

Università della Calabria

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

CORSO DI IDROLOGIA N.O.

Prof. Pasquale Versace

SCHEDA DIDATTICA N° 18

CAPACITÀ DI COMPENSO DEI SERBATOI

A.A. 2010-11



CAPACITA' DI COMPENSO DEI SERBATOI

Generalità

Si consideri un impianto di distribuzione idrica che debba servire una determinata utenza per un periodo di durata P e si indichino rispettivamente con $Q_a(t)$ la portata di alimentazione dell'impianto di distribuzione e con $E(t)$ la portata richiesta dall'utenza. A seconda dell'andamento delle funzioni $Q_a(t)$ ed $E(t)$ si possono verificare tre casi.

Il primo caso (fig. 1) si ha quando la richiesta dell'utenza è sempre inferiore alla portata di alimentazione:

$$E(t) \leq Q_a(t) \quad \forall t \in [0, P] \quad (1)$$

in tal caso la richiesta potrà essere soddisfatta senza la realizzazione di opere di regolazione.

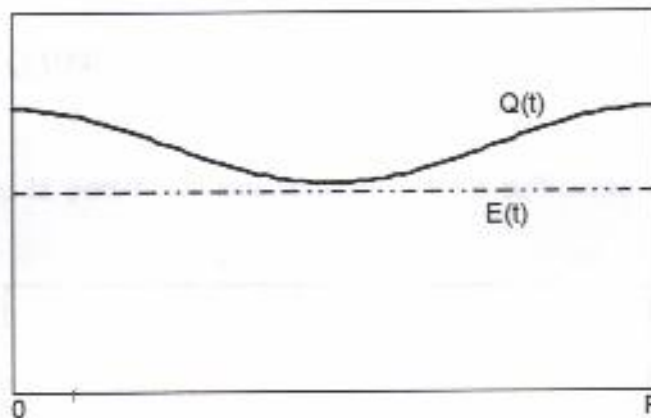


Figura 1. Caso in cui l'utenza può essere soddisfatta senza opere di regolazione

Il secondo caso (fig. 2) si ha quando per alcuni valori di t si ha una portata richiesta maggiore della portata di alimentazione ma comunque rispettando la condizione che la portata media di alimentazione sul periodo P sia maggiore della portata media richiesta:

$$\frac{1}{P} \int_0^P E(t) dt \leq \frac{1}{P} \int_0^P Q_a(t) dt \quad (2)$$
$$\exists t | E(t) > Q_a(t)$$

in tal caso l'utenza potrà essere soddisfatta solo realizzando un serbatoio di compenso di opportuna capacità.

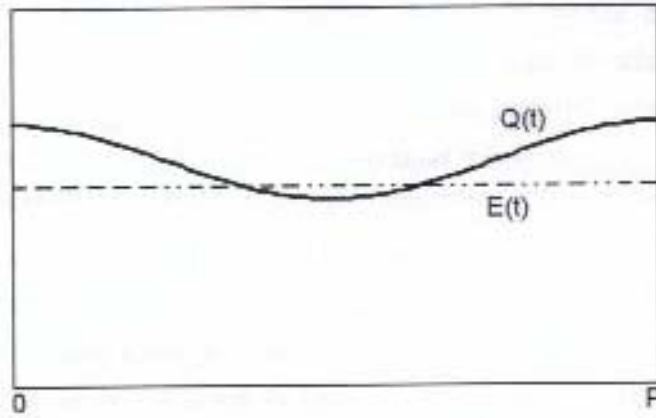


Figura 2. Caso in cui l'utenza può essere soddisfatta con opere di regolazione

Il terzo caso, infine, (fig. 3) si ha quando la portata media richiesta risulta maggiore della portata media di alimentazione:

$$\frac{1}{P} \int_0^P E(t) dt > \frac{1}{P} \int_0^P Q_a(t) dt$$

in tal caso, ovviamente, la portata di alimentazione non è sufficiente a soddisfare la richiesta dell'utenza.

