

Il dimensionamento degli impianti industriali

Sommario

- Passi di progettazione di un impianto industriale;
- Centralizzazione e Decentralizzazione:
 - Definizioni;
 - Fattori influenzanti nella scelta;
- Dimensionamento del generatore:
 - Servizio non accumulabile;
 - Servizio accumulabile;
 - Il dimensionamento degli accumulatori polmone.

La progettazione di un impianto industriale

I passi da seguire, in linea teorica, per espletare la progettazione di un impianto industriale sono:

- Individuazione delle **caratteristiche** delle utenze da servire
- Esame delle **alternative** di realizzazione disponibili. Per ciascuna di queste:
 - Scelta del grado di **centralizzazione / decentramento**;
 - Selezione dei **componenti** dell'impianto (tubi, pompe, generatori, trasformatori, ecc.);
 - **Dimensionamento** dei componenti;
 - **Verifica finale**: sicurezza, igiene, standardizzazione, rispetto delle normative;
 - Analisi **economica** dell'alternativa vagliata.
- **Scelta** dell'alternativa migliore;
- Esecuzione del progetto di dettaglio;
- Realizzazione del progetto.

Centralizzazione e decentralizzazione

Definizioni:

- Per semplicità, e ragionando per estremi, diremo **"centralizzato"** un impianto di servizio se la potenzialità necessaria a servire tutte le utenze viene messa a disposizione da un solo generatore;
- In caso contrario, diremo **"decentralizzato"** un impianto in cui la richiesta delle singole utenze venga esaudita attraverso un insieme di generatori, ciascuno dei quali dedicato, e quindi dimensionato, sulla singola utenza.

Ovviamente è possibile qualsiasi declinazione "intermedia" di questi due concetti.

Centralizzazione e decentralizzazione

La definizione del livello ottimale di centralizzazione sottostà alla risoluzione di un trade-off tra:

- Esistenza / non esistenza di **economie di scala**;
- Esistenza / non esistenza di **diseconomie di scala**;
- Esistenza / non esistenza di **economie di scopo**;
- Variabilità** delle richieste nel tempo, loro **correlazione** ed **elasticità** dell'impianto analizzato;
- Possibilità di **accumulare** il servizio;
- Necessità della **sicurezza** del servizio.

Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scala nei costi di impianto.

Si definisce **economia di scala** quel fenomeno tecnico - economico per cui, al crescere della potenzialità di un impianto, si osserva che:

- Il **costo variabile** di produzione del servizio **decresce** (impatto sul termine variabile del costo del servizio reso), mentre
- Il **costo fisso cresce**, ma in modo **meno che proporzionale** (impatto sul termine fisso del costo del servizio reso).

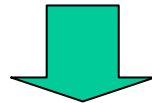
Per come sono definite, le economie di scala sono un fenomeno intimamente connesso ad un **cambiamento nella tecnologia**. Non lo si confonda quindi, in tipica ottica contabile, con l'effetto di riduzione del costo pieno industriale legato alla ripartizione dei costi fissi (costi fissi di impianto + costi fissi del servizio reso) su un volume maggiore di produzione.

Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scala: crescita del costo fisso.

Un primo termine di incremento del costo fisso è certamente quello legato al costo di acquisto dell'impianto. Empiricamente si ritrova che, all'aumento della sua potenzialità P , il costo d'acquisto C cresce con legge lineare in un piano *bilogaritmico*, secondo la legge:

$$\ln C = K + m \ln (P / P_0)$$



$$C = C_0 \cdot [P / P_0]^m$$

C = costo dell'impianto;

P = potenzialità dell'impianto;

