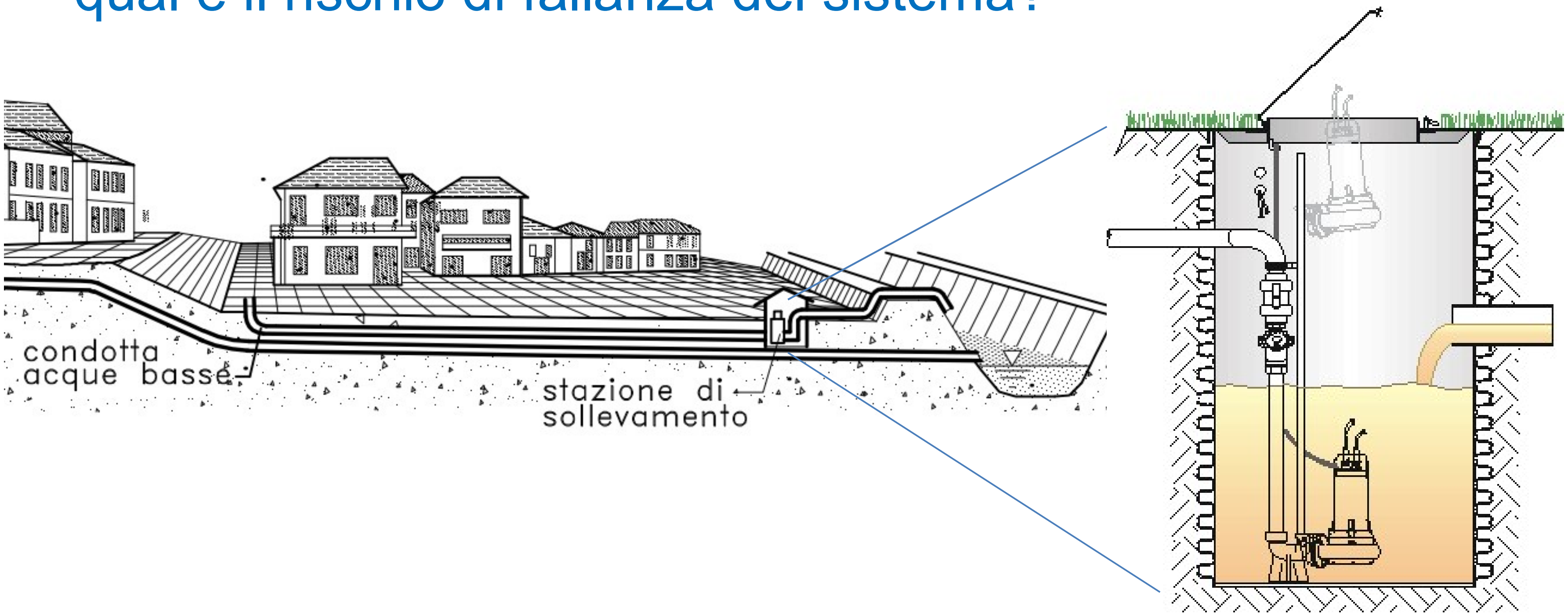
La portata Q drenata da un area urbana viene scaricata a mezzo di una stazione di sollevamento terminale in un corpo idrico superficiale. Il sistema di drenaggio (rete di drenaggio e capacità della pompa installata nella stazione) è dimensionato per la portata massima annuale con tempo di ritorno Tr=20 anni. Se l’affidabilità della stazione è a=0,9, qual è il rischio di fallanza del sistema?



$$E(\tau)=\sum_{\tau=1}^{\infty}\tau(1-p)^{\tau-1}p$$

$$=p+2(1-p)p+3(1-p)^2p+4(1-p)^3p+\ldots \tag{12.1.1a}$$

$$=p[1+2(1-p)+3(1-p)^2+4(1-p)^3+\ldots]$$

The expression within the brackets has the form of the power series expansion $(1+x)^n=1+nx+[n(n-1)/2]x^2+[n(n-1)(n-2)/6]x^3+\ \ldots$, with $x=-(1-p)$ and $n=-2$, so (12.1.1$a$) may be rewritten

$$E(\tau)=\frac{p}{[1-(1-p)]^2}$$

$$=\frac{1}{p} \tag{12.1.1b}$$

Hence $E(\tau)=T=1/p$; that is, the probability of occurrence of an event in any observation is the inverse of its return period:

$$P(X\geq x_T)=\frac{1}{T} \tag{12.1.2}$$

La portata Q drenata da un area urbana viene scaricata a mezzo di una stazione di sollevamento terminale in un corpo idrico superficiale. Il sistema di drenaggio (rete di drenaggio e capacità della pompa installata nella stazione) è dimensionato per la portata massima annuale con tempo di ritorno Tr=20 anni. Se l'affidabilità della stazione è a=0,9, qual è il rischio di fallanza del sistema?

$$P[Q \geq Q(Tr)] = \frac{1}{Tr} = 0{,}05$$

$$P[Q < Q(Tr)] \cup P\left[Q_{\substack{\text{pompa nella}\\ \text{stazione}}} = 0\right] =$$

$$(1 - P[Q \geq Q(Tr)])(1 - a) = 0{,}95 \cdot 0{,}1 = 0{,}095$$

$$R = 0{,}05 + 0{,}095 = 0{,}15$$

R=probabilità che la portata massima annuale superi la capacità della stazione di sollevamento, a seguito di un evento ECCEZIONALE (TR>20 anni), o che la stazione sia in fallanza, quando si verifica un evento di precipitazione inferiore alla pioggia di progetto di progetto

La portata Q [$m^3/s$] drenata da una rete di bonifica segue una distribuzione di tipo esponenziale:

$p(Q)=0,1*exp(-0,1*Q)$

Se la probabilità di fallanza dell'impianto idrovoro posto a valle della rete è 0,95 e la sua capacità di scarico è $Q_i=12$ $m^3/s$, qual è il rischio di fallanza del sistema di bonifica?

La portata Q [$m^3/s$] drenata da una rete di bonifica segue una distribuzione di tipo esponenziale:
p(Q)=0,1*exp(-0,1*Q)
Se la probabilità di fallanza dell'impianto idrovoro posto a valle della rete è 0,95 e la sua capacità di scarico è $Q_i$=12 $m^3/s$, qual è il rischio di fallanza del sistema di bonifica?

$$P[Q \geq Q_i] = \int_{Q_i}^{\infty} 0{,}1 \exp(-0{,}1 \cdot Q) dQ = \exp(-0{,}1 \cdot 12) = 0{,}3$$

$$P[Q < Q_i] \cup P[Q_\mathrm{i} = 0] =$$

$$(1 - P[Q \geq Q_i])(1 - a) = 0{,}7 \cdot 0{,}05 = 0{,}04$$

$$R = 0{,}3 + 0{,}04 = 0{,}34$$

R=probabilità che la portata drenata superi la capacità dell'idrovora, a seguito di un periodoparticolarmente piovoso, o che l'idrovora sperimenti un guasto, quando la falda si trova in prossimità della superficie del terreno

# Nei due esercizi precedenti, qual è la distribuzione di probabilità del carico? qual è la distribuzione di probabilità della resistenza?

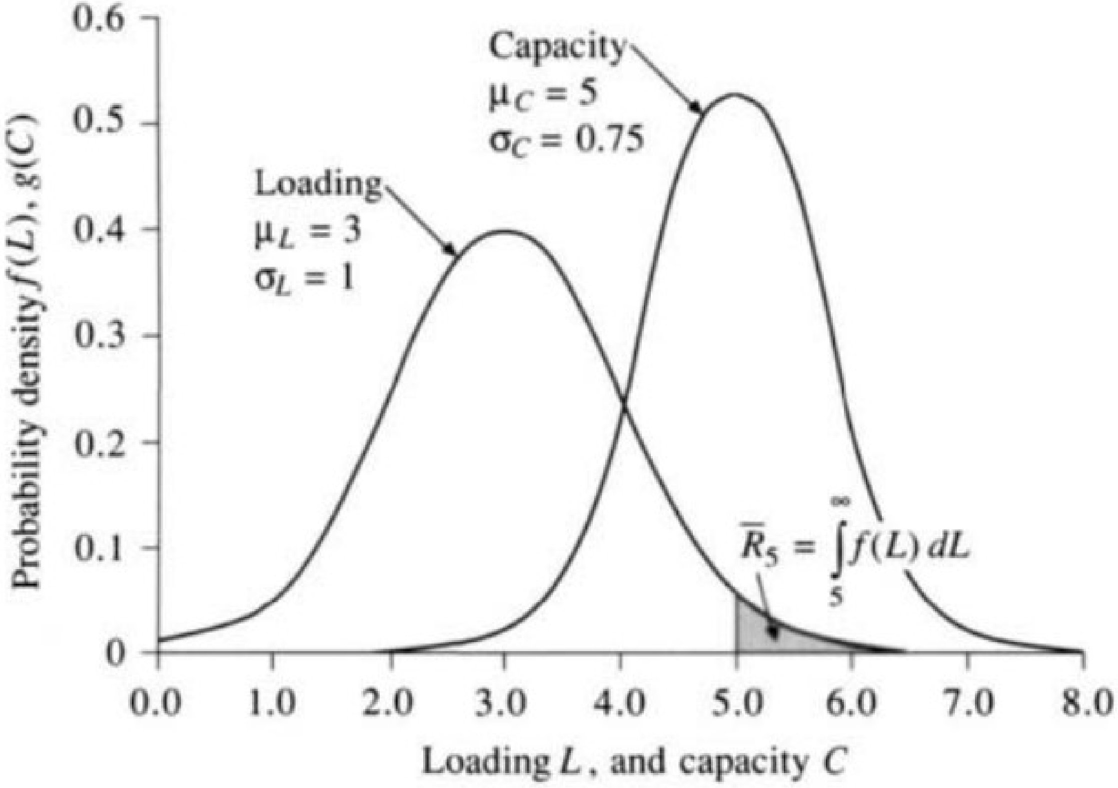
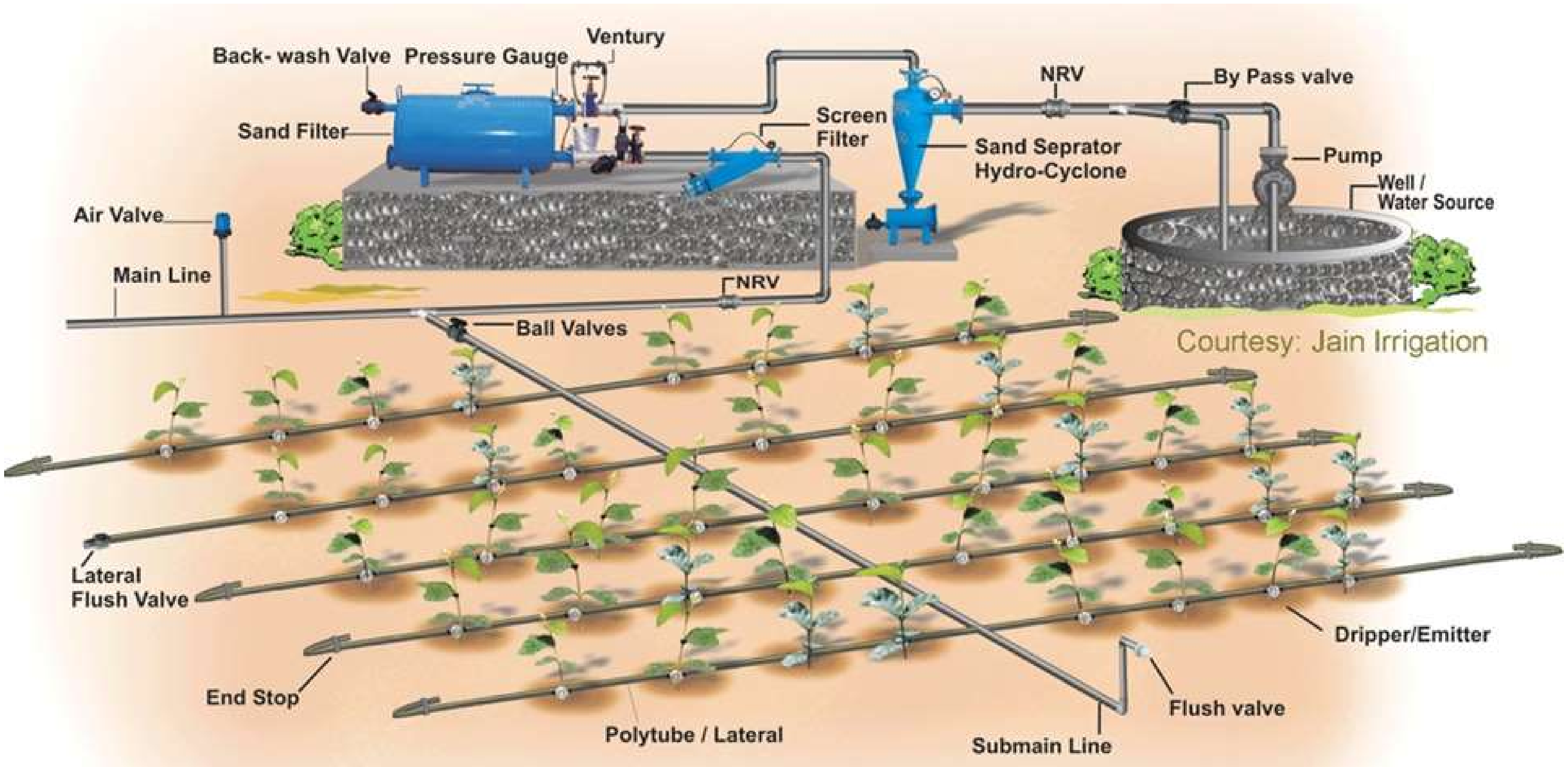



**FIGURE 13.4.1** Composite risk analysis. Area shaded is the risk $\overline{R}_5$ of the loading exceeding a fixed capacity of 5 units. The risk that the loading will exceed the capacity when the capacity is random is given by $\overline{R} = \int_{-\infty}^{\infty} [\int_C^\infty f(L)\,dL]\, g(C)\,dC$. The loading and capacity shown are both normally distributed (Example 13.4.1).

$$\boxed{\overline{R} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_C^{\infty} f(L)\,dL \right] g(C)\,dC}$$

Un sistema di distribuzione ad uso irriguo, a servizio di un area agricola di estensione S, comprende un serbatoio ed una rete di distribuzione. Il serbatoio può compensare l'assenza di precipitazioni, e con ciò far fronte  ad un evento siccitoso che ricorre con tempo di ritorno Tr. La rete è progettata per far fronte ad una domanda irrigua che non varia nel tempo.



