

# Esame di Stato Ingegneria

Paolo Ottolino, OPST CISSP-ISSAP CISA CISM ITIL

21 settembre 2010

This program is free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 1, or (at your option) any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 675 Mass Ave, Cambridge, MA 02139, USA. \*/



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Professione . . . . .	1
1.1.1	System Theory . . . . .	1
1.2	Progettazione della Soluzione . . . . .	1
1.2.1	Energia . . . . .	2
1.3	Codice Deontologico . . . . .	3
1.3.1	Principi Generali . . . . .	3
1.3.2	Rapporti con l'Ordine . . . . .	3
1.3.3	Collegli . . . . .	3
1.3.4	Clienti . . . . .	3
1.3.5	Autorità . . . . .	4
1.3.6	Autorità Giudiziarie . . . . .	4
1.4	Sicurezza . . . . .	4
1.4.1	Prevenzione degli Infortuni . . . . .	4
1.4.2	Sicurezza degli Impianti . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Elettrica</b>	<b>5</b>
2.1	Trasporto . . . . .	5
2.1.1	Concetti Generali . . . . .	5
2.1.2	Apparecchi di Manovra . . . . .	7
2.2	Protezione e Sicurezza . . . . .	8
2.2.1	Sovratensioni: Messa a Terra . . . . .	8
2.2.2	Sovracorrenti: Valvole . . . . .	9
2.3	Macchine Elettriche . . . . .	10
2.3.1	Trasformatore . . . . .	10
2.3.2	Motore . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Meccanica</b>	<b>15</b>
3.1	Fisica Tecnica (Termodinamica) . . . . .	15
3.1.1	Trasmissione del Calore . . . . .	15
3.1.2	Pareti . . . . .	16
3.1.3	Scambiatori di Calore . . . . .	17
3.2	Meccanica Applicata . . . . .	17
3.2.1	Cicli Termodinamici . . . . .	17
3.2.2	Forze, Energie e Rendimento . . . . .	18
3.3	Macchine . . . . .	19
3.3.1	Organi Meccanici . . . . .	19
3.3.2	Turbine . . . . .	19

---

<b>4 Strutture</b>	<b>23</b>
4.1 Meccanica Classica . . . . .	23
4.1.1 Forza, Sistemi di Forza . . . . .	23
4.1.2 Corpo Rigido e Deformabile . . . . .	23
4.1.3 Gradi di Libertà e Vincoli . . . . .	24
4.2 Reazioni Vincolari . . . . .	24
4.2.1 Tipologie di Vincoli . . . . .	24
4.2.2 Equazioni Cardinali della Statica . . . . .	25
4.2.3 Vincoli di Uso Comune . . . . .	26
4.2.4 Sistemi Reticolari: Piani Isostatici . . . . .	26
4.3 Deformazione: Statica della Trave . . . . .	27
4.3.1 Sforzi . . . . .	27
4.3.2 Torsione . . . . .	28
4.3.3 Verifica di Resistenza . . . . .	29
4.3.4 Elementi Strutturali Tipici . . . . .	29

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Professione

**Ingegnere:** giocoliere di concetti e principi, per mezzo della matematica -*i*, risolve *problemi*.

**Problema:** questione, quesito che richiede la determinazione (ed, a volte, la conseguente costruzione) di una o più entità che soddisfino condizioni (requisiti, soecifiche ed obiettivi) prefissati

**System Theory:** creazione di un modello matematico completo, necessario per tradurre il problema ed il suo ambiente in un insieme di concetti astratti, utili ad essere manipolati matematicamente

#### 1.1.1 System Theory

Si compone delle seguenti:

1. System Dynamics (Poincarè): quantitativo -*i* equazioni, sistema
  - (a) determinato  $\rightarrow$  # soluzioni
  - (b) indeterminato  $\rightarrow$  infinite soluzioni
  - (c) impossibile  $\rightarrow$  no soluzioni
2. System Thinking (Carnap): qualitativo -*i* variabili, relazioni tra variabili e funzioni. L'importanza risiede principalmente nelle inter-relazioni tra concetti (Circolo di Vienna)
  - (a) Metafisica (non scientifica)
  - (b) Analisi Logica (Scientifica)
  - (c) Sintassi Logica (linguaggio per formulare i risultati)
3. Ricerca Scientifica (Einstein)
  - (a) Intuito  $\rightarrow$  raccolta degli indizi e determinazione della fine della necessità di raccolta
  - (b) Riflessione  $\rightarrow$  correlazione tra i diversi indizi

### 1.2 Progettazione della Soluzione

La soluzione, dovendo essere permanente, di solito si estrinseca nella progettazione di un apposito sistema, adatto a risolvere permanentemente, efficacemente ed efficientemente il problema dato. Dal momento che non è possibile creare dal nulla, in genere i problemi si estrinsecano nella conversione o trasformazione di entità.

Dal momento che il sistema deve essere "vitale", deve essere ben chiaro quali siano le energie che lo animano e che ne determinano la natura ed il funzionamento. La soluzione dovrà essere, evidentemente, imperniata sulla trasformazione o conversione di una o più di queste energie.

### 1.2.1 Energia

L'energia è una grandezza che esprime la capacità, o attitudine, di un corpo a compiere lavoro. L'ingegnere è spesso chiamato a risolvere problemi nei quali l'energia gioca un ruolo fondamentale. I diversi tipi di energia sono:

Settore	Tipo	Manifestazione	Operazione
Civile/Edile	Meccanico	spostamento (Non voluto)	trasformazione: strutture
Industriale	Meccanico	spostamento (voluto)	trasformazione: movimento
	Elettrico	moto di particelle cariche	trasformazione: trasporto
	Nucleare	legame tra le particelle	conversione
	Termico	agitazione delle particelle	conversione
	Chimico	forza di legame tra particelle	conversione
Informazione	Elettromagnetico	eccitazione atomi e molecole	trasformazione: alterazione

dove le operazioni vengono compiute mediante apposite macchine

#### Macchine

Insieme di componenti capace di compiere un lavoro utile.

**Energia Invariata:** sono le macchine che non prevedono la variazione della forma di energia

**Macchina Semplice:** tecnologia utile a potenziare la forza muscolare, per mezzo del guadagno meccanico. Le macchine semplici sono 6: Leva, Cuneo, Asse (della ruota), Puleggia, Piano Inclinato, Vite

**Macchina Complessa:** unione di 2+ macchine semplici

**Energia Variata:** le macchine che prevedono una modifica nella forma (es. coppia, potenza) o nel tipo (es. elettrica-meccanica) di energia. Queste sono macchine più complesse, in genere, e prevedono una progettazione adeguata

**Macchina Trasformatore:** sistema fisico, in cui avviene una trasformazione della forma sotto cui si manifesta l'energia (es. da energia elettrica trifase ad energia elettrica monofase). Le trasformazioni tipiche sono:

- strutture: reazione di vincolo
- ingranaggio meccanico: trasmissione del movimento
- avvolgimenti magnetici: trasmissione dell'eccitazione
- filtro elettronico-informatico: alterazione (trattamento e modifica)

**Macchina Convertitore:** sistema fisico, in cui avviene una conversione di energia, cambiando il tipo. L'unica tipologia che mi viene in mente é:

- motore: conversione da energia termica ad energia meccanica

#### Machine Feng Shui

La professione di Ingegnere si estrinseca, quindi, progettazione, manutenzione, miglioramento, ottimizzazione e verifica di macchine, appositamente ideate per risolvere un determinato problema.

E' possibile trovare delle corrispondenze con i concetti propri dell'esoterismo, ad esempio quello orientale (filosofia taoista):

**Tai Ji** Il corretto funzionamento della macchina prevede la verifica di equilibrio (non distruzione)

Tai Ji Component	Concetto Corrispondente
Yin	Equilibrio Statico
Yang	Equilibrio Dinamico
Tao	Teoria dei Sistemi

	Elemento	Categoria	Sotto-Categoria
<b>Cinque Elementi</b>	Legno	Trasformazione	Strutture
	Fuoco	Trasformazione	Movimento
	Terra	Conversione	
	Metallo	Trasformazione	Alterazione
	Acqua	Trasformazione	Trasporto

<b>Magic Quadrant</b>	4: Strutture	9: Movimento	2: Chimico
	3: Deformazione	5: Nucleare	7: Termodinamica
	8: Termico	1: Trasporto	6: Movimento

## 1.3 Codice Deontologico

### 1.3.1 Principi Generali

1. Rigorosa Condotta Morale (principi deontologici)
2. Preparazione Tecnico-culturale
3. Dignità Professionale
  - Scienza
  - Coscienza
  - Diligenza
4. Osservanza del Segreto Professionale

### 1.3.2 Rapporti con l'Ordine

1. Collaborazione
2. Tutela Prestigio ed Interessi
3. Conformità dei Concorsi Pubblici

### 1.3.3 Colleghi

1. Lealtà
2. Correttezza
3. Solidarietà
4. Reciproco Rispetto
5. Rispetto dei Limiti Stabiliti per Legge (collaborazione con diplomati)
6. Divieto di Plagio (no attingere dall'opera dei colleghi consapevolmente)

### 1.3.4 Clienti

1. Fiducia: massima lealtà e correttezza
2. Funzione Sociale della professione
3. NO Contrasto (fra differenti incarichi)
4. Documenti: Chiari ed Intellegibili
5. Compensi: non offensivi del prestigio professionale



### 1.3.5 Autorità

1. Correttezza, Dignità professionale
2. Cariche Pubbliche: NO vantaggi professionali
3. Attenuare i Contrasti
4. NO Mazzette

### 1.3.6 Autorità Giudiziarie

1. CTU: collaborazione, oggettività
2. CTU: NO riguardo questioni su cui interesse economico
3. CTP: NO malafede dei clienti. Diligenza come un avvocato difensore

## 1.4 Sicurezza

### 1.4.1 Prevenzione degli Infortuni

DPR 547/55 (repressiva). Riguarda le seguenti materie fondamentali:

- macchine
- apparecchi
- impianti
- materiali e prodotti
- manutenzione, riparazione
- soccorso di emergenza
- norme penali

