Il dimensionamento degli accumulatori - polmone[1]

3.4.1 Generalità

Si è detto nel precedente paragrafo che, quando il servizio erogato è accumulabile, come avviene nel caso di un servizio di distribuzione di fluidi, e quando le utenze presentino variabilità della domanda, uno schema di impianto comunemente adottato è quello di prevedere un generatore dimensionato per una potenzialità non inferiore alla richiesta media di tutte le utenze servite, ed un accumulatore con funzione di polmone (ved. fig. 3.11).
Infatti negli impianti industriali il diagramma di richiesta di un fluido presenta, nella maggioranza dei casi, andamento variabile nel tempo, con oscillazioni periodicamente ricorrenti, anche di notevole ampiezza, sicché si determinano inevitabili sfasamenti temporali tra il ritmo di produzione o di fornitura e quello della domanda. Quando il fluido è immagazzinabile, l'installazione di un serbatoio, opportunamente dimensionato, permette di proporzionare gli impianti di produzione o di alimentazione per un valore inferiore a quello corrispondente alla massima richiesta che si ritiene di dover soddisfare, e consente, quindi, di far funzionare gli stessi con un coefficiente di utilizzazione medio più soddisfacente[2].
Nei casi in cui l'installazione del serbatoio comporta costi di un certo rilievo converrà determinare la capacità e le caratteristiche geometrico-costruttive in modo da rendere minimi tali costi.

Al fine suaccennato possono distinguersi due casi fondamentali a seconda che si debba comunque garantire la continuità del funzionamento del servizio o si possa tollerare qualche discontinuità, almeno parziale, nello stesso.

3.4.2. Caso di completa disponibilità del servizio

Il serbatoio ha, essenzialmente, la funzione di accumulare il fluido nei periodi in cui la quantità di servizio richiesta è inferiore a quella resa disponibile dalla sorgente (fase di carico) e di erogarlo quando la richiesta dell'utenza è superiore (fase di scarico).
Se la distribuzione nel tempo della portata q richiesta è periodica, noto il suo andamento relativamente al periodo T quale, ad esempio, è indicato nella curva a di fig. 3.12, se ne determina la curva integrale (fig. 3.12, curva b).

---

[1] Questo paragrafo è in parte una sintesi tratta da A. Autorino, G. Scapicchio - "Sul dimensionamento ottimale dei serbatoi nelle reti di distribuzione di fluidi negli impianti industriali" - Impianti, Aprile 1977 - F. Angeli Editore, Milano.

[2] Per coefficiente di utilizzazione medio si intende il rapporto tra la quantità media di erogato nell'unità di tempo e quella massima.

Tale curva integrale, riferita ad un periodo, consente agevolmente di ricavare il valore della portata media q_m che rappresenta la portata minima che dovrebbe avere una sorgente ad erogazione costante per soddisfare la richiesta relativa ad un periodo. Infatti la retta c di figura 3.12 fornisce, con le sue ordinate, il volume di fluido $V_e = q_m * t$ erogato da una tale sorgente fino al tempo corrispondente alla ascissa considerata.
Il volume di fluido fornito dal serbatoio al tempo t è rappresentato dalla differenza delle corrispondenti ordinate della retta c e della curva b:

$$V = \int_0^t (q - q_m) dt$$

L'andamento di $V = f(t)$ appare dalla curva d di fig. 3.12. Nel tratto OA la funzione è decrescente, perché è $q < q_m$, cioè la portata richiesta è minore di quella erogata. Corrispondentemente il fluido si accumula nel serbatoio fino a raggiungere al tempo t_A il volume indicato dal segmento $\overline{AA'}$. Dal punto A al punto C della curva d la funzione $V = f(t)$ è crescente perché risulta $q > q_m$, cioè la portata richiesta è maggiore di quella erogata, per cui, nel tempo corrispondente, si dovrà attingere dal serbatoio la quantità V_{max} di fluido. Dal punto *C* al punto D risulta nuovamente $q < q_m$ e si sarà accumulato, sino al punto D, un volume espresso dall'ordinata *CC'*. Di conseguenza la capacità V_s del serbatoio, per un corretto e continuo funzionamento del servizio, dovrà essere almeno uguale a V_{max} cioè dovrà essere $V_s \geq V_{max} = AA' + CC'$.
Quanto detto vale quando il generatore sia dimensionato per (ed eroghi costantemente) la portata media q_m. Non è tuttavia detto a priori che un sistema generatore-accumulatore così dimensionato rappresenti la soluzione ottimale da un punto di vista economico. Nulla vieta, infatti, di dimensionare il generatore per una erogazione massima superiore a q_m e che il suo regime di funzionamento possa essere fatto variare tra due limiti prefissati (q_{max}, q_{min} in fig. 3.13), scelti compatibilmente con l'esigenza di mantenere il rendimento tecnico del generatore a valori non eccessivamente bassi. In questo caso è possibile seguire più da vicino le esigenze dell'utenza variando il regime di funzionamento del generatore entro i limiti prefissati, ottenendo così una curva dei volumi erogati come, ad esempio, la *c'* in fig. 3.13.