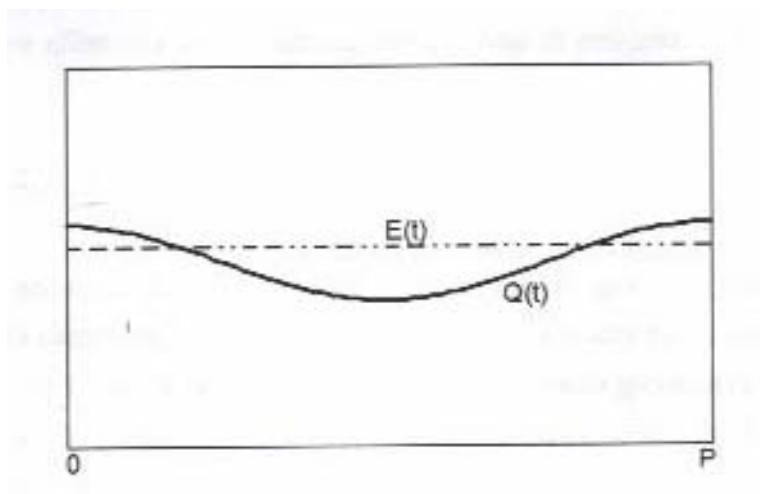


Figura 3. Caso in cui l'utenza non può essere soddisfatta

Capacità di compenso nel caso di impianti ad erogazione costante alimentati dai deflussi di un corso d'acqua

Nel caso in cui si consideri un impianto ad erogazione costante alimentato dai deflussi di un corso d'acqua, la portata richiesta sarà costante e pari ad E , mentre la portata di alimentazione $Q_a(t)$ non potrà essere maggiore della portata defluente nel corso d'acqua $Q(t)$.

La portata richiesta E è nota una volta stabilito il tipo di utenza che dovrà essere servito dall'impianto, mentre la massima portata derivabile, essendo legata all'andamento futuro dei deflussi nel corso d'acqua, non potrà essere determinata se non per via probabilistica.

Sulla base dell'analisi probabilistica dei deflussi potranno essere assunti dei valori con prefissata probabilità di non superamento F , espressa convenzionalmente dal tempo di ritorno $T = 1/F$

Da un punto di vista operativo, pertanto, potranno essere assunti come valori di progetto i suddetti valori dei deflussi con assegnato tempo di ritorno valutando la capacità di compenso corrispondente. Essendo, come noto, i fenomeni idrologici caratterizzati da una ciclicità annuale, appare ragionevole assumere come durata P su cui valutare la capacità di compenso l'anno, oppure multipli interi dell'anno. La procedura da seguire nel dimensionamento della capacità di regolazione di un serbatoio varia a seconda che si consideri un serbatoio destinato alla sola regolazione stagionale o anche alla regolazione pluriennale. Nel primo caso il serbatoio ha la sola funzione di spostare volumi d'acqua all'interno del singolo anno, pertanto esso potrà risultare insufficiente nel caso in cui un anno si abbia portata media minore dell'erogazione richiesta.

Nel secondo caso, invece, il serbatoio dovrà essere in grado di spostare volumi d'acqua dagli anni più piovosi agli anni secchi.

Compenso stagionale

La valutazione della capacità da assegnare ad un serbatoio, in modo da rendere possibile il compenso stagionale, può essere effettuata costruendo un idrogramma di progetto con assegnato periodo di ritorno:

$$q_{k,T} \quad k=1,2,\dots,K \quad (4)$$

esso consiste in una sequenza di portate medie giornaliere in K giorni consecutivi. L'intervallo K fino a cui è necessario estendere l'idrogramma di progetto deve essere posto pari al numero massimo di giorni consecutivi per i quali si può ritenere che la portata media giornaliera si mantenga inferiore alla portata media annua. Nelle regioni dell'Italia meridionale, il valore di K può essere assunto dell'ordine di $90 \div 120$ giorni.