Il costo di realizzazione del sistema è dato dalla somma del costo di realizzazione del serbatoio: Cs=F*S* Tr  e dal costo di realizzazione della rete Cr= G*S.  Il costo annuale del danno conseguente alla fallanza del sistema di irrigazione, e quindi alla perdita del raccolto è Cf=H*S.
Calcolare un espressione analitica per il tempo di ritorno Tr* che minimizza il costo totale sulla base dell'analisi idroeconomica.

$$C_{tot} = F \cdot S \cdot Tr + G \cdot S + H \cdot S \cdot P[\text{evento siccitoso estremo}] =$$

$$F \cdot S \cdot Tr + G \cdot S + H \cdot S \cdot \frac{1}{Tr}$$

$$\frac{dC_{tot}}{dTr} = F \cdot S - \frac{H \cdot S}{Tr^2} = 0 \Rightarrow Tr^* = \sqrt{\frac{H}{F}}$$

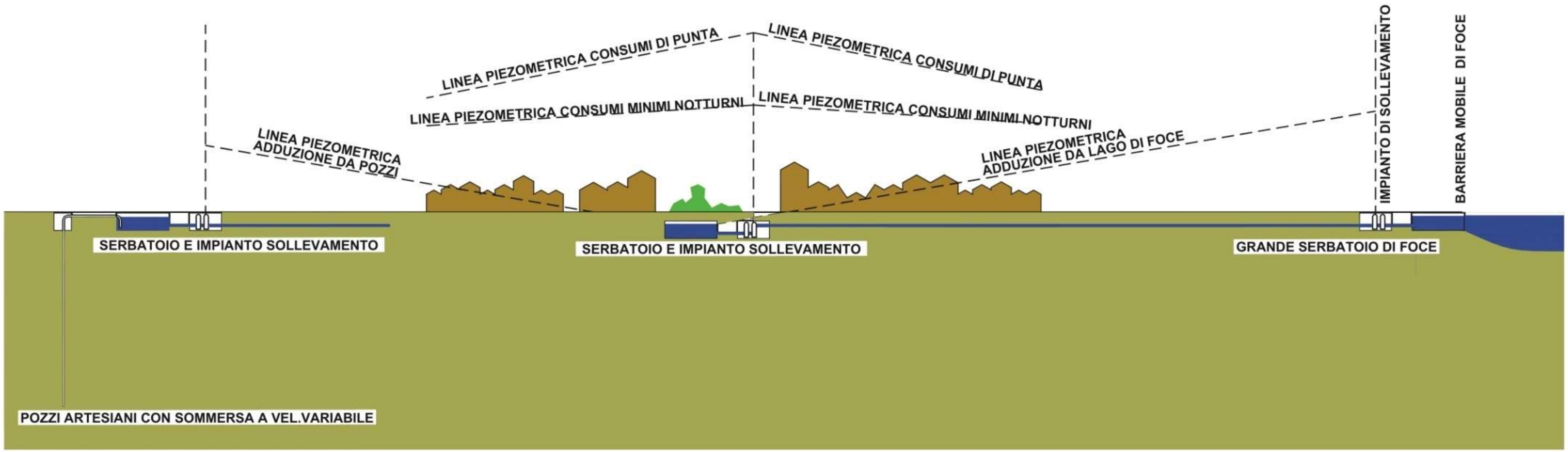
Se l’opera viene progettata per Tr=Tr* e la disponibilità economica per la realizzazione è C, qual è l’estensione dell’area agricola che puo’ essere servita?

$$C = F \cdot S \cdot Tr^* + G \cdot S$$

$$Tr^* = \sqrt{\frac{H}{F}}$$

$$S = \frac{C}{F^{3/2} H^{-1/2} + G}$$

La domanda idrica potabile di un centro urbano raddoppia a causa dello sviluppo turistico della zona.
L'adduzione non è piu' in grado di fornire la prevalenza richiesta.




Le soluzioni proposte sono: a) realizzare una nuova adduzione di diametro maggiore; b) realizzare un nuovo impianto di sollevamento a monte dell'adduzione.

Sapendo che l'affidabilità dell'impianto di sollevamento è 0.95, la lunghezza dell'adduzione è di 10 km, il tasso di fallanza della vecchia è 0,8 anni$^{-1}$km$^{-1}$ , quello della nuova è 0,2 anni$^{-1}$km$^{-1}$, e che il tempo stimato per la riparazione di un guasto all'adduzione è 36 ore, calcolare per entrambe le soluzioni proposte: il rischio di fallanza.

| | vecchia | | nuova | |
|---|---|---|---|---|
| tasso di fallanza | 0,08 | 1/anno/km | 0,02 | 1/anno/km |
| t medio di fallanza | 12,5 | anni | 50 | anni |
| t medio riparazione | 36 | ore | 36 | ore |
| $a = \dfrac{MTTF}{MTTF + MTTR}$ | 0,992 | | 0,998 | |

Affidabilità adduzione= affidabilità di 10 elementi, con affidabilità a in serie

| | | |
|---|---|---|
| **a^10** | **0,92** | **0,98** |

Affidabilità sistema=Affidabilità stazione di sollevamento*Affidabilità adduzione= 2 elementi in serie

| | | |
|---|---|---|
| a(1 km) | 0,99967 | 0,99992 |
| a^10 | 0,997 | 0,999 |
| **Ass (staz. Soll.)** | **0,95** | **1** |
| **A (sistema)= a^10*Ass** | **0,947** | **0,999** |

Il tempo di ritenzione in un bacino di sedimentazione è uguale al rapporto tra volume V della vasca e portata Q entrante/uscente in condizioni stazionarie.

Vengono riportati in tabella i tempi necessari affinchè classi granulometriche di particelle sedimentino sul fondo della vasca e la relativa percentuale di particelle appartenenti alla classe.

| Classe granulometrica | Tempo di sedimentazione (ore) | Percentuale in peso presente nell'effluente |
|---|---|---|
| I | 22 | 20 |
| II | 18 | 10 |
| III | 13 | 50 |
| IV | 2 | 20 |

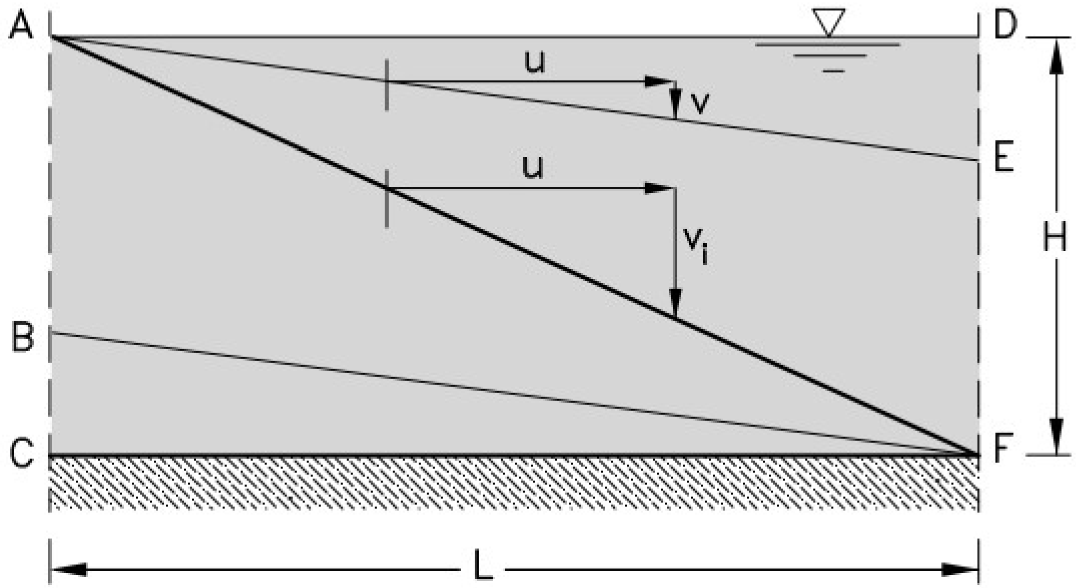
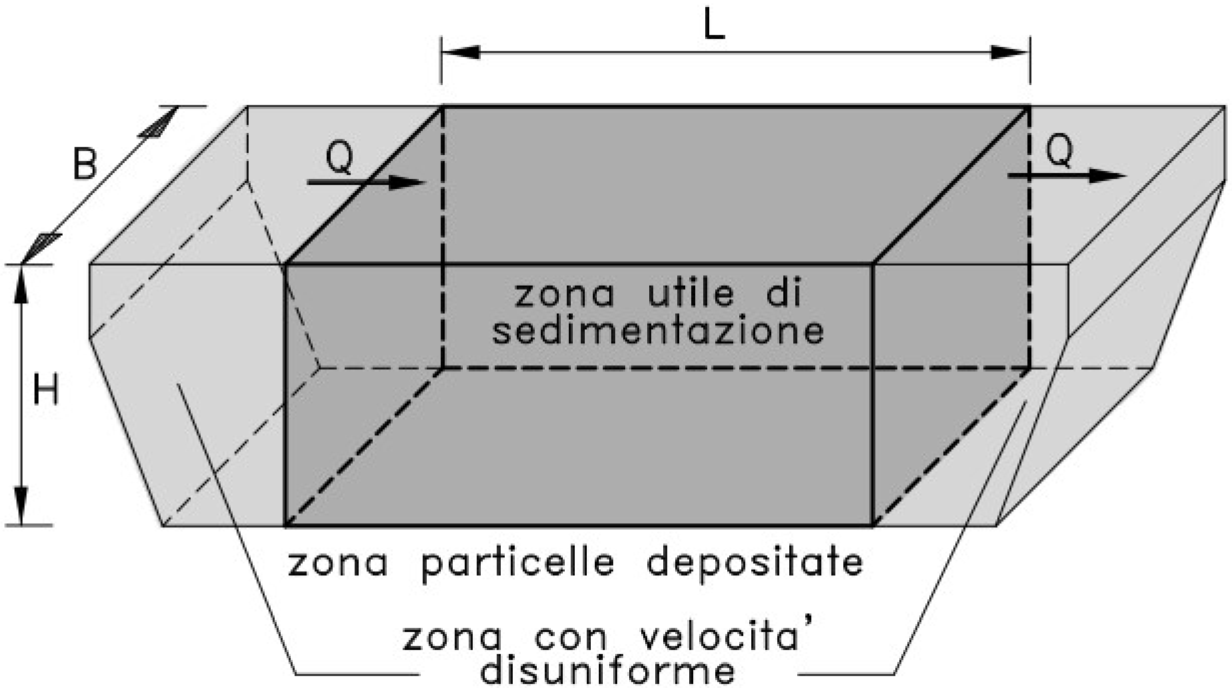
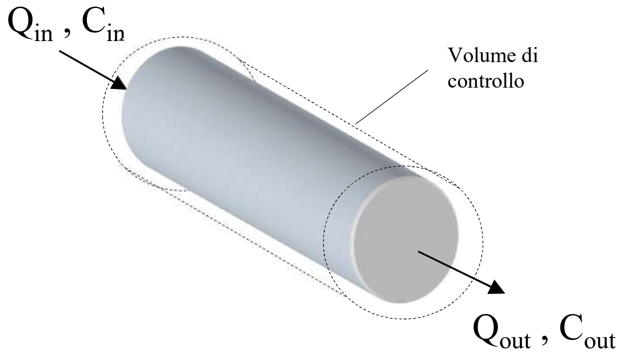



Fig. 8.85 traiettoria delle particelle in un dissabbiatore ideale.




schema ideale di un dissabbiatore longitudinale.




*Plug flow reactor*

Sapendo che la distribuzione di probabilità della portata in arrivo Q (espressa in l/s) è

$$p(Q) = 0.74 \exp(-0.74\, Q)$$

Calcolare il Volume della vasca per cui il valore atteso della percentuale di sedimenti rimossi è almeno 70%.
Qual è il rischio che la percentuale di solidi rimossi sia inferiore a 70%?

| Classe granulometrica | Tempo di sedimentazione (ore) | Percentuale in peso presente nell'effluente |
|---|---|---|
| I | 22 | 20 |
| II | 18 | 10 |
| III | 13 | 50 |
| IV | 2 | 20 |

70% sedimenta in meno di 13 ore

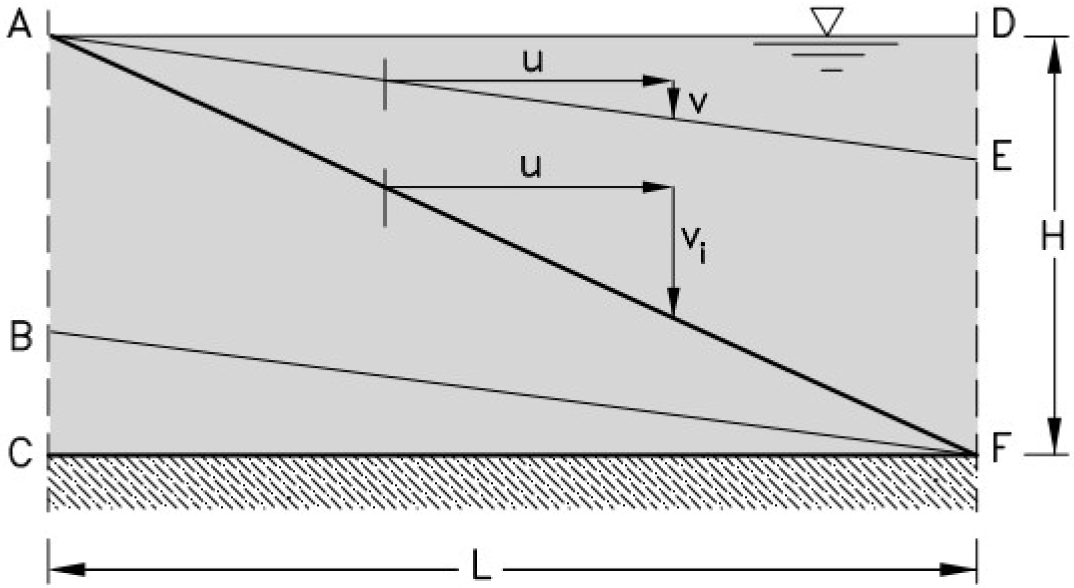
$$\theta = \frac{V}{Q} = 13 \text{ ore}$$

$$= 46800 \text{ secondi}$$

$$\mathrm{Q}_{\text{media}} = \frac{1}{0{,}74} = 1{,}35 \text{ l/s}$$

$$V = \theta \cdot \mathrm{Q}_{\text{media}} = 63{,}24\ m^3$$

$$R = P\left[Q > \mathrm{Q}_{\text{media}}\right] = \exp\left[-0{,}74\mathrm{Q}_{\text{media}}\right] = 0{,}37$$



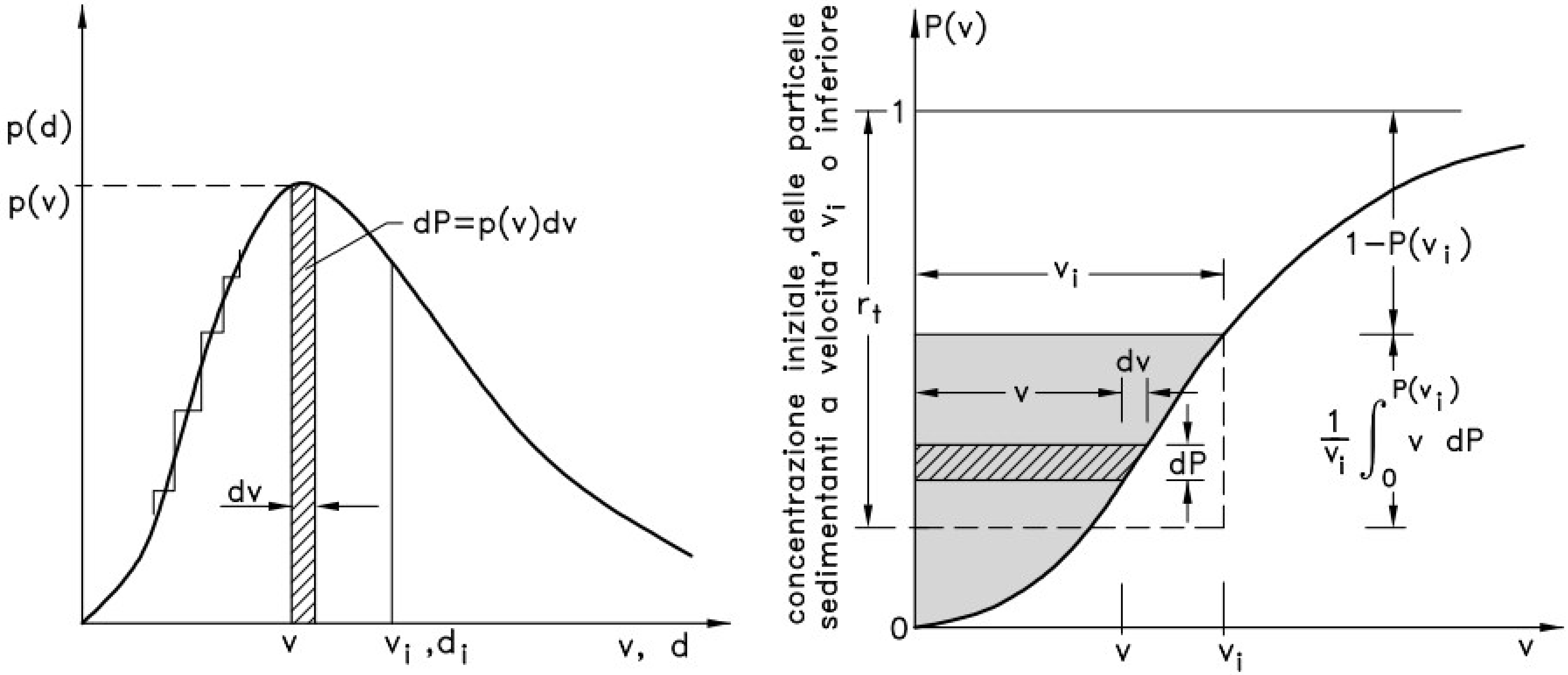

$$r = \frac{BC}{AC} = \frac{v}{v_i} = \frac{vLB}{Q},$$

$$v_i = \frac{Hu}{L} = \frac{HB}{LB}u = \frac{Q}{LB}.$$

Fig. 8.85 traiettoria delle particelle in un dissabbiatore ideale.