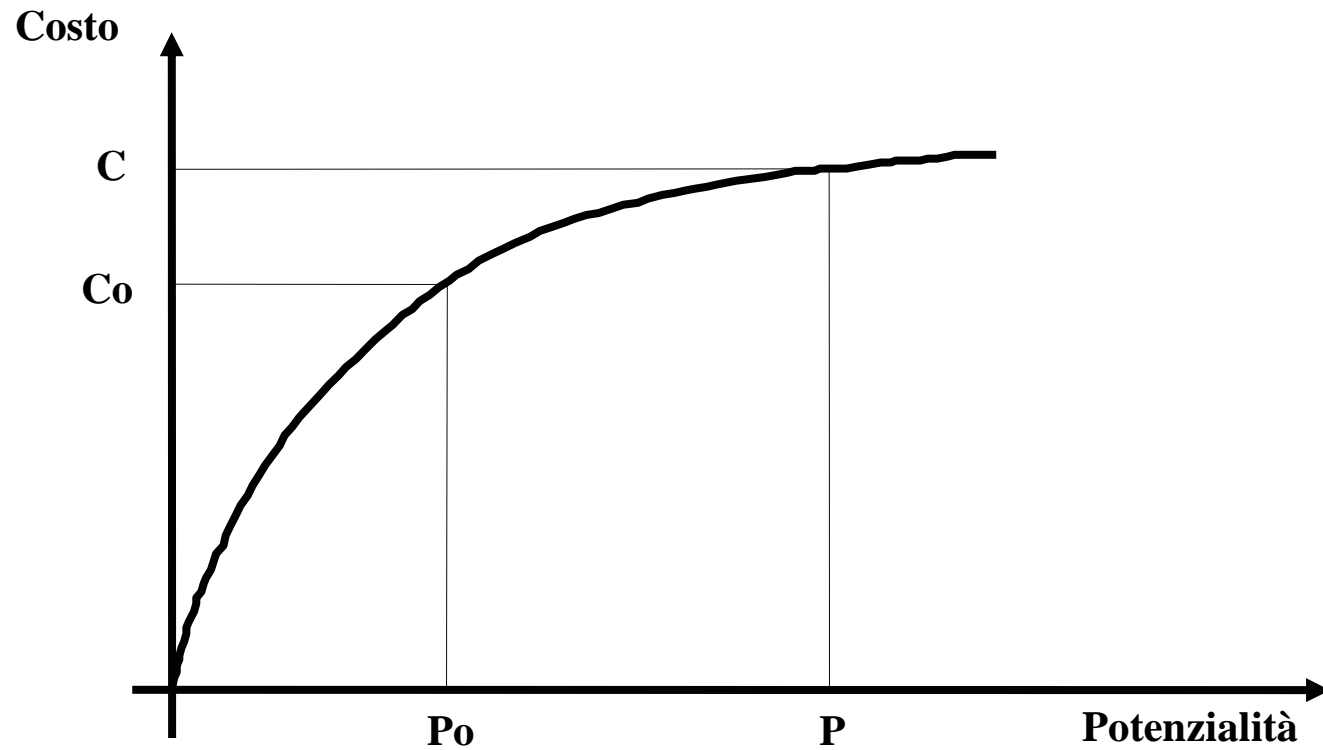
C_0 = costo dell'impianto campione;

P_0 = potenzialità dell'impianto campione;

m = **fattore di scala** $\in (0,1)$.

Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scala: crescita del costo fisso.



Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scala: esempio nel caso di impianti chimici.

Gli impianti sono per lo più costituiti da organi cilindrici (serbatoi, mescolatori, reattori, tubazioni), che mantengono la forma geometrica al variare delle dimensioni. Pertanto:

- Le dimensioni di tali organi possono essere espresse in funzione del diametro dei componenti (D);
- La potenzialità P è proporzionale al volume dell'impianto, ossia $P = k \cdot D^3$;
- Il costo è proporzionale alla superficie, ossia $C = h \cdot D^2$;

Pertanto, al raddoppiare del diametro, la potenzialità cresce di 8 volte, mentre il costo quadruplica soltanto, per cui il fattore di scala vale $2/3$. La formula generale diventa:

$$C = C_0 \cdot [P / P_0]^{2/3}$$

Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scala: crescita del costo fisso.

Un secondo termine di incremento del costo fisso è legato ad altri termini fissi del costo del servizio reso.

- I costi di **manutenzione** possono ritenersi proporzionali al costo d'impianto, se non crescenti in modo ancora più lento;
- Il costo del **lavoro**, ad elevata rigidità nel panorama legislativo italiano, è anch'esso meno che proporzionale alla potenzialità dell'impianto (es. negli impianti chimici il fattore di scala del costo del lavoro è $m=0,25$).

Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scala: riduzione del costo variabile.

Come detto, il costo variabile di produzione diminuisce all'aumentare della potenzialità di un impianto. Questa riduzione si ripercuote in modo proporzionale sul costo complessivo, generando quindi un risparmio economico. Tra le determinanti della riduzione del costo variabile troviamo:

- Il cambiamento intrinseco della **tecnologia** (es. da realizzazione per lavorazione a realizzazione per stampaggio);
- Il cambiamento del **processo** (da configurazione per reparti a linea);
- Il raggiungimento di **condizioni termodinamiche** più favorevoli (es. turbine);
- Le **minori perdite energetiche** per la maggiore cura dei particolari tecnici (aumento rendimento).

Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scala: effetti complessivi.

Appare chiaro che se l'incremento di capacità produttiva è completamente sfruttato, allora la soluzione centralizzata è dominante sulla decentralizzata, ma in caso contrario è necessario analizzare i costi complessivi con attenzione.

Esempio: Per soddisfare una domanda annua di 150 pezzi sono a disposizione 2 impianti:

- Imp. 1; Capacità 50 pezzi/anno; $C_f = 60$; $C_v = 1$;
- Imp. 2; Capacità 100 pezzi/anno; $C_f = 100$; $C_v = 0.9$.