Nel caso, usuale, in cui si disponga di serie storiche di portate medie giornaliere, tramite un'analisi probabilistica della serie stessa è possibile determinare i valori minimi con assegnato periodo di ritorno per diverse durate. In particolare indicando con T , il periodo di ritorno con cui si vuole dimensionare il serbatoio, occorrerà determinare i valori $Q_{k,T}$ della portata media minima in k giorni con il tempo di ritorno T . Ciò potrà essere effettuato sulla base di un'analisi probabilistica della serie storica delle portate medie minime in k giorni consecutivi.

E' da rilevare che, al variare di k , non è detto che un'unica legge sia idonea ad interpretare il comportamento delle portate medie minime in k giorni consecutivi, per cui la validità delle ipotesi circa le distribuzioni probabilistiche andrà sempre testata.

Dopo avere determinato i valori di $Q_{k,T}$, è possibile determinare l'idrogramma di progetto come segue. Si assume il primo valore dell'idrogramma di progetto, $q_{k,T}$, pari al valore $Q_{1,T}$. Gli altri valori di $q_{k,T}$ si scelgono in modo che il volume defluito nei primi k intervalli consecutivi sia pari a quello che sarebbe defluito se in tali intervalli fosse transitata nel corso d'acqua una portata costante e pari a $Q_{k,T}$. Indicando con $\Delta t = 86400$ s la durata di un giorno, la condizione precedente può essere scritta nella forma:

$$Q_{k,T} k \Delta t = \sum_{i=1}^k q_{i,T} \Delta t \quad k = 2, 3, \dots, K \quad (5)$$

La condizione appena esposta porta alla seguente formulazione dell'idrogramma di progetto:

$$\begin{cases} q_{k,T} = Q_{k,T} & k = 1 \\ q_{k,T} = k Q_{k,T} - (k-1) Q_{k-1,T} & k = 2, 3, \dots, K \end{cases} \quad (6)$$

L'idrogramma di progetto per come è costruito, presenta un andamento crescente. Esso, proprio per la particolare tecnica di costruzione adottata, garantisce lo stesso periodo di ritorno per tutte le durate considerate.

Sulla base dell'idrogramma di progetto costruito secondo la tecnica appena esposta, si può determinare la capacità di compenso da assegnare al serbatoio per consentire la regolazione stagionale (fig.4):

$$C_{s,T} = \sum_{q_{i,T} < E} (E - q_{i,T}) \Delta t \quad (7)$$

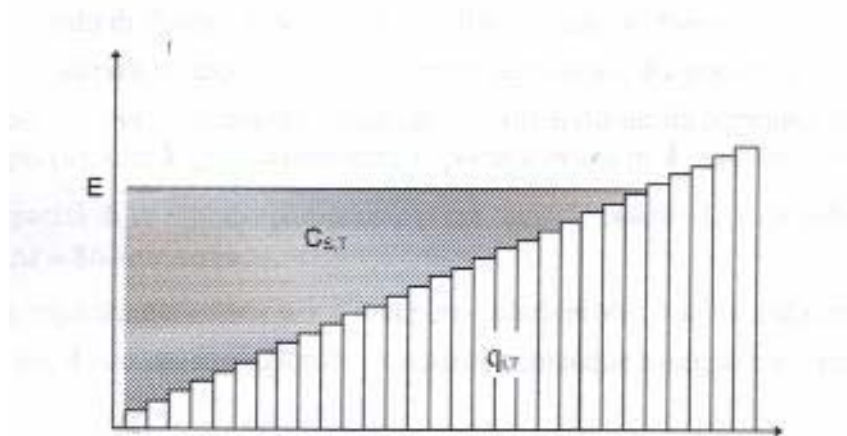


Figura 4. Calcolo del volume di compenso

Nel caso in cui il legame tra $Q_{k,T}$ e k sia approssimabile da una legge lineare del tipo:

$$Q_{k,T} = \alpha_T + \beta_T k \quad (8)$$

Si può verificare, con semplici passaggi, come l'idrogramma di progetto assuma la forma:

$$q_{k,T} = Q_{2k-1,T} \quad (9)$$

In tal caso la sommatoria (7) va estesa fino all'indice:

$$k^* = \text{int} \left(\frac{E - \alpha_T - \beta_T}{2\beta_T} + 1 \right)$$

essendo $\text{int}(\cdot)$ la parte intera del numero in parentesi.