### 1.4.2 Sicurezza degli Impianti

Legge 46/90 (propositiva). Concerne le seguenti aree:

- Radio Frequenza
- Clima
- Acqua
- Gas
- Ascensore
- Antincendio

## Acronyms

**AT:** Alta Tensione

**BT:** Bassa Tensione

**CIR:** Centro Istantaneo di Rotazione

**DPR:** Decreto del Presidente della Repubblica

**MT:** Media Tensione

# Capitolo 2

## Elettrica

### 2.1 Trasporto

Col termine elettricità (dal greco  $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\omicron\nu$ , che significa "ambra") si fa riferimento genericamente a tutti i fenomeni su scala macroscopica che coinvolgono una delle interazioni fondamentali, l'elettromagnetismo, con particolare riferimento all'elettrostatica. Le grandezze fisiche di partenza fondamentali per l'Elettricità sono:

**Tensione:**  $V$  (misurazione intensiva della differenza di potenziale)

**Corrente:**  $I$  (quantità locale, estensiva di particelle cariche in movimento)

#### 2.1.1 Concetti Generali

**Obiettivo:** cercare di ridurre al minimo l'onere (il costo) annuo della infrastruttura:

$$\text{Costo} = \text{Valore} + \text{Perdite} + \text{Manutenzione} + \text{Ammortamento}$$

analizzando le singole voci:

1. Valore: dato dalla quantità di metallo (rame) utilizzato per i cavi, dipendente dalla sezione, quindi
2. Perdite: dovute allo Effetto Joule
3. Manutenzione: da ritenere costante (funzione della qualità dei componenti)
4. Ammortamento: proporzionale al Valore

Il dimensionamento di un apparato per il trasporto (elettrdotto) risulta quindi dal bilanciamento dei 2 ottimi paretiani dipendenti da Perdite e Valore, in funzione della Sezione del Cavo.

**perdite di potenza:**  $p = \langle \#cond \rangle * RI^2$

**Resistenza:**  $R = \rho * \frac{l}{S}$

**Peso:**  $Q = \langle \#cond \rangle * lS\delta$

esprimendo la perdita  $p$  in funzione di tutti gli altri parametri:

$$p = \langle \#cond \rangle \frac{\rho l}{S * RI^2}$$

Vediamo di seguito i valori della sezione e del peso, in funzione del tipo di corrente e del numero di conduttori.

**Continua** ( $P = V * I$ ,  $\langle \#cond \rangle = 2$ )

$$p = 2\rho \frac{P^2 l}{V^2 S} \Rightarrow S = 2\rho * \frac{P^2 l^2}{p V^2} \text{ e } Q_d = 4\rho * \frac{l^2 P^2 \delta}{V^2 p}$$

**Monofase** ( $P = V * I \cos \phi$ ,  $\langle \#cond \rangle = 2$ )

$$p = 2\rho \frac{P^2 l}{V^2 S \cos^2 \phi} \Rightarrow S = 2\rho \frac{P^2 l}{p V^2 \cos^2 \phi} \text{ e } Q_m = 4\rho * \frac{P^2 l^2 \delta}{p V^2 \cos^2 \phi}$$

**Trifase** ( $P = \sqrt{3} V * I \cos \phi$ ,  $\langle \#cond \rangle = 3$ )

$$p = \rho * \frac{P^2 l}{S V^2 \cos^2 \phi} \Rightarrow S = \rho * \frac{P^2 l}{p V^2 \cos^2 \phi} \text{ e } Q_t = 3\rho * \frac{P^2 l^2 \delta}{p V^2 \cos^2 \phi}$$

### Quantità di Materiale

**Continua vs Monofase:**  $\frac{Q_d}{Q_m} = \frac{1}{\cos^2 \phi} \Rightarrow$  conviene la Corrente Continua

**Trifase vs Continua:**  $\frac{Q_t}{Q_d} = \frac{3}{4} * \frac{1}{\cos^2 \phi} \Rightarrow$  conviene la Corrente Trifase (se V ed I sono quasi in fase)

**Trifase vs Monofase:**  $\frac{Q_t}{Q_m} = \frac{3}{4} \Rightarrow$  conviene la Corrente Trifase

Con il che si capisce perchè viene scelta quasi sempre la trifase per il trasporto della Energia Elettrica. Per il dimensionamento, si utilizzano le 2 grandezze (densità per kilometro):

**Resistenza Kilometrica:**  $R_l = \rho * \frac{1}{S}$

**Reattanza Kilometrica:**  $X_l = 2\pi f * (0.46 \log_{10} \frac{2D}{d} + 0.05) * 10^{-5}$

per i quali:

**D:** ditanza kilometrica

**d:** diametro dei conduttori (si riporta ai valori commerciali immediatamente superiori)

**f:** frequenza

**S:** superficie (generalmente  $S = \pi d$ , ossia si riporta a valore commerciale)

### Dimensionamento dei Cavi

All'aumentare della tensione, diminuisce la perdita di potenza, in modo quadratico.

Perdita		Monofase	Trifase
Potenza	$\Delta P$	$10^{-3} 2Rl * \frac{l P^2}{V_n^2 \cos^2 \phi}$	$10^{-3} Rl * \frac{\sqrt{3} l P^2}{V_n^2 \cos^2 \phi}$
Tensione	$\Delta V$	$2 Z \times I $	$\sqrt{3} Z \times I $

**Rifasamento:** collegare in parallelo un secondo carico con comportamento puramente capacitivo ( $\Rightarrow$  Condensatore). Espresso dall'angolo  $\phi$

### Impianto Elettrico

**Impianto Elettrico:** insieme delle costruzioni ed installazioni destinate a:

- Officina Elettrica
- Trasporto, Distribuzione
- Utilizzazione

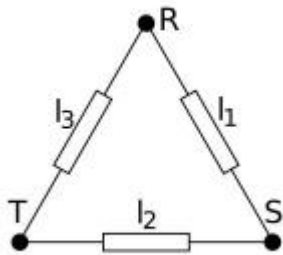
**Sistema Elettrico:** parte di un impianto elettrico i cui componenti sono soggetti ad una “tensione nominale”

Cat	Nome	Rete	~ AC	DC	Officina
0	-	-	< 50V	< 75V	N/A
1	BT	Distribuzione	51 – 1KV	76 – 1,5KV	Cabina
2	MT	Secondaria	1K – 30KV	1,5K – 30KV	Stazione
3	AT	Primaria	> 30KV	> 30KV	Centrale

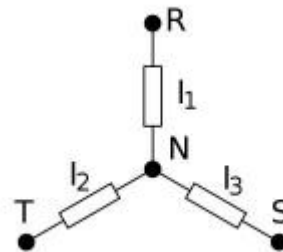
### Trasporto della Trifase

Può avvenire in 2 modi:

Triangolo (simbolo  $\Delta$ ): 3 conduttori, uno per ogni fase. Differenza di potenziale fra ciascuno di essi 380 V. MT, AT



Stella (simbolo Y): 4 conduttori, 3 per ogni fase (380 V fra di loro) più un neutro (220 V con ciascuna fase). BT (per ottenere le monofase facilmente).



### 2.1.2 Apparecchi di Manovra

**Manovra:** aprire o chiudere il circuito stesso

**Apertura:** Arco Elettrico

1. diminuzione pressione fra i contatti
2. progressiva riduzione superficie di contatto
3. arco elettrico (vapori saturi fortemente ionizzati)
4. completo distacco

**Chiusura:** meno problematica

#### Interruttori

Apparecchi in grado di interrompere il flusso elettrico, estinguendo l'arco elettrico che si viene a creare.

1. Elevata velocità
2. Rapida rigenerazione caratteristiche dielettriche
  - (a) Aria Compressa
  - (b) Volume d'Olio
  - (c) Sotto Vuoto
  - (d) Deionizzazione Magnetica

### Sezionatori

Apparecchi manovrabili solo a vuoto, allo scopo di creare una lunga interruzione della continuità dielettrica.

- impiegati nei sistemi di II e III categoria
- debbono essere inseriti a monte di ogni sistema che richieda manutenzione
- posizione di funzionamento sempre controllabile
- manovrati solo dopo interruzione della corrente

## 2.2 Protezione e Sicurezza

Gli scopi sono generalmente 2:

1. Salvaguardia ed Incolumità fisica delle Persone. Lo scopo é quello di evitare che una persona venga percorsa da una corrente elettrica. I parametri di pericolosità sono:
  - Frequenza: [20-120] Hertz massima pericolosità
  - Intensità: [0.1 - 1] Ampere pericolosissimo
  - Durata: [ms - s] Secondi molto pericoloso
2. Sviluppo degli Incendi. Per via dell'effetto termico e del deterioramento delle strutture

⇒limitare la pericolosità →aprire il circuito velocemente (ms, s) →interruttore

Due tecniche:

1. Messa a Terra + Differenziale ←Guasto (sovratensione)
2. Relais (generalmente magneto-termico) ←Malfunzionamento (sovracorrente)

### 2.2.1 Sovratensioni: Messa a Terra

Causate da malfunzionamento o guasto. Possono essere di origine:

1. Interna: dovute a cause inerenti gli stessi impianti elettrici: →tensione non maggiore di quella presente nel sistema
2. Esterne: generalmente causate da fenomeni atmosferici (nubi, fulmini, etc): →tensione anche ben maggiore di quella presente nel sistema

Le sovratensioni interne vengono rimate con gli apparati installati per quelle esterne.

