

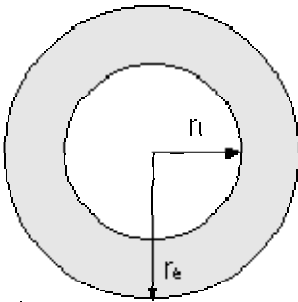
1 PIPING

- Il piping studia la distribuzione di fluidi tramite tubature.
- Un sistema di distribuzione di fluidi è costituito da **tre** principali elementi:
 - Le **condotte**
 - Gli **elementi di giunzione**
 - Gli **elementi di regolazione/funzionamento**

1.1 DN e PN

- Ogni elemento di un piping deve contenere nella propria “carta di identità” delle informazioni riguardanti la sua compatibilità con altri elementi del piping → queste informazioni sono desumibili da **due** importanti valori tecnici:
 - ⇒ Caratteristica dimensionale: **diametro nominale (D.N.)**
 - ⇒ Caratteristica di resistenza: **pressione nominale (P.N.)**

1.1.1 Diametro nominale



- Il diametro nominale non corrisponde né a r_i né a r_e : è un valore fissato convenzionalmente, ma non corrisponde alle reali dimensioni dell'oggetto.
- Il diametro nominale ha delle dimensioni unificate:
 - La standardizzazione è dovuta alla norma UNI 1282
 - Le dimensioni standard seguono una serie numerica ad incremento costante: serie di Renard di ragione 10

$$\frac{DN_{i+1}}{DN_i} \cong \sqrt[10]{10}$$

- Questo rapporto è circa uguale a **1,25**; di seguito abbiamo un esempio di serie: $1-1,5-2-2,5-3-4-5-6,3-8-10-12,5-15-20-25$
- Il diametro nominale è costruito in modo tale **da tendere** al valore del diametro interno espresso in [mm].
- Non rappresentando una reale dimensione del singolo pezzo, il diametro nominale si presta come ottimo riferimento per stabilire la compatibilità o meno dei diversi elementi di un piping.

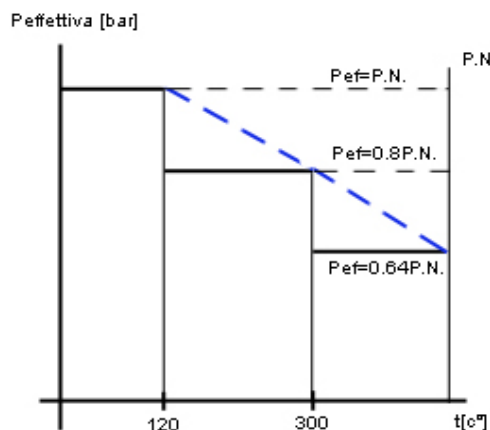
1.1.2 Pressione nominale

- Come il D.N. anche la pressione nominale risulta essere un valore nominale.
- La standardizzazione della P.N. è dovuta alla norma UNI 1283.
 - Il valore della P.N. di una condotta dipende da due elementi:
 - ⇒ Il **tipo di fluido** che scorre all'interno della condotta
 - ⇒ La **temperatura** a cui il fluido scorre
 - I valori standard della P.N. fanno parte di una serie numerica ad incremento costante: serie di Renard di ragione 5

$$\frac{PN_{i+1}}{PN_i} \cong \sqrt[5]{10}$$

- Questo rapporto vale circa 1,6; di seguito abbiamo un esempio di serie: $1-2,5-4-6-10-16-25-40-63-100$

- I valori appena elencati **non** corrispondono alla massima pressione sopportabile dalla condotta: piuttosto tendono ai valori in $[\text{kg}/\text{cm}^2]$ della pressione effettiva tollerabile dalla condotta, relativamente a tipo di fluido gestito e sua temperatura.
 - Il $[\text{kg}/\text{cm}^2]$ è l'unità di misura dell'atmosfera tecnica, corrisponde circa a 1,013 bar
- Esistono **due tipologie di fluido**:
 - ⇒ Non aggressivo/pericoloso
 - ⇒ Aggressivo/pericoloso
- Esistono **tre categorie di temperatura**:
 - ⇒ Bassa $t_{\text{fluido}} < 120^\circ$
 - ⇒ Media $120^\circ < t_{\text{fluido}} < 300^\circ$
 - ⇒ Alta $t_{\text{fluido}} > 300^\circ$
- Analizziamo i casi possibili e che impatto hanno sul **rapporto P.N. e $P_{\text{esercizio}}$**
 - Fluido non pericoloso + t_{fluido} bassa → $P.N. = P_{\text{esercizio max}}$
 - Fluido pericoloso o fluido non pericoloso + t_{fluido} media → $P_{\text{esercizio max}} = 80\% P.N.$
 - Fluido pericoloso + t_{fluido} media o fluido non pericoloso + t_{fluido} alta → $P_{\text{esercizio max}} = 64\% P.N.$