Centralizzazione e decentralizzazione

Diseconomie di scala nei costi di impianto.

Al crescere della dimensione dell'impianto di servizio, si possono generare tuttavia anche delle diseconomie di scala. Infatti, centralizzando il servizio, cresce la distanza tra generatore ed utenze, e crescono:

- **Costo di impianto:** rete di collegamento generatore-utenze;
- **Costo di esercizio:** perdite energetiche lungo la rete di distribuzione, che compensano l'aumentato rendimento del generatore.

Anche questi fattori vanno considerati.

Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scopo nei costi di impianto.

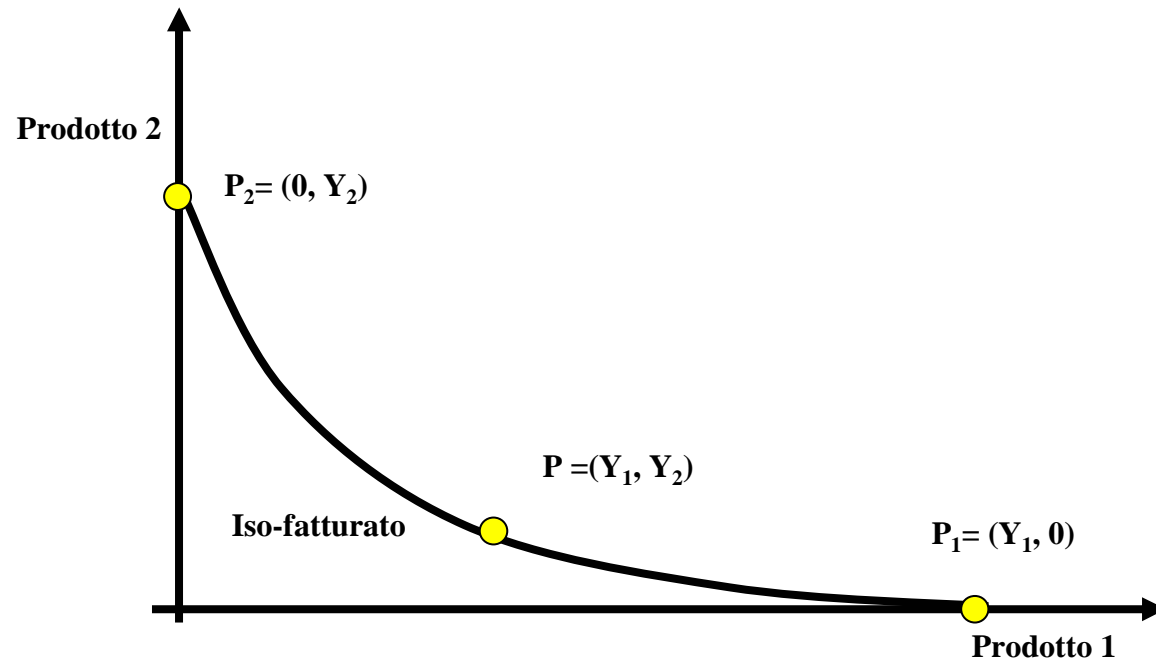
Si definisce **economia di scopo** quella riduzione di costo che, a parità di livello di attività (= fatturato), si realizza grazie all'introduzione di un impianto che viene sfruttato anche da altre produzioni già attive in azienda.

In altri termini, si realizzano economie di scopo se, grazie all'introduzione dell'impianto in parola, esiste almeno un mix di produzione (prodotto 1 + prodotto 2) tale che, a parità di fatturato, il suo costo di produzione sia inferiore al costo di produzione del singolo prodotto 1 o del singolo prodotto 2.

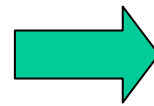
Se esistono economie di scopo, può essere conveniente centralizzare.

Centralizzazione e decentralizzazione

Economie di scopo nei costi di impianto: formulazione analitica.



$$\text{Se } \exists P: \begin{cases} \text{Costo}(P) < \text{Costo}(P_1) \\ \text{Costo}(P) < \text{Costo}(P_2) \end{cases}$$