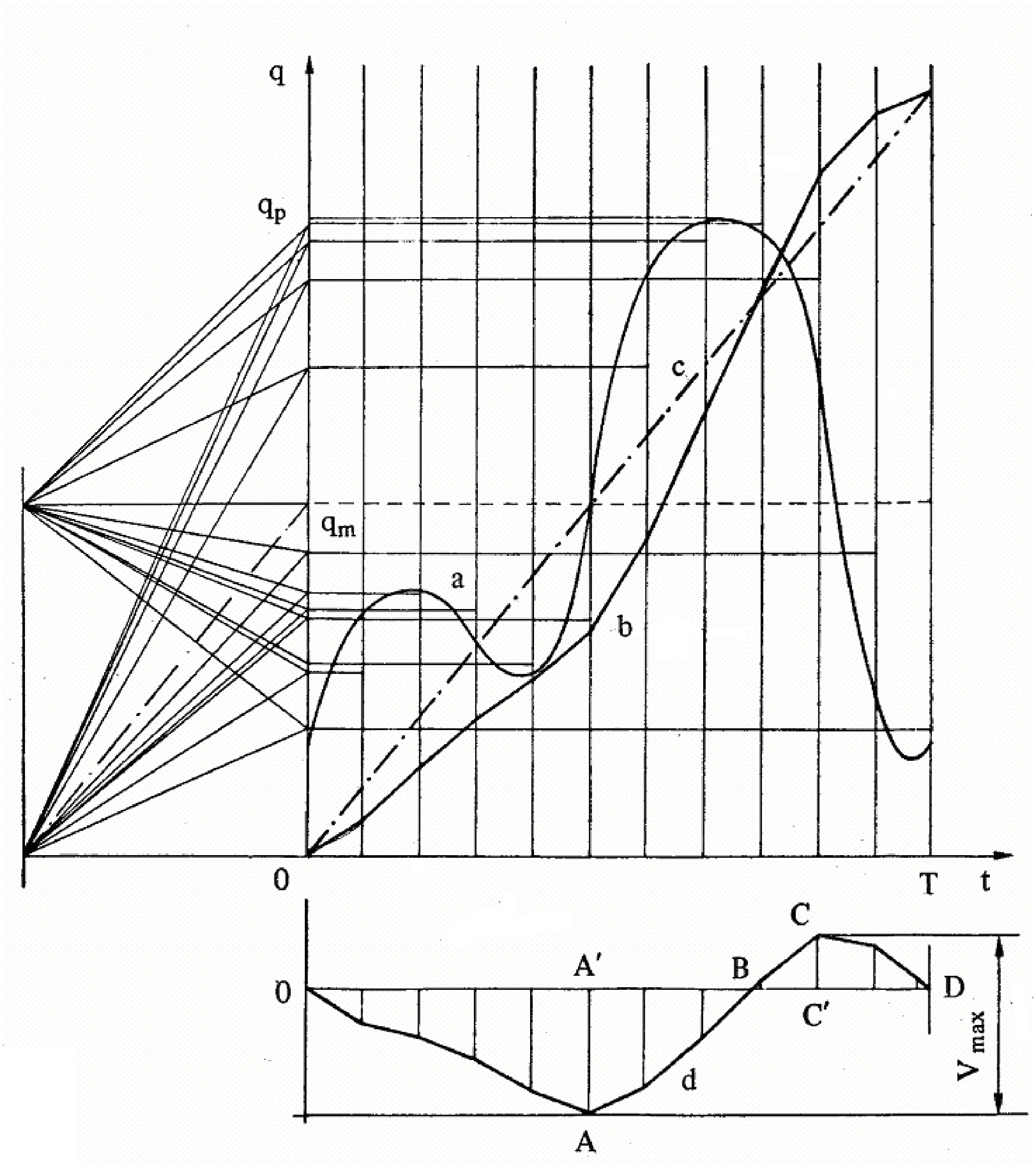


Fig. 3.12 - Determinazione del volume del serbatoio per completa disponibilità del servizio.