Tale valore, come si può facilmente verificare, rappresenta il massimo valore di k per cui la (9) risulta inferiore all'erogazione E . La (7) fornisce pertanto, in questo caso, l'espressione:

$$C_{s,T} = \sum_{i=1}^{k^*} [E - \alpha_T - \beta_T(2i-1)] \Delta t$$

Compenso pluriennale

Nel caso in cui si voglia dimensionare un serbatoio con funzione di compenso pluriennale, è necessario studiare le distribuzioni probabilistiche delle portate medie in k anni consecutivi. Nella scelta delle distribuzioni da utilizzare occorrerà tenere conto del fatto che si tratta di valori medi annuali e non, come nel caso precedente, di valori minimi. Il valore massimo di k da considerare, K , dovrà essere sufficientemente elevato in modo da garantire che la portata media in K anni consecutivi con periodo di ritorno T sia superiore all'erogazione richiesta.

La procedura per valutare la capacità di compenso pluriennale da utilizzare è la stessa di quella descritta in precedenza per il compenso stagionale, costruendo un idrogramma di progetto su base pluriennale del tipo (6), in cui $Q_{k,T}$ rappresenta la portata media in k anni consecutivi con tempo di ritorno T . La capacità di compenso pluriennale potrà, quindi, essere valutata sulla base della (7), in cui, ovviamente $\Delta t = 86400 * 365$ s.

Nel caso in cui la capacità necessaria per il compenso pluriennale, così valutata, risultasse minore di quella necessaria per il compenso stagionale, occorrerà comunque assegnare al serbatoio quest'ultima capacità.

Costruzione della curva di possibilità di regolazione

La curva di possibilità di regolazione rappresenta, in forma grafica, l'andamento della capacità del serbatoio in funzione dell'erogazione richiesta. Ogni curva è caratterizzata da un particolare valore del periodo di ritorno, che rappresenta l'inverso della probabilità che, in un generico anno, un serbatoio dimensionato sulla base della curva stessa risulti insufficiente a garantire l'erogazione richiesta.

Nel caso in cui l'erogazione richiesta sia inferiore alla portata media annua con periodo di ritorno T appare opportuno considerare, nella costruzione della curva, il solo compenso stagionale. Nel caso opposto, invece, si dovrà tenere conto anche del compenso pluriennale.

Nella figura 5 è rappresentato l'andamento tipico delle curve di possibilità di regolazione per diversi valori del periodo di ritorno.

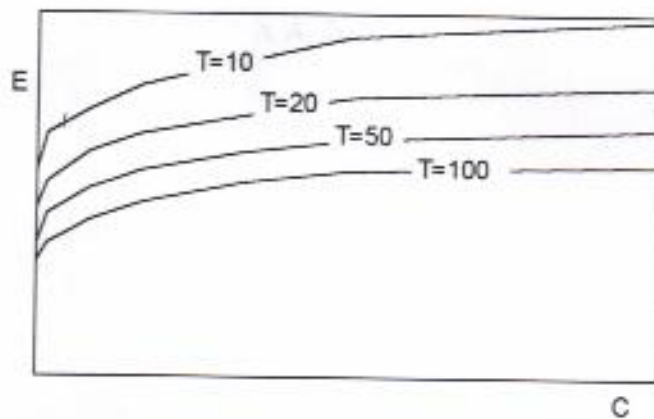


Figura 5. Andamento tipico delle curve di possibilità di regolazione per diversi valori del periodo di ritorno.