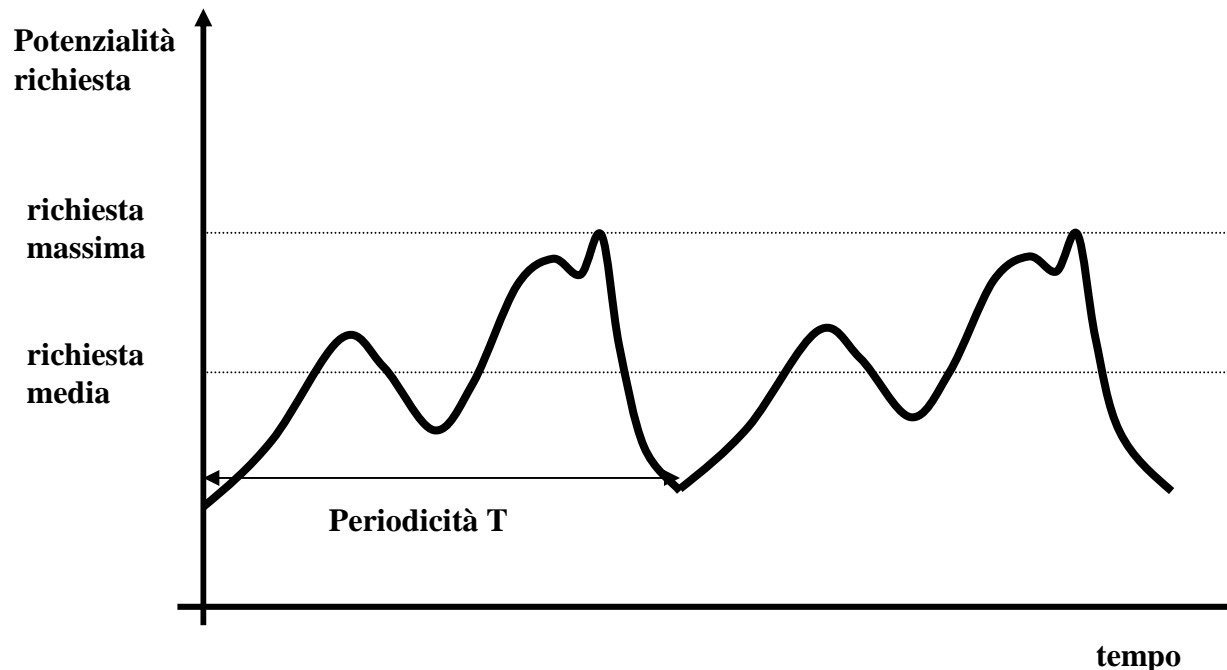


Economie di scopo

Centralizzazione e decentralizzazione

Variabilità delle richieste nel tempo.

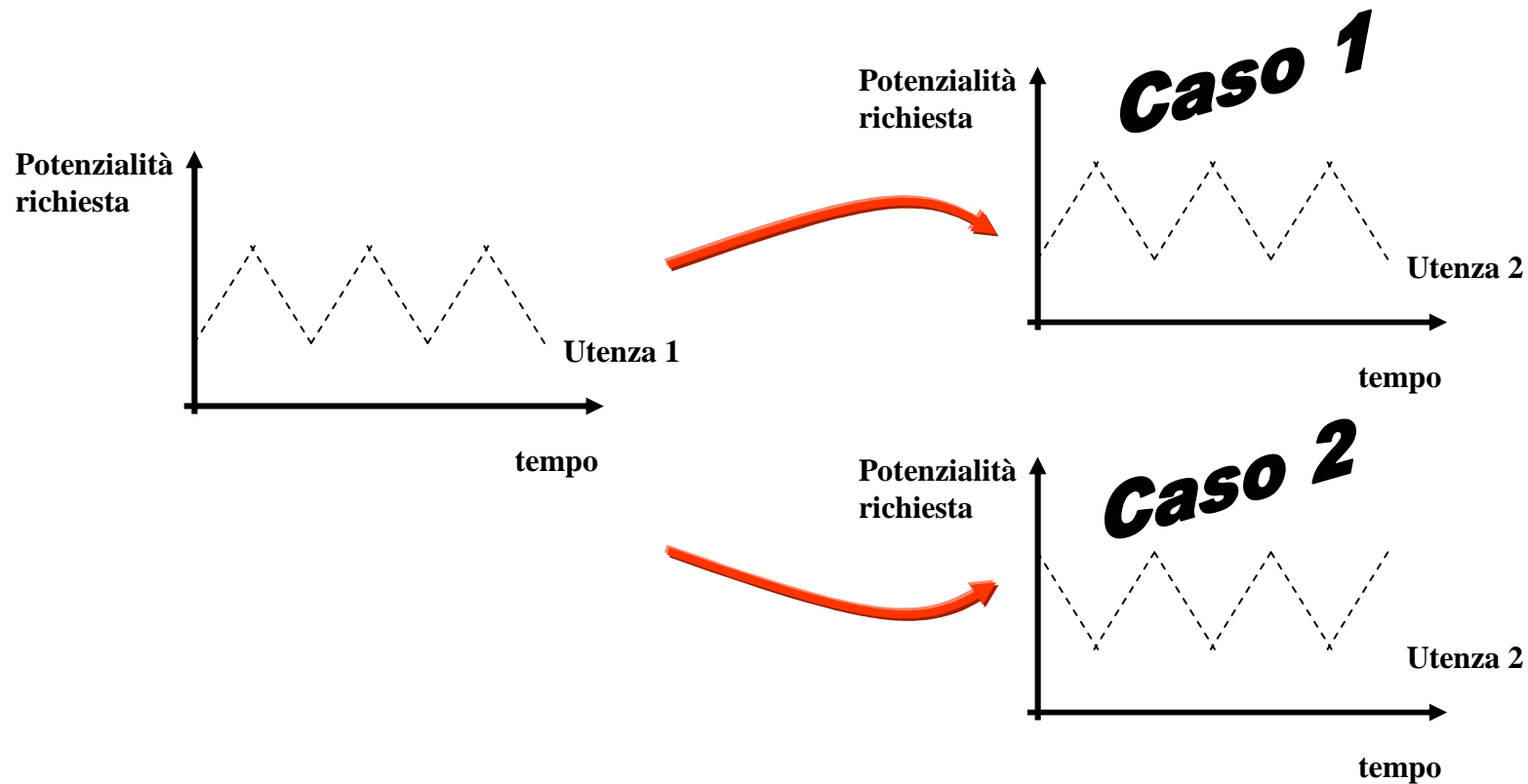
Quasi sempre, nella pratica industriale, il fabbisogno delle utenze non è costante nel tempo, ma presenta un andamento ciclico con picchi e valli; la richiesta media di servizio è quindi inferiore alla richiesta massima (o di picco).