Nel tratto $\overline{OK}$ il generatore eroga la portata minima, nel tratto $\overline{KC}$ la massima, ed ancora la minima nel tratto $\overline{CD}$.
Di conseguenza il volume dell'accumulatore che garantisce la completa disponibilità del servizio è minore che nel caso precedente, e pari alla somma dei segmenti $\overline{AA'}$ e $\overline{CC'}$ della fig. 3.13. Il volume dell'accumulatore è quindi una funzione decrescente della variabile q_{max}.

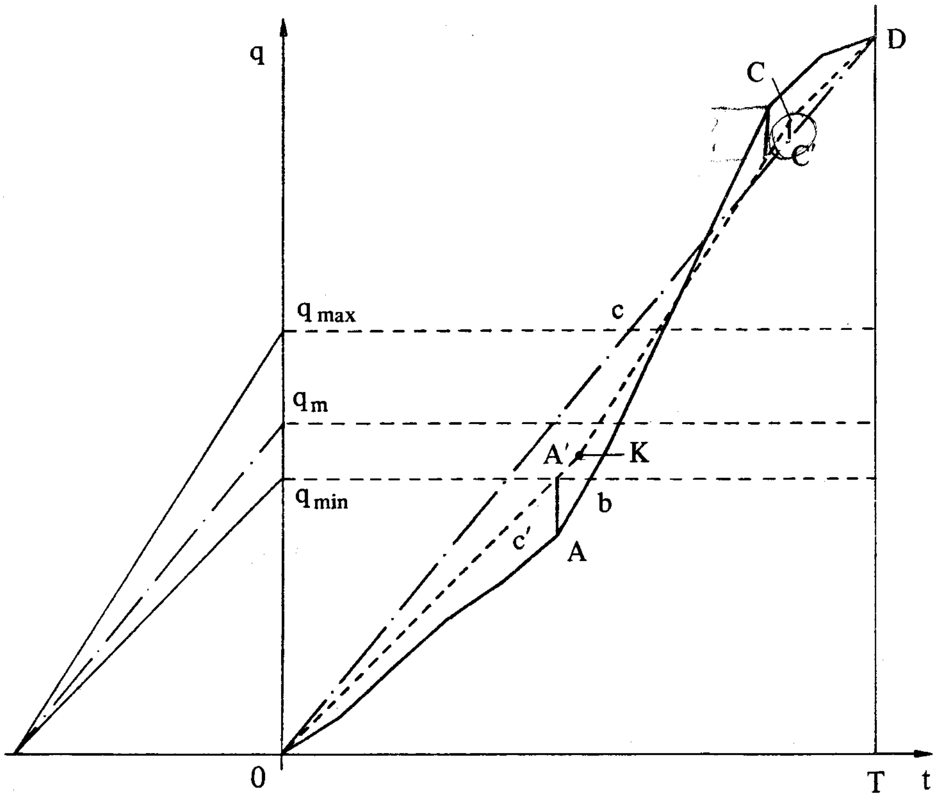


Fig. 3.13 - Determinazione del volume del serbatoio con generatore di potenzialità superiore alla richiesta media.

Se ora si intende procedere ad un dimensionamento ottimale del sistema generatore-accumulatore si dovrà tener presente che i costi di mancanza sono per ipotesi assenti perché il sistema garantisce la completa disponibilità del servizio.
Si faccia l'ipotesi, peraltro realistica, che i costi del personale e di manutenzione relativi all'intero sistema generatore-accumulatore siano invariabili con q_{max}. Il problema si riduce allora alla minimizzazione dei costi di impianto del generatore (crescenti con q_{max}), e dell'accumulatore (crescenti al crescere del volume, e quindi decrescenti al crescere di q_{max}). Si conoscono le relazioni costo del generatore-potenzialità massima C_g (q_{max}) *e* costo accumulatore-volume C_a.(V) (v. fig. 3.14).
Si può allora scrivere:

$$C_g(q_{max}) + C_a(V) = \min$$

Dalla conoscenza del diagramma della richiesta dell'utenza, si può poi passare alla costruzione di un diagramma come quello della fig. 3.13 per ogni valore di q_{max}, da cui è possibile desumere il legame V= V(q_{max}) (v. fig. 3.14).

