTAZIONE

- Alimentazione tipica 24 V DC per elettrovalvole, sensori e PLC.
- Uso di connettori standard (M12, DIN, morsettiere).
- Cablatura ordinata con canaline e identificazione dei cavi.
- Protezione da sovracorrenti e inversioni di polarità.
- Rispetto delle norme di sicurezza e compatibilità elettromagnetica (EMC).



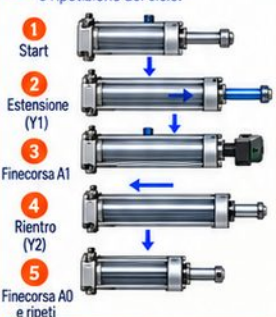
6 SCHEMA ELETTROPNEUMATICO

ESEMPIO DI CICLO AUTOMATICO CON CILINDRO A DOPPIO EFFETTO



7 SEQUENZE AUTOMATICHE

- Avvio ciclo (pulsante START o segnale).
- Estensione del cilindro (comando elettrovalvola Y1).
- Rilevazione finecorsa esteso (A1).
- Rientro del cilindro (comando elettrovalvola Y2).
- Rilevazione finecorsa rientrato (A0) e ripetizione del ciclo.



8 SICUREZZA E INTERBLOCCHI

- Pulsante di emergenza (arresto immediato).
- Valvole di scarico rapido e messa in sicurezza.
- Interblocchi con porte e ripari mobili.
- Controllo della pressione e monitoraggio dei guasti.
- Rispetto delle normative (ISO 13849, IEC 60204).



9 APPLICAZIONI

- Pick-and-place e movimentazione pezzi.
- Macchine di confezionamento e imballaggio.
- Linee di assemblaggio automatico.
- Sistemi di smistamento e selezione.
- Stazioni di lavoro e celle robotizzate.



L'elettropneumatica al servizio dell'industria moderna!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- L'elettropneumatica permette di realizzare automazioni flessibili, veloci e sicure.
- La corretta scelta e integrazione di componenti elettrici, pneumatici e software è fondamentale.
- Un buon progetto semplifica la manutenzione e aumenta l'affidabilità.
- Studia i principi, analizza gli schemi e applica su casi reali.

Idee, competenze e integrazione per costruire il futuro!



L'ELETTROPNEUMATICA RENDE LE MACCHINE PIÙ INTELLIGENTI, SICURE ED EFFICIENTI



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

TRATTAMENTO E DISTRIBUZIONE DELL'ARIA

FILTRI, ESSICCATORI, CONDENSA, RETE E GRUPPI FRL

*Aria pulita =
impianto affidabile!*

1 PERCHÉ TRATTARE L'ARIA

- Aumenta l'affidabilità dei componenti.
- Riduce usura, guasti e fermi impianto.
- Migliora la qualità del lavoro e del prodotto.
- Prolunga la vita di valvole, attuatori e utensili.
- Evita corrosione nelle tubazioni e nei componenti.
- Garantisce aria conforme alle norme (es. ISO 8573-1).

*Aria trattata
= costi più bassi
e maggiore
produttività!*

2 CONTAMINANTI

Nell'aria compressa sono presenti diversi contaminanti:

- **Polvere e particelle solide** (dall'ambiente e dal compressore)
- **Acqua** (vapore e gocce di condensa)
- **Olio** (dalla lubrificazione del compressore)
- **Ruggine** e scaglie metalliche (dalle tubazioni)



3 FILTRAZIONE

Rimuove le particelle solide, l'acqua e l'olio dall'aria compressa in più stadi.

- **Prefiltro:** trattiene le particelle grosse (es. 5-25 micron).
- **Filtro coalescente:** unisce le micro-gocce d'olio che vengono poi scaricate.
- **Microfiltro:** rimuove le particelle molto fini (es. 0,01 micron).



4 ESSICCAZIONE

Rimuove il vapore acqueo dall'aria compressa.

- **Essiccatore a refrigerazione:** raffredda l'aria (3-5 °C) e condensa l'acqua.
- **Essiccatore ad adsorbimento:** usa materiali essiccanti (setacci molecolari).
- **Punto di rugiada (dew point):** temperatura alla quale il vapore inizia a condensare.



5 GRUPPO FRL

Unisce le tre funzioni principali prima dell'utilizzo:

- **Filtro:** trattiene impurità e condensa residua.
- **Regolatore:** mantiene la pressione costante.
- **Lubrificatore:** immette olio nebulizzato per componenti che lo richiedono.



*Un FRL ben regolato
allunga la vita dei componenti!*

6 PERCORSO DELL'ARIA TRATTATA

DAL COMPRESSORE ALL'UTILIZZO: UN IMPIANTO COMPLETO



*Dal compressore
alla macchina:
aria pulita, efficiente, sicura!*

7 RETE DI DISTRIBUZIONE

Una buona rete garantisce pressione stabile e aria di qualità.

- **Anello chiuso:** maggiore affidabilità e pressione uniforme.
- **Linea ramificata:** soluzione più economica per piccoli impianti.
- **Pendenza delle tubazioni:** 1-2% verso i punti di scarico.
- **Scarichi di condensa** nei punti bassi.
- **Limitare curve e restringimenti** per ridurre le perdite di carico.



8 GESTIONE DELLA CONDENSA

La condensa contiene acqua, olio e impurità: va rimossa e smaltita correttamente.

- **Scaricatori automatici** (temporizzati, a galleggiante, elettronici).
- **Separatori olio/acqua.**
- Raccolta e smaltimento secondo le normative ambientali.
- Controllo periodico del corretto funzionamento.



9 PROBLEMI TIPICI E SOLUZIONI

I principali problemi e come risolverli.

Problema	Soluzione
Caduta di pressione	• Verifica filtri, essiccatore e tubazioni. • Rimuovi ostacoli e riduci curve. • Controlla dimensionamento.
Aria umida (presenza di condensa)	• Controlla funzionamento dell'essiccatore. • Verifica scarichi di condensa. • Aumenta il punto di rugiada.
Aria sporca (particelle e olio)	• Sostituisci i filtri. • Controlla il compressore. • Verifica tenuta della rete.
Filtro intasato	• Sostituisci l'elemento filtrante. • Verifica la qualità dell'aria in ingresso. • Controlla gli scarichi di condensa.

*Un piccolo problema risolto oggi
evita un grande fermo domani!*

10 MESSAGGIO CHIAVE

- L'aria compressa pulita, secca e correttamente regolata è la base di un impianto efficiente.
- Il trattamento e la distribuzione dell'aria sono un investimento, non un costo.
- Una corretta manutenzione garantisce continuità di servizio, qualità del prodotto e sicurezza.
- Segui le buone pratiche e le norme (es. ISO 8573-1).
- Progetta oggi un impianto scalabile, efficiente e sostenibile.

*Aria di qualità oggi,
maggiori risultati domani!*

I SISTEMI PNEUMATICI TRASFORMANO L'ARIA IN LAVORO UTILE, MA SOLO CON UN CORRETTO TRATTAMENTO GARANTISCONO PRESTAZIONI, DURATA E SICUREZZA.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CONFRONTO TRA SOLUZIONI PNEUMATICHE

COMANDO DIRETTO, INDIRETTO, ELETTROPNEUMATICO E SISTEMI A VUOTO

Confrontare aiuta a scegliere la soluzione giusta!

1 PERCHÉ CONFRONTARLE

- Stesso obiettivo, soluzioni diverse
- Prestazioni, costi e complessità differenti
- Ogni applicazione ha requisiti specifici
- Aiuta a scegliere la soluzione più efficiente, sicura ed economica
- Evita errori di progettazione e sovradimensionamenti



Non esiste la soluzione migliore in assoluto!

2 COMANDO DIRETTO

- Azionamento manuale della valvola
- Controllo locale e semplice
- Pochi componenti
- Soluzione economica
- Ideale per movimenti semplici e applicazioni base



Semplice, affidabile e conveniente!

3 COMANDO INDIRETTO

- Valvola principale azionata da un segnale di pilotaggio
- Maggiore flessibilità
- Permette il controllo di attuatori più grandi
- Possibilità di logiche e funzioni pneumatiche
- Adatto a cicli automatici semplici



Più potenza con il segnale di pilotaggio!

4 ELETTROPNEUMATICA

- Valvole elettropneumatiche comandate da PLC o sensori
- Alta automazione e ripetitività
- Facile integrazione con sistemi di controllo
- Adatta a macchine e linee automatiche
- Possibilità di diagnosi e monitoraggio



Automazione, controllo e affidabilità!

5 SISTEMI A VUOTO

- Generazione del vuoto con eiettori Venturi o pompe
- Ventose per la presa dei pezzi
- Ideale per movimentazione di materiali leggeri e fragili
- Soluzione efficace per pick and place
- Disponibili ventose di varie forme e materiali



Leggerezza, precisione, grande versatilità!

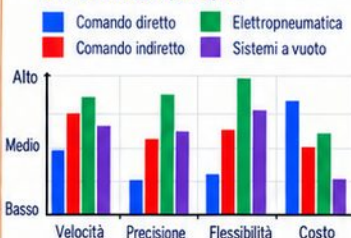
6 CONFRONTO VISIVO DELLE CONFIGURAZIONI

STESSO OBIETTIVO, SOLUZIONI DIVERSE PER ESIGENZE DIVERSE

CRITERIO	COMANDO DIRETTO	COMANDO INDIRETTO	ELETTROPNEUMATICA	SISTEMI A VUOTO
Schema semplificato				
Componenti tipici	• Valvola 3/2 manuale • Attuatore pneumatico • Raccordi e tubi	• Valvola principale 5/2 • Valvola di pilotaggio 3/2 • Unità di trattamento aria	• Elettrovalvola 5/2 • Sensori e finecorsa • PLC e cablaggio • Unità di trattamento aria	• Eiettori Venturi o pompa • Ventose • Valvole per vuoto • Sensori di vuoto • Filtri e silenziatori
Applicazioni tipiche	• Movimenti semplici • Comando locale • Attrezzature manuali	• Cicli automatici semplici • Attuatori di media e grande taglia	• Macchine e linee automatiche • Impianti complessi	• Pick and place • Movimentazione lamiera, plastica, vetro, cartone • Robot e manipolatori
Precisione	Bassa	Media	Alta	Media-Alta
Complessità	Bassa	Media	Alta	Media
Costo iniziale	Basso	Medio	Medio-Alto	Medio
Efficienza energetica	Buona	Buona	Media	Media
Tempo di risposta	Rapido	Rapido	Molto rapido	Molto rapido
Esempio applicativo				
	Cilindro con valvola manuale	Cilindro con valvola pilotata	Linea automatica con PLC	Pick and place a vuoto

7 RENDIMENTO E CAMPO D'USO

- Ogni soluzione offre un diverso bilanciamento tra prestazioni e costi.
- La scelta dipende da velocità, precisione, flessibilità e budget.
- Il grafico aiuta a confrontare rapidamente le caratteristiche principali.



Valuta le prestazioni in base alle tue esigenze!



8 VANTAGGI E LIMITI

Soluzione	✓ Principali vantaggi	✗ Principali limiti
Comando diretto	✓ Semplice ed economico ✓ Affidabile ✓ Controllo locale	✗ Funzionalità limitate ✗ Non adatto ad alti cicli ✗ Nessuna automazione
Comando indiretto	✓ Maggiore flessibilità ✓ Adatto ad attuatori grandi ✓ Logiche pneumatiche	✗ Più componenti ✗ Costo maggiore ✗ Richiede aria pulita
Elettropneumatica	✓ Alta automazione ✓ Integrazione con PLC ✓ Diagnosi e controllo	✗ Costo più elevato ✗ Maggiore complessità ✗ Richiede personale qualificato
Sistemi a vuoto	✓ Ideale per materiali leggeri ✓ Rapido e versatile ✓ Ampia gamma di applicazioni	✗ Non adatto a carichi pesanti ✗ Sensibile alle perdite ✗ Richiede aria compressa pulita e filtrata

9 SCELTA NELLA PRATICA

- Analizza il tipo di applicazione e il materiale da movimentare
- Definisci i requisiti di forza, velocità, precisione e ciclo di lavoro
- Valuta l'ambiente di lavoro e i vincoli di spazio
- Confronta i pro e i contro di ogni soluzione
- Scegli la configurazione più adatta e verifica i costi di esercizio



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Non esiste una soluzione universale: la scelta dipende dall'applicazione specifica.
- Confrontare aiuta a trovare il giusto equilibrio tra prestazioni, costi e complessità.
- I sistemi pneumatici offrono soluzioni affidabili, flessibili e adatte a moltissimi ambiti industriali.
- Una corretta valutazione porta a impianti più efficienti, sicuri e competitivi.

La soluzione giusta aumenta la produttività!

I SISTEMI PNEUMATICI TRASMETTONO E CONTROLLANO L'ENERGIA CON ARIA COMPRESSA, OFFRENDO SOLUZIONI SEMPLICI E VERSATILI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GUASTI, PERDITE E MANUTENZIONE DEI SISTEMI PNEUMATICI

*L'aria che
perde è energia
che si spreca!*

DIAGNOSI, EFFICIENZA, SICUREZZA E PREVENZIONE

1 SINTOMI COMUNI

- Movimenti lenti o irregolari
- Forza ridotta dell'attuatore
- Perdite d'aria udibili
- Rumori anormali (sibili)
- Calo di pressione nel circuito
- Cicli incompleti
- Surriscaldamento componenti



2 CAUSE RADICE

- Contaminazione da particelle
- Presenza di umidità e condensa
- Usura di guarnizioni e tenute
- Errata regolazione dei parametri
- Sottodimensionamento dei componenti
- Installazione scorretta
- Mancata manutenzione



3 PERDITE D'ARIA

- Raccordi e giunzioni allentati
- Tubi e manicotti danneggiati
- Raccordi rapidi usurati
- Guarnizioni dei cilindri
- Valvole e distributori
- Microperdite difficili da rilevare
- Installazione non corretta



4 CONTAMINAZIONE E CONDENSA

- Acqua nel circuito (condensa)
- Olio e nebbie d'olio
- Particelle solide (polvere, ruggine)
- Mancanza di filtrazione
- Scaricatori di condensa inefficienti
- Degrado dei componenti
- Corrosione e blocchi



5 METODO DIAGNOSTICO

- Ispezione visiva del circuito
- Ascolto dei rumori (sibili)
- Misura della pressione
- Verifica della portata d'aria
- Test con acqua saponata
- Uso di rilevatori ad ultrasuoni
- Analisi dei dati e confronto



6 DAL SINTOMO ALLA SOLUZIONE UN METODO PRATICO PER IDENTIFICARE, ANALIZZARE E RISOLVERE I PROBLEMI

1 SINTOMO

- Identifica il problema
- Descrivi quando si verifica
- Raccogli informazioni
- Osserva il comportamento

ESEMPIO:
"Il cilindro si muove lentamente e non raggiunge la fine corsa"



2 CONTROLLO

- Verifica pressione e portata
- Controlla FRL e valvole
- Ispeziona raccordi e tubi
- Valuta eventuali perdite
- Controlla lo stato dei componenti



3 DIAGNOSI

- Individua la causa radice
- Confronta con dati nominali
- Verifica contaminazione e condensa
- Analizza usura e tenute
- Valuta regolazioni e dimensionamento



4 SOLUZIONE

- Ripristina o sostituisci il componente
- Elimina le perdite
- Pulisci e asciuga il circuito
- Regola la pressione corretta
- Verifica il corretto funzionamento



7 CONTROLLI DI BASE

- ✓ Stato dei filtri (puliti e integri)
- ✓ Regolazione del riduttore di pressione
- ✓ Livello di lubrificazione (se presente)
- ✓ Funzionamento degli scaricatori di condensa
- ✓ Verifica di tubi, raccordi e tenute
- ✓ Assenza di perdite d'aria
- ✓ Controllo della pressione di esercizio
- ✓ Pulizia generale dell'impianto



8 MANUTENZIONE PREVENTIVA

- ✓ Sostituzione periodica dei filtri
- ✓ Controllo e pulizia degli scaricatori di condensa
- ✓ Ispezione di tubi e raccordi
- ✓ Verifica dello stato di guarnizioni e tenute
- ✓ Pulizia dei componenti e dell'ambiente
- ✓ Controllo della lubrificazione (se prevista)
- ✓ Verifica delle valvole e dei distributori
- ✓ Registrazione degli interventi su registro
- ✓ Analisi periodica dell'efficienza del sistema

La manutenzione tiene il tuo impianto efficiente!



9 SICUREZZA E FERMATA IMPIANTO

- Segui le procedure di Lockout/Tagout (LOTO)
- Scarica la pressione residua prima di intervenire
- Isola e disattiva le fonti di alimentazione
- Indossa i DPI (occhiali, guanti, tappi auricolari)
- Verifica l'assenza di pressione
- Lavora in sicurezza e secondo le istruzioni
- Dopo la manutenzione, esegui test di funzionalità



*Scarica la pressione residua!
La sicurezza prima di tutto!*

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Individuare e risolvere le perdite aumenta l'efficienza e riduce i costi.
- La manutenzione preventiva evita guasti e fermi impianto.
- Un sistema pneumatico pulito, asciutto e ben regolato dura più a lungo.
- La sicurezza è essenziale durante gli interventi di manutenzione.
- Conoscenza, metodo e controlli regolari trasformano i problemi in soluzioni.

Meno perdite, più efficienza, più competitività!



I SISTEMI PNEUMATICI EFFICIENTI GARANTISCONO PRODUTTIVITÀ, SICUREZZA E DURATA NEL TEMPO



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

REFRIGERAZIONE E CLIMATIZZAZIONE

PRINCIPI, COMFORT TERMICO, CICLI E APPLICAZIONI

Togliere calore significa controllare comfort e conservazione!

1 DEFINIZIONE

- La refrigerazione è il processo che preleva calore da un ambiente a bassa temperatura e lo cede a un ambiente a temperatura più alta, tramite apporto di lavoro esterno.
- Permette di mantenere una temperatura inferiore a quella dell'ambiente circostante.

Il calore non scompare, si sposta!



2 OBIETTIVI

- Conservazione di alimenti, farmaci e prodotti sensibili alla temperatura.
- Comfort termico negli ambienti civili e industriali.
- Raffreddamento di processi industriali e macchinari.
- Controllo dell'umidità dell'aria.



Più qualità, più sicurezza, più benessere!

3 GRANDEZZE CHIAVE

- Temperatura (T):** livello termico dell'ambiente e del fluido frigorifero.
- Pressione (p):** varia lungo il ciclo.
- Calore (Q):** energia termica scambiata [kJ].
- Potenza frigorifera ($\dot{Q}_f$):** capacità di rimuovere calore [kW].
- COP (Coefficient of Performance):** rapporto tra potenza frigorifera e lavoro elettrico assorbito.

$$COP = \frac{\dot{Q}_f}{W_e}$$

Più alto è il COP, più efficiente è l'impianto!

4 REFRIGERAZIONE vs CLIMATIZZAZIONE

REFRIGERAZIONE	CLIMATIZZAZIONE
- Obiettivo: mantenere una bassa temperatura. - Applicazioni: celle frigo, conservazione alimenti, processi industriali. - Temperature tipiche: da +10 °C a -40 °C.	- Obiettivo: comfort termoisolmetrico. - Applicazioni: ambienti civili, uffici, industrie. - Temperature tipiche: 20-26 °C. - Controllo di temperatura, umidità e qualità dell'aria.

Stessi principi, obiettivi diversi!



5 COMFORT TERMOISOLMETRICO

- Condizioni ambientali che garantiscono benessere fisico e produttività.
- Temperatura ideale:** 20-26 °C (inverno 20-22 °C, estate 24-26 °C).
- Umidità relativa:** 40-60%.
- Velocità dell'aria:** 0,1-0,3 m/s.
- Altri fattori:** qualità dell'aria, assenza di correnti, radiazione termica.

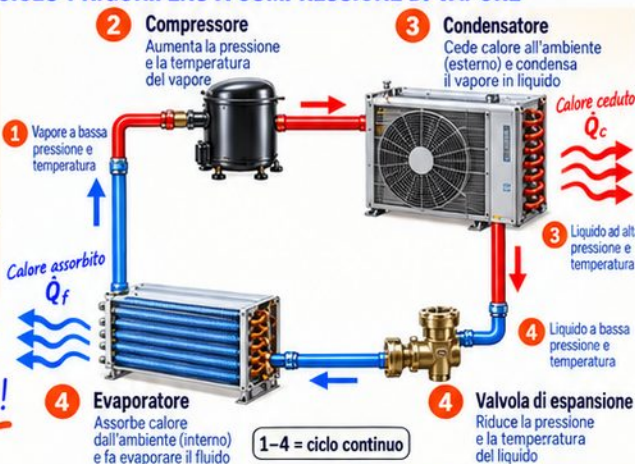


Comfort = benessere e produttività!

6 SCHEMA DI UN IMPIANTO BASE

IL CICLO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE DI VAPORE

Il fluido frigorifero assorbe calore nell'evaporatore, viene compresso, cede calore nel condensatore e si espande attraverso una valvola di espansione. Il ciclo si ripete continuamente.



Un ciclo per spostare il calore dove serve!

7 APPLICAZIONI



Conservazione alimenti
Celle frigorifere per alimenti, bevande e prodotti farmaceutici.



Climatizzazione ambienti
Sistemi per uffici, abitazioni, ospedali, scuole e centri commerciali.



Raffreddamento industriale
Controllo della temperatura di processi produttivi e macchinari.



Supermercati e grande distribuzione
Banchi frigo, vetrine refrigerate e impianti centralizzati.



Data center
Raffreddamento di server e apparecchiature elettroniche.

Dalla conservazione degli alimenti all'innovazione digitale!

8 TIPI DI IMPIANTO

Split residenziale



- Per ambienti civili e piccoli uffici.
- Semplice da installare.
- Soluzione economica.

Chiller



- Per grandi ambienti e processi industriali.
- Elevata potenza frigorifera.
- Acqua come fluido termovettore.

Cella frigorifera



- Per conservazione di alimenti e farmaci.
- Temperature da +10 °C a -40 °C.
- Pannelli coibentati e gruppo frigorifero.

Pompa di calore



- Riscalda in inverno e raffresca in estate.
- Ciclo reversibile.
- Alta efficienza energetica.

9 VANTAGGI E LIMITI

✓ VANTAGGI

- Migliora la qualità della vita e la produttività.
- Conserva alimenti e prodotti sensibili.
- Ampia gamma di applicazioni.
- Tecnologie sempre più efficienti e sostenibili.
- Integrazione con energie rinnovabili.

Efficienza oggi, ambiente domani!

✗ LIMITI

- Consumo di energia elettrica.
- Impatto ambientale dei refrigeranti (GWP).
- Necessità di manutenzione qualificata.
- Costo iniziale.
- Rumorosità (in alcuni casi).
- Rischi di perdite di gas refrigerante.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- La refrigerazione e la climatizzazione permettono di controllare il calore per migliorare la vita delle persone, la qualità dei prodotti e l'efficienza dei processi.
- Conoscere i principi, i cicli e le applicazioni aiuta a scegliere la soluzione giusta in base alle esigenze.
- Efficienza energetica, manutenzione e rispetto dell'ambiente sono fondamentali per un futuro sostenibile.

Il giusto clima per un mondo migliore!



I SISTEMI DI REFRIGERAZIONE E CLIMATIZZAZIONE MIGLIORANO LA VITA, CONSERVANO LE RISORSE E SUPPORTANO L'INNOVAZIONE



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

COMPONENTI DELL'IMPIANTO FRIGORIFERO

COMPRESSORE, CONDENSATORE, EVAPORATORE E VALVOLA DI ESPANSIONE

Ogni componente ha un ruolo preciso nel ciclo frigorifero!

1 PANORAMICA

- L'impianto frigorifero trasferisce calore da un ambiente freddo a uno più caldo, utilizzando un fluido refrigerante.
- È composto da quattro componenti principali e da vari dispositivi ausiliari.
- Funziona in ciclo continuo con quattro fasi: compressione, condensazione, espansione e evaporazione.
- Applicazioni: frigoriferi industriali, celle frigo, condizionamento ambientale, pompe di calore.

Stesso principio, tante applicazioni!



2 COMPRESSORE

- Aspira il refrigerante in forma di vapore a bassa pressione dall'evaporatore e lo comprime ad alta pressione e temperatura.
- Funzioni principali:
 - Aumenta la pressione
 - Fa circolare il refrigerante
 - Mantiene il flusso nel circuito
- Tipologie principali:
 - Alternativo (a pistoni)
 - Scroll (spirale)
 - Rotativo (a palette)
 - Vite
 - Centrifugo (grandi impianti)



Il cuore dell'impianto!

3 CONDENSATORE

- Cede calore all'ambiente esterno, trasformando il vapore caldo e ad alta pressione in liquido ad alta pressione.
- Tipologie principali:
 - Ad aria (con ventilatori)
 - Ad acqua (scambiatore a fascio tubiero)
 - Raffreddato naturalmente



Qui il calore viene rilasciato all'ambiente!

4 EVAPORATORE

- Assorbe calore dall'ambiente da raffreddare, facendo evaporare il refrigerante a bassa pressione.
- Tipologie principali:
 - Ad aria (batterie alettate con ventilatori)
 - A piastre (per liquidi)
 - A fascio tubiero
 - Ad espansione diretta



Qui si produce l'effetto "freddo"!

5 VALVOLA DI ESPANSIONE

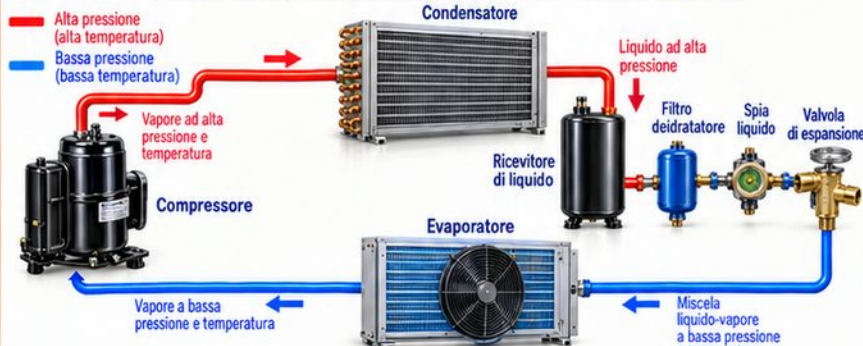
- Riduce la pressione del refrigerante liquido, che si espande e si raffredda prima di entrare nell'evaporatore.
- Tipologie principali:
 - Termostatica (TXV)
 - Elettronica (EEV)
 - A capillare (semplice ed economica)
 - A galleggiante (per impianti speciali)



Controlla il flusso, rende possibile il ciclo!

6 SCHEMA COMPLETO DEL CIRCUITO

IL CICLO FRIGORIFERO E TUTTI I SUOI COMPONENTI PRINCIPALI E AUSILIARI



Componenti ausiliari nel circuito



7 COMPONENTI AUSILIARI

- Filtro deidratatore: trattiene umidità e impurità.
- Ricevitore di liquido: accumula il refrigerante liquido.
- Spia liquido: consente il controllo visivo del flusso e delle bolle.
- Pressostati: proteggono l'impianto (alta e bassa pressione).
- Ventilatori: migliorano lo scambio termico (termoconvettori).
- Termostato / Controllore: gestisce la temperatura e il funzionamento.
- Valvole di sicurezza: evitano sovrappressioni.



Piccoli componenti, grande affidabilità!

8 STRUMENTAZIONE E CONTROLLO

- Manometri (alta e bassa pressione)
- Termometri e sonde di temperatura
- Trasduttori di pressione
- Controllori elettronici e termostati
- Valvole di servizio
- Data logger e sistemi di monitoraggio

Misura, controlla, proteggi il tuo impianto!



9 GUASTI TIPICI

Problema	Cause possibili	Soluzioni
Surriscaldamento del compressore	• Scarsa lubrificazione • Mancato raffreddamento del condensatore • Eccessivo rapporto di compressione	• Verificare lubrificante • Pulire condensatore • Controllare pressioni e carica di refrigerante
Intasamenti	• Umidità nel circuito • Impurità e residui • Filtro deidratatore saturo	• Sostituire filtro • Vuoto e bonifica circuito • Utilizzare refrigerante pulito
Perdite di refrigerante	• Guarnizioni usurate • Vibrazioni • Corrosione dei componenti	• Individuare la perdita (con cercafughe) • Sostituire componenti • Ricaricare e testare
Formazione di ghiaccio sull'evaporatore	• Scarsa portata d'aria • Valvola di espansione difettosa • Carica di refrigerante errata	• Verificare ventilatori • Controllare taratura valvola • Regolare la carica

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Un impianto frigorifero efficiente dipende dal corretto funzionamento di tutti i suoi componenti.
- Ogni elemento ha un ruolo fondamentale nel ciclo e nella sicurezza.
- La scelta, l'installazione e la manutenzione corretta garantiscono prestazioni, risparmio energetico e lunga durata.
- Conoscere i componenti aiuta a diagnosticare i guasti e a intervenire rapidamente.

Un impianto ben progettato rinfresca il presente e rispetta il futuro!

LA REFRIGERAZIONE E IL CLIMATIZZAZIONE MIGLIORANO LA QUALITÀ DELLA VITA, DELL'AMBIENTE E DEL LAVORO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CICLO FRIGORIFERO A COMPRESSIONE DI VAPORE

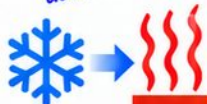
EVAPORAZIONE, COMPRESSIONE, CONDENSAZIONE E LAMINAZIONE

Il freddo si ottiene facendo circolare e trasformare il refrigerante!

1 OBIETTIVO DEL CICLO

- Sottrarre calore da un ambiente a bassa temperatura (sorgente fredda) e cederlo a un ambiente a temperatura più alta (sorgente calda).
- Mantenere una differenza di temperatura tra evaporatore e condensatore.
- Applicazioni: frigoriferi industriali, celle frigo, condizionamento, pompe di calore.

Trasferire calore dove serve!



2 EVAPORATORE

- Il refrigerante, a bassa pressione e bassa temperatura, assorbe calore dall'ambiente da raffreddare e vaporizza.
- Il fluido entra come miscela liquido-vapore ed esce come vapore saturo o surriscaldato.
- Può essere a espansione diretta (es. climatizzatori) o indiretto (con fluido secondario).



Aria o fluido da raffreddare
Il refrigerante assorbe calore e vaporizza

Q_{evap}

3 COMPRESSORE

- Aspira il vapore surriscaldato a bassa pressione.
- Aumenta la pressione e la temperatura del refrigerante (portandolo allo stato di vapore surriscaldato).
- Può essere di tipo alternativo, rotativo, scroll o a vite.
- Richiede energia meccanica (fornita da un motore elettrico).



Il compressore aumenta pressione e temperatura

W

4 CONDENSATORE

- Il refrigerante, ad alta pressione e alta temperatura, cede calore all'ambiente esterno e si liquefa.
- Il fluido entra come vapore surriscaldato ed esce come liquido saturo o sottoraffreddato.
- Può essere raffreddato ad aria o ad acqua.



Il refrigerante cede calore e si liquefa

Q_{cond}

5 VALVOLA DI ESPANSIONE

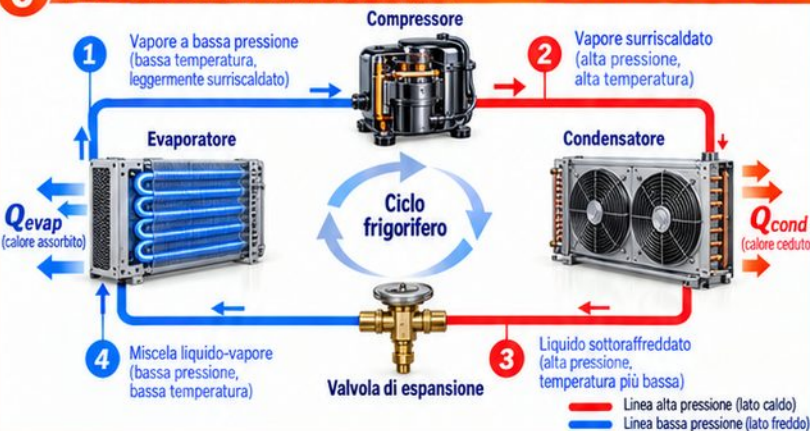
- Provoca una rapida caduta di pressione del liquido sottoraffreddato.
- Il refrigerante si espande (diminuisce temperatura) e torna una miscela liquido-vapore.
- Può essere una valvola termostatica (TXV), elettronica (EEV) o un capillare.



La valvola riduce la pressione e la temperatura

6 PERCORSO DEL REFRIGERANTE

IL CICLO COMPLETO IN 4 FASI



7 BILANCIO ENERGETICO

- Il calore ceduto al condensatore è pari alla somma del calore assorbito all'evaporatore e del lavoro fornito al compressore.

$$Q_{cond} = Q_{evap} + W$$

- Il coefficiente di prestazione (COP) esprime l'efficienza del ciclo.

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W}$$

Più alto è il COP, più efficiente è l'impianto!

- Per i frigoriferi e climatizzatori: COP tipico = 2 - 5
- Per le pompe di calore (riscaldamento): COP tipico = 3 - 5



8 PRESSIONI E TEMPERATURE

- Nel ciclo esistono due livelli di pressione:
 - Bassa pressione (lato freddo):** evaporatore e aspirazione compressore.
 - Alta pressione (lato caldo):** mandata compressore e condensatore.
- Il refrigerante evapora a bassa temperatura e condensa a temperatura più alta.
- Valori tipici (esempio con R410A):

Grandezza	Lato bassa pressione	Lato alta pressione
Pressione	4 - 8 bar	15 - 30 bar
Temperatura di evaporazione	-10 ÷ +5 °C	-
Temperatura di condensazione	-	30 ÷ 50 °C
Temperatura reale del fluido	-15 ÷ +10 °C (vapore surriscaldato)	35 ÷ 70 °C (liquido sottoraffreddato)



Manometri lato bassa e alta pressione

Le pressioni seguono le temperature!

9 ATTENZIONI E GUASTI

Problemi comuni e loro effetti:

Formazione di ghiaccio sull'evaporatore	- Portata d'aria insufficiente - Valvola di espansione difettosa - Bassa carica di refrigerante
Scambio termico insufficiente	- Filtri sporchi - Ventole non funzionanti - Batterie sporche
Bassa carica di refrigerante	- Riduzione delle prestazioni - Surriscaldamento eccessivo - Possibili perdite nel circuito
Condensatore sporco o ventilazione insufficiente	- Aumento della pressione - Riduzione dello scambio termico - Maggiore consumo di energia - Rischio di intervento delle sicurezze

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il ciclo frigorifero a compressione di vapore è una tecnologia semplice ma estremamente efficace e affidabile.
 - Ogni componente ha un ruolo fondamentale e deve funzionare correttamente.
 - Un buon progetto, una corretta installazione e una regolare manutenzione garantiscono efficienza, lunga durata e risparmio energetico.
 - Il freddo non si crea, si trasferisce!
- Conoscere il ciclo ti aiuta a progettare, diagnosticare e risolvere i problemi!*



LA REFRIGERAZIONE MIGLIORA LA QUALITÀ DELLA VITA, CONSERVA ALIMENTI, RENDE PIÙ CONFORTEVOLI GLI AMBIENTI E SUPPORTA L'INDUSTRIA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

EVAPORATORI E SCAMBIO TERMICO

ASSORBIMENTO DEL CALORE, SUPERHEAT, BRINA E FLUSSO D'ARIA

Nell'evaporatore il refrigerante assorbe calore e genera l'effetto frigorifero!

1 RUOLO DELL'EVAPORATORE

- Assorbe il calore dall'ambiente da raffreddare.
- Permette al refrigerante di evaporare a bassa pressione e temperatura.
- È il cuore del circuito frigorifero per la produzione di freddo.
- Trasferisce l'energia termica dall'aria (o da un fluido) al refrigerante.
- Garantisce comfort termico e conservazione dei prodotti.
- Utilizzato in impianti di condizionamento, celle frigorifere e pompe di calore.



2 EBOLLIZIONE DEL REFRIGERANTE

- Il refrigerante entra nell'evaporatore a bassa pressione e temperatura.
- Assorbe calore dall'aria e inizia a evaporare.
- Durante l'evaporazione la temperatura rimane quasi costante.
- Il calore latente di evaporazione raffredda l'aria che attraversa le alette.



3 SURRISCALDAMENTO (SUPERHEAT)

- Dopo l'evaporazione, il refrigerante viene ulteriormente riscaldato (surriscaldato).
- Il superheat garantisce che all'uscita ci sia solo vapore secco, evitando il ritorno di liquido al compressore.
- È un parametro fondamentale per l'efficienza e la sicurezza dell'impianto.
- Valori tipici: 5–10 K (secondo applicazione).
- Si misura con sonde di temperatura e manometri.



4 FLUSSO D'ARIA E SCAMBIO

- L'aria calda attraversa le alette dell'evaporatore e cede calore al refrigerante.
- Maggiore è la superficie di scambio, maggiore è l'efficienza.
- La ventilazione forzata aumenta il coefficiente di scambio termico.
- La corretta distribuzione del flusso d'aria evita zone morte e migliora le prestazioni.
- Importante mantenere pulite le alette da polvere e sporco.



5 TIPI DI EVAPORATORE

Evaporatore alettato (aria forzata)



- Più diffuso
- Compatto
- Alta superficie di scambio
- Usato in HVAC e celle frigo

Evaporatore a piastre (scambio con liquidi)



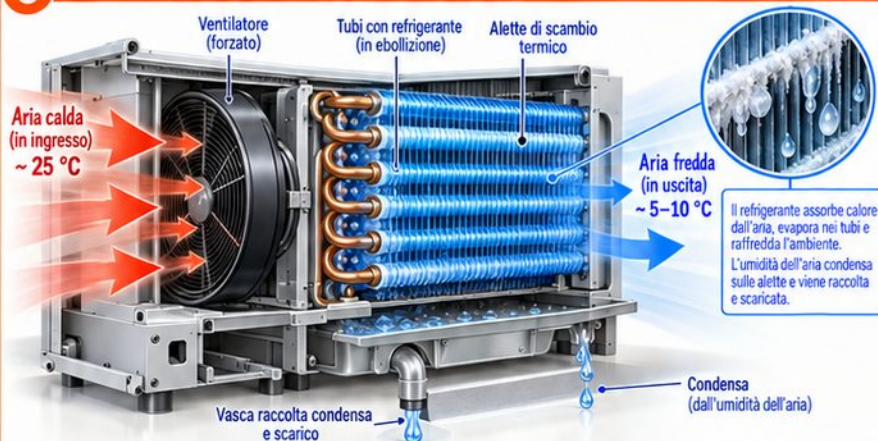
- Compatto
- Alta efficienza
- Per applicazioni industriali
- Facile manutenzione

Evaporatore allagato (alta resa)



- Refrigerante allagato di liquido
- Massima efficienza
- Usato in grandi impianti industriali

6 COME FUNZIONA L'EVAPORATORE



7 BRINA E SBRINAMENTO

- Quando la temperatura delle alette scende sotto 0 °C, l'umidità dell'aria forma brina (ghiaccio).
- La brina riduce lo scambio termico e il flusso d'aria.
- È necessario un ciclo di sbrinamento periodico (defrost).
- Metodi di sbrinamento: resistenze elettriche, inversione di ciclo, gas caldo, aria calda.
- Una corretta gestione dello sbrinamento garantisce efficienza e continuità di servizio.



Scambiatore pulito efficiente



Scambiatore con brina prestazioni ridotte

8 FATTORI CHE RIDUCONO LE PRESTAZIONI



9 APPLICAZIONI

- Condizionamento residenziale e commerciale
- Celle frigorifere per alimenti
- Refrigerazione industriale
- Pompe di calore (riscaldamento invernale)
- Deumidificazione dell'aria
- Processi industriali e raffreddamento di macchinari
- Trasporto refrigerato
- Data center e sale tecniche



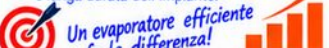
Climatizzazione ambienti

Celle frigorifere

Refrigerazione industriale

10 MESSAGGIO CHIAVE

- L'evaporatore assorbe calore e genera l'effetto frigorifero.
- La corretta gestione di superheat, flusso d'aria e sbrinamento garantisce efficienza e affidabilità.
- Prestazioni elevate si ottengono con un buon progetto, una corretta manutenzione e la scelta del tipo di evaporatore più adatto.
- Un evaporatore efficiente significa maggiore comfort, risparmio energetico e lunga durata dell'impianto.



LA REFRIGERAZIONE TRASFERISCE IL CALORE, MIGLIORANDO LA NOSTRA VITA QUOTIDIANA E PROTEGENDO CIÒ CHE CONTA.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

REFRIGERANTI

PROPRIETÀ, SICUREZZA, GWP, ODP E SCELTA DEL FLUIDO

La scelta del refrigerante influenza efficienza, sicurezza e ambiente!

1 CHE COS'È UN REFRIGERANTE

- Fluido che assorbe calore a bassa temperatura e lo cede ad alta temperatura in un ciclo frigorifero.
- Cambia stato (evaporazione e condensazione) trasferendo energia termica.
- Può essere un gas, un liquido o una miscela.
- Elemento fondamentale per impianti di refrigerazione, condizionamento e pompe di calore.



2 PROPRIETÀ DESIDERATE

- **Bassa tossicità:** sicuro per persone e ambiente.
- **Buon comportamento termodinamico:** elevato calore latente, pressioni adeguate, alta efficienza.
- **Stabilità chimica:** non si decompone facilmente.
- **Compatibilità con i materiali:** non corrosivo e compatibile con oli, guarnizioni e metalli.
- **Basso impatto ambientale:** ODP nullo e GWP il più basso possibile.
- **Disponibilità e costo sostenibile.**



3 FAMIGLIE PRINCIPALI

- **HFC** (es. R134a, R410A, R32)
Diffusi, ODP = 0, GWP medio-alto (in fase di riduzione).
- **HFO** (es. R1234yf, R1234ze)
Nuova generazione, ODP = 0, GWP molto basso.
- **HC** (idrocarburi, es. R290, R600a)
Naturali, GWP bassissimo, ma infiammabili.
- **NH₃** (R717)
Naturale, GWP = 0, ottime prestazioni, ma tossico.
- **CO₂** (R744)
Naturale, GWP = 1, alte pressioni, ideale per impianti moderni.



4 IMPATTO AMBIENTALE

- **ODP** (Ozone Depletion Potential)
Indica il potenziale di distruzione dello strato di ozono stratosferico. CFC e HCFC hanno ODP > 0. HFC, HFO, HC, NH₃ e CO₂ hanno ODP = 0.
- **GWP** (Global Warming Potential)
Indica il potenziale di riscaldamento globale rispetto al CO₂ (GWP = 1). Più è basso, minore è l'impatto sul clima.



5 CLASSI DI SICUREZZA (ISO 817)

- **A1:** bassa tossicità, non infiammabile (es. R134a, R410A).
- **A2L:** bassa tossicità, leggermente infiammabile (es. R32, R1234yf).
- **A3:** bassa tossicità, altamente infiammabile (es. R290, R600a).
- **B2L:** tossico e leggermente infiammabile (es. alcuni HFO, NH₃ in certe condizioni).



6 CONFRONTO TRA REFRIGERANTI

CARATTERISTICHE PRINCIPALI E CAMPI DI APPLICAZIONE

Refrigerante	R134a	R410A	R32	R290 (Propano)	CO ₂ (R744)	NH ₃ (R717)
Formula chimica (semplificata)	C ₂ H ₂ F ₄	Miscela R32/R125	CH ₂ F ₂	C ₃ H ₈	CO ₂	NH ₃
Tipo / Famiglia	HFC	HFC (miscela)	HFC	HC (idrocarburo)	Naturale	Naturale
GWP (100 anni)	1430	2088	675	3	1	0
ODP	0	0	0	0	0	0
Infiammabilità (classe ISO 817)	A1 (non infiammabile)	A1 (non infiammabile)	A2L (leggermente infiammabile)	A3 (altamente infiammabile)	A1 (non infiammabile)	B2L (tossico, leggermente infiammabile)
Tossicità	Bassa	Bassa	Bassa	Bassa	Bassa	Alta
Efficienza relativa	Media	Media	Alta	Alta	Media	Alta
Applicazioni tipiche	Condizionamento domestico e auto (legacy)	Climatizzazione residenziale e commerciale	Climatizzazione moderna (split e VRF)	Refrigerazione commerciale, pompe di calore	Refrigerazione industriale, applicazioni speciali	Refrigerazione industriale, grandi impianti
Note principali	In fase di eliminazione (phase-down)	Elevato GWP, in riduzione	Buon compromesso prestazioni/GWP	Ecologico, richiede misure di sicurezza	Alte pressioni di esercizio	Ottime prestazioni, richiede personale qualificato

7 SCELTA APPLICATIVA

- **Condizionamento domestico:** HFC a basso GWP (es. R32), HFO, oppure refrigeranti naturali in nuove soluzioni. *Ogni applicazione ha il suo refrigerante ideale!*
- **Refrigerazione commerciale:** HFC/HFO, HC (R290), CO₂ in impianti centralizzati.
- **Impianti industriali:** NH₃ per grandi potenze, CO₂ per basse temperature, soluzioni ibride.
- **Pompe di calore:** R32, R290, CO₂ secondo l'applicazione e la temperatura richiesta.



8 RECUPERO E MANIPOLAZIONE

- **Prevenzione delle perdite:** controlli periodici, manutenzione e rilevatori di perdita.
- **Recupero e riciclo:** obbligatorio per legge, utilizzare stazioni di recupero.
- **Corretta carica:** seguire le specifiche del costruttore (peso, pressione, surriscaldamento).
- **Manipolazione sicura:** usare DPI, ventilazione adeguata e attrezzature idonee.
- **Normativa:** rispettare Regolamento (UE) 517/2014 sui gas fluorurati e le normative nazionali.



Recupera oggi per un domani più pulito!

9 ERRORI COMUNI

- ✗ Scegliere il refrigerante solo in base al costo.
- ✗ Ignorare le classi di sicurezza.
- ✗ Sottovalutare l'impatto ambientale (GWP).
- ✗ Utilizzare refrigeranti non più autorizzati.
- ✗ Non verificare la compatibilità con materiali e oli.
- ✗ Eseguire cariche errate (troppo o troppo poco).
- ✗ Non recuperare il refrigerante a fine vita.
- ✗ Affidare la manutenzione a personale non qualificato.
- ✗ Trascurare la ricerca di perdite.



Piccoli errori possono avere grandi conseguenze!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- La scelta del refrigerante è un compromesso tra prestazioni, sicurezza, impatto ambientale e costo.
- Non esiste una soluzione universale: ogni applicazione ha il suo fluido ideale.
- Preferire refrigeranti a basso GWP e ODP = 0.
- Garantire una corretta manutenzione e il recupero a fine vita.
- Seguire le normative e affidarsi a personale qualificato.



Refrigeranti più sostenibili oggi, un clima migliore domani!



UNA CORRETTA GESTIONE DEI REFRIGERANTI PROTEGGE L'AMBIENTE E GARANTISCE EFFICIENZA E SICUREZZA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ESPANSIONE E CONTROLLO DEL REFRIGERANTE

CAPILLARE, VALVOLA TERMOSTATICA, ELETTRONICA E REGOLAZIONE

Una buona espansione dosa il refrigerante e protegge l'evaporatore!

1 FUNZIONE DEL DISPOSITIVO DI ESPANSIONE

- Riduce la pressione del refrigerante dal lato alta pressione al lato bassa pressione.
- Dosa la quantità di refrigerante all'evaporatore in base al carico termico.
- Mantiene il corretto surriscaldamento all'uscita dell'evaporatore.
- Previene il ritorno di liquido al compressore.
- Contribuisce all'efficienza e alla stabilità del sistema.

La giusta espansione garantisce efficienza, protezione e lunga vita dell'impianto!

2 TUBO CAPILLARE

- Tubo di piccolo diametro e grande lunghezza.
- Provoca una caduta di pressione per attrito.
- Dispositivo semplice, economico e senza parti mobili.
- Adatto a impianti di piccola potenza e carico costante.
- Non regola il surriscaldamento.



3 VALVOLA TERMOSTATICA (TXV)

- Regola il flusso di refrigerante in base al surriscaldamento.
- Utilizza un bulbo sensibile alla temperatura all'uscita dell'evaporatore.
- Si adatta automaticamente alle variazioni di carico.
- Garantisce surriscaldamento costante.
- Molto usata in impianti commerciali e industriali.



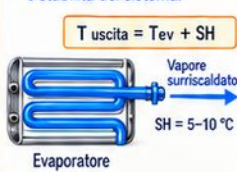
4 VALVOLA ELETTRONICA (EEV)

- Regola il flusso tramite un motore passo-passo.
- Controllo preciso e rapido del surriscaldamento.
- Gestita da un controllore elettronico con sensori di temperatura e pressione.
- Adatta a carichi variabili e sistemi ad alta efficienza.
- Maggiore flessibilità e possibilità di integrazione in sistemi avanzati.



5 REGOLAZIONE DEL SURRISCALDAMENTO

- Il surriscaldamento è la differenza tra la temperatura del vapore all'uscita dell'evaporatore e la temperatura di evaporazione al compressore.
- Evita il ritorno di liquido al compressore.
- Valori tipici: 5-10 °C (variabile in base all'impianto).
- Regolato automaticamente dalla TXV o elettronicamente dalla EEV.
- Un surriscaldamento corretto garantisce efficienza e stabilità del sistema.



6 CONFRONTO TRA I DISPOSITIVI DI ESPANSIONE

CARATTERISTICHE, VANTAGGI, LIMITI E PRINCIPALI APPLICAZIONI

	TUBO CAPILLARE	VALVOLA TERMOSTATICA (TXV)	VALVOLA ELETTRONICA (EEV)
Schema semplificato			
Principio di funzionamento	Caduta di pressione per attrito nel tubo	Regola il flusso in base al surriscaldamento (bulbo)	Regolazione elettronica con motore passo-passo
Regolazione	Fissa (non regolabile)	Automatica	Elettronica e modulante
Precisione	Bassa	Media	Alta
Semplicità	Molto semplice	Media	Complessa
Costo iniziale	Basso	Medio	Alto
Applicazioni tipiche	Piccoli impianti (frigo domestici, condizionatori)	Impianti commerciali e industriali	Sistemi ad alta efficienza, carichi variabili, VRF
Vantaggi	• Economico • Nessuna parte mobile • Affidabile	• Regolazione automatica • Adatto a carichi variabili • Robustezza	• Alta precisione • Risposta rapida • Integrabile con controlli
Svantaggi	• Non regola il SH • Sensibile alle variazioni di carico • Solo per piccole potenze	• Costo maggiore • Richiede corretta installazione • Sensibile alla posizione del bulbo	• Costo elevato • Richiede controllore e sensori • Più complessa da configurare

7 COMPONENTI ASSOCIATI

BULBO TERMOSTATICO

- Contiene fluido sensibile alla temperatura.
- Installato sull'uscita dell'evaporatore.
- Deve avere buon contatto termico con la tubazione.



LINEA DI EGUALIZZAZIONE

- Collega l'uscita dell'evaporatore alla valvola.
- Permette una regolazione più accurata.
- Può essere interna o esterna.



SENSORI E TRASDUTTORI

- Sensori di temperatura (NTC, Pt1000).
- Trasduttori di pressione.
- Forniscono i segnali al controllore della EEV.



CONTROLLER E DRIVER

- Elabora i segnali dei sensori.
- Calcola il surriscaldamento.
- Comanda la valvola elettronica.
- Integra funzioni di protezione e diagnostica.



8 GUASTI E SINTOMI

Guasto	Sintomi	Possibili cause	Soluzioni
Capillare ostruito	Bassa pressione, oli aspirazione, scarso raffreddamento	Sporco, umidità, olio degradato	Sostituire il capillare e pulire il circuito
Capillare parzialmente ostruito	Prestazioni ridotte	Impurità, cera, depositi	Pulizia o sostituzione
TXV bloccata chiusa	Basso surriscaldamento, poca portata	Bulbo guasto, molla rotta	Verificare bulbo e sostituire valvola
TXV bloccata aperta	Alto surriscaldamento, bassa efficienza	Bulbo scarico, valvola usurata	Sostituire valvola
EEV non risponde	Allarmi, nessuna variazione di flusso	Problemi elettrici, controllore guasto	Verificare cablaggi e controllore
Sensore guasto	Lettura errate, funzionamento instabile	Sensore scollegato o danneggiato	Sostituire sensore

9 SCELTA APPLICATIVA

Criteri di scelta	Capillare	TXV	EEV
Potenza impianto	Bassa	Media-Alta	Qualsiasi
Variazioni di carico	Minime	Media	Elevate
Precisione richiesta	Bassa	Media	Alta
Costo iniziale	Basso	Medio	Alto
Semplicità	Alta	Media	Bassa
Applicazioni	Domestico, piccoli split	Commerciale, industriale	Sistemi avanzati, VRF, pompe di calore

Valuta il carico, la precisione e il budget: ogni impianto ha la sua soluzione ideale!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il dispositivo di espansione dosa il refrigerante e mantiene il corretto surriscaldamento.
- La scelta dipende da potenza, variazioni di carico, precisione richiesta e costo.
- Un surriscaldamento adeguato protegge il compressore e garantisce efficienza.
- Una corretta installazione e manutenzione assicura affidabilità e lunga vita dell'impianto.

Il controllo del refrigerante è la chiave per un impianto efficiente, sicuro e duraturo!



UN CORRETTO CONTROLLO DEL REFRIGERANTE MIGLIORA L'EFFICIENZA, RIDUCE I CONSUMI E PROTEGGE IL COMPRESSORE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CONDENSATORI E SMALTIMENTO DEL CALORE

RAFFREDDAMENTO AD ARIA, AD ACQUA, SOTTORAFFREDDAMENTO E PRESTAZIONI

Il condensatore espelle il calore che il sistema ha assorbito più il lavoro del compressore!

1 RUOLO DEL CONDENSATORE

- Smaltisce il calore assorbito dall'evaporatore più il lavoro del compressore.
- Trasforma il vapore ad alta pressione in liquido.
- Mantiene la pressione di condensazione.
- Garantisce un adeguato sottoraffreddamento del liquido.
- È un elemento fondamentale per l'efficienza e l'affidabilità del sistema.



2 DESURRISCALDAMENTO, CONDENSAZIONE E SOTTORAFFREDDAMENTO

- **Desurriscaldamento:** il vapore surriscaldato viene raffreddato fino alla temperatura di condensazione.
- **Condensazione:** il vapore si trasforma in liquido a temperatura pressoché costante, cedendo calore latente.
- **Sottoraffreddamento:** il liquido viene ulteriormente raffreddato al di sotto della temperatura di condensazione per aumentare l'efficienza e prevenire la formazione di vapore nella linea liquido.



3 CONDENSATORE AD ARIA

- Scambio termico con l'aria ambiente tramite alette e tubi alettati.
- Ventilatori assiali o centrifughi per aumentare il flusso d'aria.
- Semplice, economico e diffuso.
- Prestazioni influenzate dalla temperatura esterna e dalla pulizia delle alette.
- Utilizzato in impianti commerciali, industriali e di climatizzazione.



4 CONDENSATORE AD ACQUA

- Scambio termico con l'acqua di raffreddamento in uno scambiatore (a fascio tubiero o a piastre).
- Più compatto ed efficiente rispetto a quello ad aria.
- Richiede un circuito dell'acqua con torre di raffreddamento o altra fonte di dissipazione.
- Temperature di condensazione più basse e prestazioni migliori.
- Utilizzato in impianti di grande potenza e in ambienti con temperature elevate.



5 CONDENSATORE EVAPORATIVO

- Combina lo scambio termico ad aria e ad acqua.
- L'acqua viene nebulizzata sulle batterie, una parte evapora raffreddando l'aria.
- Elevate prestazioni anche con temperature esterne alte.
- Consumo ridotto di acqua rispetto alle torri tradizionali.
- Utilizzato in impianti industriali e di grande capacità.



6 PERCORSO DEL CALORE NEL CONDENSATORE



7 PRESSIONE DI CONDENSAZIONE

- Dipende dalla temperatura del fluido di raffreddamento (aria o acqua).
- Maggiore è la temperatura di condensazione, maggiore è la pressione.
- Una pressione di condensazione troppo alta riduce l'efficienza del ciclo e aumenta il lavoro del compressore.
- È importante mantenere la pressione entro i limiti di progetto.

RELAZIONE TRA TEMPERATURA E PRESSIONE (per alcuni refrigeranti)

Refrigerante	T condensazione (°C)	Pressione (bar)
R134a	30	7,7
R134a	40	10,1
R410A	30	19,2
R410A	40	24,6
R32	30	16,8
R32	40	21,6



8 PROBLEMI TIPICI

- #### Alette sporche
-
- Riduzione dello scambio termico
 - Aumento della pressione di condensazione

- #### Scarso flusso d'aria
-
- Ventilatori inefficienti o guasti
 - Temperatura di condensazione elevata

- #### Incrostazioni (lato acqua)
-
- Depositi di calcare
 - Riduzione dello scambio termico e aumento delle pressioni

- #### Pressione di condensazione alta
-
- Maggiore consumo energetico
 - Riduzione della capacità frigorifera
 - Possibili interventi di sicurezza

9 APPLICAZIONI

- #### Refrigerazione commerciale
-
- Banchi frigo, celle frigorifere
 - Condensatori ad aria

- #### Refrigerazione industriale
-
- Impianti di grande potenza
 - Ad aria, ad acqua o evaporativi

- #### Climatizzazione (HVAC)
-
- Chiller, pompe di calore
 - Condensatori ad aria o ad acqua

- #### Processi industriali
-
- Processi chimici e alimentari
 - Soluzioni su misura

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il condensatore è essenziale per smaltire il calore e chiudere il ciclo frigorifero.
- La scelta del tipo di condensatore dipende dall'applicazione, dalle condizioni ambientali e dalla disponibilità di acqua.
- Un corretto dimensionamento e una buona manutenzione garantiscono efficienza, affidabilità e lunga durata dell'impianto.
- Temperature e pressioni di condensazione più basse migliorano le prestazioni e riducono i consumi energetici.
- Aria pulita, superfici pulite e acqua di qualità fanno la differenza!



UN CORRETTO SMALTIMENTO DEL CALORE GARANTISCE EFFICIENZA, SICUREZZA E PRESTAZIONI OTTIMALI DELL'IMPIANTO.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PSICROMETRIA E TRATTAMENTO DELL'ARIA

TEMPERATURA, UMIDITÀ, UTA, FILTRAZIONE E BENESSERE

Nel comfort ambientale non conta solo la temperatura: conta anche l'umidità!

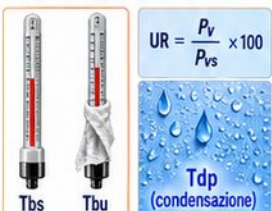
1 ARIA UMIDA

- L'aria atmosferica è una miscela di gas e vapore acqueo.
- La quantità di vapore varia nel tempo e nello spazio.
- L'umidità influenza comfort, salute e processi industriali.
- Si misura in modo preciso con le grandezze psicrometriche.



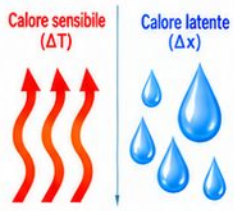
2 GRANDEZZE PSICROMETRICHE

- **Temperatura a bulbo secco (Tbs):** temperatura dell'aria misurata con un termometro normale.
- **Temperatura a bulbo umido (Tbu):** temperatura misurata con un termometro con garza bagnata (evaporazione).
- **Umidità relativa (UR):** rapporto tra il vapore presente e quello massimo possibile alla stessa temperatura.
- **Punto di rugiada (Tdp):** temperatura alla quale l'aria diventa satura (UR = 100%) e inizia la condensazione.



3 CALORE SENSIBILE E LATENTE

- **Calore sensibile:** varia la temperatura dell'aria senza cambiare il contenuto di vapore.
- **Calore latente:** varia il contenuto di vapore senza cambiare la temperatura (evaporazione o condensazione).
- Nel trattamento dell'aria si usano entrambi per raggiungere le condizioni desiderate.



4 ZONA DI COMFORT

- Il comfort termogrometrico dipende da temperatura, umidità, velocità dell'aria e attività metabolica.
- Per ambienti civili tipici:
 - Temperatura: 20-26 °C
 - Umidità relativa: 40-60%
- Una corretta climatizzazione migliora benessere, produttività e salute.



5 PROCESSI DELL'ARIA

- **Raffreddamento:** riduce la temperatura.
- **Deumidificazione:** rimuove vapore (condensazione).
- **Riscaldamento:** aumenta la temperatura.
- **Umidificazione:** aggiunge vapore all'aria.



6 TRATTAMENTO DELL'ARIA IN UTA

UNA SOLA MACCHINA, TANTE FUNZIONI PER IL COMFORT E LA QUALITÀ DELL'ARIA

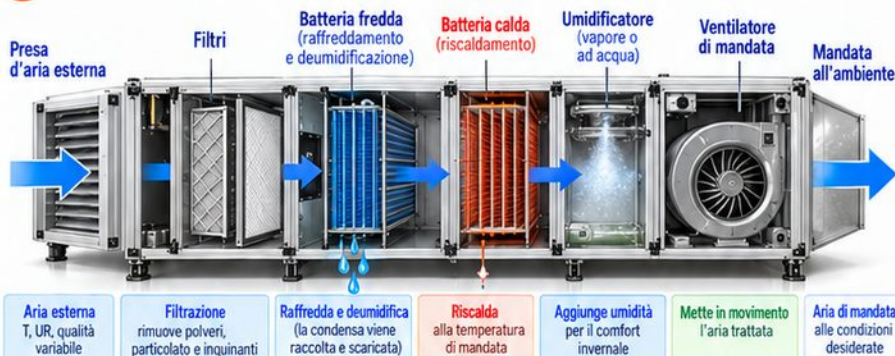
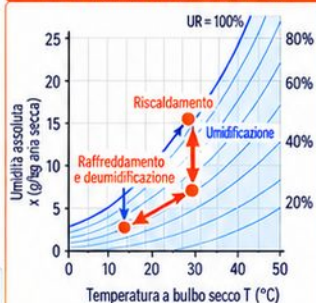
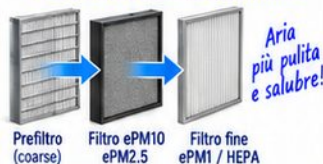


DIAGRAMMA PSICROMETRICO



7 FILTRAZIONE E QUALITÀ DELL'ARIA

- I filtri rimuovono polveri, pollini, batteri e inquinanti.
- Si classificano secondo la norma EN ISO 16890.
- Una buona qualità dell'aria riduce rischi per la salute e aumenta la produttività.



VANTAGGI DI UNA BUONA FILTRAZIONE

- ✓ Minori allergie e malattie respiratorie
- ✓ Ambienti più sani e produttivi
- ✓ Protezione di persone, processi e macchine

8 CONTROLLI E SENSORI

- Sensori di temperatura e umidità monitorano le condizioni dell'aria.
- Sonde di CO₂, VOC e qualità aria regolano il funzionamento.
- Il controllo automatico ottimizza efficienza energetica e comfort.
- Sistemi BMS permettono monitoraggio e supervisione remota.



9 APPLICAZIONI

- **Uffici e scuole:** comfort e qualità dell'aria per migliori prestazioni.
- **Ospedali:** ambienti controllati e alta filtrazione (sale operatorie).
- **Industria:** controllo di temperatura e umidità nei processi produttivi.
- **Centri commerciali, alberghi, musei:** benessere e conservazione.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Temperatura e umidità sono entrambe fondamentali per il comfort e la salute.
- Il trattamento dell'aria in UTA permette di controllare tutte le variabili psicrometriche.
- Una corretta filtrazione migliora la qualità dell'aria e protegge persone e impianti.
- Il controllo intelligente garantisce efficienza energetica e affidabilità.
- Progetta e gestisci impianti di climatizzazione con competenza, seguendo le norme e le buone pratiche.



LA CLIMATIZZAZIONE UNISCE TECNOLOGIA, SALUTE ED EFFICIENZA
PER EDIFICI PIÙ VIVIBILI E SOSTENIBILI



STUDIARE DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

POMPE DI CALORE E CLIMATIZZATORI

RISCALDARE E RAFFRESCARE CON COP, EER E MODALITÀ REVERSIBILE

Lo stesso impianto può raffreddare in estate e riscaldare in inverno!

1 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

- La pompa di calore trasferisce calore da una sorgente a temperatura più bassa a una più alta, utilizzando energia elettrica.
- Funziona con un ciclo frigorifero a compressione di vapore.
- Non produce calore, ma lo sposta.
- Elevata efficienza grazie al lavoro del compressore.



2 MODALITÀ RAFFREDDAMENTO

- L'unità interna assorbe calore dall'ambiente e lo cede all'esterno.
- Il refrigerante evapora nell'evaporatore interno assorbendo calore.
- Il compressore aumenta la pressione e la temperatura del vapore.
- Il condensatore esterno cede calore all'aria esterna.
- L'ambiente interno si raffredda.



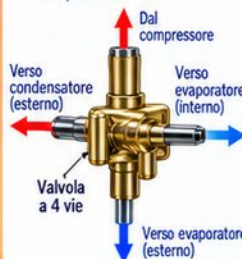
3 MODALITÀ RISCALDAMENTO

- Il ciclo si inverte: la pompa di calore preleva calore dall'aria esterna (anche a basse temperature) e lo cede all'ambiente interno.
- Il refrigerante evapora nell'evaporatore esterno.
- Il compressore aumenta la temperatura.
- Il condensatore interno cede calore all'ambiente.
- L'ambiente interno si riscalda.



4 VALVOLA A 4 VIE

- Inverte il senso di circolazione del refrigerante.
- Permette di passare dalla modalità raffreddamento a riscaldamento.
- È comandata elettronicamente dalla scheda di controllo.
- Garantisce il funzionamento reversibile con gli stessi componenti.



5 COP, EER, SEER E SCOP

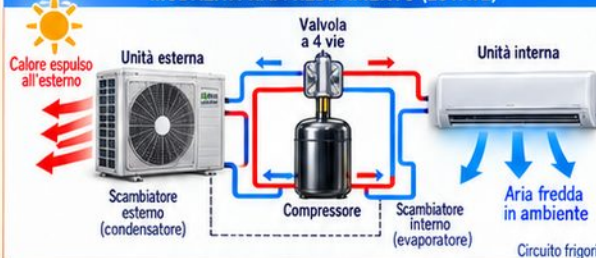
- COP** (Coefficient of Performance): rapporto tra energia termica prodotta e energia elettrica assorbita (in riscaldamento).
- EER** (Energy Efficiency Ratio): rapporto tra potenza frigorifera e potenza elettrica (in raffreddamento).
- SEER**: efficienza stagionale in raffreddamento.
- SCOP**: efficienza stagionale in riscaldamento.
- Più alto è il valore, maggiore è l'efficienza.



6 SCHEMA DI UN SISTEMA REVERSIBILE

STESSI COMPONENTI, DUE MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO

MODALITÀ RAFFREDDAMENTO (ESTATE)



MODALITÀ RISCALDAMENTO (INVERNO)



7 TIPI DI POMPA DI CALORE

AIR-AIR



- Più diffusa e economica
- Riscaldamento e raffreddamento
- Ideale per abitazioni e uffici

AIR-ACQUA



- Riscaldamento, raffreddamento e acqua calda sanitaria
- Collega l'impianto idraulico (radiante, fancoil, termosifoni)
- Ideale per nuove costruzioni e riqualificazioni

ACQUA-ACQUA



- Sfrutta acqua di falda o di lago
- Elevata efficienza
- Richiede disponibilità di fonte idrica
- Ideale per edifici grandi

GEOTERMICA



- Sfrutta il calore del terreno
- Efficienza molto alta e costante
- Investimento iniziale maggiore
- Ideale per edifici ad alta efficienza energetica

8 FATTORI DI EFFICIENZA

- TEMPERATURA ESTERNA**
 - Più è mite, maggiore è il COP.
 - Le prestazioni diminuiscono con temperature molto basse.
- TEMPERATURA DI MANDATA**
 - Impianti a bassa temperatura (radiante, fancoil) garantiscono efficienze più alte.
- ISOLAMENTO DELL'EDIFICIO**
 - Minori dispersioni termiche riducono il fabbisogno e aumentano l'efficienza.
- CORRETTO DIMENSIONAMENTO**
 - Una potenza adeguata evita cicli troppo frequenti e mantiene rendimenti elevati.
- REFRIGERANTE**
 - I nuovi refrigeranti (es. R32, R290) riducono l'impatto ambientale e migliorano l'efficienza.
- CONTROLLO E REGOLAZIONE**
 - Inverter e sonde climatiche ottimizzano il funzionamento nelle diverse condizioni.

9 APPLICAZIONI E DIMENSIONAMENTO



- RESIDENZIALE**
 - Adatta per abitazioni, uffici, scuole, negozi, hotel e processi industriali.
 - Il dimensionamento dipende dal fabbisogno termico, carichi frigoriferi e condizioni climatiche.
 - È fondamentale un'analisi accurata di dispersioni, apporti interni e profili di utilizzo.
 - Si integra con impianti radianti, fancoil, UTA e sistemi di ventilazione.
 - Possibile integrazione con fotovoltaico e accumuli termici.
- COMMERCIALE**
- INDUSTRIALE**

Soluzioni su misura per un comfort efficiente e sostenibile!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Una sola tecnologia, due stagioni, molti vantaggi.
- Comfort tutto l'anno con elevata efficienza.
- La scelta e il dimensionamento corretti garantiscono risparmio energetico, benessere e sostenibilità ambientale.
- Investire in pompe di calore significa investire nel futuro.

Efficienza oggi, comfort domani!

LA POMPA DI CALORE TRASFERISCE IL CALORE, RENDENDO IL COMFORT PIÙ EFFICIENTE E SOSTENIBILE.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

GUASTI, MANUTENZIONE E SICUREZZA

DIAGNOSI, PERDITE, BRINA, EFFICIENZA E BUONE PRATICHE

*Un impianto pulito,
caricato correttamente
e controllato regolarmente
dura di più!*

1 SINTOMI COMUNI

- Raffreddamento insufficiente
- Tempi lunghi per raggiungere la temperatura
- Consumi elevati
- Rumori anomali
- Interventi frequenti delle protezioni
- Formazione di ghiaccio o brina
- Perdite di acqua (condensa)
- Odori sgradevoli
- Blocchi improvvisi dell'impianto

*Riconoscere il sintomo
è il primo passo
per risolvere
il problema!*



2 PERDITE DI REFRIGERANTE

- Le perdite riducono la resa e aumentano i consumi.
- Possono essere su giunti, saldature, valvole, scambiatori o microfessure.
- Si utilizzano: rilevatori elettronici, schiuma cercafughe, lampade UV e traccianti fluorescenti.
- Dopo la riparazione è necessario il vuoto e la ricarica corretta.



3 BRINA, UMITÀ E OSTRUZIONI

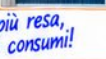
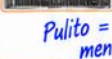
- La brina sull'evaporatore riduce lo scambio termico e il flusso d'aria.
- Cause: poco refrigerante, filtri sporchi, ventilazione insufficiente, umidità elevata, valvola di espansione difettosa.
- L'umidità può causare corrosione e formazione di ghiaccio.
- Controlla il drenaggio della condensa e l'assenza di ostruzioni.



*Aria libera, niente brina,
massima efficienza!*

4 FILTRI E BATTERIE SPORCHE

- Filtri sporchi riducono la portata d'aria e l'efficienza.
- Batterie sporche peggiorano lo scambio termico e aumentano i consumi.
- Effettua la pulizia periodica di filtri, batterie e condensatore.
- Usa prodotti e procedure idonee per non danneggiare le alette.



*Pulito = più resa,
meno consumi!*

5 GUASTI ELETTRICI E DEL COMPRESSORE

- Controlla alimentazione, cablaggi, relé e protezioni.
- Verifica condensatori, sensori e schede elettroniche.
- Guasti al compressore: surriscaldamento, rumorosità, mancato avviamento.
- Controlla olio, vibrazioni e correnti assorbite.