**Messa a Terra:** collegamento elettrico pervio (corrente di alto valore) verso un corpo (la terra) capace di accogliere le cariche elettriche con la quale attivare l'interruttore differenziale, che apre il circuito e blocca l'afflusso di energia. Generalmente si ha:

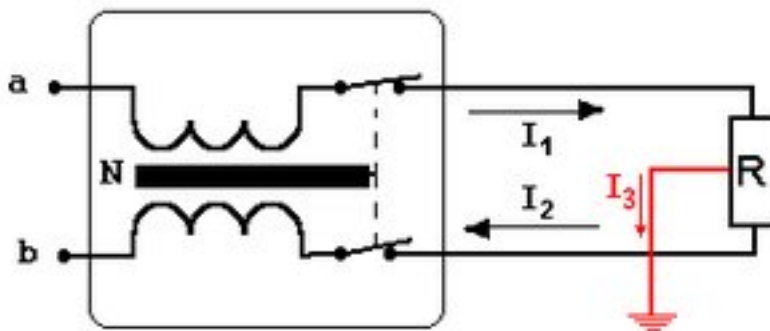
$$R_T < \frac{50}{I_T} \text{ ma anche (per legge) } R_T < 20\Omega$$

**Funi di Guardia:** 1+ conduttori tesi vicino alle linee elettriche da proteggere. Realizzano una rudimentale gabbia di Faraday. Da collegare alla Messa a Terra

**Scaricatori:** adescano un arco (spinterometro che capta una tensione  $U$ ) e facilitano il deflusso della corrente (resistenza) riducendo il valore della corrente di scarica. Da collegare alla Messa a Terra

### Interruttore Differenziale (Salvavita)

Interruttore che scatta nel momento in cui rileva una significativa diversità tra 2 correnti da cui viene percorso. Comunemente detto salvavita, è un dispositivo elettrotecnico in grado di interrompere un circuito in caso di guasto verso terra (dispersione elettrica) o folgorazione fase-terra. Non offre alcuna protezione contro sovracorrente o cortocircuito tra fase e fase o tra fase e neutro, per i quali è invece richiesto un interruttore magnetotermico.



Sono molto diffusi in commercio apparecchi che integrano entrambi i dispositivi (chiamati comunemente salvavita, da un nome commerciale largamente utilizzato). È detto differenziale perché basa il suo funzionamento sulla differenza di correnti elettriche eventualmente rilevata in ingresso e in uscita al sistema elettrico in caso di dispersione.

### 2.2.2 Sovracorrenti: Valvole

Generalmente, causate da un malfunzionamento. Anche per questo, sempre e solo di origine interna.

**Fusibili:** tratto di conduttore che fonde quando la corrente che lo attraversa è superiore a determinati valori.

**Relais:** apparecchi in grado di controllare una certa grandezza (Grandezza Agente). Esistono vari tipi:

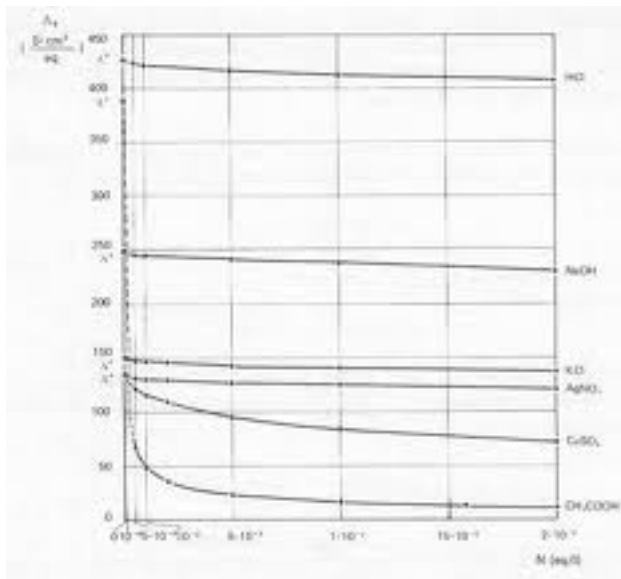
- Magneto-Termico
- Elettrodinamico
- Elettromagnetico
- Induzione

## Interruttore Magneto-Termico

Come gli altri Relais, ha la caratteristica di essere costituito sempre da 2 meccanismi, agenti per:

- cortocircuito: parte magnetica (attrazione per induzione della levetta che crea interruzione di corrente)
- sovracorrente: parte termica (deformazione di un conduttore, per riscaldamento dovuto all'effetto Joule)

Importante il diagramma corrente-tempo che ne determina i particolari di funzionamento



## 2.3 Macchine Elettriche

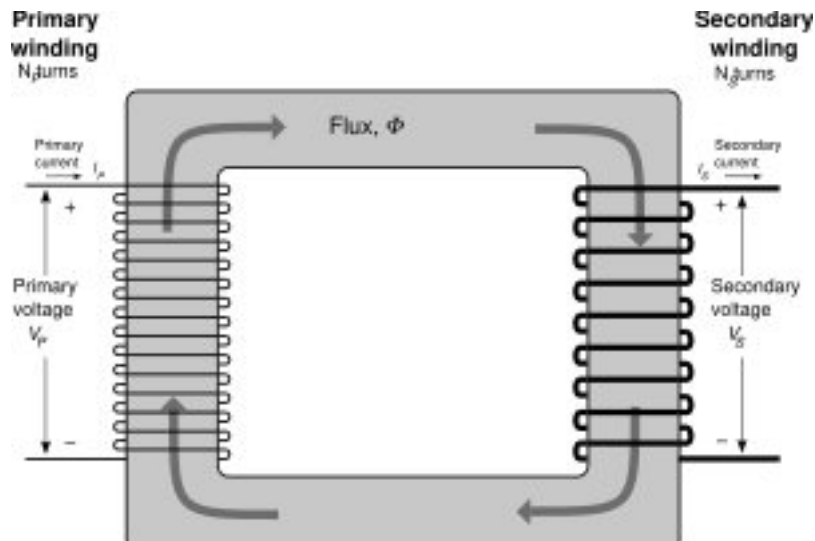
**Macchina Elettrica:** macchina in cui una delle due energie è sotto la forma elettrica

**macchine rotanti:** in cui vi sono organi in rotazione (→l'altra forma è meccanica)

**macchine statiche:** in cui non vi sono organi in rotazione (→l'altra forma potrebbe essere elettrica)

### 2.3.1 Trasformatore

Macchina elettrica statica. Consente di variare i parametri di tensione e corrente, in regime alternato, senza variarne la frequenza, con modeste perdite di energia.



La tensione prodotta nel secondario è proporzionale al rapporto tra il numero di spire del primario e quelle del secondario secondo la relazione:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = k_o$$

cioè, il rapporto fra le 2 tensioni è uguale al rapporto fra le 2 spire.

Il rendimento è rappresentato dalla formula:  $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{fe} + P_j}$

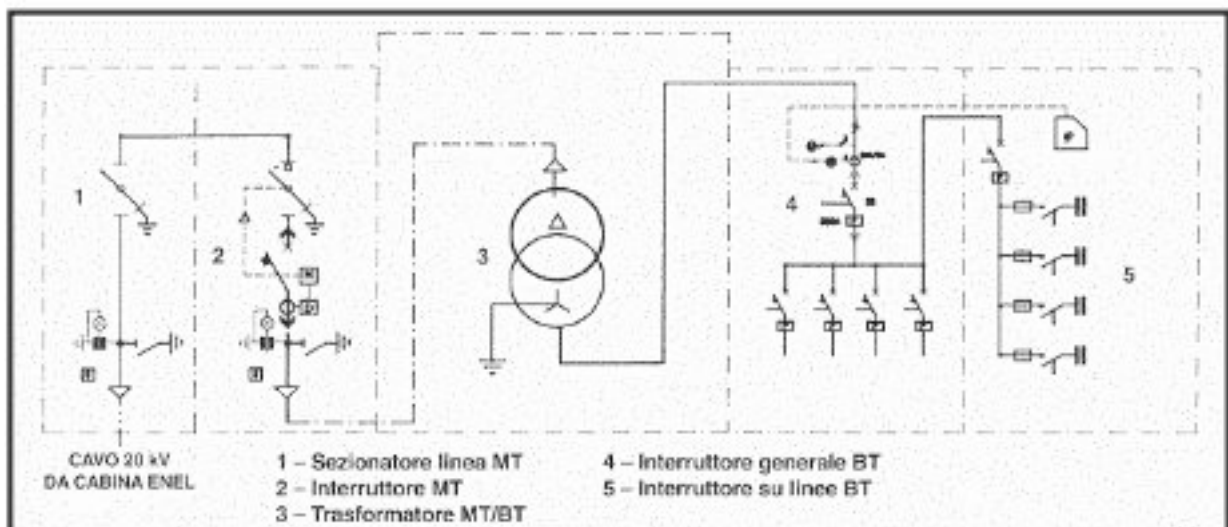
dove:

- $P_2$  è la potenza erogata al secondario
- $P_{fe}$  rappresenta le perdite nel ferro (correnti che vanno da un elemento all'altro e f.e.m. che non viene captata dagli avvolgimenti di rame del secondario)
- $P_j$  indica la perdita per effetto Joule di surriscaldamento del rame

I rendimenti sono molto alti (> 95%).

### Cabina di Trasformazione

Trasforma la corrente da Media Tensione (MT) a Bassa Tensione (BT) per la distribuzione. Di seguito lo schema della cabina tipo:



Sono visibili 3 porzioni:



1. Protezione e disaccoppiamento dalla linea MT
2. Trasformazione vera e propria
3. Protezione di disaccoppiamento dalle linee BT

### 2.3.2 Motore

Macchina elettrica rotante, 2 sono i componenti fondamentali:

1. Statore: rappresenta il componente che rimane fermo
2. Rotore: indica il componente che ruota

Componente	Realizzazione	Asincrono	Sincrono
Statore	avvolgimento ferromagnetico	Induce	Indotto
Rotore	avvolgimento ferromagnetico	Indotto	Induce

Il campo magnetico ruota alla velocità di sincronismo:

$$n_0 = 60 * \frac{f}{p}$$

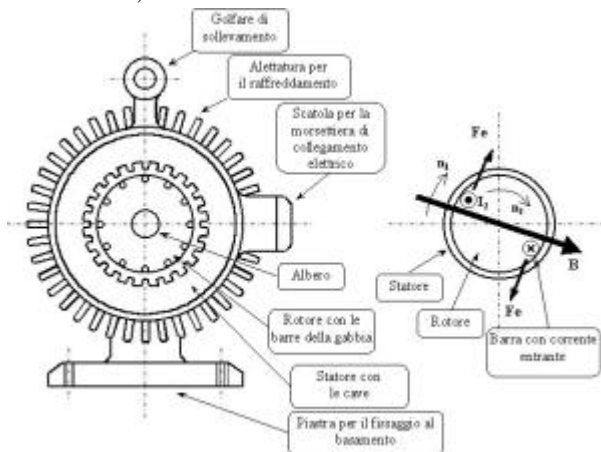
dove  $f$  è la frequenza e  $p$  il numero di coppie polari dell'avvolgimento statorico (asincrono) o rotorico (sincrono).