Si ha pertanto, considerando tutte le particelle caratterizzate da velocità di caduta $0 < v < v_i$, che la frazione totale $r_t$ di particelle sedimentate è

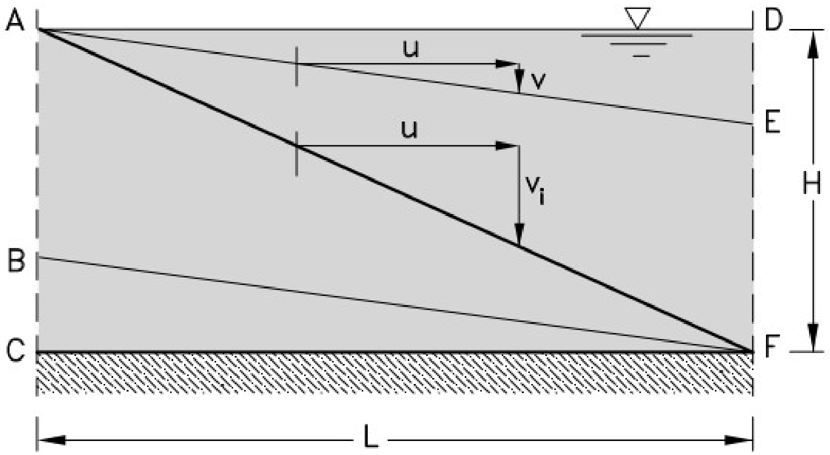
$$r_t = 1 - P(v_i) + \frac{LB}{Q} \cdot \int_0^{v_i} vp(v)dv = 1 - P_i + \frac{1}{v_i} \int_0^{P(v_i)} vdP,$$




Si ha pertanto, considerando tutte le particelle caratterizzate da velocità di caduta $0 < v < v_i$, che la frazione totale $r_t$ di particelle sedimentate è

$$r_t = 1 - P(v_i) + \frac{LB}{Q} \cdot \int_0^{v_i} v p(v) dv = 1 - P_i + \frac{1}{v_i} \int_0^{P(v_i)} v dP,$$

Il modello di rischio potrebbe essere ripensato per tenere conto della distribuzione uniforme di particelle in entrata lungo una sezione trasversale del dissabbiatore?




$$r = \frac{BC}{AC} = \frac{v}{v_i} = \frac{vLB}{Q},$$

$$v_i = \frac{Hu}{L} = \frac{HB}{LB}u = \frac{Q}{LB}.$$

| Classe granulometrica | Tempo di sedimentazione (ore) | Percentuale in peso presente nell'effluente |
|---|---|---|
| I | 22 | 20 |
| II | 18 | 10 |
| III | 13 | 50 |
| IV | 2 | 20 |

$$\text{Percentuale di solidi rimossi} = E = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} = 0.7$$

$$E = \sum_{i=I}^{IV} \min\left(1, \frac{\theta}{t_{sed,i}}\right) \cdot p_i$$

$t_{sed,i}$ = tempo di sedimentazione della classe i-esima

$p_i$ = percentuale in peso della classe i-esima

$$\theta = \frac{V}{Q} = 13 \text{ ore}$$

$$E = \frac{13}{22} 0.2 + \frac{13}{18} 0.1 + 0.5 + 0.2 = 0{,}89$$

$$\theta' = 9.5 \text{ ore} \Rightarrow E = 0{,}70$$

| teta (ore) | E | V(Qmedia) | Qlimite (l/s) | R |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 0,89 | 63,18 | 1,35 | 0,37 |
| 12 | 0,84 | 58,32 | 1,46 | 0,34 |
| 11 | 0,78 | 53,46 | 1,60 | 0,31 |
| 10 | 0,73 | 48,6 | 1,76 | 0,27 |
| 9,5 | 0,7 | 46,17 | 1,85 | 0,25 |

$$\theta' = \frac{V'}{Q_{\text{media}}} = 9.5 \text{ ore}$$

$$E = \frac{9.5}{22}0.2 + \frac{9.5}{18}0.1 + \frac{9.5}{13}0.5 + 0.2 = 0,70$$

Trascurando le particelle delle classi I e II che sedimentano in percentuale inferore al 100% porta a sottostimare E, a vantaggio della sicurezza.

$$Q_{\text{media}} = \frac{1}{0,74} = 1,35 \text{ l/s}$$

$$V' = \theta' \cdot Q_{\text{media}} = 46,17 \; m^3$$

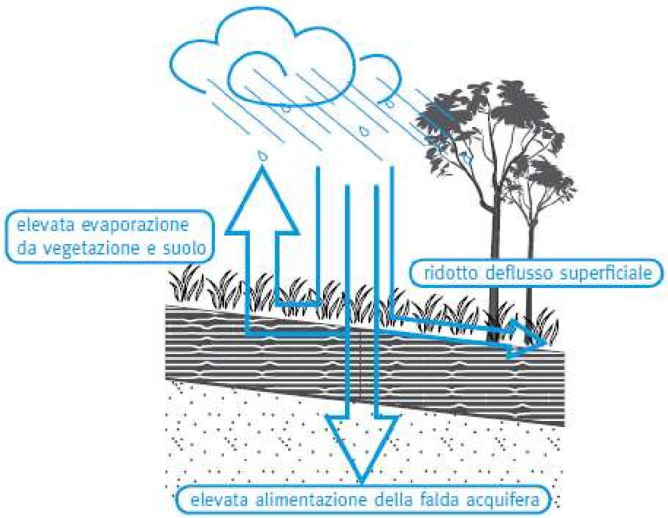
$$Q_{\lim} = \frac{V}{\theta'} = 1,85 \text{ l/s}$$

$$R = P\left[Q > Q_{\lim}\right] = \exp\left[-0,74\, Q_{\lim}\right] = 0,25$$

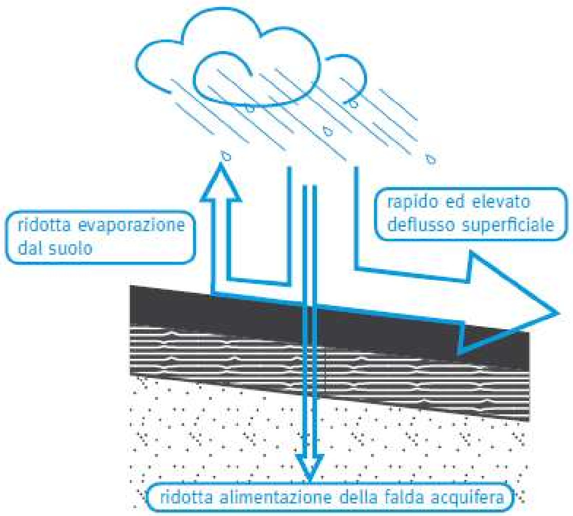
Tenendo conto delle particelle che sedimentano in tutte le classi, un tempo di detenzione inferiore garantisce la stessa percentuale di rimozione E, e quindi si può minimizzare il volume del reattore

Dimensionando il volume per un tempo di detenzione di 13 ore, la portata limite, per la quale non è garantita la percentuale di rimozone richiesta è maggiore della portata media, e consente di stimare l’effettivo rischio di fallanza ed il margine di sicurezza che si ha trascurando la percentuale di particelle rimosse nelle classi I e II.

Su un area agricola viene realizzato un nuovo centro commerciale. Il cambio d'uso del territorio interessa un'area di estensione S=2ha. In corrispondenza della precipitazione con durata pari al tempo di ritorno Tr=50 anni, la portata al colmo proveniente dall'ex area agricola è stimata essere $Q_0$=0,6 $m^3$/s.




superficie non impermeabilizzata



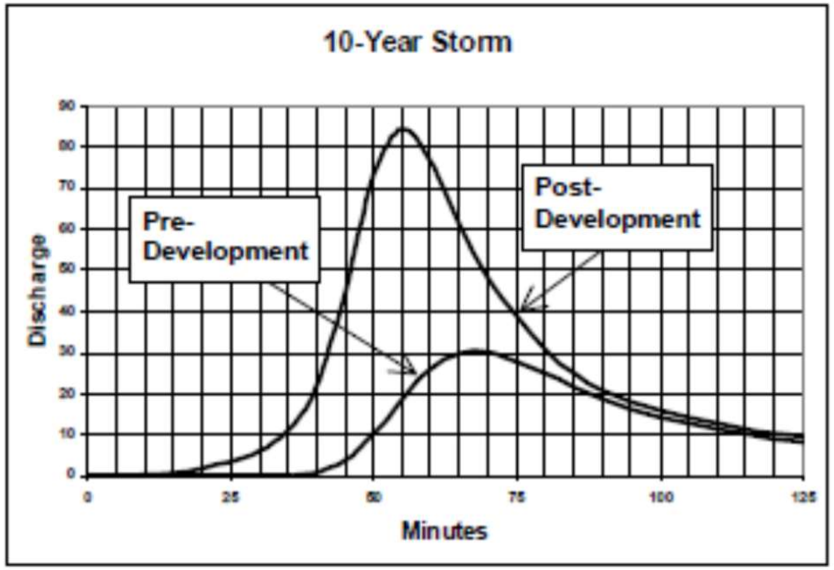

superficie impermeabilizzata

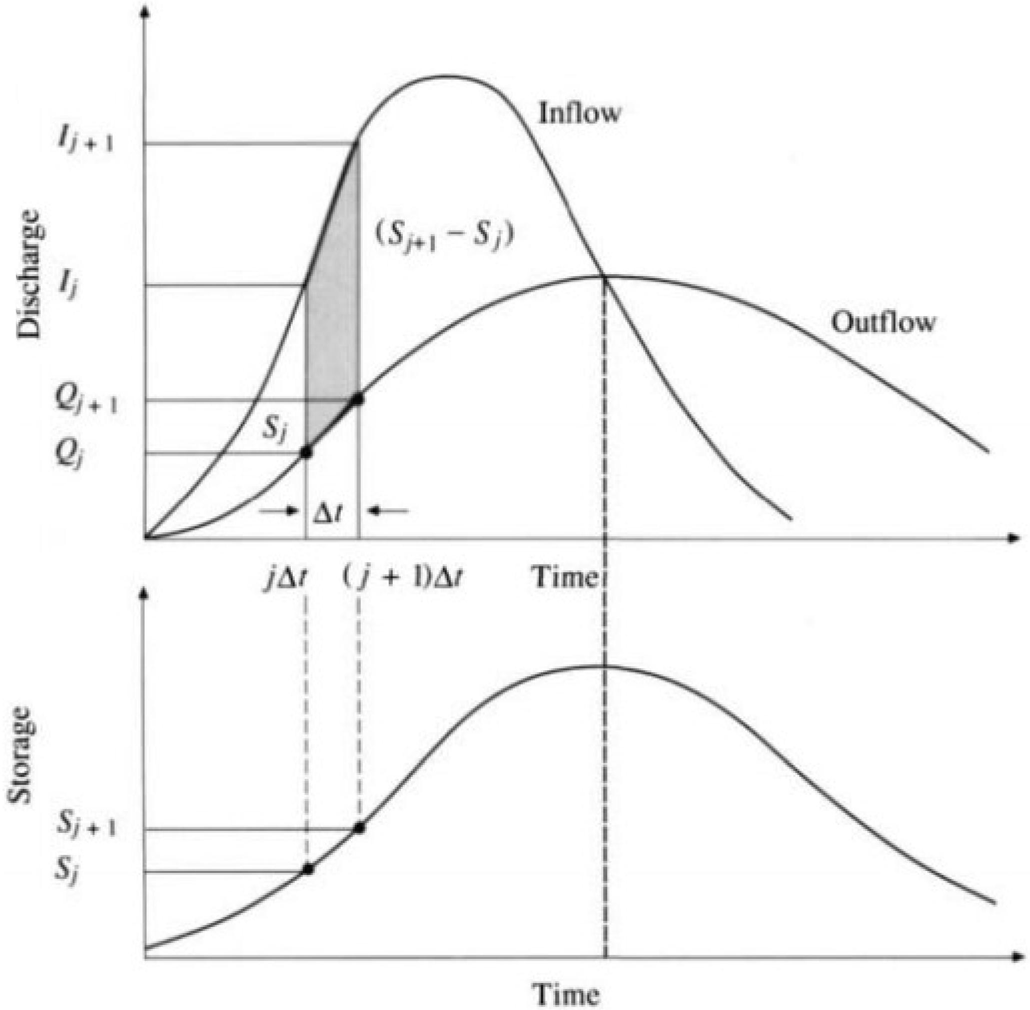
ALLEGATO A Dgr n. 1841 del 19 Giugno 2007

Per quanto riguarda il principio dell’invarianza idraulica in linea generale le misure compensative sono da individuare nella predisposizione di volumi di invaso che consentano la laminazione delle piene.

Il tempo di ritorno cui fare riferimento viene definito pari a 50 anni.

I coefficienti di deflusso, ove non determinati analiticamente, andranno convenzionalmente assunti
pari a 0,1 per le aree agricole, 0,2 per le superfici permeabili (aree verdi), 0,6 per le superfici semipermeabili (grigliati drenanti con sottostante materasso ghiaioso, strade in terra battuta o stabilizzato, …) e pari a 0,9 per le superfici impermeabili (tetti, terrazze, strade, piazzali,…..).