6 DAL SINTOMO ALLA SOLUZIONE

UN METODO SEMPLICE EFFICACE PER TROVARE E RISOLVERE I PROBLEMI

1 DIAGNOSI INIZIALE

- Raccogli le informazioni
- Osserva i sintomi
- Controlla lo storico dell'impianto



2 MISURA LE PRESSIONI

- Collega il gruppo manometrico
- Leggi le pressioni di alta e bassa pressione
- Confronta con i valori di riferimento



3 CONTROLLA SURRISCALDAMENTO E SOTTORAFFREDDAMENTO

- Calcola surriscaldamento (lato bassa) e sottoraffreddamento (lato alta)
- Verifica che i valori siano nei range del costruttore

*Surriscaldamento =
protegge il compressore*
*Sottoraffreddamento =
massima resa*

SH = Tasp - T_{ev} 5 - 15 °C

SC = Tcond - Tliq 3 - 10 °C

4 RICERCA LE PERDITE

- Usa cercafughe elettronico, schiuma o tracciante UV
- Controlla giunti, saldature, valvole e scambiatori
- Ripara e verifica la tenuta con prova di pressione e vuoto



5 PULIZIA E RIPRISTINO

- Pulisci filtri, batterie e condensatore
- Rimuovi ostruzioni
- Controlla drenaggio condensa
- Verifica ventilatori e portata aria



6 PROVA FINALE

- Ricarica correttamente (se necessario)
- Controlla temperature, pressioni e assorbimenti
- Verifica il corretto funzionamento
- Registra i valori per la manutenzione futura



7 MANUTENZIONE PREVENTIVA

La manutenzione regolare previene i guasti, aumenta l'efficienza e prolunga la vita dell'impianto.



Meglio prevenire che riparare!

8 SICUREZZA

Rispetta sempre le norme e le buone pratiche.



PRESSIONE
Gli impianti sono in pressione: usa attrezzature idonee e controlla le valvole.



SICUREZZA ELETTRICA
Isola l'alimentazione prima di intervenire.



GESTIONE REFRIGERANTE
Recupera il refrigerante, non disperderlo nell'ambiente (norme F-Gas).



VENTILAZIONE
Lavora in ambienti ben ventilati, soprattutto in spazi chiusi.



DPI
Usa guanti, occhiali e dispositivi di protezione individuale. *La sicurezza non è un'opzione!*

9 EFFICIENZA E BUONE PRATICHE

Un impianto efficiente consuma meno e rispetta l'ambiente.

- Mantieni puliti filtri, batterie e condensatore
- Controlla e ripristina la carica corretta
- Assicura una buona ventilazione
- Isola correttamente le tubazioni
- Evita perdite e ricariche frequenti
- Usa componenti e refrigeranti a basso GWP
- Regola setpoint e orari in base alle esigenze
- Monitora i consumi energetici
- Segui le indicazioni del costruttore
- Registra tutti gli interventi

*Piccole azioni,
grandi risultati!*



10 MESSAGGIO CHIAVE

- Un impianto ben mantenuto è più efficiente, sicuro, economico e duraturo.
- La diagnosi corretta fa risparmiare tempo e costi.
- La pulizia, il controllo delle perdite e la corretta carica sono essenziali.
- La sicurezza viene sempre prima.
- Seguire le buone pratiche protegge l'ambiente e il tuo lavoro.

*Impianti sicuri,
efficienti e sostenibili
per un futuro migliore!*



LA MANUTENZIONE TRASFORMA UN IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE IN UN ALLEATO AFFIDABILE, EFFICIENTE E RISPETTOSO DELL'AMBIENTE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SCIENZA DEI MATERIALI

STRUTTURA, PROPRIETÀ, PROCESSI E APPLICAZIONI

*Il materiale giusto,
nel posto giusto,
per un mondo migliore!*

1 COS'È LA SCIENZA DEI MATERIALI

- Disciplina che studia la relazione tra struttura, proprietà, processi e prestazioni dei materiali
- Integra conoscenze di fisica, chimica, ingegneria e tecnologia
- Permette di progettare materiali sempre migliori per nuove applicazioni
- Fondamentale per l'innovazione, la sostenibilità e la competitività



*Ogni cosa che usi
è fatta di un materiale
progettato!*

2 IL TETRAEDRO DEI MATERIALI

- Le proprietà di un materiale dipendono da quattro fattori collegati tra loro:
- **Processo** (come lo produci)
- **Struttura** (come è fatto)
- **Proprietà** (come si comporta)
- **Prestazioni** (come funziona nell'applicazione)



3 PRINCIPALI CLASSI DI MATERIALI

- Ogni classe ha caratteristiche uniche e campi di applicazione specifici:
- **Metalli:** resistenti, duttili, conduttivi
- **Polimeri:** leggeri, versatili, isolanti
- **Ceramici:** duri, resistenti al calore, fragili
- **Compositi:** combinano le migliori proprietà di più materiali



4 LIVELLI DI STRUTTURA DEL MATERIALE

- La struttura si osserva su diverse scale:

- **Atomico:** disposizione degli atomi e legami chimici
- **Microstrutturale:** grani, fasi, difetti, porosità
- **Macroscopico:** forma, componenti, manufatti



5 PROPRIETÀ FONDAMENTALI

- I materiali possiedono diverse proprietà che ne determinano l'impiego:
- **Meccaniche:** resistenza, durezza, duttilità, tenacità
- **Termiche:** conducibilità, resistenza al calore, dilatazione
- **Elettriche:** conducibilità o isolamento
- **Chimiche:** resistenza a corrosione e usura



6 PANORAMICA COMPARATIVA: CLASSI DI MATERIALI E PROPRIETÀ

OGNI MATERIALE È UN COMPROMESSO DI PROPRIETÀ!

CARATTERISTICA	METALLI	POLIMERI	CERAMICI	COMPOSITI
Struttura tipica	Reticolo metallico	Catene molecolari	Reticolo ionico/covalente	Matrice + rinforzi
Densità	Medio-alta	Bassa	Bassa-media	Bassa-media
Resistenza meccanica	Alta	Bassa-media	Alta (compressione)	Alta (direzionata)
Duttilità	Alta	Alta	Bassa (fragili)	Variabile
Resistenza al calore	Media	Bassa	Molto alta	Alta
Conducibilità elettrica	Alta	Bassa (isolanti)	Bassa (isolanti)	Variabile
Resistenza alla corrosione	Variabile	Alta	Molto alta	Alta
Costo indicativo	Medio	Basso	Medio-alto	Alto
Esempi	Acciai, alluminio, rame	PE, PP, PET, nylon	Allumina, carburo di silicio	Fibra di carbonio, vetroresina

*Non esiste
il materiale perfetto...
esiste il materiale
giusto per ogni
applicazione!*



7 COME IL PROCESSO CAMBIA LE PROPRIETÀ

- Il metodo di fabbricazione influenza la struttura e quindi le proprietà.
- Esempi di processi:
- **Fusione:** solidificazione e grana
- **Laminazione:** orientamento dei grani
- **Trattamenti termici:** durezza e tenacità
- **Stampaggio (polimeri):** cristallinità
- **Sinterizzazione (ceramici):** densità
- **Manifattura additiva:** geometrie complesse



*Stesso materiale, proprietà diverse
in base al processo!*

8 APPLICAZIONI TIPICHE DELL'INGEGNERIA

- I materiali sono alla base di tutti i settori dell'ingegneria:



9 CRITERI PER SCEGLIERE UN MATERIALE

- La scelta dipende da molti fattori:
- Requisiti meccanici (carichi, durabilità)
- Condizioni di servizio (temperatura, ambiente corrosivo)
- Peso e ingombri
- Costo e disponibilità
- Processabilità (facilità di produzione)
- Impatto ambientale e riciclabilità
- Normative e sicurezza
- Esperienza e dati di riferimento



*Valuta
tutti i fattori
e trova
il miglior
compromesso!*

10 MESSAGGIO CHIAVE

- I materiali rendono possibile il progresso tecnologico e il benessere della società.
- Conoscere i materiali aiuta a progettare soluzioni più efficienti, sicure e sostenibili.
- L'innovazione nei materiali è la chiave per la transizione energetica, la mobilità del futuro e un ambiente più pulito.
- Studia sempre il legame tra processo, struttura, proprietà e prestazioni.

*Materiali migliori
oggi per un domani
più sostenibile!*



LA CONOSCENZA DEI MATERIALI COSTRUISCE UN MONDO PIÙ SICURO, EFFICIENTE E SOSTENIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

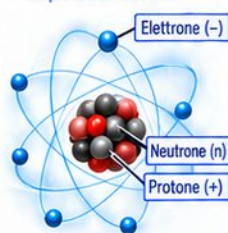
STRUTTURA ATOMICA E LEGAMI

ATOMI, ORBITALI, RETICOLI E LEGAMI CHE DETERMINANO I MATERIALI

Dall'atomo alle proprietà: la struttura microscopica determina il mondo che ci circonda!

1 L'ATOMO E IL NUCLEO

- L'atomo è la più piccola unità di un elemento chimico.
- È composto da un nucleo con protoni (+) e neutroni (n) e da elettroni (-) che si muovono in orbitali.
- Il numero atomico (Z) è il numero di protoni.
- La massa atomica dipende da protoni e neutroni.

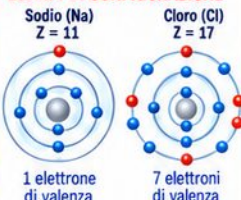


Piccolo nelle dimensioni, grande nelle possibilità!

2 ELETTRONI DI VALENZA

- Gli elettroni di valenza sono gli elettroni più esterni dell'atomo.
- Determinano la capacità di formare legami chimici.
- Gli atomi tendono a raggiungere una configurazione stabile (come i gas nobili) cedendo, acquistando o condividendo elettroni.

ESEMPIO DI CONFIGURAZIONE

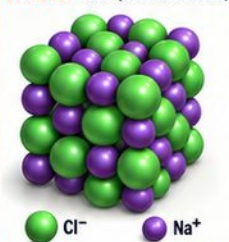


Gli elettroni di valenza decidono come gli atomi si uniscono!

3 LEGAME IONICO

- Si forma per trasferimento di elettroni tra atomi.
- Un atomo cede elettroni (diventa catione +), l'altro li acquista (diventa anione -).
- L'attrazione elettrostatica tiene uniti gli ioni.
- Tipico di metalli e non metalli.
- Forma reti cristalline ordinate.

ESEMPIO: NaCl (cloruro di sodio)

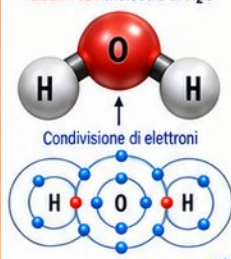


Gli opposti si attraggono e formano strutture forti!

4 LEGAME COVALENTE

- Si forma per condivisione di coppie di elettroni tra atomi non metallici.
- Può essere semplice, doppio o triplo.
- Può essere polare (con parziale separazione di carica) o apolare.
- Forma molecole o reticoli covalenti molto forti.

ESEMPIO: molecola di H₂O



Condividere rende più stabili!

5 LEGAME METALLICO

- Si forma tra atomi metallici con elettroni di valenza delocalizzati.
- Gli elettroni si muovono liberi in tutto il reticolo, creando un "mare di elettroni".
- Spiega l'elevata conducibilità elettrica e termica dei metalli.
- I legami metallici sono non direzionali.

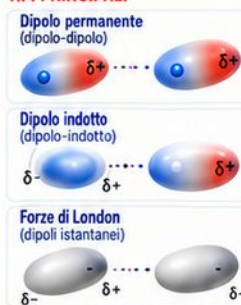


Un mare di elettroni che tiene uniti gli atomi!

6 FORZE DI VAN DER WAALS

- Sono legami secondari deboli dovuti a dipoli permanenti, dipoli indotti o forze di London.
- Agiscono tra molecole neutre e non comportano lo scambio di elettroni.
- Sono importanti in materiali molecolari come polimeri, materiali organici e nel legame tra strati (es. grafene).

TIPI PRINCIPALI



Anche le forze deboli fanno la differenza!

7 TIPO DI LEGAME E PROPRIETÀ

- Il tipo di legame influenza direttamente le proprietà dei materiali.
- I materiali con legami forti sono generalmente più duri e con temperature di fusione elevate.
- I legami deboli portano a materiali più morbidi e con basse temperature di fusione.

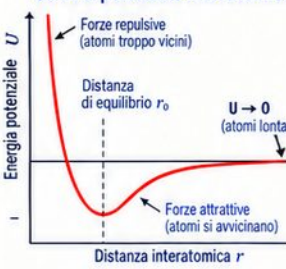
Tipo di legame	Caratteristiche generali	Esempi
Ionico	Duro, fragile, alta T _m , non conduce (allo stato solido)	NaCl, Al ₂ O ₃ , MgO
Covalente	Molto duro, altissima T _m , generalmente non conduce	Diamante, Si, SiO ₂
Metallico	Duttile, tenace, buona conducibilità, T _m variabile	Fe, Cu, Al, Ti
Van der Waals	Morbido, bassa T _m , isolante	Grafite (strati), polimeri, materiali organici

Stessi atomi, legami diversi, proprietà diverse!

8 POTENZIALE INTERATOMICO

- La forza di legame tra atomi è descritta da un potenziale di interazione che dipende dalla distanza interatomica.
- A distanze molto piccole prevalgono le forze repulsive, a distanze intermedie le forze attrattive.
- La distanza di equilibrio corrisponde al minimo di energia potenziale.

Curva di potenziale interatomico



La distanza giusta rende stabile il materiale!

9 ESEMPI NEI MATERIALI DI INGEGNERIA

Diamante (C) Legame covalente - Estremamente duro - T_m molto alta - Isolante elettrico	Sodio cloruro (NaCl) Legame ionico - Duro e fragile - T_m elevata - Isolante elettrico
Rame (Cu) Legame metallico - Duttile e tenace - Alta conducibilità - T_m intermedia	Grafite (C) Legami di van der Waals (strati covalenti) - Morbida e lubrificante - Bassa T_m - Conduce elettricità (nel piano)

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La struttura atomica e i legami determinano le proprietà dei materiali.
- ✓ Conoscere i legami aiuta a scegliere il materiale giusto per ogni applicazione.
- ✓ I materiali ingegneristici sono progettati controllando struttura e legami a livello atomico.
- ✓ Dalla nano-scala alle macro-strutture, la scienza dei materiali è la base dell'innovazione.



Capire come gli atomi si uniscono significa progettare un futuro più forte, leggero e sostenibile!

LA SCIENZA DEI MATERIALI UNISCE ATOMI, CONOSCENZE E INNOVAZIONE PER COSTRUIRE UN MONDO MIGLIORE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

STRUTTURA CRISTALLINA E DIFETTI

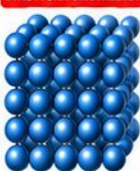
FCC, BCC, HCP, GRANI, DISLOCAZIONI E IMPERFEZIONI

La struttura e i difetti nei materiali determinano le loro proprietà meccaniche, fisiche e tecnologiche!

1 STRUTTURA CRISTALLINA E AMORFA

- Nei solidi gli atomi possono disporre in modo ordinato (**cristallino**) o disordinato (**amorfo**).
- Nei materiali cristallini gli atomi si ripetono periodicamente nello spazio.
- Nei materiali amorfi non esiste un ordine a lungo raggio.
- Esempi: metalli (cristallini), vetri e polimeri amorfi.

STRUTTURA CRISTALLINA



Ordine a lungo raggio

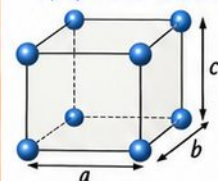
STRUTTURA AMORFA



Nessun ordine periodico

2 LA CELLA UNITARIA

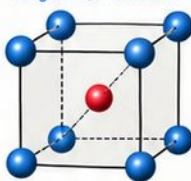
- La cella unitaria è il più piccolo volume che, ripetuto nello spazio, genera l'intero cristallo.
- È definita dai parametri reticolari: a , b , c e dagli angoli α , β , γ .
- La forma e le dimensioni della cella determinano le proprietà del materiale.



Parametri reticolari:
 a , b , c = lati della cella
 α , β , γ = angoli tra i lati

3 STRUTTURA BCC (CUBICA A CORPO CENTRATO)

- Atomi ai vertici del cubo e un atomo al centro.
- Numero di atomi per cella: 2
- Numero di coordinazione: 8
- Fattore di impacchettamento: 0,68
- Esempi: ferro (α), cromo, tungsteno, molibdeno.

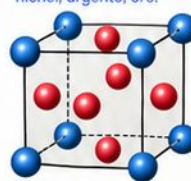


Cella BCC

Più aperta, maggiore duttilità a basse temperature

4 STRUTTURA FCC (CUBICA A FACCE CENTRATE)

- Atomi ai vertici del cubo e al centro delle facce.
- Numero di atomi per cella: 4
- Numero di coordinazione: 12
- Fattore di impacchettamento: 0,74
- Esempi: alluminio, rame, nichel, argento, oro.

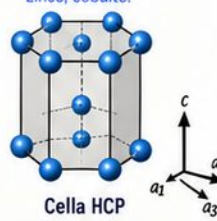


Cella FCC

Più compatta, maggiore duttilità e formabilità

5 STRUTTURA HCP (ESAGONALE COMPATTA)

- Struttura esagonale con impacchettamento compatto.
- Numero di atomi per cella: 6
- Numero di coordinazione: 12
- Fattore di impacchettamento: 0,74
- Esempi: magnesio, titanio, zinco, cobalto.

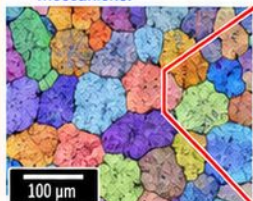


Cella HCP

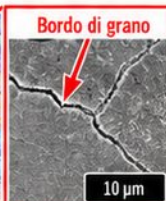
Compatta, ma con minore numero di sistemi di scorrimento

6 GRANI E BORDI DI GRANO

- I materiali policristallini sono costituiti da molti grani cristallini con orientazioni diverse.
- I bordi di grano sono le regioni di transizione tra grani adiacenti.
- I bordi di grano ostacolano il movimento delle dislocazioni e influenzano le proprietà meccaniche.



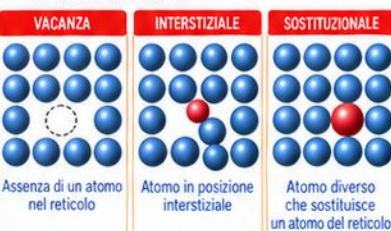
Microstruttura policristallina (esempio: acciaio)



Dettaglio del bordo di grano

7 DIFETTI PUNTUALI

- I difetti puntuali sono imperfezioni nella disposizione degli atomi.
- Influenzano densità, proprietà meccaniche, elettriche e diffusive.



Possono essere **intrinseci** (nel materiale puro) o **estrinseci** (dovuti ad elementi di lega).

8 DIFETTI LINEARI: DISLOCAZIONI

- Le dislocazioni sono difetti lineari che permettono la deformazione plastica.
- Esistono due tipi principali:



Le dislocazioni si muovono sotto sforzo, permettendo la deformazione plastica a tensioni molto inferiori a quelle teoriche.

9 EFFETTO DEI DIFETTI E DELLA DIMENSIONE DEI GRANI

- I difetti e i bordi di grano ostacolano il movimento delle dislocazioni, aumentando la resistenza meccanica.
- Più piccoli sono i grani, maggiore è la resistenza (legge di Hall-Petch).
- I difetti influenzano anche durezza, duttilità, tenacità, conducibilità e diffusione.

LEGGE DI HALL-PETCH

$$\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2}$$

σ_y = tensione di snervamento (MPa)

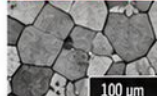
σ_0 = attrito reticolare

k = costante di Hall-Petch

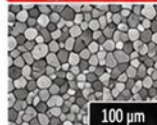
d = dimensione media dei grani (μm)



GRANI GRANDI (minore resistenza)



GRANI PICCOLI (maggiore resistenza)



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La struttura cristallina (BCC, FCC, HCP) definisce caratteristiche e proprietà del materiale.
- ✓ I difetti (puntuali, lineari, superficiali e volumetrici) sono sempre presenti e influenzano il comportamento meccanico.
- ✓ I bordi di grano ostacolano le dislocazioni.
- ✓ Grani più piccoli → maggiore resistenza (legge di Hall-Petch).
- ✓ La combinazione di struttura, difetti e microstruttura permette di progettare materiali con proprietà mirate.

Controllare la microstruttura significa progettare migliori prestazioni!



LA SCIENZA DEI MATERIALI PERMETTE DI COSTRUIRE UN FUTURO PIÙ RESISTENTE, EFFICIENTE E SOSTENIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI

ELASTICITÀ, RESISTENZA, DUTTILITÀ, DUREZZA, TENACITÀ E RESILIENZA

Conoscere le proprietà dei materiali per scegliere quello giusto in ogni applicazione!

1 SFORZO E DEFORMAZIONE

- Lo sforzo (σ) è la forza per unità di area: $\sigma = F/A$
- Si misura in Pascal (Pa, MPa).
- La deformazione (ϵ) è la variazione relativa di lunghezza: $\epsilon = \Delta L/L_0$
- È adimensionale (mm/mm) spesso espressa in %.

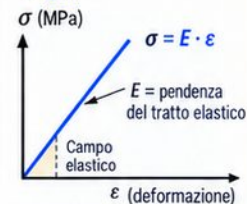


$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{sforzo})$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad [-] \quad (\text{deformazione})$$

2 COMPORTAMENTO ELASTICO E MODULO DI YOUNG

- Nel campo elastico la deformazione è reversibile.
- Vale la legge di Hooke: $\sigma = E \cdot \epsilon$.
- Il modulo di Young (E) misura la rigidità del materiale.
- Maggiore è E, più il materiale è rigido.



VALORI TIPICI DEL MODULO DI YOUNG

Acciaio: 200–210 GPa
Alluminio: 69–70 GPa
Ghisa: 100–170 GPa
Polimeri: 1–4 GPa

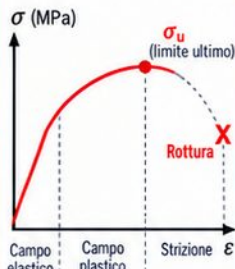
3 SNERVAMENTO (LIMITE DI SNERVAMENTO)

- È lo sforzo oltre il quale inizia la deformazione plastica (permanente).
- Si indica con σ_y .
- Nei materiali duttili è ben definito (punto di snervamento).
- Nei materiali non duttili può essere convenzionale (es. 0,2%).



4 RESISTENZA A TRAZIONE (LIMITE ULTIMO)

- È lo sforzo massimo che il materiale può sopportare prima della rottura: σ_u .
- Dopo il limite ultimo inizia la strizione (necking).
- È un parametro fondamentale per il dimensionamento.



5 DUTTILITÀ

- È la capacità di deformarsi plasticamente prima della rottura.
- Si misura con l'allungamento a rottura (A%) o con la riduzione di area (Z%).
- Materiali duttili: grandi deformazioni.
- Materiali fragili: piccole deformazioni.



Grandi deformazioni = alta duttilità!

6 DUREZZA

- È la resistenza alla penetrazione, graffio o usura.
- Si misura con prove standard: Brinell (HB), Rockwell (HR), Vickers (HV).
- Non è una misura diretta della resistenza, ma è correlata all'usura e alla resistenza meccanica.



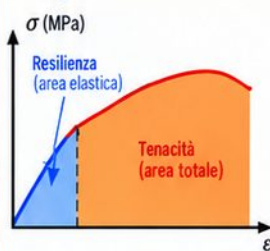
Esempi di scale:

Brinell (HB)
Rockwell (HRB, HRC)
Vickers (HV)

Più è duro, più resiste all'usura!

7 TENACITÀ E RESILIENZA

- La tenacità è l'energia assorbita fino alla rottura (area totale sotto la curva σ - ϵ).
- La resilienza è l'energia assorbita nel solo campo elastico (area del triangolo).
- Entrambe indicano la capacità di assorbire energia senza rompersi.



Maggiore è l'area, maggiore è la capacità di assorbire energia!

8 FRAGILITÀ E TENDENZA ALLA ROTTURA

- I materiali fragili si rompono con poca o nessuna deformazione plastica.
- Non mostrano un chiaro snervamento.
- Esempi: ghisa, ceramiche, vetro.
- La rottura può essere improvvisa e pericolosa.



Rottura duttile (superficie fibrosa)

Rottura fragile (superficie piana)

La fragilità aumenta a basse temperature e in presenza di difetti!

9 CONFRONTO TRA MATERIALI

- Ogni materiale ha un insieme di proprietà specifiche.
- La scelta dipende dall'applicazione: resistenza, peso, costo, ambiente di lavoro.
- Ecco un confronto indicativo:

Materiale	E (GPa)	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	A% (duttilità)	Durezza (HB)
Acciaio (al carbonio)	200	250–350	400–600	15–30	120–200
Alluminio (lega)	69	150–300	250–400	10–25	50–120
Ghisa (grigia)	100–170	—	150–350	< 2	180–250
Polimero (ABS)	1–2	30–50	40–60	10–50	10–20



10 MESSAGGIO CHIAVE



- Le proprietà meccaniche determinano il comportamento dei materiali sotto carico.
- Non esiste il materiale "migliore" in assoluto, ma il più adatto all'applicazione.
- Considera sempre l'ambiente di lavoro, il tipo di sollecitazione, il peso e il costo.
- Usa dati e prove sperimentali per una scelta consapevole e sicura.
- La conoscenza dei materiali è la base per progettare prodotti più sicuri, efficienti e sostenibili.

Il materiale giusto rende le tue idee più solide!



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Conoscere come i materiali si comportano per progettare in modo sicuro e affidabile!

PROVE MECCANICHE E DIAGRAMMA SFORZO-DEFORMAZIONE

TRAZIONE, COMPRESSIONE, DUREZZA, FATICA, CREEP E CARATTERIZZAZIONE

1 PROVA DI TRAZIONE

Determinazione delle proprietà meccaniche a trazione

- Provino normalizzato (cilindrico o piatto)
- Carico assiale crescente fino a rottura
- Misura di forza e allungamento
- Risultati: curva sforzo-deformazione e proprietà del materiale



2 DIAGRAMMA SFORZO-DEFORMAZIONE

Curva ingegneristica tipica per un materiale duttile (es. acciaio)



3 PUNTI CHIAVE DELLA CURVA

- A** MODULO DI ELASTICITÀ (E)
- Pendenza del tratto elastico
 - Rapporto σ/ϵ
 - Indica la rigidità del materiale
- B** SNERVAMENTO (σ_y)
- Inizio della deformazione plastica
 - Materiali duttili: punto definito
 - Materiali fragili: non presente un vero snervamento
- C** RESISTENZA MASSIMA (R_m)
- Massimo sforzo ingegneristico
 - Inizio della strizione (necking)
 - Fine della deformazione uniforme

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \quad [\text{MPa}]$$

- D** ROTTURA
- Cedimento finale del provino
 - Può essere duttile (con molta deformazione) o fragile (poca deformazione)

Da una sola prova ottieni:
✓ E, σ_y , R_m , allungamento e tenacità!

4 PROVE DI COMPRESSIONE E FLESSIONE

- Compressione: determina la resistenza a carichi agenti in compressione (materiali fragili come calcestruzzo, ghisa, ceramici).
- Flessione: valuta il comportamento a carichi di flessione (es. prove a 3 o 4 punti).



5 PROVE DI DUREZZA

Resistenza alla penetrazione di un indentatore

BRINELL (HB)	ROCKWELL (HR)	VICKERS (HV)
• Carichi elevati • Impronta grande • Adatta a materiali duttili e non omogenei	• Misura della profondità • Veloce e pratica • Scale diverse (HRA, HRB, HRC) • Adatta alla produzione	• Carichi bassi • Alta precisione • Adatta a materiali duri e a piccoli spessori
$HB = \frac{2F}{\pi D(D-d)}$ F = carico [N] D = diametro sfera [mm] d = diametro impronta [mm]	$HRC = 100 - 500 \cdot h$ h = profondità di penetrazione [mm]	$HV = \frac{1,854 \cdot F}{d^2}$ F = carico [kgf] d = diagonale media [mm]

6 PROVA DI IMPATTO (CHARPY)

Misura la resilienza del materiale (energia assorbita a rottura)

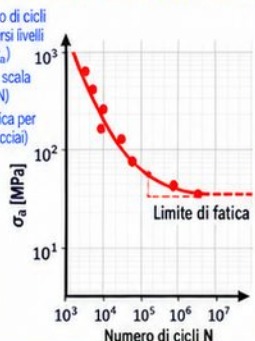
- Provino intagliato (a V o U)
- Colpo di pendolo
- Misura dell'energia assorbita
- Valuta la tenacità, soprattutto a basse temperature
- Utile per materiali duttili-fragili

Più energia assorbita = maggiore tenacità!

7 FATICA E CURVA S-N

Cedimento per carichi ciclici anche a sforzi inferiori al limite di snervamento

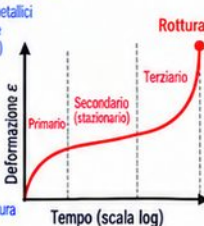
- Si determina il numero di cicli a rottura (N) per diversi livelli di sforzo alternato (σ_a)
- Rappresentazione su scala logaritmica (curva S-N)
- Esiste un limite di fatica per alcuni materiali (es. acciai)
- Dipende da finitura superficiale, intagli, ambiente



8 CREEP (SCORRIMENTO VISCOSO)

Deformazione nel tempo a temperatura elevata sotto carico costante

- Tipico di materiali metallici ad alte temperature (es. turbine, caldaie)
- Tre stadi di creep: primario, secondario, terziario
- Porta alla rottura dopo lungo tempo
- Dipende da temperatura e livello di sforzo



Aumenta con:



9 A COSA SERVONO LE PROVE

Applicazioni ingegneristiche principali

Trazione	Progettazione di elementi soggetti a carichi assiali
Compressione	Valutazione di materiali fragili (calcestruzzo, ceramici)
Flessione	Travi, alberi, componenti strutturali
Durezza	Controllo qualità, resistenza all'usura, trattamenti termici
Impatto	Valutazione della tenacità, sicurezza a basse temperature
Fatica	Componenti soggetti a carichi ciclici (alberi, ingranaggi, strutture)
Creep	Componenti ad alta temperatura (turbine, impianti, motori)
Caratterizzazione	Scelta dei materiali, confronto di leghe, validazione normativa

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Le prove meccaniche permettono di conoscere le proprietà reali dei materiali
 - ✓ Ogni prova fornisce informazioni specifiche
 - ✓ I risultati dipendono da forma del provino, condizioni di prova e normativa
 - ✓ Sono fondamentali per progettare in modo sicuro, efficiente e duraturo
 - ✓ Conoscere i limiti dei materiali evita guasti, costi e rischi
- Materiali testati = progetti più sicuri, più efficienti, più sostenibili!

LA CONOSCENZA DEL COMPORTAMENTO DEI MATERIALI È ALLA BASE DI OGNI PROGETTO INGEGNERISTICO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

DIAGRAMMA FERRO-CARBONIO

FERRITE, AUSTENITE, CEMENTITE, PERLITE, ACCIAI E GHISE

Conoscere il diagramma Fe-C significa prevedere le microstrutture, le proprietà e scegliere il trattamento corretto!

1 PERCHÉ È IMPORTANTE

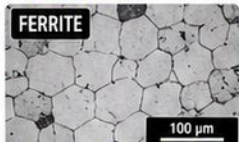
- Mostra le fasi presenti in funzione di temperatura e percentuale di carbonio.
- Permette di prevedere la microstruttura finale.
- È la base per progettare trattamenti termici.
- Influisce su proprietà meccaniche, lavorabilità e saldabilità.
- Fondamentale per acciai, ghise e leghe ferrose.

Un solo grafico, tante informazioni per l'ingegnere!



2 FERRITE (α)

- Soluzione solida di carbonio nel ferro α (struttura BCC).
- Bassissima solubilità di carbonio (max $\approx 0,022\%$ a 727°C).
- Duttile, tenera, buona lavorabilità.
- Magnetica a temperatura ambiente.
- Presente a basse temperature e basse %C.



Grani chiari e poligonali.

3 AUSTENITE (γ)

- Soluzione solida di carbonio nel ferro γ (struttura FCC).
- Alta solubilità di carbonio (fino a $\approx 2,11\%$ a 1147°C).
- Non magnetica.
- Più duttile della ferrite, aumenta la temprabilità.
- Esiste ad alte temperature ($> 727^\circ\text{C}$).



Grani equiaxiali austenitici.

4 CEMENTITE (Fe_3C)

- Carburo di ferro con 6,67% di carbonio.
- Molto dura e fragile.
- Conferisce resistenza all'usura, ma riduce durezza e tenacità.
- Presente in piccole quantità negli acciai e abbondante nelle ghise.
- Aspetto chiaro nelle micrografie.



Fasi chiare, aghiformi o lamellari.

5 PERLITE

- Miscela eutettoidica di ferrite e cementite (lamellare).
- Contiene $\approx 0,77\%$ di carbonio.
- Buon compromesso tra resistenza e duttilità.
- Maggiore durezza rispetto alla ferrite.
- La distanza tra le lamelle influisce sulle proprietà (meglio se più fine).



Struttura lamellare di ferrite e cementite.

6 PUNTO EUTETTOIDE E TEMPERATURE CRITICHE

- Punto eutettoide (A_1):**
 727°C a $0,77\% \text{ C}$
- Trasformazione: $\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ (austenite $\rightarrow$ perlite)
- Temperature critiche:**
 - $A_1 = 727^\circ\text{C}$ (eutettoide)
 - A_3 = limite γ/α per acciai ipoeutettoidici
 - A_{cm} = limite $\gamma/\text{Fe}_3\text{C}$ per acciai ipereutettoidici
 - $A_4 = 1394^\circ\text{C}$ ($\delta \leftrightarrow \gamma$)

7 ACCIAI IPOEUTETTOIDI E IPEREUTETTOIDI

- Acciai ipoeutettoidici ($\text{C} < 0,77\%$)**
- Microstruttura: ferrite proeutettoide + perlite.
 - Maggiore duttilità e tenacità.
 - Usati per strutture, carpenteria, componenti meccanici.

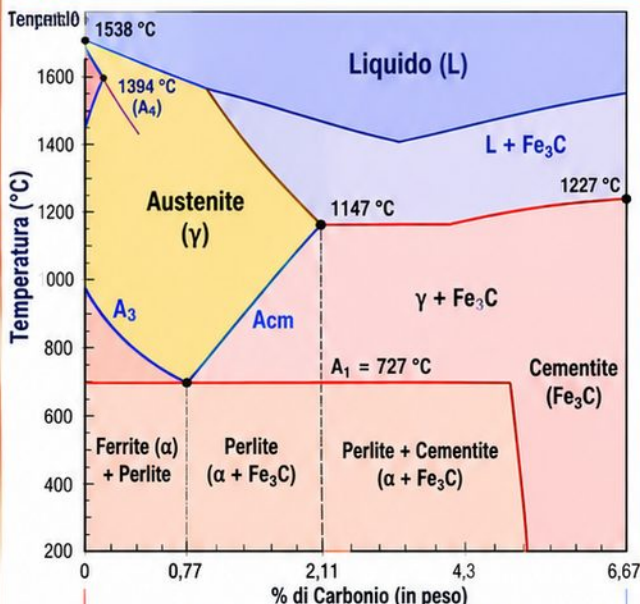


Acciai ipereutettoidici ($0,77\% < \text{C} < 2,11\%$)

- Microstruttura: cementite proeutettoide + perlite.
- Maggiore durezza e resistenza all'usura.
- Usati per utensili, lame, cuscinetti.



9 DIAGRAMMA FERRO-CARBONIO (METASTABILE Fe-Fe₃C)



L = liquido
 γ = austenite (FCC)
 α = ferrite (BCC)
 Fe_3C = cementite

A_1 = temperatura eutettoide (727°C)
 A_3 = limite γ/α (acciai ipoeutettoidici)
 A_{cm} = limite $\gamma/\text{Fe}_3\text{C}$ (acciai ipereutettoidici)
 A_4 = trasformazione δ/γ (1394°C)

8 ACCIAI E GHISE: DIFFERENZE E APPLICAZIONI

ACCIAI ($0 - 2,11\% \text{ C}$)

- Più duttili e tenaci.
- Buona saldabilità e lavorabilità.
- Ampia gamma di proprietà con trattamenti termici.
- Usati in edilizia, meccanica, automotive, utensili.



Acciaio: resistenza, duttilità, versatilità!

GHISE ($2,11 - 6,67\% \text{ C}$)

- Maggiore percentuale di carbonio.
- Più dure e fragili.
- Ottima colabilità e resistenza all'usura.
- Usate per blocchi motore, basamenti, corpi macchina, componenti complessi.



Ghisa: performance economica per forme complesse!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Il diagramma Fe-C collega composizione, temperatura, microstruttura e proprietà.
- Permette di scegliere il materiale e il trattamento più adatto.
- Piccole variazioni di carbonio grandi differenze di proprietà.
- È uno strumento indispensabile per ogni ingegnere meccanico.



Conoscenza dei materiali = scelte migliori e progetti più affidabili!



LA SCIENZA DEI MATERIALI TRASFORMA LA CONOSCENZA IN SOLUZIONI REALI PER UN MONDO PIÙ SICURO, EFFICIENTE E SOSTENIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERARE LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ACCIAI

RICOTTURA, NORMALIZZAZIONE, TEMPRA, RINVENIMENTO E BONIFICA

Il calore trasforma la struttura interna degli acciai e ne cambia le proprietà!

1 PERCHÉ SI FANNO

- Modificano la microstruttura
- Migliorano le proprietà meccaniche (durezza, tenacità, resilienza)
- Riducono tensioni interne
- Affinano la grana
- Omogeneizzano la struttura
- Preparano il materiale per lavorazioni successive
- Adattano l'acciaio all'uso specifico



2 IL CICLO DI TRATTAMENTO

- Riscaldamento fino alla temperatura desiderata
- Mantenimento (tempo di sosta) per permettere le trasformazioni
- Raffreddamento con velocità controllata (lenta o rapida) secondo l'effetto desiderato



Tre fasi, grandi risultati!

3 RICOTTURA

- Riscaldamento a 680–750 °C (sotto la temperatura critica)
- Mantenimento prolungato
- Raffreddamento molto lento nel forno
- Riduce la durezza e le tensioni interne
- Aumenta la duttilità e la lavorabilità
- Usata dopo lavorazioni a freddo o fusioni



4 NORMALIZZAZIONE

- Riscaldamento a 850–950 °C (sopra la temperatura critica)
- Mantenimento adeguato
- Raffreddamento in aria calma
- Grana più fine rispetto alla ricottura
- Migliora le proprietà meccaniche
- Uniforma la struttura dopo fusioni o lavorazioni pesanti



5 TEMPRA

- Riscaldamento a 820–900 °C (sopra la temperatura critica)
- Mantenimento breve
- Raffreddamento rapido in acqua, olio o aria forzata
- Si ottiene una struttura martensitica
- Durezza molto elevata
- Maggiore rischio di cricche e tensioni interne



6 RINVENIMENTO

- Riscaldamento a 150–600 °C (dopo la tempra)
- Mantenimento per un tempo definito
- Raffreddamento in aria
- Riduce la fragilità della martensite
- Aumenta la tenacità
- Permette di regolare il compromesso tra durezza e resistenza



7 BONIFICA

- È la combinazione di tempra seguita da rinvenimento
- Si ottiene un buon equilibrio tra durezza, resistenza e tenacità
- Ampio uso negli acciai da costruzione meccanica
- Elimina gran parte delle tensioni residue della tempra
- Ideale per componenti sollecitati (staticamente e dinamicamente)



8 EFFETTO SU MICROSTRUTTURA E DUREZZA



DUREZZA TIPICA (HRC)	
Ricotto	10 – 20
Normalizzato	20 – 30
Temprato	50 – 65
Rinvenuto	30 – 50
Bonificato	28 – 45

Stessa lega, strutture diverse, proprietà diverse!

9 APPLICAZIONI E PRECAUZIONI

APPLICAZIONI TIPICHE

- ✓ Alberi e ingranaggi
- ✓ Componenti per automobili
- ✓ Utensili da taglio e stampi
- ✓ Parti strutturali e bielle
- ✓ Molle e organi elastici
- ✓ Lamiere e carpenteria
- ✓ Componenti sottoposti a usura, es.: perni, guide, cuscinetti

PRECAUZIONI E PROBLEMI

- ⚠ **Distorsione:** causata da raffreddamenti non uniformi
- ⚠ **Cricche:** dovute a tempra troppo severa o geometrie critiche
- ⚠ **Tensioni residue:** possono portare a deformazioni nel tempo
- ⚠ **Decarburazione:** perdita di carbonio in superficie ad alte temperature

Scelta del mezzo di tempra: acqua (più severa), olio (meno severa), aria forzata (per sezioni sottili)

Un buon risultato richiede controllo e attenzione!



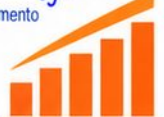
10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ I trattamenti termici permettono di adattare le proprietà degli acciai all'uso.
- ✓ Ricottura = morbidezza e lavorabilità.
- ✓ Normalizzazione = struttura uniforme e grana fine.
- ✓ Tempra = massima durezza.
- ✓ Rinvenimento = meno fragilità, più tenacità.
- ✓ Bonifica = equilibrio ottimale.
- ✓ Il controllo di temperature, tempi e velocità di raffreddamento è fondamentale.
- ✓ Attenzione a distorsioni, cricche e decarburazione.
- ✓ Con la giusta scelta del trattamento, l'acciaio diventa più performante e affidabile.

"Stesso materiale, infinite possibilità, con il giusto trattamento!"



Il trattamento giusto per ogni esigenza!



LA SCIENZA DEI MATERIALI TRASFORMA LA CONOSCENZA IN COMPONENTI PIÙ SICURI, AFFIDABILI E PERFORMANTI.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK | IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE | CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

CORROSIONE E PROTEZIONE DEI MATERIALI

OSSIDAZIONE, CORROSIONE GALVANICA, RIVESTIMENTI E PREVENZIONE

Conoscere la corrosione per costruire un futuro più sicuro, durevole e sostenibile!

1 COS'È LA CORROSIONE

- Processo di degradazione dei materiali, soprattutto metalli, dovuto a reazioni chimiche o elettrochimiche con l'ambiente.
- Trasforma il metallo in composti più stabili (es. ossidi, idrossidi, sali).
- Comporta perdita di proprietà meccaniche, funzionali ed estetiche.
- È un fenomeno naturale e spontaneo.



2 LA CELLA ELETTROCHIMICA

- La corrosione dei metalli in ambiente umido è un processo elettrochimico.
- Si formano una zona anodica (ossidazione, perdita di elettroni) e una zona catodica (riduzione).
- Gli elettroni scorrono nel metallo e gli ioni nella soluzione elettrolitica (es. acqua con sali).
- È una vera e propria pila elettrochimica che genera una corrente di corrosione.



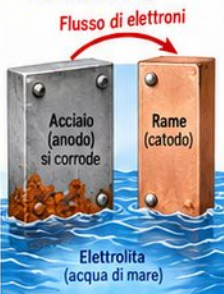
3 CORROSIONE UNIFORME

- Attacco diffuso e uniforme su tutta la superficie del metallo.
- Provoca una riduzione graduale dello spessore.
- Tipica di ambienti aggressivi (es. atmosfera marina, ambienti acidi).
- Più facile da prevedere e monitorare.
- Può essere accettabile se la perdita di materiale è lenta e nota nel tempo.



4 CORROSIONE GALVANICA

- Si verifica tra due metalli diversi a contatto, in presenza di un elettrolita.
- Il metallo meno nobile (anodo) si corrode più rapidamente.
- Più la differenza di potenziale è grande, più la corrosione è intensa.
- Esempio: acciaio (anodo) a contatto con rame (catodo) in ambiente marino.



5 PITTING E CORROSIONE IN FESSURA

- Pitting: attacco localizzato che forma piccole cavità (profondi pit).
- Molto pericoloso perché può portare a rotture improvvise.
- Corrosione in fessura: avviene in zone poco aerate come giunzioni, sovrapposizioni, guarnizioni.
- Entrambe sono insidiose e difficili da rilevare.



Piccoli difetti, grandi problemi!

6 FATTORI CHE ACCELERANO LA CORROSIONE

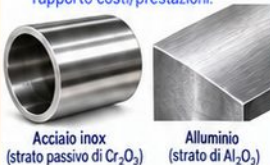
- Presenza di acqua e umidità.
- Sali disciolti (es. cloruri, acqua di mare).
- pH basso (ambiente acido).
- Temperatura elevata.
- Ossigeno disciolto.
- Differenza di potenziale tra metalli.
- Tensioni meccaniche e difetti superficiali.
- Inquinanti atmosferici (SO_2 , NO_x).
- Mancanza di manutenzione.

Ambienti più critici:

- marino
- industriale
- urbano
- chimico
- sotterraneo

7 SCELTA DEI MATERIALI E PASSIVAZIONE

- Usare materiali resistenti alla corrosione (es. acciai inossidabili, leghe di alluminio, titanio).
- La passivazione è la formazione di un sottile strato protettivo di ossido stabile che impedisce ulteriori attacchi.
- Alcuni metalli (Cr, Al, Ti) si passivano naturalmente in presenza di ossigeno.
- La scelta del materiale dipende dall'ambiente di servizio e dal rapporto costi/prestazioni.



Il materiale giusto dura più a lungo!

8 RIVESTIMENTI E ZINCATURA

- I rivestimenti isolano il metallo dall'ambiente aggressivo.
- Possono essere metallici (zincatura, nichelatura, cromatura) o non metallici (vernici, polimeri).
- La zincatura (Zn) protegge l'acciaio sia come barriera, sia come anodo sacrificale.
- Altri rivestimenti: vernici epossidiche, smalti, rivestimenti in polimeri, cladding, anodizzazione (per alluminio).



9 PROTEZIONE CATODICA E MANUTENZIONE

- Protezione catodica: il metallo da proteggere è reso catodo (forzando un potenziale negativo).
- Si usa un anodo sacrificale (es. zinco, magnesio) o una corrente impressa.
- Manutenzione: controlli periodici, pulizia, ripristino dei rivestimenti, ispezioni non distruttive (es. ultrasuoni, spessimetri).
- Buone pratiche progettuali: evitare ristagni d'acqua, progettare il drenaggio, minimizzare giunzioni dissimili.



10 MESSAGGIO CHIAVE



La corrosione è un fenomeno naturale, ma può essere controllata.



La scelta dei materiali, i rivestimenti e la protezione catodica sono strumenti efficaci.



La prevenzione e la manutenzione riducono i costi e aumentano la sicurezza.



Materiali più durevoli significano minore impatto ambientale e maggiore sostenibilità.



Prevenire oggi per un domani più sicuro!



LA CONOSCENZA DEI MATERIALI PROTEGGE LE NOSTRE OPERE, LE NOSTRE PERSONE E L'AMBIENTE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

SELEZIONE DEI MATERIALI PER L'INGEGNERIA

PRESTAZIONI, COSTO, LAVORABILITÀ, AMBIENTE E AFFIDABILITÀ

*Il materiale giusto,
nel posto giusto,
per un mondo migliore!*

1 PERCHÉ È IMPORTANTE LA SELEZIONE DEI MATERIALI

- Influenza prestazioni, sicurezza e durata
- Condiziona costi e tempi di produzione
- Riduce i rischi di guasto
- Migliora l'efficienza e la sostenibilità ambientale
- È un fattore strategico per l'innovazione

Il materiale giusto fa la differenza!



2 REQUISITI FUNZIONALI

- Cosa deve fare il componente?
- Quali sollecitazioni deve resistere?
- Qual è l'ambiente di utilizzo?
- Quali sono i vincoli di peso, ingombro e vita utile?
- Sono richieste proprietà speciali (elettriche, termiche, magnetiche, estetiche)?



CARICHI



TEMPERATURA



AMBIENTE



DURATA



INGOMBRI



PROPRIETÀ SPECIALI

3 CRITERI DI PROPRIETÀ MECCANICHE E TERMICHE

- Resistenza, rigidità e durezza
- Tenacità e resilienza
- Resistenza a fatica e creep
- Conduttività termica
- Stabilità alle alte temperature
- Coefficiente di dilatazione termica

PROPRIETÀ (tipiche)	Acciaio	Alluminio	Polimero	Ceramica	Composito
Resistenza (meccanica)	Alta	Media	Bassa	Alta	Alta
Densità (kg/dm³)	7,8	2,7	0,9	3,9	1,5
Temp. max (°C)	600	300	120	1200	250
Conduc. termica	Alta	Alta	Bassa	Bassa	Media

4 LAVORABILITÀ E PROCESSI PRODUTTIVI

- Quali processi sono compatibili?
- È facilmente lavorabile, formabile, saldabile?
- Sono richiesti trattamenti termici o superficiali?
- Quali tolleranze si possono raggiungere?
- Influisce sulla complessità e sul costo di produzione.



5 COSTI E DISPONIBILITÀ

- Costo del materiale e dei processi
- Disponibilità sul mercato
- Variabilità dei prezzi
- Tempi di approvvigionamento
- Dipendenza da materie prime critiche
- Valutazione del costo del ciclo di vita



Prestazioni e costi sempre in equilibrio!

6 CORROSIONE E AMBIENTE

- Resistenza alla corrosione e all'ossidazione
- Comportamento in ambienti aggressivi (acqua, salinità, agenti chimici)
- Effetti di umidità, raggi UV, temperatura e cicli termici
- Scelta di rivestimenti e protezioni superficiali
- Adatta il materiale all'ambiente di esercizio!



Un ambiente difficile richiede un materiale più forte!

7 SOSTENIBILITÀ E RICICLABILITÀ

- Impatto ambientale lungo tutto il ciclo di vita (LCA)
- Consumo di energia e emissioni di CO₂
- Riciclabilità e possibilità di riuso
- Uso di materiali riciclati o da fonti rinnovabili
- Conformità alle normative ambientali



Materiali sostenibili per un futuro migliore!

8 RISCHI DI GUASTO E AFFIDABILITÀ

- Fatica (carichi ciclici)
- Usura (attrito e abrasione)
- Creep (alte temperature)
- Frattura fragile o duttile
- Difetti di materiale e di lavorazione
- Analisi dei guasti e prove non distruttive (NDT)
- Progetta per la durata, non solo per la resistenza!



9 MAPPA DI SELEZIONE DEI MATERIALI



Dalla funzione alla soluzione!

ESEMPI DI APPLICAZIONI

TRAVE STRUTTURALE	SCOCOA AUTO	INGRANAGGIO	CONTENITORE CHIMICO	TURBINA	PALA EOLICA
Acciaio Alta resistenza ed elasticità	Alluminio Leggerezza e buona resistenza	Acciaio Resistenza all'usura e a fatica	Polimero Resistenza alla corrosione	Ceramica Alte temperature e stabilità	Composito Alta rigidità e leggerezza

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Non esiste un materiale perfetto, ma il materiale più adatto all'applicazione.
- ✓ Considera sempre prestazioni, costo, lavorabilità, ambiente e affidabilità.
- ✓ Usa un approccio sistematico e multidisciplinare.
- ✓ Valida la scelta con test, simulazioni e dati reali.
- ✓ La selezione dei materiali è la chiave per prodotti sicuri, efficienti e sostenibili.
- ✓ Pensa al ciclo di vita completo, oggi e per le generazioni future.

Materiali migliori, idee più grandi. un futuro più sostenibile!



AEROSPAZIALE Prestazioni estreme | AUTOMOTIVE Leggerezza ed efficienza | INFRASTRUTTURE Sicurezza e durata | ENERGIA Sostenibilità | BIOMEDICALE Biocompatibilità



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

POLIMERI, CERAMICI E COMPOSITI

CARATTERISTICHE, VANTAGGI, LIMITI E APPLICAZIONI

*Materiali innovativi
per un futuro più leggero,
resistente e sostenibile!*

1 PANORAMICA DEI MATERIALI NON METALLICI PER L'INGEGNERIA

- I materiali polimerici, ceramici e compositi sono ampiamente utilizzati in ingegneria.
- Offrono proprietà uniche rispetto ai metalli.
- Scelti in base a requisiti di prestazioni, ambiente d'uso, costi e sostenibilità.
- Sempre più presenti grazie ai continui sviluppi tecnologici.



*Materiali diversi
per soluzioni migliori!*

2 TERMOPLASTICI vs TERMOINDURENTI

TERMOPLASTICI

- Si ammorbidiscono con il calore e possono essere rimodellati.
- Riciclabili, versatili, facili da processare.
- Esempi: PE, PP, PVC, PET, PA (nylon), ABS.



Granuli termoplastici

TERMOINDURENTI

- Induriscono irreversibilmente con il calore.
- Elevata resistenza termica e chimica.
- Non riciclabili facilmente.
- Esempi: epossidiche, fenoliche, poliuretatiche.



Resina termoindurente

*Riscalda, modella,
riutilizza!*

*Una volta indurito,
resta così!*

3 ELASTOMERI

- Polimeri con elevata elasticità.
- Si deformano sotto sforzo e tornano alla forma originale.
- Buona resistenza a urti, vibrazioni e agenti chimici.
- Esempi: gomma naturale, SBR, NBR, silicone, EPDM.



Guarnizioni e pneumatici in elastomeri

*Elasticità
in ogni forma!*

4 CERAMICI E VETRI

- Materiali inorganici, non metallici.
- Elevata durezza, resistenza all'usura e alle alte temperature.
- Generalmente fragili.
- I vetri sono ceramici amorfi trasparenti.
- Esempi: allumina (Al_2O_3), carburo di silicio (SiC), nitruro di silicio (Si_3N_4), vetro silicato.



Componenti ceramici e vetro

*Duri, stabili e resistenti
al calore!*

5 COMPOSITI RINFORZATI CON FIBRE

- Materiali ottenuti combinando una matrice con fibre di rinforzo.
- Elevato rapporto resistenza/peso.
- Proprietà personalizzabili in base alle fibre e alla matrice.
- Esempi: compositi in fibra di vetro (GFRP), fibra di carbonio (CFRP), fibra aramidica (Kevlar®).

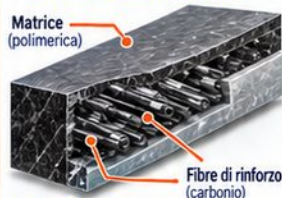


Fibre di carbonio, vetro e aramidiche

Più forti insieme!

6 MATRICE E RINFORZO: IL CONCETTO BASE

- Matrice:** tiene unite le fibre, trasferisce i carichi e protegge dalle aggressioni ambientali (polimerica, ceramica o metallica).
- Rinforzo:** fibre o particelle che aumentano resistenza e rigidità.
- La combinazione crea un materiale con proprietà superiori rispetto ai singoli componenti.



*L'unione
fa la forza!*

7 CONFRONTO CON I METALLI

Proprietà	Polimeri	Ceramici	Compositi	Metalli
Densità (peso specifico)	Bassa	Media	Molto bassa	Alta
Resistenza meccanica	Bassa-Media	Alta (in compressione)	Alta	Alta
Resistenza a corrosione	Eccellente	Eccellente	Eccellente	Media
Resistenza a temperatura	Bassa-Media	Molto alta	Media-Alta	Alta
Duttilità	Media	Bassa (fragili)	Media	Alta
Isolamento termico	Eccellente	Eccellente	Buono	Scarso
Isolamento elettrico	Eccellente	Eccellente	Buono	Scarso
Costo	Basso	Medio-Alto	Medio-Alto	Variabile

Materiali diversi, prestazioni diverse, scelte consapevoli!

8 PROPRIETÀ PRINCIPALI

- BASSA DENSITÀ**
 - Più leggeri dei metalli.
 - Ideali per applicazioni dove il peso conta.
- RESISTENZA ALLA CORROSIONE**
 - Non si ossidano.
 - Adatti ad ambienti aggressivi (chimici, marini, atmosferici).
- FRAGILITÀ**
 - I ceramici sono intrinsecamente fragili.
 - I polimeri possono essere tenaci o fragili a seconda della struttura.
- ISOLAMENTO TERMICO ED ELETTRICO**
 - Bassa conducibilità termica ed elettrica.
 - Ideali per applicazioni isolanti.
- RESISTENZA AL CALORE**
 - Variabile: bassa nei polimeri, molto alta nei ceramici.
 - I compositi possono essere progettati per alte temperature.

9 APPLICAZIONI TIPICHE

AUTOMOTIVE

- Componenti leggeri (plastiche, compositi)
- Parti interne ed esterne
- Riduzione di consumi ed emissioni



Paraurti e collettori in polimeri e compositi

AEROSPAZIALE

- Strutture in compositi (fibra di carbonio)
- Componenti interni leggeri
- Resistenza a fatica e ambienti estremi



Ali e pannelli in compositi

BIOMEDICALE

- Protesi e impianti (bioceramici, polimeri)
- Dispositivi medici
- Biocompatibilità e resistenza all'usura



Protesi e impianti bioceramici

INDUSTRIALE

- Rivestimenti antiusura
- Isolatori elettrici
- Componenti per impianti chimici
- Utensili in ceramica



Cuscinetti e utensili ceramici

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Polimeri, ceramici e compositi offrono soluzioni innovative per l'ingegneria moderna.
- Ogni materiale ha vantaggi e limiti: la scelta dipende dall'applicazione.
- Consentono strutture più leggere, resistenti e sostenibili.
- Sono fondamentali per la transizione verso una mobilità più efficiente e un futuro a basse emissioni.
- La conoscenza dei materiali è la chiave per progettare meglio.

*Materiali oggi,
innovazione domani!*



LA CONOSCENZA DEI MATERIALI APRE NUOVE POSSIBILITÀ PROGETTUALI, PIÙ EFFICIENTI, SICURE E SOSTENIBILI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ENERGIA E SOSTENIBILITÀ

FONDAMENTI, EFFICIENZA, EMISSIONI E TRANSIZIONE ENERGETICA

Usare bene l'energia
significa progettare un futuro
più efficiente, pulito
e sostenibile!

1 PERCHÉ È IMPORTANTE

- L'energia è al centro di produzione, trasporti e vita quotidiana
- Ha un impatto su costi, ambiente e competitività
- Esiste un legame tra consumo energetico e qualità della vita
- È un fattore chiave nella transizione ecologica

L'energia
muove
il mondo!



2 CHE COS'È L'ENERGIA

- È la capacità di compiere lavoro o trasferire calore
- Si misura in Joule (J) e kilowattora (kWh)
- Segue il principio di conservazione dell'energia
- L'energia cambia forma ma non si crea né si distrugge

E si conserva:
si trasforma!



3 FORME DI ENERGIA

- L'energia può assumere diverse forme e trasformarsi da una all'altra
- Esempi di conversione:
 - Motore elettrico: elettrica → meccanica
 - Caldaia: chimica → termica
 - Batteria: chimica → elettrica
 - Pannello fotovoltaico: solare → elettrica



4 SOSTENIBILITÀ

- Equilibrio tra ambiente, economia e società
- Uso efficiente delle risorse naturali
- Riduzione di emissioni e rifiuti
- Visione di lungo periodo per le future generazioni



Tre pilastri
per un futuro
migliore!

5 FONTI ENERGETICHE

FONTI FOSSILI

- Non rinnovabili
- Alto contenuto energetico
- Emettono gas serra
- Risorse limitate



PETROLIO GAS NATURALE CARBONE

FONTI RINNOVABILI

- Rinnovabili e inesauribili
- Basse emissioni
- Più sostenibili nel lungo periodo
- Richiedono tecnologie adeguate



SOLE VENTO ACQUA BIOMASSA

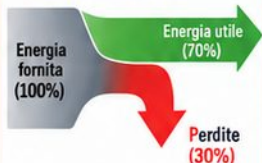
Ogni fonte ha vantaggi e limiti!

6 EFFICIENZA E RENDIMENTO

- Il rendimento (η) è il rapporto tra l'energia utile e l'energia fornita.

$$\eta = \frac{\text{Energia utile}}{\text{Energia fornita}}$$

- È sempre minore di 1 (o 100%).
- Le perdite di energia sono inevitabili (attriti, calore, ecc.).
- Ridurre le perdite è fondamentale per aumentare l'efficienza e risparmiare risorse.



7 EMISSIONI E IMPATTO

- Le principali emissioni:
 - CO₂ (gas serra)
 - NO_x (inquinamento atmosferico)
 - Polveri e particolato
 - Consumo di risorse naturali
 - Contributo al cambiamento climatico
- Il monitoraggio e la riduzione delle emissioni sono essenziali per la salute e per l'ambiente.



8 TRANSIZIONE ENERGETICA

- Maggiore elettrificazione dei consumi
- Crescita delle fonti rinnovabili
- Sistemi di accumulo dell'energia
- Sviluppo dell'idrogeno
- Efficienza energetica
- Digitalizzazione e reti intelligenti



La transizione è una scelta
tecnica, economica e sociale!

9 IL RUOLO DELL'INGEGNERE MECCANICO

- Progettare macchine e sistemi più efficienti
- Recuperare e riutilizzare energia (es. calore di scarto)
- Scegliere materiali e processi sostenibili
- Ottimizzare impianti e cicli produttivi
- Ridurre emissioni e costi mantenendo alte le prestazioni

Soluzioni
ingegneristiche
per un domani
più pulito!



TURBINE E MACCHINE



SCAMBIATORI DI CALORE



MOTORI E MOBILITÀ ELETTRICA



IMPIANTI INDUSTRIALI

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ L'energia deve essere disponibile, efficiente e sostenibile.
- ✓ Non basta produrre energia, bisogna usarla bene.
- ✓ Ogni scelta tecnica ha un impatto ambientale ed economico.
- ✓ La sostenibilità nasce da misure, dati e progettazione consapevole.



Più efficienza oggi,
più futuro domani!



LA CONOSCENZA DELL'ENERGIA
CI PERMETTE DI COSTRUIRE UN MONDO



PIÙ SICURO, PIÙ EFFICIENTE
E PIÙ SOSTENIBILE



STUDIA, APPLICA, INNOVA:
L'ENERGIA È NELLE TUE MANI!

FONTI E VETTORI ENERGETICI

FOSSILI, RINNOVABILI, ELETTRICITÀ, CALORE E IDROGENO

*Scegliere la fonte giusta
e il vettore giusto
cambia efficienza,
costi e impatto!*

1 ENERGIA PRIMARIA E SECONDARIA

- L'energia primaria si trova direttamente in natura (fonti fossili, rinnovabili, nucleare).
- L'energia secondaria è il risultato di una trasformazione (es. elettricità, calore, combustibili raffinati, idrogeno).
- La trasformazione permette di rendere l'energia più facilmente utilizzabile, trasportabile e adatta alle applicazioni.

Dalla natura all'utilizzo!



ENERGIA PRIMARIA



ENERGIA SECONDARIA

2 FONTI FOSSILI

- Petrolio, gas naturale e carbone.
- Alta densità energetica.
- Tecnologie mature e ampiamente disponibili.
- Risorse limitate e non rinnovabili.
- Generano emissioni di CO₂ e altri inquinanti.



PETROLIO



GAS NATURALE



CARBONE

*Grandi quantità di energia,
ma con impatti ambientali
significativi!*

3 FONTI RINNOVABILI

- Sole, vento, acqua, geotermia e biomassa.
- Risorse rinnovabili e praticamente inesauribili.
- Basse emissioni di gas serra.
- Produzione variabile e non sempre programmabile.
- Richiedono sistemi di accumulo e reti flessibili.



SOLE



VENTO



ACQUA



GEOTERMIA

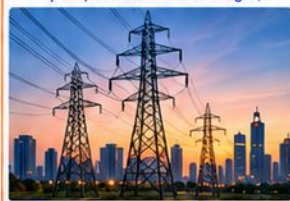


BIOMASSA

*Energia pulita
per un futuro sostenibile!*

4 ELETTRICITÀ

- Vettore energetico secondario versatile ed efficiente.
- Facilmente convertibile in lavoro meccanico, calore, luce e altri usi.
- Ideale per molti settori (civile, industriale, trasporti).
- Difficile da immagazzinare direttamente su larga scala (richiede batterie, accumulo pompato o altre tecnologie).



*L'elettricità
dà energia alla
nostra società!*

5 CALORE

- Il calore è un vettore energetico fondamentale per molti processi.
- Basso, medio e alta temperatura (a seconda dell'applicazione).
- Utilizzato nel riscaldamento civile (teleriscaldamento) e nei processi industriali (essiccazione, cottura, reazioni chimiche, fusione).
- Può essere prodotto da diverse fonti: combustibili, rinnovabili, recupero di calore.



BASSA
T < 100°C



MEDIA
100 - 400°C



ALTA
> 400°C

*Il calore
fa muovere
l'industria!*

6 COMBUSTIBILI E IDROGENO

- Combustibili gassosi (es. metano), liquidi (es. benzina, diesel, SAF) e idrogeno hanno proprietà diverse e usi complementari.
- L'idrogeno è un vettore pulito (se prodotto da rinnovabili), ideale per mobilità pesante e applicazioni industriali.
- La scelta dipende da efficienza, costi, infrastrutture e requisiti dell'applicazione.



COMBUSTIBILI
LIQUIDI



GAS NATURALE



IDROGENO

TRASPORTI
SU STRADA

RISCALDAMENTO
E INDUSTRIA

MOBILITÀ
PESSANTE
E INDUSTRIA

7 VETTORI A CONFRONTO

Vettore energetico	Stoccaggio	Trasporto	Flessibilità di utilizzo
Elettricità	Difficile (su larga scala)	Facile (rete)	Alta
Calore	Medio (accumuli termici)	Limitato (reti locali)	Media
Combustibili liquidi	Facile (serbatoi)	Facile (autocisterne oleodotti)	Alta
Gas naturale	Medio (serbatoi, stoccaggi sotterranei)	Facile (gasdotti, GNL)	Alta
H ₂ Idrogeno	Difficile (alta pressione o liquefazione)	Medio (serbatoi, pipeline)	Alta

Ogni vettore ha punti di forza e limiti!

8 DENSITÀ ENERGETICA E STOCCAGGIO

- I vettori energetici hanno densità energetiche molto diverse.
- I combustibili fossili hanno la più alta densità energetica.
- L'idrogeno ha un'alta densità energetica in massa ma bassa in volume (richiede alta pressione o liquefazione).
- Le batterie hanno bassa densità energetica ma alta efficienza.
- Il calore si immagazzina in serbatoi termici (es. acqua calda, sali fusi).

BATTERIE (Li-ion)	IDROGENO (700 bar)	BENZINA (liquido)	CALORE (acqua)
0,2 MJ/kg	120 MJ/kg	44 MJ/kg	0,1 MJ/kg

Stessa energia, volumi molto diversi!

9 APPLICAZIONI INGEGNERISTICHE

- Le fonti e i vettori energetici alimentano numerose applicazioni.
- La scelta dipende da requisiti tecnici, ambientali ed economici.
- L'integrazione tra diverse fonti e vettori aumenta l'efficienza e la resilienza del sistema energetico.



RETE
ELETTRICA
E SMART GRID

MOTORI
ELETTRICI

CALDAIE
E GENERATORI
DI CALORE

TURBINE
A GAS E VAPORE

FUEL CELLS
E IDROGENO

IMPIANTI
INDUSTRIALI
E PROCESSI

Tecnologie diverse, un unico obiettivo: energia per il progresso!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Non esiste un vettore energetico perfetto.
- ✓ La fonte e il vettore devono essere scelti in base all'applicazione, al contesto e agli obiettivi di sostenibilità.
- ✓ L'efficienza dipende dall'intera catena: produzione, trasformazione, trasporto, stoccaggio e utilizzo.
- ✓ Integrare più fonti e vettori aumenta sicurezza, flessibilità e resilienza del sistema energetico.
- ✓ La sostenibilità richiede una visione di lungo periodo e un approccio sistemico.



*La buona ingegneria
parte dalla giusta
scelta energetica!*



CONOSCERE LE FONTI E I VETTORI
ENERGETICI PER PROGETTARE SISTEMI EFFICIENTI



PIÙ CONSAPEVOLI OGGI
PER UN DOMANI PIÙ SOSTENIBILE



STUDIA, APPLICA, INNOVA:
L'ENERGIA È NELLE TUE MANI!

EFFICIENZA ENERGETICA E RENDIMENTO

BILANCI, PERDITE, MOTORI, IMPIANTI E OTTIMIZZAZIONE

Ogni kWh risparmiato
vale quanto un kWh
prodotto!

1 PERCHÉ CONTA L'EFFICIENZA

- Riduce i costi operativi
- Diminuisce le emissioni di gas serra
- Migliora la competitività e la sostenibilità
- Aumenta la sicurezza energetica
- Permette di fare di più con meno risorse

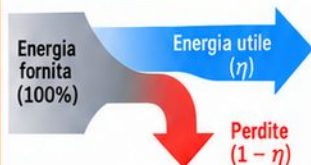


Più efficienza,
più valore!

2 RENDIMENTO

- Il rendimento (η) misura la frazione di energia fornita che viene convertita in energia utile.
- È sempre minore di 1 (o 100%).

$$\eta = \frac{\text{energia utile}}{\text{energia fornita}}$$



3 PERDITE ENERGETICHE

- Attriti meccanici e viscosi
- Calore disperso (conduzione, convezione, irraggiamento)
- Perdite elettriche (effetto Joule)
- Fughe e trafileamenti
- Perdite per laminazione e strozzamento (throttling)
- Imperfezioni di componenti e controlli



Le perdite
si nascondono
ovunque!

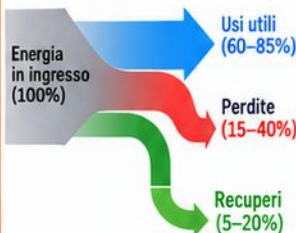
4 PRIMO E SECONDO PRINCIPIO

- **Primo principio:** l'energia si conserva. In un sistema chiuso l'energia in ingresso è uguale all'energia in uscita (bilancio energetico).
- **Secondo principio:** nelle trasformazioni reali l'energia si degrada, passando da forme di alta qualità a forme meno utilizzabili (aumenta l'entropia).
- L'"esergia" misura la qualità dell'energia: non tutta l'energia ha lo stesso valore per compiere lavoro utile.

Si conserva la quantità,
ma la qualità si degrada!

5 BILANCIO ENERGETICO

- Analizza tutti i flussi di energia in ingresso e in uscita.
- Permette di identificare usi utili, perdite e opportunità di recupero.



Misurare
i flussi per migliorare!

6 MACCHINE E MOTORI

Rendimenti tipici (indicativi)

Macchina / Sistema	Rendimento tipico
Motore elettrico	85 - 95%
Motore a combustione interna	25 - 45%
Pompa centrifuga	60 - 85%
Compressore	60 - 80%

La tecnologia fa la differenza!

7 MISURE DI EFFICIENZA

- Isolamento termico di tubazioni, serbatoi e edifici
- Inverter e motori ad alta efficienza
- Azionamenti a velocità variabile (variatori di frequenza)
- Recupero di calore (scambiatori)
- Manutenzione e taratura periodica
- Ottimizzazione dei processi e automazione
- Uso di illuminazione LED e sistemi di gestione intelligente



ISOLAMENTO TERMICO

INVERTER EFFICIENTE

8 KPI ENERGETICI

- Consumo specifico: kWh per pezzo o per unità di prodotto
- Rendimento globale dell'impianto (o linea)
- Fattore di carico (rapporto tra energia effettivamente usata e potenza installata)
- COP (Coefficient of Performance) per riscaldamento e pompe di calore
- EER (Energy Efficiency Ratio) per raffreddamento

Esempi di KPI

Consumo specifico	kWh / pezzo
Rendimento globale	%
Fattore di carico	%
COP (riscaldamento)	2 - 5
EER (raffreddamento)	2 - 4

Misura, confronta, migliora!

9 ESEMPIO INDUSTRIALE

Linea di produzione con interventi di efficienza

PRIMA dell'ottimizzazione

- Consumo: 1.000 MWh/anno
- Usi utili: 600 MWh (60%)
- Perdite: 400 MWh (40%)
- Costo energia: 150.000 €/anno



Interventi

- ✓ Motori ad alta efficienza
- ✓ Inverter su pompe e ventilatori
- ✓ Recupero di calore
- ✓ Isolamento termico
- ✓ Ottimizzazione processi

Stessi prodotti,
meno energia!

DOPO dell'ottimizzazione

- Consumo: 700 MWh/anno
- Usi utili: 600 MWh (86%)
- Perdite: 100 MWh (14%)
- Costo energia: 105.000 €/anno (-30%)



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ L'efficienza è la prima fonte di energia.
- ✓ Misura i consumi e identifica le perdite.
- ✓ Applica le migliori tecnologie disponibili.
- ✓ Ottimizza progettazione, gestione e manutenzione.
- ✓ Considera sempre il ciclo di vita e i costi totali.
- ✓ Coinvolgi persone, processi e dati.
- ✓ Ogni piccolo miglioramento può portare grandi risultati.
- ✓ Più efficienza oggi, più competitività e sostenibilità domani.