Derivando la somma dei costi del generatore e dell'accumulatore rispetto a q_{max} ed eguagliando a 0, si avrà

$$\frac{dC_g}{dq_{\max}} + \frac{dC_a}{dV} * \frac{dV}{dq_{\max}} = 0$$

da cui:

$$\frac{dV}{dq_{\max}} = \frac{dC_g}{dq_{\max}} / \frac{dC_a}{dV}$$

La potenzialità q^*_{max} che realizza il minimo costo di impianto del sistema è quella per cui a) la tangente alla curva $V(q_{max})$ ha inclinazione pari al rapporto tra le inclinazioni delle tangenti alle funzioni $C_g(q_{max})$ e $C_a(V)$, e che b) contemporaneamente rispetti il vincolo, di natura tecnica:

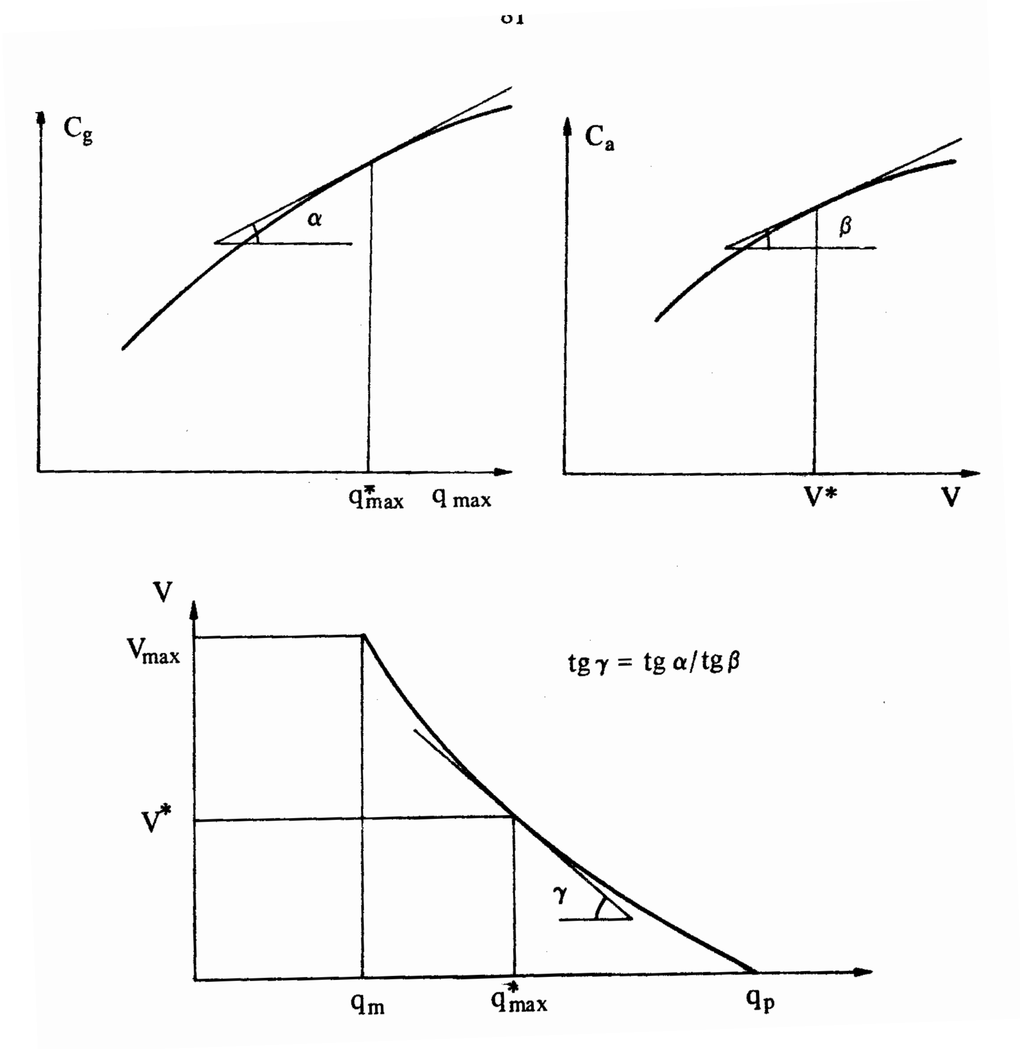
$$q_{max} \geq q_m$$

Si noti che il dimensionamento sarà realmente quello di minimo costo globale a patto che la elasticità di funzionamento del generatore venga sfruttata in maniera razionale, per dar luogo cioè a curve dei volumi erogati (come la *c'* di fig. 3.13) che rendano minimi i volumi di accumulo necessari.

In questo discorso è implicita l'ipotesi, che sarebbe però da verificare, che le variazioni di regime di funzionamento del generatore non vadano a scapito del rendimento, perché in tal caso si dovrebbe chiamare in causa un'altra voce del costo di esercizio, e cioè il costo tecnico, che subirebbe variazioni dall'una all'altra alternativa di conduzione dei generatore.