La spezzata di colore blu, evidenzia il legame tra P_{eff} e P.N. in base alla temperatura **puntuale**.

1.2 Tubazioni

- Le condotte di un piping possono essere di diversi materiali:
 - Acciaio
 - Plastica
 - Ghisa
 - Piombo
 - Cemento-amianto

1.2.1 Condotte in acciaio

- Per quanto riguarda le **tubazioni in acciaio** dobbiamo considerare due ulteriori caratteristiche:
 - **Il tipo costruttivo**:
 - Con/senza saldatura
 - Interno liscio o filettato (filettatura metrica o a gas)
 - Con/senza rivestimento

- **Classe:**
 - **Commerciale:** sono tubi in acciaio lisci, o filettati a "gas"; sono progettati per resistere ad una $t_{\text{fluido}} < 225^\circ$ e una P.N. < 25 . Nella prova idraulica raggiungono i 50 bar.
 - **Normale:** sono progettati per resistere ad una $t_{\text{fluido}} < 400^\circ$ e una P.N. > 25 . Nella prova idraulica raggiungono i 70 bar.
 - **Superiore:** sono in grado di resistere a sollecitazioni meccaniche anche molto elevate.
 - **Speciale:** tubi in acciai legati in grado di resistere anche in situazioni critiche.

1.2.2 Condotte in materiale plastico

- Un altro materiale molto usato per le condotte è il **polipropilene**: questo tipo di tubi ha notevoli vantaggi, soprattutto legati all'installazione e alla loro flessibilità. Sono generalmente utilizzati per trasportare **acqua** (colorazione blu) o **gas** (colorazione gialla).

1.2.3 Simbologia delle condotte

- Anche i tubi metallici hanno uno **standard per la colorazione**:
 - **Giallo** → gas (usato)
 - **Blu** → aria compressa (usato)
 - **Marrone** → olio (poco usato)
 - **Verde** → acqua (poco usato)
- Di particolare interesse anche la simbologia proposta per la raffigurazione grafica delle condotte di un piping:

Denominazione	Simbolo
ACQUA INDUSTRIALE: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	
ACQUA ANTINCENDIO: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	
ACQUA POTABILE: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	
ACQUA DI RECUPERO: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	
ARIA COMPRESSA: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	
GAS ILLUMINANTE: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	
GAS METANO: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	
BENZINA: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	
OLIO: <ul style="list-style-type: none"> • tubazione aerea o in cunicolo • tubazione interrata 	

1.2.4 Elementi di giunzione

- Esistono diversi metodi per collegare le tubature, vediamo i più utilizzati per tubi metallici e plastici:
 - **Saldatura**: è un collegamento rigido, non smontabile; ne esistono due varianti principali:
 - **Saldatura di testa**: si effettua con tubazioni a D.N. piccolo
 - **Saldatura a bicchiere** o a **tasca**: questo secondo tipo è spesso utilizzato per i tubi in PVC
 - Accoppiamento con **flangia**: l'accoppiamento con flangia risulta molto più pratico di una saldatura, esso infatti può essere rimosso senza necessariamente spezzare la saldatura
 - Anche le flangie hanno un proprio diametro nominale: in base al diametro nominale e alla pressione nominale delle tubazioni che devono essere collegate le flangie avranno un certo numero di fori di collegamento.
 - Giunto a **manicotto**: per ottenere la giunzione dei tubi si utilizza un manicotto, che può essere di diverso tipo; la giunzione ottenuta è molto pratica e può essere facilmente aperta e richiusa.
 - Manicotto **filettato**: è molto utilizzato nei tubi con filettatura a gas.
 - Giunto **supersimplex**: manicotto con innesto e disinnesto a pressione.
 - Giunto **gibault**.
 - Giunto a **bocchettone**: accoppiamento molto solido e facilmente montabile e smontabile; viene utilizzato soprattutto per i tubi plastici.