## 8.1 LUMPED SYSTEM ROUTING

For a hydrologic system, input $I(t)$, output $Q(t)$, and storage $S(t)$ are related by the continuity equation (2.2.4):

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t) \tag{8.1.1}$$


**Nuovo Ospedale di Mestre – opere di mitigazione idraulica –**

Superficie complessivamente interessata 23,15 ha superficie impermeabilizzata 47%

Volume di invaso distribuito su due bacini per 11250 mc complessivi (486 mc/ha)

Prima dello scarico della rete di drenaggio a servizio dell’area commerciale, viene realizzata una vasca di laminazione fuori linea il cui volume è 460 $m^3$. La vasca lamina i deflussi provenienti dall’area commerciale, invasando il volume di scorrimento superficiale generato dalla precipitazione, quando la portata generata è più grande di quella che veniva scaricata prima della realizzazione del centro commerciale.

Il coefficiente di deflusso della nuova area commerciale è C=0,9, il coefficiente di deflusso dell’area agricola era $C_0$=0.1;

Nell’anno generico le distribuzioni di probabilità dell’altezza di precipitazione h[mm], e della intensità della precipitazione j[mm/ore] sono:

$p(h)= 0,12 \exp(-0,12*h)$ e

$p(j)= 0,006 \exp(-0,006*j)$.

Si assuma che h e j siano variabili indipendenti.

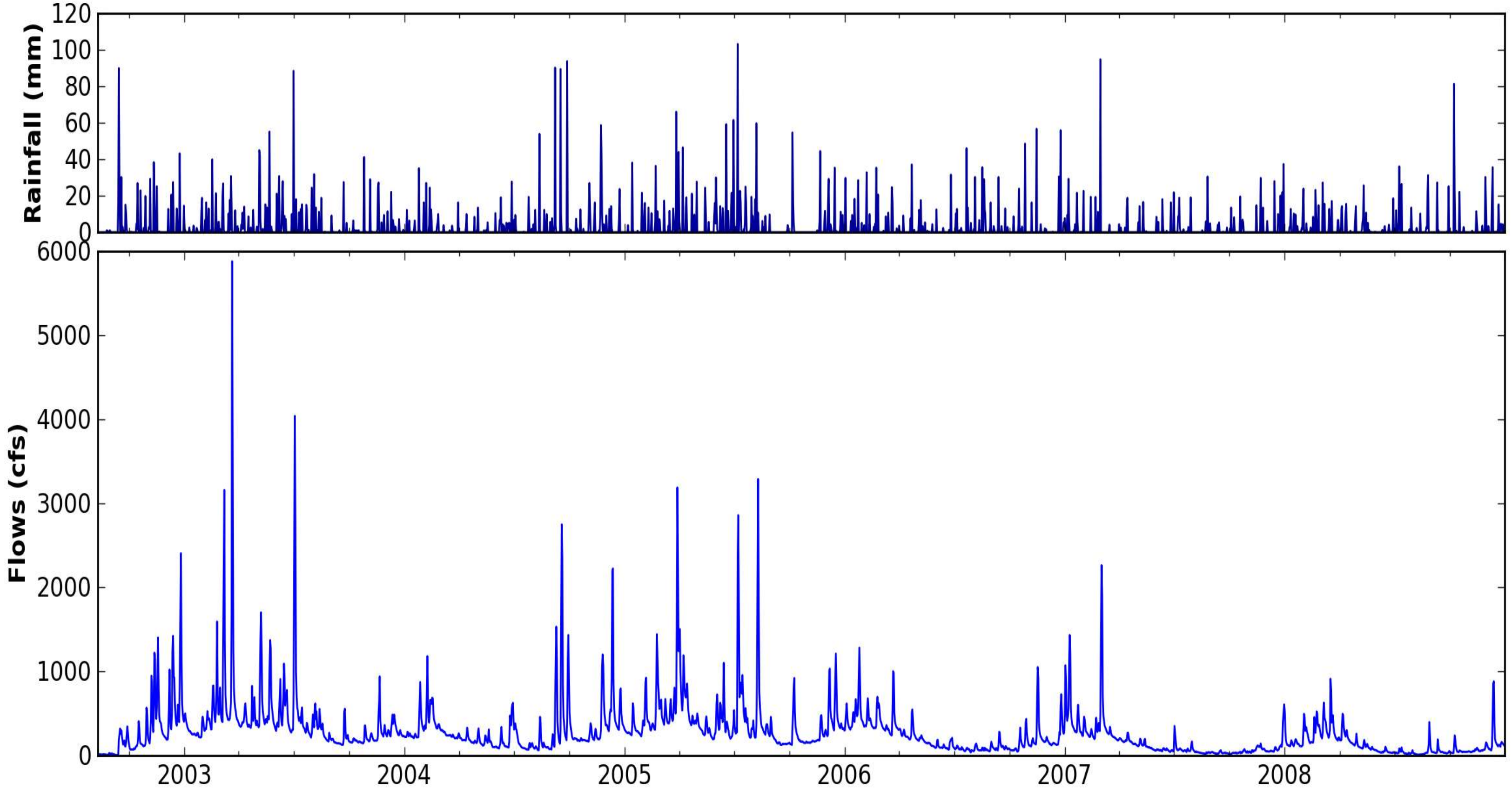
La portata proveniente dalla rete di drenaggio, a monte della vasca di laminazione puo’ essere calcolata come

$Q=CSj$,

Se $Q>Q0$, il volume di scorrimento superficiale che viene avviato alla vasca di laminazione è

$V=CSh$

Caratteristiche di un evento di precipitazione:
Altezza (h),
Intensità (j)
Durata (t),
…



## Formula razionale

## (trasformazione afflussi/deflussi)

$$Q = CSj = CS\frac{h}{t}$$

## Coefficiente di deflusso

$$C = \frac{\text{Volume di scorrimento superficiale (runoff)}}{\text{Volume di precipitazione } (hS)}$$

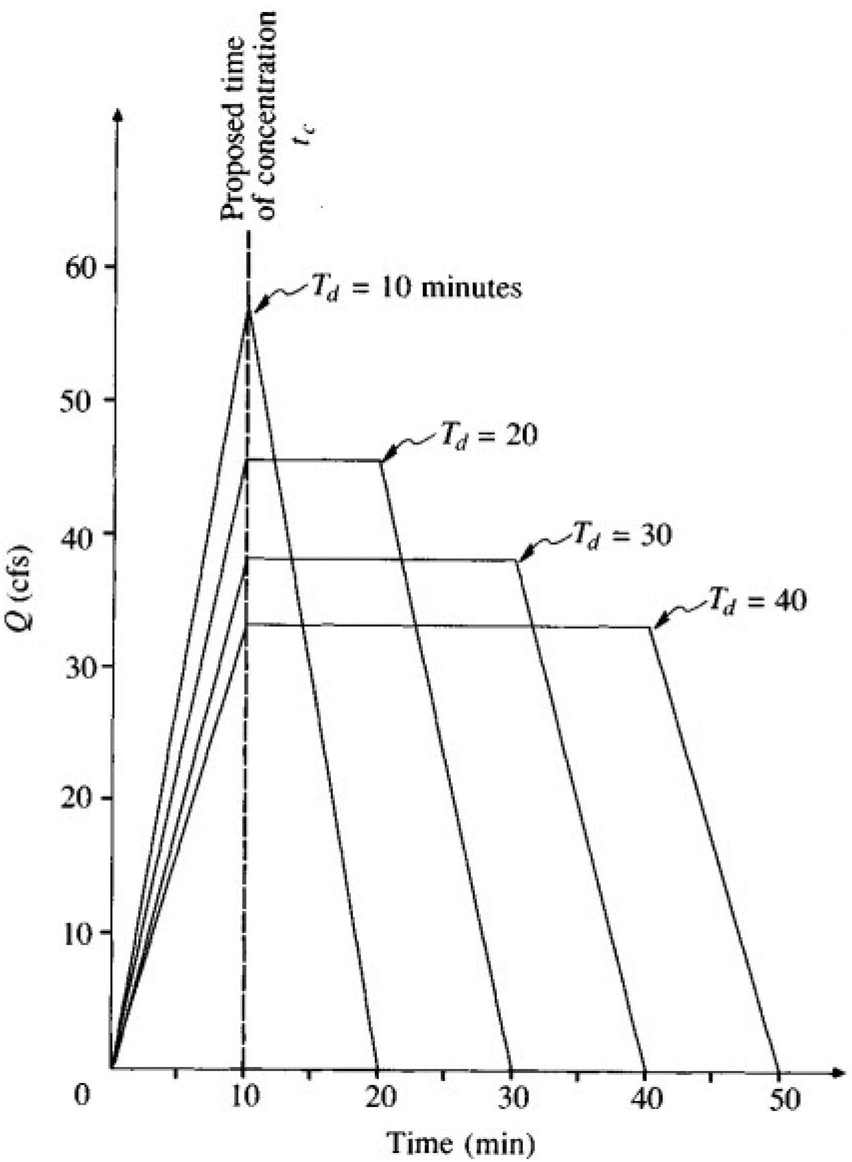



**FIGURE 15.4.3**
Typical storm water runoff hydrographs for the modified rational method with various rainfall durations.

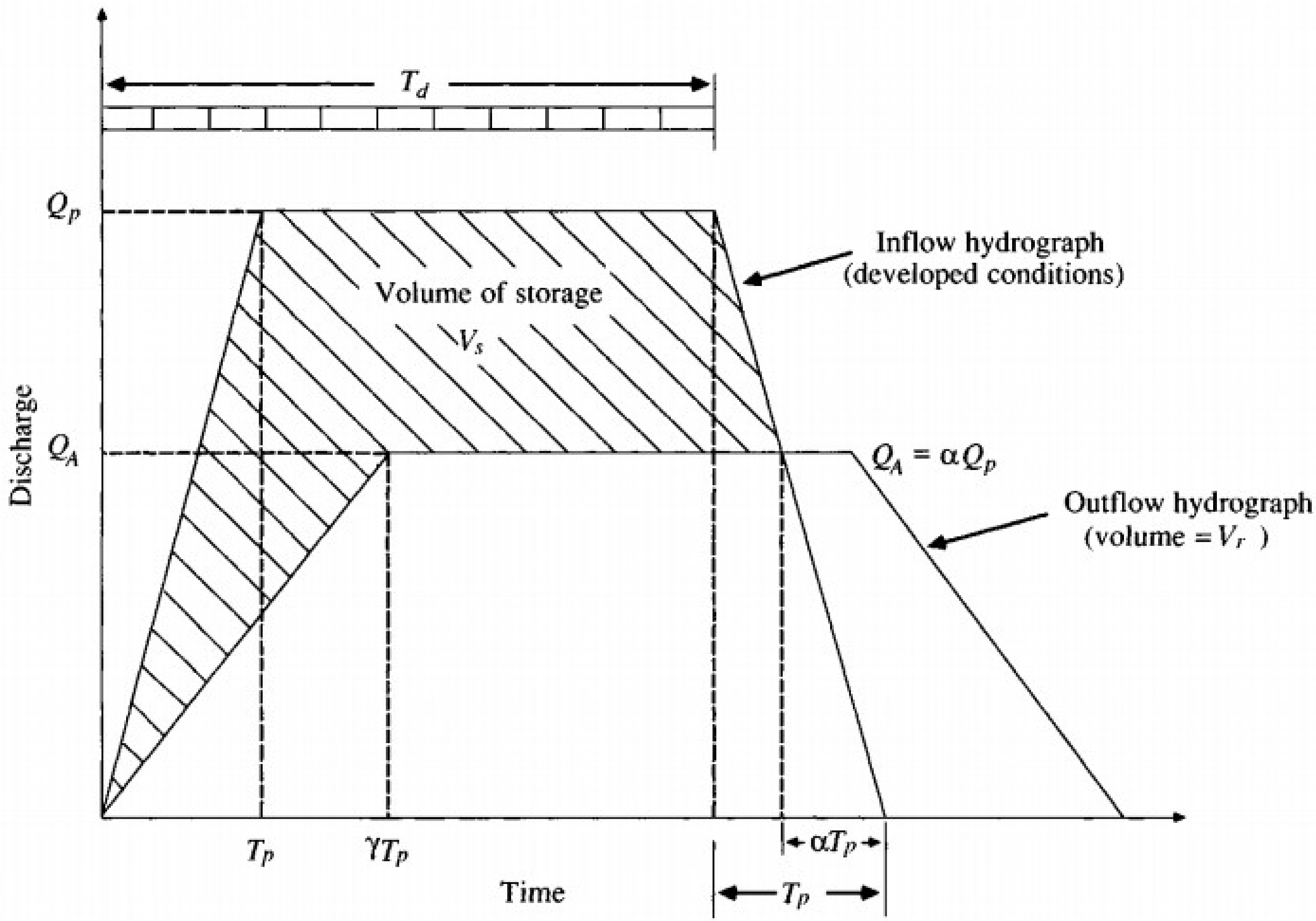
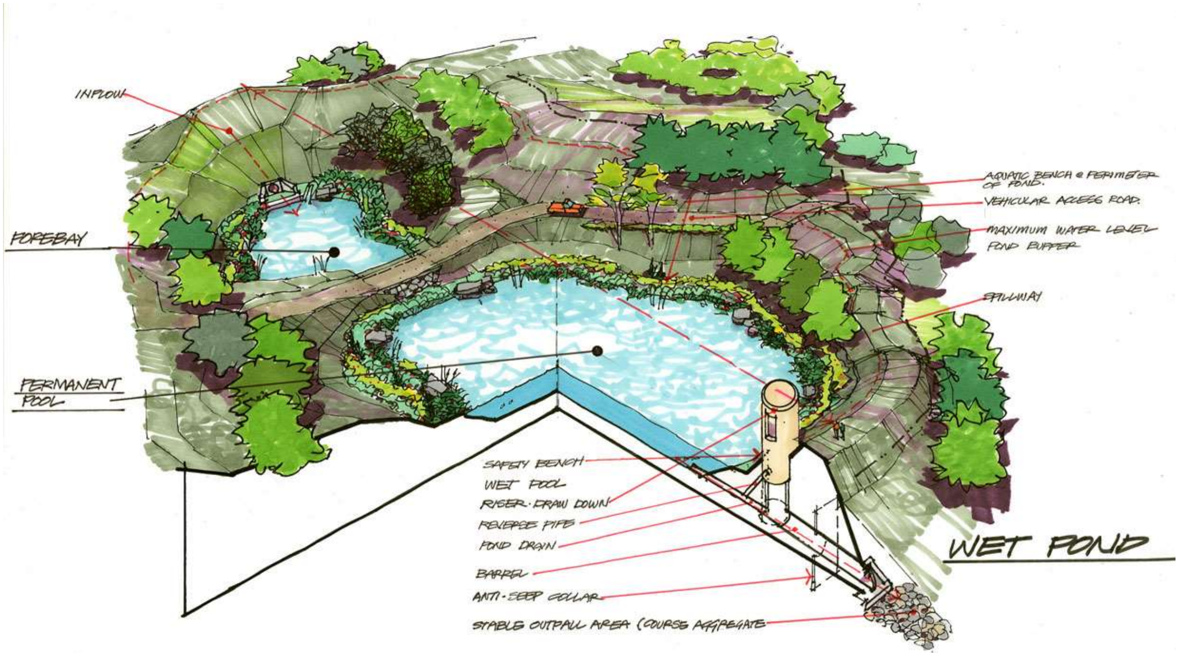
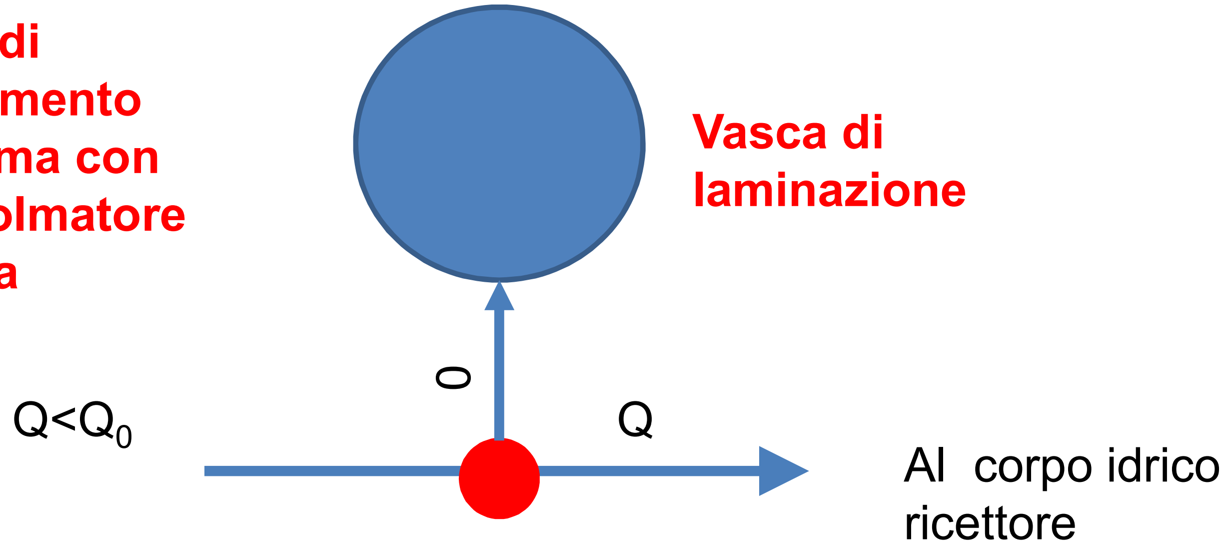