Caso di parziale indisponibilità del servizio

Nel caso in cui sia possibile ammettere una indisponibilità almeno parziale, del servizio, si procederà alla determinazione del volume ottimale del serbatoio anche attraverso una analisi del costo della inefficienza del servizio, causata dal sottodimensionamento del serbatoio rispetto alla capacità determinata per la completa disponibilità del servizio.



Torniamo per semplicità al caso di generatore che eroghi costantemente la portata media. Quanto diremo è poi facilmente estendibile al caso di generatore dimensionato per qualunque potenzialità superiore alla massima.
Riprendiamo in considerazione, in fig. 3.15, l'andamento della funzione *V=f(t)* già esaminata. Le ordinate della curva, riferite all'asse t rappresentano i volumi che devono essere resi disponibili per l'accumulo nel serbatoio al variare di *t*.
Il dimensionamento del serbatoio ad un volume $V < V_{max}$ comporta una inefficienza del servizio solo per il tempo Δt' rappresentato in figura. Infatti, in tale intervallo, la curva è crescente, per cui risulta $q > q_m$, cioè 1a richiesta è maggiore dell'erogazione. Non essendovi disponibilità di fluido nel serbatoio, ne deriva l'accennata inefficienza del servizio. Ciò non accade nell'intervallo di tempo Δt" nel quale, essendo la curva decrescente, s ha $q < q_m$, e, pertanto, le utenze saranno tutte pienamente soddisfatte.

Dal diagramma di fig. 3.15 si ricava quello di fig. 3.16, dove sono riportati periodi di indisponibilità di servizio Δt' al variare della capacità V del serbatoio.

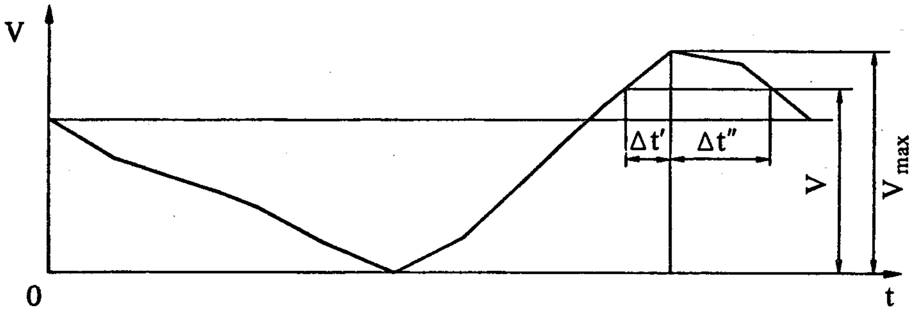


Fig. 3.15

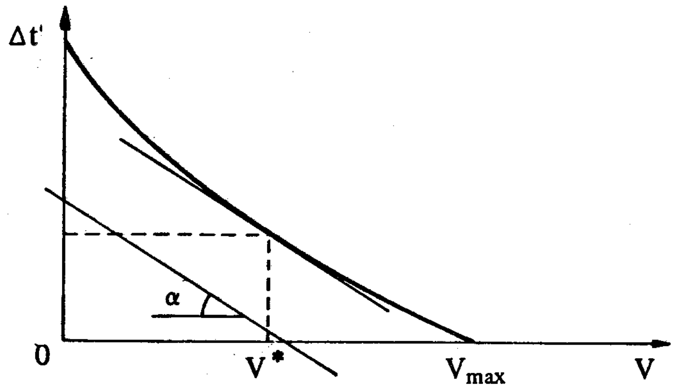


Fig. 3.16

La soluzione del problema consiste nel cercare quel particolare valore di *V* che minimizza i costi di impianto dell'accumulatore $C_a(V)$ e quelli inefficienza, proporzionali a Δt'. Precisamente la funzione di costo da minimizzare è

$$C_a(V) + \frac{\Delta t'}{T} * H * c_m \sum_{K=1}^{n} \frac{1}{(1+j)^K}$$

dove:

- *H* sono le ore annue per cui è richiesto il funzionamento
- c_m è il costo di mancanza per unità di tempo (Euro/ora)
- i è il tasso di attualizzazione
- *n* è il numero degli anni di vita utile prevista.

Si può supporre che entro il campo di variazione che ci interessa, il costo dell'accumulatore sia lineare rispetto a V, cioè:

$$C_a(V) = cV$$

dove c = costo dell'accumulatore per unità di volume della sua capaci utile (Euro/m^3); allora si può scrivere, derivando ed uguagliando a zero:

$$\frac{d\Delta t'}{dV} = -\frac{cT}{c_m H} * \frac{1}{PV_a(n, j)} = -A$$

Pertanto la soluzione ottimale è quel volume V* per cui, nella fig. 3.16, $tg\alpha$ = A.