Variazione della velocità, tramite variazione:

1. della frequenza  $f$
2. del numero  $p$  delle coppie polari (solo per gradini)
3. della tensione di alimentazione

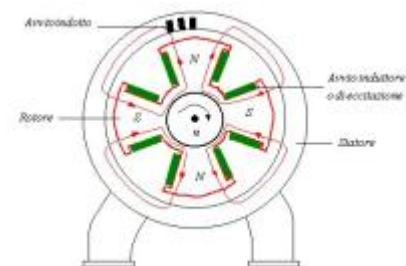
#### Asincrono

Per la legge di Lenz, il rotore "insegue" il campo magnetico, senza raggiungerlo mai (altrimenti si fermerebbe). Il rotore si stabilizza ad una velocità  $n < n_0$ . Si definisce scorrimento:  $n_r = n_0 - n$ .



#### Sincrono

Il rotore induce il campo elettrico, quindi esso è rotante alla velocità di sincronismo  $\Rightarrow n = n_0$ .



Le dimensioni sono generalmente molto maggiori di quello asincrono.

Caratteristica	Pro	Contro
velocità	costante	difficoltà di avviamento
dimensioni $\grave{c}$	vibrazioni $\grave{j}$	costo $\grave{c}$
statore indotto	rifasatore (potenza reattiva capacitiva)	complessità, delicatezza

### Motori meno usati

**Dinamo:** macchina a corrente continua

**Magneti Permanenti:** macchina il cui lo statore è costituito da soli magneti permanenti. Gli avvolgimenti sul materiale ferromagnetico sono sul rotore. Il collegamento elettrico viene fatto mediante apposite spazzole (brush)

**Brushless:** macchina il cui il rotore è costituito da soli magneti permanenti. Gli avvolgimenti sul materiale ferromagnetico sono sullo statore. Il materiale ferromagnetico deve essere leggero (samario-cobalto, neodimi/ferro/boro)



# Capitolo 3

## Meccanica

### 3.1 Fisica Tecnica (Termodinamica)

La Fisica Tecnica si basa, fondamentalmente, sulla termodinamica di cui applica i principi forgiando apparecchi di utilità. La Termodinamica si interessa di varie grandezze fisiche, di cui le fondamentali sono:

**Temperatura:** T (misurazione intensiva del moto atomico)

**Calore:** Q (energia sotto forma di agitazione delle particelle)

Per quanto concerne le problematiche attinenti lo scambio di calore, non v'è necessità'

**0° Principio:** Scambio di Calore e Temperatura. 2 corpi a temperature diverse ( $T_1$  e  $T_2$ ) posti a contatto tendono a raggiungere la stessa temperatura  $T_1 < T_3 < T_2$

#### 3.1.1 Trasmissione del Calore

**Trasmissione del Calore:** Passaggio di quantità di calore da un corpo ad un altro (dal più caldo al più freddo)

Il passaggio del calore avviene in modo "spontaneo", senza che sia indotta con apposite macchine (e che, quindi, vengano effettuati ragionamenti circa l'Energia o il Lavoro). Vi sono 3 meccanismi basilari:

**Conduzione:** passaggio del calore senza associazione di alcun movimento di materia o onde

$$dQ_n = -\lambda dA d\tau * dT/dn$$

dove:

- dA: elemento di superficie
- $dQ_n$ : calore che si trasmette, in regime stazionario, normalmente alla superficie
- $d\tau$ : intervallo infinitesimo di tempo
- $\lambda$ : conduttività termica interna (costante positiva, per questo il segno meno)

ragionando su tutte le dimensioni si ottiene:

**Equazione di Fourier:**  $D * \nabla^2 = dT/d\tau$

dove  $D = \lambda/c\delta$  è la diffusività termica ( $Diffusivita = \frac{Condu\grave{t}t\grave{v}i\grave{t}a}{(Capacita * Densita)}$ ).

**Convezione:** trasmissione del calore associata ad un movimento di materia, quindi si presenta nei liquidi e negli aeriformi

$$Q/\tau = h_c A (T_1 - T_2)$$

dove  $h_c$  è il fattore di convezione. In generale,  $h_c = f(l, u, \delta, \mu, \lambda, c_p)$  ed è, quindi, di difficile determinazione. Per questo motivo, vengono impiegati dei parametri adimensionali che permettono di studiare alcune situazioni:

Numero	Impiego	Formula	descrizione
Nusselt	Convezione/Conduzione	$N_u = \frac{h_c}{\lambda/l}$	cal. eff. conv./cal. ipo. cond.
Prandtl	Moto	$P_r = \frac{c_p \mu}{\lambda}$	tras. cal. e moto del fluido
Reynolds	Q.di Moto	$R_e = \frac{u l \rho}{\mu}$	Q.di Moto/Attrito Viscoso
Grashof	Gravita	$G_r = \frac{a g \theta l^3 \rho^2}{\mu^2}$	F. Gravità/Attrito Viscoso

**Irraggiamento:** radiazione del calore per mezzo di onde elettromagnetiche

$$W(x) = W(0)e^{-cx} \text{ dove } c = r, a, t$$

**r:** Coefficiente di Rinvio

**a:** Coefficiente di Assorbimento

**t:** Coefficiente di Trasparenza

dove  $r + a + t = 1$

**Corpi Neri:** corpi per i quali  $r = t = 0$

**Principio di Kirchoff:** il rapporto fra l'emittanza monocromatica ed il coefficiente di assorbimento è una funzione della lunghezza d'onda e della temperatura:

$$\frac{\varepsilon(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = \varepsilon_0(\lambda, T)$$

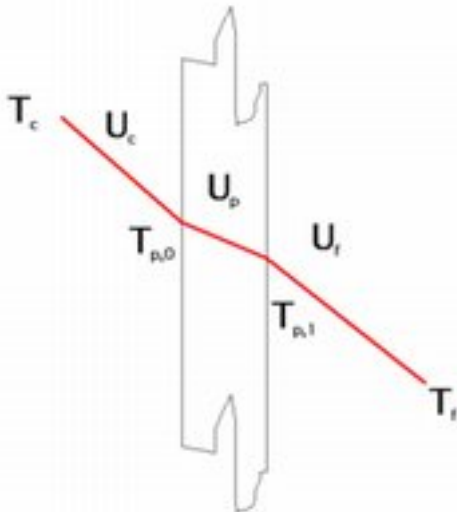
**Legge di Planck:** che esprime  $\varepsilon_0$  in funzione di  $\lambda$  e  $T$ .

**Corpi Grigi:** corpi per i quali  $a < 1$  ma indipendente dalla lunghezza d'onda

**Legge di Stefan-Boltzman:**  $J = \sigma T^4$  dove  $\sigma$  è una costante del corpo

### 3.1.2 Pareti

Monostrato



$$\frac{Q}{\tau} = HA * (T_c - T_f)$$

Analogia Elettrica  $\Delta T = \frac{Q}{\tau} + R$

## Multistrato

### 3.1.3 Scambiatori di Calore

1. Equicorrente
2. Controcorrente

## 3.2 Meccanica Applicata

### 3.2.1 Cicli Termodinamici

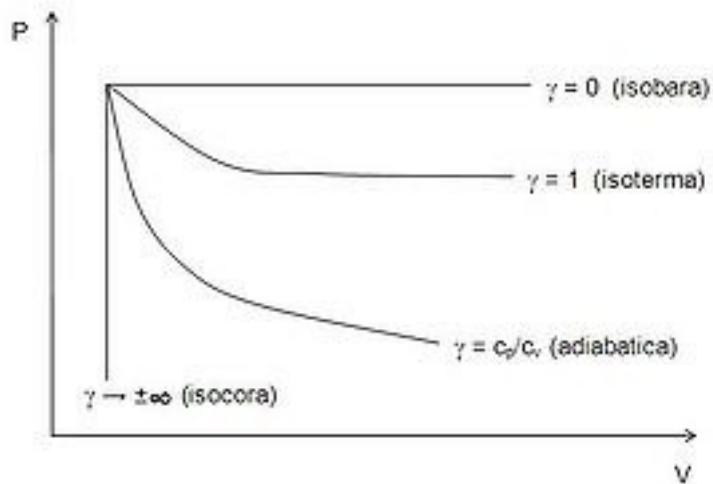
**Energia Interna:**  $U$

**Stato di Equilibrio:** Situazione in cui le principali variabili del sistema (pressione  $P$ , volume  $V$  e temperatura  $T$ ) non subiscono nessuna ulteriore variazione con il passare del tempo

**Trasformazione:** processo tramite il quale un sistema termodinamico passa da uno stato di equilibrio termodinamico ad un altro

**Ciclo Termodinamico:** successione finita di trasformazioni termodinamiche (ad esempio isoterme, isocore, isobare o adiabatiche) al termine delle quali il sistema torna al suo stato iniziale. Le proprietà termodinamiche che caratterizzano il sistema dipendono solo dallo stato termodinamico e quindi non cambiano dopo un ciclo

**Piano di Clapeyron:** o piano  $p$ - $V$  è un piano cartesiano ad assi ortogonali nei quali compare in ascissa il valore del volume e in ordinata quello della pressione. Il suo uso è molto frequente in vari ambiti ed in molteplici campi della fisica, dalla meccanica (per la rappresentazione del diagramma meccanico) alla termodinamica (per la rappresentazione del diagramma di Andrews)



**ciclo orario:** macchina termica

**ciclo antiorario:** frigorifero

**Lavoro Meccanico:** in Termodinamica, rappresenta generalmente la variazione di pressione  $P$  o Volume  $V$ . Viene generalmente rappresentata dalla lettera  $L$ . In termodinamica valgono le uguaglianze

**Isobara:**  $dL = P * dV$  (pressione costante)

**Isocora:**  $dL = dP * V$  (volume costante)

**Entropia:** grandezza che viene interpretata come una misura del grado di disordine di un sistema fisico o più in generale dell'universo. Viene generalmente rappresentata dalla lettera S. In termodinamica classica, questa grandezza che viene interpretata come una misura del caos di un sistema fisico o più in generale dell'universo.

