



**UNIVERSITA'  
DEL SALENTO**

# **COSTRUZIONI IDRAULICHE**



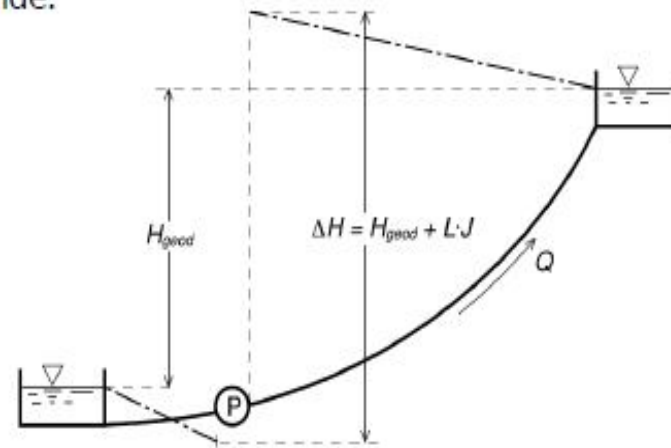
**LEZIONE 7. Impianti di sollevamento**

Felice D'Alessandro



## Progetto condotta di mandata

- Scelta del diametro della condotta di mandata:
  - La scelta della pompa da inserire in un generico impianto di sollevamento che debba sollevare un'assegnata portata  $Q$  non è univoca se a priori non sono assegnati anche il tipo e il diametro delle condotte; infatti a un diametro più piccolo corrispondono perdite di carico maggiori e quindi prevalenza necessaria più grande.





## Dimensionamento economico di una condotta di mandata

- Tale indeterminazione idraulica può essere rimossa se si considera il problema anche sotto il profilo economico.
  - Il *costo d'impianto*  $C_i$ , comprendente le tubazioni e la pompa, è rappresentato dalla somma di tre termini: *l'interesse e l'ammortamento del capitale impiegato* per la costruzione e *il costo della manutenzione*; esso è crescente col crescere del diametro. Il corrispondente onere annuo è in genere assunto pari a una percentuale  $r$ , detta *tasso di ammortamento annuo*, del costo  $C_i$ .
  - Più il diametro della tubazione è piccolo, più elevate sono le perdite di carico e quindi gli *oneri economici annui*  $C_e$  di gestione per il maggiore assorbimento di energia.
  - La somma  $P$  dell'onere annuo relativo al costo d'impianto e alla gestione è detta *passività*:  
$$P = r \cdot C_i + C_e$$
  - Il *tasso (o rata) di ammortamento annuo*  $r$  è calcolabile con la formula:  
$$r = i \cdot (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$
  - ove  $i$  è il *tasso medio d'interesse praticato con riferimento ad  $n$  anni* ed  $n$  il *numero di anni della vita prevista dell'opera*.





### Dimensionamento economico di una condotta di mandata

- Il costo dell'energia  $C_e$  è dato dal prodotto dell'energia assorbita annua  $E$ , pari al prodotto della potenza elettrica assorbita  $W$  per il numero di ore annuo di funzionamento  $T_{annuo}$ , per il costo dell'unità di energia  $ce$ :

$$C_e [\text{€/anno}] = E [\text{kwh/anno}] \cdot ce [\text{€/kwh}] = W \cdot T_{annuo} \cdot ce$$

- A sua volta, la potenza elettrica assorbita  $W$  è data dal prodotto del peso specifico  $\gamma$  per la portata  $Q$  e per la prevalenza  $\Delta H$  diviso per il rendimento complessivo della pompa  $\eta$ :

$$W [\text{kw}] = (\gamma [\text{N/m}^3] \cdot Q [\text{m}^3/\text{s}] \cdot \Delta H [\text{m}] / \eta) / 1000$$

- Quindi, il sollevamento di un volume annuo  $V$  (pari al prodotto di  $Q$  per  $T_{annuo}$ ) richiede il costo energetico:

$$\begin{aligned} C_e (\text{€/anno}) &= W \cdot T_{annuo} \cdot ce = E \cdot ce = \\ &= [(V [\text{m}^3] \cdot \Delta H [\text{m}] / \eta) / (9,81/1000)] \cdot ce = [V \cdot \Delta H / (367 \cdot \eta)] \cdot ce \end{aligned}$$

- La passività  $P$  in funzione del diametro della tubazione  $D$  è una curva che presenta un minimo la cui ascissa corrisponde al diametro  $D_e$  economicamente più conveniente, detto appunto *diametro di massimo tornaconto* o *diametro di minima passività*.