Ridurre le perdite
significa progettare
meglio!

L'EFFICIENZA ENERGETICA È
LA PRIMA FONTE DI ENERGIA.



PIÙ SICURO, PIÙ EFFICIENTE
E PIÙ SOSTENIBILE



STUDIA, APPLICA, INNOVA:
L'ENERGIA È NELLE TUE MANI!

EFFICIENZA ENERGETICA IN INDUSTRIA E TRASPORTI

MOTORI, ARIA COMPRESSA, HVAC, MOBILITÀ E LOGISTICA

I maggiori risparmi spesso nascono dall'ottimizzazione dei sistemi, non dei singoli componenti!

1 DOVE SI CONSUMA ENERGIA

INDUSTRIA

- Motori e azionamenti
- Aria compressa
- Riscaldamento e raffreddamento
- Processi termici (forni, caldaie)
- Illuminazione e ausiliari



TRASPORTI

- Veicoli su strada
- Trasporto ferroviario
- Trasporto marittimo
- Trasporto aereo
- Movimentazione merci



2 MOTORI ELETTRICI

- Elevata efficienza (classi IE3, IE4, IE5)
- Uso di inverter (VSD) per adattare la velocità al carico
- Corretto dimensionamento
- Manutenzione e allineamento
- Sostituzione di vecchi motori con modelli ad alta efficienza



Più efficienza meno consumi!



INVERTER (VSD)



MANUTENZIONE



CORRETTO DIMENSIONAMENTO

3 ARIA COMPRESSA

- Individuare e eliminare le perdite (fino al 20-30% dei consumi)
- Ottimizzare la pressione di rete
- Usare compressori a velocità variabile
- Recuperare il calore di scarto
- Dimensionare correttamente serbatoi e rete
- Monitorare i consumi specifici



-30% PERDITE

Aria che non serve è energia sprecata!

4 POMPE E VENTILATORI

- Applicare le leggi di affinità
- Regolare la velocità con inverter
- Scegliere apparecchiature efficienti
- Dimensionare correttamente il sistema
- Manutenzione di giranti, filtri e condotti



$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

Piccoli cambi di velocità, grandi risparmi!

5 HVAC E ISOLAMENTO

- Ridurre la domanda termica con isolamento e involucro efficiente
- Usare pompe di calore ad alta efficienza
- Recupero di calore e ventilazione con recuperatori
- Gestione intelligente (BMS)
- Manutenzione di filtri e scambiatori
- Free-cooling e soluzioni passive



Un edificio efficiente consuma meno e vale di più!



ISOLAMENTO TERMICO POMPE DI CALORE RECUPERO DI CALORE GESTIONE INTELLIGENTE

6 TRASPORTO SU STRADA

- Veicoli a basso consumo ed elettrici (BEV)
- Tecnologie ibride e ibride plug-in
- Ottimizzazione di pneumatici, carico e aerodinamica
- Guida efficiente e formazione dei conducenti
- Pianificazione delle rotte
- Manutenzione regolare



PNEUMATICI EFFICIENTI GUIDA EFFICIENTE ROUTE OTTIMIZZATE MEZZI ELETTRICI

7 LOGISTICA E INTERMODALITÀ

- Aumentare il fattore di carico
- Ottimizzare le rotte e i flussi
- Usare soluzioni intermodali (strada-ferro-mare)
- Ridurre i viaggi a vuoto
- Digitalizzare la catena logistica
- Valutare l'impatto ambientale (LCA)



Più cooperazione, meno emissioni!



MARE FERROVIA STRADA INTERMODALITÀ

8 DIGITALIZZAZIONE

- Sensori e sistemi di misura
- Energy Management System (EMS)
- Monitoraggio in tempo reale
- Manutenzione predittiva
- Analisi dei dati e KPI energetici
- Integrazione con sistemi di produzione e logistica
- Intelligenza artificiale per l'ottimizzazione



Dati oggi, risparmi domani!



SENSORI BIG DATA AI E ANALISI KPI E REPORT

9 PIANO D'AZIONE

- ✓ Audit energetico e raccolta dati
- ✓ Individuazione delle priorità (quick wins e investimenti strategici)
- ✓ Analisi techno-economica (costi/benefici)
- ✓ Definizione di obiettivi e KPI
- ✓ Implementazione delle soluzioni
- ✓ Monitoraggio dei risultati
- ✓ Miglioramento continuo

Dalla diagnosi ai risultati con un piano concreto!



AUDIT E ANALISI PRIORITÀ E INVESTIMENTI IMPLEMENTAZIONE MONITORAGGIO E KPI MIGLIORAMENTO CONTINUO

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ L'efficienza energetica è una scelta tecnica, economica e ambientale.
- ✓ Integra progettazione, tecnologia, gestione e comportamento.
- ✓ È possibile con soluzioni già disponibili e collaudate.
- ✓ Riduce i costi, le emissioni e aumenta la competitività.
- ✓ Contribuisce alla transizione energetica e agli obiettivi di sostenibilità.



PRIMA (INDUSTRIA)
CONSUMI EMISSIONI CO₂ 100



DOPO (OTTIMIZZAZIONE)
CONSUMI EMISSIONI CO₂ -30% -40%



TRASPORTI PIÙ PULITI
✓ Veicoli elettrici e ibridi
✓ Trasporto intermodale
✓ Logistica efficiente
✓ Infrastrutture rinnovabili

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

RECUPERO DI CALORE E COGENERAZIONE

CHP, SCAMBIATORI, ORC E VALORIZZAZIONE DEL CALORE DI SCARTO

Il calore di scarto non è un rifiuto: è una risorsa!

1 CALORE DI SCARTO

- Calore prodotto come sottoprodotto di un processo, non utilizzato direttamente.
- Deriva da combustione, processi industriali, motori, turbine, compressori, forni e impianti.
- È una risorsa energetica recuperabile e valorizzabile.

Ogni impianto produce calore che può essere riutilizzato!



2 LIVELLI DI TEMPERATURA

- Il calore di scarto ha diverse temperature, che determinano le tecnologie di recupero più adatte.

ALTA TEMPERATURA
($> 400^{\circ}\text{C}$)

- Gas di scarico turbine
- Forni industriali
- Processi metallurgici

MEDIA TEMPERATURA
($100 - 400^{\circ}\text{C}$)

- Motoria combustione
- Processi chimici
- Aria di processo

BASSA TEMPERATURA
($< 100^{\circ}\text{C}$)

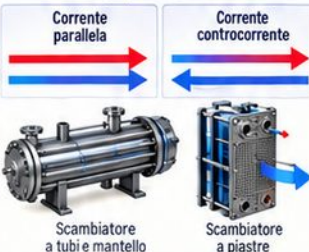
- Sistemi di raffreddamento
- Condense
- Data center e HVAC
- Acque di processo

Temperature diverse, soluzioni diverse!



3 SCAMBIATORI DI CALORE

- Trasferiscono calore tra due fluidi senza mescolarli, aumentando l'efficienza energetica.
- Configurazioni principali:
 - Corrente parallela: minore efficienza.
 - Corrente controcorrente: maggiore efficienza.
- Tipologie più comuni: a tubi e mantello, a piastre, a fascio tubiero.



4 RECUPERATORE E RIGENERATORE

RECUPERATORE (scambiatore)

- Recupera calore tra due fluidi diversi (es. gas di scarico e aria o acqua).
- I fluidi non si mescolano.
- Usato in caldaie, turbine, motori.
- Semplice ed affidabile.

RIGENERATORE (con accumulo)

- Accumula calore in una massa termica (solido) e lo cede in alternanza.
- Il fluido caldo e quello freddo attraversano lo stesso materiale in tempi diversi.
- Usato in turbine a gas e forni rigenerativi.
- Maggiore complessità, ma alte temperature.



Stesso principio: massimo utilizzo del calore!

5 COGENERAZIONE (CHP)

- Produzione combinata di elettricità e calore utile da un'unica fonte di energia (es. gas naturale, biogas).
- Rendimento complessivo elevato (fino all'80-90%).
- Riduce i consumi di combustibile e le emissioni di CO₂.
- Ideale per industrie, edifici, reti di teleriscaldamento.



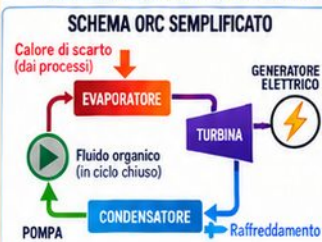
6 TRIGENERAZIONE

- Produzione combinata di elettricità, calore e raffreddamento (raffreddamento) da un'unica fonte.
- Il freddo è prodotto tramite refrigeratori ad assorbimento alimentati dal calore recuperato.
- Aumenta l'efficienza globale e la flessibilità energetica.
- Adatta a ospedali, centri commerciali, data center e reti energetiche integrate.



7 ORC E CICLI DI RECUPERO

- L'Organic Rankine Cycle (ORC) permette di produrre elettricità da calore a bassa e media temperatura (80-350 °C) usando fluidi organici.
- Ideale per calore di scarto industriale, biomasse e geotermia.
- Funzionamento simile a un ciclo Rankine ma con fluidi a basso punto di ebollizione.



8 BENEFICI

- Risparmio di combustibile e riduzione dei costi energetici.
- Minori emissioni di CO₂ e altri inquinanti.
- Migliore utilizzo delle risorse e maggiore efficienza globale.
- Tempi di ritorno dell'investimento spesso brevi (2-5 anni).
- Maggiore indipendenza energetica e sicurezza di approvvigionamento.



Più efficienza, meno emissioni, più valore!



9 APPLICAZIONI

- Industria manifatturiera (acciaio, cemento, chimica, alimentare).
- Data center (recupero del calore di raffreddamento).
- Reti di teleriscaldamento e teleraffreddamento.
- Motori a combustione interna (cogenerazione).
- Turbine a gas e impianti di potenza.
- Compressori e sistemi HVAC.

Soluzioni reali per un'energia più intelligente!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Il calore di scarto è una risorsa da recuperare.
- ✓ La cogenerazione aumenta l'efficienza complessiva.
- ✓ Tecnologie come ORC e scambiatori permettono di valorizzare il calore.
- ✓ Riduce consumi, emissioni e costi.
- ✓ Applicabile in molti settori con tempi di ritorno rapidi.

CONFRONTO DI EFFICIENZA



Recuperare energia significa non sprecarla due volte!



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ACCUMULO ENERGETICO E IDROGENO

BATTERIE, ACCUMULO TERMICO, POMPAGGIO E POWER-TO-GAS

Accumulo e flessibilità rendono possibile un sistema energetico più stabile!

1 PERCHÉ SERVE L'ACCUMULO

- La produzione rinnovabile è variabile (sole e vento).
- Il consumo non coincide sempre con la produzione.
- L'accumulo bilancia domanda e offerta.
- Aumenta la sicurezza del sistema elettrico.
- Riduce gli sprechi di energia.
- Favorisce l'integrazione delle rinnovabili.

Energia disponibile quando serve!



2 BATTERIE

- Batterie agli ioni di litio (Li-ion): Alta densità energetica, lunga durata, diffuse.
- Batterie al piombo-acido: Economiche, robuste, per applicazioni stazionarie.
- Batterie a flusso (flow batteries): Scalabili, lunga durata, ideali per accumuli di rete.
- Vantaggi: risposta rapida, modularità, alta efficienza.
- Limiti: costo, materie prime; degrado nel tempo.



3 ACCUMULO TERMICO

- Accumulo di calore per usi elettrici e termici.
- Calore sensibile: aumento di temperatura (es. acqua, rocce).
- Calore latente: cambiamento di fase (PCM - materiali a cambiamento di fase).
- Accumulo termochimico: reazioni chimiche reversibili.
- Applicazioni: edifici, reti di teleriscaldamento, processi industriali.



4 ACCUMULO MECCANICO

- Pompaggio idroelettrico: Accumula energia sollevando acqua in un bacino superiore.
- Volani (flywheels): Alta potenza, risposta rapidissima.
- Aria compressa (CAES): L'aria è compressa in caverne o serbatoi sotterranei.
- Vantaggi: lunga durata, grandi quantità di energia, tecnologie mature.
- Limiti: vincoli geografici, costi, impatti ambientali.



5 IDROGENO

- L'idrogeno (H_2) è un vettore energetico, non una fonte primaria.
- Può essere prodotto da diverse fonti di energia (rinnovabili, fossili, nucleare).
- È versatile, stoccabile e utilizzabile in vari settori.
- Può contribuire alla decarbonizzazione di industria, trasporti e riscaldamento.
- Non emette CO_2 quando utilizzato in una pila a combustibile.



6 PRODUZIONE DI H_2

- Elettrolisi dell'acqua con elettricità rinnovabile (principale via sostenibile).
- Altri metodi: reforming del metano (con o senza cattura della CO_2), gassificazione, processi termo-chimici.
- Classificazione in base alle emissioni:



7 STOCCAGGIO E USI

- Stoccaggio in serbatoi compressi (350-700 bar) o liquefatto (-253 °C).
- Trasporto tramite pipeline o camion cisterna.
- Utilizzo in pile a combustibile (per elettricità e calore).
- Applicazioni: trasporti (auto, bus, treni, navi), industria (acciaio, chimica), riscaldamento, generazione elettrica.



8 SICUREZZA E SFIDE

- Catena di efficienza: dalla elettricità all'uso finale ci sono perdite ($\approx 25-40\%$).
- Infrastrutture da sviluppare (produzione, stoccaggio, trasporto).
- Rischi di fughe: l'idrogeno è molto leggero e diffonde rapidamente.
- Costi ancora elevati rispetto alle soluzioni convenzionali.
- Norme e standard in evoluzione.



9 CONFRONTO TRA SISTEMI

TECNOLOGIA	TEMPO DI RISPOSTA	DURATA DI ACCUMULO	SCALA TIPICA	EFFICIENZA (ANDATA-RITORNO)	APPLICAZIONI PRINCIPALI
Batterie Li-ion	⌚	📅	📊	⚙️	🎯
Batterie Li-ion	Millisecondi	Ore	kW - MW	85 - 95%	Rete, mobilità, usi distribuiti
Batterie piombo-acido	Millisecondi	Ore	kW - MW	70 - 85%	Backup, usi stazionari
Batterie a flusso	Secondi	Ore - Giorni	MW - GW	70 - 85%	Accumuli di rete
Accumulo termico	Minuti	Ore - Giorni	MW - GW	50 - 90%	Riscaldamento, processi industriali
Pompaggio idroelettrico	Minuti	Ore - Giorni	GW	70 - 85%	Accumulo di lunga durata
Volani	Millisecondi	Minuti - Ore	kW - MW	85 - 95%	Stabilizzazione di rete
Aria compressa (CAES)	Minuti	Ore - Giorni	MW - GW	50 - 70%	Accumuli su larga scala
Idrogeno (Power-to-Gas)	Minuti - Ore	Giorni - Mesi	MW - GW	25 - 45%	Industria, trasporti, stoccaggio stagionale

10 MESSAGGIO CHIAVE

- L'accumulo è essenziale per integrare le energie rinnovabili.
- Ogni tecnologia ha vantaggi e limiti: la soluzione migliore dipende dall'applicazione.
- L'idrogeno è un vettore chiave per settori difficili da elettrificare.
- È necessario investire in infrastrutture, ricerca e innovazione.
- Sicurezza, efficienza e sostenibilità devono guidare lo sviluppo.
- La combinazione di più tecnologie permette un sistema energetico più resiliente e pulito.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK | IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE | CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

ENERGIE RINNOVABILI

SOLARE, EOLICO, IDROELETTRICO, BIOMASSA E GEOTERMIA

Le rinnovabili riducono le emissioni, ma richiedono integrazione intelligente!

1 PANORAMICA

- Le energie rinnovabili si rigenerano naturalmente e non si esauriscono.
- Riducono le emissioni di gas serra e l'inquinamento.
- Aumentano l'indipendenza energetica e la sicurezza degli approvvigionamenti.
- Creano occupazione e sviluppo sostenibile.
- Sono fondamentali per la transizione energetica e la lotta al cambiamento climatico.



2 SOLARE FOTOVOLTAICO

- Converte la luce solare direttamente in elettricità tramite celle fotovoltaiche (semiconduttori, es. silicio).
- Funziona grazie all'effetto fotovoltaico.
- Applicazioni: edifici residenziali e industriali, impianti a terra, impianti su tetto, agrivoltaico.



3 SOLARE TERMICO

- Utilizza collettori solari per riscaldare un fluido (acqua o miscela di glicole).
- Produce acqua calda sanitaria e calore per processi industriali.
- Tipi di collettori:
 - piani vetrati (basse temperature)
 - sottovuoto (alte temperature)



4 EOLICO

- Converte l'energia cinetica del vento in energia elettrica tramite turbine eoliche.
- Componenti principali: pale, navicella, generatore, torre.
- Impianti onshore (a terra) e offshore (in mare).
- Produzione variabile, dipende dalla velocità del vento.



5 IDROELETTRICO

- Sfrutta l'energia potenziale e cinetica dell'acqua.
- Impianti a serbatoio (dighe) e ad acqua fluente (run-of-river).
- Alta efficienza e produzione continua e programmabile.
- Ruolo importante per la stabilità della rete elettrica.



6 BIOMASSA E BIOGAS

- Utilizzano materia organica di origine vegetale o animale (scarti agricoli, forestali, rifiuti organici, colture dedicate).
- La combustione diretta produce calore ed elettricità.
- La digestione anaerobica produce biogas (metano) per energia, calore o biometano per trasporti.
- Importante una gestione sostenibile per evitare impatti su suolo, foreste e biodiversità.



7 GEOTERMIA

- Sfrutta il calore naturale della Terra.
- Sistemi a bassa entalpia (pompe di calore, uso civile).
- Sistemi ad alta entalpia (centrali geotermoelettriche).
- Fonte costante e indipendente dalle condizioni atmosferiche.
- Adatta per produzione di elettricità e riscaldamento.



8 CONFRONTO TRA TECNOLOGIE

TECNOLOGIA	CONTINUITÀ DI PRODUZIONE	EMISSIONI (kg CO ₂ /kWh)	INGOMBRO DEL SUOLO	SCALABILITÀ
Solare FV	Bassa (variabile)	0 - 0,05	Medio	Alta
Solare termico	Bassa (variabile)	0 - 0,05	Medio	Media
Eolico	Bassa (variabile)	0 - 0,02	Medio	Alta
Idroelettrico	Alta (programmabile)	0 - 0,02	Basso	Media
Biomassa/Biogas	Media (programmabile)	0,05 - 0,2	Medio	Media
Geotermia	Alta (continua)	0 - 0,05	Basso	Media

Ogni tecnologia ha punti di forza: la combinazione è la chiave!

9 INTEGRAZIONE IN RETE

- Le rinnovabili sono variabili e non sempre disponibili.
- Servono sistemi di accumulo (batterie, idrogeno, pompaggio idroelettrico, accumulo termico).
- Le reti intelligenti (smart grid) bilanciano domanda e offerta.
- La risposta della domanda (demand response) aiuta la stabilità.
- L'integrazione tra diverse fonti rinnovabili e tra settori (elettricità, riscaldamento, trasporti) è fondamentale.



Una rete più flessibile per un'energia più pulita!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Le energie rinnovabili riducono le emissioni e l'impatto ambientale.
- ✓ Sono fondamentali per la sicurezza energetica e l'indipendenza dai combustibili fossili.
- ✓ Ogni tecnologia ha caratteristiche specifiche e applicazioni diverse.
- ✓ L'integrazione, l'accumulo e le reti intelligenti rendono il sistema più stabile ed efficiente.
- ✓ La transizione energetica richiede investimenti, innovazione e cooperazione.
- ✓ Scegliere le rinnovabili oggi significa un futuro più sicuro, sano e sostenibile.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

EMISSIONI, CO₂ E DECARBONIZZAZIONE

GAS SERRA, MONITORAGGIO, SCOPE 1-2-3 E STRATEGIE DI RIDUZIONE

Misurare le emissioni è il primo passo per ridurle davvero!

1 CHE COSA SONO LE EMISSIONI

- Le emissioni sono il rilascio in atmosfera di gas serra (GHG).
- Rafforzano l'effetto serra naturale e contribuiscono al riscaldamento globale.
- Provengono da attività umane come produzione di energia, processi industriali, trasporti e agricoltura.
- La loro riduzione è essenziale per limitare il cambiamento climatico.

Meno emissioni, più futuro per il pianeta!



2 I PRINCIPALI GAS SERRA

- Anidride carbonica (CO₂):** la più diffusa, da combustione e processi industriali.
- Metano (CH₄):** da gas naturale, agricoltura, rifiuti (potere climaterante ~28 volte la CO₂).
- Protossido di azoto (N₂O):** da agricoltura e processi chimici (potere climaterante ~265 volte la CO₂).
- Si usa la CO₂ equivalente (CO₂e) per confrontare gas diversi.



3 SCOPE 1, 2 E 3

- Scope 1:** emissioni dirette da fonti controllate dall'organizzazione (es. caldaie, veicoli aziendali).
- Scope 2:** emissioni indirette da elettricità, calore o vapore acquistati.
- Scope 3:** tutte le altre emissioni indirette lungo la catena del valore (fornitori, trasporti, uso dei prodotti, fine vita).

Guardare l'intera catena del valore!



4 FATTORI DI EMISSIONE

- I fattori di emissione esprimono quante emissioni si generano per unità di attività.
 - Dipendono da:
 - tipo di combustibile (es. gas naturale, diesel)
 - mix elettrico del Paese
 - modalità di trasporto (es. strada, mare, aereo)
 - materiali utilizzati (es. acciaio, cemento, plastica)
- Stessi processi, impatti diversi!*

ESEMPIO DI FATTORI DI EMISSIONE		
Attività	Unità	Fattore (kg CO ₂ e/unità)
Gas naturale	kWh	0,202
Elettricità (mix Italia)	kWh	0,283
Trasporto su strada (diesel)	ton-km	0,062
Acciaio	kg	1,90
Cemento	kg	0,70

5 DOVE SI EMETTE

- Le emissioni provengono da diversi settori economici e attività.
- Principali settori:
 - Industria manifatturiera e processi (es. cemento, acciaio)
 - Produzione di energia elettrica e calore
 - Edifici (riscaldamento, raffrescamento)
 - Trasporti (strada, ferrovia, aereo, mare)
 - Agricoltura e uso del suolo



6 DECARBONIZZAZIONE

- La decarbonizzazione riduce progressivamente le emissioni fino alla neutralità climatica.
- Le principali leve sono:
 - Efficienza energetica
 - Elettificazione dei processi
 - Fonti rinnovabili
 - Switch di combustibile (es. da carbone a gas o idrogeno)
 - Economia circolare e uso efficiente delle risorse

Stessa crescita, meno emissioni!



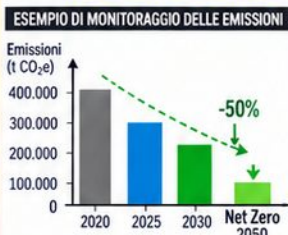
7 TECNOLOGIE DI RIDUZIONE

- Diverse tecnologie e soluzioni possono ridurre significativamente le emissioni:
- Cattura, utilizzo e stoccaggio della CO₂ (CCUS)
- Materiali a basse emissioni (es. acciaio verde, cemento low-carbon)
- Pompe di calore per riscaldamento e processi
- Idrogeno verde per processi industriali
- Elettificazione e automazione
- Soluzioni basate sulla natura (es. riforestazione)



8 MONITORAGGIO E KPI

- Misurare e monitorare le emissioni è fondamentale per definire obiettivi e verificare i progressi.
- Principali indicatori:
 - Emissioni totali (t CO₂e/anno)
 - Intensità di emissione (kg CO₂e per prodotto)
 - Baseline di riferimento (anno base)
 - Obiettivi di riduzione (es. -50% al 2030)
 - Reporting secondo standard (GHG Protocol, ISO 14064, ESRs)



9 HARD-TO-ABATE

- Alcuni settori sono difficili da decarbonizzare a causa di processi ad alte temperature, reazioni chimiche o limiti tecnologici.
- Esempi principali:
 - Cemento (decarbonatazione del calcare)
 - Acciaio (processi ad alta temperatura)
 - Aviazione (alta densità energetica richiesta)
 - Shipping (lunghi tragitti, combustibili specifici)
 - Calore industriale ad alta temperatura (es. chimica, vetro, ceramica)



Le sfide più grandi richiedono le soluzioni più innovative!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Le emissioni di gas serra hanno un impatto reale sul clima.
- Misurare le emissioni lungo tutta la catena del valore (Scope 1, 2, 3).
- Definire obiettivi chiari e basati su dati scientifici.
- Applicare tecnologie e soluzioni per la decarbonizzazione.
- Coinvolgere fornitori, clienti e tutta la filiera.
- Monitorare i progressi e comunicare in modo trasparente.
- Ogni scelta conta: progettare oggi un futuro a basse emissioni.

Ridurre le emissioni richiede dati, tecnologia e scelte coerenti!



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CICLO DI VITA ED ECONOMIA CIRCOLARE

LCA, ECODESIGN, RIUSO, RICICLO E MATERIA PRIMA SECONDA

Un prodotto sostenibile si progetta pensando già alla sua fine vita!

1 DAL CRADLE TO GRAVE

- Il ciclo di vita (Life Cycle Thinking) considera tutte le fasi di un prodotto.
- Dalla "culla" (materie prime) alla "tomba" (fine vita).
- Permette di valutare gli impatti complessivi, evitando lo spostamento dei problemi da una fase all'altra.
- È alla base delle scelte progettuali sostenibili.

Guardare il quadro completo!



2 FASI DEL CICLO DI VITA

- Un prodotto attraversa più fasi interconnesse:



3 LCA (LIFE CYCLE ASSESSMENT)

- È una metodologia standard (ISO 14040-44) per valutare gli impatti ambientali di un prodotto o servizio.
- Analizza tutte le fasi del ciclo di vita, dalla culla alla tomba.
- Risultati espressi in categorie di impatto, tra cui:

- Cambiamento climatico (emissioni di gas serra)
- Consumo di risorse (energia, acqua, materie prime)
- Inquinamento dell'aria e dell'acqua
- Acidificazione ed eutrofizzazione
- Produzione di rifiuti
- Uso del suolo e impatti ecosistemici

4 HOTSPOT AMBIENTALI

- Gli impatti non sono distribuiti uniformemente lungo il ciclo di vita.
- Le fasi che contribuiscono di più agli impatti sono dette "hotspot".
- Possono riguardare l'estrazione delle materie prime, la produzione, l'uso (energia) o il fine vita.
- Individuare gli hotspot permette di concentrare gli sforzi dove si ottengono i maggiori benefici.



Analizza, individua, migliora!

BASSO IMPATTO ALTO IMPATTO

5 ECODESIGN

- Progettare prodotti con minori impatti ambientali durante tutto il ciclo di vita.
- Principi chiave:



Progettare meglio domani!

- ☒ Maggiore durata
- ☒ Facilità di riparazione
- ☒ Modularità e disassemblaggio
- ☒ Minore uso di materiali
- ☒ Uso di materiali riciclati
- ☒ Riduzione di sostanze pericolose
- ☒ Efficienza energetica in uso



IL DESIGN FA LA DIFFERENZA!

6 RIUSO, RICONDIZIONAMENTO, REMANUFACTURING

- Diverse strategie per prolungare la vita utile dei prodotti:



RIUSO

Utilizzo dello stesso prodotto per la stessa funzione dopo un controllo minima.



RICONDIZIONAMENTO

Riparazione, pulizia e sostituzione di componenti usurati per ripristinare la funzionalità.



REMANUFACTURING

Rimessa a nuovo completa con sostituzione di componenti critici, come un prodotto equivalente al nuovo.

*Più vita agli oggetti!
Più valore alle risorse!*



7 RICICLO E MATERIA PRIMA SECONDA

- Il riciclo trasforma i rifiuti in nuovi materiali (materia prima seconda).
- Permette di ridurre il consumo di risorse vergini e l'impatto ambientale.
- Riciclo "chiuso" (closed-loop): il materiale torna nello stesso prodotto o in prodotti simili.
- Riciclo "aperto" (downcycling): il materiale viene usato per applicazioni di qualità inferiore.



I rifiuti sono risorse in attesa!

8 ECONOMIA CIRCOLARE

- Modello economico che mantiene il valore di prodotti, materiali e risorse il più a lungo possibile.
- Si basa sulle "R":



Dal lineare al circolare per un futuro migliore!

9 ESEMPI INDUSTRIALI

- L'economia circolare è già realtà in molti settori:



IMBALLAGGI
Plastica riciclata e riutilizzabile



AUTOMOTIVE
Componenti rigenerati



BATTERIE
Recupero di materiali critici (Li, Co, Ni)



METALLI
Riciclo infinito di alluminio e acciaio



MACCHINARI
Riuso, retrofit e remanufacturing

Soluzioni concrete per un'industria più sostenibile!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ☒ Valuta il ciclo di vita completo del prodotto.
- ☒ Usa l'LCA per quantificare gli impatti.
- ☒ Individua e riduci gli hotspot ambientali.
- ☒ Applica i principi di eco-design.
- ☒ Prolunga la vita utile con riuso, riparazione e remanufacturing.
- ☒ Ricicla e valorizza la materia prima seconda.
- ☒ Scegli soluzioni circolari e sostenibili.
- ☒ Ogni scelta progettuale può fare la differenza.



Progettare circolare significa sprecare meno valore!



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PROGETTAZIONE SOSTENIBILE E TRANSIZIONE ENERGETICA

KPI, ROADMAP, RESILIENZA, INNOVAZIONE E SCELTE CONSAPEVOLI

La sostenibilità
non è un dettaglio finale:
è un criterio di progetto!

1 PROGETTARE IN MODO SOSTENIBILE

- Integrare criteri ambientali, economici e sociali fin dalle prime fasi di progetto
- Ridurre l'impatto lungo l'intero ciclo di vita
- Ottimizzare l'uso delle risorse e dell'energia
- Creare valore per le persone, le imprese e l'ambiente
- Progettare soluzioni robuste, durevoli e adattabili

Un buon progetto
guarda lontano!



2 CRITERI DI SCELTA

- Efficienza energetica
- Emissioni (CO₂ e altri inquinanti)
- Costi di investimento e gestione
- Sicurezza e affidabilità
- Manutenibilità e durata
- Circularità e fine vita

Soluzioni migliori
nascono dal giusto
equilibrio!



3 KPI DI SOSTENIBILITÀ

- Consumo energetico specifico (kWh/unità)
- Emissioni di CO₂ (kg CO₂/unità)
- Consumo di acqua (m³/unità)
- Intensità di materiale (kg/unità o kg CO₂/kg)
- Percentuale di riciclabilità
- Disponibilità operativa (uptime)

ESEMPI DI KPI



4 ROADMAP DI TRANSIZIONE

- Analisi dello stato attuale (baseline)
- Definizione di obiettivi chiari e misurabili
- Piano di azioni e priorità
- Investimenti e risorse necessarie
- Monitoraggio e verifica dei risultati
- Aggiornamento continuo

Dalla visione
all'azione,
passo dopo
passo!



5 RESILIENZA ENERGETICA

- Diversificazione delle fonti
- Sistemi di backup e storage
- Flessibilità operativa
- Interazione intelligente con la rete
- Capacità di rispondere a crisi e variazioni di domanda
- Riduzione della vulnerabilità del sistema



Sistemi più
forti per un
futuro più
sicuro!



DALLA DIPENDENZA ALLA RESILIENZA

6 DIGITALIZZAZIONE E DATI

- Simulazione e modellazione per scelte ottimali
- Digital twin per tutto il ciclo di vita
- Energy Management System (EMS)
- Analisi dati e intelligenza artificiale
- Monitoraggio continuo e manutenzione predittiva
- Decisioni basate su dati reali



I DATI TRASFORMANO
LE IDEE IN RISULTATI

7 INNOVAZIONE TECNOLOGICA

- Pompe di calore ad alta efficienza
- Materiali avanzati e leggeri
- Idrogeno e combustibili alternativi
- Elettronica di potenza e reti intelligenti
- Cattura e stoccaggio della CO₂ (CCS)
- Soluzioni ibride e integrate
- Ricerca e sviluppo continuo



8 LAVORO MULTIDISCIPLINARE

- Ingegneri (meccanici, energetici, ambientali, gestionali, ...)
- Manager e decisori aziendali
- Tecnici e operatori
- Enti e policy maker
- Utenti e comunità locali
- Collaborazione e dialogo continuo



9 ESEMPI DI APPLICAZIONE

- Fabbrica sostenibile e a basse emissioni
- Edificio efficiente e a energia quasi zero
- Mobilità elettrica e infrastrutture di ricarica
- Impianto rinnovabile (solare, eolico, biomassa, ...)
- Prodotto circolare e facilmente riciclabile



FABBRICA
SOSTENIBILE

EDIFICIO
EFFICIENTE

MOBILITÀ
ELETTICA

IMPIANTO
RINNOVABILE

PRODOTTO
CIRCOLARE

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Considera l'intero ciclo di vita
- ✓ Usa KPI misurabili
- ✓ Valuta impatti ambientali, economici e sociali
- ✓ Scegli tecnologie efficienti e affidabili
- ✓ Integra innovazione e digitalizzazione
- ✓ Coinvolgi tutte le figure interessate
- ✓ Pianifica con una roadmap concreta
- ✓ Monitora, verifica e migliora continuamente
- ✓ Pensa a lungo termine: più valore, meno rischi
- ✓ Contribuisci a un futuro più sicuro e pulito



Misura, progetta,
migliora: così nasce
la sostenibilità
reale!

L'INGEGNERIA GUIDA LA TRANSIZIONE VERSO UN FUTURO PIÙ SICURO, PULITO E SOSTENIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



NORME TECNICHE E STANDARDIZZAZIONE

PERCHÉ ESISTONO, COME SI APPLICANO E QUALI VANTAGGI OFFRONO

*Le norme tecniche
creano qualità,
sicurezza e un linguaggio
comune per l'industria!*

1 PERCHÉ SERVONO LE NORME TECNICHE

- Definiscono requisiti condivisi
- Garantiscono sicurezza di persone, prodotti e processi
- Riducono rischi, errori e costi
- Favoriscono la qualità e l'affidabilità
- Abilitano il commercio e la collaborazione internazionale
- Supportano l'innovazione
- Tutelano l'ambiente e la società

*Stesse regole,
più opportunità
per tutti!*



2 UNIFORMITÀ, COMPATIBILITÀ E INTERCAMBIABILITÀ

- Stesse specifiche per tutti
- Componenti compatibili tra produttori diversi
- Intercambiabilità e facilità di manutenzione
- Riduzione dei tempi di fermo
- Catene di fornitura più efficienti
- Mercati globali e maggiore competitività

*Standard comuni
fanno muovere
il mondo!*



3 QUALITÀ, SICUREZZA E AFFIDABILITÀ

- Prodotti più sicuri e affidabili
- Processi controllati e misurabili
- Riduzione di difetti e non conformità
- Maggiore durata e prestazioni
- Tutela della salute dei lavoratori e degli utilizzatori
- Maggiore fiducia nel mercato
- Contributo alla sostenibilità



*Norme oggi,
un domani
più sicuro!*

4 RIFERIMENTI NORMATIVI IN PROGETTO, PRODUZIONE E COLLAUDO

- Norme per disegno tecnico e tolleranze (ISO, UNI)
- Norme sui materiali e prove (UNI, EN, ISO)
- Norme per la sicurezza delle macchine (Direttiva Macchine, EN ISO)
- Norme per i sistemi di gestione (ISO 9001, 14001, 45001)
- Norme per collaudi, verifiche e marcature (CE, EN)
- Norme ambientali ed energetiche



*Dalla carta
alla realtà,
le norme
guidano
ogni fase!*

5 CONFORMITÀ VOLONTARIA VS OBBLIGHI DI LEGGE

- Norme tecniche: di norma volontarie, ma fondamentali per la buona pratica
- Leggi e direttive: obbligatorie (es. Direttiva Macchine, marcatura CE)
- La conformità alle norme facilita il rispetto delle leggi
- Può essere richiesta da clienti, assicurazioni e bandi di gara
- La certificazione è spesso un vantaggio competitivo



6 COME LEGGERE UNA NORMA

- Codice: es. UNI EN ISO 9001
- Titolo: es. Sistemi di gestione per la qualità
- Revisione: es. 2015 (anno di edizione)
- Campo di applicazione: cosa copre e a chi si applica
- Struttura: sezioni, termini e definizioni, requisiti, allegati
- Verificare sempre l'ultima versione ufficiale



7 BENEFICI PER AZIENDE, TECNICI E CLIENTI



AZIENDE

- Processi più efficienti
- Meno costi e più competitività
- Accesso a nuovi mercati
- Migliore reputazione



TECNICI

- Linee guida chiare e aggiornate
- Progettazione più semplice
- Meno errori e maggiore sicurezza
- Crescita professionale



CLIENTI

- Prodotti sicuri e di qualità
- Maggiore fiducia
- Servizi più affidabili
- Tutela del consumatore

*Un vantaggio
per tutta la filiera!*

8 ESEMPI INDUSTRIALI

- Disegno tecnico: ISO 128, ISO 2768
- Tolleranze dimensionali: ISO 286
- Materiali: norme UNI EN (acciai, leghe)
- Sicurezza macchine: EN ISO 12100, EN ISO 13849
- Gestione qualità: ISO 9001
- Gestione ambientale: ISO 14001
- Gestione salute e sicurezza: ISO 45001



9 ERRORI COMUNI QUANDO NON SI SEGUONO GLI STANDARD

- Componenti non compatibili
- Problemi di sicurezza e incidenti
- Prodotti non conformi e richiami dal mercato
- Aumento di costi, tempi e rilavorazioni
- Difficoltà di manutenzione e ricambi
- Perdita di fiducia da parte dei clienti
- Problemi legali e sanzioni
- Danni all'ambiente e all'immagine aziendale

*Non rispettare
le norme costa caro!*



10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST FINALE

- ☒ Conosci le norme principali del tuo settore
- ☒ Verifica sempre l'ultima versione
- ☒ Applica le norme in ogni fase: progetto, produzione, collaudo
- ☒ Integra norme tecniche e requisiti di legge
- ☒ Documenta la conformità
- ☒ Forma e aggiorna costantemente il team
- ☒ Usa le norme come strumento di miglioramento
- ☒ Contribuisci a un futuro più sicuro, sostenibile e innovativo



*Norme oggi,
valore domani!*



L'INGEGNERIA APPLICA LE NORME PER COSTRUIRE UN MONDO PIÙ SICURO, EFFICIENTE E SOSTENIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

UNI, ENI, ISO, CEI e IEC

ENTI DI NORMAZIONE, GERARCHIE, SIGLE E COME LEGGERE UNA NORMA

Le norme non sono solo regole, ma la base per prodotti più sicuri, affidabili e sostenibili!

1 CHE COSA SONO GLI ENTI NORMATIVI

- Organizzazioni che elaborano norme tecniche volontarie
- Definiscono requisiti, metodi di prova, termini e linee guida
- Favoriscono sicurezza, qualità, interoperabilità e innovazione
- Coinvolgono esperti di industria, ricerca, enti pubblici e consumatori
- Le norme sono documenti tecnici di consenso, aggiornati nel tempo

Standard oggi, soluzioni migliori domani!



NORME PER UN FUTURO MIGLIORE

2 UNI IN ITALIA

- UNI = Ente Italiano di Normazione
- Elabora e pubblica le norme nazionali (UNI)
- Recepisce le norme europee (EN) e internazionali (ISO)
- Coinvolge imprese, professionisti, università e pubbliche amministrazioni
- Promuove la cultura normativa e la formazione



Norme italiane per un Paese più competitivo!

3 EN E ARMONIZZAZIONE EUROPEA

- EN = Norma Europea
- Elaborata da CEN (settori generali), CENELEC (elettrotecnica), ETSI (telecomunicazioni)
- Recepita identicamente dai Paesi membri come norma nazionale (es. UNI EN)
- Favorisce il mercato unico europeo
- Supporta la marcatura CE quando prevista



4 ISO E STANDARD INTERNAZIONALI

- ISO = International Organization for Standardization
- Norme internazionali valide a livello globale
- Favorisce il commercio, l'innovazione e la cooperazione tra Paesi
- Molte norme ISO sono recepite anche come EN e UNI
- Esempi: ISO 9001 (qualità), ISO 14001 (ambiente), ISO 45001 (sicurezza sul lavoro)



5 CEI E IEC PER L'AMBITO ELETTRICO

- CEI = Comitato Elettrotecnico Italiano (nazionale)
- IEC = International Electrotechnical Commission (internazionale)
- Elaborano norme per il settore elettrico, elettronico e delle tecnologie correlate
- Molte norme CEI recepiscono le corrispondenti IEC ed EN (es. CEI EN 60204-1)
- Riguardano impianti, componenti, sicurezza e compatibilità elettromagnetica



INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

Energia sicura per un mondo più connesso!

6 DIFFERENZA TRA NORMA NAZIONALE, EUROPEA E INTERNAZIONALE

- La norma nazionale (UNI) vale in un solo Paese
- La norma europea (EN) è recepita da tutti i Paesi UE come norma nazionale identica
- La norma internazionale (ISO) ha valenza globale
- Le norme EN e ISO sono spesso trasposte come UNI
- La gerarchia garantisce coerenza e allineamento tra i livelli



Stessa conoscenza, maggiore applicabilità!

7 COME INTERPRETARE UNA SIGLA NORMATIVA

- Una sigla fornisce informazioni su ente, numero, anno e parte
- Struttura tipica:



Altre indicazioni possibili:

- Parte (es. -1, -2)
- Revisione (es. A1)
- Settore (es. IEC, CEI)
- Titolo descrittivo



Una sigla racconta molto di più di quanto sembra!

8 REVISIONI, AGGIORNAMENTI E VERSIONI RITIRATE

- Le norme si evolvono con il progresso tecnologico e le nuove esigenze
- Ogni norma riporta l'anno di pubblicazione
- Le revisioni (es. A1, A2) introducono modifiche o integrazioni
- Quando una norma viene sostituita, la versione precedente può essere ritirata (withdrawn)
- È importante verificare di utilizzare sempre l'ultima versione valida



Sempre aggiornati per essere sicuri!

9 ESEMPI PRATICI DI NORME USATE IN INGEGNERIA MECCANICA

- Le norme supportano tutte le fasi: progettazione, materiali, prove e sicurezza
- Esempi di norme comunemente utilizzate:



Dalle norme soluzioni concrete ogni giorno!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Le norme tecniche rendono il mondo più sicuro, efficiente e sostenibile
- ✓ Conosci gli enti e la loro gerarchia
- ✓ Impara a leggere e interpretare le sigle
- ✓ Usa sempre l'ultima versione valida
- ✓ Applica le norme nella progettazione, produzione e gestione
- ✓ Le norme sono uno strumento di crescita professionale e di innovazione
- ✓ Contribuisci anche tu a una cultura della qualità e della sicurezza



L'INGEGNERIA TRASFORMA LE NORME IN VALORE: PIÙ SICUREZZA, QUALITÀ E OPPORTUNITÀ PER TUTTI.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

MARCATURA CE E DIRETTIVA MACCHINE

REQUISITI ESSENZIALI, FASCICOLO TECNICO, DICHIARAZIONE E RESPONSABILITÀ

*Macchine sicure
per persone, imprese
e un futuro sostenibile!*

1 CHE COS'È LA MARCATURA CE

- La marcatura CE attesta che un prodotto è conforme alle direttive europee applicabili.
- È obbligatoria per le macchine immesse nel mercato UE.
- Non è un marchio di qualità, ma un requisito legale per la libera circolazione.
- Il costruttore è responsabile della conformità.

CE *Più sicurezza,
più opportunità
in Europa!*

2 PRODOTTI E MACCHINE COINVOLTE

- La Direttiva Macchine 2006/42/CE si applica a macchine, quasi macchine, attrezzature intercambiabili, componenti di sicurezza.
- Sono escluse alcune categorie (es. macchine per uso nucleare, militare, mezzi di trasporto, apparecchiature medicali, ecc.).
- Si applica a macchine nuove, anche se integrate in linee di produzione.



3 REQUISITI ESSENZIALI DI SICUREZZA

- Le macchine devono soddisfare i requisiti essenziali di salute e sicurezza (Allegato I).
- Riguardano progettazione, costruzione e informazioni per l'uso.
- Comprendono: stabilità, resistenza meccanica, rischi elettrici, termici, rumorosità, vibrazioni, ergonomia, igiene, manutenzione, ecc.
- Rispetto delle norme tecniche armonizzate (es. serie EN ISO) fornisce presunzione di conformità.



*La sicurezza
è un requisito
di progettazione,
non un optional!*

4 VALUTAZIONE DELLA CONFORMITÀ

- Il costruttore valuta la conformità della macchina ai requisiti essenziali.
- Generalmente con controllo interno della progettazione e documentazione.
- In alcuni casi è richiesto l'intervento di un Organismo Notificato (es. macchine a maggior rischio).
- Si applicano procedure definite dalla Direttiva (Allegato VIII).



5 ANALISI DEI RISCHI E MISURE DI RIDUZIONE

- Analizzare tutti i pericoli (durante uso previsto e ragionevolmente prevedibile).
- Valutare i rischi in termini di gravità e probabilità.
- Adottare misure di riduzione secondo la gerarchia:

- misure tecniche di progettazione;
- protezioni e dispositivi di sicurezza;
- informazioni per l'uso.



*Prevenire i rischi oggi
per un domani
più sicuro!*

6 FASCICOLO TECNICO

- Il fascicolo tecnico dimostra la conformità ai requisiti essenziali.
- Deve essere redatto e conservato dal costruttore (almeno 10 anni dall'ultima macchina prodotta).
- Contiene: disegni, calcoli, analisi dei rischi, norme applicate, risultati delle prove, ecc.
- Deve essere messo a disposizione delle autorità di vigilanza su richiesta.



7 MANUALE DI ISTRUZIONI E AVVERTENZE

- Il manuale di istruzioni deve essere chiaro, completo e nella lingua del Paese di destinazione.
- Deve includere: uso previsto, installazione, regolazione, uso, manutenzione, pulizia, ricerca guasti, smaltimento.
- Deve riportare avvertenze sui rischi residui e sulle misure di sicurezza da adottare.
- È parte integrante della macchina e va fornito all'utilizzatore.



- ☒ USO PREVISTO
- ☒ INSTALLAZIONE
- ☒ MANUTENZIONE
- ☒ AVVERTENZE
- ☒ RISCHI RESIDUI

*Informazioni
corrette per un uso
sicuro e consapevole!*

8 DICHIARAZIONE UE DI CONFORMITÀ

- È il documento con cui il costruttore dichiara, sotto la propria responsabilità, che la macchina è conforme alle direttive applicabili.
- Deve contenere: dati del costruttore, descrizione della macchina, direttive e norme applicate, luogo e data, firmatario autorizzato.
- Deve accompagnare la macchina e essere conservata.



9 ESEMPI DI COMPONENTI DI SICUREZZA

La riduzione dei rischi avviene anche con l'uso di componenti di sicurezza certificati e correttamente integrati nel sistema di controllo.

RIPARI FISSI E MOBILI



Impediscono l'accesso alle zone pericolose

INTERBLOCCHI DI SICUREZZA



Arrestano la macchina all'apertura del riparo

PULSANTE DI EMERGENZA



Arresto immediato della macchina

ARRIERE FOTOELETTRICHE E SENSORI



Rilevano la presenza e fermano il movimento

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ☒ La marcatura CE è un obbligo e una responsabilità.
- ☒ La sicurezza si costruisce già in fase di progettazione.
- ☒ L'analisi dei rischi guida le scelte tecniche.
- ☒ Il fascicolo tecnico e la dichiarazione UE dimostrano la conformità.
- ☒ Il manuale di istruzioni informa e protegge l'utilizzatore.
- ☒ Componenti di sicurezza adeguati riducono i rischi.
- ☒ Il rispetto delle norme tecniche semplifica il percorso.
- ☒ Macchine sicure migliorano la produttività, la qualità e il benessere.



*Norme e sicurezza:
valore per le persone,
competitività per le imprese!*



*Un futuro
più sicuro
e sostenibile!*

LA CONOSCENZA DELLE NORME COSTRUISCE MACCHINE PIÙ SICURE, PERSONE PIÙ PROTETTE E UN'INDUSTRIA PIÙ COMPETITIVA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

La sicurezza
non è un costo,
ma un investimento
nel futuro!

VALUTAZIONE DEI RISCHI

PERICOLI, PROBABILITÀ, GRAVITÀ, MATRICE DEL RISCHIO E MISURE DI CONTROLLO

1 PERICOLO E RISCHIO

- **Pericolo:** proprietà o situazione che può causare un danno (es. macchina in movimento, sostanza chimica, elettricità).
- **Rischio:** combinazione tra la probabilità che si verifichi un evento pericoloso e la gravità del danno.

Stesso pericolo,
rischi diversi
in base al contesto!



Conoscere
i pericoli è il primo
passo per prevenirli!

2 FASI DELLA VALUTAZIONE

- 1 Definire il contesto e le attività
- 2 Identificare i pericoli
- 3 Valutare i rischi (probabilità e gravità)
- 4 Definire e attuare le misure di controllo
- 5 Monitorare e aggiornare

Un processo continuo
per un ambiente di lavoro più sicuro!

3 IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

- Analizzare attività, impianti, attrezzature e sostanze.
- Considerare condizioni normali, anomale e di emergenza.
- Coinvolgere lavoratori e RSPP.
- Usare check-list, sopralluoghi, analisi documentale e segnalazioni.



MECCANICI
Macchine,
organi in movimento



ELETTRICI
Quadri, cavi,
apparecchiature



CHIMICI
Sostanze, fumi,
polveri



FISICI
Rumore, vibrazioni,
temperature

4 PROBABILITÀ E GRAVITÀ

- Il rischio dipende da due fattori:
- **Probabilità (P):** quanto è probabile che si verifichi l'evento.
- **Gravità (G):** quale sarà l'entità del danno.

PROBABILITÀ (P)		GRAVITÀ (G)	
1	Molto bassa (raro)	1	Trascurabile (nessun danno)
2	Bassa (poco probabile)	2	Lieve (danno lieve)
3	Media (possibile)	3	Media (danno significativo)
4	Alta (probabile)	4	Grave (danno serio)
5	Molto alta (quasi certo)	5	Molto grave (danno mortale)

Più alta è la probabilità e la gravità,
maggiore è il rischio!

5 MATRICE DEL RISCHIO

- La matrice del rischio combina probabilità e gravità per determinare il livello di rischio e le azioni da intraprendere.

	GRAVITÀ (G)				
	1	2	3	4	5
PROBABILITÀ (P)					
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

- Rischio basso — Accettabile
- Rischio medio — Da monitorare
- Rischio alto — Azioni necessarie
- Rischio molto alto — Azioni immediate

6 GERARCHIA DELLE MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

- Applicare le misure seguendo un ordine di priorità:

- 1 **ELIMINAZIONE** del pericolo
- 2 **SOSTITUZIONE** con soluzioni meno pericolose
- 3 **MISURE TECNICHE** (protezione collettiva)
- 4 **MISURE ORGANIZZATIVE** (procedure, formazione, segnaletica)
- 5 **DPI** (protezione individuale)

Prima
eliminare
o ridurre
il rischio
alla fonte!

7 ESEMPI DI RISCHI IN OFFICINA E IMPIANTO

- Rischi meccanici: organi in movimento, schiacciamento, taglio, proiezione.
- Rischi elettrici: contatti diretti e indiretti.
- Rischi chimici: oli, solventi, polveri, fumi.
- Rischi fisici: rumore, vibrazioni, calore.
- Rischi da incendio ed esplosione.
- Rischi ergonomici: movimentazione manuale dei carichi, posture.
- Rischi di caduta: scivolamenti, lavori in quota.
- Rischi per la salute: stress, affaticamento.



**AMBIENTI SICURI
PRODUCONO VALORE!**

8 DOCUMENTAZIONE E AGGIORNAMENTO

- La valutazione dei rischi deve essere:
- Documentata (DVR — Documento di Valutazione dei Rischi).
- Basata su dati e criteri oggettivi.
- Condivisa con lavoratori e RLS.
- Aggiornata in caso di:
 - modifiche a impianti, processi o sostanze
 - infortuni o incidenti
 - nuove norme e conoscenze
 - cambiamenti organizzativi



Valutare,
aggiornare,
migliorare
sempre!

9 ERRORI COMUNI

- Sottovalutare i pericoli "abituali".
- Valutare solo i rischi evidenti.
- Non coinvolgere i lavoratori.
- Usare dati non aggiornati.
- Trascurare i rischi da interferenze.
- Non definire misure concrete.
- Non monitorare l'efficacia delle misure.
- Considerare la valutazione un adempimento burocratico.

ERRORI **Imparare dagli errori per fare meglio!**

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Conosci i pericoli della tua attività.
- ✓ Valuta probabilità e gravità.
- ✓ Usa la matrice del rischio.
- ✓ Definisci e attua le misure di controllo.
- ✓ Coinvolgi il team e forma il personale.
- ✓ Aggiorna la valutazione regolarmente.
- ✓ Verifica l'efficacia delle misure.
- ✓ Punta al miglioramento continuo.
- ✓ Ricorda: la sicurezza è responsabilità di tutti!

Lavoriamo oggi
per un domani
senza incidenti!



- ✓ PERSONE PIÙ SICURE
- ✓ AZIENDE PIÙ FORTI
- ✓ UN FUTURO PIÙ SOSTENIBILE

LA VALUTAZIONE DEI RISCHI È LA BASE DI UN AMBIENTE DI LAVORO SICURO, SANO E SOSTENIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PROTEZIONI DELLE MACCHINE

RIPARI FISSI E MOBILI, INTERBLOCCHI, BARRIERE, SENSORI E ARRESTO DI EMERGENZA

La sicurezza
non è un'opzione,
ma parte integrante
della progettazione!

1 RISCHI MECCANICI PRINCIPALI

- Schiacciamento
- Cesoiamento
- Trascinamento
- Impigliamento
- Urto
- Taglio
- Proiezione di materiali
- Contatto con organi in movimento



2 RIPARI FISSI

- Strutture fisse e robuste
- Impediscono l'accesso alle zone pericolose
- Realizzati in rete, lamiera o policarbonato
- Fissati con sistemi anti-rimozione
- Progettati secondo norme (ISO 14120, EN ISO 12100)



3 RIPARI MOBILI INTERBLOCCATI

- Porte e carter mobili con interblocco di sicurezza
- L'apertura arresta i movimenti pericolosi
- Utilizzano interruttori di sicurezza (codificati)
- Non facilmente eludibili
- Verifica periodica del corretto funzionamento



4 BARRIERE FOTOELETTRICHE E SENSORI

- Rilevano la presenza di persone nella zona pericolosa
- Arrestano o impediscono il movimento
- Barriere, scanner laser, sensori di prossimità e tappeti sensibili
- Corretta installazione e validazione
- Integrare con logica di sicurezza (PL/SIL)



5 PULSANTE DI ARRESTO DI EMERGENZA

- Facilmente raggiungibile
- Colore rosso su fondo giallo
- Arresta rapidamente i movimenti pericolosi
- Rimane inserito fino al reset manuale
- Da prevedere in ogni postazione a rischio
- Verifica periodica di efficienza



6 DISTANZE DI SICUREZZA ED ERGONOMIA

- Mantenere le distanze minime secondo le norme (es. ISO 13857)
- Evitare il raggiungimento delle zone pericolose
- Progettare postazioni ergonomiche
- Considerare antropometria degli operatori
- Garantire spazi adeguati per manutenzione e accesso sicuro



7 LOCK-OUT OPERATIVO PRIMA DELL'INTERVENTO

- Arrestare la macchina
- Isolare tutte le fonti di energia (elettrica, pneumatica, idraulica)
- Applicare lucchetti personali
- Verificare l'assenza di energia (try-out)
- Utilizzare procedure LOTO
- Segnalare l'intervento con cartellini



8 ESEMPI APPLICATIVI

- Presse: ripari, barriere, comandi a due mani
- Nastri trasportatori: carter e funi di emergenza
- Robot: celle recintate e sensori
- Macchine utensili: schermi e interblocchi
- Linee automatiche: sistemi integrati di sicurezza



9 ERRORI FREQUENTI E MANOMISSIONI PERICOLOSE

- Rimozione o disattivazione dei ripari
- Esclusione degli interblocchi
- Uso di chiavi di bypass
- Posizionamento scorretto dei sensori
- Mancata manutenzione
- Sottovalutazione dei rischi
- Procedure non rispettate



RIPARO RIMOSSO

SENSORE ESCLUSO

INTERBLOCCO MANOMESSO

Eludere la sicurezza
è un rischio mortale!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La sicurezza è responsabilità di tutti
- ✓ Progetta con la sicurezza, non dopo
- ✓ Applica le norme tecniche
- ✓ Scegli soluzioni affidabili e validate
- ✓ Verifica e mantieni nel tempo
- ✓ Forma gli operatori
- ✓ Segnala le anomalie
- ✓ Non manomettere i dispositivi
- ✓ Pensa sempre alle conseguenze
- ✓ Una macchina sicura è più efficiente e più competitiva
- ✓ La vita delle persone viene prima di tutto



LA SICUREZZA È INGEGNERIA: PROGETTA, REALIZZA, USA E MANTIENI MACCHINE PIÙ SICURE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

DPI E SICUREZZA PERSONALE

CASCO, OCCHIALI, GUANTI, SCARPE, UDITO, VIE RESPIRATORIE E SCELTA CORRETTA

La sicurezza
non è un costo,
ma un investimento
nel tuo futuro!

1 PERCHÉ SERVONO I DPI

- Proteggono da rischi per la salute e la sicurezza
- Riducono la probabilità e la gravità degli infortuni
- Sono obbligatori secondo la normativa vigente
- Integrano le misure tecniche e organizzative
- Contribuiscono al benessere, alla produttività e alla qualità del lavoro

La tua sicurezza
è nelle tue mani!



2 CASCO DI SICUREZZA

- Protegge la testa da urti, caduta di oggetti e contatti elettrici
- Deve essere conforme alla norma UNI EN 397
- Regolabile e comodo
- Verificare periodicamente l'integrità



UNI EN 397

Indossalo
sempre
in cantiere
e in officina!



URTI

CADUTA
OGGETTIISOLAMENTO
ELETTRICO

3 PROTEZIONE OCCHI E VISO

- Protegge da schegge, polveri, liquidi, sostanze chimiche, raggi UV e radiazioni
- Occhiali di sicurezza per uso generale (UNI EN 166)
- Visiere per lavorazioni specifiche
- Devono essere comodi e con buona visibilità



Vedere bene
per lavorare
in sicurezza!

UNI EN 166



SCHEGGE

SOSTANZE
CHIMICHE

RAGGI UV



POLVERI

4 GUANTI E PROTEZIONE MANI

- Proteggono da tagli, abrasioni, calore, freddo, sostanze chimiche e rischi meccanici
- Scegliere il tipo adatto al rischio
- Devono essere conformi alla norma UNI EN 388 (rischi meccanici) e altre norme specifiche
- Controllare lo stato di usura



UNI EN 388

Ogni lavoro
ha il suo guanto!



TAGLI



ABRASIONI

SOSTANZE
CHIMICHECALORE
FREDDO

5 SCARPE ANTINFORTUNISTICHE

- Proteggono da cadute di oggetti, schiacciamenti, perforazioni, scivolamenti e rischi elettrici
- Devono essere conformi alla norma UNI EN ISO 20345
- Suola antiscivolo e puntale rinforzato
- Scegliere la classe di protezione adatta all'ambiente di lavoro



Passi sicuri
verso un
futuro migliore!

UNI EN ISO 20345



SCHIACCIAMENTO



PERFORAZIONE



ANTISCIVOLO



ANTISTATICO

6 PROTEZIONE DELL'UDITO

- Necessaria in ambienti rumorosi (> 80 dB)
- Riduce il rischio di ipoacusia e danni permanenti
- Tipologie: tappi auricolari o cuffie antirumore
- Devono essere conformi alla norma UNI EN 352
- Devono essere comodi e ben indossati



Il rumore
danneggia,
la protezione
salva l'udito!

UNI EN 352



RUMORE



PROTEZIONE



PIÙ CONCENTRAZIONE

7 PROTEZIONE DELLE VIE RESPIRATORIE

- Protegge da polveri, fumi, gas, vapori e sostanze nocive
- Tipologie: maschere filtranti (FFP1, FFP2, FFP3), semimaschere e maschere a pieno facciale
- Devono essere conformi alla norma UNI EN 149 e 136
- Verificare la tenuta e sostituire i filtri secondo le indicazioni



UNI EN 149

UNI EN 136



POLVERI



FUMI



GAS E VAPORI



SALUTE

8 CRITERI DI SCELTA, USO E MANUTENZIONE

- Valutare i rischi dell'attività
- Scegliere il DPI adatto e conforme
- Indossare correttamente e sempre
- Seguire le istruzioni del produttore
- Controllare periodicamente lo stato di usura
- Pulire e conservare correttamente
- Sostituire quando necessario



- ☒ SCEGLI
- ☒ INDOSSA
- ☒ USA CORRETTAMENTE
- ☒ CONTROLLA
- ☒ PULISCI
- ☒ SOSTITUISCI

Un DPI
efficace
è un DPI
ben usato!

9 ESEMPI DI ABBINAMENTO DPI - RISCHIO

Ogni attività ha i suoi rischi. Scegli i DPI giusti!

ATTIVITÀ / RISCHIO	CASCO	OCCHIALI/ VISIERA	GUANTI	SCARPE	UDITO	VIE RESPIRATORIE
LAVORAZIONI MECCANICHE (schegge, trucioli)	✓	✓	✓	✓	-	-
CANTIERE (caduta oggetti)	✓	✓	✓	✓	-	-
TAGLIO E SALDATURA (radiazioni, calore)	✓	✓	✓	-	-	-
AMBIENTI RUMOROSI (> 80 dB)	✓	-	✓	-	✓	-
POLVERI E FUMI (lavorazioni su metalli)	✓	-	✓	-	✓	✓

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ☒ La sicurezza inizia da te
- ☒ Usa sempre i DPI, senza eccezioni
- ☒ Scegli il DPI giusto per ogni rischio
- ☒ Controlla, pulisci e sostituisci quando necessario
- ☒ Segui le norme e le istruzioni del produttore
- ☒ Lavora in modo consapevole e responsabile
- ☒ La prevenzione oggi evita problemi domani
- ☒ Un ambiente di lavoro sicuro migliora la qualità della vita
- ☒ La sicurezza è un valore per te, per i colleghi e per l'azienda
- ☒ Insieme per un lavoro più sicuro e un futuro migliore

Sicurezza oggi,
opportunità
domani!



L'INGEGNERIA COSTRUISCE SOLUZIONI. LA SICUREZZA PROTEGGE LE PERSONE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

MANUTENZIONE SICURA E LOTO

La sicurezza non è un'opzione, ma un metodo di lavoro!

ISOLAMENTO DELLE ENERGIE, PERMESSI DI LAVORO, CHECKLIST E PROCEDURE

1 PERCHÉ LA MANUTENZIONE È UN'ATTIVITÀ CRITICA

- Rischio di infortuni gravi o mortali
- Presenza di energie pericolose
- Interventi su impianti complessi
- Possibili avviamenti indesiderati
- Spazi ristretti e ambienti pericolosi
- Interazione con altri lavoratori
- Necessità di procedure chiare e formazione specifica



La manutenzione sicura protegge le persone, l'impianto e la continuità produttiva!

2 ENERGIE PERICOLOSE DA ISOLARE



ELETTRICA

Quadri, linee, motori



PNEUMATICA

Aria compressa



IDRAULICA

Fluidi in pressione



TERMICA

Vapore, acqua calda, fluidi caldi o criogenici



MECCANICA

Parti in movimento, energie cinetiche e potenziali

Tutte le fonti di energia devono essere identificate, isolate e messe in sicurezza!

3 PRINCIPIO LOCKOUT-TAGOUT

- Isolare le fonti di energia
- Applicare dispositivi di blocco (LOCKOUT)
- Apporre cartellini di sicurezza (TAGOUT)
- Impedire la riattivazione accidentale
- Ogni lavoratore applica il proprio dispositivo di blocco
- Rimuovere i dispositivi solo a lavoro completato e autorizzato



Blocca Etichetta Proteggi Vivi sicuro!

4 SEQUENZA CORRETTA DELLA PROCEDURA LOTO

- 1 PREPARA** Analizza i rischi, leggi le procedure, individua le energie
- 2 ISOLA** Disattiva e separa tutte le fonti di energia
- 3 BLOCCA** Applica i dispositivi di lockout
- 4 ETICHETTA** Apponi i cartellini di sicurezza
- 5 VERIFICA** Controlla l'assenza di energia residua
- 6 ESEGUI** Effettua l'intervento di manutenzione
- 7 RIPRISTINA** Rimuovi dispositivi solo con autorizzazione e riattiva l'impianto

5 VERIFICA DI ASSENZA ENERGIA RESIDUA

- Controlla con strumenti idonei
- Verifica l'assenza di tensione (con cercafase/multimetro)
- Scarica le energie residue (capacitori, linee pressurizzate)
- Verifica zero pressione su circuiti pneumatici e idraulici
- Controlla assenza di temperatura pericolosa
- Effettua prove di avviamento (START di prova)
- Blocca nuovamente se necessario



Verifica sempre, non fidarti mai!

6 PERMESSO DI LAVORO E COMUNICAZIONE

- Valuta i rischi specifici dell'attività
- Compila il permesso di lavoro (PdL)
- Coinvolgi tutte le funzioni interessate (produzione, manutenzione, sicurezza)
- Definisci tempi, area e responsabilità
- Verifica competenze e abilitazioni
- Comunica l'intervento al personale
- Applica segnaletica e delimitazioni
- Chiudi il permesso a fine lavori



Pianifica Comunica Condividi Lavora sicuro!

7 UTENSILI E DPI DEL MANUTENTORE

- Utensili idonei e in buono stato
- DPI obbligatori: casco, occhiali, guanti, calzature antinfortunistiche
- Abbigliamento adeguato
- Strumenti di misura certificati
- Lampade portatili e segnalazione
- Kit LOTO (lucchetti, etichette, hasp)
- Evita utensili difettosi o improvvisati



8 ESEMPI PRATICI SU MOTORI, QUADRI, LINEE E VALVOLE



MOTORI E MACCHINE

- Isolamento elettrico
- Blocca l'interruttore
- Verifica assenza tensione
- Blocca parti in movimento



QUADRI ELETTRICI

- Apre l'interruttore generale
- Applica lucchetto e cartellino
- Verifica con multimetro
- Segnala l'area di lavoro



LINEE E IMPIANTI

- Chiudi valvole di intercettazione
- Scarica le pressioni residue
- Drena i fluidi se necessario
- Verifica temperatura



VALVOLE E ORGANI DI LINEA

- Chiudi e blocca la valvola
- Applica lucchetto e cartellino
- Verifica isolamento della linea
- Segnala con cartelli

9 ERRORI DA EVITARE

- Non seguire la procedura LOTO
- Sottovalutare le energie residue
- Usare solo cartellini senza blocco
- Rimuovere i dispositivi prima del tempo
- Non verificare l'assenza di energia
- Comunicazione insufficiente
- Strumenti non idonei o non tarati
- Intervenire da soli
- Improvisare soluzioni
- Mancanza di formazione



GLI ERRORI COSTANO CARO

La fretta aumenta il rischio! Segui sempre la procedura!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Pensa alla sicurezza prima di iniziare
- ✓ Isola tutte le fonti di energia
- ✓ Applica sempre lockout e tagout
- ✓ Verifica l'assenza di energia residua
- ✓ Usa il permesso di lavoro
- ✓ Comunica e coordina con il team
- ✓ Utilizza DPI e attrezzature idonee
- ✓ Segui le procedure aziendali
- ✓ Non avere fretta, lavora con metodo
- ✓ La manutenzione sicura garantisce vite, continuità e futuro.



Manutenzione sicura oggi, impianti affidabili domani!



Sicurezza, produttività e sostenibilità vanno insieme!

LA SICUREZZA IN MANUTENZIONE È UN INVESTIMENTO PER LE PERSONE, PER L'AZIENDA E PER IL FUTURO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SEGNALETICA DI SICUREZZA

COLORI, CARTELLI, PITTGRAMMI, ETICHETTE E COMUNICAZIONE VISIVA DEL RISCHIO

Un ambiente sicuro
inizia da una corretta
segnaletica!

1 FUNZIONE DELLA SEGNALETICA

- Attra l'attenzione sui pericoli
- Comunica prescrizioni, divieti e obblighi
- Indica vie di fuga e attrezzature di emergenza
- Riduce i rischi e previene infortuni
- È un linguaggio universale, rapido e immediato
- Obbligatoria per legge (D.Lgs. 81/2008 e norme UNI)

La sicurezza
si vede!



2 COLORI DI SICUREZZA E SIGNIFICATO

COLORE	SIGNIFICATO	ESEMPI
ROSSO	Divieto Pericolo Antincendio	Cartelli di divieto Allarmi Attrezzature antincendio
GIALLO	Avvertimento Attenzione	Pericoli Ostacoli Zone di rischio
BLU	Obbligo	DPI obbligatori Comportamenti da seguire
VERDE	Salvataggio Emergenza	Vie di fuga Uscite di sicurezza Primo soccorso
ARANCIONE	Situazioni particolari	Macchine in movimento Parti pericolose



Il colore giusto
comunica il messaggio giusto!

3 CARTELLI DI DIVIETO

Forma rotonda, fondo bianco,
bordo e banda rossi



VIETATO
FUMARE



VIETATO
L'ACCESSO
AI NON AUTORIZZATI



VIETATO USARE
FIAMME LIBERE



VIETATO L'USO
DI TELEFONI
CELLULARI

Divieto = prevenzione!

4 CARTELLI DI OBBLIGO

Forma rotonda, fondo blu,
pittogramma bianco



È OBBLIGATORIO
IL CASCO
DI PROTEZIONE



È OBBLIGATORIO
PROTEGGERE
GLI OCCHI



È OBBLIGATORIO
USARE I GUANTI
DI PROTEZIONE



È OBBLIGATORIO
LE CALZATURE
DI SICUREZZA

La protezione è una scelta
di responsabilità!

5 CARTELLI DI AVVERTIMENTO

Forma triangolare, fondo giallo,
bordo nero



PERICOLO
GENERICO



TENSIONE
ELETRICA
PERICOLOSA



ORGANI
IN MOVIMENTO



CARRELLI
IN MOVIMENTO



Attenzione oggi,
zero incidenti domani!

6 CARTELLI DI SALVATAGGIO E EMERGENZA

Forma rettangolare o quadrata,
fondo verde, pittogramma bianco



USCITA DI
EMERGENZA



PUNTO DI
RACCOLTA



PRIMO
SOCCORSO



DOCCIA
DI EMERGENZA



Conosci le vie di fuga
e i punti di raccolta!

7 ANTINCENDIO

Forma rettangolare o quadrata,
fondo rosso, pittogramma bianco



ESTINTORE



IDRANTE



PULSANTE
DI ALLARME
ANTINCENDIO



SCALA
ANTINCENDIO



In caso di emergenza
i secondi contano!

8 ETICHETTE SU MACCHINE E IMPIANTI

- Segnalano rischi specifici e istruzioni
- Integrano i cartelli di sicurezza
- Devono essere chiare, leggibili e durevoli
- Seguono norme UNI e direttive europee
- Posizionate in punti visibili
- Non rimuovere o coprire le etichette



Le etichette salvano vite:
rispettatele sempre!

9 ESEMPI IN OFFICINA, MAGAZZINO E CANTIERE

IN OFFICINA



- ✓ Segnalare i pericoli delle macchine
- ✓ Usare i DPI
- ✓ Mantenere ordine e pulizia

IN MAGAZZINO



- ✓ Segnalare vie di transito
- ✓ Indicare carichi e portate
- ✓ Usare segnaletica orizzontale
- ✓ Mantenere libere le uscite

IN CANTIERE



- ✓ Delimitare le aree di lavoro
- ✓ Segnalare rischi specifici
- ✓ Usare i DPI obbligatori
- ✓ Seguire le indicazioni del cantiere

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La segnaletica non è un optional, è un obbligo
- ✓ Rispetta cartelli, colori e pittogrammi
- ✓ Conosci e applica le procedure di sicurezza
- ✓ Mantieni la segnaletica sempre visibile e integra
- ✓ Segnala cartelli mancanti o danneggiati
- ✓ La sicurezza è una responsabilità di tutti
- ✓ Un ambiente ben segnalato è più sicuro, efficiente e produttivo
- ✓ Investire nella segnaletica significa prevenire infortuni e salvare vite



Segnala oggi
un domani più sicuro!