1.2.5 Raccordi

Tra i raccordi possiamo trovare:

- **Giunti ad angolo** o **raccordi a "T"**.
- **Tripli giunti**.
- **Nippli**.
- **Gomiti**.
- **Allargamenti** o **riduzioni** di vario genere.

Tutti questi elementi determinano all'interno del circuito delle perdite di carico, più o meno accentuate.

1.3 Valvole

- La scelta delle valvole è molto importante nella progettazione del piping; essa infatti deve garantire:
 - **Perdite di carico ridotte**
 - **Sicurezza di funzionamento**
 - **Basso costo di manutenzione**
- E' possibile suddividere le valvole in tre categorie, in base alla loro funzione: **intercettazione**, **regolazione**, **sicurezza**.

1.3.1 Valvole di intercettazione

- le valvole di intercettazione vengono utilizzate all'interno di un piping a **scopo manutentivo**; esse infatti permettono di isolare tratti del circuito su cui è necessario intervenire, senza bloccare l'intero piping. Le valvole di intercettazione devono poter funzionare solo in due stati: tutto chiuso o tutto aperto.
- Le valvole di intercettazione, salvo casi eccezionali, **non debbono essere impiegate come organi di regolazione della portata**.
- I **cunei** di una valvola di intercettazione possono essere di **diversi tipi**: monoblocco, doppio obliquo, flessibile, e doppio a sedi parallele.

1.3.2 Valvole di regolazione

- **servono a regolare la portata** del fluido che circola nel nostro piping. Queste valvole presentano una struttura completamente diversa rispetto alle valvole di intercettazione; distinguiamo le valvole di regolazione in valvole a flusso avviato, **per frequenti regolazioni**, e valvole **per regolazioni non frequenti**.
 - **Valvole a globo, ad angolo, a Y**: questi tre tipi di valvole sono basati sullo stesso principio e sono costruite per lo stesso impiego. Sono principalmente destinate ad ottenere la regolazione della portata con sufficiente esattezza.
 - **Rubinetti a maschio**: questo tipo di rubinetto è soprattutto impiegato per equilibrare o regolare le portate in un impianto che non è soggetto a frequenti cambiamenti di portata. Generalmente hanno un costo inferiore a quello delle valvole a globo e le superfici si deteriorano meno.
 - **Valvole di ritegno**: servono per la riequilibratura del piping. In un piping infatti è possibile aggiungere o togliere delle utenze: questo comporterebbe degli scompensi. Per avere un piping equilibrato è necessario che si verifichino particolari condizioni:
 - definiamo ramo principale, il ramo che dalla centrale raggiunge l'utenza più sfavorita; dal ramo principale si diramano tutti gli altri rami secondari.
 - Siano ΔP delle perdite di carico: $\Delta P_s \Rightarrow$ perdite di carico nel ramo secondario, $\Delta P_p \Rightarrow$ perdite di carico relative al tratto di ramo principale da percorrere.
 - Se $\Delta P_s \approx \Delta P_p$ per tutti i rami secondari, allora il piping è un circuito equilibrato.

1.3.3 Valvole di sicurezza

- le valvole di sicurezza in uno stato di funzionamento normale **sono chiuse**: intervengono solo in caso di anomalie.
- esistono diverse valvole di sicurezza; esse si differenziano in base al meccanismo utilizzato:
 - **valvole a peso diretto**: si tratta di un otturatore con una serie di pesi infilati sullo stelo; questi pesi si possono aggiungere o togliere in base alla forza di contrasto desiderata
 - **valvola di sicurezza molla regolabile**: in questo caso la forza di contrasto è realizzata grazie ad una molla regolabile.
 - **valvola a contrappeso**: questa valvola sfrutta il principio della leva. Un contrappeso (mobile) crea la forza di contrasto; quando la pressione all'interno del piping supera il valore di sicurezza, l'otturatore si alza e agendo sulla leva porta in alto anche il contrappeso.
 - **Valvola a membrana**: questo tipo di valvola viene generalmente utilizzata nei circuiti a gas
- le valvole di sicurezza necessitano di un riarmo manuale: è necessario comprendere la natura del problema prima di ripristinare la completa funzionalità del piping.