Probabilità di avere n fallanze nel periodo di vita utile del serbatoio

Il rischio che, in un generico anno, un serbatoio sia insufficiente a garantire l'erogazione richiesta è, come osservato in precedenza pari all'inverso del periodo di ritorno con cui il serbatoio è stato dimensionato. Nel caso in cui, successivamente alla realizzazione del serbatoio, si abbiano modifiche dell'erogazione richiesta o della capacità del serbatoio, il periodo di ritorno sarà ovviamente diverso da quello con il quale il serbatoio era stato dimensionato. In tal caso, utilizzando una rappresentazione del tipo di quella in fig. 5 è possibile determinare il periodo di ritorno effettivo del serbatoio, corrispondente alle condizioni attuali di funzionamento. Considerando un generico serbatoio di capacità, C_* che debba soddisfare una erogazione E_* , il periodo di ritorno effettivo del serbatoio può essere determinato rappresentando il punto di coordinate (C_*, E_*) sul grafico di fig. 5 e valutando il periodo di ritorno effettivo T_* , interpolandolo tra quelli relativi alle curve di possibilità di regolazione più prossime al punto stesso. Il rischio che il serbatoio risulti insufficiente in un generico anno risulta quindi pari a $1/T_*$.

Nell'ipotesi in cui il serbatoio debba restare in attività per un periodo di N anni, la probabilità che nel suddetto periodo si abbiano n fallanze può essere valutata con una legge di probabilità di tipo binomiale:

$$\Pr(n \text{ fallanze in } N \text{ anni}) = \binom{N}{n} \frac{1}{T_*^n} \left(1 - \frac{1}{T_*}\right)^{N-n}$$

Serie storiche dei minimi valori delle portate medie in k giorni consecutivi registrate nella stazione idrometrica sita sul fiume Ancinale in località Razzona.