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

*pù consapevolezza
oggi,
più sicurezza domani!*

RISCHI IN OFFICINA E IN IMPIANTO

MECCANICI, ELETTRICI, TERMICI, CHIMICI, RUMORE, PRESSIONE E MOVIMENTAZIONE

1 PANORAMA DEI PRINCIPALI RISCHI

In officina e in impianto possiamo trovarci esposti a diversi rischi. Conoscerli è il primo passo per prevenirli.



Meccanici
Ustioni e tagli



Elettrici
Folgorazione



Termici
Ustioni



Chimici
Esposizione a sostanze nocive



Rumore e vibrazioni
Danni uditivi



Pressione e fluidi
Perdite e scoppi



Movimentazione
Infortuni muscolo-scheletrici

**LA SICUREZZA
RIGUARDA
TUTTI!**

2 RISCHIO MECCANICO

Urti, schiacciamenti, tagli, impigliamenti e proiezione di materiali durante l'uso di macchine e attrezzature.

- Parti in movimento
- Utensili e macchine utensili
- Truciolini e schegge
- Organi di trasmissione (cinghie, ingranaggi)
- Rischi durante la manutenzione



3 RISCHIO ELETTRICO

Può causare folgorazione, ustioni, incendi e danni alle apparecchiature.

- Contatto diretto o indiretto
- Quadri elettrici e cablaggi
- Attrezzature non a norma
- Ambienti umidi
- Lavori su impianti in tensione



**LAVORA SOLO CON
AUTORIZZAZIONE
E IMPIANTI SICURI!**

4 RISCHIO TERMICO

Ustioni, disagi e malori dovuti a temperature elevate o basse.

- Superfici calde e fiamme
- Materiali incandescenti
- Processi di saldatura
- Impianti con fluidi caldi o freddi
- Lavori in ambienti caldi o refrigerati



5 RISCHIO CHIMICO E FUMI

Esposizione a sostanze chimiche, fumi, gas e polveri può causare irritazioni, intossicazioni e malattie professionali.

- Oli, lubrificanti e solventi
- Gas tecnici (es. CO₂, argon)
- Fumi di saldatura
- Polveri metalliche e detergenti
- Stoccaggio e gestione rifiuti



**USA I DPI E LAVORA
IN AMBIENTI BEN
AERATI!**

6 RUMORE E VIBRAZIONI

L'esposizione prolungata può causare danni all'udito, stress, affaticamento e disturbi muscolo-scheletrici.

- Macchine e compressori
- Utensili pneumatici ed elettrici
- Impianti e linee di produzione
- Vibrazioni su mani e braccia
- Rumore continuo o impulsivo



**USA PROTEZIONI
ACUSTICHE E RIDUCI
L'ESPOSIZIONE!**

7 PRESSIONE, FLUIDI E TUBAZIONI

Perdite, rotture e fuoriuscite di fluidi in pressione possono causare gravi infortuni.

- Aria compressa e gas tecnici
- Circuiti idraulici e oleodinamici
- Tubazioni e raccordi
- Valvole e serbatoi in pressione
- Controlli e manutenzione periodica



**VERIFICA PERIODICAMENTE
LO STATO DI IMPIANTI
E TUBAZIONI!**

8 MOVIMENTAZIONE MANUALE E ERGONOMIA

Sforzi e posture scorrette possono causare disturbi muscolo-scheletrici e infortuni.

- Sollevamento e trasporto carichi
- Posture prolungate
- Movimenti ripetitivi
- Organizzazione degli spazi di lavoro
- Uso di ausili e attrezzature



9 BUONE PRATICHE PREVENTIVE IN OFFICINA

La prevenzione riduce i rischi e rende il lavoro più sicuro ed efficiente.



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Conosci i rischi del tuo lavoro
- ✓ Usa sempre i DPI adeguati
- ✓ Segui procedure e norme di sicurezza
- ✓ Mantieni ordine e pulizia
- ✓ Verifica impianti e attrezzature
- ✓ Segnala subito anomalie e pericoli
- ✓ Prenditi cura della tua salute
- ✓ La sicurezza è un lavoro di squadra
- ✓ Oggi prevenzione, domani continuità
- ✓ Un ambiente sicuro è più produttivo

**Sicurezza oggi
per un domani
senza stop!**



L'INGEGNERIA COSTRUISCE SOLUZIONI, LA SICUREZZA COSTRUISCE IL FUTURO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA

FORMAZIONE, PROCEDURE, AUDIT, KPI, INCIDENTI E MIGLIORAMENTO CONTINUO

La sicurezza non è un costo, ma un investimento nel futuro!

1 CULTURA DELLA SICUREZZA

- Valori, atteggiamenti e comportamenti sicuri
- Sicurezza come responsabilità di tutti
- Leadership e esempio
- Prevenzione prima della correzione
- Creare un ambiente di lavoro sano e positivo

La sicurezza inizia da te!



2 RUOLI E RESPONSABILITÀ

- Datore di lavoro: indirizzo e risorse
- RSPP: consulenza e supporto
- Preposti: vigilanza e controllo
- Lavoratori: rispetto delle norme
- Medico competente: sorveglianza sanitaria
- Fornitori: conformità e cooperazione



UNA SQUADRA PER LA SICUREZZA

3 FORMAZIONE E ADDESTRAMENTO

- Formazione obbligatoria e periodica
- Addestramento pratico su macchine e attrezzature
- Aggiornamento continuo
- Valutazione dell'efficacia
- Registro delle attività formative



Conoscenza e pratica salvano vite!

4 PROCEDURE OPERATIVE E ISTRUZIONI

- Procedure chiare e aggiornate
- Istruzioni per l'uso di macchine, attrezzature e impianti
- Valutazione dei rischi (DVR)
- Permessi di lavoro (es. spazi confinati)
- Gestione delle situazioni di emergenza

Regole chiare per un lavoro sicuro!



5 AUDIT E ISPEZIONI

- Verifica della conformità normativa
- Audit interni ed esterni
- Ispezioni e sopralluoghi in campo
- Identificazione di non conformità
- Piani di azione e monitoraggio
- Coinvolgimento delle persone

Controllare per migliorare!



6 INDICATORI E KPI DI SICUREZZA

- Tasso di frequenza e gravità
- Near miss e segnalazioni
- Indici di conformità
- Trend e analisi dei dati
- Obiettivi misurabili
- Cruscotti di monitoraggio

Misurare per capire, capire per migliorare!



7 NEAR MISS, INCIDENTI E AZIONI CORRETTIVE

- Segnalazione di near miss
- Analisi delle cause (es. metodo delle 5 Why)
- Azioni correttive e preventive
- Condivisione delle lezioni apprese
- Diffusione delle buone pratiche



Da ogni evento un'opportunità di miglioramento!

8 COMUNICAZIONE E COINVOLGIMENTO DEL PERSONALE

- Informazione chiara e tempestiva
- Consultazione e partecipazione
- Riunioni e toolbox meeting
- Segnalazioni e suggerimenti
- Cultura del dialogo e della fiducia
- Riconoscimento dei comportamenti virtuosi

La sicurezza si costruisce insieme!



9 CICLO PDCA E MIGLIORAMENTO CONTINUO

- Plan: pianifica obiettivi e azioni
- Do: attua e implementa
- Check: verifica risultati
- Act: correggi e migliora
- Coinvolgi le persone in ogni fase
- Rendi la sicurezza parte dei processi aziendali

Piccoli passi oggi, grandi risultati domani!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La sicurezza è un valore, non un obbligo
- ✓ Coinvolgi tutti, ogni giorno
- ✓ Segui procedure e buone pratiche
- ✓ Segnala i pericoli e i near miss
- ✓ Analizza, correggi, migliora
- ✓ Usa i dati per decidere
- ✓ Investi in formazione
- ✓ Costruisci un ambiente di lavoro sano e sicuro
- ✓ La sicurezza crea qualità, efficienza e sostenibilità
- ✓ Un futuro migliore dipende anche da te!



Sicurezza oggi per un domani più sostenibile!

PERSONE
PRODUTTIVITÀ
AMBIENTE
FUTURO

L'INGEGNERIA GUIDA LA SICUREZZA VERSO UN MONDO PIÙ SANO, EFFICIENTE E SOSTENIBILE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

INVESTIGAZIONE DI INCIDENTI E NEAR MISS

Ogni evento analizzato diventa un'opportunità di miglioramento!

SEGNALAZIONE, ANALISI DELLE CAUSE, 5 WHY, ISHIKAWA E LEZIONI APPRESE

1 PERCHÉ ANALIZZARE GLI EVENTI

- Prevenire recidive
- Imparare dagli errori
- Proteggere persone e impianti
- Migliorare processi e procedure
- Aumentare la cultura della sicurezza

Dagli eventi di oggi un domani più sicuro!

ANALIZZARE PER PREVENIRE

2 TIPI DI EVENTO

- Near miss: nessun danno, potenziale pericolo
- Incidente: evento indesiderato
- Infortunio: danno alle persone
- Danno materiale: danni a macchine, impianti, prodotti

NEAR MISS (quasi incidente)



INCIDENTE



INFORTUNIO



DANNO MATERIALE



Eventi diversi, stessa importanza nell'apprendimento!

3 AZIONI IMMEDIATE

- Mettere in sicurezza l'area
- Soccorrere le persone (se necessario)
- Segnalare l'evento
- Preservare le evidenze
- Evitare di modificare lo stato dei luoghi
- Informare i responsabili

AREA IN SICUREZZA

Prima la sicurezza, poi l'analisi!

4 RACCOLTA DELLE INFORMAZIONI

- Foto e documentazione visiva
- Testimonianze e interviste
- Dati macchina e registri
- Condizioni ambientali (illuminazione, clima, ecc.)
- Procedure e istruzioni applicabili
- Cronologia degli eventi

RACCOLTA DATI

- ☒ FOTO
- ☒ TESTIMONIANZE
- ☒ DATI MACCHINA
- ☒ CONDIZIONI AMBIENTALI
- ☒ PROCEDURE
- ☒ CRONOLOGIA

Dati oggettivi per risposte concrete!

5 METODO 5 WHY

- Fare domande "Perché?"
- Andare oltre le cause superficiali
- Continuare fino alla causa radice
- Coinvolgere il team
- Usare i risultati per le azioni correttive

- PERCHÉ?** L'operatore è scivolato?
- PERCHÉ?** C'era olio sul pavimento?
- PERCHÉ?** Perdita da una guarnizione?
- PERCHÉ?** Guarnizione usurata?
- PERCHÉ?** Nessun piano di manutenzione?

CAUSA RADICE Non fermarti alla prima risposta!

6 DIAGRAMMA DI ISHIKAWA (CAUSA-EFFETTO)

- Strumento visuale per analizzare le cause
- Raggruppa le cause per categorie
- Favorisce il lavoro di gruppo
- Aiuta a individuare le cause radice
- Utile per eventi complessi



Più cause, una sola direzione: la soluzione!

7 CAUSE IMMEDIATE E CAUSE RADICE

- Cause immediate:** azioni o condizioni che hanno generato l'evento
- Cause radice:** fattori sistemici più profondi
- Entrambe vanno identificate e gestite
- Le cause radice prevencono la ripetizione

CAUSE IMMEDIATE	CAUSE RADICE
- Atti non sicuri - Condizioni pericolose - Errori umani - Guasti improvvisi	- Carenze organizzative - Procedure inadeguate - Formazione insufficiente - Manutenzione carente - Problemi di progettazione

Guardare in profondità per risolvere davvero!

8 AZIONI CORRETTIVE E PREVENTIVE

- Eliminare o ridurre le cause radice
- Aggiornare procedure e istruzioni
- Formare e sensibilizzare il personale
- Implementare barriere tecniche e organizzative
- Verificare l'efficacia delle azioni
- Integrare nel sistema di gestione

- ☒ ELIMINA LE CAUSE
- ☒ AGGIORNA LE PROCEDURE
- ☒ FORMA IL PERSONALE
- ☒ INSTALLA BARRIERE
- ☒ VERIFICA L'EFFICACIA
- ☒ PREVIENI IL RIPETERSI

Azioni concrete per un futuro più sicuro!

9 LEZIONI APPRESE E CONDIVISIONE

- Documentare le lezioni apprese
- Condividere con il team
- Organizzare toolbox talk e riunioni
- Diffondere casi ed esempi reali
- Aggiornare procedure e formazione
- Valorizzare una cultura aperta e non colpevolizzante

Condividere le esperienze rende tutti più sicuri!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ☒ Segnala ogni evento, anche un near miss
- ☒ Analizza con metodo (5 Why, Ishikawa)
- ☒ Individua le cause immediate e radice
- ☒ Definisci e attua azioni correttive e preventive
- ☒ Condividi le lezioni apprese
- ☒ Monitora l'efficacia nel tempo
- ☒ Costruisci una cultura della sicurezza
- ☒ Ogni evento è un'opportunità di miglioramento

Sicurezza attraverso l'esperienza!



IMPARARE DAGLI EVENTI COSTRUISCE LUOGHI DI LAVORO PIÙ SICURI, AFFIDABILI E SOSTENIBILI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PREVENZIONE INCENDI E LOTTA ANTINCENDIO

Prevenire l'incendio
è la prima forma
di protezione!

CLASSI DI FUOCO, RISCHI, MEZZI DI ESTINZIONE, ALLARME E COMPORTAMENTI SICURI

1 TRIANGOLO E TETRAEDRO DEL FUOCO

- Il fuoco si sviluppa se sono presenti tre elementi: combustibile, comburente e calore.
- La reazione a catena mantiene la combustione.
- Togliere uno di questi elementi significa prevenire o spegnere l'incendio.

Senza uno degli elementi il fuoco non si sviluppa!



TRIANGOLO DEL FUOCO TETRAEDRO DEL FUOCO

2 CAUSE FREQUENTI DI INCENDIO IN OFFICINA E IMPIANTO

- Cortocircuiti e guasti elettrici
- Surriscaldamento di macchine e motori
- Presenza di materiali combustibili
- Lavori a caldo (saldatura, taglio)
- Perdite di gas o liquidi infiammabili
- Accumulo di polveri
- Mancata manutenzione
- Uso improprio di attrezzature
- Scintille e fiamme libere
- Cattiva ventilazione

Conosci i rischi e li puoi evitare!



3 CLASSI DI FUOCO E TIPO DI MATERIALE

- A** MATERIALI SOLIDI: Legno, carta, tessuti, plastica, gomma
- B** LIQUIDI INFIAMMABILI: Benzina, oli, solventi, vernici, alcoli
- C** GAS INFIAMMABILI: Metano, GPL, acetilene, idrogeno
- D** METALLI COMBUSTIBILI: Magnesio, alluminio, titanio, sodio, potassio
- F** OLI E GRASSI DA COTTURA: Oli vegetali e animali (grassi alimentari)

Ogni fuoco ha la sua classe e il suo estinguennte!

4 MEZZI DI ESTINZIONE E QUANDO USARLI

- ACQUA:** classe A (solo su materiali solidi)
- SCHIUMA:** classi A e B (solidi e liquidi infiammabili)
- POLVERE:** classi A, B, C (uso versatile)
- CO₂ (anidride carbonica):** classi B e C (ideale su impianti elettrici)

Usa sempre l'estinguennte giusto!



5 ESTINTORE PORTATILE E PASSAGGI D'USO BASE

- Riconosci il tipo di estintore e verifica la sua efficienza
- Segui la procedura **PASS**:

P
A
S
S

- Estrai** la spina di sicurezza
- Punta** la lancia alla base delle fiamme
- Premi** la leva
- Spazza** da un lato all'altro

Piccoli gesti che fanno la differenza!



6 IDRANTI, RIVELATORI, ALLARME E PORTE REI

- Idranti e nappi per intervento rapido con acqua
- Rivelatori di fumo e calore
- Sistema di allarme antincendio
- Porte REI per compartimentare e limitare la propagazione del fuoco
- Segnaletica di sicurezza



Sistemi attivi e passivi per una maggiore sicurezza!

7 PREVENZIONE QUOTIDIANA

- Mantieni ordine e pulizia nei luoghi di lavoro
- Rimuovi materiali combustibili inutili
- Gestisci correttamente sostanze pericolose e infiammabili
- Usa permessi di lavoro per attività a caldo (Hot Work Permit)
- Effettua manutenzione periodica di impianti elettrici e macchine
- Controlla ventilazione e aspirazione
- Verifica vie di esodo sempre libere



Un ambiente ordinato è un ambiente più sicuro!

8 EVACUAZIONE IN CASO DI INCENDIO

- Mantieni la calma
- Segui la segnaletica di emergenza
- Abbandona immediatamente l'area senza perdere tempo
- Non usare ascensori
- Aiuta chi è in difficoltà
- Raggiungi il punto di raccolta all'esterno
- Segui le istruzioni degli addetti all'emergenza

La tua sicurezza e quella degli altri dipende anche da te!



9 ERRORI DA EVITARE

- Sottovalutare il rischio di incendio
- Bloccare vie di esodo con materiali
- Usare estintori non idonei
- Effettuare lavori a caldo senza permesso
- Ignorare segnali e allarmi
- Non mantenere in efficienza impianti e attrezzature
- Accumulo di rifiuti e materiali combustibili
- Fumare in aree non consentite



Evita questi errori, proteggiti te stesso e gli altri!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- Conosci i rischi e le cause di incendio
- Riconosci le classi di fuoco
- Usa i mezzi di estinzione corretti
- Mantieni ordine, pulizia e manutenzione
- Segui le procedure e i permessi di lavoro
- Partecipa alla formazione antincendio
- Conosci le vie di esodo e il punto di raccolta
- Segnala situazioni pericolose
- Sii pronto ad agire in caso di emergenza
- La prevenzione salva vite, beni e lavoro!

Proteggi oggi il tuo domani!

**PREVENIRE
FORMARE
AGIRE
SALVARE VITE**



LA CULTURA ANTINCENDIO NASCE DALLA PREVENZIONE, DALL'ADDESTRAMENTO E DALLA PRONTEZZA DI AZIONE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SICUREZZA ELETTRICA NEL LAVORO

L'elettricità è utile
solo se gestita
in sicurezza!

CONTATTI DIRETTI E INDIRETTI, PROTEZIONI, VERIFICHE, ARC FLASH E COMPORTAMENTI SICURI

1 RISCHI ELETTRICI PRINCIPALI

- Folgorazione ed elettrocuzione
- Ustioni da arco elettrico (arc flash)
- Incendi ed esplosioni
- Danni a impianti e macchinari
- Tensioni pericolose anche in bassa tensione
- Rischi aumentati da umidità, ambienti confinati e atmosfere esplosive (ATEX)



2 CONTATTO DIRETTO VS INDIRETTO

CONTATTO DIRETTO

- Contatto con parti attive in tensione
- Es. cavo scoperto, morsetto, sbarra
- Causato da mancata protezione o comportamento non sicuro



CONTATTO INDIRETTO

- Contatto con masse messe accidentalmente in tensione
- Es. carenatura metallica di un macchinario
- Causato da guasto dell'isolamento
- Rischio ridotto con messa a terra e differenziale



3 EFFETTI DELLA CORRENTE SUL CORPO UMANO

- Formicolio e contrazioni muscolari
- Difficoltà di respirazione
- Tetania muscolare (impossibilità di lasciarsi)
- Arresto respiratorio e fibrillazione cardiaca
- Ustioni interne e esterne
- Danni permanenti o morte

VALORI INDICATIVI DI PERICOLO

< 1 mA	Generalmente non pericoloso
1 - 10 mA	Percezione e contrazioni
10 - 30 mA	Possibili lesioni gravi
> 30 mA	Rischio di fibrillazione cardiaca e morte



Anche pochi mA possono essere letali!

4 DISPOSITIVI DI PROTEZIONE

- Messa a terra delle masse
- Interruttore differenziale (RCD)
- Interruttori magnetotermici
- Isolamento delle parti attive
- Barriere, involucri e segnalazioni
- Sistemi di protezione equipotenziale
- Dispositivi di sezionamento
- Protezione nei luoghi a maggior rischio (es. umidità, ATEX)



MESSA A TERRA

DIFFERENZIALE

ISOLAMENTO

BARRIERE

SEGNALAZIONE

5 QUADRI ELETTRICI E SEGNALETICA

- Quadri chiusi e accessibili solo a personale autorizzato
- Segnaletica di pericolo e divieto
- Indicazione delle tensioni presenti
- Schemi elettrici aggiornati
- Ordine e pulizia nell'area quadri
- Protezione da polvere, acqua e urti



6 LAVORI ELETTRICI E PROCEDURE DI ISOLAMENTO

- Solo personale qualificato (PES/PAV)
- Pianificare il lavoro e valutare i rischi
- Disattivare l'alimentazione
- Bloccare e segnalare (Lockout/Tagout)
- Verificare l'assenza di tensione
- Mettere a terra e in corto circuito (se previsto)
- Proteggere parti attive vicine
- Rilasciare l'impianto solo a fine lavoro



7 DPI E ATTREZZI ISOLATI

- Guanti isolanti (classe e tensione adeguate)
- Calzature di sicurezza isolanti
- Utensili isolati (certificati VDE)
- Tappeti isolanti e pedane
- Casco con visiera per rischio arco
- Indumenti ignifughi per lavori su quadri in tensione
- Verifica periodica dello stato dei DPI



Usa sempre i DPI adatti: la protezione inizia da te!

8 VERIFICHE, MANUTENZIONE E PERMESSI

- Verifiche periodiche degli impianti
- Controllo del funzionamento del differenziale (test)
- Manutenzione programmata
- Misura della resistenza di terra
- Termografia e controlli visivi
- Permessi di lavoro per attività a rischio
- Registro delle verifiche e manutenzioni
- Gestione delle non conformità



- ✓ VERIFICA
- ✓ MANUTENZIONE
- ✓ REGISTRO
- ✓ PERMESSI
- ✓ CONFORMITÀ

Prevenire i guasti mantiene sicuri e operativi!

9 COSA FARE IN CASO DI FOLGORAZIONE O PRINCIPIO DI INCENDIO ELETTRICO

FOLGORAZIONE

- 1 Non toccare la persona se è ancora in contatto con la fonte di tensione
- 2 Interrompere l'alimentazione se possibile
- 3 Chiamare i soccorsi (112)
- 4 Prestare primo soccorso (se formato)
- 5 Controllare respiro e battito
- 6 Usare il DAE se disponibile



INCENDIO ELETTRICO

- 1 Disattivare l'alimentazione
- 2 Usare estintori idonei (CO₂ o polvere, mai acqua su impianti in tensione)
- 3 Allontanare le persone e mettere in sicurezza l'area
- 4 Chiamare i soccorsi (112)
- 5 Non riattivare l'impianto fino a verifica tecnica



Intervento rapido e corretto salva vite!

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Rispetta sempre procedure e segnalazioni
- ✓ Lavora solo se formato e autorizzato
- ✓ Usa i DPI e attrezzi isolati
- ✓ Verifica l'assenza di tensione
- ✓ Mantieni in efficienza le protezioni
- ✓ Segnala anomalie e non conformità
- ✓ Evita improvvisazioni
- ✓ Conosci i rischi (anche arc flash)
- ✓ Proteggi te stesso, i colleghi e gli impianti
- ✓ La sicurezza elettrica è una responsabilità di tutti



PERICOLO ARC FLASH
FORMAZIONE
ATTENZIONE
PROCEDURE
PROTEZIONE
VITE SALVE

⚡ CONTROLLARE L'ENERGIA ELETTRICA SIGNIFICA PROTEGGERE VITA, IMPIANTI E CONTINUITÀ OPERATIVA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

LAVORI IN QUOTA

CADUTE DALL'ALTO, PARAPETTI, IMBRACATURE, PONTEGGI, SCALE E PIATTAFORME

*In quota si lavora
solo protetti!*

1 CHE COSA SI INTENDE PER LAVORO IN QUOTA

- Attività svolte a un'altezza superiore a 2 metri rispetto a un piano stabile
- Rischio di caduta dall'alto di persone, materiali o attrezzi
- Riguarda cantieri, manutenzioni, installazioni, coperture, impianti e molto altro



2 PRINCIPALI RISCHI DI CADUTA

- Caduta di persone dall'alto
- Caduta di materiali e attrezzi
- Sfondamento di superfici fragili (tetti, lucernari, coperture)
- Scivolamenti e perdita di equilibrio
- Condizioni meteo avverse (vento, pioggia, ghiaccio)
- Mancato uso o uso scorretto dei sistemi di protezione



3 GERARCHIA DELLE PROTEZIONI



LA SICUREZZA SEGUE UN ORDINE:
ELIMINA, PROTEGGI, USA I DPI!

4 PARAPETTI E RETI DI PROTEZIONE

- Parapetti con altezza minima 1 m
- Corrente intermedio e fermapiEDE
- Resistenti e ben ancorati
- Reti di sicurezza per trattenere persone e materiali
- Verifica periodica dello stato di conservazione
- Installazione a cura di personale competente



5 IMBRACATURA, CORDINO, ASSORBITORE E LINEE VITA

- Imbracatura completa e certificata
- Cordino con assorbitore di energia
- Punti di ancoraggio sicuri e resistenti
- Linee vita fisse o temporanee
- Verifica periodica dei dispositivi
- Uso corretto e formazione specifica



6 SCALE PORTATILI USO CORRETTO

- Solo per lavori brevi e semplici
- Su piano stabile e non scivoloso
- Inclinazione corretta (rapporto 4:1)
- Sporgenza di almeno 1 m oltre il piano di sbarco
- Tre punti di contatto (due piedi e una mano)
- Non utilizzare l'ultimo gradino
- Controllo dello stato di conservazione



7 PONTEGGI E PIATTAFORME DI LAVORO ELEVABILI (PLE)

- Ponteggi montati da personale qualificato e secondo normativa
- Verifica e autorizzazione all'uso
- Piani completi, parapetti e fermapiEDE
- Non sovraccaricare
- PLE (piattaforme aeree) con operatore debitamente formato
- Uso idoneo al tipo di lavoro
- Controlli giornalieri prima dell'uso



8 METEO, ORDINE E CONDIZIONI DEL PIANO DI LAVORO

- Non lavorare in caso di vento forte, pioggia, neve o ghiaccio
- Valutare le condizioni ambientali
- Mantenere il piano di lavoro pulito e ordinato
- Evitare materiali e attrezzi lasciati incustoditi
- Verificare stabilità delle superfici
- Illuminazione adeguata
- Segnalare e delimitare le aree sottostanti



9 PIANO DI SOCCORSO E RECUPERO

- Pianificare le procedure di emergenza
- Formare il personale al recupero dell'infortunato
- Disporre di attrezzature di recupero (es. kit, tripode)
- Assicurare tempi rapidi di intervento
- Coinvolgere le squadre di emergenza
- Effettuare esercitazioni periodiche
- Conoscere i numeri di emergenza



10 MESSAGGIO CHIAVE CHECKLIST

- ☒ Valuta se è possibile evitare il lavoro in quota
- ☒ Usa sempre le protezioni collettive
- ☒ Indossa correttamente i DPI
- ☒ Controlla attrezzature, ancoraggi e superfici
- ☒ Segui le procedure e la formazione
- ☒ Verifica le condizioni meteo
- ☒ Mantieni il piano di lavoro ordinato
- ☒ Pianifica il soccorso e conosci le emergenze
- ☒ Proteggi anche chi lavora sotto di te
- ☒ La sicurezza è una responsabilità di tutti



PREVENIRE LE CADUTE SIGNIFICA DIFENDERE LA VITA IN OGNI INTERVENTO IN ALTEZZA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



SPAZI CONFINATI E AMBIENTI SOSPETTI DI INQUINAMENTO

Negli spazi confinati non si improvvisa mai!

PERMESSI, MISURE GAS, VENTILAZIONE, ASSISTENZA ESTERNA, DPI E RECUPERO

1 DEFINIZIONE DI SPAZIO CONFINATO

- Spazio totalmente o parzialmente chiuso
- Accesso limitato
- Ventilazione naturale scarsa o assente
- Non progettato per la presenza continuativa di persone

Può sembrare sicuro, ma può essere pericoloso!



2 PERICOLI PRINCIPALI

- Carenza di ossigeno (atmosfera asfissianti)
- Gas tossici (es. H_2S , CO, vapori)
- Atmosfere esplosive e rischio incendio
- Intrappolamento o difficoltà di uscita
- Temperature estreme
- Sostanze chimiche e biologiche
- Rischi meccanici (attrezzature, liquidi, materiali)

Pericoli spesso invisibili, ma letali!



3 ESEMPI PRATICI

- Serbatoi e cisterne
- Silos
- Cunicoli e gallerie
- Pozzetti e reti fognarie
- Vasche e digestori
- Camere di ispezione
- Reattori, caldaie, forni
- Container, stive di navi
- Condotte e tubazioni di grande diametro

Molti ambienti di lavoro possono essere spazi confinati!



4 PERMESSO DI LAVORO

- Documento obbligatorio prima dell'ingresso
- Valutazione dei rischi
- Misure di prevenzione e controllo
- Autorizzazioni firmate
- Validità temporale
- Procedure di emergenza
- Comunicazione a tutti gli interessati



5 MISURE ATMOSFERICHE E STRUMENTAZIONE GAS

- Verifica di ossigeno (O_2)
- Rilevazione gas tossici (es. H_2S , CO, VOC)
- Controllo di atmosfere esplosive (LEL)
- Misure prima, durante e in continuo
- Strumentazione tarata e verificata
- Registrazione dei valori

Misura prima di entrare!



6 ISOLAMENTO, VENTILAZIONE E BONIFICA

- Isolare le linee di processo (blocco fonti di energia e fluidi)
- Scollegare e mettere in sicurezza le tubazioni
- Ventilazione forzata con aria fresca
- Bonifica e lavaggio dell'ambiente
- Verifica continua dell'atmosfera
- Mantenere la ventilazione durante tutta l'attività

Aria fresca salva la vita!



7 RUOLI: OPERATORE, SORVEGLIANTE, SQUADRA EMERGENZA

OPERATORE

- Entra nello spazio confinato
- Segue le procedure
- Usa i DPI previsti
- Mantiene il contatto con il sorvegliante

SORVEGLIANTE ESTERNO

- Rimane all'esterno
- Monitora costantemente
- Mantiene le comunicazioni
- Attiva l'emergenza se necessario
- Non entra mai nello spazio

SQUADRA DI EMERGENZA

- Addestrata al recupero
- Dotata di attrezzature specifiche
- Interviene secondo il piano
- Include personale formato BLS/D

8 DPI E SISTEMI DI RECUPERO

- Imbracatura completa con attacco per recupero
- Tripode o sistema di ancoraggio
- Verricello e dispositivo anticaduta
- Autorespiratore o respiratore secondo la valutazione dei rischi
- Casco, guanti, indumenti idonei
- Sistemi di comunicazione
- Kit di recupero e barella

Entra solo se sei pronto a tornare fuori!



9 PROCEDURA DI INGRESSO SICURO

- 1 Verifica permesso di lavoro
- 2 Isola e metti in sicurezza l'impianto
- 3 Misura l'atmosfera e avvia la ventilazione
- 4 Controlla DPI e sistemi di recupero
- 5 Effettua briefing con tutta la squadra
- 6 Entra solo con monitoraggio continuo



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Valuta sempre i rischi
- ✓ Non sottovalutare i pericoli invisibili
- ✓ Misura, ventila, verifica
- ✓ Usa i DPI corretti
- ✓ Mai da solo: un sorvegliante sempre presente
- ✓ Segui le procedure e il permesso di lavoro
- ✓ Sii pronto all'emergenza
- ✓ La formazione e l'addestramento salvano vite
- ✓ Ogni spazio confinato è diverso
- ✓ La sicurezza è una scelta consapevole

Procedura, formazione, consapevolezza: sempre!



NEGLI SPAZI CONFINATI LA PROCEDURA CORRETTA È LA PRIMA PROTEZIONE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GESTIONE DELLE EMERGENZE ED EVACUAZIONE

Preparazione
e calma
salvano vite!

PIANI, ALLARME, RUOLI, VIE DI FUGA, PUNTO DI RACCOLTA E ADDESTRAMENTO

1 PERCHÉ SERVE UN PIANO DI EMERGENZA

- Riduce rischi e conseguenze
- Salva vite umane
- Protegge impianti e ambiente
- Definisce procedure chiare
- Permette una risposta rapida
- Migliora la resilienza dell'organizzazione

Prevenire,
pianificare,
essere pronti!



2 TIPI DI EMERGENZA

- Incendio: fumo e fiamme
- Fuga di gas: rischio esplosione o intossicazione
- Blackout: mancata energia elettrica
- Infortunio: malore o incidente
- Evento naturale: terremoto, alluvione, eventi meteo estremi



Eventi diversi,
stessa priorità:
la sicurezza delle persone!

3 CATENA DELL'ALLARME

- Chi rileva l'emergenza segnala immediatamente
- Attiva il sistema di allarme
- Avvisa il coordinatore dell'emergenza
- Comunica alle squadre interne
- Se necessario, chiama i soccorsi esterni
- Diffonde le informazioni a tutte le persone



4 RUOLI E RESPONSABILITÀ

- Coordinatore dell'emergenza (dirige le operazioni)
- Addetti antincendio
- Addetti al primo soccorso
- Addetti all'evacuazione
- Personale di supporto
- Tutti i lavoratori seguono le istruzioni

Ognuno ha un ruolo
per una risposta
efficace!



5 VIE DI FUGA E USCITE

- Percorsi sempre liberi e segnalati
- Segnaletica chiara e visibile
- Illuminazione di emergenza
- Porte facilmente apribili
- Divieto di ostruire le uscite
- Verifica periodica dello stato



6 PUNTO DI RACCOLTA E CONTA PERSONE

- Raggiungi il punto di raccolta indicato
- Mantieni la calma
- Non tornare indietro
- Il coordinatore effettua la conta delle persone
- Segnala eventuali dispersi
- Rimani al punto di raccolta fino a nuove istruzioni



7 USO DI ESTINTORI E ATTREZZATURE

- Usa gli estintori solo se sei addestrato
- Scegli l'estintore adatto
- Segui la tecnica PASS (Pull, Aim, Squeeze, Sweep)
- Utilizza altre attrezzature (di disconnessione, coperte antifuoco, idranti) solo se formato
- Non mettere a rischio la tua incolumità

Solo se formato
e in sicurezza!



8 PRIMO SOCCORSO E CHIAMATA AI SOCCORSI

- Verifica la sicurezza dell'area
- Presta i primi soccorsi se sei formato
- Chiama i numeri di emergenza
- Fornisci informazioni chiare
- Non spostare l'infortunato se non necessario
- Attendi l'arrivo dei soccorsi



9 PROVE DI EVACUAZIONE E FORMAZIONE

- Esercitazioni periodiche
- Coinvolgimento di tutto il personale
- Verifica dell'efficacia delle procedure
- Analisi dei tempi di evacuazione
- Individuazione di criticità e miglioramenti
- Formazione continua e aggiornamento

La pratica
rende più sicuri!



10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Conosci il piano di emergenza
- ✓ Riconosci i segnali di allarme
- ✓ Segui le vie di fuga
- ✓ Raggiungi il punto di raccolta
- ✓ Collabora con i responsabili
- ✓ Usa le attrezzature solo se formato
- ✓ Presta i primi soccorsi se possibile
- ✓ Partecipa alle prove di evacuazione
- ✓ Mantieni la calma
- ✓ La sicurezza è un impegno di tutti, ogni giorno

PIÙ
CONSAPEVOLEZZA
OGGI
PIÙ SICUREZZA
DOMANI!

La sicurezza
si costruisce
insieme!



UN'EMERGENZA GESTITA BENE RIDUCE I RISCHI E PROTEGGE PERSONE, PROCESSI E STRUTTURE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SOSTANZE PERICOLOSE E SCHEDE DI SICUREZZA

PITTOGRAMMI GHS, SDS, STOCCAGGIO, ETICHETTATURA, ESPOSIZIONE E GESTIONE DELLE EMERGENZE

Conoscere le sostanze significa proteggere persone e ambiente!

1 CHE COSA SONO LE SOSTANZE PERICOLOSE

- Sostanze o miscele che possono danneggiare la salute umana, l'ambiente o i beni materiali
- Solidi, liquidi, gas, aerosol
- Presenti nei processi industriali, nei laboratori e nella manutenzione
- Classificazione secondo regolamento CLP (CE 1272/2008)
- Richiedono corretta gestione lungo tutto il ciclo di vita



2 VIE DI ESPOSIZIONE

- Inalazione (vapori, polveri, aerosol)
- Contatto con la pelle
- Contatto con gli occhi
- Ingestione accidentale
- Iniezione (es. tagli, punture)
- L'esposizione può essere acuta o cronica e causare effetti immediati o a lungo termine



3 PITTOGRAMMI GHS PRINCIPALI



4 COME LEGGERE UNA SDS (SCHEDA DI SICUREZZA)

- Documento in 16 sezioni standard
- Informazioni su pericoli, composizione, misure di prevenzione e primo soccorso
- Indicazioni su stoccaggio, trasporto e smaltimento
- Da aggiornare e rendere disponibile a tutti i lavoratori
- Strumento essenziale per la valutazione del rischio chimico



5 ETICHETTATURA DEI CONTENITORI

- Nome della sostanza o miscela
- Pittogrammi di pericolo
- Avvertenza (Pericolo/Attenzione)
- Indicazioni di pericolo (H)
- Consigli di prudenza (P)
- Dati del fornitore e numero di lotto
- Etichetta integra, leggibile e in italiano



6 STOCCAGGIO SICURO E INCOMPATIBILITÀ

- Utilizzare locali idonei, ventilati e segnalati
- Separare sostanze incompatibili
- Mantenere i contenitori chiusi
- Utilizzare bacini di contenimento
- Controllare temperatura e condizioni ambientali
- Seguire le indicazioni della SDS e della normativa



7 DPI E IGIENE INDUSTRIALE

- Utilizzare i DPI adeguati (guanti, occhiali, maschere, tute)
- Scegliere in base alla SDS
- Garantire ventilazione e aspirazione locale
- Evitare il contatto diretto
- Seguire le buone pratiche di igiene personale (lavaggio mani, no cibo/bevande)
- Monitoraggio dell'esposizione quando necessario



8 SVERSAMENTI E GESTIONE DELL'EMERGENZA

- Interrompere la fonte se sicuro
- Segnalare e allontanare le persone non coinvolte
- Utilizzare kit di assorbimento
- Indossare i DPI adeguati
- Seguire le procedure della SDS
- Gestire i rifiuti come rifiuti pericolosi
- Se necessario, attivare i soccorsi



9 RIFIUTI E TUTELA AMBIENTALE

- I rifiuti chimici sono rifiuti pericolosi
- Non scaricare in fognatura o nell'ambiente
- Utilizzare contenitori dedicati e etichettati
- Seguire le procedure di smaltimento (Registro rifiuti, formulari)
- Affidarsi a ditte autorizzate
- Ridurre la produzione di rifiuti alla fonte
- Proteggere suolo, acqua e aria



10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Conosco le sostanze con cui lavoro
- ☒ Ho letto e compreso le SDS
- ☒ Verifico i pittogrammi e le etichette
- ☒ Utilizzo e conservo correttamente i DPI
- ☒ Rispetto le procedure di stoccaggio
- ☒ Prevenire le esposizioni è una priorità
- ☒ So come comportarmi in caso di sversamento
- ☒ Gestisco correttamente i rifiuti
- ☒ Segnalo subito situazioni di pericolo
- ☒ La sicurezza chimica è una responsabilità di tutti

Sicurezza chimica: una scelta che fa la differenza!



INFORMAZIONE, ETICHETTATURA E STOCCAGGIO CORRETTO RIDUCONO IL RISCHIO CHIMICO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

MOVIMENTAZIONE SICURA DI CARICHI, GRU E CARRELLI ELEVATORI

*Muovere carichi in sicurezza
protegge persone e produzione!*

SOLLEVAMENTO, STABILITÀ, PERCORSI, IMBRACATURE, SEGNALETICA E COORDINAMENTO

1 RISCHI DELLA MOVIMENTAZIONE

- Caduta dei carichi
- Schiacciamento
- Urti con persone e mezzi
- Ribaltamento dei mezzi
- Lesioni muscoloscheletriche
- Danni a impianti e materiali
- Interruzione della produzione



Un carico mal gestito può costare caro!



2 MOVIMENTAZIONE MANUALE DEI CARICHI

- Valutare peso, dimensioni e presa
- Evitare posture scorrette
- Usare la forza delle gambe
- Mantenere la schiena dritta
- Tenere il carico vicino al corpo
- Evitare movimenti bruschi
- Chiedere aiuto o usare ausili



POSTURA SCORRETTA



POSTURA CORRETTA

3 PRINCIPI ERGONOMICI DI BASE

- Ridurre lo sforzo fisico
- Adattare il lavoro alla persona
- Usare ausili e attrezzature
- Organizzare spazi e percorsi
- Evitare torsioni del corpo
- Alternare i compiti
- Formazione e consapevolezza



- ✓ SCHIENA DRITTA
- ✓ CARICO VICINO
- ✓ USA LE GAMBE
- ✓ EVITA LE TORSIONI
- ✓ PIANIFICA IL MOVIMENTO

La postura corretta ti fa lavorare più a lungo!

4 CARRELLI ELEVATORI E VIABILITÀ INTERNA

- Percorsi dedicati e segnalati
- Rispetto dei limiti di velocità
- Precedenza alle persone
- Uso del clacson agli incroci
- Visibilità e specchi parabolici
- Zone di carico/scarico sicure
- Divieto di trasporto persone



Percorsi sicuri, aziende più produttive!

5 STABILITÀ DEL CARRELLO E PORTATA

- Rispettare la portata nominale
- Considerare il baricentro del carico
- Verificare la stabilità su pendenze
- Tenere il carico basso
- Evitare frenate e sterzate brusche
- Usare accessori idonei
- Non sovraccaricare



Carico basso e stabile, maggiore sicurezza!

6 GRU, PARANCHI E ACCESSORI DI SOLLEVAMENTO

- Usare attrezzature certificate
- Verificare lo stato di funi, catene, ganci e paranchi
- Rispettare i limiti di portata
- Controllare i dispositivi di sicurezza
- Non sostare sotto i carichi sospesi
- Utilizzare personale qualificato
- Pianificare le operazioni di sollevamento



7 IMBRACATURA DEL CARICO E SEGNALE GESTUALI

- Scegliere l'imbracatura adatta
- Verificare angoli e simmetria
- Proteggere gli spigoli vivi
- Usare accessori certificati
- Comunicare con segnali gestuali
- Avere un solo addetto ai segnali
- Mantenere il contatto visivo



SEGNALI GESTUALI PRINCIPALI

- ↑ SOLLEVA
- ↓ ABBASSA
- ✋ FERMA

Comunicare per lavorare sicuri!

8 STOCCAGGIO E ACCATASTAMENTO

- Usare scaffalature idonee
- Rispettare i limiti di portata
- Stoccare in modo stabile
- Evitare sporgenze pericolose
- Non sovraccaricare in altezza
- Mantenere i corridoi liberi
- Segnalare aree di stoccaggio



Ordine oggi, sicurezza domani!

9 CONTROLLI PRE-USO E MANUTENZIONE

- Verifica visiva giornaliera
- Controllo di forche, catene, funi e ganci
- Stato di pneumatici e freni
- Funzionamento di luci, clacson e allarmi
- Controllo documentazione e scadenze
- Manutenzione periodica programmata
- Segnalazione immediata di anomalie

Un controllo oggi evita un incidente domani!



VERIFICA PRIMA DELL'USO

- ✓ FORCHE
- ✓ PNEUMATICI
- ✓ FRENI
- ✓ LUCI E ALLARMI
- ✓ DISPOSITIVI SICUREZZA
- ✓ DOCUMENTAZIONE

10 MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Valuta sempre i rischi
- ✓ Usa la tecnica corretta e gli ausili
- ✓ Rispetta portate e limiti
- ✓ Verifica attrezzature e imbracature
- ✓ Comunica con segnali chiari
- ✓ Mantieni percorsi liberi e segnalati
- ✓ Non sostare mai sotto carichi sospesi
- ✓ Esegui controlli e manutenzione
- ✓ Coinvolgi e forma il personale
- ✓ La sicurezza nella movimentazione protegge persone, impianti e produzione

MOVIMENTA CON LA TESTA, LAVORA IN SICUREZZA!



OGNI CARICO MOVIMENTATO CON METODO RIDUCE INFORTUNI, DANNI E FERMATE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ERGONOMIA, FATICA E BENESSERE LAVORATIVO

Benessere ed ergonomia
migliorano sicurezza
e prestazioni!

POSTURE, MOVIMENTI RIPETITIVI, MICROPAUSE, ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO
E PREVENZIONE DEI DISTURBI MUSCOLOSCHIELETRICI

1 CHE COS'È L'ERGONOMIA

- Adatta il lavoro alle persone
- Riduce i rischi per la salute
- Migliora comfort, efficienza e qualità del lavoro
- Considera aspetti fisici, cognitivi e organizzativi
- È parte integrante della prevenzione

Persone al centro
del lavoro!

LAVORO
PIÙ SEMPLICE
PIÙ SICURO
PIÙ SANO

2 FATTORI DI RISCHIO ERGONOMICO

- Posture incongrue e prolungate
- Movimenti ripetitivi
- Sollevamento e movimentazione manuale dei carichi
- Sforzi eccessivi
- Vibrazioni e uso di utensili
- Organizzazione del lavoro (elevata intensità, scadenze)
- Ambiente fisico (illuminazione, rumore, temperatura)



COLLO
SPALLE
SCHIENA
ARTI SUPERIORI
ARTI INFERIORI

Prevenire oggi
per lavorare
domani!

3 POSTURE CORRETTE E SCORRETTE

- Mantieni la schiena in posizione neutra
- Evita torsioni e piegamenti prolungati
- Tieni il carico vicino al corpo
- Alterna le posture
- Usa supporti e ausili

POSTURA CORRETTA



Schiena dritta,
schermo all'altezza
degli occhi

POSTURA SCORRETTA



Schiena curva,
collo in avanti,
postura affaticante

4 MOVIMENTAZIONE E SPINTA/TIRO

- Valuta peso, dimensioni e presa
- Usa la postura corretta
- Piega le ginocchia, mantieni la schiena dritta
- Evita torsioni del busto
- Utilizza carrelli e ausili meccanici
- Organizza il percorso di trasporto
- Lavora in squadra per carichi pesanti



POSTURA
CORRETTA



POSTURA
SCORRETTA

Sollevare bene
ti fa andare lontano!

5 LAVORO RIPETITIVO E MICRO-PAUSE

- I movimenti ripetitivi possono causare disturbi muscoloscheletrici
- Alterna compiti e attività
- Fai micro-pause regolari
- Esegui esercizi di stretching
- Varia la postura
- Organizza il ritmo di lavoro



MICRO-PAUSE
OGNI
20-30 MINUTI

POCHI MINUTI
DI PAUSA,
GRANDI BENEFICI!

6 REGOLAZIONE DELLA POSTAZIONE E ATTREZZATURE

- Adatta l'altezza di sedia, tavolo e schermo
- Mantieni gli strumenti a portata di mano
- Usa sedute ergonomiche e supporti
- Regola illuminazione e contrasto
- Riduci abbagliamenti e riflessi
- Utilizza tastiere, mouse e impugnature ergonomiche



7 AFFATICAMENTO FISICO E MENTALE

- Riconosci i segnali di affaticamento
- Fai pause e recupera energie
- Alterna compiti impegnativi e meno impegnativi
- Mantieni una buona idratazione
- Cura alimentazione e sonno
- Segnala eventuali situazioni critiche



Ascolta il tuo corpo
e la tua mente!

PAUSA + ENERGIA
= MIGLIORI RISULTATI

SEGNALI COMUNI

- Stanchezza
- Calo di attenzione
- Irritabilità
- Dolori muscolari
- Difficoltà di concentrazione
- Riduzione delle prestazioni



8 STRESS LAVORO-CORRELATO E COMUNICAZIONE

- Lo stress può influire su salute, sicurezza e prestazioni
- Organizza il lavoro e gestisci le priorità
- Mantieni un buon clima di squadra
- Comunica con colleghi e superiori
- Chiedi supporto in caso di difficoltà
- Partecipa attivamente al miglioramento dell'ambiente di lavoro



Comunicare
aiuta a prevenire
i problemi!

DIALOGO
ASCOLTO
SUPPORTO
SQUADRA
SOLUZIONI

9 BENEFICI DEL BENESSERE LAVORATIVO

- Meno infortuni e malattie professionali
- Maggiore motivazione e soddisfazione
- Migliore qualità del lavoro
- Più produttività ed efficienza
- Clima aziendale positivo
- Maggiore fidelizzazione del personale
- Un ambiente di lavoro sano e inclusivo

Stare bene
al lavoro fa bene
a tutti!



SALUTE
MOTIVAZIONE
PRODUTTIVITÀ
QUALITÀ
AMBIENTE POSITIVO
PERSONE

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- Organizza il lavoro in modo ergonomico
- Mantieni posture corrette
- Fai micro-pause regolari
- Usa attrezzature e ausili adeguati
- Evita movimenti ripetitivi prolungati
- Gestisci i carichi in sicurezza
- Presta attenzione ai segnali di affaticamento
- Comunica e collabora con il team
- Contribuisci al benessere tuo e dei colleghi
- Un ambiente di lavoro sano migliora la vita di tutti

PICCOLE
AZIONI
OGNI GIORNO
GRANDI
RISULTATI
NEL TEMPO!

Lavorare bene
è vivere meglio!

UN LAVORO PROGETTATO MEGLIO È PIÙ SICURO, PIÙ SANO E PIÙ PRODUTTIVO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

La sicurezza è metodo,
cultura e responsabilità
condivisa!

SINTESI FINALE — NORME TECNICHE E SICUREZZA

CULTURA DELLA PREVENZIONE, RESPONSABILITÀ, PROCEDURE E MIGLIORAMENTO CONTINUO

1 NORME TECNICHE E CONFORMITÀ

- Norme UNI, EN, ISO
- Requisiti di legge
- Marcatura CE e conformità
- Progettazione e impianti sicuri
- Verifiche, controlli e manutenzione
- Rispetto delle procedure

Le regole
sono la base
della sicurezza!



2 VALUTAZIONE DEI RISCHI

- Identificazione dei pericoli
- Analisi e valutazione dei rischi
- Metodi (es. matrice del rischio)
- Misure di prevenzione e protezione
- Priorizzazione delle azioni
- Aggiornamento continuo

PROBABILITÀ	Alta			
	Media			
	Bassa			
		Basso	Medio	Alto
		GRAVITÀ		

Conoscere i rischi
per prevenirli!



3 DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE (DPI)

- Scelta corretta dei DPI
- Uso, manutenzione e sostituzione
- Formazione sull'utilizzo
- Ultima barriera di protezione
- Adatti al rischio e al contesto
- Obbligo per lavoratori e azienda



Proteggi te stesso,
proteggi il tuo futuro!

4 SEGNALETICA DI SICUREZZA

- Segnali di divieto, pericolo, obbligo
- Segnali di salvataggio e emergenza
- Colori e pittogrammi standard
- Posizionamento corretto e visibilità
- Rispetto della segnaletica
- Integrare con altre misure di sicurezza



I segnali
salvano vite!

5 GESTIONE DELLE EMERGENZE

- Piani di emergenza ed evacuazione
- Ruoli e responsabilità
- Procedure chiare e condivise
- Addestramento e prove periodiche
- Gestione di incendi, sversamenti, incidenti e primo soccorso
- Calma, prontezza, collaborazione



Preparati oggi
per affrontare
domani!

6 LOTO ED ENERGIE PERICOLOSE

- Isolamento delle fonti di energia
- Lockout/Tagout (LOTO)
- Controllo di energie meccaniche, elettriche, idrauliche, pneumatiche
- Verifica dell'assenza di energia
- Procedure e permessi di lavoro
- Vita umana prima di tutto



Blocca
le energie,
metti al sicuro
la vita!

7 FORMAZIONE E COMUNICAZIONE

- Formazione iniziale e periodica
- Addestramento pratico
- Comunicazione chiara e tempestiva
- Coinvolgimento di tutto il personale
- Condivisione di esperienze e lezioni
- Cultura della sicurezza



Persone formate
aziende più sicure!

8 NEAR MISS E MIGLIORAMENTO CONTINUO

- Segnalazione di near miss
- Analisi delle cause (es. 5 Why)
- Azioni correttive e preventive
- Condivisione delle lezioni apprese
- Monitoraggio degli indicatori
- Ciclo PDCA per il miglioramento



Dagli errori
nascono
opportunità!

9 SICUREZZA, PRODUTTIVITÀ E SOSTENIBILITÀ

- Luoghi di lavoro sicuri e sani
- Maggiore efficienza e qualità
- Meno infortuni e costi
- Benessere delle persone
- Rispetto per l'ambiente
- Valore per la società

Sicurezza oggi
per un domani
più sostenibile!



PERSONE
PRODUTTIVITÀ
AMBIENTE
FUTURO

10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La sicurezza è un valore, non un obbligo
- ✓ Rispetta le norme e le procedure
- ✓ Valuta sempre i rischi
- ✓ Usa i DPI e segui la segnaletica
- ✓ Preparati alle emergenze
- ✓ Isola le energie e lavora in sicurezza
- ✓ Segnala i near miss e proponi miglioramenti
- ✓ Partecipa alla formazione
- ✓ Collabora e comunica
- ✓ Insieme costruiamo un ambiente di lavoro più sicuro, sano e sostenibile

Oggi più consapevoli,
domani più forti!



PERSONE
IDEE
INNOVAZIONE
SOSTENIBILITÀ
FUTURO



LA SICUREZZA CREA VALORE: PROTEGGE LE PERSONE, RAFFORZA LE AZIENDE E COSTRUISCE IL FUTURO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Ogni buona misura
parte da uno standard
affidabile!

SISTEMA SI, CAMPIONI E TARATURA

UNITÀ, MULTIPLI, CAMPIONI, CERTIFICATI E RIFERIBILITÀ METROLOGICA

1 IL SISTEMA INTERNAZIONALE

- 7 unità di base del SI
- Definite tramite costanti fondamentali della natura
- Base per tutte le altre unità
- Accettazione mondiale
- Garantisce uniformità e confrontabilità



2 UNITÀ DERIVATE UTILI IN INGEGNERIA

- Derivate dalle unità di base
- Ampie applicazioni in meccanica e impiantistica
- Utilizzate in calcoli, verifiche e progettazione
- Fanno parte del SI

Grandezza	Simbolo	Definizione
Forza	N	newton (kg·m/s ²)
Pressione	Pa	pascal (N/m ²)
Energia	J	joule (N·m)
Potenza	W	watt (J/s)
Frequenza	Hz	hertz (1/s)
Velocità di rotazione	rpm	giri al minuto
Temperatura	°C	grado Celsius



Unità giuste
per grandi idee!

3 MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI

- Prefissi standard del SI
- Facilitano la lettura dei valori
- Evitano l'uso di troppi zeri
- Usati in tutta l'ingegneria e nella documentazione tecnica

Prefisso	Simbolo	Valore
G	giga	10 ⁹
M	mega	10 ⁶
k	kilo	10 ³
	(unità base)	10 ⁰
m	milli	10 ⁻³
μ	micro	10 ⁻⁶
n	nano	10 ⁻⁹

Multipli
(valori più grandi)

Sottomultipli
(valori più piccoli)

Il prefisso giusto
rende tutto più semplice!

4 CAMPIONI DI MISURA

- Campioni primari:** massima accuratezza, definiti a livello internazionale
- Campioni secondari:** tarati sui primari, usati nei laboratori
- Campioni di lavoro:** usati in produzione e controllo qualità
- Conservazione in ambienti controllati



Campioni stabili
per un mondo
di misure affidabili!

5 TRACCIABILITÀ METROLOGICA

- Catena ininterrotta di confronti
- Dai campioni internazionali a quelli nazionali
- Fino agli strumenti di lavoro
- Ogni misura è riferibile a uno standard riconosciuto
- Garantisce affidabilità e confrontabilità nel tempo



Una catena di fiducia
dalla scienza all'industria!

6 TARATURA VS REGOLAZIONE

- Taratura:** confronta i valori misurati con uno standard e determina l'errore
- Non modifica lo strumento
- Fornisce un certificato
- Regolazione:** interviene sullo strumento per correggere lo scostamento
- Si effettua dopo la taratura (se necessario)

TARATURA	REGOLAZIONE
✓ Confronta	✓ Corregge
✓ Non modifica	✓ Modifica lo strumento
✓ Stima l'errore	✓ Riporta in tolleranza
✓ Rilascia certificato	✓ Verifica finale necessaria



Prima si misura,
poi si corregge!

7 CERTIFICATO DI TARATURA

- Documento ufficiale
- Rilasciato da laboratori accreditati
- Contiene informazioni essenziali:

☒ Identificazione dello strumento (marca, modello, matricola)

☒ Risultati di misura e scostamenti

☒ Incertezza di misura

☒ Data di taratura

☒ Riferibilità metrologica (agli standard nazionali/internazionali)

☒ Condizioni ambientali

☒ Firma del responsabile

Un certificato
oggi,
più valore
domani!



8 INTERVALLI DI TARATURA

- Non esiste un intervallo unico
- Dipende da diversi fattori:



- Periodicità consigliata dal costruttore
- Criticità d'uso (efficienza richiesta)
- Ambiente di utilizzo (temperatura, umidità, polvere)
- Storicità e stabilità dello strumento
- Requisiti normativi e del sistema qualità

Meglio prevenire
che misurare
dubbi!

9 CONSERVAZIONE DEGLI STRUMENTI

- Pulizia regolare dopo l'uso
- Uso di custodie e contenitori dedicati
- Protezione da urti e cadute
- Evitare corrosione e agenti chimici
- Conservazione in ambienti idonei (temperatura e umidità controllate)
- Controlli visivi periodici

Strumenti curati
durano di più
e misurano meglio!



10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Usa sempre unità SI
- ✓ Conosci i prefissi e le unità derivate
- ✓ Lavora con strumenti tarati
- ✓ Verifica la riferibilità metrologica
- ✓ Controlla la validità dei certificati
- ✓ Pianifica gli intervalli di taratura
- ✓ Conserva correttamente gli strumenti
- ✓ Registra le misure in modo chiaro
- ✓ Segui procedure e norme aziendali
- ✓ La qualità della misura è la base di ogni buon progetto



Misure affidabili
per soluzioni migliori!

STANDARD, TARATURA E RIFERIBILITÀ RENDONO LE MISURE CREDIBILI E CONFRONTABILI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CALIBRO, MICROMETRO E MISURE LINEARI

*Lo strumento giusto
trasforma i millimetri
in qualità!*

STRUMENTI DI OFFICINA PER MISURE ESTERNE, INTERNE, DI PROFONDITÀ E DI SPESSORE

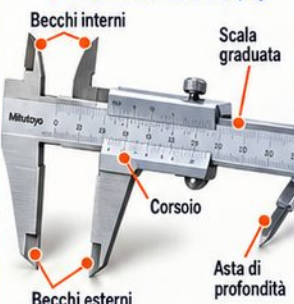
1 RIGHELLO E MISURE DI BASE

- Unità di misura: millimetro (mm)
- Righe di precisione in acciaio
- Lettura diretta e semplice
- Adatto a misure rapide e di riferimento
- Classe di precisione (es. classe I)



2 PARTI DEL CALIBRO

- Becchi per misure esterne
- Becchi per misure interne
- Asta di profondità
- Scala graduata
- Corsoio con nonio o display



3 COME SI USA IL CALIBRO

- Misura esterna (diametri, spessori)
- Misura interna (fori, cave)
- Misura di profondità
- Leggi la scala con attenzione
- Mantieni lo strumento pulito



4 CALIBRO ANALOGICO, A NONIO E DIGITALE

- Analogico: semplice e robusto
- A nonio: maggiore precisione
- Digitale: lettura rapida e senza errori
- Scegli in base all'uso e alla precisione richiesta



5 MICROMETRO: PARTI PRINCIPALI

- Incidine (fissa)
- Vite micrometrica (mobile)
- Tamburo graduato
- Nottolino a frizione
- Arco e corpo



6 COME SI LEGGE IL MICROMETRO

- Lettura sulla scala del manicotto
- Lettura sul tamburo (0,01 mm)
- Somma delle due letture
- Esempio: 6,37 mm
- Controlla sempre lo zero



7 BUONE PRATICHE DI MISURA

- Verifica lo zero prima dell'uso
- Usa la corretta pressione
- Pulisci le superfici di misura
- Mantieni l'allineamento
- Effettua più misure e controlla la ripetibilità



8 ERRORI COMUNI

- Errore di parallasse
- Serraggio eccessivo
- Superfici sporche o danneggiate
- Strumento non azzerato
- Allineamento scorretto
- Lettura frettolosa



9 APPLICAZIONI TIPICHE

- Misura di alberi e perni
- Spessori di piastre e lamiere
- Diametri di tubi
- Diametri interni di fori
- Profondità di cave e sedi



10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Scegli lo strumento adatto alla misura
- ✓ Verifica sempre lo zero
- ✓ Pulisci lo strumento e il pezzo
- ✓ Usa la corretta forza di misura
- ✓ Leggi con attenzione la scala o il display
- ✓ Esegui più misure e controlla la ripetibilità
- ✓ Evita errori comuni (parallasse, sporco, serraggio)
- ✓ Registra e documenta le misure
- ✓ Rispetta le tolleranze del disegno
- ✓ La precisione crea qualità!



MISURARE CON CALIBRO E MICROMETRO RICHIEDE METODO, PULIZIA E SENSIBILITÀ.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

La funzionalità
nasce da tolleranze
scelte con criterio!

TOLLERANZE DIMENSIONALI E ACCOPPIAMENTI

QUOTE NOMINALI, LIMITI, SCOSTAMENTI, GIOCHI E INTERFERENZE

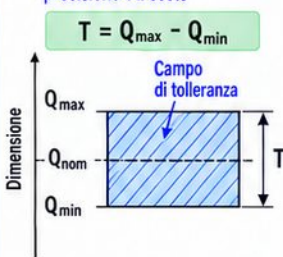
1 QUOTA NOMINALE, MASSIMA E MINIMA

- La quota nominale è il valore teorico di riferimento
- La quota massima è il limite superiore ammesso
- La quota minima è il limite inferiore ammesso
- Le quote reali devono essere comprese tra i due limiti



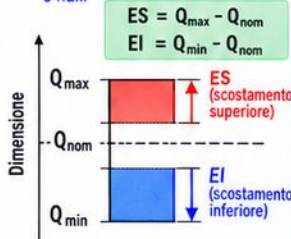
2 TOLLERANZA E CAMPO DI TOLLERANZA

- La tolleranza (T) è la differenza tra quota massima e minima
- Il campo di tolleranza è l'intervallo dei valori ammessi
- Indica la precisione della lavorazione
- Più è piccolo, maggiore è la precisione e il costo



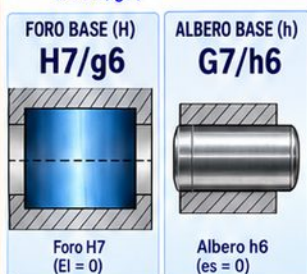
3 SCOSTAMENTO SUPERIORE E INFERIORE

- Lo scostamento superiore (ES) è la differenza tra quota massima e nominale
- Lo scostamento inferiore (EI) è la differenza tra quota minima e nominale
- Possono essere positivi, negativi o nulli



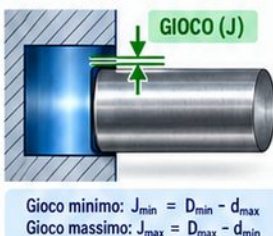
4 SISTEMA FORO BASE E ALBERO BASE

- Nel sistema foro base il foro ha scostamento inferiore nullo (H)
- Nel sistema albero base l'albero ha scostamento superiore nullo (h)
- Gli accoppiamenti sono indicati con una lettera e un grado IT (es. H7/g6)



5 ACCOPPIAMENTO CON GIOCO

- Il gioco è sempre positivo
- Il foro è sempre maggiore dell'albero
- Permette montaggio facile, libertà di movimento
- Usato per parti in movimento



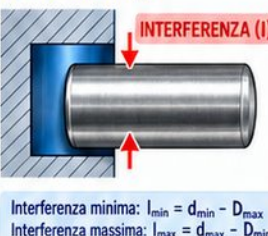
6 ACCOPPIAMENTO DI TRANSIZIONE

- Può risultare con piccolo gioco o piccola interferenza
- Usato quando serve precisione di centraggio
- Adatto per posizionamenti accurati
- Esempio: H7/k6



7 ACCOPPIAMENTO CON INTERFERENZA

- L'interferenza è sempre negativa (il foro è minore dell'albero)
- Richiede una forza di montaggio
- Usato per unioni permanenti e trasmissione di coppia
- Esempio: H7/p6



8 CATENA DI QUOTE

- Più quote in serie influenzano la quota finale
- Gli errori si sommano
- È importante analizzare le tolleranze nella catena dimensionale
- Si possono usare metodi statistici o del massimo/minimo



9 MISURA E VERIFICA DEGLI ACCOPPIAMENTI

- Si usano strumenti di misura e calibri limite
- I calibri GO/NO GO verificano rapidamente la conformità
- Il micrometro permette misure precise
- È importante la corretta taratura e l'ambiente di misura



Misura, verifica,
assicura la qualità!

10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Conosci la quota nominale e i suoi limiti
- ✓ Calcola tolleranza, ES e EI
- ✓ Scegli il sistema (foro base o albero base)
- ✓ Definisci il tipo di accoppiamento (gioco, transizione, interferenza)
- ✓ Verifica con strumenti e calibri
- ✓ Considera la catena di quote nei gruppi meccanici
- ✓ Rispetta le norme (UNI, ISO)
- ✓ Controlla la qualità e la tracciabilità
- ✓ Usa tolleranze adeguate alla funzione
- ✓ Una scelta corretta riduce costi, problemi e migliora la affidabilità

Piccoli dettagli
grandi risultati!



TOLLERANZE E ACCOPPIAMENTI CORRETTI GARANTISCONO MONTAGGIO, FUNZIONE E AFFIDABILITÀ.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Non basta la quota giusta:
conta anche come è fatta
la superficie!

TOLLERANZE GEOMETRICHE E RUGOSITÀ

FORMA, ORIENTAMENTO, POSIZIONE, BATTIMENTO E FINITURA SUPERFICIALE

1 PERCHÉ SERVONO LE TOLLERANZE GEOMETRICHE

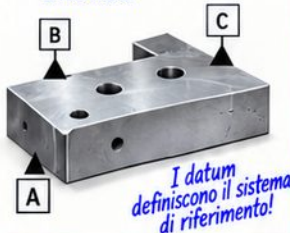
- La quota dimensionale non è sufficiente
- Controllano forma, orientamento, posizione e battimento
- Garantiscono funzionalità, intercambiabilità e qualità
- Riducono errori di montaggio
- Indispensabili per componenti che lavorano insieme
- Migliorano affidabilità e durata

Stesse quote,
prestazioni diverse!



2 ELEMENTI DI RIFERIMENTO (DATUM)

- Superfici, assi o piani di riferimento
- Servono per misurare le tolleranze geometriche
- Indicati con lettere maiuscole (A, B, C...)
- Devono essere stabili, ripetibili e funzionali
- Si stabilisce una sequenza di riferimenti



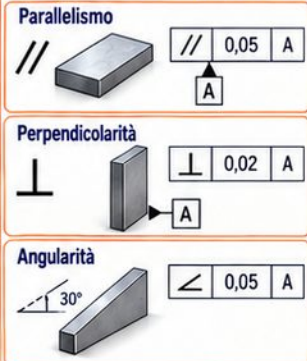
3 FORMA

- Controlla la geometria intrinseca dell'elemento, senza riferimenti
- Principali tolleranze di forma:



4 ORIENTAMENTO

- Controlla l'orientamento di un elemento rispetto ai datum
- Principali tolleranze di orientamento:



5 POSIZIONE

- Controlla la posizione di un elemento rispetto ai datum
- Tolleranza di posizione vera
- Concentricità e coassialità (per elementi assiali)
- Fondamentale per l'assemblaggio



6 BATTIMENTO

- Controlla la variazione di un elemento durante la rotazione
- Battimento radiale: variazione del raggio
- Battimento assiale: variazione della faccia
- Usato per superfici cilindriche e piani frontali
- Fondamentale per componenti in rotazione (alberi, flange, dischi)



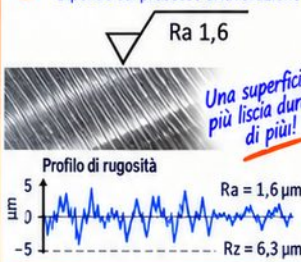
7 SIMBOLI GDT NEI DISEGNI

- Le tolleranze geometriche si indicano con un riquadro di controllo
- Contiene: simbolo, valore, riferimenti
- Regole secondo ISO 1101
- Vanno interpretate correttamente nel disegno tecnico

Simbolo	Significato
	Rettilineità
	Planarità
	Circolarità
	Cilindricità
	Parallelismo
	Perpendicolarità
	Angularità
	Posizione vera
	Concentricità
	Battimento radiale
	Battimento assiale

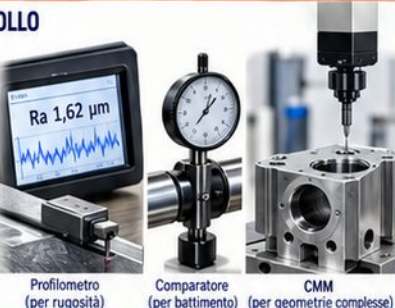
8 RUGOSITÀ SUPERFICIALE

- Misura le microirregolarità della superficie
- Parametri principali: Ra, Rz, Rq
- Influenza attrito, usura, tenuta e aspetto
- Indicata con simbolo e valore nel disegno
- Dipende dal processo di lavorazione



9 STRUMENTI DI CONTROLLO

- Profilometro: misura la rugosità
- Comparatore: verifica battimento e planarità
- Macchina di misura CMM: controllo geometrico completo
- Calibri, micrometri e tamponi per controlli tradizionali
- Scelta dello strumento in base a precisione e requisito



10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Le tolleranze geometriche completano le quote dimensionali
- ☒ Definisci correttamente i datum
- ☒ Controlla forma, orientamento, posizione e battimento
- ☒ Usa i simboli GDT secondo ISO 1101
- ☒ Specifica e verifica la rugosità superficiale
- ☒ Scegli lo strumento di controllo adeguato
- ☒ Rispettare le tolleranze migliora la funzionalità del pezzo
- ☒ Superfici corrette riducono attrito, usura e guasti
- ☒ Documenta i controlli e mantieni la tracciabilità
- ☒ Qualità geometrica e finitura = prodotti migliori e più duraturi



GEOMETRIA E FINITURA DETERMINANO ACCOPPIAMENTI, SCORRIMENTO, TENUTA E DURATA.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

COMPARATORI, ALTIMETRI E BLOCCHETTI CAMPIONE

Confrontare bene
significa controllare
meglio!

MISURA COMPARATIVA, AZZERAMENTO, PIANO DI RISCONTRO E CONTROLLI DI PRECISIONE

1 MISURA ASSOLUTA E COMPARATIVA

- Misura assoluta: valore riferito a uno zero di riferimento (es. calibro, micrometro)
- Misura comparativa: confronto con un riferimento noto (es. comparatore)
- Maggiore sensibilità e precisione nel controllo
- Ideale per verifiche rapide in produzione

Stesso pezzo,
due modi
di misurare!



MISURA ASSOLUTA MISURA COMPARATIVA

2 COMPARATORE A QUADRANTE

- Parti principali: quadrante, lancetta, stelo, puntalino, meccanismo a cremagliera
- Principio di funzionamento: trasforma lo spostamento lineare dello stelo in movimento rotatorio della lancetta
- Alta sensibilità (es. 0,01 mm o 0,001 mm)
- Robusto e affidabile



3 COMPARATORE DIGITALE

- Letture dirette sul display
- Risoluzione tipica 0,01 mm o 0,001 mm
- Funzioni: azzeramento, mm/inch, mantenimento valore (HOLD), preset
- Minore errore di lettura
- Ideale per controlli ripetitivi
- Collegabile a sistemi di acquisizione dati

Precisione
digitale,
controllo
più semplice!