1.3.4 Valvole di non ritorno

- **impongono** al fluido una **precisa direzione** di scorrimento evitando eventuali reflussi
- sono comunemente presenti in circuiti acqua, aria compressa etc etc
- esistono valvole di non ritorno di diverso genere: alcune possono essere montate solo su tratte orizzontali, altre anche su tratte verticali: esempi di queste valvole possono essere le valvole **con otturatore** o le valvole **clapét**

1.3.5 Valvole di riduzione

- sono utilizzate **per ridurre valori di pressione e temperatura**, tramite la regolazione della portata
- queste valvole non hanno un'attivazione manuale: esse in automatico regolano la pressione del fluido di servizio su un valore desiderato. Il fluido inizialmente avrà una certa pressione detta P_{MONTE} : scopo della valvola di riduzione è quello di ridurre questo valore di pressione, fino a raggiungere un valore di pressione desiderato detto P_{VALLE} .
- il valore di pressione del fluido è legato alla portata del piping: se questa aumenta, la pressione diminuisce: è necessario determinare un compromesso.
- tra le valvole di riduzione di pressione evidenziamo **due principali tipologie**:
 - **valvole autoazionate**: vediamo il funzionamento. Elemento fondamentale della valvola è il **pilota**: questo è ancorato ad una membrana in gomma (che va a costituire la camera di compenso); se la pressione a valle diminuisce la membrana tende ad abbassarsi, grazie alla forza di contrasto della molla sovrastante; il pilota scende aprendo la sezione di passaggio: così

facendo la pressione di monte va a ribilanciare la pressione di valle, aumentandola (il valore desiderato della P_{VALLE} si ottiene dalla calibratura delle due molle). Nel caso in cui la pressione di valle sia superiore al valore desiderato il procedimento è esattamente inverso.

- **valvole servoazionate**: in queste valvole sono presenti due otturatori: un otturatore principale ed un otturatore secondario (o pilota); l'otturatore principale ha un andamento inverso rispetto alle variazioni della P_{VALLE} ; il servomeccanismo invece è realizzato proprio dal pilota: questo meccanismo permette un azionamento facilitato, questo significa in termini comparativi un **minor tempo di azione** rispetto alle valvole autoazionate
- anche per **le valvole riduttrici di temperatura** abbiamo la distinzione tra valvole autoazionate e valvole servoazionate. Il principio di entrambe è estremamente semplice: all'aumentare della temperatura (registrata grazie ad un sensore) la valvola si chiude

1.4 Coefficiente di portata e dimensionamento delle valvole

- il coefficiente di portata K_V serve per il **dimensionamento delle valvole**
- il coefficiente di portata è riferito **al 100% di portata**, ossia la portata massima ad otturatore tutto aperto; inoltre viene assunto convenzionalmente **un salto di pressione pari ad 1 bar**
- la definizione precedente ci fa capire come K_V fornisca **un'informazione di tipo puntuale**. Per valvole che non stanno sempre aperte, l'informazione puntuale non è sufficiente: a tale proposito esistono **grafici** che legano K_V al grado di apertura della valvola.
 - questi grafici possono essere anche molto diversi tra loro a causa delle differenze costruttive delle valvole: tra gli esempi più interessanti di valvole con grafici differenti è opportuno citare le valvole a saracinesca, a globo, a flusso avviato, a maschio.

Con che **grado di apertura** una valvola a globo DN50 è in grado di erogare $58 \text{ m}^3/\text{h}$?

La valvola a globo considerata è sottoposta ad un salto di pressione pari ad 1 bar, quindi valgono i grafici nelle fotocopie.

Grazie ai dati su K_V , sappiamo che una valvola DN50 tutta aperta e sottoposta ad un salto di pressione unitario è in grado di lasciar passare una portata $Q = K_V = 47 \text{ m}^3/\text{h}$, insufficiente per la portata richiesta; è quindi necessario utilizzare una valvola con DN maggiore, DN65, in grado di erogare un K_V pari a $85 \text{ m}^3/\text{h}$; tuttavia il problema richiede una portata di $58 \text{ m}^3/\text{h}$, quindi $58/65 = 68,23\% \Rightarrow$ questo valore corrisponde alla % di K_V richiesta. Utilizziamo questo valore per leggere il grafico, che ci dà come risultato un grado di apertura del 40%.