Centralizzazione e decentralizzazione

Correlazione delle richieste nel tempo.

Un fattore molto importante nella scelta è la correlazione tra i picchi di consumo delle diverse utenze:



Centralizzazione e decentralizzazione

Correlazione delle richieste nel tempo.

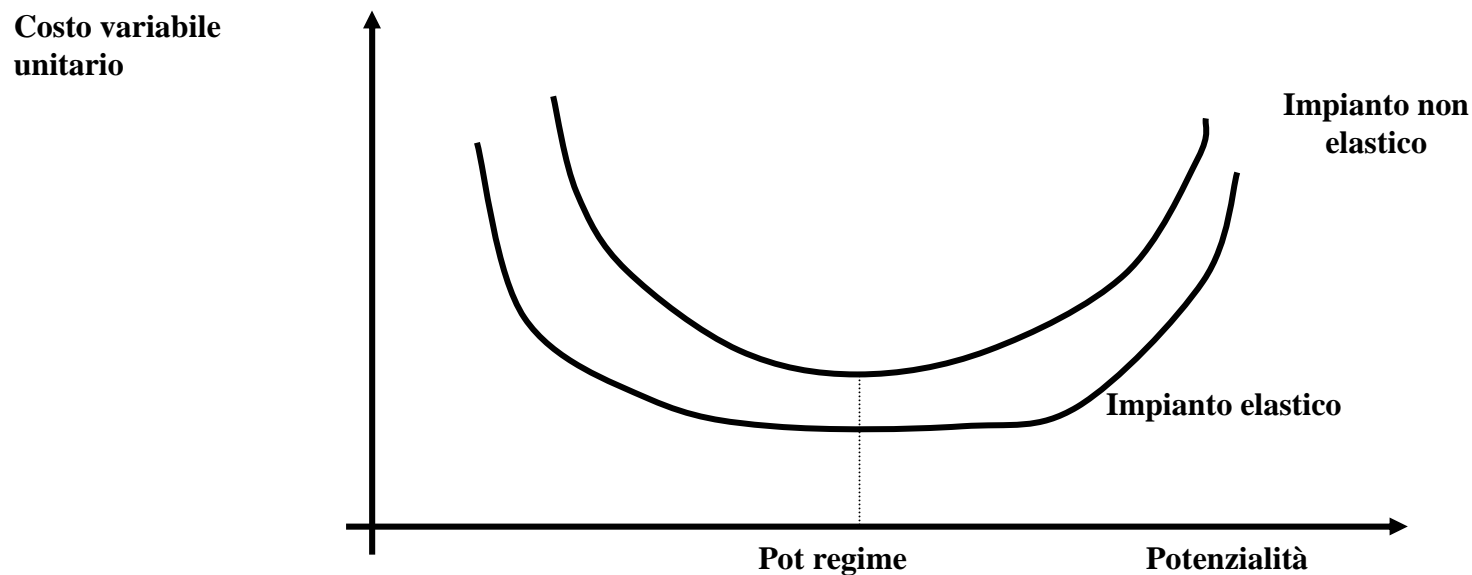
E' possibile comunque esprimere delle conclusioni valide in generale:

- ❑ Al decrescere della correlazione tra i picchi di consumo delle varie utenze, la **centralizzazione** è preferibile, perché la potenzialità massima necessaria al generatore centrale è **minore** della somma delle potenzialità dei generatori decentrati, ciascuno tarato sulla R_{\max} dell'utenza da esso servita;
- ❑ Allo stesso modo, al decrescere della correlazione, si compensano le variazioni di richieste, dando origine ad un profilo finale che è meno "variabile" di quelli di origine.