## Dimensionamento economico di una condotta di mandata

La ricerca del diametro di massimo tornaconto  $D_e$  si conduce valutando per un certo numero di diametri commerciali le corrispondenti spese d'impianto e di esercizio, costruendo quindi per punti la curva della passività e individuando sul grafico il valore del diametro commerciale più prossimo al diametro teorico per il quale si verifica la minima passività.

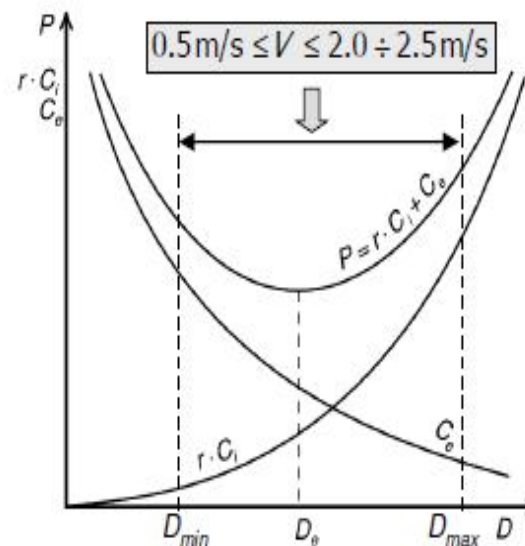
$$r = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$C_e = W \cdot T_{\text{annuo}} \cdot C_e$$

$$W = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{\eta}$$

$$H = H_{\text{geod}} + J \cdot L + K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$J = \frac{10.29 \cdot Q^2}{K_{\text{Strickler}}^2 \cdot D^{16/3}}$$





## Progetto condotta di mandata

- Altre considerazioni e vincoli progettuali:
  - La lunghezza delle tubazioni è, generalmente, un dato del problema difficilmente modificabile, mentre con un'attenta valutazione si può, in certi casi, minimizzare il numero delle curve sia nel piano orizzontale che in quello verticale; uno sguardo al corretto dimensionamento idraulico della condotta può essere utile anche se spesso le scelte del profilo sono dettate più da situazioni topografiche e da esigenze di carpenteria che da considerazioni di carattere idraulico.
  - Il diametro del tubo è il fattore più importante, in quanto le perdite di carico risultano in genere circa inversamente proporzionali alla quinta potenza del diametro e quindi una piccola variazione del diametro può indurre notevoli variazioni nel costo di esercizio.





## Progetto condotta di mandata

- Altre considerazioni e vincoli progettuali (segue):
  - Si dimostra che in generale, fissato il periodo di funzionamento dell'impianto, la velocità corrispondente al diametro di massimo tornaconto, detta *velocità di massimo tornaconto*, è praticamente indipendente dalla portata dell'impianto e dai costi dei materiali e dell'energia e perciò può essere considerata una invariante cui è comodo riferirsi per un dimensionamento di massima delle condotte. Per impianti funzionanti con continuità durante tutto l'anno la velocità di massimo tornaconto assume valori intorno a 1 m/s, potendo oscillare tra 0.5 e 2.5 m/s.
  - Non si deve però dimenticare che il limite minimo accettabile per la velocità viene determinato principalmente dalla esigenza di evitare la sedimentazione di eventuali sostanze trasportate. Tale problema per i normali contenuti di scarichi civili insorge per spinte inferiori a  $1.0 \text{ N/m}^2$  ed è sicuramente eliminato per spinte di  $1.5 \text{ N/m}^2$ , corrispondenti in pratica a velocità rispettivamente di 0.5 e 0.6 m/s; tuttavia per acque di fognatura mista, in cui possono essere presenti sabbie fini con elevato peso specifico, la velocità di trasporto minima è da considerarsi 1 m/s.