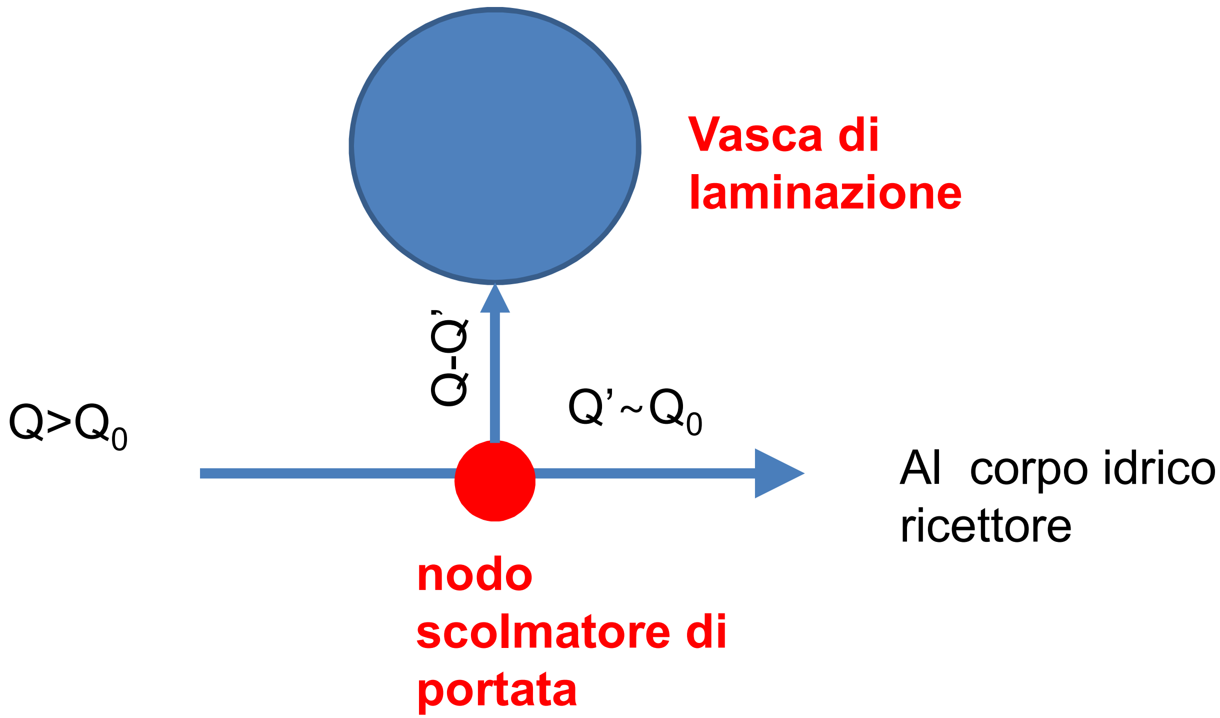

**FIGURE 15.4.4**
Inflow and outflow hydrographs for detention design. The outflow hydrograph is based on the inflow hydrograph for predeveloped conditions or on other more restrictive outflow criteria. (*Source*: Donahue, McCuen, and Bondelid, 1981. Used with permission.)

# Vasche per la laminazione delle piene

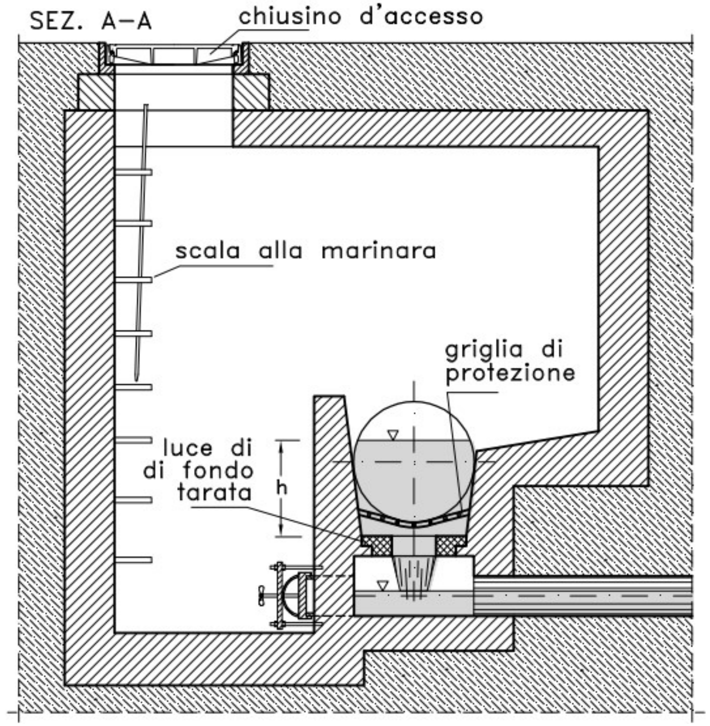


**Schema di funzionamento del sistema con nodo scolmatore di portata**



## 8.4.3 Scolmatore a luce di fondo



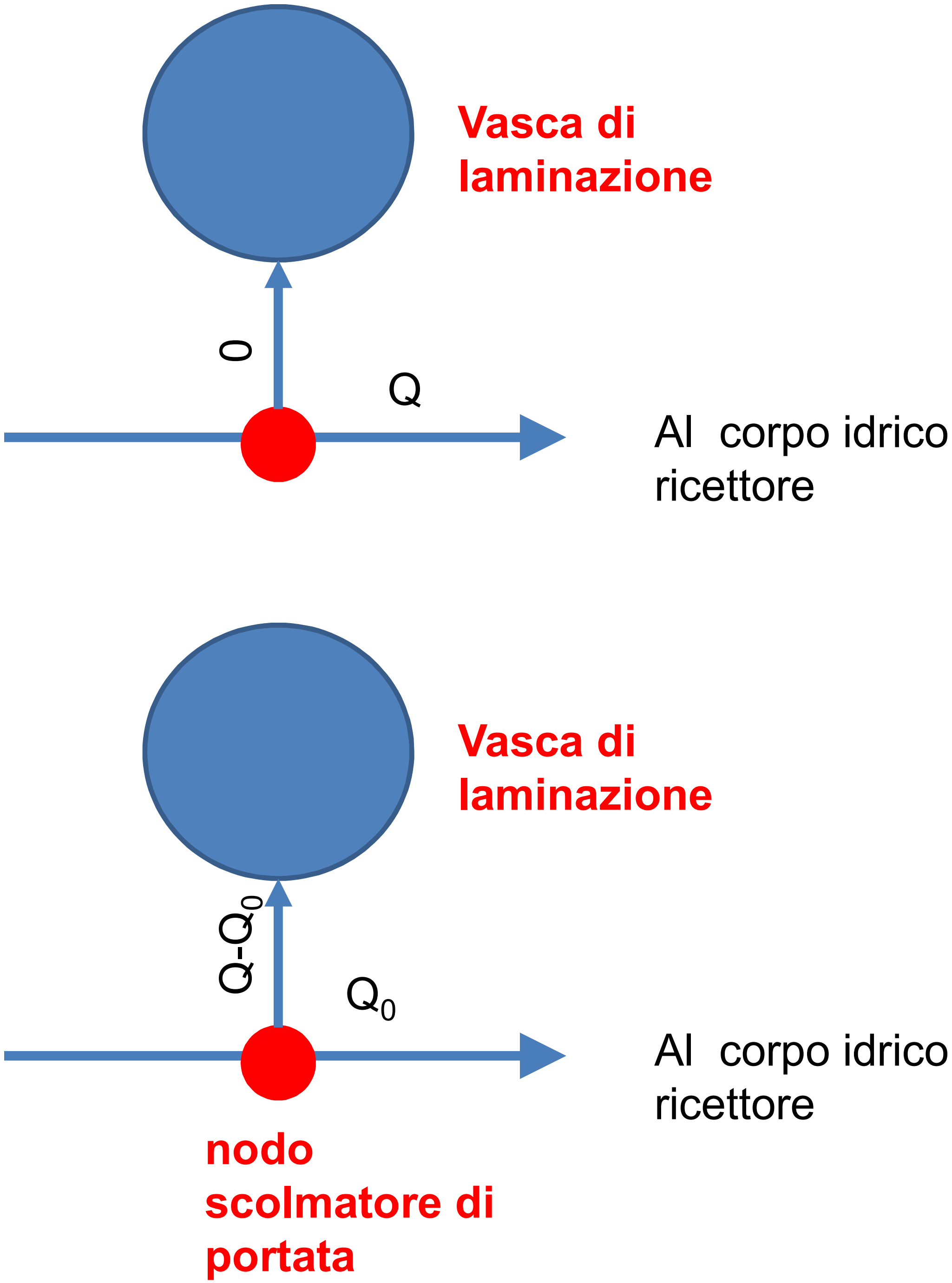

Indicati con $h$ il dislivello tra la superficie libera nella condotta in arrivo e la luce tarata, e con $A$ l'area della luce tarata, la portata $Q$ è data dalla relazione:

$$Q = CA\sqrt{2gh}\,, \tag{8.39}$$

essendo $C \cong 0,61$ il coefficiente di contrazione. La derivata di $Q$ rispetto ad $h$

$$\frac{dQ}{dh} = \frac{C_q A\sqrt{2g}}{2\sqrt{h}}\,, \tag{8.40}$$

**Schema <u>semplificato</u> di funzionamento del sistema con nodo scolmatore di portata**



Calcolare il rischio che la vasca di laminazione risulti insufficiente ad invasare il volume di precipitazione, assumendo che:

a) all'inizio dell'evento di precipitazione la vasca sia vuota,

Variabili aleatorie funzione di altre variabili aleatorie con distribuzione nota

$$P[V \geq V_s] = P[(C - C_0)Sh \geq V_s] = P[h \geq h_{crit}]$$

$$h_{crit} = \frac{V_s}{(C - C_0)S} = \frac{460}{0{,}8 \cdot 20000} = 0{,}029\, m = 29\, mm$$

$$P[Q \geq Q_0] = P[j(C - C_0)S \geq Q_0] = P[j \geq j_{crit}]$$

$$j_{crit} = \frac{Q_0}{(C - C_0)S} = \frac{0{,}6}{0{,}8 \cdot 20000} = 3{,}7 \cdot 10^{-5}\, s/m = 135\, mm/ora$$

$$P[h \geq h_{crit}] = \exp[-0{,}12 * 29] = 0{,}03$$

$$P[j \geq j_{crit}] = \exp[-0{,}006 * 120] = 0{,}44$$

$$R = P[h \geq h_{crit}] \cdot P[j \geq j_{crit}] = 0{,}014$$

Rischio = probabilità di concorrenza di eventi indipendenti

Calcolare il rischio che la vasca di laminazione risulti insufficiente ad invasare il volume di precipitazione, assumendo che:

…

b) all'inizio dell'evento di precipitazione la vasca sia piena a metà.

$$h_{crit} = \frac{0{,}5 \cdot V_s}{(C - C_0)S} = \frac{460}{0{,}8 \cdot 20000} = 0{,}014\,m = 14\,mm$$

$$j_{crit} = \frac{Q_0}{(C - C_0)S} = \frac{0{,}6}{0{,}8 \cdot 20000} = 3{,}7 \cdot 10^{-5}\,s/m = 135\,mm/ora$$

$$P[h \geq h_{crit}] = \exp[-0{,}12 * 14] = 0{,}18$$

$$P[j \geq j_{crit}] = \exp[-0{,}006 * 135] = 0{,}44$$

$$R = P[h \geq h_{crit}] \cdot P[j \geq j_{crit}] = 0{,}08$$

Calcolare il rischio che la vasca di laminazione risulti insufficiente ad invasare il volume di precipitazione, assumendo che:

…

c) Assumendo che il volume disponibile all’invaso nella vasca sia aleatorio, e la sua distribuzione di probabilità sia

$p(v)=0,0013 \exp(-0,0013 v)$.

$$v_{in} = \left(C - C_0\right) Sh$$

$$p\left(h\right) = \zeta \exp\left(-\zeta h\right) \quad \zeta = 0{,}12\ mm^{-1}$$

$$p\left(v_{in}\right) = \frac{dh}{dv_{in}}\, p\left(h\left(v_{in}\right)\right) \Rightarrow p\left(v_{in}\right) = -\frac{\zeta}{\left(C - C_0\right)S} \exp\left(-\frac{\zeta}{\left(C - C_0\right)S}\, v_{in}\right)$$

$$\psi = \frac{\zeta}{\left(C - C_0\right)S} = \frac{0{,}12 \cdot 10^3}{0{,}8 \cdot 2 \cdot 10^4} = 0{,}0075$$

$$P\left[v_{in} \geq v\right] = \int_0^\infty p\left(v_{in}\right) \int_0^{v_{in}} p\left(v\right) dv\, dv_{in} =$$

$$= \int_0^\infty -0{,}0075 \exp\left(-0{,}0075 v_{in}\right) \int_0^{v_{in}} -0{,}013 \exp\left(-0{,}013 v\right) dv\, dv_{in} =$$

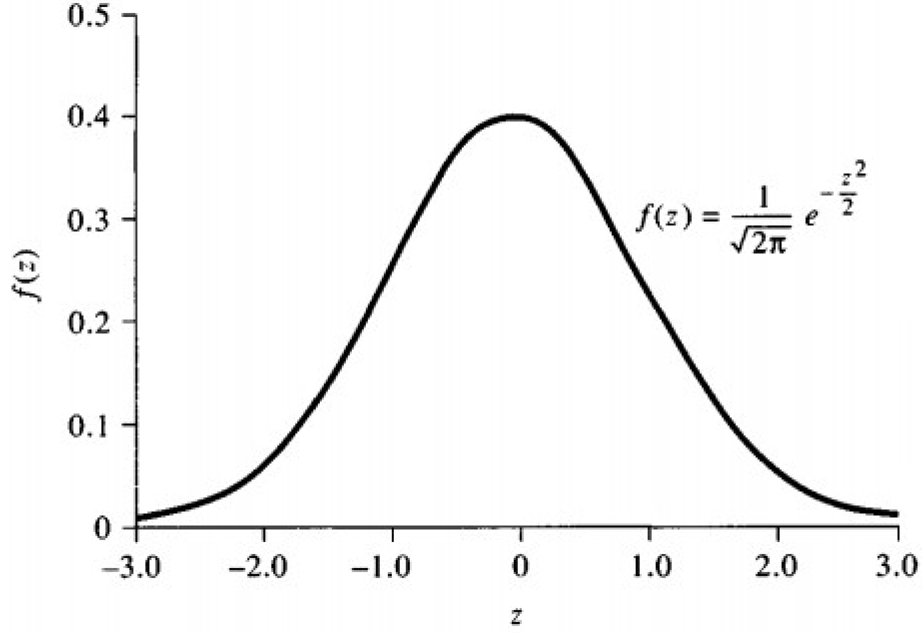
$$\int_0^\infty -0{,}0075 \exp\left(-0{,}0075 v_{in}\right)\left[1 - \exp\left(-0{,}013 v_{in}\right)\right] dv_{in} =$$

$$= 1 - \frac{0{,}0075}{0{,}0075 + 0{,}013} = 0{,}63$$

$$R = P\left[j \geq j_{crtitico}\right] \cdot P\left[v_{in} \geq v\right] = 0{,}44 \cdot 0{,}63 = 0{,}28$$

# Calcolo della probabilità di superamento/non superamento di una variabile con distribuzione gaussiana

**Example 11.2.1.** What is the probability that the standard normal random variable $z$ will be less than $-2$? Less than 1? What is $P(-2 < z < 1)$?