Centralizzazione e decentralizzazione

Elasticità dell'impianto di generazione.

Si definisce elasticità di un impianto di generazione la sua capacità di **operare in condizioni differenti da quelle di regime** (o di massimo rendimento) **senza sopportare eccessivi aggravii di costo**. Si veda la figura a seguire.



Centralizzazione e decentralizzazione

Correlazione dei picchi ed elasticità del generatore.

Si può riassumere che:

- A data correlazione tra i picchi di domanda, al crescere dell'elasticità di un impianto, decresce la necessità di **centralizzare**, poiché i generatori riescono a "seguire" la variabilità della richiesta senza sostenere costi eccessivi;
- Solitamente, impianti di **grandi dimensioni** presentano una **elasticità inferiore**, dovuta alle particolari condizioni chimico fisiche in cui operano. Pertanto, nel caso in cui la scelta di centralizzare sia stata effettuata in regime di elevata correlazione tra i picchi di domanda, si possono generare dei forti costi legati all'inelasticità dell'unico grande generatore centrale.

Centralizzazione e decentralizzazione

Accumulabilità del servizio.

Alcuni servizi (soprattutto quelli idraulici) presentano la caratteristica di essere accumulabili. In questi casi è possibile dimensionare il generatore sulla richiesta media, esaudendo le richieste di picco per mezzo di quanto è stato accumulato nei momenti di richiesta minima.

I costi degli impianti di accumulazione, ovviamente, sono tanto più elevati quanto più è "altalenante" il profilo della richiesta.

Pertanto quando il servizio è accumulabile può essere conveniente centralizzare perché così si ottiene un profilo meno variabile di quello d'origine, sfruttando altresì potenziali economie di scala nell'acquisto dell'accumulatore.

Centralizzazione e decentralizzazione

Sicurezza di funzionamento.

Il fattore **sicurezza di funzionamento** può essere più o meno critico in funzione di:

- Eventuali **rischi** per cose e persone connessi alla mancanza di servizio e relative **normative vigenti**;
- Entità del **costo di disservizio** rispetto ai costi di impianto.

Mentre il primo aspetto richiamato si configura solitamente come un vincolo per l'azienda, il secondo individua un trade-off in cui il punto ottimale va esplicitamente individuato. Ovviamente, al crescere della centralizzazione nel progetto dell'impianto, crescono i costi di disservizio, in virtù della concentrazione dei fenomeni affidabilistici nell'unico generatore presente.

Centralizzazione e decentralizzazione

Conclusioni.

Centralizzare

- Esistenza di **economie di scala**;
- Esistenza di **economie di scopo**;
- **Variabilità** delle richieste nel tempo;
- Possibilità di **accumulare** il servizio.

Decentralizzare

- Esistenza di **diseconomie di scala**;
- **Elasticità** dell'impianto analizzato;
- Necessità della **sicurezza** del servizio.

Dimensionamento del generatore

Si possono riconoscere quattro casi:

<i>Una</i>	2	1
<i>Numero Utenze</i>		
<i>Più d'una</i>	4	3
	<i>Si</i>	<i>No</i>
	<i>Accumulabilità</i>	

Dimensionamento del generatore

1

1 utenza, servizio non accumulabile.

In questo caso non vi sono molte alternative decisionali:

- Il generatore è uno solo;
- Il generatore va dimensionato sulla richiesta massima.

Dimensionamento del generatore

2

1 utenza, servizio accumulabile.

In questo caso è possibile dimensionare il generatore sulla richiesta media, lasciando poi che sia l'accumulatore a compensare i momenti a richiesta massima con quelli a richiesta minima.