**Isoterma:**  $dT = 0$  (no cambiamento di temperatura)

**Entalpia:** funzione di stato che esprime la quantità di energia che un sistema termodinamico può scambiare con l'ambiente. Viene generalmente rappresentata dalla lettera H. L'entalpia è come:  
 $dH = dU + dPdV$

**Adiabatica:**  $dQ = 0$  (no scambio di calore con l'esterno)

### Principi della Termodinamica

Come la Meccanica e l'Elettromagnetismo, vi sono 3 principi basilari:

**1° Principio:** Conservazione dell'Energia  $dU = dQ - dL$

**2° Principio:** Impossibilità del Moto Perpetuo di 2a specie.

**Clausius:** impossibile realizzare una macchina ciclica che abbia come unico risultato il trasferimento di calore da un corpo freddo a uno caldo

**Kelvin:** impossibile realizzare una trasformazione il cui risultato sia solamente quello di convertire in lavoro meccanico il calore prelevato da un'unica sorgente

#### Trasformazioni

**Reversibile:** Entropia invariata

**Irreversibile:** Entropia aumentata

**3° Principio:** Definizione di Entropia. Impossibile raggiungere lo zero assoluto con un numero finito di trasformazioni

**Legge di Boltzman:**  $S = k * \ln(\text{complessioni})$

### 3.2.2 Forze, Energie e Rendimento

**Movimento:** sistema cambia posizione nel tempo rispetto ad un sistema determinato

**Rettilineo:**

**Curvilineo:**

### Principi della Dinamica

**1° Principio:** ogni corpo tende allo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme

**2° Principio:**  $F = m * a$  ovvero (posto p la quantità di moto)  $F = \frac{dp}{dt}$

**3° Principio:** ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria

### Campo Conservativo

**Campo Conservativo:** il lavoro compiuto da una forza per spostare un punto da una posizione ad un'altra è indipendente dal percorso seguito, ma dipende solo dalla posizione iniziale e finale dello spostamento.

**Energia:** composta da Energia Cinetica + Energia Potenziale  $E = \frac{1}{2} * m * v^2 + U(x)$

**Equilibrio Stabile:** spostando di poco il punto l'energia potenziale lo riporta al punto di stabilità

**Equilibrio Instabile:** spostando di poco il punto l'energia potenziale lo porta ad allontanarsi viepiù

**Equilibrio Indifferente:** piccoli spostamenti lasciano il corpo in equilibrio nella nuova posizione

### 3.3 Macchine

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow \text{baricentro}$$

$$E_c = \frac{1}{2}I\omega^2 \rightarrow \text{attorno al baricentro}$$

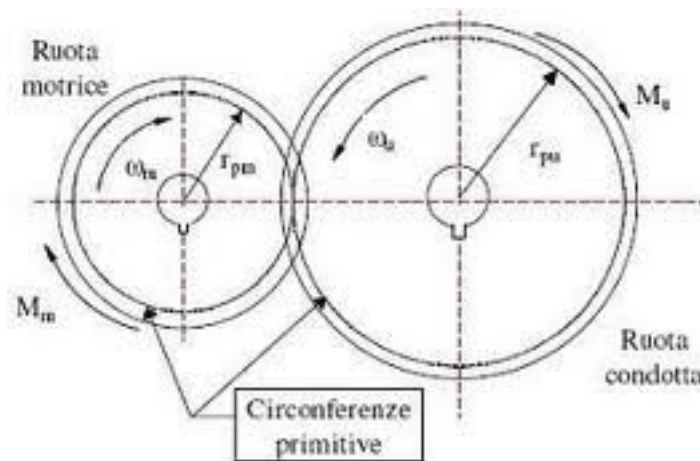
#### 3.3.1 Organi Meccanici

##### Ruota

##### Ruota Dentata

Una ruota dentata studiata per trasmettere momento torcente ad un'altra ruota o elemento dentato forma con quest'ultima un ingranaggio. La ruota pi piccola  comunemente chiamata pignone, mentre la grande  chiamata corona.

Viene disegnata tramite il "Metodo dell'Evolverte".



La geometria del profilo dei denti  solitamente ad evolvente di cerchio; tale soluzione assicura un accoppiamento del tipo "rotolamento senza strisciamento", che minimizza usura, vibrazioni e rumore e massimizza l'efficienza nel trasferimento di energia.

Ingranaggi di diversa dimensione sono spesso usati in coppia per aumentare il momento torcente riducendo nel contempo la velocit angolare, o viceversa aumentare la velocit diminuendo il momento.  il principio alla base del cambio di velocit delle automobili.

**Sistema Modulare:**  $modulo = \frac{diametro\text{-}primitivo}{\#denti}$

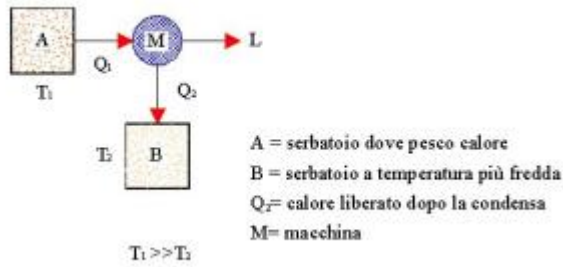
##### Volano

##### Freni e Frizioni

#### 3.3.2 Turbine

**Macchina Termica:** Una macchina termica  un apparato che converte calore in lavoro utilizzabile; una certa quantit di energia viene ceduta al sistema sotto forma di calore e parte di questa energia viene ceduta al sistema sotto forma di lavoro fatto sull'ambiente circostante. In pratica utilizza energia meccanica per far passare calore da un corpo a temperatura minore a uno a temperatura maggiore o viceversa.





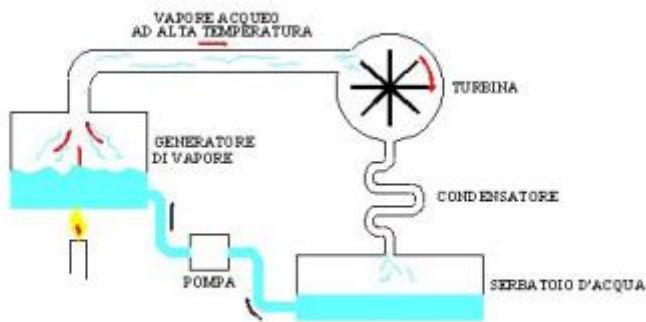
**Rendimento:**  $\eta = \frac{L}{Q_1}$  Nel caso di Carnot  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

Valgono i seguenti principi pratici:

1. Macchine con cui si scambia calore  $\rightarrow$  trasformazioni isobase
2. Macchine in cui si scambia lavoro  $\rightarrow$  trasformazioni isoentropiche (adiabatiche)

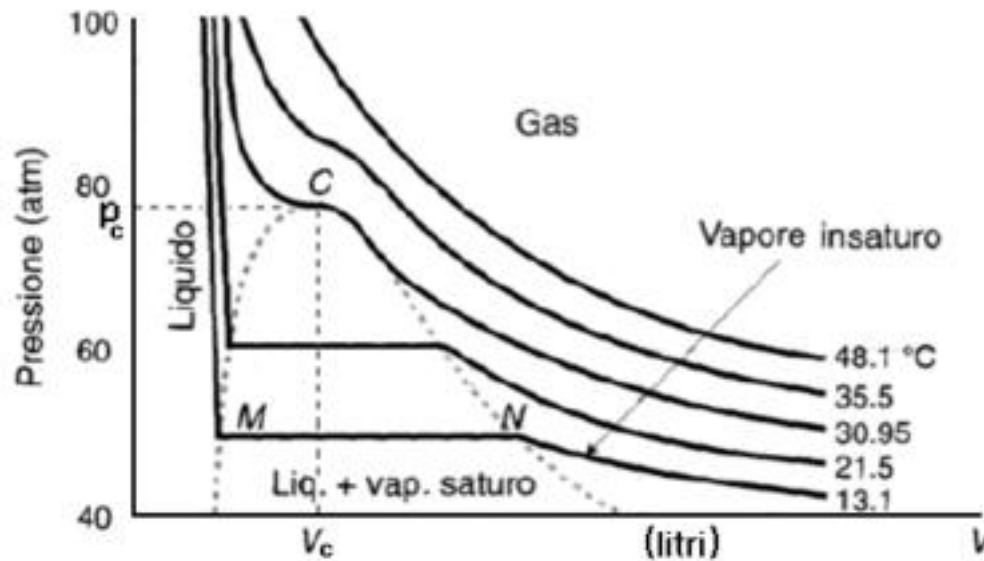
### Turbina a Vapore

Il vapore acqueo ad alta temperatura e pressione, prodotto da un generatore di vapore (caldaia), fa girare la turbina quando ne investe le palette. Di conseguenza, il calore fornito alla macchina per generare il vapore acqueo viene utilizzato per compiere lavoro meccanico; gran parte di questo calore va però sprecata quando il vapore acqueo, ancora piuttosto caldo, fuoriesce ormai a pressione più bassa dalla turbina e si raffredda e condensa nel condensatore.