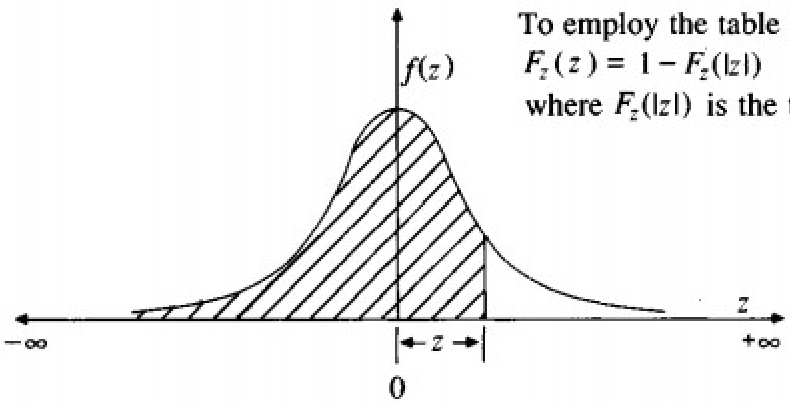

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

*standard normal distribution*

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \qquad -\infty \leq z \leq \infty$$

**FIGURE 11.2.2**
The probability density function for the standard normal distribution ($\mu = 0$, $\sigma = 1$).

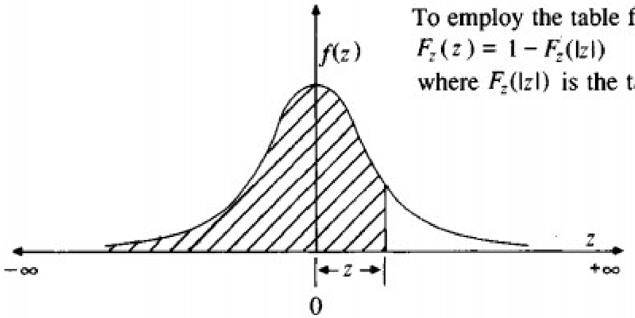



To employ the table for $z < 0$, use
$F_z(z) = 1 - F_z(|z|)$
where $F_z(|z|)$ is the tabulated value.

**TABLE 11.2.1**
## Cumulative probability of the standard normal distribution

| $z$ | .00 | .01 | .02 | .03 | .04 | .05 | .06 | .07 | .08 | .09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0.0** | 0.5000 | 0.5040 | 0.5080 | 0.5120 | 0.5160 | 0.5199 | 0.5239 | 0.5279 | 0.5319 | 0.5359 |
| **0.1** | 0.5398 | 0.5438 | 0.5478 | 0.5517 | 0.5557 | 0.5596 | 0.5636 | 0.5675 | 0.5714 | 0.5753 |
| **0.2** | 0.5793 | 0.5832 | 0.5871 | 0.5910 | 0.5948 | 0.5987 | 0.6026 | 0.6064 | 0.6103 | 0.6141 |
| **0.3** | 0.6179 | 0.6217 | 0.6255 | 0.6293 | 0.6331 | 0.6368 | 0.6406 | 0.6443 | 0.6480 | 0.6517 |
| **0.4** | 0.6554 | 0.6591 | 0.6628 | 0.6664 | 0.6700 | 0.6736 | 0.6772 | 0.6808 | 0.6844 | 0.6879 |
| **0.5** | 0.6915 | 0.6950 | 0.6985 | 0.7019 | 0.7054 | 0.7088 | 0.7123 | 0.7157 | 0.7190 | 0.7224 |
| **0.6** | 0.7257 | 0.7291 | 0.7324 | 0.7357 | 0.7389 | 0.7422 | 0.7454 | 0.7486 | 0.7517 | 0.7549 |
| **0.7** | 0.7580 | 0.7611 | 0.7642 | 0.7673 | 0.7704 | 0.7734 | 0.7764 | 0.7794 | 0.7823 | 0.7852 |
| **0.8** | 0.7881 | 0.7910 | 0.7939 | 0.7967 | 0.7995 | 0.8023 | 0.8051 | 0.8078 | 0.8106 | 0.8133 |
| **0.9** | 0.8159 | 0.8186 | 0.8212 | 0.8238 | 0.8264 | 0.8289 | 0.8315 | 0.8340 | 0.8365 | 0.8389 |
| **1.0** | 0.8413 | 0.8438 | 0.8461 | 0.8485 | 0.8508 | 0.8531 | 0.8554 | 0.8577 | 0.8599 | 0.8621 |
| **1.1** | 0.8643 | 0.8665 | 0.8686 | 0.8708 | 0.8729 | 0.8749 | 0.8770 | 0.8790 | 0.8810 | 0.8830 |
| **1.2** | 0.8849 | 0.8869 | 0.8888 | 0.8907 | 0.8925 | 0.8944 | 0.8962 | 0.8980 | 0.8997 | 0.9015 |
| **1.3** | 0.9032 | 0.9049 | 0.9066 | 0.9082 | 0.9099 | 0.9115 | 0.9131 | 0.9147 | 0.9162 | 0.9177 |
| **1.4** | 0.9192 | 0.9207 | 0.9222 | 0.9236 | 0.9251 | 0.9265 | 0.9279 | 0.9292 | 0.9306 | 0.9319 |
| **1.5** | 0.9332 | 0.9345 | 0.9357 | 0.9370 | 0.9382 | 0.9394 | 0.9406 | 0.9418 | 0.9429 | 0.9441 |
| **1.6** | 0.9452 | 0.9463 | 0.9474 | 0.9484 | 0.9495 | 0.9505 | 0.9515 | 0.9525 | 0.9535 | 0.9545 |
| **1.7** | 0.9554 | 0.9564 | 0.9573 | 0.9582 | 0.9591 | 0.9599 | 0.9608 | 0.9616 | 0.9625 | 0.9633 |
| **1.8** | 0.9641 | 0.9649 | 0.9656 | 0.9664 | 0.9671 | 0.9678 | 0.9686 | 0.9693 | 0.9699 | 0.9706 |
| **1.9** | 0.9713 | 0.9719 | 0.9726 | 0.9732 | 0.9738 | 0.9744 | 0.9750 | 0.9756 | 0.9761 | 0.9767 |
| **2.0** | 0.9772 | 0.9778 | 0.9783 | 0.9788 | 0.9793 | 0.9798 | 0.9803 | 0.9808 | 0.9812 | 0.9817 |
| **2.1** | 0.9821 | 0.9826 | 0.9830 | 0.9834 | 0.9838 | 0.9842 | 0.9846 | 0.9850 | 0.9854 | 0.9857 |
| **2.2** | 0.9861 | 0.9864 | 0.9868 | 0.9871 | 0.9875 | 0.9878 | 0.9881 | 0.9884 | 0.9887 | 0.9890 |
| **2.3** | 0.9893 | 0.9896 | 0.9898 | 0.9901 | 0.9904 | 0.9906 | 0.9909 | 0.9911 | 0.9913 | 0.9916 |
| **2.4** | 0.9918 | 0.9920 | 0.9922 | 0.9925 | 0.9927 | 0.9929 | 0.9931 | 0.9932 | 0.9934 | 0.9936 |
| **2.5** | 0.9938 | 0.9940 | 0.9941 | 0.9943 | 0.9945 | 0.9946 | 0.9948 | 0.9949 | 0.9951 | 0.9952 |
| **2.6** | 0.9953 | 0.9955 | 0.9956 | 0.9957 | 0.9959 | 0.9960 | 0.9961 | 0.9962 | 0.9963 | 0.9964 |
| **2.7** | 0.9965 | 0.9966 | 0.9967 | 0.9968 | 0.9969 | 0.9970 | 0.9971 | 0.9972 | 0.9973 | 0.9974 |
| **2.8** | 0.9974 | 0.9975 | 0.9976 | 0.9977 | 0.9977 | 0.9978 | 0.9979 | 0.9979 | 0.9980 | 0.9981 |
| **2.9** | 0.9981 | 0.9982 | 0.9982 | 0.9983 | 0.9984 | 0.9984 | 0.9985 | 0.9985 | 0.9986 | 0.9986 |
| **3.0** | 0.9987 | 0.9987 | 0.9987 | 0.9988 | 0.9988 | 0.9989 | 0.9989 | 0.9989 | 0.9990 | 0.9990 |
| **3.1** | 0.9990 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9993 | 0.9993 |
| **3.2** | 0.9993 | 0.9993 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9994 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 |
| **3.3** | 0.9995 | 0.9995 | 0.9995 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9997 |
| **3.4** | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9998 |

Source: Grant, E. L., and R. S. Leavenworth, *Statistical Quality and Control*, Table A, p.643, McGraw-Hill, New York, 1972. Used with permission.

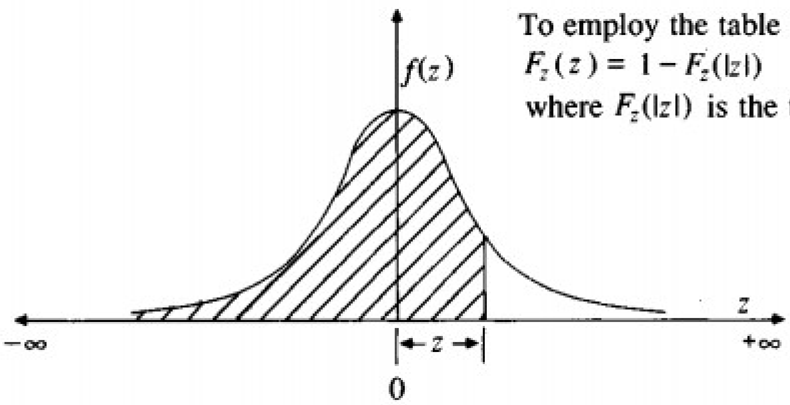



To employ the table for $z < 0$, use
$F_z(z) = 1 - F_z(|z|)$
where $F_z(|z|)$ is the tabulated value.

$$F[-2] = 1 - F[2] = 1 - 0,9772$$
$$F[1] = 0,8413$$
$$P[-2 \leq z \leq 1] = F[1] - F[-2] =$$
$$= 0,8413 - 1 + 0,9772 = 0,8185$$

| | | |
|---|---|---|
| **2.0** | 0.9772 | 0. |
| **2.1** | 0.9821 | 0 |

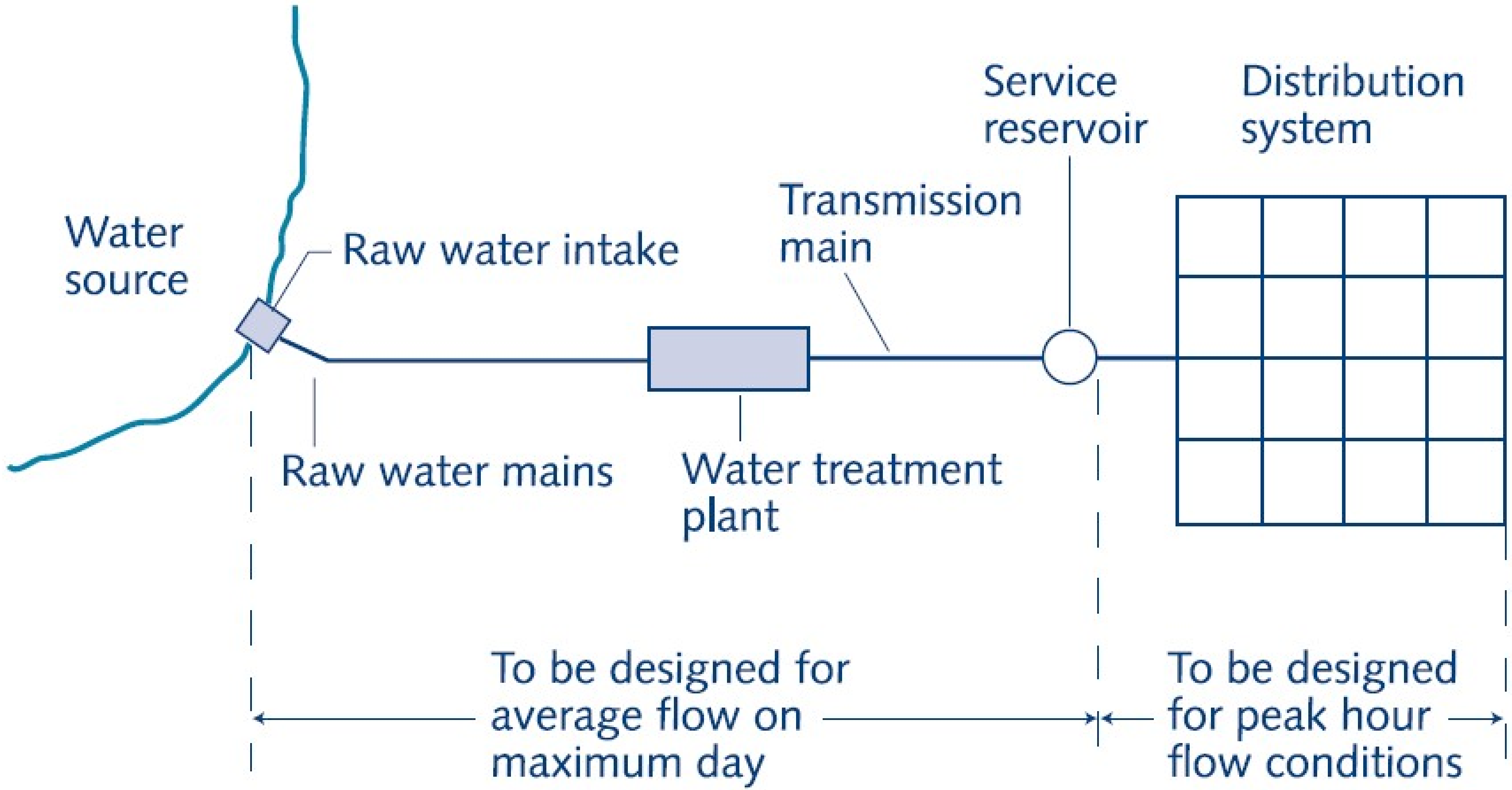
| | | |
|---|---|---|
| **0.9** | 0.8159 | 0 |
| **1.0** | 0.8413 | 0 |
| **1.1** | 0.8643 | 0 |




To employ the table for $z < 0$, use
$F_z(z) = 1 - F_z(|z|)$
where $F_z(|z|)$ is the tabulated value.