4 ALTIMETRO E TRUSCHINO

- Usati su piano di riscontro in granito
- Per misure di altezze, tracciature e controlli dimensionali
- Altimetro: lettura diretta dell'altezza
- Truschino: tracciatura di linee di riferimento
- Struttura stabile e precisa
- Spostamento verticale controllato

Dal controllo
alla tracciatura,
sempre sul
piano di riscontro!



Piano di riscontro
in granito

5 BLOCCHETTI CAMPIONE

- Blocchetti di acciaio temprato e lappato con alta precisione
- Dimensioni nominali note (es. classe 0, 1, 2)
- Servono per taratura, azzeramento e verifica degli strumenti
- Possano essere combinati per ottenere diverse quote
- Devono essere puliti e maneggiati con cura (pinzette, guanti)



6 AZZERAMENTO E MESSA A PUNTO

- Pulire le superfici di contatto
- Posizionare lo strumento sul riferimento
- Azzerare il comparatore
- Verificare il corretto contatto del puntalino
- Controllare l'escursione utile
- Effettuare una prova di misura



7 CONTROLLI SU PLANARITÀ, BATTIMENTO E PARALLELISMO

- Planarità: verifica la costanza di un piano
- Battimento: controlla la rotazione di un pezzo (albero, flangia, ecc.)
- Parallelismo: confronto tra superfici o assi
- Utilizzo di comparatore con supporti e staffe magnetiche
- Interpretazione della lettura e tolleranze

Controllare
oggi per garantire
domani!



8 ALESAMETRI E CONTROLLI INTERNI

- Strumenti per misurare diametri interni
- Comparazione con anello campione o micrometro
- Alta sensibilità (0,01 mm o 0,001 mm)
- Utili per controlli di cilindricità e ovalizzazione
- Richiedono corretta tecnica di misura e oscillazione



9 ERRORI DA EVITARE

- Sporco sulle superfici di contatto
- Prekarico errato del puntalino
- Supporti instabili o non idonei
- Vibrazioni e urti durante la misura
- Letture non perpendicolari
- Usura o danneggiamento del puntalino
- Mancata taratura periodica

Piccoli errori
possono dare
grandi differenze!



Sporco

Supporto instabile

Prekarico errato

10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Strumento pulito e in buone condizioni
- ☒ Superfici di contatto pulite
- ☒ Azzeramento corretto
- ☒ Riferimento idoneo (blocchetti, piano, ecc.)
- ☒ Supporto stabile e sicuro
- ☒ Tecnica di misura corretta
- ☒ Lettura ripetuta e verificata
- ☒ Confronto con tolleranze di disegno
- ☒ Registrazione dei risultati
- ☒ Manutenzione periodica dello strumento

Misura,
controlla,
assicura
la qualità!

LA QUALITÀ
NON È UN CASO,
MA IL RISULTATO
DI BUONE MISURE.

GLI STRUMENTI COMPARATIVI PORTANO LA MISURA DI PRECISIONE DENTRO IL CONTROLLO QUOTIDIANO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CONTROLLO QUALITÀ, SPC E CARTE DI CONTROLLO

Misurare il processo
significa migliorare
il processo!

CAMPIONAMENTO, VARIABILITÀ, INDICI DI CAPACITÀ E MIGLIORAMENTO CONTINUO

1 QUALITÀ DI PRODOTTO E DI PROCESSO

- Conformità ai requisiti
- Prestazioni e affidabilità
- Qualità percepita dal cliente
- Processo stabile e ripetibile
- Prevenzione dei difetti
- Soddisfazione del cliente



2 CAMPIONAMENTO E PIANI DI CONTROLLO

- Campionamento casuale
- Dimensione del campione (n)
- Livello di ispezione (es. AQL)
- Piani di campionamento (es. ISO 2859-1)
- Controlli in accettazione, in processo e finali
- Decisione: accetta o respingi



3 VARIABILITÀ NATURALE E SPECIALE

- Variabilità naturale (cause comuni)
- Variabilità speciale (cause assegnabili)
- Processo stabile vs instabile
- Identificazione delle cause
- Riduzione della variabilità
- Monitoraggio continuo



4 MEDIA, CAMPO E DEVIATIONE

- Media aritmetica ($\bar{X}$)
- Campo di variazione (R)
- Deviazione standard (s)
- Misure di dispersione
- Descrizione della variabilità
- Base per le carte di controllo
- Confronto con le specifiche

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

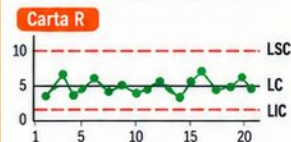
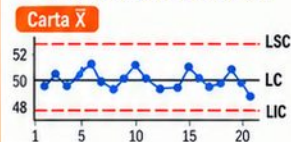
$$R = X_{max} - X_{min}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$



5 CARTE $\bar{X}$ -R

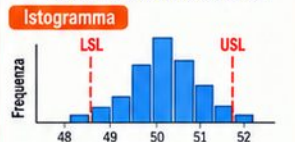
- Carta delle medie ($\bar{X}$)
- Carta del campo (R)
- Limiti di controllo (LSC, LIC)
- Monitoraggio della stabilità
- Rilevazione di pattern anomali
- Azioni solo per cause speciali



Processo sotto controllo,
qualità costante!

6 ISTOGRAMMI E PARETO

- Istogramma: forma e distribuzione
- Pareto: priorità dei problemi
- Individuazione delle cause principali
- Regola 80/20
- Supporto alle decisioni
- Comunicazione visiva dei dati



Pochi problemi
causano la maggior parte dei difetti!

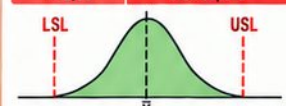
7 CAPACITÀ DI PROCESSO

- Indici di capacità Cp e Cpk
- Confronto con le specifiche (LSL e USL)
- Processo capace e centrato
- Valutazione della conformità
- Azioni di miglioramento se $Cpk < 1,33$

$$Cp = \frac{(USL - LSL)}{6\sigma}$$

$$Cpk = \min \left(\frac{(\bar{X} - LSL)}{3\sigma}, \frac{(USL - \bar{X})}{3\sigma} \right)$$

Valore Cpk	Giudizio
$\geq 1,33$	Processo capace
$1,00 - 1,33$	Al limite
$< 1,00$	Non capace



Processo capace = meno scarti!

8 REAZIONE AI FUORI CONTROLLO

- Rilevazione rapida dell'anomalia
- Stop e contenimento
- Analisi delle cause (es. 5 Perché)
- Azioni correttive e preventive
- Verifica dell'efficacia
- Ripristino della stabilità



9 DAL DATO AL MIGLIORAMENTO

- Analisi dei dati e delle tendenze
- Individuazione delle cause radice
- Azioni correttive e preventive
- Standardizzazione delle soluzioni
- Monitoraggio dei risultati
- Ciclo di miglioramento continuo



STANDARDIZZAZIONE
FORMAZIONE
MONITORAGGIO
NUOVI OBIETTIVI

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ✓ Ho definito cosa misurare e con quale metodo
- ✓ Uso campioni rappresentativi
- ✓ Monitoro la stabilità del processo con le carte di controllo
- ✓ Analizzo istogrammi e Pareto
- ✓ Calcolo e valuto Cp e Cpk
- ✓ Reagisco ai fuori controllo con metodo
- ✓ Attuo azioni correttive e preventive
- ✓ Standardizzo le soluzioni efficaci
- ✓ Monitoro i risultati nel tempo
- ✓ Contribuisco al miglioramento continuo

Qualità oggi
per un domani
più competitivo!

- ✓ MENO SCARTI
- ✓ MENO COSTI
- ✓ MAGGIORE AFFIDABILITÀ
- ✓ CLIENTI PIÙ SODDISFATTI
- ✓ UN FUTURO PIÙ SOLIDO

SPC E CONTROLLO QUALITÀ RIDUCONO SCARTI, COSTI E VARIABILITÀ.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ERRORI DI MISURA, ACCURATEZZA E INCERTEZZA

Una misura senza incertezza è solo un'illusione!

ERRORI SISTEMATICI E CASUALI, PRECISIONE, SCARTI E AFFIDABILITÀ DEL RISULTATO

1 PERCHÉ ESISTONO GLI ERRORI

- Nessuna misura è perfetta
- Limiti degli strumenti
- Influenza dell'ambiente
- Metodo di misura
- Operatore
- Variabilità del processo

Molte cause, lo stesso effetto: uno scarto sul risultato!



2 ERRORI SISTEMATICI Cause ed esempi

- Valore costante o prevedibile
- Spostano tutti i risultati nella stessa direzione
- Cause principali:
 - Strumento non tarato
 - Zero non corretto
 - Dilatazione termica
 - Metodo non corretto
 - Usura
 - Influenze ambientali

Producono un "bias" nel risultato!

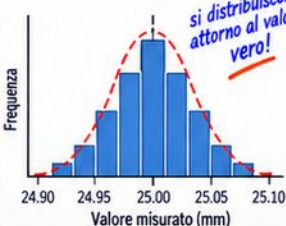


Tutti i risultati sono spostati dalla verità!

3 ERRORI CASUALI Dispersione dei risultati

- Variazioni imprevedibili e casuali
- Dovuti a molte piccole cause
- Producono una dispersione dei risultati attorno al valore vero
- Si riducono aumentando il numero di misure

I risultati si distribuiscono attorno al valore vero!



4 ERRORI GROSSOLANI Letture sbagliate, uso scorretto

- Dovuti a distrazione o inesperienza
- Lettura errata dello strumento
- Uso scorretto dello strumento
- Errore di trascrizione
- Condizioni di misura non idonee
- Pezzo non posizionato correttamente



Attenzione e metodo evitano errori evitabili!

5 ACCURATEZZA VS PRECISIONE

- Accuratezza: vicinanza al valore vero
- Precisione: ripetibilità dei risultati
- Si può essere precisi ma non accurati (e viceversa)



Precisione è ripetibilità, accuratezza è verità!

6 SCARTO, DEVIAZIONE E MEDIA

- Lo scarto è la differenza tra una misura e la media
- La deviazione standard indica la dispersione
- La media è il valore più probabile

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Uno sguardo ai numeri rivela la qualità della misura!

Misura n.	Valore (mm)	Scarto (mm)
1	24.98	-0.03
2	25.02	+0.01
3	24.99	-0.02
4	25.01	0.00
5	25.00	-0.01
Media	25.00	
Deviazione std.	0.016	

7 INCERTEZZA DI MISURA

- Parametro che esprime l'intervallo di valori entro cui si trova il valore vero
- Dipende da errori sistematici e casuali
- Si indica con la notazione:

Risultato = (25.00 ± 0.03) mm

Significa che il valore vero è probabilmente compreso tra:

24.97 mm e 25.03 mm

L'incertezza rende il risultato onesto e affidabile!



8 RIDUZIONE DEGLI ERRORI

- Taratura periodica degli strumenti
- Uso corretto e manutenzione
- Controllo delle condizioni ambientali (temperatura, vibrazioni, pulizia)
- Procedure di misura standardizzate
- Più misure e analisi statistica
- Addestramento degli operatori
- Strumenti adeguati alla tolleranza richiesta



Strumenti tarati, persone competenti, risultati affidabili!

9 ESEMPIO PRATICO

Misurazione di un albero tornito

- Si effettuano più misure sullo stesso pezzo
- Si calcolano media, scarti e incertezza
- Si verifica la conformità alla tolleranza
- Si valuta l'affidabilità del risultato



Misura n.	Valore (mm)
1	24.98
2	24.99
3	25.01
4	25.00
5	25.02
Media $\bar{x}$	25.00
Deviazione std.	0.016
Incetezza (U)	± 0.03
Risultato finale	(25.00 ± 0.03) mm

Misurare più volte per un risultato affidabile!



CONFORME ALLA TOLLERANZA

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Conosco le principali fonti di errore
- ☒ So distinguere errori sistematici, casuali e grossolani
- ☒ Valuto accuratezza e precisione dei risultati
- ☒ So calcolare media, scarti e deviazione standard
- ☒ Comprendo il significato dell'incertezza di misura
- ☒ Utilizzo strumenti tarati e adatti allo scopo
- ☒ Controllo le condizioni ambientali
- ☒ Seguo procedure corrette e documentate
- ☒ Ripeto le misure e analizzo i dati
- ☒ Mi fido dei risultati solo se so la loro incertezza



Misure consapevoli decisioni migliori!

CAPIRE ERRORI E INCERTEZZA SIGNIFICA FIDARSI DELLA MISURA GIUSTA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CMM, PROFILOMETRI E CONTROLLO AVANZATO

La misura avanzata
rende visibile anche ciò
che l'occhio non vede!

MISURA TRIDIMENSIONALE, SCANSIONE, REPORT DIGITALI E VERIFICHE DI PRECISIONE

1 CHE COS'È UNA CMM

- Macchina di misura a coordinate (CMM)
- Misura dimensioni, forme e posizioni in 3D
- Alta precisione e ripetibilità
- Usata per controllo qualità, reverse engineering e validazione di pezzi complessi



2 COMPONENTI PRINCIPALI

- Struttura in granito (ad alta stabilità)
- Assi X, Y, Z (guide, motori, encoder)
- Tastatore (meccanico, ottico, laser)
- Software di misura e analisi



3 SONDE A CONTATTO E OTTICHE

SONDE A CONTATTO

- Tastatore meccanico
- Alta precisione
- Adatte a forme complesse
- Più lente

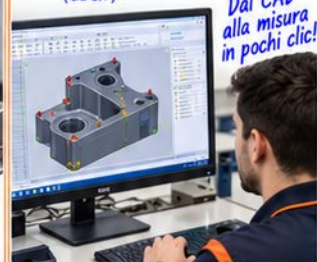
SONDE OTTICHE / LASER

- Scansione senza contatto
- Veloci
- Ideali per superfici delicate
- Acquisizione di nuvole di punti



4 PROGRAMMAZIONE DEL CONTROLLO

- Definizione dei punti di misura
- Traiettorie di scansione
- Uso del modello CAD
- Strategie automatiche
- Simulazione e ottimizzazione
- Librerie di caratteristiche (GD&T)



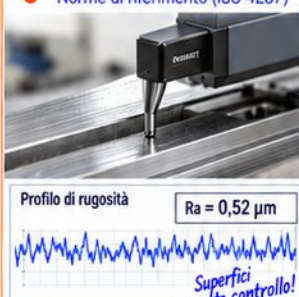
5 REPORT DI MISURA

- Quote nominali e misurate
- Scostamenti e tolleranze
- Mappe colore delle deviazioni
- Grafici e statistiche
- Esportazione in PDF e formati digitali (Q-DAS, Excel, ecc.)



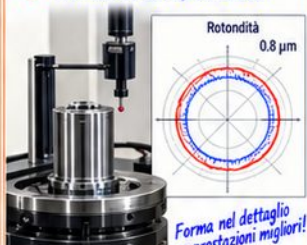
6 PROFILOMETRI E RUGOSITÀ

- Misura dei profili superficiali
- Parametri: Ra, Rz, Rt, Rq, ecc.
- Valutazione della qualità delle superfici
- Portatili o da laboratorio
- Norme di riferimento (ISO 4287)



7 ROTONDITÀ E FORMA

- Strumenti dedicati (rotonditometri, form tester)
- Misura di rotondità, cilindricità, planarità e parallelismo
- Analisi di forma e posizione
- Ideali per alberi, boccole, cuscinetti e componenti di rotazione
- Norme ISO 1101, ISO 12181



8 VANTAGGI E LIMITI

VANTAGGI

- Elevata precisione
- Misura di geometrie complesse
- Automazione e ripetibilità
- Documentazione digitale
- Integrazione con la produzione

LIMITI

- Costo iniziale elevato
- Tempi di misura più lunghi
- Richiede ambiente controllato
- Necessità di personale qualificato
- Sensibile a temperatura e vibrazioni

Grande potenziale, se usata nel modo giusto!

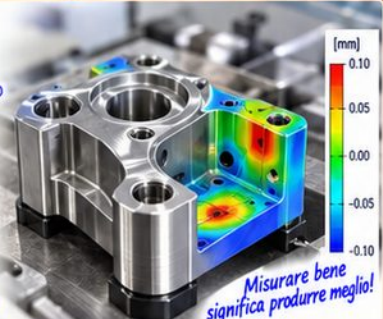
9 DIGITALIZZAZIONE E QUALITÀ

- Tracciabilità e archiviazione dati
- Integrazione con sistemi MES/ERP
- Industria 4.0 e IoT
- Monitoraggio delle tendenze
- Analisi statistica (SPC)
- Gemello digitale del pezzo



10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La CMM misura in 3D con alta precisione
- ✓ Sceglio la tecnologia di misura più adatta al pezzo
- ✓ Programmo il controllo partendo dal CAD
- ✓ Analizzo i risultati con report chiari e completi
- ✓ Controllo anche rugosità, rotondità e forma
- ✓ Garantisco la tracciabilità dei dati
- ✓ Integro la misura nei processi di qualità
- ✓ Rispetto le norme tecniche di riferimento
- ✓ Investo nella digitalizzazione
- ✓ Una misura corretta previene errori e riduce i costi



IL CONTROLLO AVANZATO TRASFORMA LA MISURA IN DATI UTILI PER PROGETTO, PRODUZIONE E QUALITÀ.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Ogni buona misura
parte da uno standard
affidabile!

SISTEMA SI, CAMPIONI E TARATURA

UNITÀ, MULTIPLI, CAMPIONI, CERTIFICATI E RIFERIBILITÀ METROLOGICA

1 IL SISTEMA INTERNAZIONALE

- 7 unità di base del SI
- Definite tramite costanti fondamentali della natura
- Base per tutte le altre unità
- Accettazione mondiale
- Garantisce uniformità e confrontabilità



2 UNITÀ DERIVATE UTILI IN INGEGNERIA

- Derivate dalle unità di base
- Ampie applicazioni in meccanica e impiantistica
- Utilizzate in calcoli, verifiche e progettazione
- Fanno parte del SI

Grandezza	Simbolo	Definizione
Forza	N	newton (kg·m/s ²)
Pressione	Pa	pascal (N/m ²)
Energia	J	joule (N·m)
Potenza	W	watt (J/s)
Frequenza	Hz	hertz (1/s)
Velocità di rotazione	rpm	giri al minuto
Temperatura	°C	grado Celsius



Unità giuste
per grandi idee!

3 MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI

- Prefissi standard del SI
- Facilitano la lettura dei valori
- Evitano l'uso di troppi zeri
- Usati in tutta l'ingegneria e nella documentazione tecnica

Prefisso	Simbolo	Valore
G	giga	10 ⁹
M	mega	10 ⁶
k	kilo	10 ³
	(unità base)	10 ⁰
m	milli	10 ⁻³
μ	micro	10 ⁻⁶
n	nano	10 ⁻⁹

Multipli
(valori più grandi)

Sottomultipli
(valori più piccoli)

Il prefisso giusto
rende tutto più semplice!

4 CAMPIONI DI MISURA

- **Campioni primari:** massima accuratezza, definiti a livello internazionale
- **Campioni secondari:** tarati sui primari, usati nei laboratori
- **Campioni di lavoro:** usati in produzione e controllo qualità
- Conservazione in ambienti controllati



Campioni stabili
per un mondo
di misure affidabili!

5 TRACCIABILITÀ METROLOGICA

- Catena ininterrotta di confronti
- Dai campioni internazionali a quelli nazionali
- Fino agli strumenti di lavoro
- Ogni misura è riferibile a uno standard riconosciuto
- Garantisce affidabilità e confrontabilità nel tempo



Una catena di fiducia
dalla scienza all'industria!

6 TARATURA VS REGOLAZIONE

- **Taratura:** confronta i valori misurati con uno standard e determina l'errore
- Non modifica lo strumento
- Fornisce un certificato
- **Regolazione:** interviene sullo strumento per correggere lo scostamento
- Si effettua dopo la taratura (se necessario)

TARATURA	REGOLAZIONE
✓ Confronta	✓ Corregge
✓ Non modifica	✓ Modifica lo strumento
✓ Stima l'errore	✓ Riporta in tolleranza
✓ Rilascia certificato	✓ Verifica finale necessaria



Prima si misura,
poi si corregge!

7 CERTIFICATO DI TARATURA

- Documento ufficiale
- Rilasciato da laboratori accreditati
- Contiene informazioni essenziali:

- ✓ Identificazione dello strumento (marca, modello, matricola)
- ✓ Risultati di misura e scostamenti
- ✓ Incertezza di misura
- ✓ Data di taratura
- ✓ Riferibilità metrologica (agli standard nazionali/internazionali)
- ✓ Condizioni ambientali
- ✓ Firma del responsabile



Un certificato
oggi,
più valore
domani!

8 INTERVALLI DI TARATURA

- Non esiste un intervallo unico
- Dipende da diversi fattori:



Periodicità consigliata
dal costruttore

Criticità d'uso
(efficienza richiesta)

Ambiente di utilizzo
(temperatura, umidità, polvere)

Storicità e stabilità
dello strumento

Requisiti normativi
e del sistema qualità

Meglio
prevenire
che misurare
dubbi!

9 CONSERVAZIONE DEGLI STRUMENTI

- Pulizia regolare dopo l'uso
- Uso di custodie e contenitori dedicati
- Protezione da urti e cadute
- Evitare corrosione e agenti chimici
- Conservazione in ambienti idonei (temperatura e umidità controllate)
- Controlli visivi periodici

Strumenti curati
durano di più
e misurano meglio!



10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ Usa sempre unità SI
- ✓ Conosci i prefissi e le unità derivate
- ✓ Lavora con strumenti tarati
- ✓ Verifica la riferibilità metrologica
- ✓ Controlla la validità dei certificati
- ✓ Pianifica gli intervalli di taratura
- ✓ Conserva correttamente gli strumenti
- ✓ Registra le misure in modo chiaro
- ✓ Segui procedure e norme aziendali
- ✓ La qualità della misura è la base di ogni buon progetto

Misure affidabili
per soluzioni migliori!



STANDARD, TARATURA E RIFERIBILITÀ RENDONO LE MISURE CREDIBILI E CONFRONTABILI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SINTESI FINALE – METROLOGIA E QUALITÀ

La qualità si costruisce
con misure affidabili
e decisioni corrette!

MISURARE, VERIFICARE, TOLLERARE E MIGLIORARE PER PRODURRE MEGLIO

1 FONDAMENTI DELLA MISURA

- Cos'è una misura e a cosa serve
- Grandezze fisiche e unità di misura
- Sistema Internazionale (SI)
- Tracciabilità e riferimenti
- Catena di misura
- Principi di accuratezza e precisione



2 SI, CAMPIONI E TARATURA

- Unità di misura del SI
- Campioni nazionali e internazionali
- Taratura di strumenti
- Certificati di taratura
- Intervalli di taratura
- Tracciabilità metrologica



3 ERRORI E INCERTEZZA

- Tipi di errore (sistematici, casuali, grossolani)
- Analisi dell'incertezza di misura
- Fonti di incertezza
- Valutazione e propagazione
- Ripetibilità e riproducibilità
- Come ridurre gli errori



4 STRUMENTI LINEARI

- Calibro a corsoio
- Micrometro esterno e interno
- Alesametri e profondimetri
- Campo di misura e risoluzione
- Corretta lettura e uso
- Manutenzione e verifica



5 STRUMENTI COMPARATIVI

- Comparatori a quadrante
- Comparatori digitali
- Alesametri a confronto
- Banchi di misura e riscontri
- Controlli di planarità e concentricità
- Applicazioni pratiche



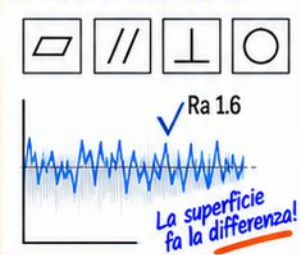
6 TOLLERANZE DIMENSIONALI

- Quote nominali, tolleranze e scostamenti
- Sistemi di tolleranza (foro/albero)
- Accoppiamenti e giochi
- Tolleranze geometriche (GD&T)
- Lettura dei simboli sul disegno
- Verifica di conformità



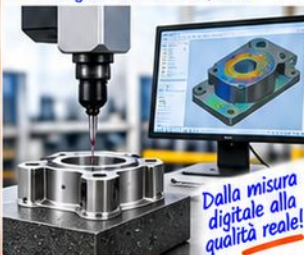
7 GEOMETRIA E RUGOSITÀ

- Tolleranze di forma e posizione
- Planarità, parallelismo, perpendicolarità
- Concentricità e coassialità
- Stato superficiale e rugosità
- Parametri Ra, Rz, Rt
- Metodi di misura e verifica



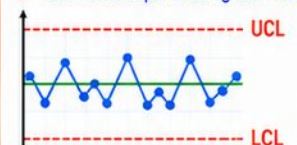
8 CONTROLLO AVANZATO

- Macchine di misura a coordinate (CMM)
- Profilometri e rugosimetri
- Scansione 3D e sistemi ottici
- Software di misura e report
- Controllo di geometrie complesse
- Integrazione con CAD/CAM



9 SPC E MIGLIORAMENTO CONTINUO

- Controllo statistico di processo (SPC)
- Carte di controllo ($\bar{X}$ -R, p, ecc.)
- Analisi di capacità di processo (Cp, Cpk)
- Raccolta e analisi dei dati
- Azioni correttive e preventive
- Cultura della qualità e miglioramento



Dati oggi, qualità domani!

- ANALIZZA
- INDIVIDUA
- MIGLIORA
- RIPETI

10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ La misura è la base della qualità
- ✓ Usa strumenti tarati e tracciabili
- ✓ Conosci e gestisci l'incertezza
- ✓ Verifica il rispetto delle tolleranze
- ✓ Controlla forma, posizione e rugosità
- ✓ Applica metodi statistici e analizza i dati
- ✓ Previene i difetti, non solo correggerli
- ✓ Integra metrologia, progettazione e produzione
- ✓ Punta al miglioramento continuo
- ✓ La qualità è un valore che crea fiducia e futuro

Misure corrette, prodotti migliori, un futuro più competitivo!



METROLOGIA E QUALITÀ CREANO AFFIDABILITÀ, EFFICIENZA E FIDUCIA NEL PRODOTTO FINALE.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SCIENZA DEI MATERIALI

CLASSIFICAZIONE, STRUTTURA, PROPRIETÀ, PROCESSI E APPLICAZIONI

*Capire i materiali
significa progettare
meglio!*

1 CHE COS'È LA SCIENZA DEI MATERIALI

- Studio dei materiali e del loro comportamento
- Relazione tra composizione, struttura e proprietà
- Essenziale per progettazione e produzione
- Aiuta a scegliere il materiale giusto
- Migliora sicurezza, prestazioni e costi

*I materiali
costruiscono
il nostro futuro!*



2 CLASSI PRINCIPALI DI MATERIALI

- Materiali metallici
- Polimeri
- Ceramiche
- Compositi
- Caratteristiche principali e usi tipici



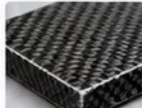
METALLI



POLIMERI



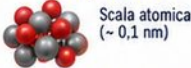
CERAMICI



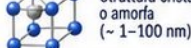
COMPOSITI

3 STRUTTURA SU PIÙ SCALE

- Scala atomica
- Struttura cristallina e amorfa
- Microstruttura
- Macrostruttura
- Ogni livello influenza il comportamento



Scala atomica
(~ 0,1 nm)



Struttura cristallina
o amorfa
(~ 1-100 nm)



Microstruttura
(~ 1-1000 µm)



Macrostruttura
(componente finito)
(~ mm - m)

Dalla scala atomica al componente reale!

4 STRUTTURA → PROPRIETÀ

- La composizione influenza la struttura
- La struttura determina le proprietà
- Il processo modifica la microstruttura
- Le condizioni di esercizio influenzano le prestazioni



5 PROPRIETÀ DA CONOSCERE

- Proprietà meccaniche
- Proprietà termiche
- Proprietà elettriche
- Resistenza chimica
- Densità e peso specifico
- Usura e durabilità

*Proprietà diverse,
applicazioni infinite!*



MECCANICHE



TERMICHE



ELETTRICHE



CHIMICHE



DENSITÀ



USURA
E DURABILITÀ

6 PROCESSI E MATERIALI

- Fusione e solidificazione
- Deformazione plastica
- Lavorazioni per asportazione di truciolo
- Saldatura e giunzione
- Trattamenti termici
- Produzione additiva



FUSIONE



DEFORMAZIONE



LAVORAZIONI



SALDATURA



TRATTAMENTI TERMICI



PRODUZIONE ADDITIVA

7 DIFETTI, DEGRADO E VITA UTILE

- Porosità e inclusioni
- Cracche e fatica
- Corrosione e ossidazione
- Scorrimento viscoso (creep) e usura
- Importanza dell'ispezione e della prevenzione



*Prevenire oggi
per un domani più sicuro!*

8 CRITERI DI SCELTA

- Carichi richiesti
- Temperatura di esercizio
- Ambiente di utilizzo
- Producibilità e lavorabilità
- Peso
- Costo
- Disponibilità
- Normative e sicurezza

*Valuta,
confronta,
scegli
consapevolmente!*

Criterio	Materiale A	Materiale B	Materiale C
Resistenza	✓	✗	✓
Temperatura	✓	✓	✗
Ambiente	✗	✓	✓
Peso	✗	✓	✓
Costo	✓	✗	✓
Disponibilità	✓	✓	✗
Normative	✓	✓	✓

9 APPLICAZIONI IN INGEGNERIA

- Alberi e ingranaggi
- Strutture e telai
- Tubazioni e scambiatori di calore
- Guarnizioni e polimeri
- Componenti termici e tribologici

*Materiali
per idee che
prendono forma!*



INGRANAGGI



STRUTTURE



SCAMBIATORI



ALBERI



GUARNIZIONI



COMPONENTI TERMO-TRIBOLOGICI

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ✓ Definisci la funzione del componente
- ✓ Conosci le condizioni di esercizio
- ✓ Confronta le classi di materiali
- ✓ Valuta le proprietà rilevanti
- ✓ Considera i processi di produzione
- ✓ Analizza la durabilità nel tempo
- ✓ Verifica costi e disponibilità
- ✓ Scegli in modo consapevole

*Materiale giusto,
prodotto migliore!*



IL MATERIALE GIUSTO NASCE DALL'EQUILIBRIO TRA PRESTAZIONI, PROCESSO, COSTO E DURATA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

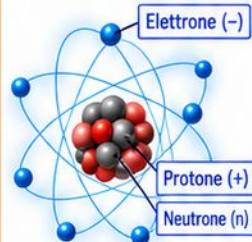
STRUTTURA ATOMICA E LEGAMI DEI MATERIALI

Dal legame nascono le proprietà!

ATOMI, CONFIGURAZIONE ELETTRONICA, LEGAMI PRIMARI E SECONDARI

1 L'ATOMO E LE PARTICELLE SUBATOMICHE

- L'atomo è composto da un nucleo e da elettroni.
- Nel nucleo ci sono protoni (+) e neutroni (n).
- Gli elettroni (-) si muovono in orbitali intorno al nucleo.
- L'atomo nel suo complesso è elettricamente neutro.



Piccolo nelle dimensioni, grande nelle possibilità!

2 NUMERO ATOMICO, MASSA E ISOTOPI

- Il numero atomico (Z) è il numero di protoni nel nucleo.
- Il numero di massa (A) è la somma di protoni e neutroni.
- Gli isotopi hanno lo stesso numero atomico ma diverso numero di neutroni.
- Le proprietà chimiche dipendono da Z, quelle fisiche possono variare con l'isotopo.

ESEMPIO: Carbonio

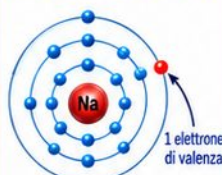
12 6C	13 6C	14 6C
6 p 6 n	6 p 7 n	6 p 8 n

Stesso elemento, proprietà diverse!

3 CONFIGURAZIONE ELETTRONICA

- Gli elettroni occupano livelli e sottolivelli energetici.
- La configurazione elettronica indica la distribuzione degli elettroni negli orbitali.
- Gli elettroni di valenza sono quelli più esterni e determinano la reattività e il tipo di legame.

ESEMPIO: Sodio (Na, Z = 11)
Configurazione: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$



Gli elettroni di valenza decidono come l'atomo si lega!

4 LEGAME IONICO

- Si forma per trasferimento di elettroni tra atomi.
- Si ottengono ioni positivi e negativi che si attraggono elettrostaticamente.
- Tipico tra metalli e non metalli.
- Forma reticoli cristallini ordinati e stabili.

ESEMPIO: NaCl
(cloruro di sodio)



Attrazione elettrostatica = grande stabilità!

5 LEGAME COVALENTE

- Si forma per condivisione di coppie di elettroni tra atomi non metallici.
- Può essere semplice, doppio o triplo.
- Forma molecole o reticoli covalenti.
- I legami covalenti sono direzionali e molto forti.

ESEMPIO: molecola di acqua (H₂O)



Condividere rende stabili!

6 LEGAME METALLICO

- Tipico tra atomi metallici.
- Gli elettroni di valenza sono delocalizzati e condivisi da molti atomi ("mare di elettroni").
- Spiega l'elevata conducibilità elettrica e termica dei metalli.
- Permette duttilità, malleabilità e lucentezza.

ESEMPIO: rame (Cu)



Un mare di elettroni che tiene uniti gli atomi!

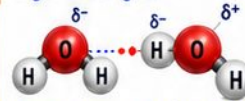
7 LEGAMI SECONDARI

- I legami secondari sono più deboli dei legami primari, ma importanti in molti materiali.
- Forze di van der Waals: dipoli permanenti, dipoli istantanei e dipoli indotti.
- Legame a idrogeno: tra un H legato a un atomo elettronegativo (O, N, F) e un altro atomo elettronegativo.

Forze di van der Waals



Legame a idrogeno

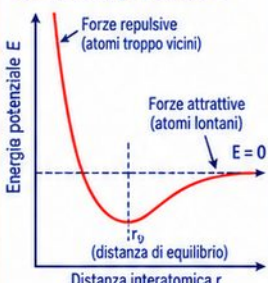


Anche i legami deboli fanno la differenza!

8 ENERGIA DI LEGAME E DISTANZA INTERATOMICA

- L'energia di legame è l'energia necessaria per separare due atomi.
- Esiste una distanza di equilibrio dove l'energia è minima.
- A distanze minori prevalgono le forze repulsive, a distanze maggiori le forze attrattive.
- La profondità del pozzo di energia indica la forza del legame.

Curva di energia potenziale



La giusta distanza rende stabile il legame!

9 I LEGAMI DETERMINANO LE PROPRIETÀ DEI MATERIALI

- Il tipo di legame influenza molte proprietà dei materiali:
- il legame metallico dà elevata conducibilità, duttilità e malleabilità;
- il legame ionico porta alta durezza e alto punto di fusione;
- il legame covalente può dare materiali molto duri (es. diamante) o polimeri più teneri;
- i legami secondari influenzano elasticità, solubilità e punti di fusione bassi.

Tipo di legame	Conducibilità	Duttilità	Durezza	Punto di fusione	Esempio
Metallico	Alta	Alta	Bassa-media	Medio	Rame (Cu)
Ionico	Bassa	Bassa	Alta	Alto	NaCl
Covalente (reticolo)	Bassa	Bassa	Molto alta	Molto alto	Diamante (C)
Covalente (molecolare)	Bassa	Bassa	Bassa	Basso	Poliuretano (PE)

Stesso mondo di atomi, materiali diversissimi!

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST



- ✓ Conosci la struttura dell'atomo e il significato di numero atomico e massa.
- ✓ Capisci come la configurazione elettronica determina i legami.
- ✓ Distingui legami ionici, covalenti, metallici e secondari.
- ✓ Collegi il tipo di legame alle proprietà dei materiali.
- ✓ Usa queste conoscenze per prevedere il comportamento dei materiali nelle applicazioni.



Atomi, legami e materiali: una connessione che costruisce un futuro migliore!

CAPIRE GLI ATOMI E I LEGAMI SIGNIFICA CAPIRE IL COMPORTAMENTO DEI MATERIALI.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

STRUTTURA CRISTALLINA E DIFETTI

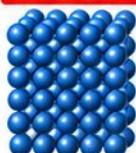
RETICOLI, CELLE ELEMENTARI, GRANI, DISLOCAZIONI E IMPERFEZIONI

La microstruttura decide molto più di quanto sembra!

1 MATERIALI CRISTALLINI VS AMORFI

- Nei cristalli gli atomi sono disposti in modo ordinato e periodico (reticolo).
- Nei materiali amorfi non esiste un ordine a lungo raggio.
- I materiali cristallini mostrano proprietà anisotrope, quelli amorfi sono in genere isotropi.
- Esempi: metalli, ceramici (cristallini), vetri e polimeri amorfi.

MATERIALE CRISTALLINO



Ordine a lungo raggio

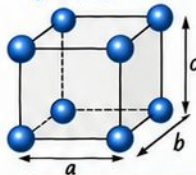
MATERIALE AMORFO



Nessun ordine periodico

2 RETICOLO CRISTALLINO E CELLA ELEMENTARE

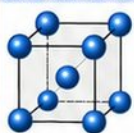
- Il reticolo cristallino è un insieme infinito di punti equivalenti nello spazio.
- La cella elementare è il più piccolo volume che, ripetuto nelle tre direzioni, genera tutto il cristallo.
- È definita dai parametri reticolari: a , b , c e dagli angoli α , β , γ .



Parametri reticolari:
 a , b , c = lati della cella
 α , β , γ = angoli tra i lati

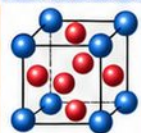
3 LE PRINCIPALI STRUTTURE CRISTALLINE

BCC (cubica a corpo centrato)



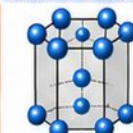
- Atomi ai vertici e al centro della cella
- Numero di atomi/cella: 2
- Numero di coordinazione: 8
- Fattore di impacchettamento: 0,68
- Esempi: ferro (α), cromo, tungsteno, molibdeno

FCC (cubica a facce centrate)



- Atomi ai vertici e al centro delle facce
- Numero di atomi/cella: 4
- Numero di coordinazione: 12
- Fattore di impacchettamento: 0,74
- Esempi: alluminio, rame, nichel, argento, oro

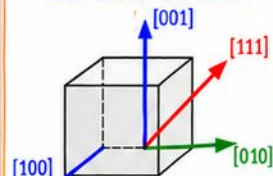
HCP (esagonale compatta)



- Struttura esagonale compatta
- Numero di atomi/cella: 6
- Numero di coordinazione: 12
- Fattore di impacchettamento: 0,74
- Esempi: magnesio, titanio, zinco, cobalto

4 ANISOTROPIA E DIREZIONI CRISTALLOGRAFICHE

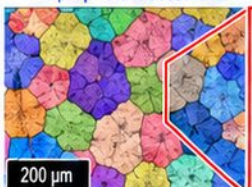
- Le proprietà dei cristalli dipendono dalla direzione cristallografica.
- Si utilizzano gli indici di Miller per indicare piani (hkl) e direzioni [uvw].
- Esempi di direzioni: [100], [110], [111].
- Importante in metalli, ceramici e semiconduttori.



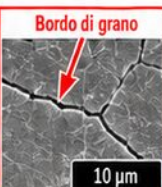
Principali direzioni cristallografiche in un reticolo cubico

5 GRANI E BORDI DI GRANO

- I materiali policristallini sono costituiti da molti grani cristallini con orientazioni diverse.
- I bordi di grano sono regioni di transizione tra grani adiacenti.
- I bordi ostacolano il movimento delle dislocazioni e influenzano le proprietà meccaniche.



Mappa dei grani (EBSD)



Dettaglio del bordo di grano

6 DIFETTI PUNTUALI

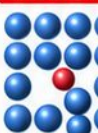
- I difetti puntuali sono imperfezioni a livello atomico.
- Influenzano densità, proprietà meccaniche, elettriche, termiche e di diffusione.
- Possono essere intrinseci o estrinseci (dovuti ad elementi di lega).

VACANZA



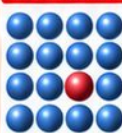
Assenza di un atomo nel reticolo

INTERSTIZIALE



Atomo in posizione interstiziale

SOSTITUZIONALE

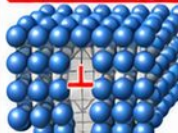


Atomo diverso che sostituisce un atomo del reticolo

7 DISLOCAZIONI E DEFORMAZIONE PLASTICA

- Le dislocazioni sono difetti lineari che permettono la deformazione plastica con sforzi molto inferiori alla rottura teorica.
- Tipi principali: a spigolo e a vite.
- La loro mobilità è influenzata da soluti, precipitati, bordi di grano e altri difetti.

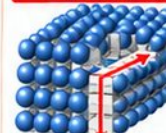
Dislocazione di spigolo



Mezzo piano extra di atomi

Simbolo:

Dislocazione a vite



Scorrimento a elica

Simbolo:

8 DIFETTI SUPERFICIALI E VOLUMETRICI

- Oltre ai difetti puntuali e lineari esistono difetti superficiali e volumetrici.
- Superficiali: superfici libere, interfacce, geminazioni.
- Volumetrici: porosità, inclusioni, precipitati, seconde fasi.

Superficie libera



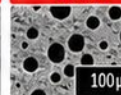
10 µm

Geminazione



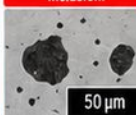
50 µm

Porosità



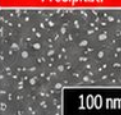
100 µm

Inclusioni



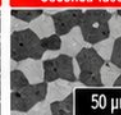
50 µm

Precipitati



100 nm

Seconda fase



50 µm

9 INFLUENZA DEI DIFETTI SULLE PROPRIETÀ

- I difetti influenzano resistenza, duttilità, durezza, conducibilità, diffusione e comportamento a frattura.
- Grani più piccoli → maggiore resistenza (legge di Hall-Petch).
- Le dislocazioni permettono la deformazione plastica.
- Impurezze, precipitati e inclusioni possono migliorare o peggiorare le prestazioni.

Legge di Hall-Petch (effetto della dimensione dei grani)

$$\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2}$$

σ_y = tensione di snervamento (MPa)
 σ_0 = attrito reticolare
 k = costante di Hall-Petch
 d = dimensione media dei grani (µm)



10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Distingui materiali cristallini e amorfi.
- ☒ Comprendi reticolo, cella elementare e strutture (BCC, FCC, HCP).
- ☒ Conosci grani e bordi di grano.
- ☒ Riconosci i principali difetti (puntuali, lineari, superficiali e volumetrici).
- ☒ Sappi come i difetti influenzano le proprietà del materiale.
- ☒ Usa la microstruttura per progettare materiali migliori.
- ☒ Analizza immagini e dati sperimentali.
- ☒ Collega struttura, difetti, processo e prestazioni.



Osserva la microstruttura, progetta il futuro!



RETILO, GRANI E DIFETTI DETERMINANO RESISTENZA, DUTTILITÀ E COMPORTAMENTO DEL MATERIALE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI

ELASTICITÀ, RESISTENZA, DUTTILITÀ, TENACITÀ, DUREZZA E CREEP

Ogni proprietà racconta come il materiale reagisce!

1 PERCHÉ CONTANO LE PROPRIETÀ MECCANICHE

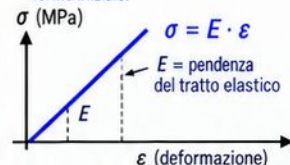
- Determinano la sicurezza e l'affidabilità dei componenti.
- Influenzano la scelta del materiale e il dimensionamento.
- Permettono di prevedere il comportamento sotto carichi statici, dinamici e ambientali.
- Guidano il progetto di prodotti più leggeri, resistenti e duraturi.
- Sono essenziali in tutti i settori: meccanico, civile, aerospaziale, automotive, biomedicale.



Materiali per un mondo più sicuro!

2 ELASTICITÀ E LEGGE DI HOOKE

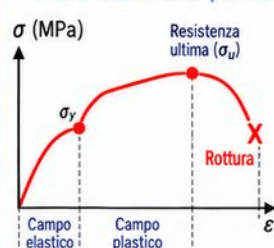
- Nel campo elastico la deformazione è reversibile.
- Vale la legge di Hooke: $\sigma = E \cdot \varepsilon$
- E è il modulo di Young (rigidità del materiale).
- Al diminuire del carico il materiale torna alla forma iniziale.



Valori tipici di E (modulo di Young)
Acciaio: 200–210 GPa
Alluminio: 69–70 GPa
Polimeri: 1–4 GPa
Ceramici: 100–400 GPa
Compositi (fibra di carbonio): 70–200 GPa

3 RESISTENZA E SNERVAMENTO

- La resistenza è la capacità di sopportare un carico senza cedere.
- Nei metalli duttili esiste uno snervamento (σ_y).
- Dopo lo snervamento avviene la deformazione plastica fino alla rottura.
- Nei materiali fragili non c'è snervamento: rottura improvvisa.



4 DUTTILITÀ E FRAGILITÀ

- La duttilità è la capacità di deformarsi plasticamente senza rompersi (grande allungamento).
- I materiali fragili si rompono con poca deformazione.
- La duttilità dipende dalla struttura cristallina, dalla temperatura e dalla velocità di carico.
- Esempi: metalli duttili (acciaio, alluminio) e ceramici fragili (vetro, cemento).



Duttile o fragile? Dipende dal materiale e dall'applicazione!

5 TENACITÀ E RESILIENZA

- La tenacità è l'energia assorbita fino alla rottura (area totale sotto la curva σ - ε).
- La resilienza è l'energia assorbita nel solo campo elastico (area del triangolo).
- Materiali tenaci resistono alla propagazione delle cricche.
- Esempi: acciai tenaci, polimeri; materiali fragili hanno bassa tenacità.



Maggiore è l'area, maggiore è la capacità di assorbire energia!

6 DUREZZA E RESISTENZA ALL'USURA

- La durezza è la resistenza alla penetrazione, graffio o usura.
- Si misura con prove standard: Brinell (HB), Rockwell (HR), Vickers (HV).
- Una maggiore durezza spesso implica maggiore resistenza all'usura, ma può ridurre la duttilità.

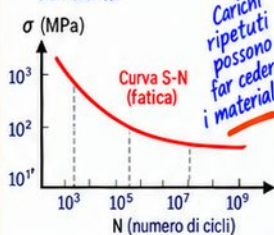


Scale di durezza:
Brinell (HB) — carico elevato
Rockwell (HR) — misura rapida
Vickers (HV) — alta precisione

Più duro, più resistente all'usura!

7 FATICA E VITA A CICLI

- La fatica è il danneggiamento dovuto a carichi ciclici, anche inferiori alla resistenza statica.
- Può portare a rottura improvvisa.
- Si rappresenta con la curva S-N (Wöhler): tensione massima vs numero di cicli a rottura.
- La vita a fatica dipende da superficie, difetti, tensioni residue e ambiente.



Carichi ripetuti possono far cedere i materiali!

8 CREEP E RILASSAMENTO

- Il creep è la deformazione lenta e progressiva nel tempo sotto carico costante, importante ad alte temperature ($T > 0,4 T_m$).
- Il rilassamento è la diminuzione della tensione nel tempo a deformazione costante.
- È un fenomeno critico per turbine, motori, impianti ad alta temperatura.



Importante per materiali in servizio ad alta temperatura!

9 CONFRONTO TRA MATERIALI

- Ogni classe di materiali ha un diverso profilo di proprietà.
- La scelta dipende dai requisiti meccanici, ambiente, peso, costo e processo.
- Non esiste un materiale "migliore" in assoluto, ma il più adatto alla funzione.

Proprietà	Metalli	Polimeri	Ceramici	Compositi
Modulo di Young (E)	Medio-alto	Basso	Alto	Variabile
Resistenza (σ_u)	Alta	Bassa-media	Alta	Alta
Duttilità	Alta	Alta	Bassa	Variabile
Tenacità	Alta	Media	Bassa	Media-alta
Durezza	Media-alta	Bassa	Alta	Alta
Resistenza all'usura	Buona	Bassa	Eccellente	Buona
Fatica	Buona	Limitata	Scarsa	Buona
Creep (alte T)	Buona	Limitata	Buona	Buona
Peso (densità)	Medio	Basso	Medio	Basso
Costo	Medio	Basso	Medio	Alto



Materiali diversi, soluzioni diverse!

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Conosci il tipo di carico e l'ambiente di esercizio
- ☒ Valuta le proprietà meccaniche rilevanti (E , σ_y , σ_u , durezza, ecc.)
- ☒ Considera effetti dinamici: fatica, urti, vibrazioni
- ☒ Verifica il comportamento a lungo termine (creep, rilassamento)
- ☒ Confronta diverse classi di materiali
- ☒ Considera processi produttivi e costi
- ☒ Usa dati affidabili e prove sperimentali
- ☒ Scegli il materiale più adatto alla funzione, non il più "resistente"
- ☒ Progetta per la sicurezza e la durabilità
- ☒ Ricorda che le proprietà meccaniche cambiano con temperatura, velocità di carico e difetti



SICUREZZA
AFFIDABILITÀ
INNOVAZIONE
SOSTENIBILITÀ
COMPETITIVITÀ

LE PROPRIETÀ MECCANICHE GUIDANO LA SCELTA DEL MATERIALE E LA SICUREZZA DEL COMPONENTE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Provare il materiale
significa conoscerne
i limiti!

PROVE MECCANICHE DEI MATERIALI

TRAZIONE, DUREZZA, URTO, FATICA E CARATTERIZZAZIONE

1 SCOPO DELLE PROVE MECCANICHE

- Determinare le proprietà meccaniche dei materiali
- Verificare la conformità a specifiche e norme
- Confrontare materiali e trattamenti
- Supportare la progettazione e la scelta del materiale
- Valutare la qualità di produzione
- Prevedere il comportamento in servizio
- Garantire sicurezza, affidabilità e durata

*Dal laboratorio
all'applicazione
reale!*

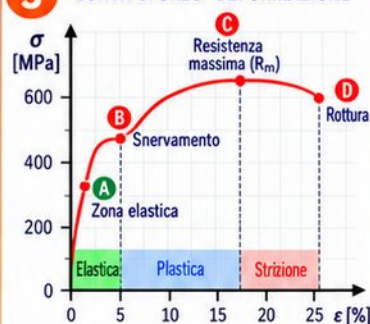


2 PROVA DI TRAZIONE E MACCHINA UNIVERSALE

- Prova più utilizzata per ricavare le principali proprietà meccaniche
- Provino normalizzato con sezione costante
- Carico assiale crescente fino a rottura
- Misura di forza e allungamento
- Curva sforzo-deformazione
- Disponibile con estensimetro o sistema video



3 CURVA SFORZO-DEFORMAZIONE



4 PROPRIETÀ RICAVATE DAL TEST DI TRAZIONE

- Modulo di elasticità (E): pendenza del tratto elastico
- Tensione di snervamento (R_e o $R_{p0.2}$): inizio della deformazione plastica
- Resistenza a trazione (R_m): tensione massima raggiunta
- Allungamento a rottura (A%): duttilità del materiale
- Altre proprietà: resilienza, tenacità, incrudimento

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \text{ [MPa]}$$

(tratto elastico)

$$R_e \text{ o } R_{p0.2} \text{ [MPa]}$$

(snervamento)

$$R_m \text{ [MPa]}$$

(resistenza massima)

$$A\% = \frac{L_f - L_0}{L_0} \cdot 100$$

(allungamento a rottura)

*Una sola prova,
tante informazioni!*

5 PROVE DI DUREZZA

Misurano la resistenza alla penetrazione di un indentatore

BRINELL (HB)



- Sfera di acciaio o carburo
- Carichi elevati
- Impronta grande
- Adatta a materiali duri e non omogenei

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - d)}$$

F = carico [N]
D = diametro sfera [mm]
d = diametro impronta [mm]

ROCKWELL (HR)



- Cono di diamante o sfera
- Misura diretta della profondità
- Veloce e pratica
- Adatta a controlli di produzione

$$HV = \frac{1,854 \cdot F}{d^2}$$

Scale comuni:
HRA, HRB, HRC

VICKERS (HV)



- Piramide di diamante (136°)
- Carichi bassi
- Alta precisione
- Adatta a materiali duri e piccoli spessori

$$HV = \frac{1,854 \cdot F}{d^2}$$

F = carico [kgf]
d = diagonale impronta [mm]

6 PROVA D'URTO (CHARPY)

- Valuta la tenacità del materiale in condizioni di carico dinamico
- Provino intagliato (a V o U)
- Pendolo che colpisce il provino
- Misura dell'energia assorbita
- Temperatura di prova (anche basse temperature)
- Risultati utili per valutare la transizione fragile-duttile



Provino intagliato
(Charpy)

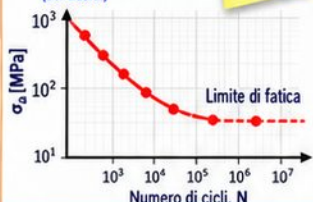
*Più energia
assorbita =
maggiore tenacità!*

7 PROVE DI FATICA

Valutano il comportamento a carichi ciclici variabili

- Determinano il limite di fatica e la vita a rottura
- Rappresentazione con curva S-N
- Utili per componenti soggetti a carichi ripetuti (alberi, molle, strutture)
- Forte influenza di intagli, stato superficiale e ambiente
- Spesso esiste un limite di fatica per alcuni materiali (es. acciai)

*Piccoli difetti
grandi effetti
nel tempo!*



8 ALTRE PROVE MECCANICHE

PROVA DI COMPRESSIONE

- Usata per materiali fragili (calcestruzzo, ghisa, ceramici) e per caratterizzare il comportamento a schiacciamento



PROVA DI FLESSIONE

- Semplice e diffusa (3 o 4 punti)
- Valuta resistenza a flessione e modulo elastico
- Usata per materiali fragili e compositi



PROVA DI TORSIONE

- Valuta resistenza al taglio e modulo di taglio (G)
- Provino cilindrico
- Usata per alberi e componenti di trasmissione



9 PREPARAZIONE DEL PROVINO E NORME

- Provini con geometria e dimensioni normalizzate
- Superficie lavorata e senza difetti
- Intagli quando richiesto (es. Charpy)
- Rispetto delle norme internazionali (ISO, ASTM, UNI)



Provino di trazione
(ISO 6892, ASTM E8)



Provino Charpy
(ISO 148-1, ASTM E23)



Provino di fatica
(ISO 1143, ASTM E466)

*La corretta
preparazione
garantisce
risultati affidabili!*

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Le prove meccaniche forniscono dati reali e misurabili
- ☒ Sono essenziali per progettazione, qualità e sicurezza
- ☒ Ogni prova ha un obiettivo specifico
- ☒ I risultati dipendono da materiale, geometria, condizioni di prova
- ☒ Vanno eseguite seguendo le norme internazionali
- ☒ Permettono di confrontare materiali e trattamenti
- ☒ Trasformano il materiale in dati utili per il progetto

*Dati oggi,
componenti
domani!*

LE PROVE MECCANICHE TRASFORMANO IL MATERIALE IN DATI AFFIDABILI PER PROGETTO E QUALITÀ.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



TRATTAMENTI TERMICI DELL'ACCIAIO

Con il giusto trattamento l'acciaio cambia carattere!

RICOTTURA, NORMALIZZAZIONE, TEMPRA, RINVENIMENTO E MICROSTRUTTURA

1 SCOPO DEI TRATTAMENTI TERMICI

- Modificare la microstruttura
- Adattare le proprietà meccaniche all'uso
- Aumentare durezza, resistenza o tenacità
- Ridurre tensioni interne
- Migliorare la lavorabilità e la stabilità dimensionale
- Ottenere la giusta combinazione di prestazioni e durata



Stesso acciaio, proprietà diverse con il trattamento termico!



2 RISCALDAMENTO, PERMANENZA E RAFFREDDAMENTO

- Riscaldamento fino alla temperatura desiderata (in funzione del trattamento)
- Permanenza (tempo di mantenimento)
- Raffreddamento con velocità controllata (in forno, in aria, in olio o in acqua)



Temperatura, tempo e velocità determinano il risultato!

3 RICOTTURA

- Riscaldamento a 680–750 °C (sotto la temperatura critica)
- Raffreddamento molto lento (in forno)
- Riduce la durezza e aumenta duttilità e lavorabilità
- Elimina tensioni interne
- Usata per acciai lavorati a freddo o dopo lavorazioni gravose



Più morbido, più lavorabile!

4 NORMALIZZAZIONE

- Riscaldamento a 850–950 °C (sopra la temperatura critica)
- Permanenza adeguata
- Raffreddamento in aria calma
- Grana più fine rispetto alla ricottura
- Migliora resistenza e tenacità
- Uniforma la struttura dopo lavorazioni
- Spesso usata come trattamento preliminare alla tempra



Struttura più fine e uniforme!

5 TEMPRA

- Riscaldamento a 820–900 °C (sopra la temperatura critica)
- Permanenza adeguata
- Raffreddamento rapido in acqua, olio o sali
- Si ottiene una microstruttura martensitica (molto dura)
- Elevata durezza e resistenza all'usura, ma minore tenacità



Raffreddamento rapido = alta durezza!

6 RINVENIMENTO

- Riscaldamento a 150–650 °C (dopo la tempra)
- Permanenza per un tempo definito
- Raffreddamento in aria
- Riduce fragilità e tensioni interne
- Aumenta la tenacità
- Permette di ottenere il giusto equilibrio tra durezza e duttilità



Meno fragile, più tenace!

7 TRATTAMENTI TERMO-CHIMICI TEMPRA SUPERFICIALE, CEMENTAZIONE E NITRURAZIONE

- Tempra superficiale: riscaldamento locale (fiamma o induzione) seguito da raffreddamento rapido
- Cementazione: arricchimento di carbonio in superficie (900–950 °C)
- Nitrurazione: arricchimento di azoto (500–550 °C)
- Superficie dura e resistente all'usura
- Nucleo tenace



Tempra superficiale (a induzione)

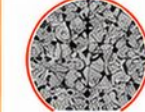
Cementazione (strato carburato)

Nitrurazione (strato nitrato)

Superficie dura, nucleo tenace!

8 MICROSTRUTTURE RISULTANTI

- Il trattamento termico modifica le fasi e la disposizione della microstruttura.



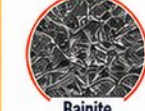
Perlite

- Miscela ferrite + cementite
- Buona resistenza
- Buona duttilità



Martensite

- Struttura aghiforme
- Molto dura
- Più fragile



Bainite

- Struttura intermedia
- Buon compromesso
- Resistenza e tenacità

Microstrutture diverse, proprietà diverse!

9 EFFETTI SULLE PROPRIETÀ E RISCHI

CONFRONTO DELLE PROPRIETÀ (tipico per un acciaio al carbonio)

Stato	Durezza (HRC)	Resistenza	Tenacità
Ricotto	10 – 20	Bassa	Alta
Normalizzato	20 – 30	Media	Media
Temprato	50 – 65	Alta	Bassa
Rinvenuto	30 – 50	Alta	Media-Alta

Il trattamento permette di modulare le proprietà in base all'applicazione!

⚠ RISCHI E DIFETTI

⚡ Cricche: per raffreddamento troppo rapido o geometrie complesse

📏 Distorsioni: per tensioni interne

⚙ Decarburazione: perdita di carbonio in superficie (minore durezza)

⚙ Grana eccessiva: per temperature o tempi non corretti

⚙ Ossidazione: per atmosfera non protettiva

⚠ Parametri corretti e controllo del processo sono fondamentali!



10 MESSAGGIO CHIAVE – CHECKLIST

- ✓ I trattamenti termici modificano la microstruttura dell'acciaio.
- ✓ Ricottura = più duttilità e lavorabilità.
- ✓ Normalizzazione = grana fine e proprietà uniformi.
- ✓ Tempra = massima durezza.
- ✓ Rinvenimento = migliora la tenacità.
- ✓ Trattamenti termo-chimici = superficie dura, nucleo tenace.
- ✓ La microstruttura (perlite, martensite, bainite) determina le proprietà.
- ✓ Attenzione a cricche, distorsioni e decarburazione.
- ✓ Scegli il trattamento in base all'applicazione e alle prestazioni.



Acciaio su misura per ogni sfida!

DUREZZA

RESISTENZA

TENACITÀ

LAVORABILITÀ

DURATA

I TRATTAMENTI TERMICI PERMETTONO DI MODULARE DUREZZA, RESISTENZA E TENACITÀ DELL'ACCIAIO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CORROSIONE DEI MATERIALI

CAUSE, TIPI DI ATTACCO, PROTEZIONE E PREVENZIONE

Capire la corrosione significa allungare la vita utile!

1 CHE COS'È LA CORROSIONE

- Processo di degradazione dei materiali, soprattutto metallici, dovuto a reazioni chimiche o elettrochimiche con l'ambiente.
- Trasforma il metallo in composti più stabili (ossidi, idrossidi, sali).
- Comporta perdita di materiale, riduzione delle proprietà meccaniche e funzionali.
- È un fenomeno naturale, inevitabile, ma controllabile.



La corrosione cambia i materiali nel tempo!

2 MECCANISMO ELETTROCHIMICO DI BASE

- La corrosione dei metalli in ambiente umido è un processo elettrochimico con zone anodiche e catodiche.
- All'anodo il metallo si ossida (libera elettroni).
- Al catodo avviene una reazione di riduzione (es. ossigeno).
- Gli elettroni fluiscono nel metallo, gli ioni nella soluzione elettrolitica.
- Serve la presenza di acqua o umidità con sali disciolti.



3 CORROSIONE UNIFORME

- Attacco diffuso e relativamente uniforme su tutta la superficie del metallo.
- Provoca una riduzione graduale dello spessore.
- È tipica di ambienti non aggressivi o moderatamente aggressivi.
- Più facile da prevedere e monitorare.
- Esempi: acciaio al carbonio in atmosfera, in acqua dolce o in ambienti industriali poco aggressivi.



Attacco uniforme: il materiale si consuma gradualmente.

4 CORROSIONE GALVANICA

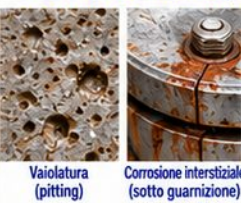
- Si verifica quando due metalli diversi sono in contatto elettrico in presenza di un elettrolita.
- Il metallo meno nobile (anodo) si corrode più rapidamente.
- La differenza di potenziale tra i metalli accelera l'attacco.
- È importante evitare il contatto diretto tra materiali diversi o isolarli elettricamente.



Metalli diversi in contatto possono accelerare la corrosione!

5 VIAIOLATURA (PITTING) E CORROSIONE INTERSTIZIALE

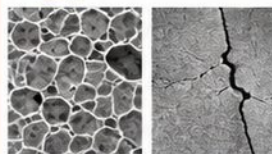
- Vaiolatura: attacco localizzato che forma piccole cavità (profondi pit).
- Molto pericolosa perché può portare a rotture improvvise difficili da prevedere.
- Corrosione interstiziale: avviene in zone poco aerate, come fessure, sotto guarnizioni, depositi o giunzioni.
- Favorita da ambienti ricchi di cloruri (es. ambiente marino).



Piccoli attacchi, grandi problemi!

6 CORROSIONE INTERGRANULARE E SCC

- Corrosione intergranulare: attacco lungo i bordi di grano del materiale, dovuto a fenomeni di segregazione (es. carburi di cromo negli acciai inox).
- SCC (criccatura da corrosione sotto sforzo): combinazione di ambiente corrosivo e sforzi meccanici che provoca cricche e rottura improvvisa.
- Rischiosa perché può avvenire senza grandi perdite di materiale visibili.



La corrosione può agire anche dall'interno!

7 FATTORI CHE ACCELERANO LA CORROSIONE

- Presenza di acqua e umidità.
- Sali disciolti (es. cloruri, acqua di mare).
- pH basso (ambiente acido).
- Temperatura elevata.
- Ossigeno disciolto.
- Inquinanti (SO_2 , NO_x , CO_2).
- Differenza di potenziale tra metalli.
- Tensioni meccaniche e difetti superficiali.
- Ambiente aggressivo (marino, industriale, chimico, urbano).
- Mancanza di manutenzione.

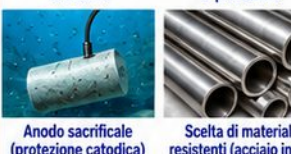


Ambienti più critici:

- marino • industriale • chimico
- urbano • offshore • sotterraneo

8 PROTEZIONE E PREVENZIONE

- Rivestimenti metallici: zincatura, cromatura, nichelatura.
- Rivestimenti organici: vernici e polimeri.
- Protezione catodica: anodi sacrificali o corrente impressa.
- Scelta di materiali più resistenti (es. acciai inox, leghe di alluminio, materiali polimerici).
- Progettazione corretta: evitare ristagni, fessure e contatti galvanici.
- Manutenzione e ispezioni periodiche.



9 ESEMPI INDUSTRIALI E DANNI

- Infrastrutture: ponti, edifici, condotte, serbatoi.
- Industria chimica e petrolchimica: reattori, tubazioni, scambiatori.
- Trasporti: automobili, navi, aeromobili.
- Energia: turbine, impianti offshore, pale eoliche.
- Danni: perdita di materiale, fughe, guasti, fermate impianto, rischi per la sicurezza, alti costi di manutenzione.



La corrosione costa: prevenire conviene!

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST



- | | |
|--|--|
| ☒ Conosci l'ambiente di esercizio e i fattori di rischio | ☒ Pianifica manutenzione e ispezioni |
| ☒ Scegli il materiale e i rivestimenti adeguati | ☒ Monitora lo stato di corrosione |
| ☒ Evita il contatto tra metalli diversi | ☒ Valuta i costi del ciclo di vita |
| ☒ Progetta per la durabilità (evita ristagni e fessure) | ☒ Applica le buone pratiche e le normative |
| ☒ Prevedi protezione catodica quando necessario | ☒ La prevenzione è sempre più economica della riparazione! |



Materiali ben protetti, impianti più sicuri, un futuro più sostenibile!



LA LOTTA ALLA CORROSIONE UNISCE MATERIALI, PROGETTAZIONE, AMBIENTE E MANUTENZIONE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ



SELEZIONE DEI MATERIALI

FUNZIONE, PRESTAZIONI, PROCESSO, COSTO, AMBIENTE E SOSTENIBILITÀ

Scegliere bene
il materiale significa
ottimizzare tutto
il progetto!

1 OBIETTIVO DELLA SELEZIONE DEI MATERIALI

- Trovare il materiale più adatto all'applicazione
- Soddisfare tutti i requisiti tecnici, economici e ambientali
- Bilanciare prestazioni e costi
- Ridurre rischi di guasto
- Massimizzare valore e durata del prodotto
- Favorire innovazione e sostenibilità

Il materiale giusto
rende possibile
un'idea migliore!

PRESTAZIONI
COSTI
SOSTENIBILITÀ
SUCCESSO

2 DEFINIZIONE DELLA FUNZIONE DEL COMPONENTE

- Qual è lo scopo del componente?
- Quali azioni deve svolgere?
- Quali carichi deve sopportare?
- Quali movimenti deve consentire?
- Qual è la vita utile richiesta?
- Ci sono vincoli di spazio o peso?
- Deve garantire sicurezza e affidabilità?



3 REQUISITI DI PRESTAZIONE

- Resistenza meccanica e rigidità
- Tenacità e resistenza a fatica
- Resistenza all'usura
- Resistenza alla corrosione
- Stabilità termica
- Bassa densità (leggerezza)
- Conduttività termica/elettrica
- Proprietà speciali



4 VINCOLI DI AMBIENTE ED ESERCIZIO

- Temperatura di esercizio (min e max)
- Ambiente corrosivo (acqua, salinità, agenti chimici)
- Umidità e radiazioni UV
- Carichi statici, dinamici e d'urto
- Usura, attrito e lubrificazione
- Vita utile e manutenzione
- Normative e sicurezza
- Condizioni estreme (vuoto, alta pressione, ambiente marino, ecc.)



Lo stesso materiale può comportarsi diversamente a seconda dell'ambiente!

5 PRODUCIBILITÀ E PROCESSI

- Quali processi sono compatibili?
- È facilmente lavorabile?
- Quali forme e dimensioni si possono ottenere?
- Quali tolleranze sono raggiungibili?
- Richiede trattamenti termici o superficiali?
- Qual è il volume di produzione?
- Quali sono i tempi di consegna?



6 COSTO E DISPONIBILITÀ

- Costo del materiale (€/kg)
- Costo dei processi di produzione
- Disponibilità sul mercato
- Stabilità dei prezzi
- Dipendenza da materie prime critiche
- Tempi di approvvigionamento
- Costo del ciclo di vita (manutenzione, sostituzione)



7 SOSTENIBILITÀ, RICICLO E LCA

- Impatto ambientale del materiale e dei processi (LCA)
- Riciclabilità e possibilità di riuso
- Contenuto di materiale riciclato
- Consumo di energia e emissioni di CO₂
- Uso di risorse rinnovabili
- Fine vita e recupero
- Conformità alle normative ambientali



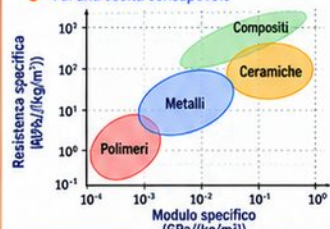
8 CONFRONTO TRA CLASSI DI MATERIALI

Proprietà (tipiche)	Metalli	Polimeri	Ceramiche	Compositi
Densità (kg/m ³)	7.800	900	3.000	1.600
Resistenza (meccanica)	Alta	Bassa-Media	Alta	Alta
Tenacità	Alta	Bassa	Bassa	Media
Resistenza a corrosione	Media	Alta	Alta	Alta
Stabilità termica	Media	Bassa	Alta	Alta
Costo	Medio	Basso	Medio	Alto
Riciclabilità	Alta	Media	Bassa	Media

Ogni classe ha punti di forza e limiti:
la scelta dipende dall'applicazione!

9 METODO DI SELEZIONE

- Definisci i requisiti e i vincoli
- Individua le proprietà chiave
- Confronta le alternative
- Usa indici di prestazione (es. diagrammi di Ashby)
- Valuta costo, processo e impatto ambientale
- Fai una scelta consapevole



Un metodo
aiuta a scegliere
con criterio!

Esempio di matrice di selezione
(punteggio 1 = scarso, 5 = ottimo)

Criterio	Acciaio	Alluminio	Polimero	Composito
Resistenza	5	3	2	4
Peso	2	4	5	4
Resistenza corrosione	2	3	4	4
Costo	4	3	5	2
Sostenibilità	3	4	3	4
Punteggio totale	16	17	19	18

10 MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Definisci chiaramente la funzione del componente
- ☒ Elenca tutti i requisiti di prestazione
- ☒ Considera i vincoli di ambiente ed esercizio
- ☒ Valuta i processi produttivi e la fabbricabilità
- ☒ Analizza costi, disponibilità e rischi
- ☒ Considera l'impatto ambientale e la riciclabilità
- ☒ Confronta le alternative con un metodo strutturato
- ☒ Scegli il materiale che offre il miglior equilibrio complessivo
- ☒ Verifica con prove e prototipi
- ☒ Pensa al ciclo di vita completo



Dalla
funzione
alla soluzione
ottimale!

LA SELEZIONE DEL MATERIALE È UN EQUILIBRIO TRA FUNZIONE, PRESTAZIONI, COSTI E IMPATTO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SINTESI FINALE — SCIENZA DEI MATERIALI

*I materiali giusti
costruiscono
prodotti migliori!*

STRUTTURA, PROPRIETÀ, DIFETTI, PROCESSI, DEGRADO E SCELTA CONSAPEVOLE

1 FONDAMENTI DELLA DISCIPLINA

- Studio di struttura, proprietà, processi e prestazioni dei materiali
- Collega atomi, microstruttura e comportamento macroscopico
- Essenziale per l'ingegneria e l'innovazione tecnologica
- Bilancia requisiti tecnici, costi, ambiente e sicurezza
- I materiali abilitano il progresso della società



2 CLASSI DI MATERIALI

- Materiali metallici (leghe)
- Polimeri
- Ceramiche
- Compositi
- Materiali avanzati (funzionali, intelligenti)
- Ogni classe ha vantaggi, limiti e applicazioni specifiche



3 STRUTTURA ATOMICA E LEGAMI

- Gli atomi si legano in modi diversi: metallico, ionico, covalente, secondario (van der Waals)
- La natura del legame determina proprietà e comportamento
- La struttura atomica influenza la microstruttura e le prestazioni



Struttura e legami determinano le proprietà!