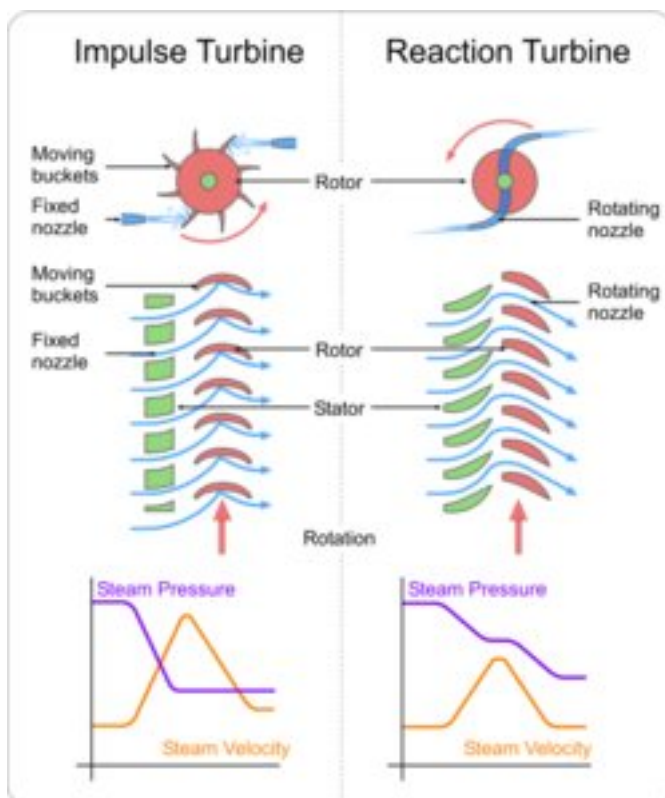


Il fatto che gran parte del calore fornito ad una macchina termica vada sprecata è inevitabile. Infatti, da tempo è stato dimostrato (teorema di Carnot) che, anche da un punto di vista teorico, la macchina termica più perfetta non può trasformare in lavoro tutta l'energia che le viene fornita, ossia non può avere mai un rendimento del 100%.

**Diagramma di Andrews:** rappresentazione nel piano p-V (detto anche piano di Clapeyron) del comportamento di un sistema gas-liquido (della stessa sostanza)



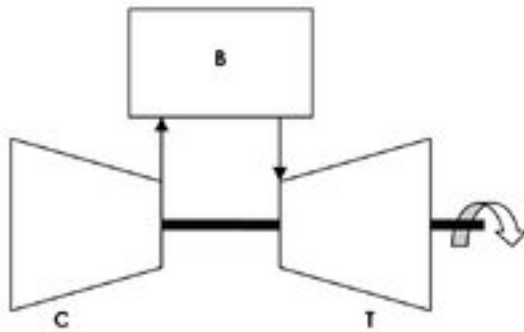
**Stadi:** il vapore espande in turbina attraversando diversi stadi in successione. Questo accorgimento serve a migliorare l'efficienza complessiva della turbina. Ogni stadio è costituito da due schiere di pale: le pale statoriche (o ugelli) sono fisse e solidali alla cassa della turbina, mentre le pale rotoriche sono mobili e sono solidali all'albero.



Nel loro insieme, le parti fisse a contatto con il vapore sono dette "statore", mentre l'insieme costituito dall'albero e dalle parti ad esso solidali è detto "rotore". Gli stadi sono caratterizzati dalla modalità con cui il vapore cede la propria energia all'albero, ed in base a questo sono definiti "ad azione" o "a reazione". Tipicamente, per ottimizzare non solo le prestazioni ma anche i costi, in una singola turbina a vapore si succedono stadi ad azione ed a reazione.

### Turbogas

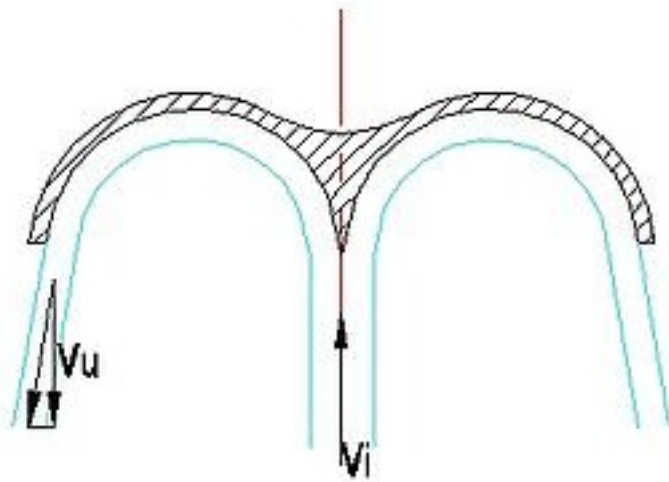
La turbina a gas semplice è costituita da un compressore calettato sullo stesso albero di una turbina e da una camera di combustione situata tra questi due componenti. Il termine turbina a gas talvolta si riferisce soltanto alla sezione turbina e non alla macchina completa. Il principio di funzionamento è il seguente: l'aria viene compressa dal compressore ed inviata in seguito in camera di combustione nella quale l'ossidazione del combustibile innalza l'entalpia della corrente gassosa che prosegue il suo percorso espandendo in turbina.



La turbina trascina il compressore e l'energia netta risultante viene utilizzata direttamente come energia meccanica nel campo delle applicazioni industriali ad esempio per trascinare macchine, nel campo della propulsione aeronautica per trascinare eliche (turboalbero, turboelica) o per fornire la spinta (turbogetto, turboventola), oppure in campo energetico trasformata in energia elettrica mediante un alternatore accoppiato al movimento della turbina.

### Impianto Idraulico

L'energia potenziale dell'acqua ( $U = mgh$ ) accumulata ad elevate altitudini giunge alla turbina tramite dei "condotti forzati" (grosse tubature) che conducono l'acqua a valle. Un ugello (o più di uno) indirizzano l'acqua sulle pale della Pelton determinandone la rotazione. L'ugello grazie alla sua forma trasforma in energia cinetica ( $E = 1/2mv^2$ ) tutta la pressione contenuta sui condotti, così il getto sulla turbina non sarà in pressione: proprio per questo la turbina Pelton è una turbina ad azione (vedi stadi ad azione).



La forma delle pale è quella di due cucchiaini appaiati, tra i quali si trova un tagliante che divide a metà il getto, per farlo uscire ai lati sotto forma di due getti separati e equilibrare la spinta sui due lati della turbina.

# Capitolo 4

## Strutture

La scienza delle costruzioni è quella disciplina che si occupa dei modelli fisico-matematici e sperimentali che descrivono il comportamento statico e dinamico della struttura resistente di un manufatto e delle sue componenti (elementi strutturali) sotto l'effetto di varie azioni (forze esterne, variazioni termiche, eventi sismici ecc.). Come tale, il suo fine prevalente è quello di sviluppare una mentalità operativa che porti a riconoscere, impostare e risolvere problemi di resistenza delle strutture.

### 4.1 Meccanica Classica

La scienza delle costruzioni è una scienza applicata che affonda le sue origini nella meccanica classica. Essa è una scienza in quanto procede assumendo dei modelli teorici di comportamento, sulla base di ipotesi il più possibile semplici e logicamente coerenti, e ne esplicita e discute le conseguenze.

#### 4.1.1 Forza, Sistemi di Forza

Essa è una scienza applicata in quanto si applica alla modellazione delle strutture portanti delle costruzioni reali, e l'insieme dei suoi costrutti teorici viene giudicato non in base alla sua eleganza formale, ma in base alla efficienza come ausilio e termine di giudizio delle scelte progettuali.

**Forza:**  $\vec{F} = m * \vec{a}$  causa atta a produrre una variazione dello stato di un corpo (come da 1° Principio) o deformato  $\Rightarrow$  variazione secondo la retta d'azione

**Momento:**  $\vec{M} = \vec{F} \times \vec{b}$  risultante della forza nel suo punto di applicazione  $\Rightarrow$  eventuale variazione circolare, in funzione del braccio agente

**Sistema (di Forze):** insieme costituito da più forze e dai loro punti di applicazione (particolare importanza hanno i sistemi piani). Nelle strutture, generalmente occorre considerare i sistemi superficiali

#### 4.1.2 Corpo Rigido e Deformabile

**Corpo Rigido:** considerati 2 punti qualsiasi la loro distanza rimane costante prima e dopo l'intervento della forza

**Corpo Deformabile:** corpo non rigido, ovvero la distanza da detti 2 punti varia al variare della forza

**Risultante (Forza):** forza che, agendo sullo stesso corpo rigido, produce lo stesso effetto delle forze date

**Equivalenti (2 Sistemi):** 2 sistemi che producono lo stesso effetto su qualsiasi corpo siano applicati ( $\Rightarrow$  generano le stesse risultanti di forza e momento)

**Equilibrato (1 Sistema):** il prodotto delle forze su un corpo rigido è nullo (lasciano imperturbato lo stato di moto o di quiete)

$\Rightarrow$ corpi rigidi  $\rightarrow$  forze = vettori – scorrevoli

$\Rightarrow$ corpi deformabili  $\rightarrow$  forze = vettori – applicati

### 4.1.3 Gradi di Libertà e Vincoli

**Gradi di Libertà:** movimenti elementari che un corpo rigido (idealmente una trave) può compiere (organizzati in modo “comodo”, cioè concordemente agli assi di riferimento del sistema)

**Piano:** 3 (2 traslazioni: x, y, 1 rotazione)  $\Rightarrow \Sigma$ Gradi di Libertà =  $3 * < \#corpi >$

**Spazio:** 6 (3 traslazioni: x, y, z; 3 rotazioni: x, y, z)  $\Rightarrow \Sigma$ Gradi di Libertà =  $6 * < \#corpi >$

**Vincolo:** dispositivo di qualsiasi genere che limita, od impedisce del tutto, il libero movimento di un sistema rigido. Il non movimento è dovuto alle forze (Reazioni Vincolari) che i vincoli riescono ad esplicare. I vincoli possono essere:

- Fissi: indipendenti dal tempo
- Lisci: sono permeabili ai corpi a cui non si oppongono
- Perfetti: riescono ad annullare in modo totale il movimento dei corpi a cui si oppongono

**Gradi di Vincolo:** Analogamente ai Gradi di Libertà (GL), in un sistema si definisce Gradi di Vincolo (GV) i movimenti elementari che sono impediti ai corpi

$\Sigma GL = \text{Vincoli Esterni} + \text{Vincoli Interni}$

**Equazioni Cardinali della Statica:** per un corpo rigido nel piano, la risultante di forze e momenti deve essere nulla, cioè deve risultare:

$$\Sigma X = 0; \Sigma Y = 0; \Sigma M = 0$$

## 4.2 Reazioni Vincolari

La metodologia di calcolo qui accennata riguarda i vincoli di piano ( $\Rightarrow$ 3 Gradi di Libertà per ogni corpo).