Viene realizzato un sistema di distribuzione (serbatoio, impianto di potabilizzazione e rete di distribuzione) in un area urbana in rapida espansione. Le opere sono dimensionate in proporzione al consumo medio giornaliero G:

G= N d; nella quale: N=numero di abitanti; d=dotazione= consumo medio giornaliero pro capite.



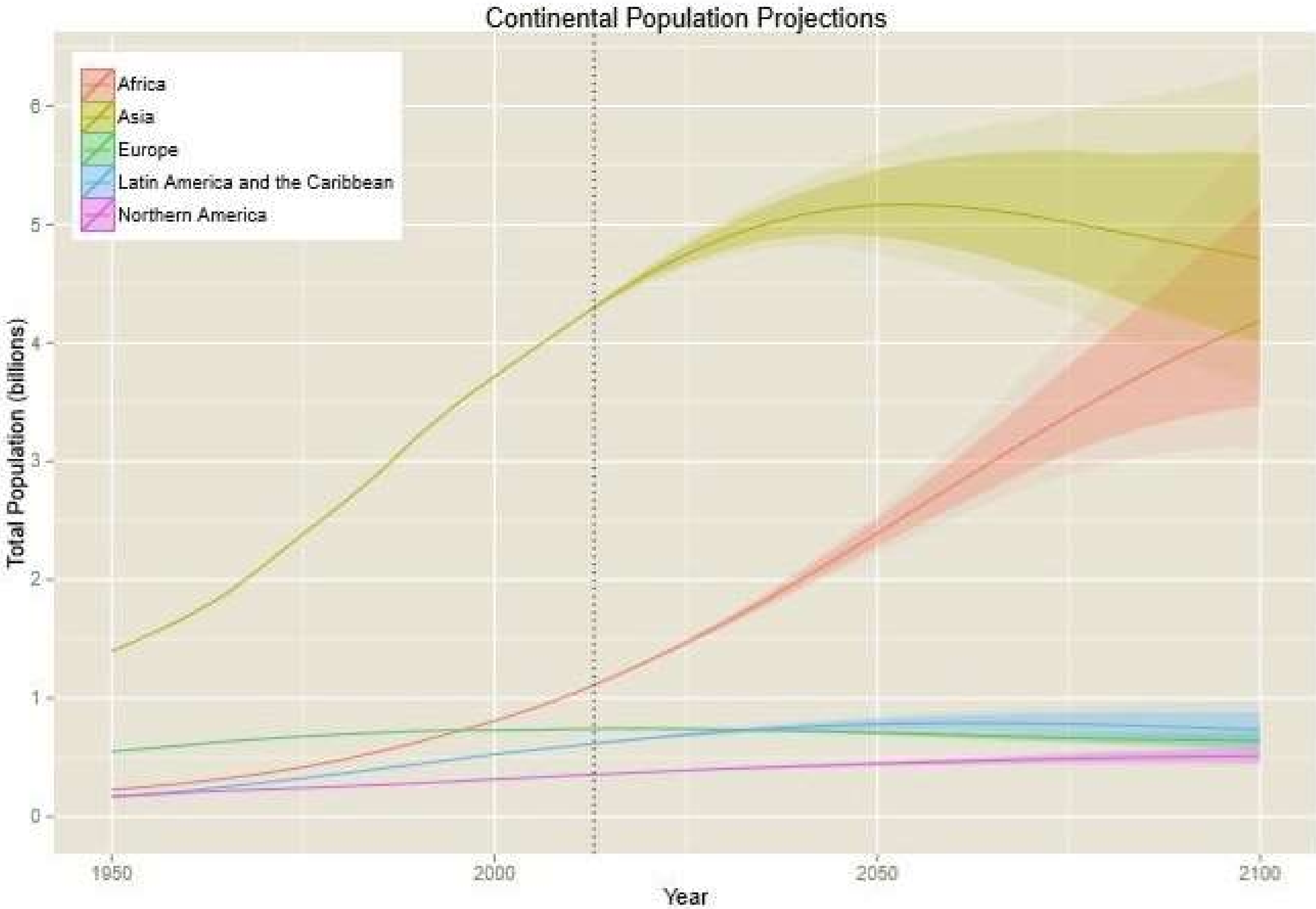
Le opere sono dimensionate in proporzione al consumo medio giornaliero G:
$G= N\, d$; nella quale: $N$=numero di abitanti; $d$=dotazione= consumo medio giornaliero pro capite.

Secondo una stima della crescita della popolazione il numero medio $m_N$ di abitanti crescerà nel tempo:

$$m_N(t)=50000+1000*t^{0,5}$$

L’indeterminazione sulla stima della popolazione media, si suppone anch’essa sia espressa dallo scarto quadratico medio $s_N$ di N, funzione crescente del tempo.

$$s_N(t)=500*t^{0,7}$$



Continental Population Projections
Africa
Asia
Europe
Latin America and the Caribbean
Northern America
Total Population (billions)
0
1
2
3
4
5
6
Year
1950
2000
2050
2100

$m_N(t)=50000+1000*t^{0,5}$

$s_N(t)=500*t^{0,7}$

Se le opere sono dimensionate per $1,2N_0$, ed $N_0$ è la popolazione al tempo t=0, Quando il rischio di fallanza del sistema di distribuzione sarà R>0,2? Si assuma che N segua una distribuzione lognormale e y=logN segua una distribuzione di gauss.

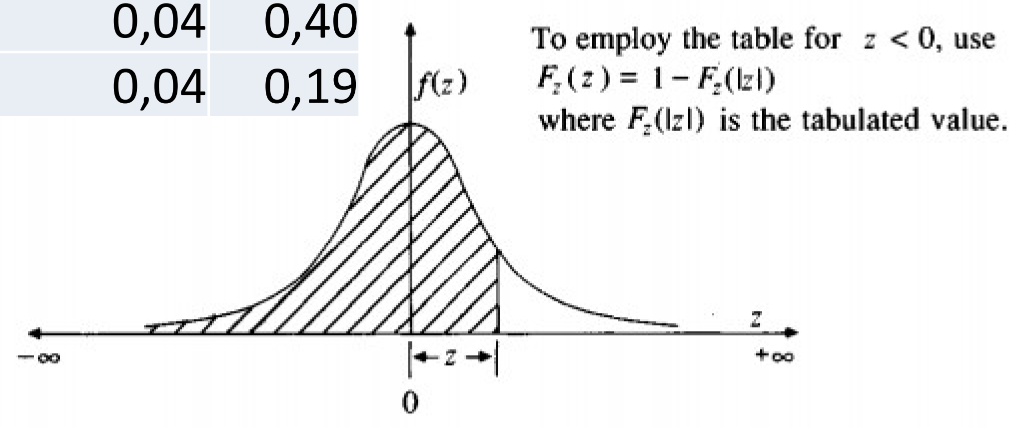
$R>0,2 \leftrightarrow F(z)<0,8; z(\text{Gauss})<0,85$

| t | N | sN | y=logN | sy=sN/N | z |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 50000 | 0,00 | 4,70 | 0,00 | |
| 1 | 51000 | 500,00 | 4,71 | 0,01 | 7,20 |
| 2 | 52000 | 812,25 | 4,72 | 0,02 | 3,98 |
| 3 | 53000 | 1078,83 | 4,72 | 0,02 | 2,65 |
| 4 | 54000 | 1319,51 | 4,73 | 0,02 | 1,87 |
| 5 | 55000 | 1542,58 | 4,74 | 0,03 | 1,35 |
| 6 | 56000 | 1752,57 | 4,75 | 0,03 | 0,96 |
| 7 | 57000 | 1952,26 | 4,76 | 0,03 | 0,65 |
| 8 | 58000 | 2143,55 | 4,76 | 0,04 | 0,40 |
| 9 | 59000 | 2327,77 | 4,77 | 0,04 | 0,19 |

$m_N(t)=50000+1000*t^{0,5}$

$s_N(t)=500*t^{0,7}$

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$




$$y=f(N)=logN$$

$$m_y=f(m_N)=log(m_N)$$

$$s_y^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial N}\right)^2 s_N^2 = \left(\frac{1}{m_N}\right)^2 s_N^2$$

**R>0,2 ↔ F(z)<0,8; z(Gauss)<0,85**

E' difficile prevedere l'impatto che lo sviluppo urbanistico, ed il concomitante sviluppo economico potrebbero avere sulle abitudini della popolazione. La dotazione media $m_d$=250 l/g/abitante potrebbe crescere a causa del miglioramento delle condizioni di vita o diminuire per l'implementazione di misure di risparmio idrico con il miglioramento delle condizioni economiche della zona. Si assume quindi che lo scarto quadratico medio di d sia $s_d$=10*t l/g/abitante.

the United Nations has estimated that 70% of the global population will live in an urban environment by 2050.
What kind of environment will that be?

Assumendo che G sia distribuita in maniera Gaussiana,

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_G \sqrt{2\pi}} \exp\left[ \frac{-(G - \mu_G)^2}{2\sigma_G{}^2} \right]$$

Calcolare come varia il rischio di fallanza con il tempo

$$G = Nd$$

$$\mu_G = \mu_N \mu_d$$

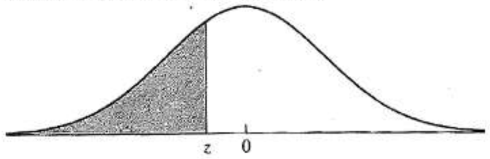
$$\sigma_G = \left.\frac{\partial G}{\partial N}\right|_{\mu_d} \sigma_N + \left.\frac{\partial G}{\partial d}\right|_{\mu_N} \sigma_d$$

$$f(G) = \frac{1}{\sigma_G \sqrt{2\pi}} \exp\left[ \frac{-(G - \mu_G)^2}{2\sigma_G{}^2} \right]$$

Analisi del primo ordine

| t | Nmed | sN | dmed | sd | Gmed | sG |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 51000 | 500 | 250 | 10 | 12.750.000,00 | 635000 |
| 2 | 51414,21 | 812,2524 | 250 | 20 | 12.853.553,39 | 1231347 |
| 3 | 51732,05 | 1078,835 | 250 | 30 | 12.933.012,70 | 1821670 |
| 4 | 52000 | 1319,508 | 250 | 40 | 13.000.000,00 | 2409877 |
| 5 | 52236,07 | 1542,585 | 250 | 50 | 13.059.016,99 | 2997450 |
| 6 | 52449,49 | 1752,572 | 250 | 60 | 13.112.372,44 | 3585112 |
| 7 | 52645,75 | 1952,264 | 250 | 70 | 13.161.437,83 | 4173269 |
| 8 | 52828,43 | 2143,547 | 250 | 80 | 13.207.106,78 | 4762161 |
| 9 | 53000 | 2327,768 | 250 | 90 | 13.250.000,00 | 5351942 |
| 10 | 53162,28 | 2505,936 | 250 | 100 | 13.290.569,42 | 5942712 |
| 11 | 53316,62 | 2678,828 | 250 | 110 | 13.329.156,20 | 6534536 |
| 12 | 53464,1 | 2847,062 | 250 | 120 | 13.366.025,40 | 7127458 |
| 13 | 53605,55 | 3011,136 | 250 | 130 | 13.401.387,82 | 7721506 |
| 14 | 53741,66 | 3171,463 | 250 | 140 | 13.435.414,35 | 8316698 |
| 15 | 53872,98 | 3328,388 | 250 | 150 | 13.468.245,84 | 8913044 |
| 16 | 54000 | 3482,202 | 250 | 160 | 13.500.000,00 | 9510551 |
| 17 | 54123,11 | 3633,158 | 250 | 170 | 13.530.776,41 | 10109217 |
| 18 | 54242,64 | 3781,471 | 250 | 180 | 13.560.660,17 | 10709043 |
| 19 | 54358,9 | 3927,331 | 250 | 190 | 13.589.724,74 | 11310024 |
| 20 | 54472,14 | 4070,905 | 250 | 200 | 13.618.033,99 | 11912154 |