## Progetto condotta di mandata

- **Altre considerazioni e vincoli progettuali (segue):**
  - Il limite massimo accettabile per la velocità viene invece determinato in considerazione della necessità di prevenire sia l'usura delle pareti interne delle condotte sia eccessive sollecitazioni di colpo d'ariete. Indicativamente tale limite massimo può essere assunto pari a 2 m/s per condotte d'impianti con funzionamento continuo e pari a 2.5 m/s per condotte d'impianti con funzionamento occasionale. Solo per le condotte forzate degli impianti idroelettrici tale limite massimo è superato, con velocità dell'ordine di 3÷5 m/s, in base alle indicazioni che fornisce il criterio economico. In questo tipo d'impianti, infatti, il costo molto elevato delle condotte, dovuto ai grandi spessori necessari per sopportare le elevatissime pressioni d'esercizio, conduce a dimostrare la convenienza di diametri ridotti e quindi di velocità elevate. Ai conseguenti maggiori valori delle perturbazioni di colpo d'ariete si provvede con adatte scelte di mezzi attenuatori (pozzi piezometrici, scarico sincrono per turbine di tipo Francis, tegolo deviatore per turbine di tipo Pelton, ecc.).

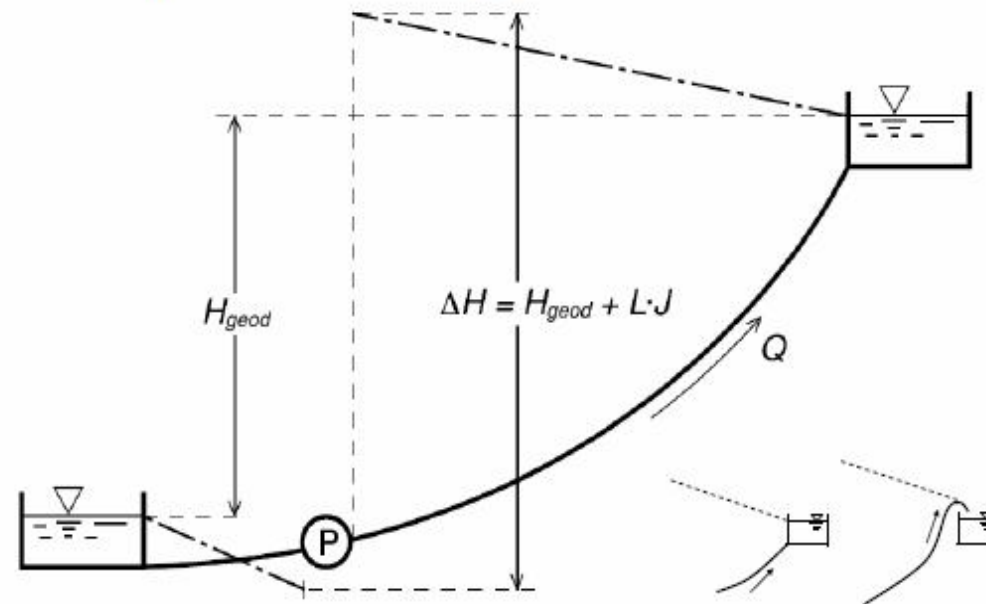






## Schemi d'impianto

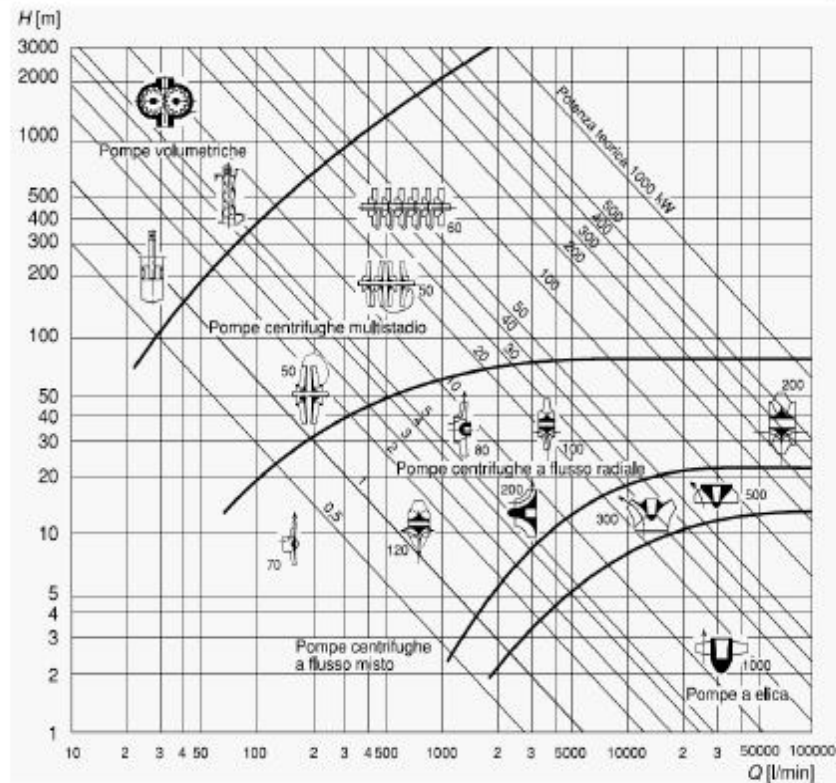
- Schema piezometrico semplice:





## Schemi d'impianto

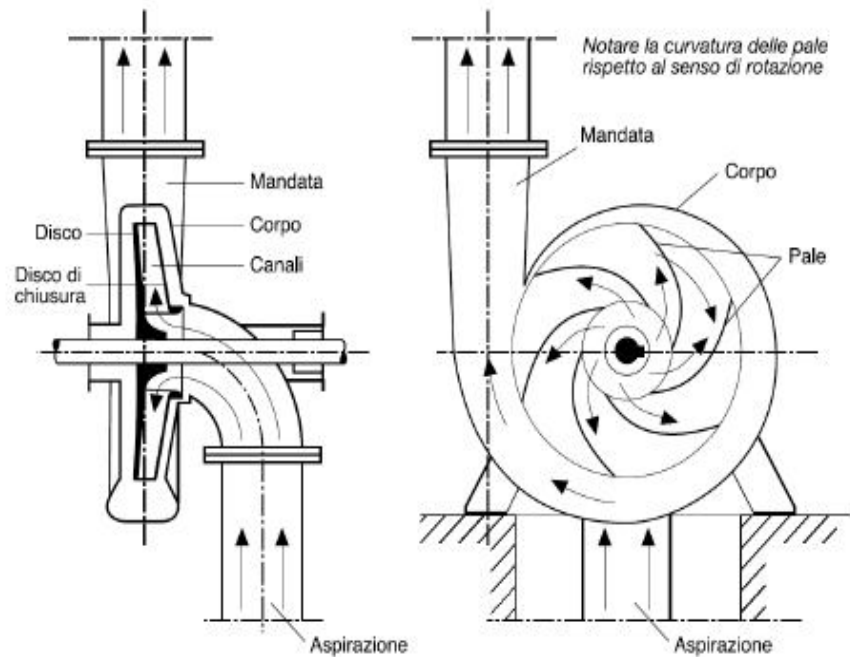
- Campi d'uso dei vari tipi di pompe:





## Pompe centrifughe

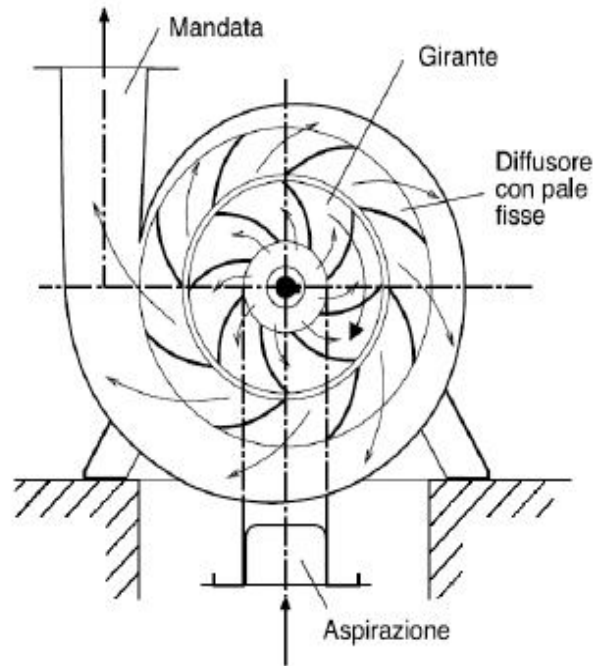
- Schemi in sezione:





## Pompe centrifughe

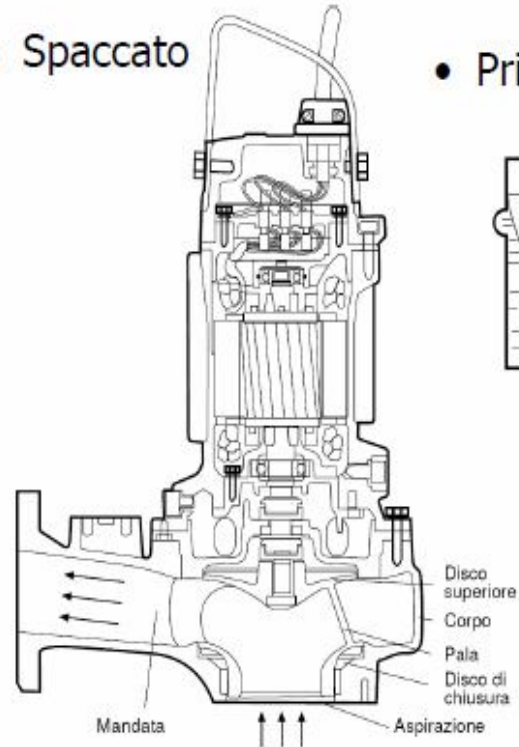
- Schema in sezione con diffusore a pale fisse:



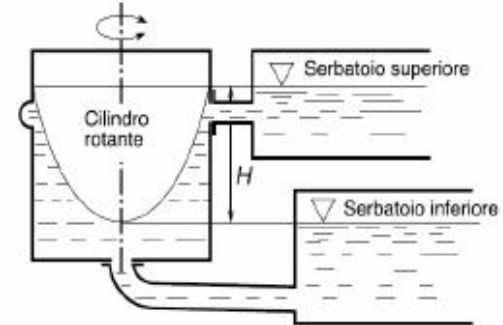


## Pompe centrifughe

- Spaccato



- Principio di funzionamento

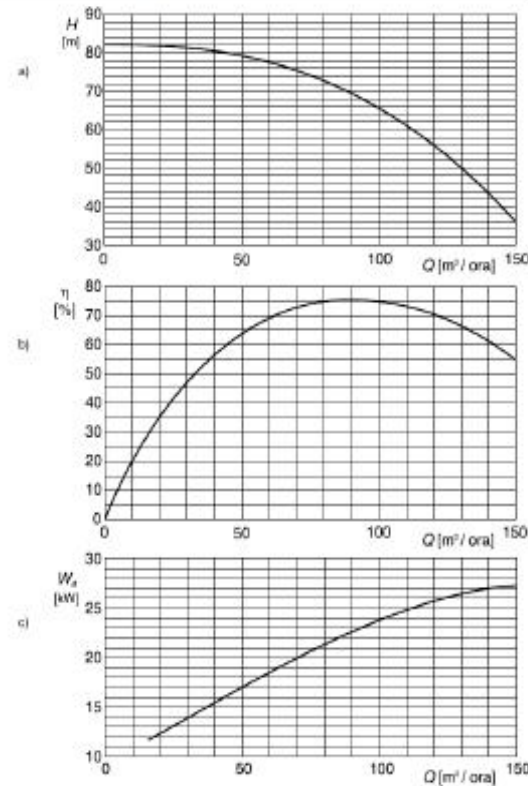


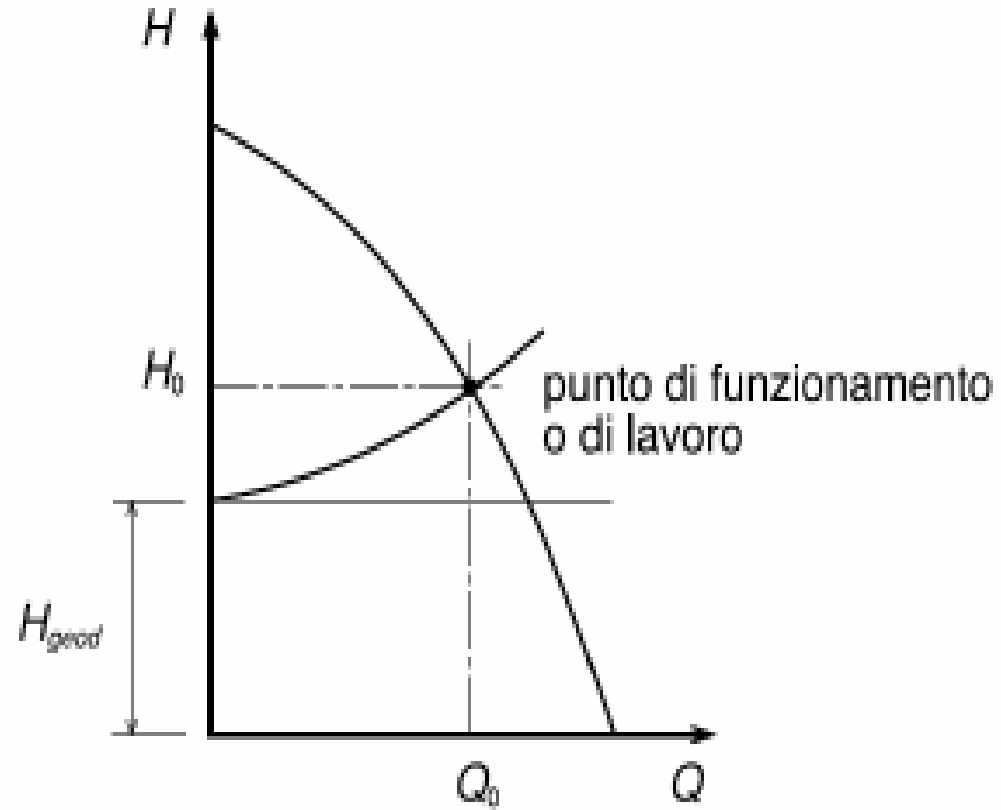


## Pompe centrifughe

- Esempio di curve caratteristiche:
  - Portata-prevalenza ( $Q-H$ );
  - Portata-rendimento ( $Q-\eta$ );
  - Portata-potenza ( $Q-W$ ).

$$W = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta}$$







## Rendimenti in sistemi di pompe

### RENDIMENTO GLOBALE DI UN SISTEMA DI POMPE

Dato che la potenza complessivamente assorbita dal sistema di N pompe è pari alla somma delle potenze assorbite dalle singole pompe (nell'esempio N=2), si può scrivere:

$$P = P_1 + P_2$$

$$\frac{\cancel{\gamma_w} \cdot \Delta H \cdot Q}{\eta_{TOT}} = \frac{\cancel{\gamma_w} \cdot \Delta H_1 \cdot Q_1}{\eta_1} + \frac{\cancel{\gamma_w} \cdot \Delta H_2 \cdot Q_2}{\eta_2}$$

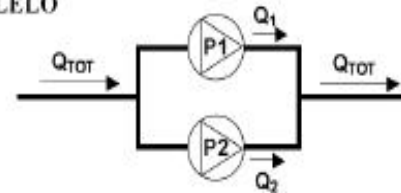
da cui si ricava l'espressione del rendimento globale  $\eta_{TOT}$  del sistema di pompe:

- nel caso di **POMPE IN PARALLELO**

$$\begin{cases} \Delta H = \Delta H_1 = \Delta H_2 \\ Q = Q_1 + Q_2 \end{cases}$$

$$\frac{\cancel{\Delta H} \cdot Q}{\eta_{TOT}} = \frac{\cancel{\Delta H_1} \cdot Q_1}{\eta_1} + \frac{\cancel{\Delta H_2} \cdot Q_2}{\eta_2}$$

$$\eta_{TOT} = \frac{Q}{\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2}}$$



$$\eta_{TOT} = \frac{Q_1 + Q_2}{\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2}}$$





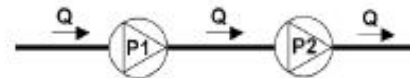
## Rendimenti in sistemi di pompe

- nel caso di **POMPE IN SERIE**

$$\begin{cases} \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 \\ Q = Q_1 = Q_2 \end{cases}$$

$$\frac{\Delta H \cdot \cancel{Q}}{\eta_{TOT}} = \frac{\Delta H_1 \cdot \cancel{Q}_1}{\eta_1} + \frac{\Delta H_2 \cdot \cancel{Q}_2}{\eta_2}$$

$$\eta_{TOT} = \frac{\Delta H}{\frac{\Delta H_1}{\eta_1} + \frac{\Delta H_2}{\eta_2}}$$



$$\eta_{TOT} = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{\frac{\Delta H_1}{\eta_1} + \frac{\Delta H_2}{\eta_2}}$$