Anno	1giorno	3giorni	5giorni	10giorni	15giorni	20giorni	25giorni	30giorni	40giorni	50giorni	60giorni	70giorni	80giorni	90giorni
1926	0.800	0.800	0.840	0.880	0.900	0.925	0.972	1.030	1.123	1.184	1.287	1.340	1.368	1.359
1929	0.600	0.600	0.600	0.600	0.607	0.645	0.676	0.730	0.793	0.942	0.913	1.037	1.099	1.126
1930	0.600	0.600	0.620	0.680	0.707	0.755	0.768	0.783	0.798	0.808	0.832	0.851	0.870	0.890
1931	0.200	0.200	0.220	0.300	0.373	0.400	0.428	0.440	0.455	0.482	0.517	0.527	0.579	0.569
1933	0.300	0.300	0.340	0.370	0.547	0.670	0.728	0.737	0.743	0.846	0.870	0.897	0.928	0.944
1934	0.900	0.900	0.900	0.910	0.940	0.965	0.968	0.980	0.995	1.028	1.112	1.130	1.151	1.203
1939	0.800	0.800	0.800	0.800	0.827	0.870	0.896	0.900	0.918	0.984	1.033	1.090	1.190	1.402
1940	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.110	1.112	1.115	1.130	1.146	1.157	1.180	1.211	1.254
1941	0.500	0.500	0.520	0.580	0.613	0.635	0.648	0.657	0.670	0.686	0.722	0.747	0.753	0.758
1942	0.300	0.367	0.380	0.390	0.393	0.400	0.432	0.467	0.563	0.628	0.667	0.720	0.736	0.748
1943	0.400	0.400	0.400	0.440	0.460	0.470	0.512	0.553	0.605	0.606	0.628	0.667	0.696	0.771
1944	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.710	0.723	0.724	0.733	0.744	0.753	0.760	0.774	0.803
1945	0.700	0.760	0.767	0.780	0.787	0.790	0.792	0.800	0.803	0.804	0.805	0.809	0.823	0.837
1946	0.100	0.267	0.340	0.400	0.467	0.500	0.536	0.533	0.566	0.577	0.583	0.614	0.673	0.826
1947	0.700	0.767	0.780	0.790	0.793	0.805	0.812	0.823	0.865	0.892	0.917	0.951	0.964	0.979
1948	0.400	0.400	0.400	0.400	0.407	0.455	0.480	0.493	0.518	0.544	0.555	0.570	0.590	0.623
1949	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.613	0.640	0.640	0.663	1.306	1.351	1.379
1950	0.300	0.300	0.300	0.300	0.327	0.345	0.348	0.353	0.383	0.446	0.512	0.619	0.684	0.742
1951	0.600	0.600	0.600	0.630	0.640	0.660	0.680	0.683	0.708	0.710	0.713	0.730	0.755	0.784
1952	0.600	0.600	0.600	0.610	0.633	0.655	0.668	0.657	0.685	0.696	0.718	0.740	0.754	0.777
1953	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.907	0.908	0.918	0.946
1954	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.215	1.247	1.261	1.264
1955	1.000	1.000	1.000	1.000	1.020	1.020	1.024	1.030	1.049	1.088	1.142	1.189	1.251	1.290
1956	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.505	0.512	0.510	0.533	0.546	0.565	0.599	0.636	0.666
1957	0.600	0.600	0.600	0.600	0.633	0.655	0.700	0.715	0.720	0.732	0.732	0.771	0.811	0.853
1958	0.800	0.800	0.800	0.800	0.807	0.830	0.844	0.853	0.878	0.948	1.035	1.097	1.164	1.152
1959	1.300	1.300	1.300	1.340	1.373	1.415	1.428	1.430	1.440	1.456	1.493	1.506	1.516	1.524
1960	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.016	1.017	1.025	1.034	1.042	1.067	1.098	1.142
1961	0.300	0.333	0.360	0.360	0.373	0.395	0.396	0.403	0.415	0.418	0.418	0.446	0.458	0.463
1962	0.300	0.300	0.300	0.340	0.347	0.350	0.360	0.367	0.375	0.396	0.415	0.433	0.490	0.466
1963	0.600	0.620	0.633	0.660	0.673	0.690	0.704	0.720	0.745	0.754	0.775	0.804	0.813	0.814
1965	0.500	0.500	0.500	0.540	0.560	0.570	0.576	0.597	0.616	0.620	0.633	0.657	0.671	0.699
1966	0.600	0.633	0.640	0.660	0.673	0.680	0.684	0.690	0.733	0.772	0.785	0.819	0.919	1.042
1967	0.500	0.500	0.500	0.500	0.520	0.545	0.580	0.617	0.660	1.710	0.738	0.767	0.778	0.809
1968	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.524	0.525	0.527	0.545	0.568	0.598	0.637	0.704	0.720
1969	0.600	0.600	0.600	0.640	0.660	0.655	0.667	0.670	0.693	0.728	0.790	0.814	0.848	0.890
1970	0.200	0.200	0.200	0.200	0.233	0.256	0.260	0.265	0.270	0.276	0.283	0.294	0.310	0.323
1973	0.900	0.900	0.920	1.110	1.160	1.170	1.292	1.370	1.376	1.427	1.466	1.468	1.489	1.591
1974	0.900	0.933	1.000	1.030	1.053	1.065	1.068	1.080	1.120	1.156	1.203	1.264	1.289	1.314
1975	0.800	0.800	0.800	0.800	0.807	0.810	0.828	0.857	0.863	0.920	0.092	0.933	0.941	0.948
1976	0.900	0.900	0.920	0.960	1.013	1.040	1.040	1.053	1.100	1.170	1.222	1.231	1.291	1.349
1978	0.800	0.833	0.840	0.870	0.880	0.900	0.920	0.937	0.953	0.974	0.988	1.046	1.071	1.086
1980	0.900	0.900	0.900	0.940	0.071	0.965	0.984	1.020	1.060	1.065	1.071	1.080	1.085	1.091
1982	0.400	0.400	0.400	0.400	0.433	0.450	0.476	0.517	0.593	0.596	0.633	0.649	0.704	0.705