### 4.2.1 Tipologie di Vincoli

**Semplice:** impedisce 1 solo movimento (es. cerniera + carrello)

**Doppio:** impedisce 2 movimenti (es. cerniera fissa)

**Triplo:** impedisce 3 (tutti!) i movimenti (incastro)

### Classificazione dei Sistemi in base alla Staticità

**Isostatico:** i vincoli che ne assicurano la stabilità sono tutti necessari  $\Sigma GV = \Sigma GL$

**Iperstatico:** I vincoli che ne assicurano la stabilità sono superiori a quelli effettivamente indispensabili  $\Sigma GV > \Sigma GL$

**Labile:** il numero di vincoli è insufficiente ad assicurare l'equilibrio del sistema

Generalmente si lavora nel campo della iperstaticità (di modo che vi sia una maggiore resistenza alle deformazioni).

### 4.2.2 Equazioni Cardinali della Statica

Condizione necessaria e sufficiente affinché un corpo rigido risulti in equilibrio è che siano nulli:

- il risultante delle forze applicate (equilibrio alla traslazione), cioè la sommatoria delle forze dovrà essere uguale a 0

$$R_{TOT} = R^{(A)} + R^{(B)} = 0$$

cioè:

$$\text{Risultante Forze Attive} + \text{Risultante Forze Reattive (Reazioni Vincolari)} = 0$$

- il risultante dei momenti delle forze e delle coppie applicate (equilibrio alla rotazione), allo stesso modo anche la sommatoria dei momenti dovrà essere uguale a 0

$$M_{TOT} = M^{(A)} + M^{(R)} = 0$$

cioè:

$$\text{Momento Risultante Attivo} + \text{Momento Risultante Reattivo} = 0$$

ovvero, sostituendo i vincoli con le reazioni vincolari, nel piano otteniamo 3 equazioni scalari:

$$1. \text{ H (X): } R_X^{(A)} + R_X^{(R)} = 0$$

$$2. \text{ V (Y): } R_Y^{(A)} + R_Y^{(R)} = 0$$

$$3. \text{ O: } M_O^{(A)} + M_O^{(R)} = 0$$

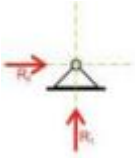

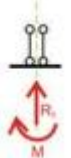


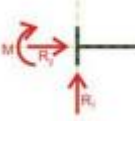
In generale, si ottiene:

**Struttura Isostatica:** staticamente determinata

**Struttura Iperstatica:** staticamente indeterminata

**Struttura Labile:** staticamente impossibile

### 4.2.3 Vincoli di Uso Comune

Nome	Simbolo	Grado	Vincolo Statico	Comportamento Cinematico
Cerniera		2	$X \neq 0$ $Y \neq 0$ $M = 0$	$dx = 0$ $dy = 0$ $d\phi \neq 0$
Pendolo		1	$X = 0$ $Y \neq 0$ $M = 0$	$dx \neq 0$ $dy = 0$ $d\phi \neq 0$
Doppio Pendolo		2	$X = 0$ $Y \neq 0$ $M \neq 0$	$dx \neq 0$ $dy = 0$ $d\phi = 0$
Carrello		1	$X = 0$ $Y \neq 0$ $M = 0$	$dx \neq 0$ $dy = 0$ $d\phi \neq 0$
Doppio Doppio Pendolo		1	$X = 0$ $Y = 0$ $M \neq 0$	$dx \neq 0$ $dy \neq 0$ $d\phi = 0$
Incastro		3	$X \neq 0$ $Y \neq 0$ $M \neq 0$	$dx = 0$ $dy = 0$ $d\phi = 0$

### 4.2.4 Sistemi Reticolari: Piani Isostatici

**Struttura Reticolare:** simile ad una capriata, una struttura rigida e leggera costruita per mezzo dell'incastro di montanti secondo opportuni schemi geometrici (principalmete di tipo piramidale). Le strutture reticolari spaziali sono di solito utilizzate per soluzioni multi direzionale permettendo di realizzare lunghe campate (i.e. luci ampie) per mezzo di un numero limitato di supporti. Traggono la loro forza dalla rigidità intrinseca del telaio triangolare; le flessioni ai carichi (i.e. momenti flettenti) sono trasmesse come tensione e carichi di compressione lungo la lunghezza di ogni puntone.

**Piani Isostatici:** La geometria è spesso basata su solidi platonici. La forma più semplice è una lastra orizzontale di piramidi a base quadrata interconnesse fra loro e costruite per mezzo di montanti in alluminio o acciaio tubolare. In un qualche modo appare come una struttura ottenuta dall'affiancamento di più bracci orizzontali di una gru ripetuti nello spazio.

### Metodo della Sezione di Richter

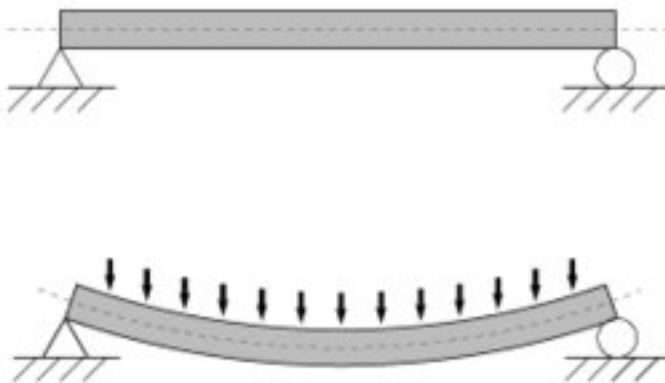
Brevemente, il metodo consiste nei seguenti passi:

1. divisione del sistema in 2 parti (la sezione non deve interessare più di 3 aste)
2. attenzione su uno specifico punto (detto polo)
3. garantire ed imporre l'equilibrio di tutte le forze concorrenti su una sola delle 2 sezioni

## 4.3 Deformazione: Statica della Trave

In tale paragrafo viene brevemente esposta la Teoria della Elasticità. Le riflessioni vengono eseguite, dapprima per semplicità, sull'elemento strutturale che si espande, nella pratica, per una sola dimensione: la trave.

**Trave:** Struttura monodimensionale, elemento strutturale con una dimensione predominante, atto a trasferire una sollecitazione tendenzialmente trasversale al proprio asse geometrico lungo tale asse, dalle sezioni investite dal carico fino ai vincoli, che garantiscono l'equilibrio esterno della trave assicurandola al contesto circostante.

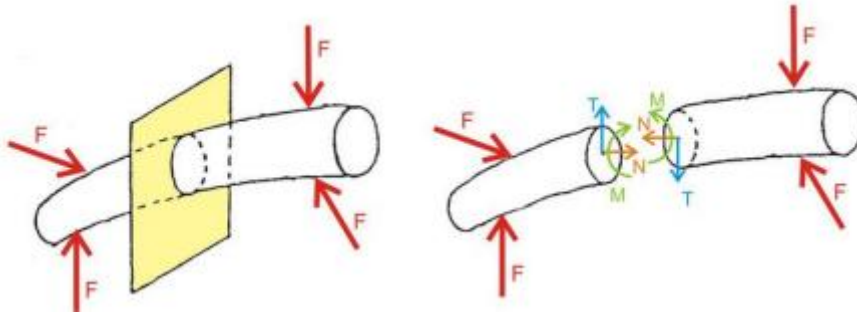


Un sistema meccanico composto da travi vincolate reciprocamente e al suolo è detto "travatura" o "telaio". Tale sistema rappresenta uno dei più importanti schemi strutturali utilizzati nelle costruzioni.

### 4.3.1 Sforzi

Le azioni esterne presenti sulla trave possono essere di varia natura, anche se generalmente si considerano solo azioni riconducibili a forze e coppie, sia concentrate su particolari sezioni, sia distribuite per unità di lunghezza della trave.





Le azioni interne sono legate al vincolo di continuità interna che agisce in corrispondenza di ogni sezione della trave. Tale vincolo impone che i due tronchi (destro e sinistro) in cui la generica sezione  $S$  divide idealmente la trave permangano combacianti. Per il principio delle reazioni vincolari, tale vincolo di continuità si esplica sulla sezione mediante un sistema puntuale di sollecitazioni (le tensioni interne) che le due parti del corpo si scambiano reciprocamente attraverso le due facce della sezione.

### Normale

Sforzo secondo l'asse ( $x$ ) della lunghezza della trave (es. tiranti, gravità nei pilastri). Detto anche Sforzo Assiale. Detto normale perché ortogonale alla generica Sezione  $S$  in esame

**Equazione di Beltrami/Mitchell:**  $\frac{dT}{dx} = -f_x(x)$

### Taglio

Sollecitazioni cui viene sottoposta la Sezione  $S$  generica.

**Taglio:** le azioni molecolari che si trasmettono attraverso di essa possono essere pensate come un'unica forza risultante che giace sul piano stesso della Sezione  $S$  (es. dovuto al peso, per un pavimento). Evidentemente agisce di concerto con il Momento Flettente

**Equazione di Beltrami/Mitchell:**  $\frac{dN}{dx} = -f_x(x)$

### Flessione

Sollecitazione curvilinea cui viene sottoposta una trave secondo l'asse  $x$ .

**Flessione:** per la sua intera lunghezza. Qualora la sua generica sezione trasversale è soggetta unicamente al momento flettente

Componenti risultanti secondo gli assi ( $y, z$ ).