Quindi:

- ❑ Il generatore è uno solo;
- ❑ Il generatore va dimensionato sulla richiesta media (o giù di lì).

$$R_{\text{med}} = \int_{(0, T)} R(t) dt / T$$

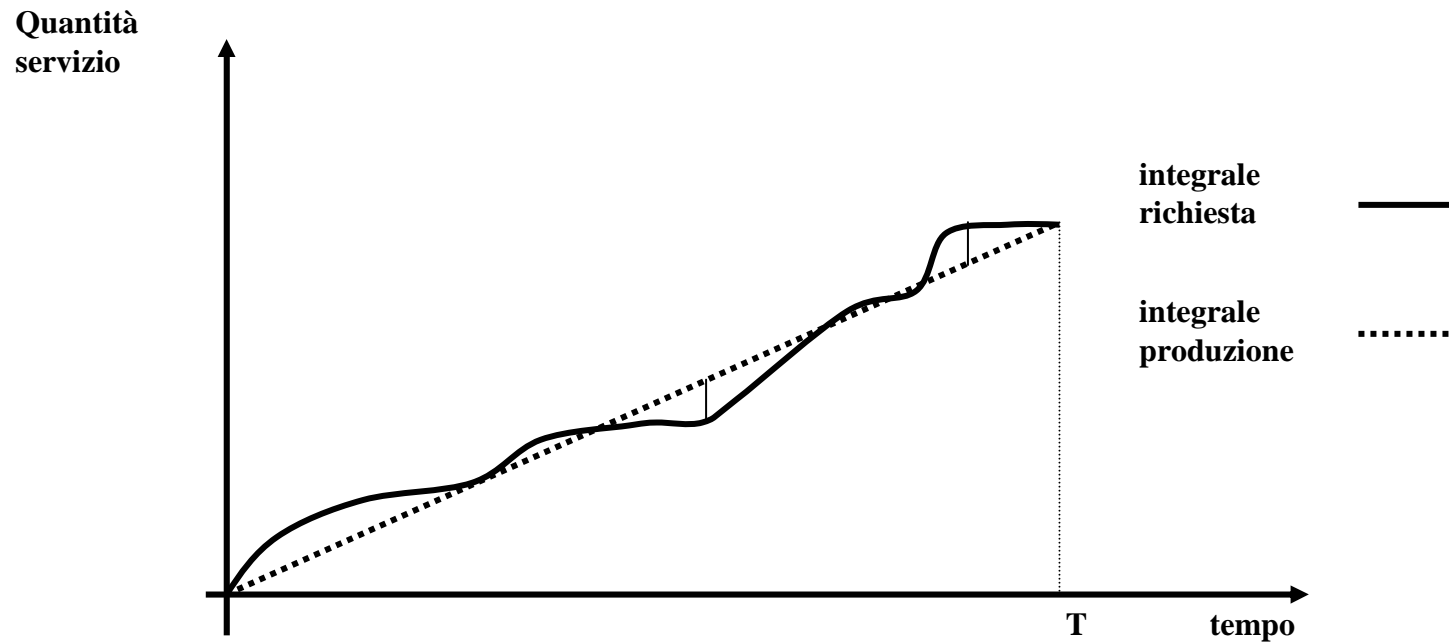
E' chiaramente possibile anche dimensionare il generatore un po' in eccesso rispetto alla richiesta media, per incrementare le possibilità "gestionali" nella sua politica di conduzione (vedi dopo).

Dimensionamento dell'accumulatore

2

1 utenza, servizio accumulabile.

Esprimendo la produzione del generatore come una generica funzione $P(t)$, nel caso in cui questa sia pari alla R_{med} si ha che:



Dimensionamento dell'accumulatore

2

1 utenza, servizio accumulabile.

Nel caso in cui la $P(t)$ sia comunque variabile (ed in ogni caso inferiore alla potenzialità scelta per il generatore), è facile calcolare la dimensione dell'accumulatore polmone.

- Si tracci l'integrale nel tempo della funzione di produzione $P(t)$ e della funzione $R(t)$, come fatto nella figura alla pagina precedente;
- Si determini la funzione $V(t)$ come differenza cumulata tra le due funzioni integrali; in simboli:

$$V(t) = \int_{0,t} [P(u) - R(u)] du \quad \text{con } t \in [0, T]$$

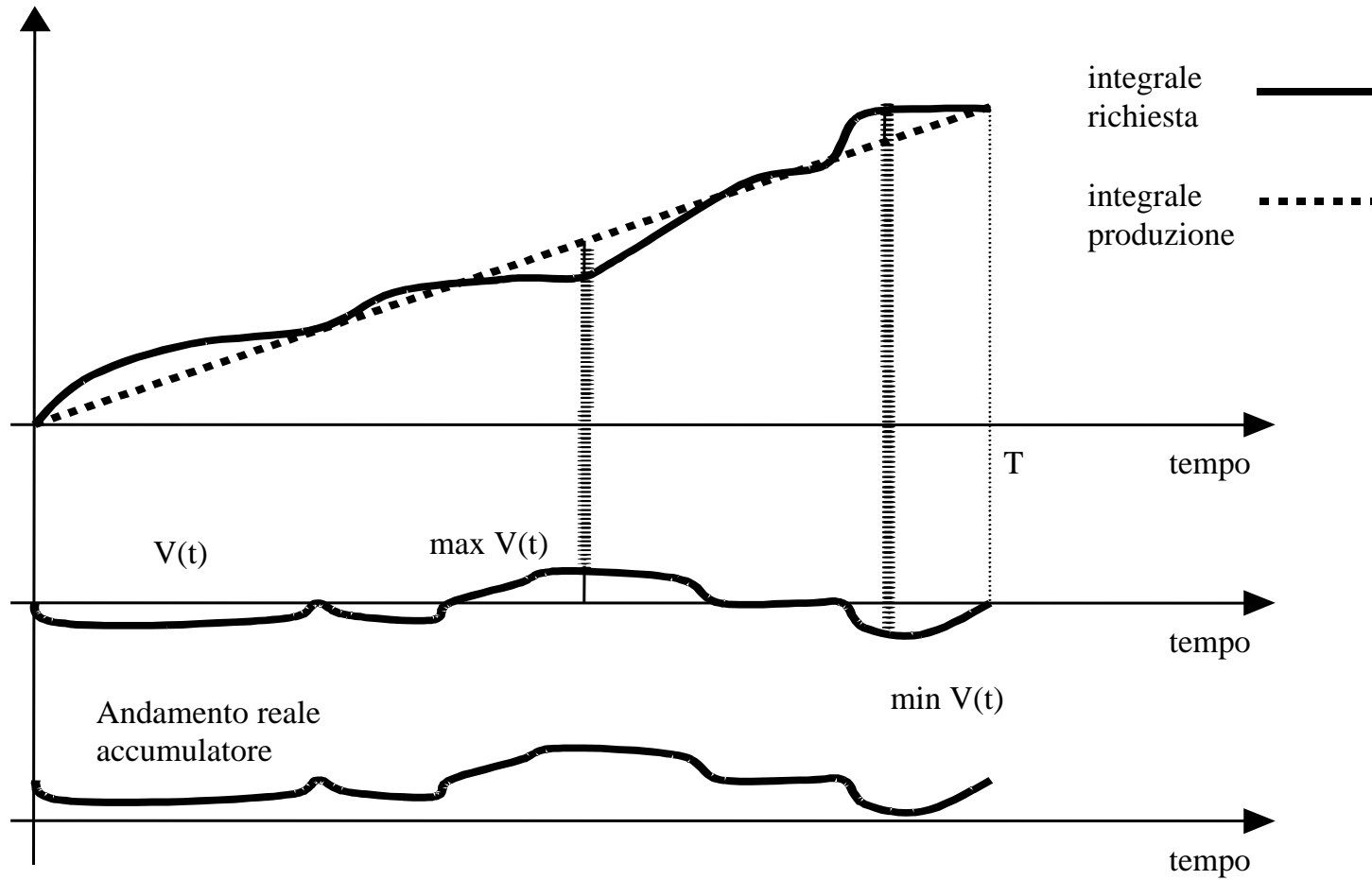
- La dimensione D dell'accumulatore è pari a:

$$D = \max_T \{V(t)\} - \min_T \{V(t)\}$$

Dimensionamento dell'accumulatore

2

1 utenza, servizio accumulabile.



Dimensionamento dell'accumulatore

2

1 utenza, servizio accumulabile.

In tutti i casi in cui non si sia dimensionato il generatore sulla potenzialità media, si ricordi che:

- Modulando la potenzialità erogata, pur rimanendo sempre nella condizione in cui la P_{\max} del generatore è inferiore alla R_{\max} , si riesce a **ridurre la dimensione dell'accumulatore**, lavorando sopra la media quando la richiesta delle utenze è più elevata, e lavorando sotto la media nei casi speculari;
- Se la regolazione del generatore è solo del tipo **ON-OFF**, valgono le medesime considerazioni del punto precedente, dove ovviamente la politica di gestione del generatore si complica in virtù della maggiore "rigidità" dell'impianto;
- In ogni caso, si ricordi sempre che la produzione cumulata ed il consumo cumulato del servizio **devono uguagliarsi** alla fine del periodo, pena l'inutilità del punto di disaccoppiamento progettato.

Dimensionamento del generatore

3, 4 Più utenze, servizio accumulabile / non accumulabile.

Qualora vi siano più utenze, con servizio non accumulabile, è necessario valutare in dettaglio il trade off tra centralizzazione e decentralizzazione.

Per il calcolo della probabilità di mancato funzionamento dell'impianto, è necessario stimare (probabilisticamente) il profilo complessivo di richiesta legato alla sovrapposizione delle diverse richieste, sia stimare (probabilisticamente) gli eventi di breakdown dei diversi macchinari.

Il discorso non cambia nel caso di servizio accumulabile.