4 RETICOLI E DIFETTI

- I materiali cristallini hanno reticoli ordinati, i metalli, ceramiche e molti polimeri possono essere cristallini o amorfi
- I difetti influenzano fortemente le proprietà
- Tipi principali: puntiformi, lineari (dislocazioni), superficiali e di volume
- I difetti possono essere utili o dannosi, a seconda dell'applicazione



I difetti non sono solo problemi: spesso migliorano le proprietà!

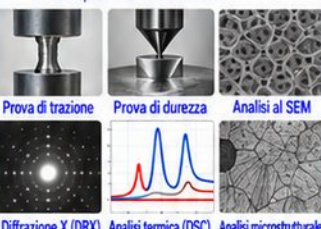
5 PROPRIETÀ MECCANICHE

- Resistenza, rigidità, durezza
- Duttilità, tenacità, fragilità
- Resistenza a fatica e a creep
- Le proprietà dipendono da struttura, difetti e processi
- Compromessi tra prestazioni, peso, costo e ambiente



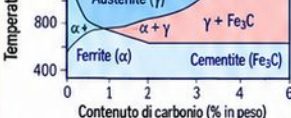
6 PROVE E CARATTERIZZAZIONE

- Prove meccaniche (trazione, compressione, durezza, fatica)
- Analisi microstrutturali (ottica, SEM)
- Tecniche chimiche e fisiche (DRX, DSC, spettroscopia)
- Misura delle proprietà termiche, elettriche e superficiali
- La caratterizzazione guida la comprensione e la scelta



7 DIAGRAMMA Fe-C E ACCIAI

- Il diagramma ferro-carbonio descrive le fasi e le trasformazioni
- Gli acciai sono tra i materiali più importanti per la società
- Composizione e trattamenti permettono di ottenere proprietà diverse (resistenza, tenacità, durezza)
- Microstrutture tipiche: ferrite, perlite, martensite, bainite, austenite



Composizione, temperatura, microstruttura = proprietà!

8 TRATTAMENTI TERMICI E CORROSIONE

- I trattamenti termici modificano la microstruttura e le proprietà
- Principali: ricottura, normalizzazione, tempra, rinvenimento
- La corrosione degrada i materiali e ne riduce la durata
- Protezione: scelta del materiale, rivestimenti, inibitori, progettazione



Più durata e affidabilità nel tempo!

9 CRITERI DI SELEZIONE E SOSTENIBILITÀ

- Valutare requisiti tecnici (proprietà, ambiente di servizio)
- Considerare processo, costo e disponibilità
- Analizzare il ciclo di vita (LCA)
- Ridurre l'impatto ambientale (riciclo, riuso, materiali green)
- Scegliere materiali sicuri e resilienti
- Innovare con materiali avanzati e multifunzionali



10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE

- ✓ I materiali collegano scienza e società
- ✓ Struttura, difetti e processi determinano le proprietà
- ✓ Ogni classe di materiali ha vantaggi e limiti
- ✓ Le prove e la caratterizzazione guidano le scelte
- ✓ Gli acciai e i trattamenti termici sono fondamentali
- ✓ Il degrado (es. corrosione) va prevenuto
- ✓ La scelta consapevole bilancia prestazioni, costo e impatto ambientale
- ✓ I materiali innovativi aprono nuove opportunità
- ✓ Conoscere i materiali significa progettare
- ✓ Ingegneri migliori costruiscono un futuro più sostenibile



CONOSCERE I MATERIALI SIGNIFICA PROGETTARE CON PIÙ SICUREZZA, EFFICIENZA, DURATA E INNOVAZIONE.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK | IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE | CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

*Misurare bene
significa capire
meglio!*

UNITÀ DI MISURA E CONVERSIONI FONDAMENTALI

SI, PREFISSI, GRANDEZZE FISICHE E CONVERSIONI RAPIDE

1 PERCHÉ SERVONO LE UNITÀ

- Permettono una comunicazione tecnica chiara e universale
- Consentono il confronto tra dati, progetti e misure
- Evitano errori di progettazione e di produzione
- Sono fondamentali per la sicurezza, la qualità e la ripetibilità dei risultati

*Stesse unità,
stesso linguaggio
in tutto il mondo!*

2 SISTEMA INTERNAZIONALE (SI)

Le sette grandezze fondamentali

Grandezza fisica	Simbolo	Unità SI
Lunghezza	l	metro (m)
Massa	m	chilogrammo (kg)
Tempo	t	secondo (s)
Temperatura	T	kelvin (K)
Corrente elettrica	I	ampere (A)
Quantità di sostanza	n	mole (mol)
Intensità luminosa	I _v	candela (cd)

*Il SI è lo standard internazionale
per scienza, tecnologia e industria.*

3 PREFISSI PIÙ USATI

Moltiplicatori di potenze di 10

Prefisso	Simbolo	Fattore
giga	G	10 ⁹
mega	M	10 ⁶
kilo	k	10 ³
(nessuno)	—	10 ⁰
milli	m	10 ⁻³
micro	μ	10 ⁻⁶
nano	n	10 ⁻⁹

Esempi:

1 km = 10³ m
 1 μm = 10⁻⁶ m
 1 nm = 10⁻⁹ m

*Prefissi
grandi e piccoli
per grandi
risultati!*

4 LUNGHEZZA, AREA E VOLUME

Conversioni principali

Lunghezza

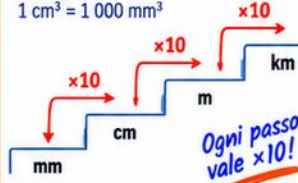
1 m = 100 cm = 1 000 mm
 1 cm = 10 mm
 1 km = 1 000 m

Area

1 m² = 10 000 cm² = 10⁶ mm²
 1 cm² = 100 mm²

Volume

1 m³ = 1 000 L = 10⁶ cm³ = 10⁹ mm³
 1 L = 1 dm³ = 1 000 cm³
 1 cm³ = 1 000 mm³



5 MASSA, FORZA E PESO

- Massa (m): si misura in chilogrammi (kg) e rappresenta la quantità di materia.
- Forza (F): si misura in newton (N).
- Peso (P): è la forza di gravità agente su una massa.

$$F = m \cdot a$$

$$P = m \cdot g$$

con $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$
 (sulla Terra)



Peso P (N)
Massa m (kg)

*Massa e peso
non sono la stessa
cosa!*

6 PRESSIONE, ENERGIA E POTENZA

- Pressione (p): pascal (Pa), bar, MPa
- Energia (E): joule (J), kilojoule (kJ), chilowattora (Wh)
- Potenza (P): watt (W), kilowatt (kW), megawatt (MW)

Conversioni utili

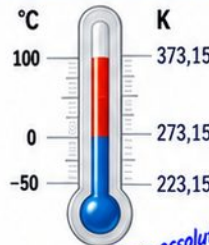
1 bar = 10⁵ Pa
 1 MPa = 10⁶ Pa = 10 bar
 1 kWh = 3,6 MJ
 1 Wh = 3 600 J

*Pressione, energia e potenza
descrivono fenomeni diversi,
ma sono tutte grandezze fisiche!*

7 TEMPERATURA

- Temperatura (t): gradi Celsius (°C)
- Temperatura assoluta (T): kelvin (K)
- Relazione di conversione:

$$T [\text{K}] = t [^{\circ}\text{C}] + 273,15$$

*Zero assoluto:
-273,15 °C
(0 K)*

8 VELOCITÀ, PORTATA E DENSITÀ

- Velocità (v): metri al secondo (m/s) o chilometri orari (km/h)
- Portata (Q): litri al minuto (L/min) o metri cubi all'ora (m³/h)
- Densità (ρ): chilogrammi per metro cubo (kg/m³)

Esempi di conversione

1 m/s = 3,6 km/h
 1 km/h = 0,2778 m/s
 1 L/min = 6 · 10⁻⁵ m³/s
 1 m³/h = 1 000 L/h
 1 g/cm³ = 1 000 kg/m³

*Unità diverse
per applicazioni
diverse!*

9 ERRORI COMUNI

- Confondere massa e peso (kg ≠ N).
- Confondere area e lunghezza (m² ≠ m).
- Mescolare unità assolute e relative (es. °C e K).
- Sbagliare le conversioni di scala (es. mm e m).
- Non mantenere lo stesso sistema di unità nei calcoli.

*Un piccolo errore
di unità può portare
a grandi problemi!*

10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Scrivi sempre le unità di misura nei calcoli e nei risultati.
- ☒ Verifica la coerenza delle dimensioni fisiche.
- ☒ Usa i prefissi corretti per semplificare i numeri.
- ☒ Effettua le conversioni in modo sistematico.
- ☒ Utilizza lo stesso sistema di unità durante tutto il progetto.
- ☒ Controlla gli ordini di grandezza per individuare errori.
- ☒ Consulta tabelle affidabili e mantieni un formulario personale.

*Misure corrette,
idee più solide, progetti migliori!***LE UNITÀ CORRETTE RENDONO I CALCOLI PIÙ AFFIDABILI E I PROGETTI PIÙ SICURI.**STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOKIMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONECONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SIMBOLI, COSTANTI E GRANDEZZE DELLA MECCANICA

NOTAZIONI, UNITÀ, LETTERE GRECHE E RELAZIONI UTILI

Un simbolo chiaro
evita mille dubbi!

1 PERCHÉ USARE SIMBOLI STANDARD

- Chiarezza nella comunicazione tecnica
- Lettura immediata di disegni, schemi e grafici
- Scrittura e comprensione delle formule
- Coerenza con norme e standard internazionali
- Facilità lo studio, il lavoro di squadra e la verifica dei risultati

Un linguaggio comune per grandi idee!



2 GRANDEZZE MECCANICHE PRINCIPALI

Simbolo	Grandezza	Unità (SI)
F	Forza	N
M	Momento (torcente)	N · m
T	Coppia (momento)	N · m
p	Pressione	Pa (N/m ²)
σ	Tensione normale	Pa (N/m ²)
τ	Tensione tangenziale	Pa (N/m ²)
ϵ	Deformazione	—
E	Modulo di Young	Pa (N/m ²)
ρ	Densità	kg/m ³
μ	Coefficiente d'attrito	—

3 LETTERE GRECHE PIÙ COMUNI

Simbolo	Nome	Significato (tipico)
α	alfa	Angolo, coeff. termico
β	beta	Coefficiente, angolo
γ	gamma	Peso specifico, angolo di taglio
θ	theta	Angolo, temperatura
λ	lambda	Conducibilità, snellezza
ω	omega	Velocità angolare
φ	phi	Angolo di fase, flusso
σ	sigma	Tensione normale
τ	tau	Tensione tangenziale
ϵ	epsilon	Deformazione

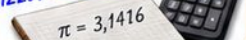
Le lettere greche descrivono fenomeni fondamentali!

4 COSTANTI UTILI

Simbolo	Valore	Unità
g	9,81	m/s ²
π	3,1416	—
R	8,314	J/(mol·K)
σ_{SB}	$5,670 \times 10^{-8}$	W/(m ² ·K ⁴)

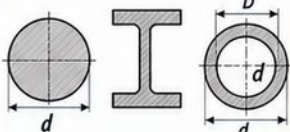
- g : accelerazione di gravità (Terra)
- π : costante matematica
- R : costante universale dei gas
- σ_{SB} : costante di Stefan-Boltzmann

Il valore di una costante può variare con il contesto: controlla sempre le condizioni di utilizzo!



5 GEOMETRIA E SEZIONI

Simbolo	Significato	Unità (SI)
A	Area della sezione	m ²
I	Momento d'inerzia di area	m ⁴
J	Momento polare	m ⁴
W	Modulo di resistenza	m ³
d	Diametro	m
r	Raggio	m
L	Lunghezza	m
s	Spessore	m



Sezione circolare: $A = \pi d^2/4$
 Sezione a I: $I = \int y^2 dA$
 Sezione anulare: $A = \pi(D^2 - d^2)/4$

6 MOTO E DINAMICA

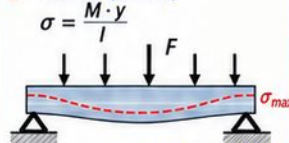
Simbolo	Significato	Unità (SI)
v	Velocità lineare	m/s
a	Accelerazione lineare	m/s ²
ω	Velocità angolare	rad/s
α	Accelerazione angolare	rad/s ²
m	Massa	kg
p	Quantità di moto ($p = m \cdot v$)	kg·m/s
E_c	Energia cinetica ($E_c = 1/2 m v^2$)	J



$p = m \cdot v$ $E_c = \frac{1}{2} m v^2$

7 ELASTICITÀ E RESISTENZA

- Legge di Hooke (trazione/compressione)
 $\sigma = E \cdot \epsilon$
- Tensione normale
 $\sigma = \frac{F}{A}$
- Deformazione
 $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$
- Tensione tangenziale da torsione
 $\tau = \frac{T \cdot r}{J}$
- Flessione (concetto)
 $\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$



Dalle forze alle deformazioni: i simboli collegano causa ed effetto!

8 TERMINI SPESSO CONFUSI

MASSA vs PESO

- Massa (m): quantità di materia [kg]
- Peso (P): forza gravitazionale [N]
- $P = m \cdot g$

TENSIONE vs DEFORMAZIONE

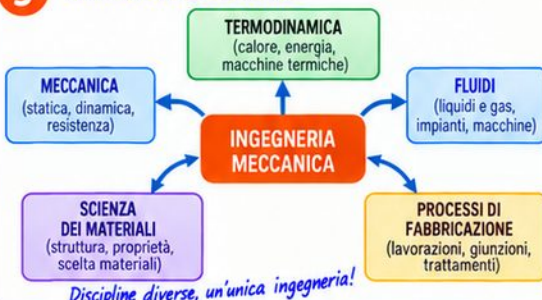
- Tensione (σ, τ): forza per unità di area [Pa]
- Deformazione (ϵ): variazione relativa di lunghezza [—]
- Sono grandezze diverse ma collegate dal materiale (es. legge di Hooke).

FORZA vs MOMENTO

- Forza (F): tende a traslare un corpo [N]
- Momento (M): tende a far ruotare un corpo [N·m]
- Una forza può generare un momento rispetto a un punto: $M = F \cdot d$

Stesso nome, significati diversi: controlla sempre il contesto!

9 MINI MAPPA TRASVERSALE



10 IL NOSTRO MESSAGGIO CHIAVE — CHECKLIST

- ☒ Verifica il significato del simbolo
Assicurati di usare la notazione corretta e coerente con il contesto.
- ☒ Controlla l'unità di misura
Utilizza le unità del Sistema Internazionale (SI).
- ☒ Considera il contesto
Lo stesso simbolo può avere significati diversi in ambiti differenti.
- ☒ Presta attenzione ai pedici e agli indici
Indicano condizioni, componenti o direzioni (es. $\sigma_x, F_r, m_{fluido}$).
- ☒ Rispetta le convenzioni di segno
Segui le convenzioni adottate (es. trazione positiva, verso dei momenti).
- ☒ Quando hai dubbi, consulta norme e testi di riferimento
ISO, UNI, manuali e appunti affidabili ti aiutano a evitare errori.

Simboli corretti
ingegneristici
affidabili!



SIMBOLI E COSTANTI BEN USATI RENDONO FORMULE, DATI E MODELLI PIÙ CHIARI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Poche relazioni,
moltissime
applicazioni!

FORMULARIO DI TERMODINAMICA E GAS IDEALI

PRIMO PRINCIPIO, EQUAZIONI DI STATO E TRASFORMAZIONI BASE

1 SISTEMA, STATO, PROPRIETÀ, EQUILIBRIO

- Sistema:** porzione di materia separata dall'ambiente.
- Stato:** insieme dei valori delle proprietà.
- Proprietà:** grandezze misurabili ($p, V, T, U, H, s, \dots$).
- Equilibrio:** assenza di variazioni macroscopiche nel tempo (equilibrio termico, meccanico, chimico).



2 EQUAZIONE DI STATO DEL GAS IDEALE

Forma con quantità totali:

$$pV = nRT$$

Forma specifica (per unità di massa):

$$pv = RT$$

p = pressione [Pa]
 V = volume [m^3]
 v = volume specifico [m^3/kg]
 n = quantità di sostanza [mol]
 $R = 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$
 $R = 287 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ (aria)
 T = temperatura [K]

Valida per gas ideali
a basse pressioni
e alte temperature.

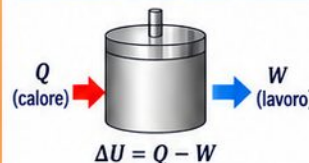
3 PRIMO PRINCIPIO PER SISTEMA CHIUSO

$$\Delta U = Q - W$$

ΔU = variazione di energia interna [J]
 Q = calore scambiato con il sistema [J]
 W = lavoro compiuto dal sistema [J]

Convenzione dei segni:

- $Q > 0$ se il calore entra nel sistema
- $W > 0$ se il lavoro è compiuto dal sistema verso l'esterno



4 ENTALPIA

$$H = U + pV$$

Per gas ideale:

$$h = h(T)$$

H = entalpia [J]
 h = entalpia specifica [J/kg]
 U = energia interna [J]
 pV = lavoro di flusso [J]

Per gas ideale con c_p costante:

$$\Delta h = c_p \Delta T$$

L'entalpia è particolarmente
utile nei sistemi a flusso
(stati di corrente).

5 CALORI SPECIFICI

A pressione costante: $c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p$

A volume costante: $c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$

Per gas ideale:

$$c_p - c_v = R$$

Valori tipici (aria, 300 K):

$c_p \approx 1,005 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$

$c_v \approx 0,718 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$

$R \approx 0,287 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$

$c_p > c_v$ perché a p costante
parte del calore serve
per il lavoro di espansione.

6 TRASFORMAZIONI DI UN GAS IDEALE

Isobara (p = costante)

$$\frac{V}{T} = \text{costante}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Isocora (V = costante)

$$\frac{p}{T} = \text{costante}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Isoterma (T = costante)

$$pV = \text{costante}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Adiabatica ($Q = 0$)
(compressione/espansione
reversibile)

$$pV^\gamma = \text{costante}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

$$\gamma = c_p/c_v \text{ (aria } \approx 1,4)$$

7 LAVORO DI FRONTIERA E DIAGRAMMI p-V

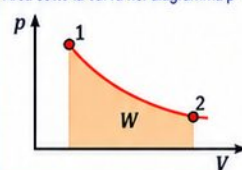
Lavoro di frontiera:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Caso isobaro:

$$W = p(V_2 - V_1)$$

Area sotto la curva nel diagramma p-V.



8 ENTROPIA

Definizione (trasformazione
reversibile):

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

S = entropia [J/K]

δQ_{rev} = calore reversibile [J]

T = temperatura assoluta [K]

Secondo principio:

per un sistema isolato

$$\Delta S \geq 0$$

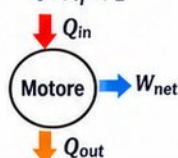
L'entropia misura
la dispersione dell'energia:
nei processi irreversibili
l'entropia aumenta.

9 PRESTAZIONI DELLE MACCHINE TERMICHE

Rendimento motore termico

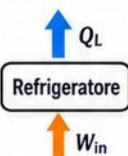
$$\eta = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}}$$

$$0 < \eta < 1$$



Coefficiente di prestazione
refrigeratore

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{\text{in}}}$$



Coefficiente di prestazione
pompa di calore

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{\text{in}}}$$



10 CHECKLIST E TABELLA RIASSUNTIVA

- Definisci il sistema e i suoi confini.
- Stabilisci la convenzione dei segni (Q, W).
- Verifica la coerenza delle unità di misura (SI).
- Usa tabelle di proprietà (o modelli adeguati).
- Valuta la validità del modello di gas ideale.

Un'analisi corretta parte
sempre da ipotesi chiare!

Grandezze e unità principali

Pressione	p	Pa
Volume	V	m^3
Volume specifico	v	m^3/kg
Temperatura	T	K
Energia interna	U	J (kJ)
Entalpia	H	J (kJ)
Entropia	S	J/K (kJ/K)
Calore specifico	c_p, c_v	J/(kg · K)
Costante gas (aria)	R	287 J/(kg · K)
Rapporti dei calori	γ	$\approx 1,4$

LA TERMODINAMICA COLLEGA ENERGIA, CALORE, LAVORO E PRESTAZIONI DEI SISTEMI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

FORMULARIO DI TRASMISSIONE DEL CALORE E MACCHINE TERMICHE

Il calore segue le regole precise: leggerle aiuta a progettare meglio!

CONDUZIONE, CONVEZIONE, IRRAGGIAMENTO, SCAMBIATORI E CICLI

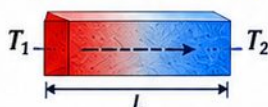
1 CONDUZIONE

Legge di Fourier

- Trasferimento di calore per differenza di temperatura nel materiale
- k = conducibilità termica [W/m·K]
- Valida in regime stazionario e monodimensionale

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

q [W] A [m²] k [W/m·K]



Il calore fluisce da T più alta a T più bassa!

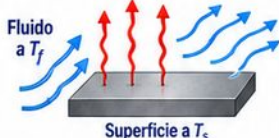
2 CONVEZIONE

Legge di Newton del raffreddamento

- Scambio di calore tra superficie e fluido in moto
- h = coefficiente di scambio [W/m²·K]
- Dipende da fluido, velocità e geometria

$$q = hA(T_s - T_f)$$

q [W] h [W/m²·K] A [m²]



Il moto del fluido aumenta lo scambio termico!

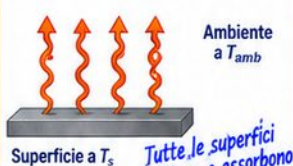
3 IRRAGGIAMENTO

Legge di Stefan-Boltzmann

- Scambio di calore tramite onde elettromagnetiche
- ϵ = emissività (0 + 1)
- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²·K⁴
- Non richiede un mezzo materiale

$$q = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{amb}^4)$$

q [W] ϵ [-] σ [W/m²·K⁴]

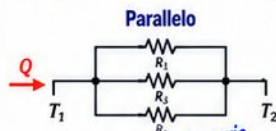
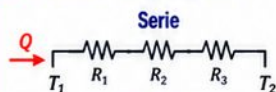


Tutte le superfici emettono e assorbono radiazione!

4 RESISTENZE TERMICHE

Serie e parallelo

- Analogia elettrica per reti termiche
- $R_{th} = \Delta T / Q$ [K/W]
- In serie: $R_{tot} = \sum R_i$
- In parallelo: $1/R_{tot} = \sum 1/R_i$



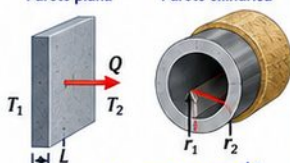
Resistenze in serie sommano, in parallelo dividono!

5 PARETI E ISOLAMENTO

Piana, cilindrica e coefficiente U

- Parete piana: $q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L}$
- Parete cilindrica: $q = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)}$
- Coefficiente globale di scambio: $Q = UA(T_1 - T_2)$
- Isolamento termico riduce le perdite

Parete piana Parete cilindrica



L'isolamento aumenta la resistenza termica!

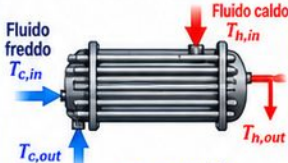
6 SCAMBIATORI DI CALORE

Bilanci, LMTD e NTU

- Bilancio termico di base: $Q = \dot{m}c_p\Delta T$
- Differenza di temperatura media logaritmica (LMTD):

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$$

- Metodo NTU-efficacia: $Q = \epsilon C_{min} \Delta T_{max}$
- Tipi: a tubi, a piastre, a fascio tubiero



Più superficie e corretta configurazione = maggiore efficienza!

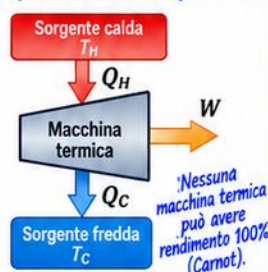
7 MACCHINE TERMICHE

Rendimento

- Convertono calore in lavoro meccanico
- Rendimento termico:

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

- Q_H = calore da sorgente calda
- Q_C = calore ceduto alla sorgente fredda



8 CICLI PRINCIPALI

Caratteristiche e applicazioni

- Rankine (vapore)**
 - Centrali termoelettriche
 - Lavoro da vapore d'acqua
 - Brayton (turbina a gas)**
 - Ciclo a gas
 - Turbine aeronautiche e impianti a ciclo combinato
 - Otto (motore a benzina)**
 - Accensione comandata
 - Ciclo 4 tempi
 - Diesel (motore a gasolio)**
 - Accensione per compressione
 - Ciclo 4 tempi
 - Ciclo frigorifero**
 - Trasferisce calore dalla sorgente fredda alla calda
 - $COP = Q_L/W$
- Cicli diversi per applicazioni diverse!*

9 INDICATORI UTILI

Formule rapide

Rendimento termico

$$\eta = \frac{W}{Q_H}$$

Coefficiente di prestazione (COP)

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

Potenza termica

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p\Delta T$$

$\dot{Q}$ [W] $\dot{m}$ [kg/s] c_p [J/kg·K]

Perdite termiche

$$\dot{Q}_{perd} = UA\Delta T$$

Indicatori semplici, decisioni migliori!

10 CHECKLIST DI PROGETTAZIONE

Cosa verificare sempre



- ☒ Regime di calcolo Stazionario o transitorio?
- ☒ Condizioni al contorno Temperature, flussi, ambiente?
- ☒ Dati termo-fisici Proprietà del materiale e dei fluidi?
- ☒ Sporco (fouling) Considerato nelle resistenze?
- ☒ Unità di misura Coerenza e conversioni corrette?
- ☒ Verifica dei risultati Ordini di grandezza e sensatezza?

Un buon progetto parte da dati corretti e controlli sistematici!



SCAMBIO TERMICO E CICLI TERMICI SONO ALLA BASE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

FORMULARIO DI STATICA E RESISTENZA DEI MATERIALI

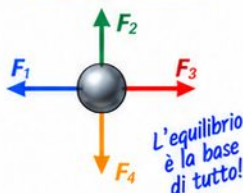
Le formule contano solo se capisci quando usarle!

EQUILIBRIO, SFORZI, DEFORMAZIONI, FLESSIONE E TORSIONE

1 EQUILIBRIO DEL PUNTO MATERIALE

- Il punto materiale è in equilibrio quando la risultante delle forze è nulla.
- Condizione necessaria e sufficiente (considerando forze complanari o spaziali).
- Si utilizza nei problemi di statica di particelle e nodi di strutture reticolari.

$$\sum \vec{F} = 0$$

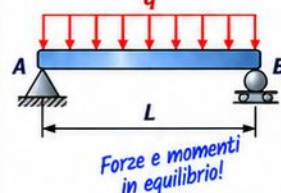


2 EQUILIBRIO DEL CORPO RIGIDO

- Un corpo rigido è in equilibrio quando la risultante delle forze e dei momenti è nulla.
- Condizioni di equilibrio (spaziale o nel piano):

$$\sum \vec{F} = 0 \quad \sum \vec{M} = 0$$

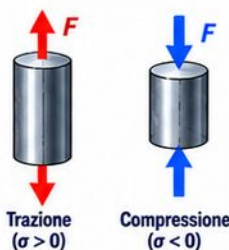
- Si applica a travi, telai e qualsiasi corpo rigido.



3 TENSIONE NORMALE

- La tensione normale è il rapporto tra la forza assiale e l'area della sezione.
- Positiva a trazione, negativa a compressione.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$



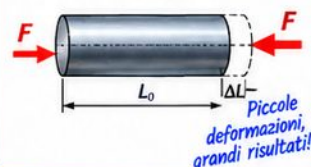
4 DEFORMAZIONE E LEGGE DI HOOKE

- La deformazione longitudinale è il rapporto tra la variazione di lunghezza e la lunghezza iniziale.
- Nel campo elastico lineare vale la legge di Hooke.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

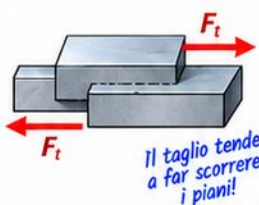
ε = deformazione [-]
 ΔL = variazione di lunghezza [m]
 L_0 = lunghezza iniziale [m]
 E = modulo di Young [Pa]



5 TENSIONE DI TAGLIO

- La tensione di taglio è il rapporto tra la forza tangenziale e l'area della sezione.
- Si genera per forze parallele alla sezione e causa lo scorrimento dei piani materiali.

$$\tau = \frac{F_t}{A}$$



6 FLESSIONE

- La tensione normale a flessione dipende dal momento flettente, dalla distanza dall'asse neutro e dal momento d'inerzia.
- Le fibre superiori e inferiori sono rispettivamente compresse e tese.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$$

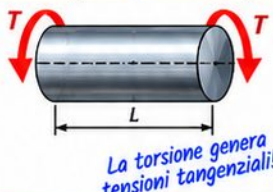


7 TORSIONE

- La tensione di taglio da torsione dipende dal momento torcente, dalla distanza dall'asse e dal momento polare d'inerzia.
- L'angolo di torsione è proporzionale al momento torcente e alla lunghezza.

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J}$$

$$\theta = \frac{T \cdot L}{G \cdot J}$$



8 INSTABILITÀ E CARICO DI PUNTA

- Una colonna snella sotto carico di compressione può perdere la stabilità (instabilità di Eulero).
- Il carico critico dipende da E, I, L e dalle condizioni di vincolo.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

K = coefficiente di vincolo
0,5 = incastro-incastro
0,7 = incastro-cerniera
1,0 = cerniera-cerniera
2,0 = incastro-libero

Oltre il carico critico la struttura si instabilizza!



9 PROPRIETÀ GEOMETRICHE UTILI

- Le proprietà geometriche della sezione sono fondamentali per tensioni, deformazioni e instabilità.
- Area, momenti d'inerzia, momento polare e modulo di resistenza dipendono dalla forma della sezione.

Sezione	Area A	Momento d'inerzia I (asse baricentrico)	Momento polare J (asse baricentrico)	Modulo di resistenza W
Cerchio pieno	$A = \frac{\pi d^2}{4}$	$I = \frac{\pi d^4}{64}$	$J = \frac{\pi d^4}{32}$	$W = \frac{\pi d^3}{32}$
Cerchio cavo	$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$	$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$	$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$
Rettangolo	$A = b \cdot h$	$I = \frac{bh^3}{12}$	$J \approx \frac{bh^3}{3}$	$W = \frac{bh^2}{6}$

10 CHECKLIST DI APPLICAZIONE

- Prima di usare le formule, definisci il problema e verifica le ipotesi di validità.
- Una corretta modellazione porta a risultati affidabili.
- ☒ 1. TIPO DI CARICO
Statico o dinamico? Concentrato, distribuito, assiale, torsionale?
- ☒ 2. CONDIZIONI DI VINCOLO
Trave, colonna, mensola? Vincoli reali e schematizzati?
- ☒ 3. SEZIONE E PROPRIETÀ GEOMETRICHE
Forma, dimensioni, A, I, J, W corretti?
- ☒ 4. UNITÀ DI MISURA
Coerenza delle unità (SI)? N, m, Pa, MPa, ecc.
- ☒ 5. FATTORI DI SICUREZZA E VERIFICHE
Confronto con limiti ammissibili? Verifica a snervamento, instabilità, fatica?

Dalla teoria alla pratica: verifica sempre!



STATICA E RESISTENZA DEI MATERIALI TRASFORMANO CARICHI E GEOMETRIE IN VERIFICHE AFFIDABILI.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

FORMULARIO RAPIDO DI FLUIDI, IDRAULICA E PNEUMATICA

Portata, pressione, perdite, attuatori e potenza fluida

*Segui il fluido,
e il funzionamento
del sistema
si rivela!*

1 PROPRIETÀ DEI FLUIDI

Caratteristiche fondamentali

- ✓ Densità ρ [kg/m³]
- ✓ Viscosità dinamica μ [Pa·s]
- ✓ Viscosità cinematica ν [m²/s]
- ✓ Comprimità (gas)
- ✓ Modulo di elasticità (liquidi)
- ✓ Temperatura e suoi effetti

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\beta = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dp}$$



*Le proprietà
del fluido
definiscono
il suo
comportamento!*

2 CONTINUITÀ

Conservazione della massa

- ✓ La portata è costante in un condotto chiuso
- ✓ $Q = A \cdot v$
- ✓ Sezione e velocità inversamente proporzionali
- ✓ Valida per fluidi incompressibili
- ✓ Utile per il dimensionamento

$$Q = A \cdot v$$



$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = Q$

*Stessa portata,
sezione diversa,
velocità diversa!*

3 BERNOULLI

Energia lungo una linea di corrente

- ✓ Relazione tra pressione, velocità e quota
- ✓ Valida per fluidi incompressibili
- ✓ Utile per analisi di sistemi semplici
- ✓ Trascurare perdite (se applicabile)
- ✓ Si estende con termini di perdita

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z = \text{costante}$$



*La pressione cala
quando la velocità
aumenta!*

4 PERDITE DI CARICO

Distribuite e localizzate

- ✓ Perdite lineari (Darcy-Weisbach)
- ✓ Perdite localizzate (curve, valvole, restringimenti, ecc.)
- ✓ Dipendono da rugosità, lunghezza, diametro e velocità
- ✓ Importanti nel dimensionamento
- ✓ Ridurre le perdite per efficienza

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

$$\Delta p_{loc} = \xi \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$



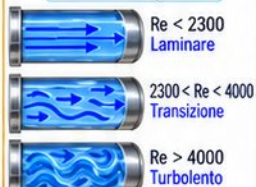
*Curve,
valvole e raccordi
aumentano
le perdite!*

5 NUMERO DI REYNOLDS

Regime di flusso

- ✓ Determina il tipo di moto
- ✓ Flusso laminare o turbolento
- ✓ Dipende da ρ , ν , D e μ
- ✓ Utile per scegliere formule e coefficienti
- ✓ Valori critici indicativi (tubi)

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$



*Il numero di Reynolds
svela la natura del flusso!*

6 POTENZA IDRAULICA E PNEUMATICA

Formule e rendimento

- ✓ Potenza fluida utile
- ✓ Potenza all'albero
- ✓ Rendimento del sistema
- ✓ Unità di misura principali
- ✓ Stima dei consumi energetici

Idraulica (incompressibile)

$$P = p \cdot Q$$

$$P = F \cdot v$$

Pneumatica (compressibile)

$$P = p \cdot Q$$

$$P = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Rendimento

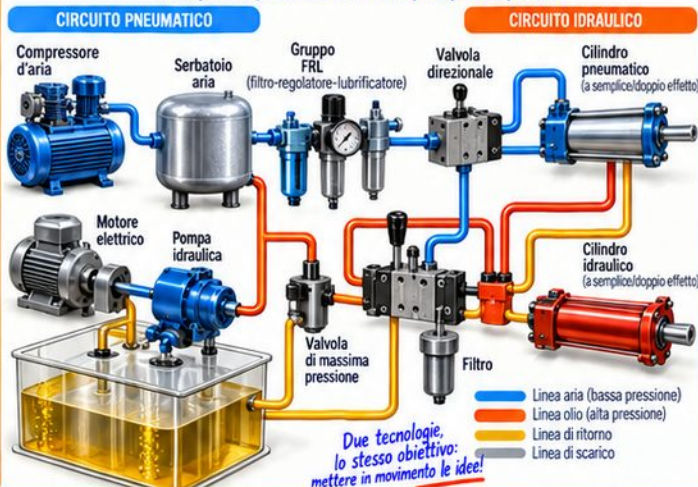
$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \cdot 100\%$$

*Più efficienza
da più potenza utile!*



SCHEMA DI UN SISTEMA IDRAULICO E PNEUMATICO

Esempio di impianto combinato con i principali componenti



*Due tecnologie,
lo stesso obiettivo:
mettere in movimento le idee!*

7 POMPE E COMPRESSORI

Tipologie e verifiche

- ✓ Pompe idrauliche: ingranaggi, palette, pistoni
- ✓ Compressori: a pistoni, a vite, a palette, centrifughi
- ✓ Portata, pressione e rendimento
- ✓ Curva caratteristica
- ✓ Cavitazione (pompe)
- ✓ Aria trattata e qualità (compressori)



*La scelta giusta garantisce
affidabilità e continuità di servizio!*

8 VALVOLE E ATTUATORI

Funzioni e simboli

- ✓ Valvole direzionali, di pressione, di portata e di non ritorno
- ✓ Attuatori lineari e rotativi
- ✓ Simboli normalizzati (ISO 1219)
- ✓ Comando manuale, elettrico, pneumatico
- ✓ Controllo della velocità
- ✓ Sicurezza e protezione

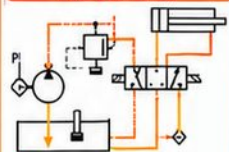


*Le valvole dirigono,
gli attuatori trasformano
l'energia in movimento!*

9 CIRCUITI BASE

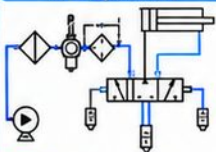
Schemi tipici idraulici e pneumatici

Circuito idraulico



- ✓ Pompa con valvola di massima
- ✓ Valvola direzionale 4/3
- ✓ Cilindro a doppio effetto
- ✓ Filtro e serbatoio
- ✓ Linee di pressione e ritorno

Circuito pneumatico



- ✓ Compressore e serbatoio
- ✓ Gruppo FRL
- ✓ Valvola direzionale 5/2
- ✓ Cilindro a doppio effetto
- ✓ Scarichi con silenziatori

Dagli schemi alla realtà!

10 CHECKLIST FINALE

Dimensionamento e verifica

- ✓ Definire requisiti e condizioni operative
- ✓ Calcolare portate, pressioni e potenze
- ✓ Verificare perdite di carico
- ✓ Selezionare componenti adeguati
- ✓ Controllare temperature e viscosità
- ✓ Verificare cavitazione e rumorosità
- ✓ Valutare efficienza energetica
- ✓ Testare e validare il sistema
- ✓ Pianificare manutenzione
- ✓ Documentare il progetto



*Un sistema ben progettato
funziona oggi e domani!*



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELELA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



Capire il degrado
è il primo passo
per evitarlo!

FORMULARIO DI VIBRAZIONI, TRIBOLOGIA E MANUTENZIONE

OSCILLAZIONI, USURA, LUBRIFICAZIONE, AFFIDABILITÀ E KPI

1 MOTO ARMONICO SEMPLICE

- Equazione del moto
- Spostamento, velocità e accelerazione
- Relazioni tra ω , f e T
- Esempio massa-molla

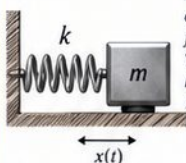
$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$v(t) = A\omega \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$$a(t) = -A\omega^2 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\omega = 2\pi f \quad T = 1/f$$

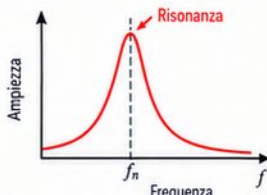
A = ampiezza [m]
 ω = pulsazione [rad/s]
 f = frequenza [Hz]
 T = periodo [s]
 k = rigidità [N/m]
 m = massa [kg]



2 FREQUENZA NATURALE E RISONANZA

- Frequenza naturale di un sistema massa-molla
- La risonanza si verifica quando la frequenza di eccitazione è vicina alla frequenza naturale
- Può causare grandi ampiezze di vibrazione

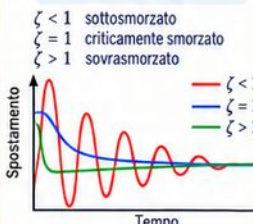
$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$



3 SMORZAMENTO

- Lo smorzamento riduce l'ampiezza delle vibrazioni
- Il rapporto di smorzamento ζ determina il comportamento del sistema
- Tipi di smorzamento: viscoso, strutturale, per attrito

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

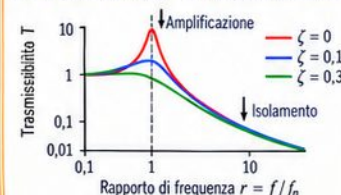


4 VIBRAZIONE FORZATA E TRASMISSIBILITÀ

- Risposta a un'eccitazione periodica
- La trasmissibilità indica quanto la vibrazione si trasmette al supporto
- Isolamento efficace per $T < 1$

$$T = \frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{(1 + (2\zeta r)^2)}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

$r = f/f_n$ (rapporto di frequenza)
 X = ampiezza trasmessa Y = ampiezza eccitazione

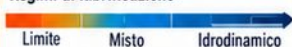


5 ATTRITO E USURA

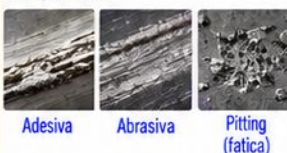
- Il coefficiente di attrito μ dipende da materiali, lubrificazione e condizioni operative
- Regimi di attrito: limite, misto, idrodinamico
- Tipi di usura: adesiva, abrasiva, fatica superficiale, corrosiva

$$F = \mu \cdot N$$

Regimi di lubrificazione

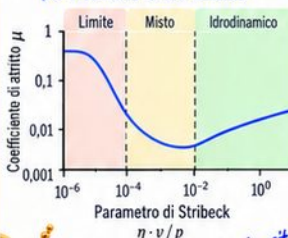


Esempi di usura



6 LUBRIFICAZIONE

- La curva di Stribeck descrive l'attrito in funzione del regime
- Il film d'olio separa le superfici e riduce usura e temperatura
- La viscosità è fondamentale per il corretto funzionamento



La giusta viscosità
per la massima
protezione!

7 FORMULE E CONCETTI DI TRIBOLOGIA

- Pressione di contatto p
- Velocità di strisciamento v
- Fattore PV (pressione x velocità)
- Usura secondo Archard
- La lubrificazione riduce p e μ

$$p = \frac{F}{A} \quad [\text{Pa}]$$

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad [\text{m/s}]$$

$$PV = p \cdot v \quad [\text{Pa} \cdot \text{m/s}]$$

$$V_{\text{usura}} = k \cdot \frac{F \cdot s}{H} \quad (\text{Archard})$$

F = forza normale [N]
 A = area di contatto [m²]
 D = diametro [m]
 n = velocità di rotazione [rpm]
 s = distanza di strisciamento [m]
 H = durezza del materiale [Pa]
 k = coefficiente di usura [-]



8 MANUTENZIONE

- Strategie di manutenzione per massimizzare affidabilità e disponibilità
- Scelta basata su criticità, rischio e costo del fermo
- L'analisi delle vibrazioni abilita la manutenzione predittiva

Tipo	Quando	Vantaggi	Limiti
Preventiva	A intervalli prestabiliti	Semplice, riduce guasti	Possibili sostituzioni non necessarie
Predittiva	In base allo stato	Interventi mirati, meno fermo	Richiede strumentazione e competenze
Correttiva	Dopo il guasto	Basso costo iniziale	Alti costi di fermo e danni



Dati oggi
per macchine
più affidabili
domani!

9 INDICATORI UTILI

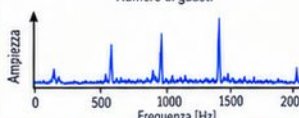
- KPI per valutare affidabilità, manutenzione ed efficienza
- Utili per monitorare il degrado e pianificare gli interventi
- Da integrare con l'analisi vibrazionale e tribologica

MTBF = Tempo di funzionamento medio tra i guasti

$$MTBF = \frac{\text{Tempo di funzionamento}}{\text{Numero di guasti}} \quad [\text{h}]$$

MTRR = Tempo medio di riparazione

$$MTRR = \frac{\text{Tempo di riparazione}}{\text{Numero di guasti}} \quad [\text{h}]$$



Disponibilità

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad [-]$$

OEE (efficienza complessiva)

$$OEE = \text{Disponibilità} \times \text{Prestazione} \times \text{Qualità} \quad [-]$$

RMS vibrazioni

$$v_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad [\text{mm/s}]$$

Misurare
Osservare
Migliorare!

10 CHECKLIST RAPIDA

- Usa questa lista per diagnosticare problemi e pianificare interventi
- Adattala alla tua macchina o impianto
- Integra ispezioni visive, misure e analisi dei dati

Voce	Cosa verificare	Esempi / Strumenti
☐ Sintomi	Rumori, vibrazioni, temperatura, perdite, gioco anormale	Analisi vibrazioni, termografia, ispezione visiva
☐ Cause possibili	Disallineamento, sbilanciamento, usura, lubrificazione inadeguata	Analisi spettrale, tendenza, storico
☐ Misurazioni	Vibrazioni (RMS, spettro), temperatura, gioco, contaminazione	Accelerometro, termocamera, endoscopio, analisi olio
☐ Lubrificazione	Tipo olio/grass, viscosità, intervalli, contaminazione	Scheda lubrificante, analisi olio, conteggio particelle
☐ Ricambi	Cuscinetti, tenute, giunti, cinghie, filtri	Distinta base, disponibilità, tempi di consegna
☐ Piano di intervento	Priorità, risorse, tempi, verifica post-intervento	Piano lavori, check finale, aggiornamento storico



Prevenire
conviene
sempre!

VIBRAZIONI, TRIBOLOGIA E MANUTENZIONE AIUTANO A RIDURRE GUASTI E COSTI DI FERMO.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

TABELLE RAPIDE DI MATERIALI E PROPRIETÀ TIPICHE

METALLI, POLIMERI, CERAMICI E COMPOSITI A COLPO D'OCCHIO

Nessun materiale è perfetto: conta l'abbinamento giusto!

1 COME LEGGERE UNA TABELLA MATERIALI

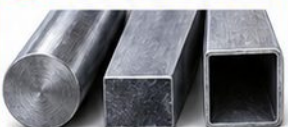
- Le proprietà sono valori tipici e possono variare in base a lega, trattamento e produttore.
- Confronta sempre la condizione di fornitura (grezzo, trattato, temprato, ecc.).
- Considera l'unità di misura e l'ordine di grandezza.
- Usa i dati per una preselezione e verifica con schede tecniche ufficiali (es. EN, ASTM, ISO).

Materiale	Valore	Unità
Resistenza	350	MPa
Modulo E	210	GPa
Densità	7,85	g/cm³

Dati corretti per scelte consapevoli!

2 ACCIAI

Resistenti, versatili, ampiamente usati



Proprietà (valori tipici)	
Modulo di Young, E	200 – 210 GPa
Densità	7,7 – 7,9 g/cm³
Resistenza (R _m)	400 – 1500 MPa



Vantaggi

- Elevata resistenza e tenacità
- Buona lavorabilità
- Ampia disponibilità e costi contenuti



Svantaggi

- Sensibili alla corrosione
- Peso elevato



Usi comuni

- Strutture, organi di macchina, alberi, ingranaggi, utensili

3 ALLUMINIO E LEGHE LEGGERE

Leggerezza, buona resistenza, ottima lavorabilità



Proprietà (valori tipici)	
Modulo di Young, E	69 – 72 GPa
Densità	2,7 g/cm³
Resistenza (R _m)	70 – 600 MPa



Vantaggi

- Bassa densità (leggero)
- Buona resistenza alla corrosione
- Lavorabilità eccellente
- Buona conducibilità termica



Svantaggi

- Resistenza inferiore agli acciai
- Minor rigidità



Usi comuni

- Settore automotive e aerospaziale, strutture leggere, telai, involucri

4 RAME, OTTONE, BRONZO

Eccellente conducibilità e resistenza alla corrosione



Proprietà (valori tipici)	Rame	Ottone	Bronzo
Modulo E (GPa)	110	100	96
Densità (g/cm³)	8,96	8,4	8,8
Resistenza (MPa)	200 – 400	250 – 550	250 – 700



Vantaggi

- Ottima conducibilità elettrica/termica
- Buona resistenza alla corrosione
- Buone proprietà antifrizione (bronzo)



Svantaggi

- Costo più elevato degli acciai
- Minore resistenza meccanica (rame)



Usi comuni

- Componenti elettrici, scambiatori di calore, raccorderia, cuscinetti, valvole

5 GHISE

Buona colabilità, smorzamento delle vibrazioni



Proprietà (valori tipici)	
Modulo E	100 – 170 GPa
Densità	7,0 – 7,4 g/cm³
Resistenza (R _m)	150 – 400 MPa



Vantaggi

- Ottima colabilità
- Buono smorzamento delle vibrazioni
- Buona resistenza all'usura
- Costo contenuto



Svantaggi

- Bassa tenacità (fragilità)
- Limitata resistenza a trazione



Usi comuni

- Basamenti, corpi macchina, blocchi motore, carpenterie pesanti

6 POLIMERI TECNICI

Leggeri, resistenti alla corrosione, diverse proprietà



Proprietà (valori tipici)	PA	POM	PTFE	ABS	PEHD
Densità (g/cm³)	1,13	1,41	2,20	1,05	0,95
Modulo E (GPa)	2,5	2,8	0,5	2,0	0,8
Resistenza (MPa)	70	70	30	40	25
Temp. max (°C)	120	100	260	80	80



Vantaggi

- Bassa densità, resistenza chimica, buone proprietà isolanti, facilità di stampaggio



Svantaggi

- Minore rigidità e resistenza rispetto ai metalli
- Sensibilità alla temperatura (alcuni)



Usi comuni

- Ingranaggi, cuscinetti, guarnizioni, componenti elettrici, parti stampate

7 CERAMICI E VETRI

Altissima durezza, resistenza termica e chimica



Proprietà (valori tipici)	Allumina (Al ₂ O ₃)	Carburo di silicio (SiC)	Vetro (borosilicato)
Modulo E (GPa)	380	410	64
Densità (g/cm³)	3,9	3,2	2,2
Resistenza (MPa)	300 – 500	400 – 600	50 – 150
Temp. max (°C)	1600	1600	500



Vantaggi

- Elevata durezza e resistenza all'usura
- Ottima resistenza a temperature e corrosione
- Stabilità dimensionale



Svantaggi

- Fragilità (bassa tenacità)
- Lavorazioni più complesse e costose



Usi comuni

- Utensili da taglio, isolanti, componenti per alte temperature, finestre e schermi (vetri)

8 COMPOSITI

Elevato rapporto resistenza/peso, prestazioni su misura



Proprietà (valori tipici)	CFRP	GFRP	Sandwich
Densità (g/cm³)	1,5 – 1,6	1,9 – 2,0	0,3 – 0,8
Modulo E (GPa)	70 – 150	20 – 50	5 – 20
Resistenza (MPa)	600 – 2000	300 – 1000	100 – 400



Vantaggi

- Elevata resistenza specifica (leggeri e resistenti)
- Proprietà personalizzabili
- Buona resistenza alla corrosione



Svantaggi

- Costo elevato
- Processi produttivi più complessi
- Difficile riciclo (alcuni)



Usi comuni

- Settore aerospaziale, automotive, nautica, attrezzature sportive, pannelli strutturali

9 CONFRONTO RAPIDO DEI PRINCIPALI MATERIALI

Valori indicativi (● = basso, ●● = medio, ●●● = alto)

Materiale	Densità (peso)	Modulo E (rigidità)	Resistenza meccanica	Resistenza alla corrosione	Lavorabilità	Costo
Acciaio	●●●	●●●	●●●	●	●●	●●
Alluminio	●	●●	●●	●●●	●●●	●●
Rame	●●●	●●	●●	●●●	●●	●●●
Ottone	●●●	●●	●●	●●●	●●	●●●
Bronzo	●●●	●●	●●	●●●	●●	●●●
Ghisa	●●●	●●	●●	●●	●	●
Polimeri tecnici	●	●	●	●●●	●●●	●●
Ceramiche	●●	●●	●●	●●●	●	●●
Compositi	●	●●	●●●	●●	●	●●●

10 CHECKLIST PER LA SCELTA DEL MATERIALE

Valuta tutti i fattori e trova il miglior compromesso

- ☒ **Funzione e requisiti meccanici**
Carichi, rigidità, resistenza, usura, tenacità
- ☒ **Ambiente di utilizzo**
Temperatura, corrosione, agenti chimici, umidità, esterno/interno
- ☒ **Processo produttivo**
Lavorabilità, colabilità, stampaggio, saldabilità, trattamenti termici
- ☒ **Peso e ingombri**
Vincoli di massa, leggerezza, densità
- ☒ **Costo e disponibilità**
Costo del materiale, disponibilità sul mercato
- ☒ **Ciclo di vita e sostenibilità**
Durata, manutenzione, riciclabilità, impatto ambientale
- ☒ **Verifica finale**
Confronta alternative e valida con norme e fornitori



LE PROPRIETÀ TIPICHE AIUTANO A FARE UNA PRESELEZIONE RAPIDA E INTELLIGENTE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Un buon progetto nasce dalle domande giuste!

CHECKLIST DI PROGETTAZIONE MECCANICA

FUNZIONE, CARICHI, MATERIALI, PROCESSI, SICUREZZA E COSTI

1 DEFINIRE LA FUNZIONE DEL COMPONENTE

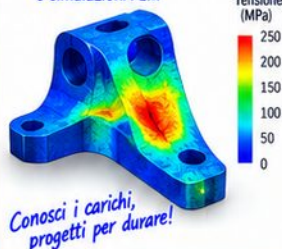
- Qual è lo scopo del componente?
- Quali sono le prestazioni richieste?
- In quale sistema si inserisce?
- Quali sono i requisiti chiave (funzionali, ambientali, normativi)?
- Quali sono i vincoli (spazio, peso, costo, compatibilità)?

Funzione chiara, progetto efficace!



2 CAPIRE CARICHI, VINCOLI E CONDIZIONI DI ESERCIZIO

- Tipologia di carichi: statici, dinamici, ciclici, d'urto
- Entità e direzione dei carichi
- Vincoli e condizioni di montaggio
- Condizioni ambientali: temperatura, corrosione, umidità, polvere
- Vita utile richiesta (ore, cicli)
- Analisi con metodi di calcolo o simulazioni FEM



3 SCEGLIERE MATERIALE E TRATTAMENTI

- Proprietà meccaniche richieste (resistenza, durezza, tenacità)
- Proprietà fisiche (peso, conducibilità, resistenza alla corrosione)
- Disponibilità e costo
- Trattamenti termici e superficiali
- Compatibilità con il processo produttivo
- Considerazioni ambientali e di riciclo



4 VERIFICARE GEOMETRIA, TOLLERANZE E ASSEMBLAGGIO

- Geometria ottimizzata (forma, spessori)
- Tolleranze dimensionali e geometriche (GD&T)
- Stato delle superfici e rugosità
- Accoppiamenti e giochi
- Facilità di assemblaggio e smontaggio
- Intercambiabilità e standardizzazione
- Verifiche con disegni e modelli CAD



5 VALUTARE PROCESSO PRODUTTIVO E CONTROLLABILITÀ

- Scelta del processo (lavorazioni meccaniche, fusione, stampaggio, additive manufacturing, ecc.)
- Tolleranze ottenibili e costi
- Ripetibilità e qualità del processo
- Controlli e collaudi
- Produttività e scala produttiva



6 CONSIDERARE SICUREZZA, FATTORE DI SICUREZZA, NORMATIVE

- Calcolo del fattore di sicurezza
- Verifica di resistenza, fatica e usura
- Rischi per l'utilizzatore (meccanici, termici, chimici)
- Conformità a norme e direttive (UNI, EN, ISO, CE)
- Analisi dei rischi (FMEA)
- Segnalazioni, protezioni e dispositivi di sicurezza



7 CONSIDERARE LUBRIFICAZIONE, MANUTENZIONE E ACCESSIBILITÀ

- Scelta del sistema di lubrificazione (olio, grasso, lubrificazione a vita)
- Intervallo e modalità di manutenzione
- Accessibilità ai punti di servizio
- Monitoraggio stato e usura
- Facilità di smontaggio e sostituzione
- Riduzione dei tempi di fermo macchina



8 STIMARE COSTI, TEMPI, DISPONIBILITÀ E SUPPLY CHAIN

- Stima dei costi di materiale, produzione e assemblaggio
- Analisi tempo di sviluppo e time-to-market
- Disponibilità dei materiali e fornitori
- Rischi di supply chain
- Scalabilità e volumi produttivi
- Analisi costi/benefici e valore per il cliente



9 SOSTENIBILITÀ E CICLO DI VITA

- Riduzione dell'impatto ambientale
- Scelta di materiali a basso impatto
- Efficienza energetica in esercizio
- Riciclabilità e fine vita
- Analisi del ciclo di vita (LCA)
- Durata e riparabilità (economia circolare)
- Conformità a norme ambientali



10 CHECKLIST FINALE E GATE DI SVILUPPO

- Funzione e requisiti definiti
- Carichi, vincoli e condizioni di esercizio analizzati
- Materiale e trattamenti selezionati
- Geometria, tolleranze e assemblaggio verificati
- Processo produttivo e controllabilità definiti
- Sicurezza, fattore di sicurezza e normative rispettati
- Lubrificazione, manutenzione e accessibilità valutate
- Costi, tempi e supply chain stimati
- Sostenibilità e ciclo di vita considerati
- Documentazione completa e pronta per la revisione

Dall'idea al prodotto in modo strutturato!



PROGETTARE BENE SIGNIFICA BILANCIARE PRESTAZIONI, PRODUCIBILITÀ, COSTI E SICUREZZA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

PERCORSO DI STUDIO E SINTESI FINALE

Studiare meglio
vale più che
studiare di più!

COME RIPASSARE, COLLEGARE I TEMI E TRASFORMARE LE NOZIONI IN COMPETENZA

1 VISIONE D'INSIEME DEL MANUALE

Un percorso completo per capire come ogni disciplina si integra nell'ingegneria meccanica.

- Termodinamica
- Trasmissione del calore
- Meccanica dei fluidi
- Elementi di macchine
- Scienza dei materiali
- Metrologia e controlli
- Sicurezza e norme tecniche

Discipline diverse, un'unica grande visione!



2 METODO DI STUDIO EFFICACE

Un metodo semplice ma potente per imparare, capire e ricordare.



LEGGERE

Comprendere i concetti fondamentali.



SCHEMATIZZARE

Riassumere con mappe e tabelle.



ESERCITARSI

Applicare la teoria con esempi e problemi.



RIPASSARE
Con regolarità e richiami attivi.

Piccoli passi ogni giorno, grandi risultati nel tempo!

3 MAPPA DEI COLLEGAMENTI TRA DISCIPLINE

Tutte le discipline sono collegate: la meccanica è un sistema di conoscenze che si rafforzano a vicenda.



Conoscenze che si collegano, soluzioni che prendono forma!

4 DALLE FORMULE AI PROBLEMI REALI

Le formule sono strumenti per interpretare la realtà e risolvere problemi concreti.

- Capire il fenomeno fisico
- Scegliere le formule corrette
- Impostare i dati e le unità
- Risolvere con metodo
- Verificare i risultati
- Interpretare e applicare

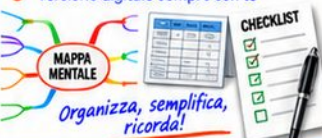


Dalla teoria alla realtà: qui la conoscenza diventa competenza!

5 COME USARE MAPPE, TABELLE E CHECKLIST

Strumenti pratici per studiare in modo più veloce, chiaro e organizzato.

- Mappe mentali per collegare le idee
- Tabelle di sintesi per confronto rapido
- Checklist per non dimenticare nulla
- Schemi riassuntivi per ogni capitolo
- Versione digitale sempre con te



Organizza, semplifica, ricorda!

7 ROADMAP PER L'ESAME

Un percorso in tre fasi per arrivare preparato e sicuro.



Preparazione oggi, risultati domani!



6 ERRORI FREQUENTI NELLO STUDIO TECNICO

Imparare dagli errori ti fa risparmiare tempo e ti rende più efficace.

- Studiare in modo passivo
- Saltare i concetti di base
- Non fare esercizi
- Non collegare le discipline
- Trascurare le unità di misura
- Non verificare i risultati
- Ripassare solo all'ultimo momento



L'errore di oggi è l'esperienza di domani!

8 ROADMAP PER IL LAVORO

Dalla teoria alla pratica: il metodo dell'ingegnere.



Dalla conoscenza all'azione: è qui che fai la differenza!

9 MESSAGGI CHIAVE DEL MANUALE

Cinque pilastri per il tuo futuro da ingegnere.



10 LA TUA CHECKLIST FINALE

Prima di chiudere il manuale, verifica il tuo percorso.

- | | |
|---|---|
| ☒ Ho compreso i concetti fondamentali | ☒ So analizzare e dimensionare componenti |
| ☒ So collegare le diverse discipline | ☒ Interpreto correttamente i risultati |
| ☒ Ho risolto molti esercizi | ☒ Ho una visione d'insieme dell'ingegneria meccanica |
| ☒ So applicare la teoria a problemi reali | ☒ Mi sento pronto per l'esame |
| ☒ Utilizzo mappe, tabelle e checklist | ☒ Ho gli strumenti per affrontare il mondo del lavoro |
| ☒ Conosco gli errori più comuni | ☒ Continuerò ad aggiornarmi e a imparare |

Hai completato un grande percorso. Ora tocca a te: applica, migliora, costruisci il tuo futuro!

CONOSCENZA TECNICA, METODO E VISIONE D'INSIEME TRASFORMANO LO STUDIO IN COMPETENZA REALE.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



GLOSSARIO DI TERMODINAMICA E CALORE

DEFINIZIONI RAPIDE, PAROLE CHIAVE E CONCETTI DA RICORDARE

Capire i termini
accelera lo studio!

1 SISTEMA TERMODINAMICO

- Porzione di materia o regione dello spazio in studio.
- Confine:** superficie reale o immaginaria che lo separa dall'ambiente.
- Ambiente:** tutto ciò che è esterno al sistema.
- Può essere chiuso, aperto o isolato.



2 PROPRIETÀ DI STATO

- Lo **stato** definisce le condizioni del sistema ($p, T, V, \dots$).
- Equilibrio:** proprietà uniformi e costanti nel tempo.
- Variabili intensive:** non dipendono dalla quantità di materia.
- Variabili estensive:** dipendono dalla quantità di materia.

Tipo	Esempi	Dipende dalla massa?
Intensive	T, p, ρ (pressione, densità)	No
Estensive	V, m, U, H, S (volume, massa, energia, entalpia, entropia)	Sì

Le proprietà di stato descrivono completamente il sistema!

3 TEMPERATURA

- Misura dello stato termico di un sistema.
- Due sistemi in equilibrio termico hanno la stessa temperatura.
- Unità:** gradi Celsius ($^{\circ}\text{C}$) o Kelvin (K).
- Relazione tra le scale:

$$T [\text{K}] = t [^{\circ}\text{C}] + 273,15$$



La temperatura misura l'energia cinetica media delle molecole!

4 PRESSIONE

- Forza per unità di area esercitata da un fluido.

$$p = \frac{F}{A} \quad [\text{Pa}]$$

- Pressione assoluta:** riferita al vuoto.
- Pressione relativa (manometrica):** riferita alla pressione atmosferica.
- 1 bar = 10^5 Pa

La pressione agisce in tutte le direzioni allo stesso modo!



5 CALORE Q

- Energia trasferita tra sistemi a causa di una differenza di temperatura.
- Unità:** Joule (J) [$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$].
- Fluisce spontaneamente dal corpo più caldo a quello più freddo.
- Convenzione dei segni:**
 $Q > 0$ se il sistema assorbe calore
 $Q < 0$ se il sistema cede calore.



6 LAVORO W

- Energia trasferita da o verso il sistema tramite una forza che produce uno spostamento.
- Nel contesto termodinamico si considera spesso il lavoro di frontiera (es. pistone).
- Unità:** Joule (J).
- Convenzione dei segni:**
 $W > 0$ se il sistema compie lavoro
 $W < 0$ se il lavoro è compiuto sul sistema.

Il lavoro è energia in movimento!

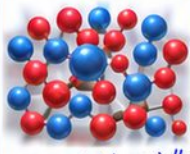


7 ENERGIA INTERNA U ED EN TALPIA H

- Energia interna U:** somma delle energie microscopiche (cinetiche e potenziali) delle particelle.
- Entalpia H:** utile nei processi a pressione costante.

$$H = U + pV$$

- Unità:** Joule (J).
- Sono funzioni di stato.



L'energia interna è l'energia nascosta nel sistema!

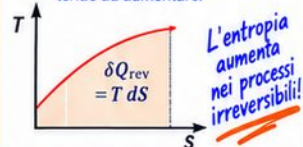
8 ENTROPIA S

- Misura del grado di disordine e della dispersione dell'energia nel sistema.
- Per un processo reversibile:

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

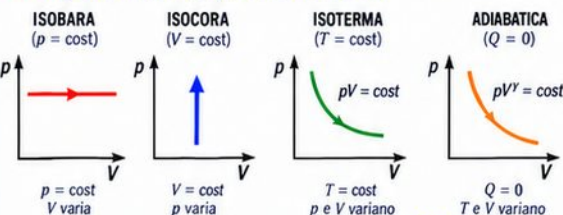
- Variazione di entropia dell'universo:
 $\Delta S_{\text{universo}} \geq 0$

- Unità:** J/K.
- Nei processi reali l'entropia tende ad aumentare.



9 TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

- Isobara** ($p = \text{cost}$): V varia, T varia.
- Isocora** ($V = \text{cost}$): p varia, T varia.
- Isoterma** ($T = \text{cost}$): p e V variano (per gas ideale $pV = \text{cost}$).
- Adiabatica** ($Q = 0$): nessuno scambio di calore.
- Ogni trasformazione segue relazioni specifiche.



Ogni trasformazione ha le sue leggi e i suoi grafici!

10 MACCHINE TERMICHE E SCAMBIO TERMICO

- Macchina termica:** trasforma calore in lavoro (es. motore a combustione).
- Frigorifero:** trasferisce calore da una sorgente fredda a una calda (richiede lavoro).
- Pompa di calore:** come il frigorifero, ma con obiettivo di riscaldare.
- Modalità di scambio termico: conduzione, convezione, irraggiamento.



DA RICORDARE:

- Il calore fluisce dal caldo al freddo
- Le macchine termiche hanno un rendimento < 1
- Il frigorifero richiede lavoro per funzionare
- Esistono tre modalità di scambio termico

Il calore si trasferisce in modi diversi!

IL GLOSSARIO AIUTA A TRASFORMARE DEFINIZIONI E FORMULE IN COMPrensione RAPIDA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GLOSSARIO DI FLUIDI, IDRAULICA E PNEUMATICA

Più chiari i termini,
più chiari gli impianti!

PRESSIONE, PORTATA, MACCHINE A FLUIDO E COMPONENTI DI BASE

1 FLUIDO E DENSITÀ

- Un **fluido** è una sostanza che si deforma continuamente sotto l'azione di una tensione di taglio, senza forma propria.
- La **densità** è la massa per unità di volume:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

- Liquidi:** densità elevata, quasi incompressibili.
- Gas:** densità bassa, facilmente comprimibili.



Stesso stato
fluido,
proprietà
diverse!

2 VISCOSITÀ

- La **viscosità** misura la resistenza di un fluido allo scorrimento.
- Viscosità dinamica:** μ [Pa·s] (o [cP]).
- Viscosità cinematica:**
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$
- Maggiore viscosità significa maggiore attrito interno tra le particelle del fluido.
- Nei **liquidi** la viscosità diminuisce con la temperatura, nei gas aumenta.

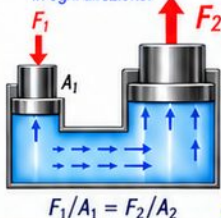


3 PRESSIONE E LEGGE DI PASCAL

- La **pressione** è la forza per unità di area:

$$p = \frac{F}{A} \quad [\text{Pa}]$$

- Pressione assoluta:** riferita al vuoto.
- Pressione relativa (manometrica):** riferita alla pressione atmosferica.
- Legge di Pascal:** una variazione di pressione applicata a un fluido in quiete si trasmette integralmente in ogni direzione.



$$F_1/A_1 = F_2/A_2$$

4 PORTATA

- La **portata** è la quantità di fluido che attraversa una sezione nell'unità di tempo.

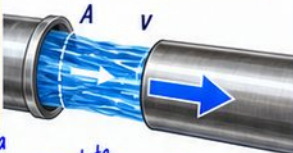
- Portata volumetrica:**

$$Q = A \cdot v \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

(A = area della sezione, v = velocità media)

- Portata massica:**

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad [\text{kg/s}]$$



$$Q = A \cdot v$$

$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

5 BERNOULLI E CONTINUITÀ

- Equazione di continuità** (per fluido incompressibile):

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

- Equazione di Bernoulli** (lungo una linea di corrente):

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z = \text{costante}$$

- L'aumento di velocità si accompagna a una diminuzione di pressione.



Dove il fluido accelera,
la pressione diminuisce!

6 NUMERO DI REYNOLDS

- Il numero di Reynolds indica il regime di moto del fluido:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

- D = diametro caratteristico (es. diametro del tubo).

- Regimi di flusso** (in tubi):

- Re < 2300 → laminare
- 2300 < Re < 4000 → di transizione
- Re > 4000 → turbolento



Il numero di Reynolds
descrive il comportamento del flusso!

7 PERDITE DI CARICO

- Le **perdite di carico** sono diminuzioni di pressione dovute all'attrito e agli ostacoli.
- Perdite distribuite** (lungo le tubazioni): formula di Darcy-Weisbach:

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2}$$

- Perdite localizzate:** dovute a curve, valvole, raccordi, restringimenti.

$$\Delta p = K \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

Ogni raccordo
introduce
una perdita!



Curva Raccordo T Valvola Restringimento

8 POMPE E COMPRESSORI

- Le **pompe** trasferiscono energia a un liquido aumentando la sua pressione (**prevalenza**).
- I **compressori** aumentano la pressione di un gas, riducendone il volume.
- La **prevalenza H** indica l'aumento di energia per unità di peso:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} \quad [\text{m}]$$

Stessa logica:
aumentare la
pressione
del fluido!



POMPA (per liquidi) COMPRESSORE (per gas)

9 ATTUATORI E VALVOLE

- Attuatori idraulici:** cilindri che convertono l'energia del fluido in movimento lineare.
- Attuatori pneumatici:** cilindri che usano aria compressa.
- Valvole:** controllano direzione, pressione e portata.
- Unità di trattamento aria (FRL):** filtro, regolatore, lubrificatore per impianti pneumatici.
- Forza sviluppata da un attuttore:** $F = p \cdot A \quad [\text{N}]$

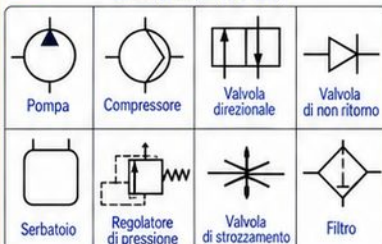
Controllare
i fluidi
significa
controllare
il movimento!



Cilindro idraulico Cilindro pneumatico Valvola direzionale Unità FRL (filtro-regolatore-lubrificatore)

10 SIMBOLI E RICORDA

Simboli principali (ISO 1219)



Cosa verificare in un circuito

- ☒ Tipo di fluido e proprietà
- ☒ Pressione di lavoro
- ☒ Portata richiesta
- ☒ Dimensioni delle tubazioni
- ☒ Perdite di carico
- ☒ Scelta di pompe/compressori
- ☒ Tipo di attuatori
- ☒ Valvole e dispositivi di sicurezza
- ☒ Filtrazione e trattamento fluido
- ☒ Simboli e schema corretto
- ☒ Condizioni di esercizio
- ☒ Manutenzione e controlli

Uno schema chiaro
evita errori e fermi impianto!

IL GLOSSARIO DEI FLUIDI AIUTA A LEGGERE SCHEMI, FORMULE E IMPIANTI CON PIÙ SICUREZZA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GLOSSARIO DI STATICA E RESISTENZA DEI MATERIALI

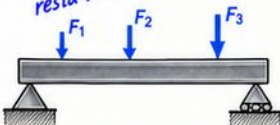
Capire le sollecitazioni vuol dire progettare meglio!

FORZE, TENSIONI, DEFORMAZIONI E COMPORTAMENTO DEI SOLIDI

1 EQUILIBRIO

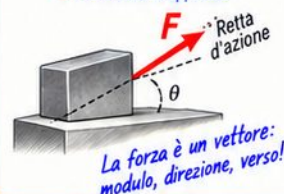
- Un corpo è in equilibrio se la somma delle forze e dei momenti è nulla.
- Equilibrio di traslazione: $\Sigma F = 0$
- Equilibrio di rotazione rispetto a un punto: $\Sigma M = 0$
- Condizioni necessarie (corpi rigidi).