- Il concetto di coefficiente di portata è particolarmente utile per **stimare il Δp accidentale di una valvola** (ovvero la perdita di pressione dovuta alla valvola interpretata come accidentalità del piping). Si ipotizza che ad ogni accidentalità nel piping corrisponda un coefficiente che esprime le perdite di carico dovute alla stessa accidentalità; nel caso di una valvola questo coefficiente è denominato ξ ed è noto come coefficiente di Δp concentrata.

Si consideri una valvola a globo DN100, tutta aperta e con $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$. Dalla tabella ricaviamo $K_V = 190 \text{ m}^3/\text{h}$: tale valore rappresenta la portata della valvola tutta aperta con un $\Delta p = 1 \text{ bar}$.

Facendo una semplice proporzione si ha: $\Delta p_{reale} / \Delta p_{unitario} = Q_{reale}^2 / K_V^2 \Rightarrow \Delta p_{reale} = 0,062 \text{ bar} =$

$$\Delta p_{accidentale} = \xi \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \rho$$

Dove c è la velocità ed è calcolabile come la portata Q divisa per la sezione DN100 della valvola. Grazie a questi dati possiamo ricavare il valore di ξ che rappresenta proprio il **coefficiente di Δp concentrata**.

- esistono **formule empiriche** per determinare il K_v di una valvola: tali formule tengono conto delle condizioni di esercizio e del tipo di fluido.

$$K_v = Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}}$$

In cui Q è la portata espressa in m^3/h , ρ è la densità del fluido espressa in Kg/dm^3 (**tipo di fluido**) e Δp è il salto di pressione espresso in bar (**condizioni di esercizio**)

1.5 Coibentazione delle condotte

- l'operazione di coibentazione consiste nell'aggiunta di materiale coibentante al piping.
- due sono i casi in cui sono necessarie operazioni di coibentazione:
 - in presenza di un fluido caldo, cioè con $t > t_{ambiente}$. In questo caso l'obiettivo è quello di contenere le **dissipazioni di energia termica**
 - in presenza di un fluido freddo, cioè con $t < t_{ambiente}$. In questo secondo caso l'obiettivo è quello di evitare la formazione di condensa con il conseguente innesco di fenomeni corrosivi (questo fenomeno è anche noto come **stillicidio**)
- per i paragrafi successivi si tengano in considerazione i seguenti elementi:
 - t_i [°C] = temperatura interna alla condotta
 - t_a [°C] = temperatura ambiente
 - t_e [°C] = temperatura registrata sulla superficie esterna del materiale coibentante
 - r_i = raggio interno condotta
 - r_e = raggio esterno della condotta con l'aggiunta del materiale coibentante
 - r_i = raggio interno isolante
 - S = spessore isolante $S = r_e - r_i$

1.5.1 Fluido caldo

- Siamo nel caso in cui la temperatura del fluido che transita all'interno delle condotte sia maggiore della temperatura ambiente
- Si voglia dimensionare lo spessore del materiale coibentante con l'obiettivo di minimizzare:
 - **i costi legati alla dispersione termica** => $g(S)$ [è funzione dello spessore del coibentante]
 - **il costo legato al materiale isolante** => $f(S)$ [è anch'esso funzione dello spessore del coibentante]
- La valutazione dell' S economico va fatta sulla base delle seguenti ipotesi:
 - $t_i > t_a$
 - $t_e = t_a$
 - t_i, t_e, t_a costanti
- Si ipotizzi che il piping operi per un determinato **lasso di tempo**, e si considerino le seguenti grandezze: Q , potenza termica dissipata (è funzione del salto di temperatura tra interno della condotta e ambiente esterno), R , resistenza termica complessiva, L , lunghezza della condotta; le tre grandezze sono legate dalla seguente formula

$$Q = \frac{t_i - t_e}{R} \cdot L$$

- Concentriamoci ora su R , la resistenza termica complessiva. Quali sono **le componenti** che la compongono? :
 1. Il passaggio per convezione lato interno

2. Il passaggio per conduzione attraverso il metallo
3. Il passaggio per conduzione attraverso l'isolante
4. Il passaggio per convezione lato esterno

$$R = \frac{1}{\alpha_i \cdot 2\pi \cdot r_l} + \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_m} \cdot \ln \frac{r_i}{r_l} + \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_s} \cdot \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{\alpha_e \cdot 2\pi \cdot r_e}$$

Dove α_i è il coefficiente di convezione lato interno, α_e è il coefficiente di convezione lato esterno, λ_m è il coefficiente di conduzione del metallo, λ_s è il coefficiente di conduzione dell'isolante: l'unità di misura di questi coefficienti è il Kcal / h°Cm².