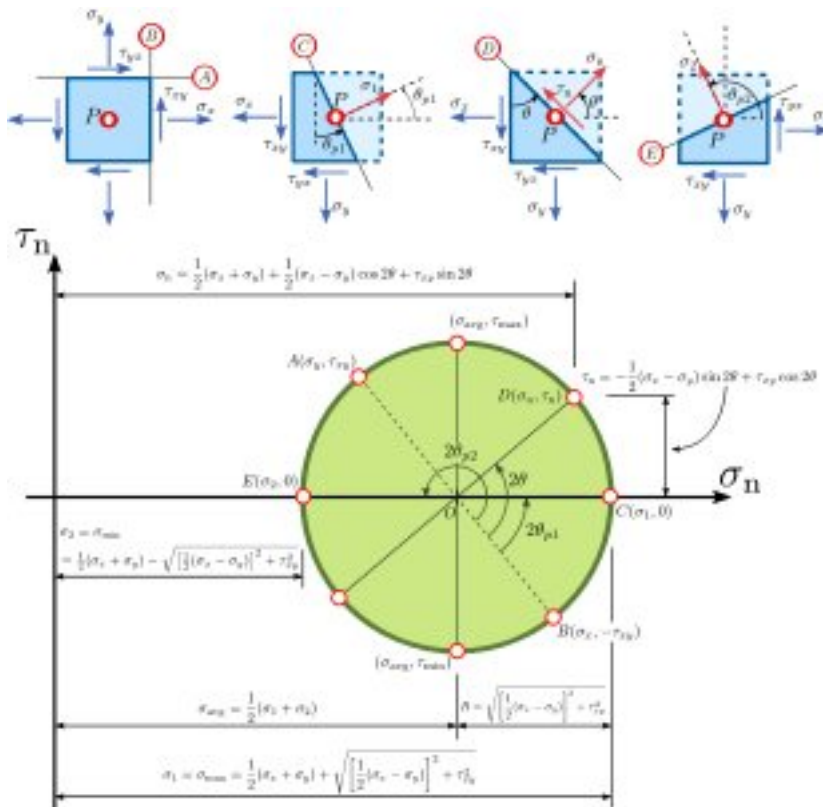
**Equazione di Beltrami/Mitchell:**  $\frac{dM}{dx} = -T(x)$

### 4.3.2 Torsione

Sollecitazione curvilinea cui può essere sottoposta la trave in ogni sua Sezione  $S$ .

### Cerchio di Mohr

rappresentazione grafica dello stato piano di tensione interna in un punto, proposta nel 1892 da Mohr. La rappresentazione è costruita riportando su un opportuno piano  $(\sigma, \tau)$ , detto di Mohr appunto.



Le componenti normali e tangenziali dello stato di tensione su un generica giacitura passante per il punto. Al variare della giacitura nel piano del problema, i punti rappresentativi dello stato tensionale ( $\sigma_n, \tau_{nm}$ ) descrivono nel piano di Mohr una circonferenza che costituisce il perimetro di quello che viene detto, appunto, cerchio di Mohr. La conoscenza del cerchio di Mohr permette di ricostruire lo stato tensionale su una qualsiasi giacitura passante per il punto ed, in particolare, di individuare le tensioni principali e le direzioni principali del problema piano di tensione.

### 4.3.3 Verifica di Resistenza

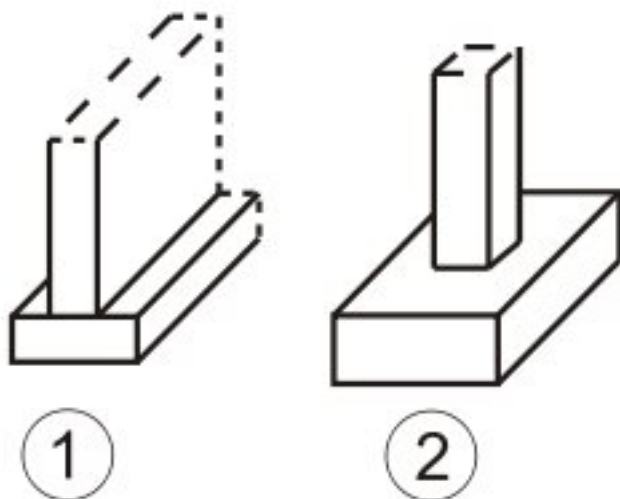
**coefficiente di sicurezza:** rapporto fra la tensione limite e quella ideale nel punto di maggior sollecitazione (cioè il punto in cui tale rapporto risulta minimo)

**carico di punta:** carico di rottura, oltre il quale la struttura non risponde più in maniera elastica. Massimo supportabile dalla struttura in virtù degli sforzi di compressione che esso determina.

### 4.3.4 Elementi Strutturali Tipici

#### Plinto

Il plinto di fondazione è la struttura più semplice fra le fondazioni superficiali, tipicamente costituito da un blocco in calcestruzzo armato a forma di parallelepipedo.



Ha lo scopo di assorbire il carico concentrato che si determina alla base dei pilastri

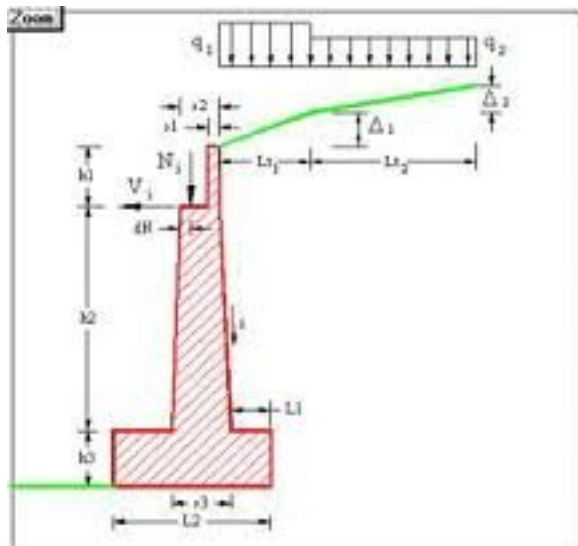
### Pilastro

Elemento strutturale ad asse verticale, di forma per lo più è prismatica, sollecitato prevalentemente a pressione semplice.

Esso trasferisce i carichi della sovrastruttura alle strutture ricettive sottostanti preposte a riceverlo. Anticamente il pilastro fu usato come richiamo alle pietre monolitiche che venivano erette nell'architettura primitiva, al contrario della colonna che riproduceva i tronchi d'albero, quindi l'architettura lignea. Teoricamente la colonna è un caso particolare di pilastro a base tonda (circolare, ovale, ellittica...) anche se nella storia dell'architettura l'uso dell'una o dell'altro è sempre stato ben distinto e con risultati molto diversi.

### Muro di Sostegno

Struttura muraria prismatica, avente per lo più 2 dimensioni sviluppate secondo un piano verticale e prevalenti rispetto alla terza dimensione (spessore).



Esistono 2 diverse modalità di costruzione:

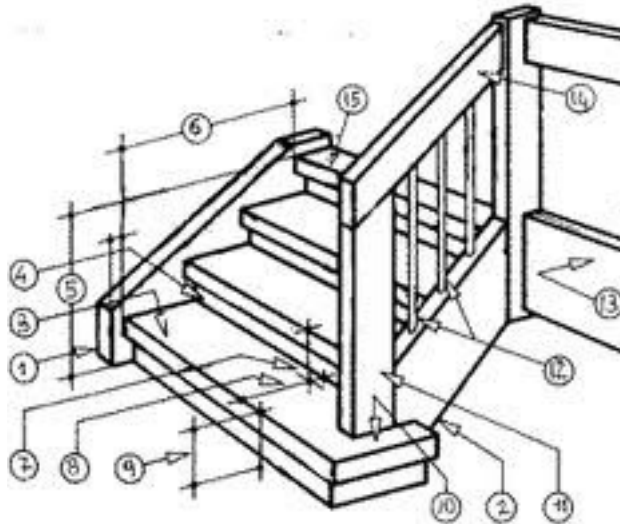
1. muri a sezione verticale costante
2. muri con speroni e contrafforti

## Scale

Elementi strutturali composti da:

**Pedata:** dove si appoggia la scarpa

**Alzata:** perpendicolare al primo.

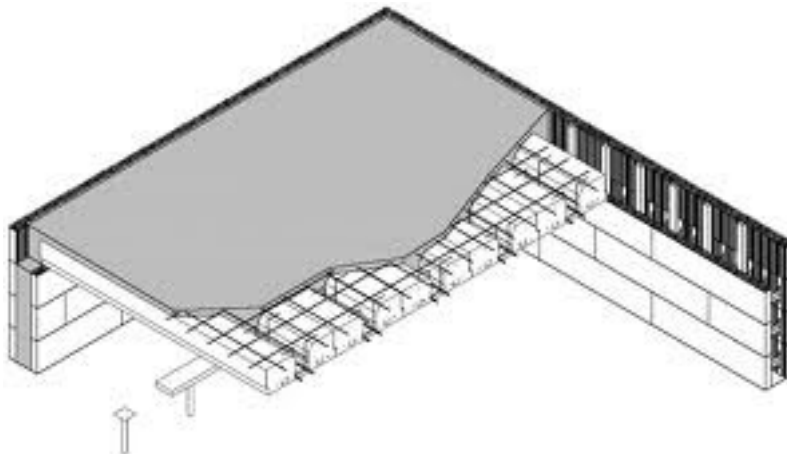


Per determinare la pendenza si usa la formula:

$$1\text{passo} = 2\text{alzate} + 1\text{pedata} \quad (\text{per abitazione } \frac{\text{Alzata}}{\text{Pedata}} = 0.58)$$

## Solaio

Strutture bidimensionali piane caricate ortogonalmente al proprio piano, con prevalente comportamento resistente monodirezionale. Fanno parte delle più generali "chiusure orizzontali" appartenenti all'apparecchiatura costruttiva all'interno delle quali svolgono il compito di assolvere alla sicurezza statica al fine di ripartire i carichi sulle travi perimetrali della struttura di elevazione dell'edificio.



La struttura portante del solaio può essere realizzata in legno, in calcestruzzo armato o in acciaio con la presenza o meno di altri materiali, quali elementi in laterizio, pani di polistirolo, ecc., con funzione prevalente di alleggerimento.