Se non ci sono risultanti, il corpo resta fermo!



2 FORZA

- Grandezza vettoriale che produce un effetto di spinta o trazione.
- Caratterizzata da modulo, direzione, verso e retta d'azione.
- Unità di misura: Newton (N).
- Tipi di forze comuni:
 - Peso (forza di gravità)
 - Reazione vincolare
 - Forza di attrito
 - Forza elastica
 - Forza esterna applicata



3 MOMENTO E COPPIA

- Il momento di una forza misura la tendenza a far ruotare un corpo.
- Formula (braccio perpendicolare): $M = F \cdot d$
- Unità: N·m.
- Una coppia è formata da due forze opposte e parallele che generano solo rotazione.



4 TENSIONE NORMALE σ

- Forza per unità di area agente perpendicolarmente alla sezione.
- Formula: $\sigma = \frac{F}{A}$
- Unità: Pascal (Pa) = N/m².
- $\sigma > 0$: trazione (allunga).
- $\sigma < 0$: compressione (accorcia).



5 TAGLIO τ

- Tensione tangenziale che tende a far scorrere una sezione lungo un piano.
- Formula: $\tau = \frac{V}{A}$
- Dove V è la forza di taglio.
- Unità: Pascal (Pa).
- Esempi: rivetti, bulloni, saldature, travi.



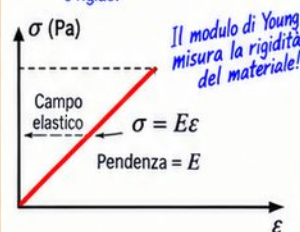
6 DEFORMAZIONE ϵ

- Variazione relativa di lunghezza dovuta a un carico.
- Formula: $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$
- Adimensionale (spesso espressa in $\mu\epsilon = 10^{-6}$).
- Risposta dei materiali:
 - Elastica: la deformazione scompare (reversibile).
 - Plastica: la deformazione resta (permanente).



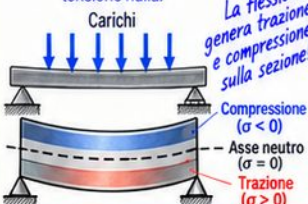
7 LEGGE DI HOOKE E MODULO DI YOUNG

- Nel campo elastico la tensione è proporzionale alla deformazione.
- Legge di Hooke: $\sigma = E \epsilon$
- E è il modulo di Young (modulo di elasticità).
- Unità: Pascal (Pa).
- Più E è alto, più il materiale è rigido.



8 FLESSIONE

- Una trave soggetta a carichi trasversali si flette.
- Il momento flettente genera tensioni di trazione e compressione.
- Formula della tensione normale: $\sigma = \frac{My}{I}$
- M = momento flettente
- y = distanza dall'asse neutro
- I = momento d'inerzia della sezione
- L'asse neutro è la fibra con tensione nulla.



9 TORSIONE

- Un albero soggetto a un momento torcente si deforma per torsione.
- Formula della tensione tangenziale: $\tau = \frac{T r}{J}$
- T = momento torcente (N·m)
- r = distanza dall'asse (m)
- J = momento polare d'inerzia (m⁴)
- L'angolo di torsione è proporzionale al momento applicato: $\phi = \frac{TL}{GJ}$
- G = modulo di taglio, L = lunghezza dell'albero.



10 INSTABILITÀ, FATICA E SICUREZZA

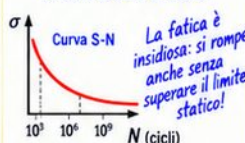
Instabilità (Buckling)

- Nei componenti snelli compressi può verificarsi il fenomeno di instabilità.
- Carico critico di Eulero (per aste snelle): $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$
- Dipende da vincoli, lunghezza e rigidità.



Fatica

- Carichi variabili nel tempo possono causare rottura anche per tensioni inferiori al limite statico.
- Rappresentata con curve S-N (tensione vs cicli).
- Importanti: ampiezza del carico, numero di cicli, dettagli geometrici, concentrazioni di tensione.



Sicurezza

- Si adotta un coefficiente di sicurezza n: $n = \frac{R}{\sigma_{max}}$
- R = resistenza del materiale
- σ_{max} = tensione massima nel componente
- Valori tipici: n = 1,5 - 4 (in funzione dell'applicazione).
- Considerare sempre: carichi reali, difetti, ambiente, temperatura, incertezze.



MECCANICA E RESISTENZA DEI MATERIALI TRASFORMANO CARICHI E VINCOLI IN REGOLE DI PROGETTO.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GLOSSARIO DI ELEMENTI DI MACCHINE E TRASMISSIONI

Ogni componente ha una funzione precisa!

ALBERI, CUSCINETTI, GIUNTI, INGRANAGGI E SISTEMI DI TRASMISSIONE

1 ALBERO E ASSE

Differenze e applicazioni

- L'albero trasmette coppia e movimento rotatorio.
- L'asse sostiene organi in rotazione senza trasmettere coppia.
- Possono essere pieni o cavi, con sezioni diverse.
- Applicazioni: motori, riduttori, ruote, pulegge, ingranaggi.



Albero (trasmette coppia)



Asse (sostiene, non trasmette coppia)

Stessa forma, funzione diversa!

2 CUSCINETTI

Volventi e radenti

- I cuscinetti riducono l'attrito tra parti in movimento.
- **Volventi:** sfere o rulli, basso attrito, alte velocità.
- **Radenti:** strato di lubrificante, adatti a carichi elevati e basse velocità.
- Applicazioni: alberi, ruote, motori, turbine.



Cuscinetto volvente a sfere

Cuscinetto radente a bronzina

Meno attrito, più durata!

3 INGRANAGGI

Tipi e funzionamento

- Gli ingranaggi trasmettono il moto tra alberi tramite il contatto dei denti.
- **Tipi:** cilindrici, conici, elicoidali, a vite senza fine.
- Servono a variare velocità, coppia e direzione del moto.
- Applicazioni: riduttori, trasmissioni, differenziali.



Ingranaggi cilindrici

Ingranaggi conici

Ingranaggi elicoidali

Vite senza fine

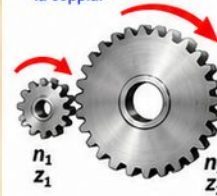
1 dente trasmettono precisione e potenza!

4 RAPPORTO DI TRASMISSIONE

- Il rapporto di trasmissione i è il rapporto tra velocità angolari (o numeri di denti).
- Permette di aumentare o ridurre velocità e coppia.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

- Se $i > 1$: si riduce la velocità e si aumenta la coppia.
- Se $i < 1$: si aumenta la velocità e si riduce la coppia.



Più denti, più coppia!

5 COPPIA, POTENZA E RENDIMENTO

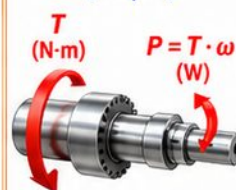
- La coppia T misura la tendenza a far ruotare un albero.
- La potenza meccanica è:

$$P = T \cdot \omega$$

Unità: T [N·m], P [W]

- Il rendimento η è il rapporto tra potenza utile e potenza in ingresso.

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{ingresso}}} \quad (0 < \eta < 1)$$



Più potenza, più lavoro utile!

6 GIUNTI E INNESTI

Collegare alberi in sicurezza

- I giunti collegano due alberi per trasmettere il moto e la coppia.
- **Tipi:** rigidi, elastici, flessibili, a denti, a dischi.
- Gli innesti (frizioni) permettono di collegare e scollegare il moto.
- Assorbono disallineamenti, vibrazioni e urti.



Giunto rigido

Giunto elastico



Giunto a lamelle

Frizione/innesto

Uniscono movimenti e superano le differenze!

7 MOLLE

Elastica e affidabilità

- Le molle immagazzinano energia elastica e si deformano sotto carico.
- Legge di Hooke:

$$F = k \cdot \Delta x$$

- **Tipi:** a compressione, a trazione, a torsione.
- Applicazioni: sospensioni, valvole, ammortizzatori, ritorno in posizione.



Molla a compressione

Molla a trazione

Molla a torsione



Piccole forze, grandi effetti!

8 VITI, BULLONI E FILETTI

Fissaggio e sicurezza

- Le viti e i bulloni realizzano collegamenti smontabili.
- Il filetto trasforma il moto rotatorio in moto lineare.
- Il precarico aumenta la resistenza del giunto.
- **Tipi:** metrici, a passo fine, a passo grosso, speciali.
- Applicazioni: strutture, flange, carter, macchine.



Bullone e dado

Profilo del filetto



Un serraggio corretto evita problemi!

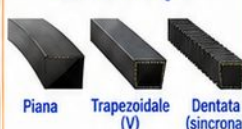
9 CINGHIE E PULEGGE

Trasmissione per attrito

- Le cinghie trasmettono il moto per attrito tra pulegge.
- **Tipi:** piane, trapezoidali (V), dentate (sincrone), scanalate.
- Vantaggi: semplici, silenziose, economiche, assorbono urti.
- Svantaggi: possibile slittamento, minore precisione rispetto a catene o ingranaggi.



Trasmissione a cinghia



Piana

Trapezoidale (V)

Dentata (sincrona)

Flessibili, silenziose e affidabili!

10 CATENE E PIGNONI

Trasmissione positiva

- Le catene trasmettono il moto per ingranamento tra maglie e pignoni.
- **Tipi:** a rulli, a bussola, silenziose, speciali.
- Vantaggi: nessuno slittamento, alte coppie, robuste.
- Svantaggi: rumorose, richiedono lubrificazione e manutenzione.



Catena e pignoni

- MANUTENZIONE:**
- ✓ Lubrificare periodicamente
 - ✓ Controllare usura e allungamento
 - ✓ Tenere corretta la tensione
 - ✓ Allineare i pignoni
 - ✓ Sostituire se danneggiata

Una catena ben curata dura più a lungo!

GLI ELEMENTI DI MACCHINE COLLEGANO MOTORI, CARICHI E MOVIMENTO IN MODO AFFIDABILE.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GLOSSARIO DI PROCESSI DI FABBRICAZIONE

Sapere come si produce aiuta a progettare bene!

LAVORAZIONI, GIUNZIONI, FORMATURA E PRODUZIONE MODERNA

1 LAVORABILITÀ E TOLLERANZE DI PROCESSO

- **Lavorabilità:** attitudine di un materiale a essere lavorato con un dato processo.
- Dipende da materiale, parametri di taglio e utensile.
- **Tolleranze:** intervalli ammessi di variazione dimensionale.
- Influiscono su costo, tempo e qualità del pezzo.



La precisione ha un costo: scegli la tolleranza giusta!

2 TORNITURA

- Lavorazione per asportazione di truciolo con pezzo in rotazione e utensile fisso.
- Ideale per pezzi cilindrici.
- **Operazioni:** spianatura, sfacciatura, tornitura esterna e interna, scanalature.
- **Parametri principali:** velocità di taglio, avanzamento, profondità di passata.



Il tornio crea forme cilindriche con alta precisione!

3 FRESATURA

- Lavorazione per asportazione di truciolo con utensile rotante a più taglienti.
- Usata per superfici piane, cave, spallamenti e profili complessi.
- Può essere orizzontale o verticale (CNC).
- **Parametri:** velocità di taglio, avanzamento, profondità di taglio.



La fresatura realizza forme complesse e precise!

4 FORATURA E ALESATURA

- **Foratura:** realizzazione di fori con punta elicoidale.
- **Alesatura:** finitura del foro per migliorare precisione e rugosità. Si usano punte, alesatori e utensili speciali.
- **Parametri:** velocità di taglio, avanzamento, refrigerazione.



Dal foro grezzo al foro preciso!

5 FILETTATURA

- Realizzazione di filetti interni o esterni.
- Può essere eseguita per tornitura, maschiatura o rullatura.
- **Parametri:** passo, profilo, diametro, tolleranza.
- Il filetto serve per unire componenti e trasmettere sforzi.



Il filetto unisce e trasmette forza!

6 RETTIFICA

- Lavorazione di finitura per asportazione di truciolo con mola abrasiva.
- Permette di ottenere alta precisione dimensionale e bassa rugosità.
- Usata per superfici piane, cilindriche, coniche.
- **Tipi:** rettifica tangenziale, cilindrica, interna.



La rettifica dà la finitura finale e la massima precisione!

7 SALDATURA

- Processo di giunzione permanente che unisce materiali con calore e/o pressione.
- **Metodi comuni:** ad arco elettrico (MMA, MIG/MAG, TIG), a resistenza, a laser.
- Crea una zona termicamente alterata (ZTA) con possibili tensioni residue.
- Usata in strutture, tubazioni, carpenterie e componenti meccanici.



La saldatura unisce i metalli creando nuove possibilità!

8 FUSIONE

- Processo di formatura in cui il materiale fuso viene colato in uno stampo.
- Adatta a forme complesse e grandi dimensioni.
- **Tipi:** in sabbia, in conchiglia, a cera persa (microfusione), a pressione.
- Si considera il ritiro di solidificazione.



Dalla forma liquida alla forma definitiva!

9 FORMATURA E DEFORMAZIONE PLASTICA

- Processi che deformano plasticamente il materiale senza asportare truciolo.
- **Principali tecniche:** forgiatura, laminazione, stampaggio, estrusione, piegatura, trafilatura.
- Adatti alla produzione in serie.
- **Vantaggi:** buone proprietà meccaniche, assenza di truciolo.



Deformazione per compressione

Riduzione di spessore tra rulli

Formatura di lamiera con stampo

Deformare il materiale per dare forma e resistenza!

10 ADDITIVE MANUFACTURING (STAMPA 3D)

- Produzione di componenti per aggiunta di materiale, strato dopo strato, da modello digitale.
- **Tecnologie:** FDM (polimeri), SLM/DMLS (metalli), SLA (resine).
- Adatta a geometrie complesse, prototipi e piccole serie.
- **Vantaggi:** libertà di forma, personalizzazione, meno sprechi.
- **Limiti:** proprietà meccaniche inferiori, tempi e costi per grandi serie, finitura superficiale da migliorare.



Strato dopo strato, nuove possibilità!

VANTAGGI

- ✓ Geometrie complesse
- ✓ Personalizzazione
- ✓ Rapidità di prototipazione
- ✓ Riduzione degli sprechi

LIMITI

- ✗ Proprietà meccaniche inferiori
- ✗ Tempi lunghi per grandi serie
- ✗ Finitura superficiale
- ✗ Costi ancora elevati



I PROCESSI DI FABBRICAZIONE DETERMINANO COSTI, QUALITÀ, TEMPI E FORMA FINALE DEI COMPONENTI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GLOSSARIO DI MANUTENZIONE, VIBRAZIONI E TRIBOLOGIA

AFFIDABILITÀ, DEGRADO, LUBRIFICAZIONE E MONITORAGGIO

*Prevenire i guasti
conviene sempre!*

1 MANUTENZIONE PREVENTIVA

Interventi pianificati per ridurre la probabilità di guasto.

- Basata su tempo, cicli o uso
- Sostituzioni e ispezioni programmate
- Mantiene l'efficienza
- Riduce i fermi imprevisti
- Allunga la vita utile



2 MANUTENZIONE PREDITTIVA

Basata sul monitoraggio delle condizioni reali della macchina.

- Analisi vibrazioni, temperatura, olio, ultrasuoni, correnti ecc.
- Rileva degrado precoce
- Permette di intervenire al momento giusto
- Riduce costi e fermi non pianificati
- Aumenta l'affidabilità



3 MANUTENZIONE CORRETTIVA

Intervento dopo il guasto per ripristinare la funzionalità.

- Non pianificata
- Può essere di emergenza
- Comporta tempi e costi più elevati
- Da ridurre al minimo grazie alla manutenzione preventiva e predittiva



4 VIBRAZIONE

Movimento oscillatorio attorno ad una posizione di equilibrio.

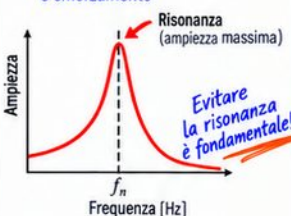
- **Ampiezza A:** spostamento massimo
- **Frequenza f:** cicli al secondo [Hz]
- **Valore efficace (RMS):** misura l'energia della vibrazione



5 RISONANZA E FREQUENZA NATURALE

La risonanza si verifica quando la frequenza di eccitazione coincide con la frequenza naturale del sistema.

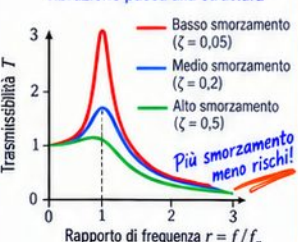
- Grandi ampiezze di vibrazione
- Può causare danni gravi
- Evitare di operare vicino alla frequenza naturale
- Modificare massa, rigidezza o smorzamento



6 SMORZAMENTO

Lo smorzamento riduce l'ampiezza delle vibrazioni e limita gli effetti della risonanza.

- Dissipa l'energia del sistema
- Può essere viscoso, strutturale o per attrito
- La **trasmissibilità T** indica quanta vibrazione passa alla struttura



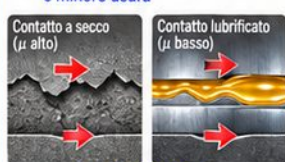
7 ATTRITO

Resistenza al moto relativo tra due superfici a contatto.

- Coefficiente di attrito:

$$\mu = \frac{F}{N}$$

- Attrito radente (sliding)
- Attrito volvente (rolling)
- Minore attrito = minori perdite e minore usura



La lubrificazione riduce drasticamente l'attrito!

8 USURA

Perdita progressiva di materiale dovuta al contatto e al movimento.

- **Usura adesiva:** micro-saldature e distacco di materiale
- **Usura abrasiva:** causata da particelle dure tra le superfici
- **Usura a fatica:** da carichi ciclici
- **Usura corrosiva:** effetto chimico e meccanico

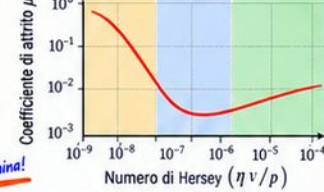


Riconoscere l'usura aiuta a prevenire i guasti!

9 LUBRIFICAZIONE

La lubrificazione riduce l'attrito, l'usura e la temperatura, proteggendo le superfici.

- **Lubrificanti:** oli (bassa viscosità) e grassi (alta viscosità)
- Forma un film lubrificante tra le superfici
- **Regimi:** lubrificazione limite, mista, idrodinamica
- La **curva di Stribeck** descrive il coefficiente di attrito in funzione del regime di lubrificazione



10 KPI DI AFFIDABILITÀ

Indicatori chiave per misurare la disponibilità e l'efficienza degli impianti.

- **MTBF** (Mean Time Between Failures): tempo medio tra i guasti
- **MTTR** (Mean Time To Repair): tempo medio di riparazione
- **Availability (A):** disponibilità dell'impianto
- **OEE** (Overall Equipment Effectiveness): efficienza complessiva
- Utili per confrontare, migliorare e pianificare la manutenzione

$$MTBF = \frac{\text{Tempo di funzionamento}}{\text{Numero di guasti}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tempo di riparazione}}{\text{Numero di guasti}}$$

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$OEE = \text{Disponibilità} \times \text{Prestazione} \times \text{Qualità}$$

Misurare per migliorare ogni giorno!

Indicatore	Sigla	Significato tipico
Tempo medio tra i guasti	MTBF	Ore
Tempo medio di riparazione	MTTR	Ore
Disponibilità	A	%
Efficienza globale impianto	OEE	%

MANUTENZIONE E TRIBOLOGIA RIDUCONO FERMI, COSTI E RISCHI DI GUASTO.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



GLOSSARIO DI SCIENZA DEI MATERIALI

*Materiale giusto,
progetto migliore!*

STRUTTURA, PROPRIETÀ, TRATTAMENTI E COMPORTAMENTO DEI MATERIALI

1 LEGAMI ATOMICI

Le forze che tengono uniti gli atomi e determinano le proprietà dei materiali.

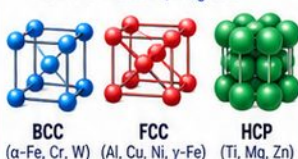
- **Legame metallico:** elettroni delocalizzati, alta conducibilità e duttilità.
- **Legame ionico:** attrazione tra ioni di carica opposta, materiali duri e fragili.
- **Legame covalente:** condivisione di elettroni, legami forti e direzionali.



2 STRUTTURA CRISTALLINA

Disposizione periodica degli atomi nello spazio. Le strutture più comuni nei metalli sono:

- **BCC** (cubica a corpo centrato): più resistente, meno densa.
- **FCC** (cubica a facce centrate): più duttile, molto diffusa.
- **HCP** (esagonale compatta): comune in titanio, magnesio.



La struttura cristallina influenza le proprietà!

3 DIFETTI CRISTALLINI

Imperfezioni nella disposizione atomica che influenzano le proprietà meccaniche, elettriche e la diffusione.

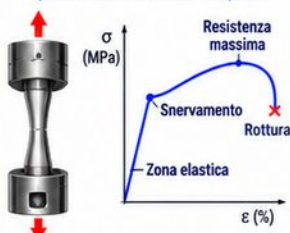
- **Vacanze:** atomi mancanti.
- **Dislocazioni:** difetti lineari che permettono la deformazione.
- **Bordi di grano:** interfacce tra cristalli di orientamento diverso.



4 PROPRIETÀ MECCANICHE

Risposta del materiale alle sollecitazioni esterne.

- **Resistenza:** capacità di sopportare un carico senza rompersi.
- **Rigidità:** resistenza alla deformazione elastica (modulo E).
- **Duttilità:** capacità di deformarsi plasticamente senza rompersi.



5 DUREZZA, TENACITÀ E RESILIENZA

Proprietà diverse, tutte importanti per la progettazione.

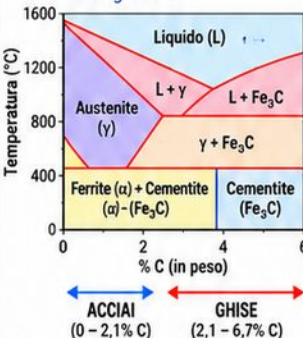
- **Durezza:** resistenza alla penetrazione o al graffio (es. prova Brinell, Vickers).
- **Tenacità:** capacità di assorbire energia prima della rottura.
- **Resilienza:** capacità di assorbire energia in campo elastico (urti).



Durezza resiste, tenacità assorbe, resilienza protegge dagli urti!

6 DIAGRAMMA FERRO-CARBONIO

Mostra le fasi, le microstrutture e le temperature di trasformazione delle leghe Fe-C.



La composizione determina la microstruttura e le proprietà!

7 TRATTAMENTI TERMICI

Processi che modificano la microstruttura e le proprietà dei materiali metallici.

- **Tempra:** riscaldamento e raffreddamento rapido. Aumenta la durezza.
- **Rinvenimento:** riscaldamento dopo la tempra. Riduce le tensioni e aumenta la tenacità.
- **Ricottura:** riscaldamento e raffreddamento lento. Ammorbidente e aumenta la duttilità.
- **Normalizzazione:** riscaldamento e raffreddamento in aria. Affina il grano e uniforma la struttura.



Il trattamento termico trasforma il materiale!

8 CORROSIONE

Degradazione del materiale dovuta a reazioni chimiche o elettrochimiche con l'ambiente.

- **Corrosione uniforme:** attacco generalizzato sulla superficie.
- **Corrosione galvanica:** tra metalli diversi in contatto.
- **Protezione:** rivestimenti, anodi sacrificali, vernici, protezione catodica.



Prevenire la corrosione aumenta la vita utile!

9 POLIMERI, CERAMICHE COMPOSITI

Tre grandi famiglie di materiali con caratteristiche differenti.

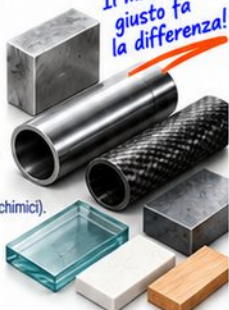
POLIMERI	CERAMICHE	COMPOSITI
● Bassa densità ● Buona resistenza chimica ● Isolanti elettrici ● Temperatura limitata ● Esempi: PE, PP, PVC, PET	● Alta durezza ● Alta resistenza a temperatura ● Fragili ● Ottima resistenza all'usura e alla corrosione ● Esempi: Al_2O_3, SiC, Si_3N_4	● Combinano proprietà diverse ● Alto rapporto resistenza/peso ● Personalizzabili ● Esempi: fibra di carbonio, fibra di vetro, matrice polimerica
Leggeri e versatili	Duri e stabili	Più forti insieme

10 SCELTA DEL MATERIALE

La scelta dipende dai requisiti tecnici, economici e ambientali del progetto. Valuta sempre un compromesso!

PRESTAZIONI	Resistenza, rigidità, durezza, temperatura di esercizio.
COSTO	Costo del materiale e di lavorazione. Disponibilità sul mercato.
PESO	Densità e leggerezza. Importante in trasporti e aerospaziale.
AMBIENTE	Resistenza alla corrosione. Condizioni di esercizio (umidità, agenti chimici). Impatto ambientale e riciclabilità.
ALTRE CONSIDERAZIONI	Lavorabilità, saldabilità, estetica, norme e sicurezza.

Il materiale giusto fa la differenza!



LA SCIENZA DEI MATERIALI COLLEGA MICROSTRUTTURA, PROCESSO E PRESTAZIONE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

GLOSSARIO DI METROLOGIA, QUALITÀ E SICUREZZA

MISURA, CONTROLLO, TOLLERANZE, NORME E PROTEZIONE

Misurare bene
vuol dire decidere meglio!

1 MISURA

Grandezza misurabile

- Attribuisce un valore numerico ad una grandezza fisica.
- Unità di misura SI (m, kg, s, A, K, mol, cd).
- Tracciabilità: collegamento con campioni nazionali o internazionali.
- Incertezza di misura: intervallo di valori entro cui si trova il valore reale.



La misura rende oggettive le decisioni!

2 ACCURATEZZA E PRECISIONE

Due concetti diversi

- Accuratezza:** quanto il valore misurato è vicino al valore vero.
- Precisione:** quanto le misure sono ripetibili tra loro.

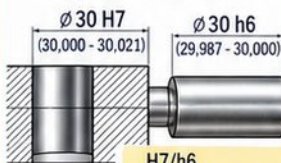


Precisione ripete, accuratezza centra il bersaglio!

3 TOLLERANZE E ACCOPPIAMENTI

Limiti dimensionali e giochi

- Tolleranza:** intervallo entro cui deve rientrare la misura.
- Accoppiamenti:** gioco, transizione o interferenza tra albero e foro.
- Classi di tolleranza:** es. H7, h6.
- Indicazioni su disegno tecnico con quotatura e simboli.



H7/h6

- Gioco: H7/g6
- Transizione: H7/k6
- Interferenza: H7/p6

Le tolleranze assicurano funzionamento e intercambiabilità!

4 CALIBRO

Strumento di misura lineare

- Usato per misure esterne, interne e di profondità.
- Parti principali: becchi, corsoio, asta di profondità, scala.
- Letture analogica o digitale.
- Risoluzione tipica: 0,02 mm (analogico) o 0,01 mm (digitale).



USI COMUNI

- ✓ Diametri esterni
- ✓ Diametri interni
- ✓ Profondità
- ✓ Gradini e lunghezze

Uno strumento semplice, grandi risultati!

5 MICROMETRO E COMPARATORE

Misure precise e controlli di forma

- Micrometro:** alta precisione (0,01 o 0,001 mm), per misure esterne.
- Comparatore:** misura differenze, planarità, concentricità.
- Usati nei controlli dimensionali e di forma.

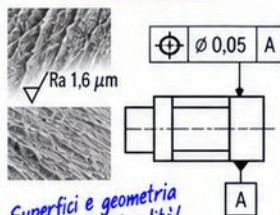


Piccole differenze, grande qualità!

6 RUGOSITÀ E GD&T

Finitura e tolleranze geometriche

- Rugosità:** irregolarità della superficie (es. Ra in µm).
- GD&T:** tolleranze geometriche di forma, orientamento e posizione.
- Simboli principali:** planarità, perpendicolarità, parallelismo, concentricità, posizione.

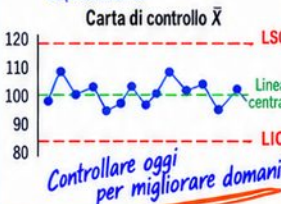


Superfici e geometria danno funzionalità!

7 CONTROLLO QUALITÀ E SPC

Dai dati al miglioramento

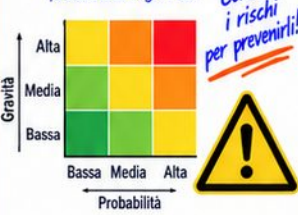
- Controllo qualità:** verifica che il prodotto rispetti i requisiti.
- SPC (Statistical Process Control):** analisi statistica della variazione di processo.
- Carte di controllo:** monitorano la stabilità (es. $\bar{X}$ -R).
- Campionamento:** controlli su lotti di produzione.



8 RISCHIO E VALUTAZIONE

Pericoli, probabilità e gravità

- Pericolo:** fonte potenziale di danno.
- Rischio:** combinazione di probabilità e gravità.
- Valutazione:** analisi e misure di riduzione.
- Matrice del rischio:** probabilità x gravità.



9 DPI E PROTEZIONI

La sicurezza prima di tutto

- DPI:** dispositivi di protezione individuale (casco, occhiali, guanti, calzature, ecc.).
- Protezioni:** ripari, carter, barriere, funghi di emergenza.
- Obiettivo:** ridurre il rischio e prevenire infortuni.



Proteggiti oggi per un domani migliore!

10 LOTO, NORME E BUONE PRATICHE

Procedure, standard e comportamento sicuro

- LOTO (Lockout-Tagout):** isolamento delle fonti di energia durante manutenzione.
- Norme:** ISO, UNI, EN e marcatura CE.
- Buone pratiche:** procedure, formazione e cultura della sicurezza.
- Documentazione:** manuali, istruzioni, registrazioni.



CHECKLIST BUONE PRATICHE

- ✓ Isolare le fonti di energia (LOTO)
- ✓ Verificare l'assenza di energia residua
- ✓ Utilizzare i DPI corretti
- ✓ Seguire procedure e istruzioni
- ✓ Rispettare le norme (ISO, UNI, EN, CE)
- ✓ Formare e informare il personale
- ✓ Mantenere ordine e pulizia
- ✓ Segnalare situazioni di pericolo
- ✓ Migliorare continuamente

Regole, formazione, consapevolezza: la sicurezza è un valore condiviso!



METROLOGIA, QUALITÀ E SICUREZZA CREANO PROCESSI PIÙ AFFIDABILI E AMBIENTI DI LAVORO PIÙ SICURI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

TAVOLA SINOTTICA DELLE FORMULE PRINCIPALI

MECCANICA, TERMODINAMICA, FLUIDI, MATERIALI, VIBRAZIONI E MANUTENZIONE

Formule chiare,
ragionamento
più veloce!

1 GRANDEZZE E UNITÀ BASE

Definizioni fondamentali e unità di misura SI

$$p = \frac{F}{A}$$

p = pressione [Pa]
 F = forza [N]
 A = area [m²]

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ = densità [kg/m³]
 m = massa [kg]
 V = volume [m³]

$$v = \frac{s}{t}$$

v = velocità [m/s]
 s = spazio [m]
 t = tempo [s]

Grandezza	Simbolo	Unità SI
Forza	F	newton (N)
Massa	m	kilogrammo (kg)
Lunghezza	L	metro (m)
Tempo	t	secondo (s)
Pressione	p	pascal (Pa)
Densità	ρ	kg/m ³

2 CINEMATICA E DINAMICA

Moto e forze

$$F = ma$$

F = forza [N]
 m = massa [kg]
 a = accelerazione [m/s²]

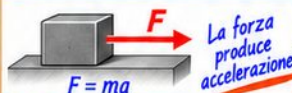
$$p = mv$$

p = quantità di moto [kg·m/s]
 v = velocità [m/s]

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

E_c = energia cinetica [J]

Altre formule utili	
$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	(m)
$v = v_0 + at$	(m/s)
$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$	(N)
$L = r \times p$	(momento angolare)



3 RESISTENZA DEI MATERIALI

Tensioni, deformazioni e flessione

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ = tensione normale [Pa]
 F = forza assiale [N]
 A = area [m²]

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

ε = deformazione [-]
 ΔL = variazione lunghezza [m]
 L_0 = lunghezza iniziale [m]

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

τ = tensione di taglio [Pa]
 T = momento torcente [N·m]
 r = raggio [m]
 J = momento polare [m⁴]

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

M = momento flettente [N·m]
 y = distanza dall'asse [m]
 I = momento d'inerzia [m⁴]



4 TERMODINAMICA

Primo principio e rendimento

$$\Delta U = Q - W$$

ΔU = energia interna [J]
 Q = calore scambiato [J]
 W = lavoro [J]

$$H = U + pV$$

H = entalpia [J]
 p = pressione [Pa]
 V = volume [m³]

$$\eta = \frac{W}{Q_H}$$

η = rendimento [-]
 Q_H = calore fornito [J]

Processi importanti	
Isobaro	$Q = nC_p \Delta T$
Isocoro	$Q = nC_v \Delta T$
Gas ideale	$pV = nRT$
Trasformazione	$\Delta U = nC_v \Delta T$
Rendimento	$\eta = \frac{W}{Q_H}$



5 CALORE

Conduzione, convezione, irraggiamento

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

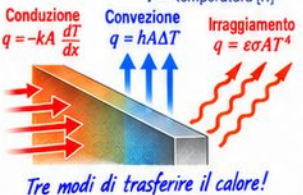
q = flusso termico [W]
 k = conducibilità [W/mK]
 A = area [m²]
 ΔT = differenza di temperatura [K]

$$q = hA \Delta T$$

h = coeff. di convezione [W/m²K]
 ΔT = differenza di temperatura [K]

$$q = \varepsilon \sigma AT^4$$

ε = emissività [-]
 σ = costante di Stefan-Boltzmann 5,67 · 10⁻⁸ [W/m²K⁴]
 T = temperatura [K]



6 FLUIDI

Portata, equazione di Bernoulli

$$Q = Av$$

Q = portata volumetrica [m³/s]
 A = area [m²]
 v = velocità [m/s]

$$\dot{m} = \rho Q$$

$\dot{m}$ = portata massica [kg/s]
 ρ = densità [kg/m³]

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Re = numero di Reynolds [-]
 D = diametro caratteristico [m]
 μ = viscosità dinamica [Pa·s]

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z = \text{cost.}$$

p = pressione [Pa]
 g = 9,81 m/s²
 z = quota [m]



7 IDRAULICA E PNEUMATICA

Pressione, prevalenza e potenza

$$F = pA$$

F = forza [N]
 p = pressione [Pa]
 A = area [m²]

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

H = prevalenza [m]
 Δp = differenza di pressione [Pa]
 ρ = densità del fluido [kg/m³]

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

g = 9,81 m/s²
 Q = portata [m³/s]
 P = potenza idraulica [W]
 η = rendimento [-]



8 VIBRAZIONI

Sistemi a un grado di libertà

$$\omega = 2\pi f$$

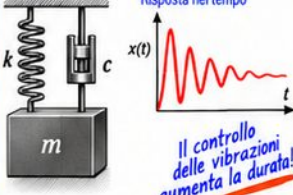
ω = pulsazione [rad/s]
 f = frequenza [Hz]

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

f_n = frequenza naturale [Hz]
 k = rigidità [N/m]
 m = massa [kg]

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

ζ = coeff. di smorzamento [-]
 c = coeff. di smorzamento [N·s/m]



9 TRIBOLOGIA E AFFIDABILITÀ

Attrito, usura e disponibilità

$$F = \mu N$$

F = forza d'attrito [N]
 μ = coeff. d'attrito [-]
 N = forza normale [N]

$$PV = pv$$

P = pressione di contatto [Pa]
 v = velocità relativa [m/s]

$$MTBF = \text{tempo medio di buon funzionamento}$$

$MTBF$ = mean time between failures

$$MTTR = \text{tempo medio di riparazione}$$

$MTTR$ = mean time to repair

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

A = disponibilità [-]



10 PROGETTAZIONE RAPIDA

Checklist per calcoli e verifiche

- 1 Definisci il problema e le ipotesi
- 2 Identifica le grandezze e i simboli
- 3 Scegli le formule appropriate
- 4 Verifica le unità di misura
- 5 Disegna uno schema semplificato
- 6 Inserisci i dati e calcola
- 7 Applica il fattore di sicurezza
- 8 Controlla tolleranze e normative
- 9 Verifica la coerenza dei risultati
- 10 Documenta e annota le conclusioni

Simboli e costanti utili	
g	9,81 m/s ²
R	8,314 J/mol·K
σ	5,67 · 10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴
π	3,1416
E	modulo elastico [Pa]
ν	coeff. di Poisson [-]
c	velocità luce 3 · 10 ⁸ m/s
$R_{specifica}$	287 J/kg·K (aria)

Fattori di sicurezza tipici	
Componenti statici	1,5 – 3
Componenti dinamici	2 – 5
Recipienti in pressione	3 – 6
Strutture	1,5 – 4

Tolleranze tipiche	
Lavorazioni generali	±0,1 – 0,5 mm
Accoppiamenti	±0,01 – 0,1 mm
Fillettature	ISO classe media
Stato superficiale	Ra 0,8 – 3,2 μm

Un buon progetto nasce da metodo, verifica e buon senso!

INDICE GENERALE E MAPPA FINALE DEL MANUALE

Tutto collegato,
tutto più chiaro!

COME ORIENTARSI TRA LE DISCIPLINE E USARE IL MANUALE IN MODO STRATEGICO

1 VISIONE D'INSIEME

Cosa trovi in questo manuale

- Tutte le principali discipline dell'ingegneria meccanica
- Spiegazioni chiare e sintetiche
- Mappe mentali, schemi e tabelle
- Esempi pratici ed esercizi
- Collegamenti tra teoria e realtà
- Un percorso completo dallo studio all'applicazione



Un unico manuale,
tante competenze!

2 AREA MECCANICA

Statica, dinamica e resistenza

- Disegno tecnico e lettura quote
- Statica dei corpi e strutture
- Dinamica del moto
- Resistenza dei materiali
- Sollecitazioni e deformazioni
- Cinematica e meccanismi



Le basi
per capire,
progettare
e costruire!

3 AREA TERMICA

Termodinamica, calore e macchine

- Proprietà dei fluidi termodinamici
- Primo e secondo principio
- Cicli termodinamici
- Trasmissione del calore
- Macchine termiche
- Motori, turbine e compressori
- Refrigerazione e climatizzazione



Energia
trasforma
il futuro!

4 AREA FLUIDI E IMPIANTI

Fluidi, impianti e sistemi

- Meccanica dei fluidi
- Condotte e perdite di carico
- Sistemi idraulici
- Sistemi pneumatici
- Refrigerazione e climatizzazione
- Componenti e circuiti
- Analisi e dimensionamento



Dai fluidi
l'energia
in movimento!

5 AREA PROGETTAZIONE

Dagli elementi alle macchine

- Elementi di macchine
- Ingranaggi e trasmissioni
- Alberi, giunti e collegamenti
- Molle e organi elastici
- Progettazione e calcoli
- Processi di fabbricazione
- Tolleranze e quotature



Dall'idea
al componente
reale!

LA MAPPA DELLE DISCIPLINE

TUTTO È COLLEGATO!



Diverse discipline,
un unico obiettivo:
UN MONDO
MIGLIORE!

6 AREA MATERIALI E CONTROLLI

Materiali, misure e qualità

- Proprietà e trattamenti dei materiali
- Scienza dei materiali
- Metrologia e strumenti di misura
- Controllo e collaudo
- Qualità e norme tecniche
- Analisi dei guasti



Misurare,
controllare,
garantire la qualità!

8 COME CONSULTARE IL MANUALE

Strategie per uno studio efficace

- Percorso di studio guidato
- Ricerca rapida per argomento
- Mappe mentali e riepiloghi
- Formule e tabelle pronte all'uso
- Glossario tecnico visivo
- Checklist ed esercizi
- Versione digitale sempre con te

Trova subito
quello che ti serve!



Conoscenza, metodo e pratica
danno forma alle tue idee!
L'ingegneria meccanica unisce tutto.

7 AREA AFFIDABILITÀ E SICUREZZA

Manutenzione e normative

- Manutenzione preventiva e predittiva
- Tribologia e lubrificazione
- Vibrazioni meccaniche
- Norme tecniche e sicurezza
- Analisi dei rischi e affidabilità
- Gestione del ciclo di vita



Sistemi sicuri,
macchine più affidabili!

9 DALLA TEORIA ALLA PRATICA

Un metodo in 5 passi



Dalla teoria
alla realtà, un unico percorso!

10 CHECKLIST FINALE

Cosa devi sapere e saper fare ora

- ☒ Comprendere i concetti fondamentali di tutte le discipline
- ☒ Collegare le conoscenze tra i diversi argomenti
- ☒ Risolvere esercizi e problemi reali
- ☒ Interpretare disegni tecnici e specifiche
- ☒ Dimensionare componenti e sistemi
- ☒ Analizzare e scegliere materiali e processi
- ☒ Valutare prestazioni, efficienza e affidabilità
- ☒ Applicare norme tecniche e criteri di sicurezza
- ☒ Usare il manuale come riferimento continuo
- ☒ Essere pronto per lo studio, il lavoro e nuove sfide

Hai ora
gli strumenti
per costruire
il tuo futuro!



PIÙ CONOSCENZA
PIÙ COMPETENZA
PIÙ OPPORTUNITÀ

IL MANUALE È UNA MAPPA DI CONCETTI, FORMULE E COMPETENZE PER STUDIARE, PROGETTARE E MIGLIORARE.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

Unità chiare,
calcoli più sicuri!

UNITÀ, SIMBOLI E CONVERSIONI ESSENZIALI

SI, prefissi, ordini di grandezza e passaggi rapidi

1 GRANDEZZE FONDAMENTALI

Le 7 unità di base del SI

Grandezza	Simbolo	Unità SI
Lunghezza	<i>l</i>	m metro (m)
Massa	<i>m</i>	kg chilogrammo (kg)
Tempo	<i>t</i>	s secondo (s)
Corrente elettrica	<i>I</i>	A ampere (A)
Temperatura	<i>T</i>	K kelvin (K)
Quantità di sostanza	<i>n</i>	mol mole (mol)
Intensità luminosa	<i>I_v</i>	cd candela (cd)

Sono la base
di tutte le altre unità!

SI

2 PREFISSI METRICI

Moltiplicatori e sottomultipli

Prefisso	Simbolo	Fattore
giga	G	10 ⁹
mega	M	10 ⁶
kilo	k	10 ³
etto	h	10 ²
deca	da	10 ¹
(unità base)	—	10 ⁰
deci	d	10 ⁻¹
centi	c	10 ⁻²
milli	m	10 ⁻³
micro	μ	10 ⁻⁶
nano	n	10 ⁻⁹

Unità
più grandi

Unità
più piccole

Sposta la virgola,
non la logica!

3 PRESSIONE, FORZA E POTENZA

Unità, formule e relazioni utili

Pressione

$$p = \frac{F}{A}$$

p = pressione [Pa]
F = forza [N]
A = area [m²]

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Forza

$$F = m \cdot a$$

F = forza [N]
m = massa [kg]
a = accelerazione [m/s²]

Potenza

$$P = \frac{W}{t}$$

P = potenza [W]
W = lavoro/energia [J]
t = tempo [s]

$$1 \text{ kN} = 10^3 \text{ N}$$

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$



La pressione
muove il mondo!

4 TEMPERATURA

Scale e conversioni

Scala Celsius (°C)

t = temperatura in gradi Celsius

Scala Kelvin (K)

T = temperatura assoluta

$$T [\text{K}] = t [^\circ\text{C}] + 273,15$$

Differenza di temperatura

$$\Delta T [\text{K}] = \Delta t [^\circ\text{C}]$$

Stessa differenza,
unità diverse!



5 VELOCITÀ E PORTATA

Unità e conversioni principali

Velocità lineare

$$v = \frac{s}{t}$$

v = velocità [m/s]
s = spazio [m]
t = tempo [s]

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

$$1 \text{ km/h} = 0,278 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ rpm} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} = 0,1047 \text{ rad/s}$$

Portata volumetrica

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = portata [m³/s]
V = volume [m³]
t = tempo [s]

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 1000 \text{ L/s}$$

$$1 \text{ L/min} = 1,667 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$



Dai numeri
al movimento!

6 ENERGIA, LAVORO E COPPIA

Definizioni e relazioni utili

Lavoro ed energia

$$W = F \cdot s$$

W = lavoro [J]
F = forza [N]
s = spostamento [m]

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$$

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$



L'energia
fa la differenza!

Coppia

$$C = F \cdot r$$

C = coppia [N·m]
F = forza tangenziale [N]
r = raggio [m]

Rendimento

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{in}}}$$

η = rendimento [—]
P_{utile} = potenza utile [W]
P_{in} = potenza in ingresso [W]



Più efficienza,
più valore!

7 DENSITÀ, VISCOSITÀ E RUGOSITÀ

Proprietà dei materiali e dei fluidi

Densità

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ = densità [kg/m³]
m = massa [kg]
V = volume [m³]
(acqua: *ρ* ≈ 1000 kg/m³)

Viscosità dinamica

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

μ = viscosità [Pa·s]
τ = sforzo di taglio [Pa]
γ̇ = gradiente di velocità [1/s]
(aria: *μ* ≈ 1,8 · 10⁻⁵ Pa·s)
(acqua: *μ* ≈ 1,0 · 10⁻³ Pa·s)

Viscosità cinematica

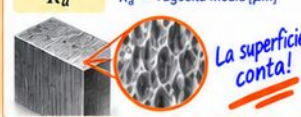
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

ν = viscosità cinematica [m²/s]

Rugosità superficiale

$$R_a$$

R_a = rugosità media [μm]



La superficie
conta!

8 CONVERSIONI RAPIDE

Le più usate in pratica

Da	A	Fattore
1 bar	Pa	10 ⁵
1 Pa	bar	10 ⁻⁵
1 mm	m	10 ⁻³
1 m	mm	10 ³
1 L	m ³	10 ⁻³
1 m ³	L	10 ³
1 rpm	rad/s	2π/60 = 0,1047
1 rad/s	rpm	60/2π = 9,549
°C	K	+ 273,15
K	°C	- 273,15

Conversioni giuste,
risultati corretti!



9 ERRORI COMUNI

Da evitare sempre

- Confondere N e kg**
Il newton (N) è una forza, il chilogrammo (kg) è una massa. Non sono la stessa cosa.
- Dimenticare i prefissi**
Controlla sempre k, M, m, μ... Un errore di prefisso può cambiare il risultato di 1000 volte!
- Pressione assoluta e relativa**
La pressione assoluta è riferita al vuoto, quella relativa è rispetto all'atmosfera. Verifica sempre quale usare!

Piccoli errori,
grandi conseguenze!

ATTENZIONE

10 CHECKLIST PRIMA DEL CALCOLO

Verifica, converti, annota, calcola

- ☒ Ho identificato correttamente tutte le grandezze?
- ☒ Le unità di misura sono coerenti (SI)?
- ☒ Ho effettuato le conversioni una sola volta?
- ☒ Ho annotato simboli, formule e dati noti?
- ☒ Il risultato ha un ordine di grandezza plausibile?
- ☒ Ho controllato eventuali arrotondamenti?
- ☒ Ho specificato se la pressione è assoluta o relativa?
- ☒ Ho verificato il significato fisico del risultato?



Un buon calcolo
inizia da un buon controllo!

CONVERTIRE BENE SIGNIFICA CALCOLARE BENE.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

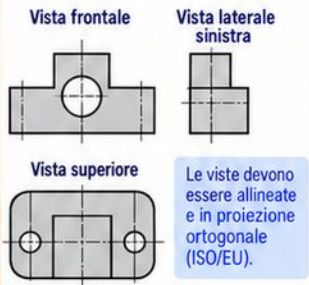
LETTURA RAPIDA DEL DISEGNO TECNICO

Leggere bene il disegno significa produrre bene!

Quote, viste, sezioni, tolleranze e simboli

1 VISTE PRINCIPALI

Rappresentano l'oggetto da più lati



2 LINEE E TRATTI

Ogni linea ha un significato preciso



3 QUOTE

Indicano dimensioni, forme e posizioni



4 CARTIGLIO E SCALA

Contiene le informazioni principali

Denominazione	SUPPORTO
Codice	MP-001
Materiale	EN AW-6082 (Alluminio)
Scala	1:2
Data	12/04/2024
Disegnato	Rossi
Verificato	Bianchi
Revisione	A

La scala indica il rapporto di riduzione/ingrandimento

Controlla sempre revisione e data

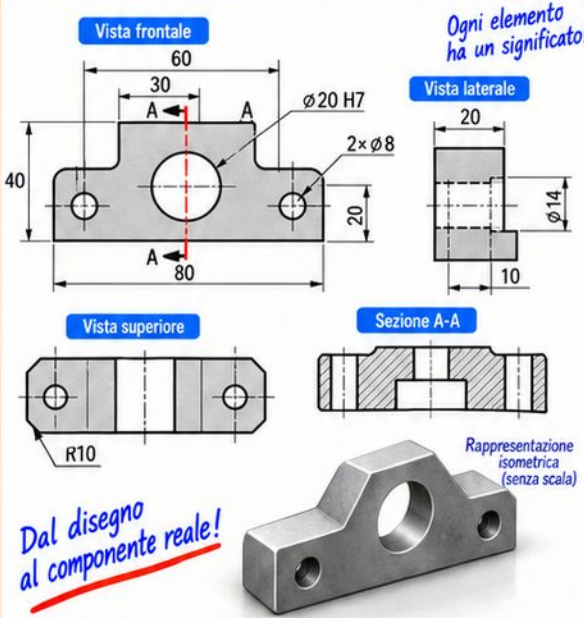
Trovi simboli e note generali nel cartiglio

5 SEZIONI

Mostrano l'interno dell'oggetto



ESEMPIO DI DISEGNO TECNICO



6 TOLLERANZE E ACCOPPIAMENTI

Definiscono la precisione e l'accoppiamento

Foro H7

Albero h6

$\varnothing 20 \text{ H7}$

$\varnothing 20 \text{ h6}$

Tipo di accoppiamento	Esempio	Descrizione
Gioco	H7/g6	gioco garantito
Transizione	H7/k6	possibile gioco o interferenza
Interferenza	H7/p6	interferenza garantita

Le tolleranze si indicano dopo la quota

Scegli l'accoppiamento in base alla funzione

Usa le tabelle ISO (es. ISO 286)

8 SALDATURE E FILETTI

Indicazioni normalizzate sui disegni



9 ORDINE DI LETTURA

Un metodo in 7 passi

- Leggi il cartiglio (nome, materiale, scala, revisione)
 - Osserva tutte le viste e le sezioni
 - Analizza le quote (dimensioni e posizioni)
 - Verifica tolleranze e accoppiamenti
 - Controlla rugosità e tolleranze geometriche
 - Leggi note, simboli e richiami a norme
 - Completa la comprensione con la vista 3D mentale
- Segui l'ordine e non trascurare nulla!*

10 ERRORI FREQUENTI

Da evitare per non avere problemi

- Interpretare male la scala (misure sbagliate)
 - Ignorare tolleranze e rugosità (pezzo fuori specifica)
 - Scambiare le viste (vista non corretta)
 - Non considerare le sezioni (dettagli nascosti)
 - Errata interpretazione dei dati (riferimenti)
 - Confondere diametro e raggio ($\varnothing$ e R)
 - Omettere note e simboli (informazioni importanti)
 - Usare versioni non aggiornate del disegno
- Un errore di lettura può costare caro!*

IL DISEGNO TECNICO TRASFORMA L'IDEA IN COMPONENTE REALE.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO E IMPARA DI PIÙ

Materiale giusto,
progetto migliore!

PROPRIETÀ DEI MATERIALI PIÙ USATI

Acciai, leghe leggere, polimeri, ghise e compositi

1 CRITERI DI SCELTA

Quali fattori valutare?

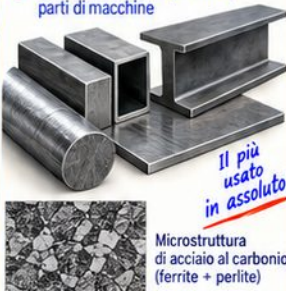
- Resistenza meccanica
- Rigidità (modulo elastico)
- Peso (densità)
- Costo e disponibilità
- Resistenza alla corrosione
- Temperatura di esercizio
- Lavorabilità e saldabilità
- Aspetto estetico
- Impetto ambientale

Valuta
tutti i fattori,
non solo
la resistenza!

2 ACCIAI AL CARBONIO

Versatili ed economici

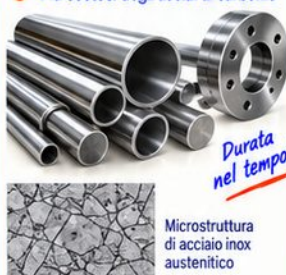
- Buone proprietà meccaniche
- Facilmente lavorabili e saldabili
- Ampia disponibilità e basso costo
- Sensibili alla corrosione
- Usati in edilizia, carpenteria, parti di macchine

Il più
usato
in assoluto!Microstruttura
di acciaio al carbonio
(ferrite + perlite)

3 ACCIAI INOSSIDABILI

Resistenza alla corrosione

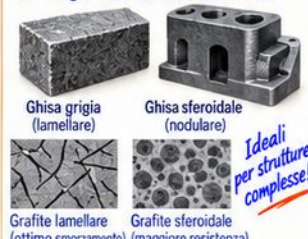
- Elevata resistenza alla corrosione
- Buone proprietà meccaniche
- Ottima saldabilità (alcuni tipi)
- Usati in settori alimentare, chimico e medicale
- Più costosi degli acciai al carbonio

Durata
nel tempo!Microstruttura
di acciaio inox
austenitico

4 GHISE

Ottima colabilità e smorzamento

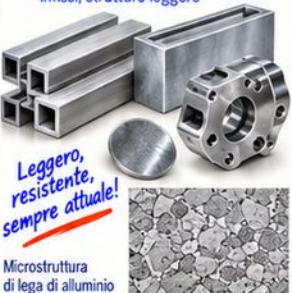
- Ghisa grigia: economica, ottimo smorzamento, lavorabile
- Ghisa sferoidale: maggiore resistenza e tenacità
- Eccellente colabilità
- Usata per basamenti, blocchi motore, corpi macchina
- Fragile, non saldabile facilmente

Ghisa grigia
(lamellare)
Grafite lamellare
(ottimo smorzamento)Ghisa sferoidale
(nodulare)
Grafite sferoidale
(maggiore resistenza)Ideali
per strutture
complesse!

5 ALLUMINIO

Leggerezza e versatilità

- Bassa densità (circa 1/3 dell'acciaio)
- Buona lavorabilità e riciclabilità
- Discreta resistenza meccanica
- Buona resistenza alla corrosione
- Usato in aeronautica, automotive, infissi, strutture leggere

Leggero,
resistente,
sempre attuale!Microstruttura
di lega di alluminio

6 RAME, OTTONE, TITANIO

Conducibilità e alte prestazioni

- Rame: eccellente conducibilità elettrica e termica
- Ottone: buona resistenza alla corrosione e lavorabilità
- Titanio: altissima resistenza specifica, eccellente resistenza alla corrosione
- Usati in impianti, scambiatori, settore medicale e aerospaziale

Prestazioni
per applicazioni
speciali!

Rame

Ottone

Titanio

7 POLIMERI

Leggeri, versatili, economici

- PE (polietilene): economico, buona resistenza chimica
- PA (poliammide, nylon): tenace, resistente all'usura
- POM (poliacetale): rigido, bassa frizione
- PTFE (teflon): altissima resistenza chimica e basso attrito
- Limiti: bassa resistenza termica e meccanica rispetto ai metalli



PE

PA

POM

PTFE



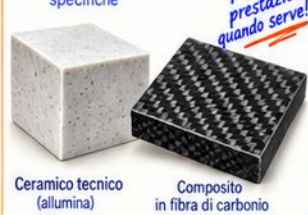
Leggeri

Facili
da lavorareResistenti
a molti agenti
chimiciSensibili
alla temperatura

8 CERAMICI E COMPOSITI

Per condizioni estreme

- Ceramiche: altissima durezza, resistenza all'usura e al calore, fragili
- Compositi (es. fibra di carbonio): elevata resistenza specifica, leggeri, personalizzabili
- Usati in ambito aerospaziale, automotive sportivo e utensileria
- Costi più elevati e lavorazioni specifiche

Ceramico tecnico
(allumina)Composito
in fibra di carbonioMassime
prestazioni
quando serve!

9 TABELLA COMPARATIVA

Confronto sintetico delle principali proprietà

Materiale	Densità (kg/m³)	Modulo elastico (GPa)	Resistenza alla corrosione	Costo relativo
Acciaio al carbonio	7.850	200	Bassa	€
Acciaio inox	7.900	200	Alta	€€€
Ghisa grigia	7.200	100	Media	€
Alluminio	2.700	70	Alta	€€
Rame	8.960	120	Alta	€€€
Ottone	8.500	100	Alta	€€
Titanio	4.500	110	Alta	€€€€
PE (polietilene)	950	0,8	Alta	€
PA (poliammide)	1.150	2,5	Media	€
POM (poliacetale)	1.420	3,0	Media	€€
PTFE (teflon)	2.200	0,5	Altissima	€€€
Ceramiche (Al ₂ O ₃)	3.900	380	Altissima	€€€
Composito (CFRP)	1.600	70-150	Alta	€€€€

I valori sono indicativi e possono variare in base alla lega, al processo e alla condizione di utilizzo.

10 GUIDA RAPIDA ALLA SELEZIONE

Dal requisito al materiale

- Qual è la funzione del componente? → Strutturale, funzionale, estetica, ecc.
- Quali sono i requisiti principali? → Resistenza, rigidità, peso, corrosione, temperatura, ecc.
- Quali sono i vincoli? → Costo, disponibilità, lavorazioni, norme, impatto ambientale
- Seleziona le famiglie di materiali più adatte → Metalli, polimeri, ceramiche, compositi
- Confronta le proprietà e scegli → Usa la tabella, valuta i compromessi
- Verifica e valida → Prove, simulazioni, prototipi

Il metodo ti porta
alla scelta migliore!

- ✓ Requisiti chiari
- ✓ Confronto obiettivo
- ✓ Soluzione sostenibile
- ✓ Sempre verifica nel contesto reale!



LE PROPRIETÀ DEI MATERIALI GUIDANO PRESTAZIONI, COSTI E DURATA.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOKIMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONECONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SCELTA DEI PROCESSI DI FABBRICAZIONE

Quando usare tornitura, fresatura, fusione, stampaggio e stampa 3D

*Il processo giusto
riduce costi e tempi!*

1 VARIABILI DI SCELTA

Valuta questi fattori per scegliere il processo più adatto.

- Geometria** Forme, dimensioni, complessità
- Quantità** Pezzi singoli o grande produzione
- Tolleranze** Precisione richiesta
- Materiale** Proprietà, lavorabilità, costi
- Finitura** Rugosità e trattamenti richiesti

Analizza tutti i fattori in modo integrato!

2 ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

Alta precisione e flessibilità.

TORNITURA

- Pezzi assialsimmetrici
- Alta precisione
- Buona finitura
- Adatta a piccole e medie serie
- Esempi: alberi, boccole, flange

Ideale per forme cilindriche!

FRESATURA

- Geometrie complesse
- Piani, cave, tasche
- Alta versatilità
- Adatta a prototipi e piccole/medie serie
- Esempi: staffe, piastre, stampi

Grande libertà di forma!

3 FORATURA, RETTIFICA E FINITURA

Per precisione e qualità superficiale.

FORATURA

- Fori di precisione
- Maschiatura
- Alesatura
- Svasatura

RETTIFICA

- Alte precisioni
- Basso rugosità
- Finitura di superfici
- Pezzi temprati

FINITURA

- Lappatura
- Lucidatura
- Trattamenti superficiali
- Rugosità molto basse ($Ra < 0,4 \mu m$)

Precisione e qualità fanno la differenza!

4 FORMATURA

Per grandi quantità e alta produttività.

STAMPAGGIO

- Lamiere sottili
- Grandi serie
- Bassi costi unitari

FUCINATURA

- Componenti resistenti
- Migliora le proprietà meccaniche
- Medie e grandi serie

LAMINAZIONE

- Profili semplici
- Produzione continua
- Lamiere, barre, profilati

ESTRUSIONE

- Sezioni complesse e costanti
- Alluminio e leghe leggere
- Grandi serie

Alta produttività per grandi volumi!

5 FUSIONE

Ideale per geometrie complesse.



- ✓ Forme complesse e cave
- ✓ Ampia scelta di materiali
- ✓ Adatta a medie e grandi serie
- ✓ Costi contenuti per grandi volumi
- ✗ Finitura superficiale limitata
- ✗ Tolleranze meno precise
- ✗ Possibili difetti (porosità)
- ✗ Richiede stampi
- ✗ Lavorazioni di finitura spesso necessarie

Perfetta per forme complesse e grandi volumi!

6 GIUNZIONI

Per unire componenti e sottosistemi.

SALDATURA

- Unione permanente
- Alta resistenza
- Metalli simili o diversi

BRASATURA

- Temperature più basse
- Giunzioni precise
- Metalli diversi

BULLONATURA

- Smontabile
- Facile manutenzione
- Standardizzata

RIVETTATURA

- Rapida e affidabile
- Fogli e lamiere
- Usata in aeronautica e automotive

Ogni giunzione ha il suo campo di applicazione!

7 ADDITIVE MANUFACTURING

Prototipazione rapida e geometrie impossibili.



- ✓ Geometrie molto complesse
- ✓ Nessun utensile o stampo
- ✓ Prototipi e piccole serie
- ✓ Personalizzazione
- ✓ Materiali innovativi (polimeri, metalli)
- ✗ Finitura superficiale limitata
- ✗ Proprietà meccaniche inferiori (rispetto ai processi tradizionali)
- ✗ Tempi più lunghi per grandi volumi
- ✗ Costi elevati per alte produzioni

Realizza oggi le geometrie di domani!

8 MATRICE COSTO-VOLUME

Confronto indicativo tra i processi.



Il grafico mostra il costo unitario (Y-axis, da Basso ad Alto) in funzione del volume di produzione (X-axis, da 1 a 10^5 pezzi). Le curve rappresentano diversi processi: Stampa 3D (costo alto a basso volume, si abbassa rapidamente), Lavorazioni meccaniche (costo medio, si abbassa gradualmente), Fusione (costo medio-basso, si abbassa gradualmente), Stampaggio e formatura (costo basso a alto volume, si abbassa gradualmente).

Processi diversi sono convenienti a volumi diversi!

9 FLOWCHART DI SELEZIONE

Un percorso rapido per la scelta.

Segui le domande e trova il processo giusto!

```

graph TD
    Q1[Qual è la geometria del componente?] --> Q2{È assialsimmetrico?}
    Q2 -- Sì --> T[TORNITURA]
    Q2 -- No --> Q3{È una lamiera?}
    Q3 -- Sì --> S[STAMPAGGIO]
    Q3 -- No --> Q4{Alta complessità o forme interne?}
    Q4 -- Sì --> F[FUSIONE o STAMPA 3D]
    Q4 -- No --> Q5{Grandi volumi?}
    Q5 -- Sì --> FORM[FORMATURA (laminazione/estrusione)]
    Q5 -- No --> FRES[FRESATURA o altre lavorazioni]
    
```

10 ESEMPI PRATICI

Quattro componenti, processi consigliati e motivazioni.

ALBERO



PROCESSO CONSIGLIATO
Tornitura
(+ rettificazione se necessaria)

- ✓ Pezzo assialsimmetrico
- ✓ Alta precisione
- ✓ Buona finitura

Ideale per componenti rotanti!

STAFFA



PROCESSO CONSIGLIATO
Fresatura
(o stampa 3D per prototipo)

- ✓ Geometria prismatica
- ✓ Più lavorazioni e piani
- ✓ Piccole e medie serie

Versatilità e precisione!

CARCASSA INGRANAGGI



PROCESSO CONSIGLIATO
Fusione
(+ lavorazioni di finitura)

- ✓ Geometria complessa
- ✓ Cavità interne
- ✓ Medie e grandi serie

Forma complessa e costi ottimizzati!

COMPONENTE IN LAMIERA



PROCESSO CONSIGLIATO
Stampaggio
(o piegatura)

- ✓ Grande quantità
- ✓ Spessore ridotto
- ✓ Costi unitari bassi

La scelta giusta per grandi volumi!

PROCESSI DIVERSI CREANO COMPONENTI DIVERSI: SCEGLI IN BASE ALL'OBIETTIVO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



ALBERI, CUSCINETTI E TRASMISSIONI

Componenti giusti,
macchine affidabili!

Guida pratica alla selezione dei componenti

1 ALBERI

Sostegno e trasmissione di potenza

- Sollecitazioni di flessione e torsione
- Gradini per il posizionamento
- Raccordi e raggi di raccordo
- Resistenza a fatica
- Materiali e trattamenti superficiali



Progetta
per la durata!

Tipiche sollecitazioni sull'albero

Momento flettente	$M = F \cdot L$	[N·m]
Momento torcente	$T = \frac{P}{\omega}$	[N·m]
Tensione di taglio	$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$	[MPa]
Raggio di raccordo	$r \geq 0,02d$	[mm]

2 LINGUETTE E SCANALATURE

Collegamento albero-mozzo

- Trasmissione di coppia
- Linguette parallele (UNI)
- Linguette Woodruff
- Scanalature evolventi
- Corretta tolleranza e accoppiamenti



Semplice
e efficace!

Tipi principali di linguette

Tipo	Vantaggi	Applicazioni
Parallela	Semplice, economica	Pulegge, ingranaggi
Woodruff	Autocentrante	Mozzi conici
Scanalata	Alta coppia	Applicazioni pesanti

3 CUSCINETTI VOLVENTI

Basse perdite e alta affidabilità

- A sfere: alte velocità, carichi medi
- A rulli: alti carichi, rigidità elevata
- Carichi radiali, assiali o combinati
- Scelta della serie e del gioco
- Lubrificazione e tenute



A SFERE (velocità) A RULLI (carichi elevati)

Confronto sintetico

Caratteristica	A sfere	A rulli
Carico radiale	Medio	Elevato
Carico assiale	Medio	Elevato
Velocità	Alta	Medio
Rigidità	Medio	Elevata
Applicazioni	Generiche	Pesanti

4 CUSCINETTI RADENTI

Per carichi elevati e basse velocità

- Funzionamento con strato di lubrificante
- Tipi: bronzina, boccola, cuscinetto liscio
- Materiali: bronzo, metalli antifrizione
- Limite PV (pressione x velocità)
- Richiedono lubrificazione adeguata



La
lubrificazione
fa la differenza!

Valori indicativi di progetto

Pressione specifica	p	0,5 – 5	[MPa]
Velocità di strisciamento	v	0,1 – 10	[m/s]
Limite PV	$p \cdot v$	0,5 – 3	[MPa·m/s]
Materiali comuni	Bronzo, Babbitt, polimeri		
Applicazioni	Carichi elevati, urti, ambienti gravosi		

5 INGRANAGGI

Trasmissione precisa e affidabile

- Cilindrici a denti dritti
- Cilindrici a denti elicoidali
- Conici e ipoidi
- A vite senza fine
- Scelta in base a carichi, velocità e assi

Ogni
moto ha il suo
ingranaggio!



Quando usarli		
Tipo	Vantaggi	Applicazioni
Denti dritti	Semplicità, costo	Trasmissioni generiche
Elicoidali	Silenziosità	Alte velocità
Conici	Assi a 90°	Cambi di direzione
Vite senza fine	Alti rapporti	Riduttori compatti

6 CINGHIE E PULEGGE

Semplici, silenziose ed economiche

- Trasmissione per attrito
- Cinghie trapezoidali, dentate, piano
- Assorbono urti e vibrazioni
- Possibile slittamento
- Richiedono corretta tensione



Silenziose
e flessibili!

Tipi di cinghie

Tipo	Vantaggi	Applicazioni
Trapezoidale	Economica	Uso generale
Dentata	Senza slittamento	Posizionamento preciso
Piana	Alte velocità	Grandi interessi

7 CATENE E PIGNONI

Trasmissione positiva e robusta

- Trasmissione senza slittamento
- Catene a rulli, silent, a maglie
- Per carichi elevati e ambienti gravosi
- Richiedono lubrificazione e tensione
- Usura da allungamento



Robuste
in ogni condizione!

Confronto con cinghie

Caratteristica	Catene	Cinghie
Slittamento	No	Possibile
Carico trasmissibile	Elevato	Medio
Rumorosità	Medio	Bassa
Manutenzione	Lubrificazione	Minima
Costo	Medio	Basso

8 GIUNTI

Collegamento tra alberi

- Rigidi: per perfetto allineamento
- Elastici: compensano disallineamenti
- A denti, a dischi, a elastomero
- Giunti di sicurezza (limitatori)
- Scelta in base a coppia e allineamento



Unisci il movimento,
proteggi la macchina!

Criteri di scelta		
Coppia trasmissibile	T	[N·m]
Disallineamento ammesso	angolare / parallelo	[mm / °]
Velocità di rotazione	n	[rpm]
Condizioni di esercizio	urti, temperatura, ambiente	
Tipo di giunto	rigido, elastico, di sicurezza	

9 CRITERI DI SCELTA

Dall'applicazione al componente

- Potenza e coppia da trasmettere
- Velocità di rotazione
- Tipo e andamento dei carichi
- Distanza tra gli assi
- Allineamento e disallineamenti ammessi
- Rumorosità e vibrazioni
- Condizioni ambientali (temperatura, polvere, umidità)
- Manutenzione e costo del ciclo di vita



10 CHECKLIST DI SELEZIONE

Verifica e confronta prima della scelta

- ☒ Ho definito potenza, coppia e velocità?
- ☒ Ho valutato i carichi (entità e tipo)?
- ☒ Ho scelto il tipo di trasmissione più adatto?
- ☒ Ho verificato dimensioni e ingombri?
- ☒ Ho controllato allineamento e tolleranze?
- ☒ Ho considerato rumorosità e vibrazioni?
- ☒ Ho previsto lubrificazione e manutenzione?
- ☒ Ho verificato norme e condizioni ambientali?
- ☒ Ho confrontato costi e disponibilità?
- ☒ Ho documentato e validato la scelta?

Verifica
oggi,
meno problemi
domani!



UNA BUONA TRASMISSIONE UNISCE EFFICIENZA, DURATA E MANUTENIBILITÀ.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

MANUTENZIONE E LUBRIFICAZIONE: PIANO OPERATIVO

Programmare bene significa fermarsi meno!

1 TIPI DI MANUTENZIONE

Strategie e obiettivi

- **Correttiva**
Intervento dopo il guasto
- **Preventiva**
Interventi programmati per evitare i guasti
- **Predictiva**
Basata sul monitoraggio delle condizioni (vibrazioni, termografia, olio)



2 PIANO DI ISPEZIONE

Cosa controllare e come



- Cuscinetti**
- Rumori, vibrazioni
 - Temperature
 - Gioco, lubrificazione



- Cinghie**
- Ursm, tensione
 - Allineamento
 - Crepe, sostituzione



- Pompe**
- Perdite, rumorosità
 - Pressione, portata
 - Tenute meccaniche



- Valvole**
- Tenuta, trafilamento
 - Funzionamento
 - Corrosione, pulizia

3 LUBRIFICAZIONE

Oli, grassi e intervalli

- Scegli il lubrificante corretto secondo specifiche del costruttore
- Usa oli e grassi di qualità
- Controlla la viscosità (ISO VG)
- Rispetta gli intervalli di lubrificazione
- Evita contaminazioni
- Registra gli interventi

Tipo lubrificante	ISO VG	Applicazioni
Olio minerale	32-68	Cuscinetti, riduttori
Olio sintetico	46-150	Alte temperature
Grasso al litio	NLGI 2	Cuscinetti, giunti
Grasso complesso	NLGI 1-2	Carichi elevati



4 CONTAMINAZIONE

Cause, effetti e controllo

- Acqua (umidità, condensa)
- Polveri e particelle solide
- Contaminanti chimici
- Usura dei componenti
- Controllo e sostituzione filtri
- Tenuta di guarnizioni e sfianti
- Stoccaggio corretto dei lubrificanti



5 SCHEDA INTERVENTO

Tracciabilità e organizzazione

- Numero ordine di lavoro
- Macchina / componente
- Tipo di intervento
- Data e tecnico
- Ricambi utilizzati
- Ore di fermo
- Note e risultato
- Archiviazione storica



6 KPI

Misura le prestazioni

- **MTBF**: tempo medio tra i guasti
- **MTTR**: tempo medio di riparazione
- **Availability**: disponibilità della macchina
- **OEE**: efficienza globale dell'impianto

Indicatore	Formula	Significato
MTBF	Tempo operativo N° guasti	Affidabilità
MTTR	Tempo di riparazione N° guasti	Manutenibilità
Availability	MTBF MTBF + MTTR	Disponibilità
OEE	A x P x Q	Efficienza globale



7 CALENDARIO

Attività e frequenza

Attività	Giornaliera	Settimanale	Mensile	Annuale
Controllo visivo	✓			
Lubrificazione		✓		
Controllo perdite	✓			
Pulizia generale		✓		
Controllo tensione cinghie			✓	
Analisi olio			✓	
Sostituzione filtri				✓
Verifica allineamenti				✓
Revisione generale				✓



8 STOCCAGGIO RICAMBI

Gestione e criticità

- Identifica i ricambi critici
- Mantieni un livello minimo di stock
- Codifica e etichetta
- Conserva in ambiente idoneo
- Usa il metodo FIFO (First In First Out)
- Controlla periodicamente lo stato dei ricambi



9 SICUREZZA

Persone, impianti e ambiente

- Applica le procedure LOTO (Lock Out - Tag Out)
- Usa i DPI adeguati
- Assicurati che la macchina sia ferma e in sicurezza
- Mantieni l'area di lavoro pulita e ordinata
- Segui le istruzioni del costruttore
- Forma e coinvolgi il personale

Sicurezza oggi, continuità domani!