Ai fini di un dimensionamento pratico alcuni **elementi** della formula sopraccitata sono **trascurabili**, in particolar modo l'equazione si semplifica nel seguente modo

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_s} \cdot \ln \frac{r_e}{r_i} \quad \text{da cui si ricava} \quad Q \cong \frac{2\pi \cdot \lambda_s \cdot (t_i - t_e)}{\ln \frac{r_e}{r_i}} \cdot L$$

- Abbiamo così determinato il valore Q dell'energia termica dissipata nell'unità di tempo, anche nota come potenza termica; definito n il numero di ore di funzionamento dell'impianto, c_Q il costo unitario dell'energia termica dissipata, espresso in €/kcal, C_Q il costo complessivo dell'energia dissipata, C_I il costo complessivo dell'isolante e c_i , il suo costo unitario espresso in €/m³: abbiamo che.

La prima componente vale $C_Q = n \cdot c_Q \cdot Q$, la seconda $C_I = c_i \cdot \pi \cdot (r_e^2 - r_l^2) \cdot L$

- Quello che dobbiamo chiederci ora è qual è lo spessore S dell'isolante che rende minimo il costo totale C, ovvero **S: min (C_Q + C_I)**; questo significa porre uguale a zero la derivata di C rispetto ad S (dC/dS)

$$\left(\frac{r_e}{r_i}\right)^2 \ln^2 \frac{r_e}{r_i} = \frac{\lambda_s (t_i - t_e) \cdot n \cdot c_Q}{c_i \cdot r_l^2}$$

Questa espressione è del tipo $x^2 \ln^2 x = \text{costante}$, dal cui grafico è semplicemente ricavabile il punto di ottimo

- Questa formula ci permette di ricavare l'S ottimale, non è detto che questo spessore preciso sia poi presente in commercio; naturalmente nella pratica andremo a prendere lo **spessore commerciale** immediatamente superiore allo spessore ottimale determinato.
- Tra i materiali coibentanti più comuni ed economici abbiamo:
 - **polistirene estruso**
 - **polistirene espanso**

1.5.2 Fluido freddo

- Nel caso di fluido freddo, ciò che si vuole evitare è l'effetto **stillicidio**, ovvero la formazione di condensa potenzialmente dannosa per il nostro piping
- Definiamo a tal proposito la **temperatura di rugiada**: temperatura alla quale il vapore acqueo presente in ambiente inizia a condensare. L'obiettivo è dunque quello di raggiungere una $t_e \geq t_r$, dove t_r , la temperatura di rugiada, è funzione della temperatura dell'ambiente e del grado di umidità relativo ϕ .
- Siano Q la potenza termica entrante ed R la resistenza termica; le due grandezze sono legate dalla

seguinte espressione: $Q = \frac{t_a - t_i}{R} \cdot L$ [1]

- Nel valore della resistenza termica R andiamo a trascurare lo scambio per convezione lato interno (α_i) e lo scambio per conduzione attraverso il metallo (λ_m); rimane la convezione lato esterno il cui coefficiente

è α_e è funzione della temperatura esterna. Ne deriva che $R \cong \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_s} \cdot \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{1}{\alpha_e r_e} \right)$

- Poniamo $Q = 2\pi \cdot r_e \cdot L \cdot \alpha_e \cdot (t_a - t_e)$ [2] supponendo che l'intera potenza termica entrante si concentri sulla parete esterna e sia scambiata per convezione tra ambiente e superficie esterna (questa è una semplificazione)
- Per ottenere il valore di α_e , e di conseguenza di t_e dovremmo attuare un procedimento iterativo uguagliando la [1] e la [2]
- Sintetizzando:
 1. Ipotizziamo un valore di t_e
 2. Con tale valore di t_e calcoliamo il corrispettivo valore di α_e
 3. utilizziamo questi valori "tentativo" in [1] = [2] , al fine di bilanciare l'equazione