10 CHECKLIST OPERATIVA

Controlli essenziali

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Macchina pulita e accessibile ✓ Nessuna perdita anomala □ Lubrificazione eseguita □ Filtri puliti / sostituiti ✓ Cinghie e giunti in buono stato □ Rumori e vibrazioni nella norma □ Temperature nei limiti □ Valvole e attuatori funzionanti | <ul style="list-style-type: none"> □ Strumenti di misura tarati □ Ricambi disponibili □ Documentazione aggiornata □ Area di lavoro in sicurezza □ Intervento registrato □ Anomalie segnalate □ Prossimo intervento pianificato □ Firma del tecnico |
|--|--|

Piccoli controlli grandi risultati!



MANUTENZIONE E LUBRIFICAZIONE PROLUNGANO LA VITA DELLE MACCHINE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

DIAGNOSTICA RAPIDA DEI GUASTI MECCANICI

Osservare i sintomi
aiuta a trovare la causa!

Sintomi, cause probabili e azioni correttive

1 APPROCCIO ALLA DIAGNOSI

Un metodo semplice ed efficace



*Osserva, misura, analizza,
intervieni!*

2 RUMORI ANOMALI

Suoni insoliti indicano un problema

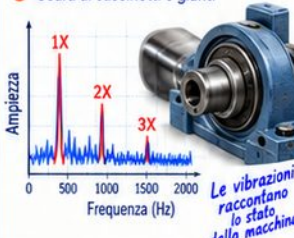
- Gioco eccessivo di componenti
- Usura di cuscinetti o ingranaggi
- Cavitazione in pompe
- Urti o impatti meccanici
- Mancanza di lubrificazione



3 VIBRAZIONI ECCESSIVE

Possono ridurre la vita utile

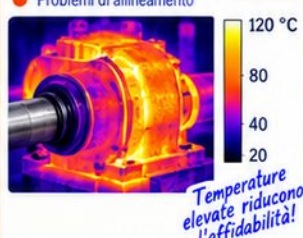
- Sbilanciamento delle masse
- Disallineamento tra alberi
- Risonanza strutturale
- Cedimenti di supporto
- Usura di cuscinetti o giunti



4 SOVRATEMPERATURA

Il calore eccessivo è un campanello d'allarme

- Attrito eccessivo
- Sovraccarico operativo
- Lubrificazione insufficiente
- Raffreddamento inefficace
- Problemi di allineamento



5 PERDITE

Fluidi persi indicano inefficienza e rischio di fermo

- Usura o danneggiamento delle tenute
- Raccordi allentati
- Crack su tubazioni o carcasce
- Guarnizioni deteriorate
- Contaminazione del sistema



6 USURA

Riduce le prestazioni e la vita utile

- Usura adesiva (grippaggio)
- Usura abrasiva (particelle)
- Usura per fatica (pitting)
- Usura corrosiva (ossidazione)
- Usura per erosione (flussi, cavitazione)



7 PROBLEMI DI LUBRIFICAZIONE

La lubrificazione è vitale

- Lubrificante insufficiente
- Eccesso di lubrificante
- Lubrificante non adatto
- Lubrificante contaminato (polvere, acqua)
- Intervalli di cambio non rispettati



8 DISALLINEAMENTO E SBILANCIAMENTO

Cause comuni di guasti e vibrazioni

- Giunto disallineato (angolare o parallelo)
- Alberi non coassiali
- Supporti deformati
- Sbilanciamento di masse rotanti
- Fissaggi allentati



9 TABELLA SINTOMO-CAUSA-AZIONE

I problemi più comuni e come affrontarli

Sintomo	Cause probabili	Azioni correttive
Rumori anomali	● Usura, gioco, cavitazione ● Lubrificazione insufficiente	● Verificare giochi, lubrificare ● Controllare cuscinetti e ingranaggi
Vibrazioni eccessive	● Sbilanciamento, disallineamento ● Risonanza, supporti deboli	● Allineare, bilanciare ● Verificare fissaggi e rigidità
Sovratemperatura	● Attrito, sovraccarico ● Raffreddamento insufficiente	● Controllare lubrificazione ● Verificare carichi e sistema di raffreddamento
Perdite di fluido	● Tenute usurate, raccordi allentati ● Crack, guarnizioni danneggiate	● Sostituire tenute e guarnizioni ● Serrare raccordi, riparare componenti
Usura precoce	● Lubrificante non adatto ● Contaminazione, carichi elevati	● Usare lubrificante corretto ● Migliorare filtrazione e condizioni operative
Problemi di lubrificazione	● Livello errato, olio sporco ● Intervalli di cambio non rispettati	● Ripristinare livello e pulizia ● Seguire piano di manutenzione
Prestazioni ridotte	● Sovraccarico, perdite, usura ● Componenti danneggiati	● Verificare condizioni generali ● Sostituire o riparare i componenti

10 RISPOSTA OPERATIVA

Dalla diagnosi alla soluzione

- 1 ISOLARE IL PROBLEMA**
Mettere in sicurezza e limitare i danni
- 2 ISPEZIONARE**
Controllo visivo e funzionale
- 3 MISURARE E ANALIZZARE**
Usare strumenti adeguati (vibrazioni, temperatura, pressioni, ecc.)
- 4 DOCUMENTARE**
Registrare dati, foto e condizioni
- 5 INTERVENIRE**
Eseguire le azioni correttive
- 6 VERIFICARE IL RISULTATO**
Controllare che il problema sia risolto

*Metodo,
misure
e buon senso
portano
alla soluzione!*



DIAGNOSI RAPIDA SIGNIFICA FERMI PIÙ BREVI E GUASTI MEGLIO RISOLTI.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

SICUREZZA INDUSTRIALE E LOTO

Procedure, segnali, DPI e isolamento energie

*Bloccare, verificare,
proteggere!*

1 PERICOLI PRINCIPALI

Riconosci i rischi, preveni gli incidenti



MECCANICI

- Parti in movimento
- Schiacciamento
- Taglio, intrappolamento



ELETTRICI

- Tensione elettrica
- Folgorazione
- Arco elettrico



TERMICI

- Superfici calde
- Ustioni
- Fluidi in pressione



CHIMICI

- Sostanze pericolose
- Inalazione, contatto
- Corrosione

*Conosci il pericolo
per lavorare in sicurezza!*

2 MATRICE DEL RISCHIO

Probabilità × Gravità = Livello di rischio

		Gravità del danno			
		1 Lieve	2 Moderata	3 Grave	4 Molto grave
Probabilità di accadimento	4 Molto alta	MEDIO	ALTO	ALTO	ESTREMO
	3 Alta	BASSO	MEDIO	ALTO	ALTO
	2 Media	BASSO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	1 Bassa	BASSO	BASSO	MEDIO	MEDIO

■ BASSO Accettabile, monitorare
■ MEDIO Ridurre il rischio
■ ALTO Azioni correttive necessarie
■ ESTREMO Attività non consentita fino a riduzione del rischio

3 LOTO IN 6 PASSI

Lockout/Tagout per isolare le energie

1 IDENTIFICA

le fonti di energia (elettrica, meccanica, pneumatica, idraulica, termica, ecc.)

2 ISOLA

le energie (sezionatori, valvole, interruttori, ecc.)

3 BLOCCA

con dispositivi di bloccaggio e lucchetti personali

4 DISSIPA

le energie residue (scarica, depressurizza, svuota)

5 VERIFICA

l'assenza di energia (testa i comandi e misura)

6 LAVORA IN SICUREZZA

solo dopo la verifica



*Zero energia
Zero incidenti!*

4 DPI

Indossa i DPI adeguati al rischio



CASCO
Protegge
la testa



OCCHIALI
Proteggono
gli occhi



GUANTI
Proteggono
le mani



SCARPE
ANTINFORTUNISTICHE
Proteggono
i piedi



PROTEZIONE
UDITIVA
Riduce il rumore

*I DPI non eliminano il rischio,
ma lo rendono salvarti la vita!*

5 SEGNALETICA

I segnali comunicano in modo immediato



OBBLIGO
Comportamento
obbligatorio



AVVERTIMENTO
Pericolo



DIVIETO
Comportamento
vietato



EMERGENZA
Vie di fuga
e primo soccorso



ANTINCENDIO
Attrezzature
antincendio

*Segui i segnali,
rispetta la sicurezza!*

6 PROTEZIONI MACCHINA

Prevenire il contatto con le parti pericolose



RIPARI
Fissi o mobili



INTERBLOCCHI
Arrestano la macchina
se il riparo è aperto



ARRESTO DI EMERGENZA
Arresta rapidamente
la macchina

*Protezioni attive,
più sicurezza!*

7 SPAZI CONFINATI E LAVORI IN QUOTA

Rischi elevati, procedure obbligatorie



- Valuta i rischi (atmosfera, gas)
- Misura l'atmosfera (O₂, gas)
- Ventilazione forzata
- Sorveglianza esterna
- Piano di emergenza e recupero



- Usa sistemi anticaduta
- Verifica parapetti e linee vita
- Controlla l'attrezzatura
- Non lavorare da solo
- Formazione specifica

*Pianifica, controlla,
lavora in sicurezza!*

8 EMERGENZE

Sii pronto a reagire



EVACUAZIONE
Segui le vie di fuga
e raggiungi il punto
di raccolta



INCENDIO
Usa l'estintore
solo se formato
(tecnica PASS)



PRIMO SOCCORSO
Presta le prime cure
e allerta i soccorsi
(112 / 118)

Calma, prontezza, vite salvate!

9 DOCUMENTI E FORMAZIONE

Procedure chiare, persone competenti



PROCEDURE
Procedure operative
e di sicurezza



PERMESSI DI LAVORO
(es. spazi confinati,
lavori a caldo, elettrici)



ISTRUZIONI
Manuali, schede macchina,
istruzioni dei produttori



FORMAZIONE
Addestramento e
aggiornamento periodico

*Persone formate
aumentano la sicurezza!*

10 CHECKLIST FINALE DI SICUREZZA

Prima di iniziare il lavoro

- ☐ Rischi valutati e misure adottate
- ☐ Procedure lette e comprese
- ☐ Permessi ottenuti (se necessari)
- ☐ Macchina isolata e in sicurezza
- ☐ DPI indossati e in buone condizioni
- ☐ Strumenti e attrezzature idonei
- ☐ Area di lavoro sicura e ordinata
- ☐ Comunicazione con il team
- ☐ Piano di emergenza noto

*Controlla oggi
per un domani sicuro!*



LA SICUREZZA SI COSTRUISCE CON PROCEDURE, ATTENZIONE E DISCIPLINA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

CHECKLIST DI PROGETTAZIONE MECCANICA

Dal requisito al dimensionamento

Metodo chiaro,
progetto più forte!

1 REQUISITI

Cosa deve fare il componente?
Quali sono le esigenze?

- Funzione e prestazioni
- Carichi e condizioni d'uso
- Ambiente operativo
- Vita utile e affidabilità
- Vincoli specifici del cliente



Requisiti chiari
guida il progetto!

2 VINCOLI

Quali limiti devo rispettare?

- Dimensioni e ingombri
- Costo target
- Norme e regolamenti
- Sicurezza e comp. con standard
- Processi e tecnologie disponibili
- Tempi di sviluppo

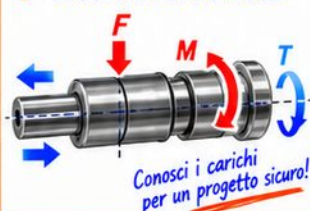


Ogni vincolo
è un'opportunità!

3 CARICHI E SOLLECITAZIONI

Quali forze e condizioni agiscono?

- Carichi assiali (trazione/compressione)
- Carichi flessionali
- Carichi torcenti
- Carichi variabili e fatica
- Urti e carichi dinamici
- Condizioni termiche e ambientali



Conosci i carichi
per un progetto sicuro!

4 SCELTA DEL MATERIALE

Quale materiale è più adatto?

- Resistenza meccanica
- Resistenza alla corrosione
- Peso e densità
- Lavorabilità e producibilità
- Disponibilità e costo
- Comportamento a fatica
- Compatibilità ambientale

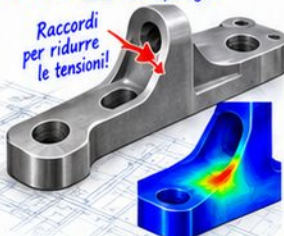


Il materiale giusto
fa la differenza!

5 GEOMETRIA E FORMA

Come ottimizzare la forma?

- Sezioni e spessori
- Nervature e irrigidimenti
- Raccordi e transizioni
- Evitare concentrazioni di tensione
- Semplificare la geometria
- Ottimizzazione topologica



Raccordi
per ridurre
le tensioni!

DALL'IDEA AL COMPONENTE VERIFICATO

UN PERCORSO IN 5 FASI



Dall'esigenza
all'idea!

Progetta,
calcola, simula!

Verifica
e migliora!

Prova sul campo!

Componente pronto
per la produzione!

METODO → CONOSCENZA → VERIFICA → RISULTATI

"Un buon progetto nasce da dati, verifiche e scelte consapevoli."

6 FATTORI DI SICUREZZA

Quanto margine di sicurezza?

- Fattori di sicurezza statici
- Fattori per carichi dinamici
- Considerare incertezze su carichi e materiali
- Norme e riferimenti di settore
- Analisi di sensibilità
- Affidabilità e vita a fatica

Valori indicativi	
$n = \frac{\sigma_{limite}}{\sigma_{max}}$	
Carichi statici	1,5 - 3
Carichi dinamici	2 - 5
A fatica	3 - 10
Applicazioni critiche	> 5

Più sicurezza,
più affidabilità!

7 TOLLERANZE E ASSEMBLAGGIO

Come garantire il corretto accoppiamento?

- Tolleranze dimensionali e geometriche
- Accoppiamenti e giochi
- Rugosità superficiale
- Facilità di montaggio
- Accessibilità per manutenzione
- Intercambiabilità
- Riferimenti normativi (ISO)



La precisione
fa la qualità!

8 PROCESSO PRODUTTIVO

Come realizzare il componente?

- Lavorazioni meccaniche (asportazione)
- Pressofusione e fusione
- Stampaggio e formatura
- Saldatura e giunzioni
- Produzione additiva (stampa 3D)
- Trattamenti termici e superficiali
- Costi, tempi e volumi di produzione



LAVORAZIONE MECCANICA



FUSIONE



SALDATURA



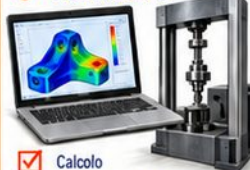
ADDITIVE MANUFACTURING

Scegli il processo
giusto per il tuo progetto!

9 VERIFICA

Il progetto è adeguato?

- Calcoli analitici
- Simulazioni FEM
- Prototipo e prove sperimentali
- Confronto con requisiti iniziali
- Ottimizzazione iterativa
- Validazione finale



- ✓ Calcolo
- ✓ Simulazione FEM
- ✓ Prototipo
- ✓ Prove di laboratorio

Verifica oggi
i successi di domani!

10 CHECKLIST FINALE

Tutto è pronto?

- ✓ Requisiti soddisfatti
- ✓ Vincoli rispettati
- ✓ Carichi e sollecitazioni analizzati
- ✓ Materiale selezionato
- ✓ Geometria ottimizzata
- ✓ Fattori di sicurezza verificati
- ✓ Tolleranze definite
- ✓ Processo produttivo scelto
- ✓ Calcoli e simulazioni completati
- ✓ Prototipo testato
- ✓ Verifica dei risultati
- ✓ Documentazione tecnica redatta

Dalla teoria
alla realtà!



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERLA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

ROADMAP FINALE DI STUDIO E CRESCITA

COME TRASFORMARE IL MANUALE IN COMPETENZA

Studia, applica, migliora!

1 LE 6 AREE CHIAVE

Le fondamenta della ingegneria meccanica

- MECCANICA**
Statica, dinamica, resistenza, macchine
- TERMODINAMICA**
Calore, cicli, motori, scambiatori
- FLUIDI**
Condotte, macchine fluide, impianti
- PROGETTAZIONE**
Disegno, dimensionamento, norme, CAD
- MATERIALI**
Proprietà, trattamenti, scelta dei materiali
- AFFIDABILITÀ E SICUREZZA**
Manutenzione, controllo, norme, rischio

Sei aree, un'unica visione: costruire il futuro!

2 METODO DI STUDIO

Un ciclo efficace e collaudato

- LEGGI**
Comprendi i concetti fondamentali
- MAPPA**
Sintetizza con mappe mentali e schemi
- CALCOLA**
Applica le formule con esercizi
- VERIFICA**
Controlla i risultati e confronta
- RIPETI**
Consolida e affronta nuove sfide

Dalla teoria alla padronanza passo dopo passo!

3 PIANO SETTIMANALE

Esempio di organizzazione

Giorno	Attività
Lunedì	Teoria + mappa mentale
Martedì	Esercizi di calcolo
Mercoledì	Approfondimento tematico
Giovedì	Progettazione / CAD
Venerdì	Esercizi e verifica
Sabato	Progetto pratico o laboratorio
Domenica	Ripasso e sintesi

Costanza oggi, competenza domani!

4 DALLA TEORIA ALLA PRATICA

Trasforma la conoscenza in risultati concreti



Le idee diventano realtà quando le metti in pratica!

5 STRUMENTI UTILI

Gli alleati del tuo percorso

- Software CAD (es. Fusion 360, SolidWorks, Inventor)
- Fogli di calcolo (Excel, LibreOffice)
- Manuali e normative tecniche
- Simulatori e software di calcolo
- Strumenti di misura (calibro, micrometro, comparatore)
- Mappe mentali e app per lo studio



Strumenti giusti, risultati migliori!

IL TUO PERCORSO VERSO LA COMPETENZA

Studio → Pratica → Esperienza → Crescita



6 PROGETTI PER ESERCITARSI

Metti in gioco le tue competenze

- Albero di trasmissione (dimensionamento e verifica)
- Staffa di supporto (disegno e analisi strutturale)
- Stadio di riduttore (progettazione e calcoli)
- Bilancio termico di uno scambiatore
- Circuito idraulico (schema e dimensionamento)
- Analisi e ottimizzazione di un componente



Progetti reali per competenze reali!

7 SOFT SKILLS

Competenze che fanno la differenza

- Comunicazione tecnica (chiara, sintetica, efficace)
- Metodo e organizzazione
- Documentazione e reportistica
- Lavoro di squadra (e confronto)
- Problem solving e pensiero critico
- Gestione del tempo



Le competenze tecniche ti fanno entrare, le soft skills ti fanno crescere!

8 PREPARAZIONE A ESAMI E LAVORO

Affronta con sicurezza le prossime sfide

- Ripasso mirato con mappe e formulari
- Simulazione di esercizi e temi d'esame
- Problem solving su casi reali
- Creazione di un portfolio di progetti
- Preparazione al colloquio tecnico
- Aggiornamento su tecnologie e norme



Preparati oggi alle opportunità di domani!

9 MIGLIORAMENTO CONTINUO

Cresci nel tempo

- Misura i tuoi progressi (test ed esercizi)
- Analizza gli errori e impara da essi
- Approfondisci gli argomenti più difficili
- Segui nuovi corsi e risorse
- Aggiornati su innovazioni e tecnologie
- Fissa nuovi obiettivi



Oggi un po' meglio di ieri, domani molto meglio di oggi!

10 CHECKLIST FINALE

Cosa dovresti ora sapere e saper fare

- ☒ Comprendere e collegare i concetti chiave
- ☒ Applicare le formule in modo corretto
- ☒ Leggere e realizzare disegni tecnici
- ☒ Progettare e verificare componenti semplici
- ☒ Analizzare sistemi termici, fluidi e meccanici
- ☒ Scegliere e valutare i materiali
- ☒ Utilizzare strumenti di calcolo e CAD
- ☒ Interpretare norme e criteri di sicurezza
- ☒ Affrontare problemi reali in autonomia
- ☒ Comunicare e documentare il tuo lavoro

Se sai fare questo sei sulla strada giusta!



LA COMPETENZA NASCE DALL'UNIONE DI CONOSCENZA, PRATICA E METODO.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

FORMULARIO DI STATICA E RESISTENZA DEI MATERIALI

LE FORMULE ESSENZIALI DA RICORDARE

Capire le ipotesi
vale quanto
ricordare la formula!

1 EQUILIBRIO STATICO

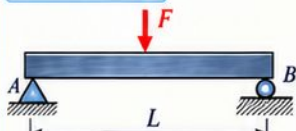
Condizioni di equilibrio di un corpo rigido

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_O = 0$$

Somma delle forze e dei momenti nulla su ogni asse.



Equilibrio = stabilità del sistema!

2 TRAZIONE E COMPRESSIONE

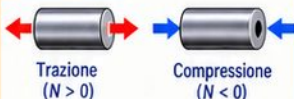
Sollecitazione normale e legge di Hooke

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\sigma = E \varepsilon$$

σ = tensione normale [Pa]
 N = sforzo normale [N]
 A = area di sezione [m²]
 ε = deformazione unitaria [-]
 ΔL = variazione di lunghezza
 L_0 = lunghezza iniziale
 E = modulo di Young [Pa]



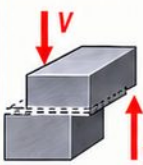
Stessa formula, segno diverso!

3 TAGLIO

Sollecitazione di taglio e distribuzione

$$\tau = \frac{V}{A}$$

τ = tensione di taglio [Pa]
 V = sforzo di taglio [N]
 A = area resistente [m²]



La tensione di taglio è distribuita sulla sezione resistente. Spesso non è uniforme.

Il taglio fa scorrere le sezioni!

4 TORSIONE

Sollecitazione tangenziale in alberi e aste circolari

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

$$\phi = \frac{TL}{GJ}$$

T = momento torcente [N m]
 r = raggio [m]
 J = momento d'inerzia polare [m⁴]
 ϕ = angolo di torsione [rad]
 L = lunghezza [m]
 G = modulo di taglio [Pa]



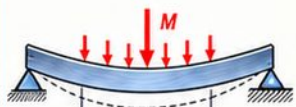
La torsione genera tensioni tangenziali!

5 FLESSIONE

Sollecitazione normale dovuta a momento flettente

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

σ = tensione normale [Pa]
 M = momento flettente [N m]
 y = distanza dall'asse neutro
 I = momento d'inerzia [m⁴]



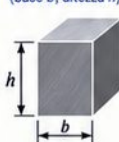
Compressione (sopra l'asse neutro)
Trazione (sotto l'asse neutro)

La flessione unisce trazione e compressione!

6 MOMENTO D'INERZIA

Sezioni più comuni

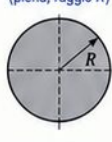
Sezione rettangolare (base b, altezza h)



$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Il momento d'inerzia misura la resistenza alla flessione.

Sezione circolare (piena, raggio R)



$$I = \frac{\pi R^4}{4}$$

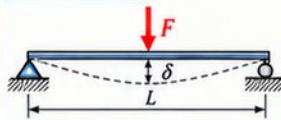
Geometria = resistenza!

7 FRECCIA E RIGIDEZZA

Deformazioni di travi

$$\delta = \frac{FL^3}{48EI}$$

Trave semplicemente appoggiata con carico concentrato centrale



$$\delta = \frac{5qL^4}{384EI}$$

Trave semplicemente appoggiata con carico distribuito uniforme

La freccia dipende da carichi, materiale, geometria e condizioni di vincolo.

Le condizioni al contorno contano!

8 INSTABILITÀ (BUCKLING)

Carico critico di Eulero

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

P_{cr} = carico critico [N]
 E = modulo di Young [Pa]
 I = momento d'inerzia [m⁴]
 L = lunghezza libera [m]
 K = coefficiente di vincolo (dipende dagli estremi)



Valori tipici di K

Cerniera - cerniera	1.0
Incasto - libero	2.0
Incasto - cerniera	0.7
Incasto - incasso	0.5

Colonne snelle possono cedere per instabilità!

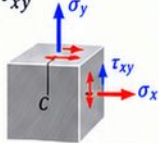
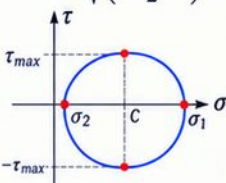
9 CERCHIO DI MOHR

Tensioni piane e tensioni principali

Stato di tensione piano:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$



Dal piano alle tensioni principali!

10 CHECKLIST RAPIDA

Prima di applicare le formule

- ☒ **UNITÀ** Le unità di misura sono coerenti?
- ☒ **IPOTESI** Quali ipotesi semplificative ho fatto?
- ☒ **VINCOLI** Le condizioni di vincolo sono corrette?
- ☒ **CARICHI** Ho considerato tutti i carichi (forze, momenti, distribuiti)?
- ☒ **MATERIALE** Le proprietà del materiale (E, G, σ_y) sono corrette?
- ☒ **SICUREZZA** Ho applicato un coefficiente di sicurezza adeguato?
- ☒ **DIMENSIONI** Le dimensioni sono verificate rispetto ai limiti normativi?
- ☒ **RISULTATI** I risultati sono realistici e coerenti?



Dal modello al componente reale.

Verifica, non dare mai nulla per scontato!

FORMULE CHIARE, VERIFICHE SICURE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERI LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

FORMULARIO DI TERMODINAMICA

Energia si conserva,
ma la direzione
conta!

Energia, proprietà e trasformazioni principali

1 SISTEMA, STATO, PROPRIETÀ

Descrizione e grandezze principali

- **Sistema:** porzione di materia separata dall'ambiente
- **Stato:** definito da proprietà
- **Proprietà termodinamiche principali:**
 - P Pressione [Pa]
 - V Volume [m^3]
 - T Temperatura [K]
 - U Energia interna [J]
 - H Entalpia [J]
 - S Entropia [J/K]



2 GAS IDEALI

Equazione di stato

$$pV = nRT$$

- p = pressione [Pa]
- V = volume [m^3]
- n = moli [mol]
- $R = 8,314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$
- T = temperatura [K]



Forma specifica (per unità di massa):

$$pv = RT$$

- v = volume specifico [m^3/kg]
- R = costante specifica [J/(kg·K)]
- T = temperatura [K]

Un modello semplice
per grandi risultati!

3 PRIMO PRINCIPIO

Sistemi chiusi

La variazione di energia interna è uguale al calore scambiato meno il lavoro compiuto dal sistema.

$$\Delta U = Q - W$$

- ΔU = variazione di energia interna [J]
- Q = calore scambiato con il sistema [J] (positivo se entra)
- W = lavoro compiuto dal sistema [J] (positivo se esce)



4 ENTALPIA E SFEE

Sistemi a flusso stazionario

Entalpia

$$h = u + pv$$

- h = entalpia specifica [J/kg]
- u = energia interna specifica [J/kg]
- p = pressione [Pa]
- v = volume specifico [m^3/kg]

Equazione dell'energia a flusso stazionario (SFEE, forma compatta)

$$q - w = \Delta h + \Delta \left(\frac{v^2}{2} \right) + g \Delta z$$

- q = calore specifico [J/kg]
- w = lavoro specifico [J/kg]
- h = entalpia specifica [J/kg]
- V = velocità del fluido [m/s]
- z = quota [m]
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$



5 CALORI SPECIFICI

Relazioni importanti

- c_p = calore specifico a pressione costante [J/(kg·K)]
- c_v = calore specifico a volume costante [J/(kg·K)]
- Per gas ideali:

$$c_p - c_v = R$$

- Rapporto dei calori specifici:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

- R = costante specifica [J/(kg·K)]
- γ = indice adiabatico ($\approx 1,4$ per l'aria)

$c_p > c_v$
perché serve più energia
per aumentare il volume!

6 LAVORO DI FRONTIERA

Espansione o compressione

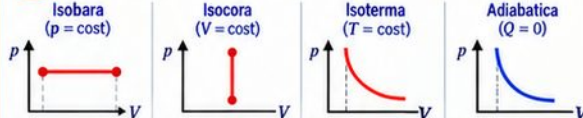
$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

- W = lavoro di frontiera [J]
- p = pressione [Pa]
- V = volume [m^3]



7 TRASFORMAZIONI PRINCIPALI

Confronto tra i processi ideali



Trasformazione	Vincolo	Relazione	Note
Isobara	$p = \text{cost}$	$W = p\Delta V$	$Q = \Delta H$
Isocora	$V = \text{cost}$	$W = 0$	$Q = \Delta U$
Isoterma (gas ideale)	$T = \text{cost}$	$\Delta U = 0$ $W = nRT \ln(V_2/V_1)$	$Q = W$
Adiabatica (reversibile)	$Q = 0$	$pV^\gamma = \text{cost}$ $TV^{\gamma-1} = \text{cost}$	$\Delta U = -W$

Le trasformazioni parlano nei diagrammi!

8 ENTROPIA

Definizione e significato

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

- S = entropia [J/K]
- δQ_{rev} = calore scambiato in modo reversibile [J]
- T = temperatura assoluta [K]
- Misura del grado di disordine del sistema.
- Aumenta nei processi irreversibili.
- Per un sistema isolato: $\Delta S \geq 0$.



9 SECONDO PRINCIPIO

Macchine termiche e limiti di prestazione

- Il calore non può fluire spontaneamente da un corpo freddo a uno caldo.
- L'entropia di un sistema isolato non diminuisce.
- È impossibile una macchina termica con $\eta = 1$ (ciclo di Carnot = limite massimo).

MOTORE TERMICO



$$\eta = \frac{W_{\text{out}}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

$$\eta \leq 1 \text{ (Carnot)}$$

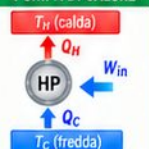
FRIGORIFERO



$$COP_R = \frac{Q_C}{W_{\text{in}}}$$

$$COP_R \leq \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

POMPA DI CALORE



$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{\text{in}}}$$

$$COP_{HP} \leq \frac{T_H}{T_H - T_C}$$

10 CHECKLIST RAPIDA

Prima di risolvere un problema

- ✓ Definisci il sistema
Chiuso, aperto, volume di controllo?
- ✓ Stabilisci la convenzione dei segni
Calore in (+), lavoro out (+)
- ✓ Individua le proprietà note/incognite
 p, V, T, U, H, S , ecc.
- ✓ Usa le unità corrette
 SI (Pa, m^3 , K, J, kg, ...)
- ✓ Identifica il processo
Isobara, isocora, isoterma, adiabatica?
- ✓ Verifica le assunzioni
Gas ideale? Regime stazionario?
Trascurabili $\Delta E_C, \Delta E_P$?
- ✓ Scegli il formulario adatto
Primo principio, SFEE, equazioni di stato, relazioni per processi ideali
- ✓ Controlla la ragionevolezza dei risultati
Ordini di grandezza, segni, limiti fisici

Un buon problema inizia
con le domande giuste!



TERMODINAMICA: CONCETTI SOLIDI, CALCOLI PIÙ CHIARI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

FORMULARIO DI TRASMISSIONE DEL CALORE E MACCHINE TERMICHE

Conduzione, convezione, irraggiamento e rendimenti

Il calore
segue il
gradiente!

1 CONDUZIONE
Legge di Fourier

$$q = -kA \frac{dT}{dx}$$

q = flusso di calore [W]
 k = conducibilità [W/m·K]
 A = area di scambio [m²]
 $\frac{dT}{dx}$ = gradiente termico [K/m]

$T_1 > T_2$

2 RESISTENZA TERMICA
Analogia elettrica

$$R = \frac{L}{kA}$$

R = resistenza termica [K/W]
 L = spessore [m]
 k = conducibilità [W/m·K]
 A = area [m²]

Resistenze in serie:
 $R_{tot} = \sum R_i$

3 CONVEZIONE
Legge di Newton

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

q = flusso di calore [W]
 h = coeff. di convezione [W/m²·K]
 A = area di scambio [m²]
 T_s = temperatura superficie [K]
 T_∞ = temperatura del fluido [K]

Convezione forzata
(o naturale)

4 IRRAGGIAMENTO
Legge di Stefan-Boltzmann

$$q = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{amb}^4)$$

ϵ = emissività (0 ÷ 1)
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ [W/m²·K⁴]
 A = area di scambio [m²]
 T_s = temperatura superficie [K]
 T_{amb} = temperatura ambiente [K]

5 SCAMBIATORI DI CALORE
Metodo LMTD ed ϵ -NTU

$$Q = UA \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Metodo ϵ -NTU:
 usa efficacia ϵ e numero
 di unità di trasferimento NTU.

6 TRANSITORIO TERMICO
Capacità concentrata

$$Bi = \frac{hL_c}{k}$$

$Bi < 0,1 \rightarrow$ modello a capacità concentrata (T uniforme)

$$\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-t/\tau}$$

$$\tau = \frac{\rho c V}{hA}$$

Bi = numero di Biot
 L_c = lunghezza caratteristica [m]
 ρ = densità [kg/m³]
 c = calore specifico [J/kg·K]

Raffreddamento
di un corpo caldo

**7 RENDIMENTO
MACCHINA TERMICA**

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

W = lavoro utile [J]
 Q_H = calore assorbito alla sorgente calda [J]
 Q_C = calore ceduto alla sorgente fredda [J]
 η = rendimento (-)

$0 < \eta < 1$

Rendimento reale
= teoria + perdite!

8 CICLI PRINCIPALI
Applicazioni e utilizzo

- CICLO OTTO**
Motori a benzina (accensione comandata)
- CICLO DIESEL**
Motori diesel (accensione per compressione)
- CICLO BRAYTON**
Turbine a gas (aviazione e power generation)
- CICLO RANKINE**
Impianti a vapore (produzione di energia)

**9 COMPRESSORI, TURBINE,
CALDAIE E CONDENSATORI**
Funzione e relazione di base

- COMPRESSORI**
Aumentano la pressione del fluido.
 $L_{in} = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)}{\eta_c}$
- TURBINE**
Producono lavoro dal fluido in espansione.
 $L_{out} = \dot{m}(h_1 - h_2)\eta_t$
- CALDAIE**
Aggiungono calore a pressione (circa) costante.
 $Q_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1)$
- CONDENSATORI**
Cedono calore al fluido.
 $Q_{out} = \dot{m}(h_1 - h_2)$

10 CHECKLIST RAPIDA
Da ricordare sempre

- ☒ Definisci chiaramente le condizioni al contorno (T, h, q, ecc.).
- ☒ Usa la convenzione dei segni (calore entrante +).
- ☒ Le temperature vanno in Kelvin (K).
- ☒ Verifica se il problema è stazionario o transitorio.
- ☒ Controlla se i componenti sono ideali o reali (considera le perdite).
- ☒ Usa proprietà termofisiche corrette (tabella, grafici, EES).
- ☒ Stima gli ordini di grandezza e verifica la bontà dei risultati.
- ☒ Disegna sempre uno schema con i flussi di calore e lavoro.
- ☒ Per macchine termiche considera i rendimenti reali ($\eta < \eta_{ideale}$).

Un buon schema
vale più di mille calcoli!

DAL CALORE AL LAVORO: LE RELAZIONI CHE CONTANO.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK

IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE

CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

FORMULARIO DI FLUIDI, IDRAULICA E PNEUMATICA

Relazioni indispensabili per analizzare i sistemi a fluido

Stessi principi,
grandi applicazioni!

1 PROPRIETÀ DEI FLUIDI

Dati fondamentali

- ρ Densità [kg/m³]
 Massa per unità di volume
- μ Viscosità dinamica [Pa·s]
 Resistenza allo scorrimento
- ν Viscosità cinematica [m²/s]
 $\nu = \mu/\rho$
- γ Peso specifico [N/m³]
 $\gamma = \rho g$

Valori tipici (20°C)

Acqua	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	$\mu = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa·s}$
Olio idraulico	$\rho \approx 850 \text{ kg/m}^3$	$\mu \approx 0,1 - 0,5 \text{ Pa·s}$
Aria (1 bar)	$\rho \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$	$\mu \approx 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa·s}$

Le proprietà influenzano il comportamento del fluido!

2 PRESSIONE IDROSTATICA

Fluido in quiete

$$p = p_0 + \rho g h$$

- p_0 = pressione di riferimento [Pa]
 ρ = densità del fluido [kg/m³]
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 h = profondità [m]

Manometri

- Pressione assoluta p_{abs}
- Pressione relativa (manometrica)
 $p_g = p_{abs} - p_{atm}$
- Pressione atmosferica
 $p_{atm} \approx 1,013 \text{ bar} = 101325 \text{ Pa}$



3 PORTATA

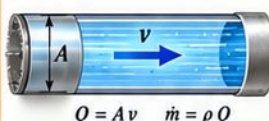
Volume e massa

$$Q = A v$$

- Q = portata volumetrica [m³/s]
 A = area della sezione [m²]
 v = velocità media [m/s]

$$\dot{m} = \rho Q$$

- $\dot{m}$ = portata massica [kg/s]



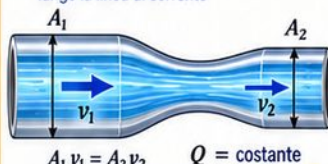
Pressione + portata = prestazione!

4 EQUAZIONE DI CONTINUITÀ

Conservazione della massa

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

- Per flusso stazionario di fluido incompressibile (ρ = costante)
- Se la sezione diminuisce, la velocità aumenta
- La portata Q rimane costante lungo la linea di corrente



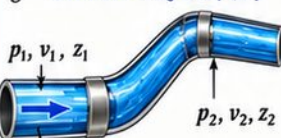
Sezione più piccola = velocità più grande!

5 EQUAZIONE DI BERNOULLI

Energia lungo una linea di corrente

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{costante}$$

- z quota geometrica [m]
 p pressione [Pa]
 γ peso specifico [N/m³]
 v velocità [m/s]
 g accelerazione di gravità [m/s²]



$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

6 PERDITE DI CARICO

Distribuite e localizzate

Perdite di carico distribuite

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

- f = fattore di attrito (Darcy)
 L = lunghezza della condotta [m]
 D = diametro interno [m]
 v = velocità media [m/s]

Perdite di carico localizzate

$$\Delta h_L = \sum K \frac{v^2}{2g}$$

- K = coefficiente di perdita (singolarità: curve, valvole, ecc.)



Ogni perdita racconta una storia!

7 POTENZA IDRAULICA

Pompe e impianti

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

- P = potenza all'albero [W]
 ρ = densità del fluido [kg/m³]
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 Q = portata [m³/s]
 H = prevalenza totale [m]
 η = rendimento globale (0 ÷ 1)

- Le pompe trasformano energia meccanica in energia idraulica:
- Pompe centrifughe
- Pompe a ingranaggi
- Pompe a palette
- Pompe a pistoni



La giusta portata al giusto punto di lavoro!

8 PNEUMATICA ESSENZIALE

Aria compressa

- Gas comprimibile: legge di Boyle (isotermica)
 $p V \approx \text{costante}$

Forza di un cilindro pneumatico

$$F = p A$$

- p = pressione dell'aria [Pa]
 A = area del pistone [m²]
 F = forza [N]

Catena dell'aria compressa



9 NUMERO DI REYNOLDS

Regime di moto nei condotti

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

- ρ = densità [kg/m³]
 v = velocità media [m/s]
 D = diametro [m]
 μ = viscosità dinamica [Pa·s]



Regimi di flusso (nei tubi)

Re	Regime
$Re < 2300$	Laminare
$2300 - 4000$	Transizione
$Re > 4000$	Turbolento

10 CHECKLIST RAPIDA

Cosa verificare sempre

- ✓ Usa le unità di misura corrette (SI)
- ✓ Distingui pressione assoluta e relativa
- ✓ Scegli un volume di controllo adeguato
- ✓ Identifica tutte le perdite di carico
- ✓ Controlla il regime di flusso (Reynolds)
- ✓ Verifica rendimento e punto di lavoro
- ✓ Rispetta le norme di sicurezza negli impianti idraulici e pneumatici
- ✓ Controlla valvole, tubazioni e connessioni
- ✓ Considera temperatura e compressibilità (aria)
- ✓ Documenta ipotesi, calcoli e risultati



MISURA IL FLUSSO, COMPRENDI IL SISTEMA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

MATERIALI E TRATTAMENTI: SCHEDA SINOTTICA

La proprietà giusta nel contesto giusto!

Confronti rapidi per scegliere con criterio

1 FAMIGLIE PRINCIPALI

Caratteristiche e impieghi tipici

	ACCIAI	- Alta resistenza - Versatilità - Ampla disponibilità
	GHISE	- Buona colabilità - Smorzamento vibrazioni - Economiche
	ALLUMINIO	- Leggerezza - Buona lavorabilità - Resistenza alla corrosione
	RAME E BRONZI	- Alta conducibilità - Resistenza all'usura - Buone proprietà tribologiche
	POLIMERI	- Leggerezza - Resistenza chimica - Basso costo
	COMPOSITI	- Alte prestazioni - Rapporto resistenza/peso - Soluzioni avanzate

2 PROPRIETÀ MECCANICHE

Valori tipici e confronti (ordine di grandezza)

Materiale	E (GPa)	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	Durezza (HB)	Tenacità (KJ/m²)
Acciaio	210	250	500	150	50
Ghisa	100	—	200	180	10
Alluminio	70	100	250	60	30
Rame	110	70	220	50	80
Polimeri (PA)	2-4	50	70	10	5
Compositi (CFRP)	70-150	600	1000	—	40

Prestazione, processo e costo devono dialogare!



NESSUN MATERIALE È PERFETTO: LA SCELTA DIPENDE DALL'APPLICAZIONE!

3 DENSITÀ E LEGGEREZZA

Confronto tra materiali comuni

	Densità (kg/m³)
Polimeri	900 - 1.400
Alluminio	2.700
Magnesio	1.800
Acciaio	7.800
Ghisa	7.200
Rame	8.900
Compositi (CFRP)	1.600



Meno peso, più possibilità!

4 CORROSIONE E DURABILITÀ

Comportamento in ambienti diversi

Materiale	Atmosfera	Ambiente marino	Ambiente chimico
Acciaio al carbonio	●	✗	●
Acciaio inox	●	●	●
Alluminio	●	●	●
Rame/Bronzi	●	●	●
Polimeri	●	●	●
Compositi	●	●	●

● Buona resistenza ● Discreta ✗ Scarsa



La durabilità aumenta il valore nel tempo!

5 TRATTAMENTI TERMICI DELL'ACCIAIO

Effetti e applicazioni principali

	Ricottura	- Riduce le tensioni - Aumenta la duttilità - Migliora la lavorabilità
	Normalizzazione	- Raffina la grana - Uniforma la struttura - Migliora le proprietà meccaniche
	Tempra	- Aumenta la durezza - Forma martensite - Elevata resistenza all'usura
	Rinvenimento	- Riduce la fragilità - Migliora la tenacità - Stabilizza le proprietà



Trattare per ottenere le proprietà desiderate!

6 TRATTAMENTI SUPERFICIALI

Protezione e prestazioni

	Carburazione	- Aumenta la durezza superficiale - Migliora la resistenza all'usura
	Nitrazione	- Elevata durezza superficiale - Ottima resistenza a fatica - Minori deformazioni
	Zincatura	- Protezione dalla corrosione - Economica - Per acciai
	Anodizzazione (alluminio)	- Maggiore resistenza alla corrosione - Migliora l'estetica - Possibile colorazione
	Verniciatura	- Protezione ambientale - Amplia scelta di colori - Soluzione economica



Una superficie corretta aumenta la vita del componente!

7 CRITERI DI SCELTA

Valuta le esigenze dell'applicazione

	Costo	Materiale e processo
	Lavorabilità	Truciolabilità, formabilità
	Saldabilità	Facilità e qualità del giunto
	Disponibilità	Reperibilità sul mercato
	Riciclabilità	Impatto ambientale

Scelte consapevoli per un futuro sostenibile!

8 PROVE MECCANICHE

Cosa misurano e cosa forniscono

	Trazione	σ_y, σ_u, allungamento - Curva sforzo-deformazione
	Durezza	- Resistenza a penetrazione - Metodi: Brinell, Vickers, Rockwell
	Resilienza	- Energia assorbita - Tenacità - Prova Charpy
	Fatica	- Resistenza a carichi ciclici - Curva S-N - Vita a fatica



Misurare per conoscere, conoscere per progettare!

9 APPLICAZIONI TIPICHE

Esempi di scelta del materiale

	Albero	Acciaio legato (tempra + rinvenimento)
	Carcassa	Ghisa sferoidale o alluminio
	Staffa	Acciaio al carbonio o alluminio
	Ingranaggio	Acciaio cementato o nitratato
	Guarnizione	Elastomeri (polimeri)



Ogni applicazione ha il suo materiale ideale!

10 CHECKLIST FINALE

Domande da porsi prima di scegliere

☒	Quali sono i carichi e le sollecitazioni?
☒	Serve resistenza alla corrosione?
☒	Qual è la temperatura di esercizio?
☒	Sono richieste proprietà speciali? (es. leggerezza, conducibilità, isolamento)
☒	Quali processi produttivi sono disponibili?
☒	Il materiale è economicamente sostenibile?
☒	È facilmente reperibile?
☒	È riciclabile o a basso impatto ambientale?
☒	Soddisfa le normative e gli standard?
☒	Ho confrontato alternative possibili?



Analizza, confronta, scegli con metodo!

SCEGLIERE IL MATERIALE GIUSTO RIDUCE RISCHI E COSTI.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ



FORMULARIO DI ELEMENTI DI MACCHINE E TRASMISSIONI

Criteri essenziali per dimensionare e scegliere i componenti

Ogni componente
ha il suo campo ideale

1 ALBERI

Torsione e carichi combinati

Verifica a resistenza e rigidità per torsione, flessione e carichi combinati.

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J}$$

(torsione)

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$$

(flessione)

Sezione circolare piena:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad W = \frac{\pi d^3}{16}$$



2 CUSCINETTI VOLVENTI

Vita L10 e fattori di scelta

La vita nominale L_{10} è il numero di giri al quale il 90% dei cuscinetti uguali funziona senza cedimenti.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$p = 3$ (sfere)
 $p = 10/3$ (rulli)
[giri]

C = carico dinamico di base [N]
 P = carico equivalente [N]

Fattori di selezione

Carico	radiale, assiale, combinato
Velocità	limiti dei costruttori
Precisione	classi di tolleranza
Temperatura	materiali e lubrificazione
Ambiente	tenute e contaminazione



3 CUSCINETTI RADENTI

Pressione, velocità e limite PV

Verifica di pressione di contatto e velocità di strisciamento.

$$p = \frac{F}{d \cdot L}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$$

Limite PV:

$$p \cdot v \leq (PV)_{\max}$$

Valori indicativi (bronzo)

p [MPa]	1 - 10
v [m/s]	0,5 - 10
PV [MPa·m/s]	1 - 5



4 INGRANAGGI

Rapporto, coppia e modulo

Rapporto di trasmissione:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

Relazione coppia-velocità:

$$T_2 = T_1 \cdot i \quad (\eta \approx 0,95 - 0,99)$$

Modulo (sistema metrico):

$$m = \frac{d}{z}$$

d = diametro primitivo [mm]
 z = numero di denti
 m = modulo [mm]



Trasmettere bene
significa durare
di più.

5 CINGHIE E PULEGGE

Rapporto di velocità e tensioni

Trasmissione flessibile, silenziosa e adatta a grandi interassi.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

Tensioni nella cinghia:

$$F_1 - F_2 = \frac{2 \cdot T}{D}$$

F_1 = tensione lato teso [N]
 F_2 = tensione lato lento [N]
 T = coppia trasmessa [N·m]
 D = diametro puleggia [m]



6 CATENE E PIGNONI

Trasmissione positiva e passo

Trasmissione senza slittamento, adatta ad ambienti gravosi.

Velocità della catena:

$$v = \frac{p \cdot z \cdot n}{60} \quad [\text{m/s}]$$

Forza di trazione:

$$F = \frac{T}{r} \quad \left(r = \frac{p \cdot z}{2\pi} \right)$$

p = passo della catena [mm]
 z = numero di denti
 n = giri/min



Tipi di catene

A rulli	uso generale
Silent	alta velocità
A perni cavi	carichi gravosi
In acciaio inox	ambienti corrosivi

7 GIUNTI

Rigidi, elastici e di sicurezza

Collegano due alberi compensando disallineamenti e assorbendo urti.

Tipi e caratteristiche

Rigidi	alta precisione no disallineamenti
Elastici	assorbono urti piccoli disallineamenti
Di sicurezza	limitano la coppia proteggono il sistema



Verifica principali

- Coppia nominale
- Disallineamento (angolare, radiale, assiale)
- Velocità di rotazione
- Rigidità torsionale
- Temperatura e ambiente

8 MOLLE

Rigidità ed energia

Relazione forza-deflessione:

$$k = \frac{F}{\delta} \quad \begin{matrix} k = \text{rigidezza [N/mm]} \\ F = \text{forza [N]} \\ \delta = \text{deformazione [mm]} \end{matrix}$$

Energia immagazzinata:

$$U = \frac{1}{2} k x^2 \quad [\text{J}]$$

Tipi di molle

- A compressione
- A trazione
- A torsione
- A balestra
- A tazza



9 VITI E BULLONI

Prearico e verifica di resistenza

Prearico consigliato:

$$F_0 = 0,7 - 0,9 \cdot R_p \cdot A_s$$

Area resistente (filettatura):

$$A_s = \frac{\pi}{4} (d - 0,9382 \cdot p)^2$$

Verifica a trazione:

$$\sigma = \frac{F}{A_s} \leq \sigma_{\text{amm}}$$

R_p = resistenza di prova [MPa]
 d = diametro nominale [mm]
 p = passo [mm]



Buone pratiche

- Usare il corretto grado
- Applicare il giusto prearico
- Verificare il serraggio
- Usare rondelle e sistemi anti-svitamento

10 CHECKLIST RAPIDA

Criteri di scelta dei componenti

Per ogni componente verifica sempre:

- ☒ Carichi (entità, direzione, tipo)
- ☒ Velocità di rotazione o traslazione
- ☒ Condizioni ambientali (temperatura, polvere, umidità, corrosione)
- ☒ Lubrificazione (tipo, intervalli)
- ☒ Manutenzione e durata richiesta
- ☒ Ingombri e vincoli di spazio
- ☒ Costo e disponibilità
- ☒ Norme di riferimento e sicurezza



Trasmettere bene
significa durare di più.

SELEZIONARE BENE I COMPONENTI È GIÀ PROGETTARE BENE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

TABELLE RAPIDE, TOLLERANZE E CONVERSIONI

Dati rapidi,
decisioni più rapide

Un colpo d'occhio per i dati usati più spesso

1 PREFISSI SI
E POTENZE DI DIECI

Prefisso	Simbolo	Fattore
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
etto	h	10^2
deca	da	10^1
(nessuno)		10^0
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

Unità giuste,
misure senza errori!2 CONVERSIONI UTILI
PRESSIONE, ENERGIA, POTENZA,
TEMPERATURA

PRESSIONE	
1 Pa	1 N/m ²
1 bar	10^5 Pa = 0,1 MPa
1 MPa	10^6 Pa = 10 bar
1 atm	101 325 Pa ≈ 1,013 bar
ENERGIA	
1 J	1 N·m
1 kJ	10^3 J
1 kWh	$3,6 \cdot 10^6$ J
1 cal	4,186 J
POTENZA	
1 W	1 J/s
1 kW	10^3 W
1 CV	735,5 W
1 HP	745,7 W
TEMPERATURA	
T (K) = T (°C) + 273,15	
T (°C) = T (K) - 273,15	
T (°F) = 1,8 · T (°C) + 32	

3 RUGOSITÀ SUPERFICIALE
CLASSI Ra (ISO 1302)

Classe	Ra [μm]	Aspetto / Impiego
N1	0,025	Lappatura, altissima precisione
N2	0,05	Accoppiamenti critici
N3	0,1	Superfici di tenuta
N4	0,2	Scorimenti, guide
N5	0,4	Superfici funzionali
N6	0,8	Lavorazioni comuni
N7	1,6	Usinatura standard
N8	3,2	Superfici non critiche
N9	6,3	Pezzi grezzi
N10	12,5	Fonderia, grossolana



Ra 1,6

Superfici migliori,
prestazioni più affidabili!

4 TOLLERANZE E ACCOPPIAMENTI
SISTEMA A FORO BASE (ISO 286)

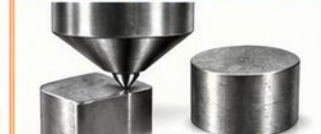
Esempi	Foro H7	Albero g6	Gioco/Interferenza
Ø 20 mm	20 +0,021 0	19,993 -0,007 -0,020	Gioco (accoppiamento di scorrimento)
Ø 50 mm	50 +0,025 0	49,984 -0,009 -0,025	Gioco (accoppiamento di scorrimento)
Ø 100 mm	100 +0,035 0	99,972 -0,012 -0,034	Gioco (accoppiamento di scorrimento)

5 FILETTATURE METRICHE
PASSO GROSSO (ISO 261)

Diametro d [mm]	Passo P [mm]	Ø nocciolo ≈ [mm]
M3	0,5	2,46
M4	0,7	3,24
M5	0,8	4,13
M6	1,0	4,92
M8	1,25	6,65
M10	1,5	8,38
M12	1,75	10,11
M16	2,0	13,84
M20	2,5	17,29

6 DUREZZE DEI MATERIALI
CONFRONTO INDICATIVO

Materiale	HB (Brinell)	HRC (Rockwell C)	HV (Vickers)
Acciaio dolce	120	—	120
Acciaio C45	200	20	210
Acciaio temprato	300	30	320
Acciaio utensile	—	55	700
Ghisa grigia	180	—	200
Alluminio	50	—	60
Ottone	70	—	80
Bronzo	90	—	100
Titanio	330	36	350

7 DENSITÀ INDICATIVE
DEI PRINCIPALI MATERIALI

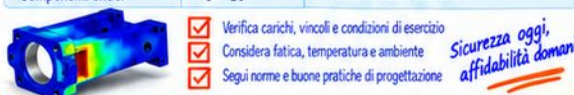
Materiale	ρ [kg/m ³]
Acciaio	7 850
Ghisa	7 200
Alluminio	2 700
Rame	8 900
Ottone	8 500
Bronzo	8 800
Titanio	4 500
Magnesio	1 800
Zinco	7 100
Polipropilene (PP)	900
ABS	1 040
Nylon (PA)	1 150
Acciaio inox	7 900

8 MODULI ELASTICI
E DILATAZIONE TERMICA

Materiale	E [GPa]	α [10 ⁻⁶ /°C]
Acciaio	210	12
Ghisa	110	10
Alluminio	70	23
Rame	110	17
Ottone	100	19
Titanio	116	8,6
Magnesio	45	26
Calcestruzzo	30	12
Vetro	70	9
Polipropilene	1,5	100
ABS	2,1	80
Nylon (PA)	2,5	90

9 COEFFICIENTI DI SICUREZZA
E NOTE DI PROGETTO

Applicazione	n (tipico)	Note
Carichi statici	1,5 - 2	Dipende da materiale e rischio
Carichi dinamici	2 - 4	Urti, vibrazioni, fatica
Elementi a fatica	3 - 5	Variazioni di carico cicliche
Sollevamento	4 - 7	Norme specifiche (es. UNI, EN)
Recipienti in pressione	3 - 6	Secondo normativa (PED)
Componenti critici	5 - 10	Alta affidabilità e sicurezza



10 ERRORI DA EVITARE E CHECKLIST FINALE

ERRORI COMUNI DA EVITARE	CHECKLIST FINALE
- Usare unità di misura non coerenti - Ignorare tolleranze e accoppiamenti - Sottovalutare rugosità e trattamenti - Scegliere materiale inadeguato - Non considerare temperatura e ambiente - Dimenticare i coefficienti di sicurezza - Trascurare fatica e carichi dinamici - Confondere disegni, versioni e revisioni - Non verificare normative applicabili - Saltare la fase di verifica finale	- Unità di misura corrette e coerenti - Tolleranze e accoppiamenti verificati - Rugosità adeguata alla funzione - Materiale e trattamenti definiti - Carichi e condizioni di esercizio considerati - Coefficiente di sicurezza applicato - Norme e standard rispettati - Disegni aggiornati e ben quotati - Materiali e calcoli documentati - Pronto per produzione o prototipo



PICCOLE TABELLE, GRANDE UTILITÀ IN PROGETTO.

STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOKIMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONECONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

RIPASSO FINALE IN 30 GIORNI

Costanza
batte intensità!

Un percorso pratico per consolidare tutto il manuale

1 OBIETTIVO E METODO

Poco ogni giorno,
costanza nel tempo



Consolidare
tutto il manuale
in 30 giorni



Studio regolare
e pianificato



Progressi piccoli
ma continui



La costanza
porta ai risultati

Meglio poco
ogni giorno
che tutto
all'ultimo!

2 SETTIMANA 1

Fondamenti di meccanica,
materiali e unità



Disegno tecnico
e tolleranze



Meccanica dei solidi
(sforzi, deformazioni)



Materiali
e proprietà



Metrologia
e unità di misura



3 SETTIMANA 2

Termodinamica,
calore e fluidi



Termodinamica
(leggi e cicli)



Trasmissione
del calore



Meccanica
dei fluidi



Sistemi idraulici
e pneumatici



4 SETTIMANA 3

Elementi di macchine,
fabbricazione e manutenzione



Elementi di macchine
(alberi, giunti, ingranaggi)



Processi di
fabbricazione



Manutenzione
(in preventiva e correttiva)



Macchine termiche
e motori



5 SETTIMANA 4

Sicurezza, metrologia
e ripasso integrato



Sicurezza sul lavoro
(norme, rischi, DPI)



Metrologia
(strumenti e controlli)



Ripasso integrato
di tutti gli argomenti



Simulazioni finali
e test completi

Tutto si collega!
Ripassa, verifica
e consolida.

6 SCHEMA GIORNALIERO

Una routine semplice ed efficace



LEGGI

Rileggi i concetti principali



MAPPA

Crea o rivedi la mappa mentale



FORMULA

Ripassa le formule chiave



ESERCIZIO

Svolgi esercizi ed esempi



VERIFICA

Controlla i risultati
e segnati i dubbi

5 passi ogni giorno
per grandi risultati!

7 TECNICA DI RIPETIZIONE

Spaced repetition per ricordare a lungo



1ª RIPETIZIONE

Dopo 24 ore
Rivedi brevemente
le mappe e i concetti



2ª RIPETIZIONE

Dopo 7 giorni
Rafforza i concetti
con esercizi



3ª RIPETIZIONE

Dopo 14 giorni
Verifica ciò che ricordi
e colma i vuoti



4ª RIPETIZIONE

Dopo 30 giorni
Ripasso completo
e simulazione finale

Ripetere è imparare due volte!

8 COME USARE TUTTI GLI STRUMENTI

Mappe, formulari, checklist e quiz in sinergia



MAPPE MENTALI

Per avere una visione d'insieme
e collegare i concetti



FORMULARI

Per trovare rapidamente
le formule e le leggi



CHECKLIST

Per non dimenticare nessun argomento



QUIZ

Per metterti alla prova
e verificare la preparazione



Studia
Collega
Verifica
Cresci!

9 TRACKER DEI PROGRESSI

Segna ogni giorno e vedi crescere i tuoi risultati

MESE DI STUDIO						
Lun	Mar	Mer	Gio	Ven	Sab	Dom
1 ✓	2 ✓	3 ✓	4 ✓	5 ✓	6 ✓	7 ✓
8 ✓	9 ✓	10 ✓	11 ✓	12 ✓	13 ✓	14 ✓
15 ✓	16 ✓	17 ✓	18 ✓	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

I MIEI OBIETTIVI

- ☒ Completare tutte le sezioni
- ☐ Svolgere più di 100 esercizi
- ☐ Recuperare i punti deboli
- ☐ Fare una simulazione finale
- ☐ Sentirmi pronto all'esame

PROGRESSO COMPLESSIVO



10 ERRORI COMUNI E MOTIVAZIONE FINALE

Evita gli errori, mantieni la motivazione

- ☒ Studiare tutto all'ultimo
- ☒ Leggere senza fare esercizi
- ☒ Non ripetere nel tempo
- ☒ Saltare gli argomenti difficili
- ☒ Non verificare i risultati
- ☒ Distrarsi con il telefono
- ☒ Non credere nei propri progressi
- ☒ Pianifica e sii costante
- ☒ Affronta un argomento alla volta
- ☒ Usa tutti gli strumenti del manuale
- ☒ Misura i tuoi progressi
- ☒ Premiati per i risultati raggiunti

Non è solo uno studio,
è un investimento
nel tuo futuro!

Oggi
un passo in più
verso i tuoi
obiettivi!



UN BUON RIPASSO TRASFORMA LA MEMORIA IN COMPETENZA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

QUIZ FINALE DI AUTOVALUTAZIONE

10 aree, 10 controlli per capire dove sei forte

*Verificarti è il modo
più rapido per migliorare!*

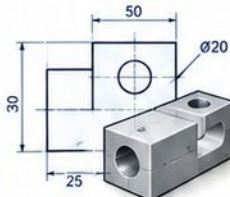
1 DISEGNO TECNICO E UNITÀ

1. Quale vista rappresenta correttamente il profilo?

- ☐ A) Frontale
☐ B) Laterale
☐ C) Dall'alto

2. 25 mm corrispondono a:

- ☐ A) 0,25 m
☐ B) 0,025 m
☐ C) 2,5 m



2 STATICA E RESISTENZA

1. Una trave appoggiata con carico centrale ha il massimo momento:

- ☐ A) Agli appoggi
☐ B) A metà campata
☐ C) All'estremità

2. La tensione normale è data da:

- ☐ A) $\sigma = F/A$
☐ B) $\sigma = M/W$
☐ C) $\sigma = E \cdot \epsilon$



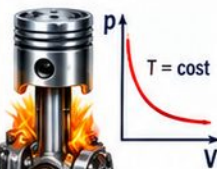
3 TERMODINAMICA

1. In un ciclo di Carnot il rendimento dipende da:

- ☐ A) Pressione
☐ B) Temperature estreme
☐ C) Volume

2. Durante una trasformazione isoterma di un gas ideale:

- ☐ A) $\Delta U > 0$
☐ B) $\Delta U = 0$
☐ C) $\Delta U < 0$



4 TRASMISSIONE DEL CALORE

1. La conduzione avviene principalmente nei:

- ☐ A) Fluidi
☐ B) Solidi
☐ C) Gas rarefatti

2. La legge di Fourier è:

- ☐ A) $q = -kA \frac{dT}{dx}$
☐ B) $q = hA\Delta T$
☐ C) $q = \sigma \epsilon (T_1^4 - T_2^4)$



5 FLUIDI E IDRAULICA

1. La pressione in un fluido in quiete aumenta con:

- ☐ A) La profondità
☐ B) La velocità
☐ C) La temperatura

2. Il principio di Pascal afferma che la pressione si trasmette:

- ☐ A) Solo verso l'alto
☐ B) In tutte le direzioni
☐ C) Solo nei liquidi



6 ELEMENTI DI MACCHINE

1. Un cuscinetto radiale serve a sopportare principalmente:

- ☐ A) Carichi assiali
☐ B) Carichi radiali
☐ C) Momenti torcenti

2. In una trasmissione a ingranaggi, il rapporto di trasmissione è:

- ☐ A) n_2/n_1
☐ B) z_2/z_1
☐ C) d_2/d_1



7 PROCESSI DI FABBRICAZIONE

1. La tornitura si utilizza principalmente per:

- ☐ A) Superfici piane
☐ B) Superfici cilindriche
☐ C) Fori interni

2. Nella fresatura il moto principale è:

- ☐ A) Del pezzo
☐ B) Dell'utensile
☐ C) Di avanzamento



8 VIBRAZIONI, MANUTENZIONE E TRIBOLOGIA

1. La frequenza naturale di un sistema massa-molla è:

- ☐ A) $f = 1/(2\pi) \sqrt{m/k}$
☐ B) $f = k/m$
☐ C) $f = 2\pi \sqrt{m/k}$

2. La manutenzione predittiva si basa su:

- ☐ A) Interventi a tempo
☐ B) Monitoraggio e analisi
☐ C) Sostituzione programmata



9 METROLOGIA, MATERIALI E SICUREZZA

1. Uno strumento adatto a misurare un diametro con precisione è:

- ☐ A) Metro a nastro
☐ B) Calibro
☐ C) Goniometro

2. Quale DPI è obbligatorio in officina meccanica?

- ☐ A) Occhiali di protezione
☐ B) Guanti da cucina
☐ C) Maschera antigas



10 CORREZIONE FINALE

1. Hai completato tutti i quiz?

- ☐ Sì
☐ No

2. Ti senti sicuro/a nei temi affrontati?

- ☐ Sì
☐ Abbastanza
☐ Devo ancora ripassare

*Scopri i punti deboli
prima dell'esame!*



IL TUO PUNTEGGIO

Conta le risposte corrette e confronta il risultato:

0 - 10	Da ripassare	Rivedi i concetti principali e rifai i quiz.
11 - 18	Buono ma da consolidare	Sei sulla buona strada, rinforza gli argomenti più deboli.
19 - 24	Molto buono	Hai una buona preparazione, continua ad esercitarti.
25+	Ottima padronanza	Complimenti! Sei pronto/a per l'esame!

☒ Verificarti è il modo
più rapido per
migliorare!

☒ Scopri i punti deboli
prima dell'esame!

I PROSSIMI PASSI

- ☒ Ripassa gli argomenti più deboli
☒ Rifai i quiz tra qualche giorno
☒ Consulta le mappe mentali
☒ Allenati con esercizi e casi reali
☒ Chiedi chiarimenti se necessario
☒ Punta al miglioramento continuo!



MISURARE LA PREPARAZIONE È GIÀ PARTE DELLA PREPARAZIONE.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

COMPLIMENTI!

HAI COSTRUITO LA TUA BASE DI INGEGNERIA MECCANICA

Dalle mappe mentali alla competenza reale

*Studia,
applica,
migliora!*

1 COSA HAI ACQUISITO

In 250 pagine hai costruito una solida base di conoscenze:

- ✓ Concetti fondamentali
- ✓ Metodi di analisi e calcolo
- ✓ Strumenti di progetto e verifica
- ✓ Conoscenza di macchine e sistemi
- ✓ Competenze pratiche e operative
- ✓ Capacità di risolvere problemi
- ✓ Mentalità ingegneristica

*Ora hai le idee più chiare
e gli strumenti per andare lontano!*

2 LE GRANDI AREE COPERTE

-  DISEGNO TECNICO E PROGETTAZIONE
-  MECCANICA DEI SOLIDI E RESISTENZA
-  TERMODINAMICA
-  MECCANICA DEI FLUIDI
-  MACCHINE E TRASMISSIONI
-  PROCESSI E MATERIALI
-  MISURE E CONTROLLO
-  MANUTENZIONE E SICUREZZA
-  ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
-  APPLICAZIONI E PROGETTI

3 COME CONTINUARE A STUDIARE

- ✓ Approfondisci gli argomenti che ti interessano di più
- ✓ Usa libri, corsi e risorse online
- ✓ Fai esercizi ed esempi pratici
- ✓ Segui progetti reali
- ✓ Confrontati con docenti e colleghi
- ✓ Partecipa a workshop e laboratori
- ✓ Rimani curioso e aggiornato sulle nuove tecnologie

*La formazione è un viaggio
che dura tutta la vita!*

4 COME USARE IL MANUALE PER IL RIPASSO

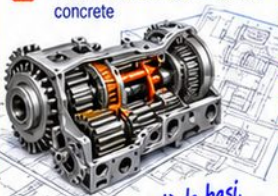
- ✓ Rivedi le mappe mentali
- ✓ Consulta i riassunti
- ✓ Ripeti le formule principali
- ✓ Risolvi gli esercizi selezionati
- ✓ Completa le checklist
- ✓ Verifica con i quiz
- ✓ Usa l'indice per tornare agli argomenti chiave
- ✓ Crea le tue sintesi personali

*Un ripasso mirato
ti rende più sicuro
e più veloce!*



5 COME COLLEGARE TEORIA E PRATICA

- ✓ Applica i concetti a casi reali
- ✓ Usa software di calcolo e CAD
- ✓ Analizza componenti e macchine reali
- ✓ Visita aziende e laboratori
- ✓ Svolgi progetti pratici
- ✓ Impara dagli errori
- ✓ Trasforma la teoria in soluzioni concrete



*La teoria ti dà le basi,
la pratica ti fa crescere!*



6 STRUMENTI DA TENERE SEMPRE VICINI

-  Mappe mentali (visione d'insieme)
-  Formulari (formule essenziali)
-  Esercizi (pratica costante)
-  Checklist (controlla i progressi)
-  Quiz (metti alla prova le tue conoscenze)

*Strumenti semplici,
per grandi risultati!*

7 PICCOLO PIANO D'AZIONE PER I PROSSIMI 7 GIORNI

- 1 Rivedi le mappe di un'area chiave
- 2 Risolvi almeno 10 esercizi
- 3 Approfondisci un argomento di tuo interesse
- 4 Fai una sintesi a mano
- 5 Applica un esempio pratico con un software
- 6 Verifica i tuoi progressi con un quiz
- 7 Pianifica il prossimo obiettivo

*7 giorni per consolidare
e ripartire più forte!*



8 MENTALITÀ DELL'INGEGNERE

-  **OSSERVA**
Guarda il problema da più angolazioni.
-  **MISURA**
Raccogli dati e fatti, non opinioni.
-  **ANALIZZA**
Cerca le cause, valuta le soluzioni.
-  **MIGLIORA**
Trasforma le idee in risultati concreti.

*Curiosità + Metodo + Costanza
= Grandi risultati!*

9 IL TUO PERCORSO FUTURO

-  **ESAMI**
Affrontali con metodo e sicurezza.
-  **PROGETTI**
Sviluppa idee e soluzioni innovative.
-  **LAVORO**
Metti in gioco le tue competenze nel mondo reale.
-  **CRESCITA**
Specializzati, continua a imparare, costruisci la tua carriera.
-  **IMPATTO**
Contribuisci a un futuro più efficiente, sicuro e sostenibile.

Il meglio deve ancora venire!

10 MESSAGGIO FINALE

*La conoscenza
è un investimento
che nessuno può portarti via.*

Hai completato 250 pagine di studio, impegno e crescita. Ora possiedi una solida base di ingegneria meccanica: usa ciò che hai imparato, mettili alla prova, continua a costruire il tuo futuro.

*Credi nelle tue capacità,
la prossima innovazione
potrebbe partire da te!*

*Complimenti!
Hai fatto un ottimo lavoro!*



LA CONOSCENZA DIVENTA VALORE QUANDO LA METTI IN PRATICA.



STUDIA DOVE E QUANDO VUOI
SU SMARTPHONE, TABLET E NOTEBOOK



IMPARA IN MODO VISIVO
E ACCELERA LA MEMORIZZAZIONE



CONCENTRATI SU CIÒ CHE CONTA DAVVERO
E IMPARA DI PIÙ

IDEE • CONCETTI • COMPETENZE • INGEGNERIA

250

Un futuro migliore si costruisce con la conoscenza!