**TABLE A.2** Cumulative normal distribution (*z* table)




| z | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **−3.6** | .0002 | .0002 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 |
| **−3.5** | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 |
| **−3.4** | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0002 |
| **−3.3** | .0005 | .0005 | .0005 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0003 |
| **−3.2** | .0007 | .0007 | .0006 | .0006 | .0006 | .0006 | .0006 | .0005 | .0005 | .0005 |
| **−3.1** | .0010 | .0009 | .0009 | .0009 | .0008 | .0008 | .0008 | .0008 | .0007 | .0007 |
| **−3.0** | .0013 | .0013 | .0013 | .0012 | .0012 | .0011 | .0011 | .0011 | .0010 | .0010 |
| **−2.9** | .0019 | .0018 | .0018 | .0017 | .0016 | .0016 | .0015 | .0015 | .0014 | .0014 |
| **−2.8** | .0026 | .0025 | .0024 | .0023 | .0023 | .0022 | .0021 | .0021 | .0020 | .0019 |
| **−2.7** | .0035 | .0034 | .0033 | .0032 | .0031 | .0030 | .0029 | .0028 | .0027 | .0026 |
| **−2.6** | .0047 | .0045 | .0044 | .0043 | .0041 | .0040 | .0039 | .0038 | .0037 | .0036 |
| **−2.5** | .0062 | .0060 | .0059 | .0057 | .0055 | .0054 | .0052 | .0051 | .0049 | .0048 |
| **−2.4** | .0082 | .0080 | .0078 | .0075 | .0073 | .0071 | .0069 | .0068 | .0066 | .0064 |
| **−2.3** | .0107 | .0104 | .0102 | .0099 | .0096 | .0094 | .0091 | .0089 | .0087 | .0084 |
| **−2.2** | .0139 | .0136 | .0132 | .0129 | .0125 | .0122 | .0119 | .0116 | .0113 | .0110 |
| **−2.1** | .0179 | .0174 | .0170 | .0166 | .0162 | .0158 | .0154 | .0150 | .0146 | .0143 |
| **−2.0** | .0228 | .0222 | .0217 | .0212 | .0207 | .0202 | .0197 | .0192 | .0188 | .0183 |
| **−1.9** | .0287 | .0281 | .0274 | .0268 | .0262 | .0256 | .0250 | .0244 | .0239 | .0233 |
| **−1.8** | .0359 | .0351 | .0344 | .0336 | .0329 | .0322 | .0314 | .0307 | .0301 | .0294 |
| **−1.7** | .0446 | .0436 | .0427 | .0418 | .0409 | .0401 | .0392 | .0384 | .0375 | .0367 |
| **−1.6** | .0548 | .0537 | .0526 | .0516 | .0505 | .0495 | .0485 | .0475 | .0465 | .0455 |
| **−1.5** | .0668 | .0655 | .0643 | .0630 | .0618 | .0606 | .0594 | .0582 | .0571 | .0559 |
| **−1.4** | .0808 | .0793 | .0778 | .0764 | .0749 | .0735 | .0721 | .0708 | .0694 | .0681 |
| **−1.3** | .0968 | .0951 | .0934 | .0918 | .0901 | .0885 | .0869 | .0853 | .0838 | .0823 |
| **−1.2** | .1151 | .1131 | .1112 | .1093 | .1075 | .1056 | .1038 | .1020 | .1003 | .0985 |
| **−1.1** | .1357 | .1335 | .1314 | .1292 | .1271 | .1251 | .1230 | .1210 | .1190 | .1170 |
| **−1.0** | .1587 | .1562 | .1539 | .1515 | .1492 | .1469 | .1446 | .1423 | .1401 | .1379 |
| **−0.9** | .1841 | .1814 | .1788 | .1762 | .1736 | .1711 | .1685 | .1660 | .1635 | .1611 |
| **−0.8** | .2119 | .2090 | .2061 | .2033 | .2005 | .1977 | .1949 | .1922 | .1894 | .1867 |
| **−0.7** | .2420 | .2389 | .2358 | .2327 | .2296 | .2266 | .2236 | .2206 | .2177 | .2148 |
| **−0.6** | .2743 | .2709 | .2676 | .2643 | .2611 | .2578 | .2546 | .2514 | .2483 | .2451 |
| **−0.5** | .3085 | .3050 | .3015 | .2981 | .2946 | .2912 | .2877 | .2843 | .2810 | .2776 |
| **−0.4** | .3446 | .3409 | .3372 | .3336 | .3300 | .3264 | .3228 | .3192 | .3156 | .3121 |
| **−0.3** | .3821 | .3783 | .3745 | .3707 | .3669 | .3632 | .3594 | .3557 | .3520 | .3483 |
| **−0.2** | .4207 | .4168 | .4129 | .4090 | .4052 | .4013 | .3974 | .3936 | .3897 | .3859 |
| **−0.1** | .4602 | .4562 | .4522 | .4483 | .4443 | .4404 | .4364 | .4325 | .4286 | .4247 |
| **−0.0** | .5000 | .4960 | .4920 | .4880 | .4840 | .4801 | .4761 | .4721 | .4681 | .4641 |

G(progetto) 12.750.000 l/g

| z | R |
|---|---|
| 0 | 0,5 |
| -0,0841 | 0,533511 |
| -0,10046 | 0,540012 |
| -0,10374 | 0,541312 |
| -0,10309 | 0,541056 |
| -0,10108 | 0,540255 |
| -0,09859 | 0,539268 |
| -0,09599 | 0,538235 |
| -0,09342 | 0,537217 |
| -0,09096 | 0,536239 |
| -0,08863 | 0,535312 |
| -0,08643 | 0,534438 |
| -0,08436 | 0,533615 |
| -0,08241 | 0,532841 |
| -0,08058 | 0,532113 |
| -0,07886 | 0,531428 |
| -0,07723 | 0,530781 |
| -0,0757 | 0,530171 |
| -0,07425 | 0,529593 |
| -0,07287 | 0,529045 |

$$R = P\left[G \geq G_{progetto}\right] =$$

$$\int_{G_{progetto}}^{\infty} \frac{1}{\sigma_G\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(G-\mu_G)^2}{2\sigma_G{}^2}\right] dG$$

$$z_{progetto} = \frac{G_{progetto} - \mu_G}{\sigma_G}$$

$$R = \int_{z_{progetto}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(z)^2}{2}\right] dz$$

G(progetto) 15.000.000 l/g

$$R = P\left[G \geq G_{progetto}\right] =$$

$$\int_{G_{progetto}}^{\infty} \frac{1}{\sigma_G \sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(G-\mu_G)^2}{2\sigma_G^{\,2}}\right] dG$$

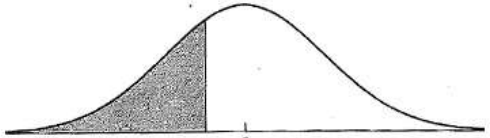
$$z_{progetto} = \frac{G_{progetto} - \mu_G}{\sigma_G}$$

$$R = \int_{z_{progetto}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[\frac{-(z)^2}{2}\right] dz$$

| z | R |
|---|---|
| 3,543307 | 0,000198 |
| 1,743169 | 0,040652 |
| 1,134666 | 0,128258 |
| 0,829918 | 0,203293 |
| 0,647545 | 0,25864 |
| 0,526518 | 0,299264 |
| 0,440557 | 0,329767 |
| 0,376487 | 0,353277 |
| 0,326984 | 0,37184 |
| 0,287652 | 0,386807 |
| 0,255694 | 0,399093 |
| 0,229251 | 0,409337 |
| 0,207034 | 0,417992 |
| 0,188126 | 0,425389 |
| 0,171855 | 0,431776 |
| 0,15772 | 0,437339 |
| 0,145335 | 0,442223 |
| 0,134404 | 0,446542 |
| 0,124693 | 0,450383 |
| 0,116013 | 0,453821 |

# Quale dovrebbe essere il valore di G(di progetto) affinchè il rischio sia R< 0,2?

**TABLE A.2** Cumulative normal distribution ($z$ table)




| $z$ | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −3.6 | .0002 | .0002 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 | .0001 |
| −3.5 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 | .0002 |
| −3.4 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0003 | .0002 |
| −3.3 | .0005 | .0005 | .0005 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0004 | .0003 |
| −3.2 | .0007 | .0007 | .0006 | .0006 | .0006 | .0006 | .0006 | .0005 | .0005 | .0005 |
| −3.1 | .0010 | .0009 | .0009 | .0009 | .0008 | .0008 | .0008 | .0008 | .0007 | .0007 |
| −3.0 | .0013 | .0013 | .0013 | .0012 | .0012 | .0011 | .0011 | .0011 | .0010 | .0010 |
| −2.9 | .0019 | .0018 | .0018 | .0017 | .0016 | .0016 | .0015 | .0015 | .0014 | .0014 |
| −2.8 | .0026 | .0025 | .0024 | .0023 | .0023 | .0022 | .0021 | .0021 | .0020 | .0019 |
| −2.7 | .0035 | .0034 | .0033 | .0032 | .0031 | .0030 | .0029 | .0028 | .0027 | .0026 |
| −2.6 | .0047 | .0045 | .0044 | .0043 | .0041 | .0040 | .0039 | .0038 | .0037 | .0036 |
| −2.5 | .0062 | .0060 | .0059 | .0057 | .0055 | .0054 | .0052 | .0051 | .0049 | .0048 |
| −2.4 | .0082 | .0080 | .0078 | .0075 | .0073 | .0071 | .0069 | .0068 | .0066 | .0064 |
| −2.3 | .0107 | .0104 | .0102 | .0099 | .0096 | .0094 | .0091 | .0089 | .0087 | .0084 |
| −2.2 | .0139 | .0136 | .0132 | .0129 | .0125 | .0122 | .0119 | .0116 | .0113 | .0110 |
| −2.1 | .0179 | .0174 | .0170 | .0166 | .0162 | .0158 | .0154 | .0150 | .0146 | .0143 |
| −2.0 | .0228 | .0222 | .0217 | .0212 | .0207 | .0202 | .0197 | .0192 | .0188 | .0183 |
| −1.9 | .0287 | .0281 | .0274 | .0268 | .0262 | .0256 | .0250 | .0244 | .0239 | .0233 |
| −1.8 | .0359 | .0351 | .0344 | .0336 | .0329 | .0322 | .0314 | .0307 | .0301 | .0294 |
| −1.7 | .0446 | .0436 | .0427 | .0418 | .0409 | .0401 | .0392 | .0384 | .0375 | .0367 |
| −1.6 | .0548 | .0537 | .0526 | .0516 | .0505 | .0495 | .0485 | .0475 | .0465 | .0455 |
| −1.5 | .0668 | .0655 | .0643 | .0630 | .0618 | .0606 | .0594 | .0582 | .0571 | .0559 |
| −1.4 | .0808 | .0793 | .0778 | .0764 | .0749 | .0735 | .0721 | .0708 | .0694 | .0681 |
| −1.3 | .0968 | .0951 | .0934 | .0918 | .0901 | .0885 | .0869 | .0853 | .0838 | .0823 |
| −1.2 | .1151 | .1131 | .1112 | .1093 | .1075 | .1056 | .1038 | .1020 | .1003 | .0985 |
| −1.1 | .1357 | .1335 | .1314 | .1292 | .1271 | .1251 | .1230 | .1210 | .1190 | .1170 |
| −1.0 | .1587 | .1562 | .1539 | .1515 | .1492 | .1469 | .1446 | .1423 | .1401 | .1379 |
| −0.9 | .1841 | .1814 | .1788 | .1762 | .1736 | .1711 | .1685 | .1660 | .1635 | .1611 |
| −0.8 | .2119 | .2090 | .2061 | .2033 | .2005 | .1977 | .1949 | .1922 | .1894 | .1867 |
| −0.7 | .2420 | .2389 | .2358 | .2327 | .2296 | .2266 | .2236 | .2206 | .2177 | .2148 |
| −0.6 | .2743 | .2709 | .2676 | .2643 | .2611 | .2578 | .2546 | .2514 | .2483 | .2451 |
| −0.5 | .3085 | .3050 | .3015 | .2981 | .2946 | .2912 | .2877 | .2843 | .2810 | .2776 |
| −0.4 | .3446 | .3409 | .3372 | .3336 | .3300 | .3264 | .3228 | .3192 | .3156 | .3121 |
| −0.3 | .3821 | .3783 | .3745 | .3707 | .3669 | .3632 | .3594 | .3557 | .3520 | .3483 |
| −0.2 | .4207 | .4168 | .4129 | .4090 | .4052 | .4013 | .3974 | .3936 | .3897 | .3859 |
| −0.1 | .4602 | .4562 | .4522 | .4483 | .4443 | .4404 | .4364 | .4325 | .4286 | .4247 |
| −0.0 | .5000 | .4960 | .4920 | .4880 | .4840 | .4801 | .4761 | .4721 | .4681 | .4641 |

$$R = \int_{z_{progetto}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} exp\left[\frac{-(z)^2}{2}\right] dz$$

$$= \int_{-\infty}^{-z_{progetto}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} exp\left[\frac{-(z)^2}{2}\right] dz = 0,2$$

$$z_{progetto} = \frac{G_{progetto} - \mu_G}{\sigma_G} = 0,84$$

Calcolare di G(di progetto) assumendo che R sia sempre inferiore a 0,2?

$$\mu_G = \mu_N \mu_d = \left[50000 + 10000\sqrt{t}\right] \cdot 250$$

$$\sigma_G = \left.\frac{\partial G}{\partial N}\right|_{\mu_d} \sigma_N + \left.\frac{\partial G}{\partial d}\right|_{\mu_N} \sigma_d = 250 \cdot 500t^{0,7} + \left[50000 + 10000\sqrt{t}\right]10t$$

$$\frac{G_{progetto} - \mu_G}{\sigma_G} = z_{progetto}$$

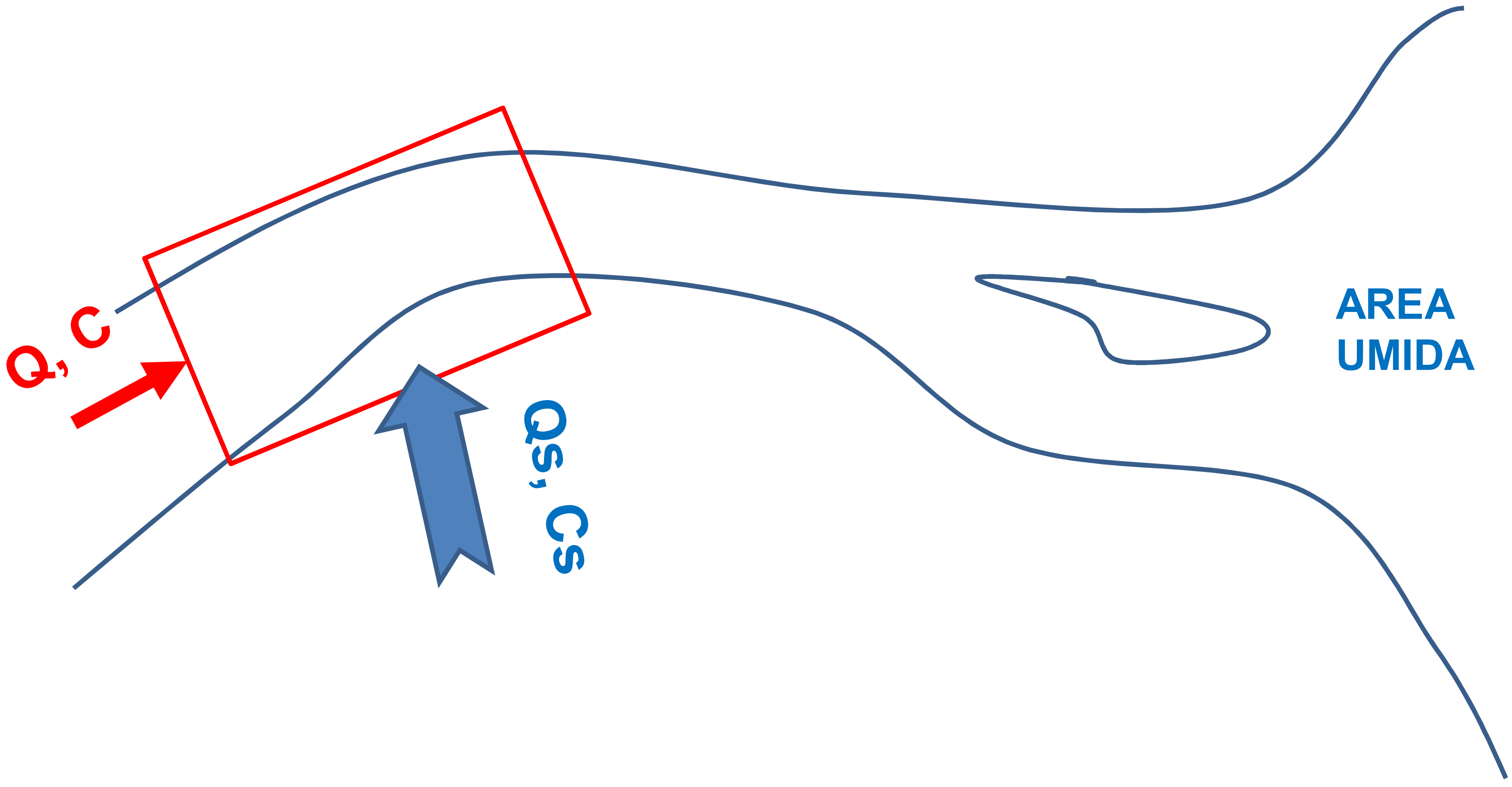
$$\frac{dz_{progetto}}{dt} = 0 \Rightarrow t^* \Rightarrow min(z_{progetto}) = z_{progetto}(t^*)$$

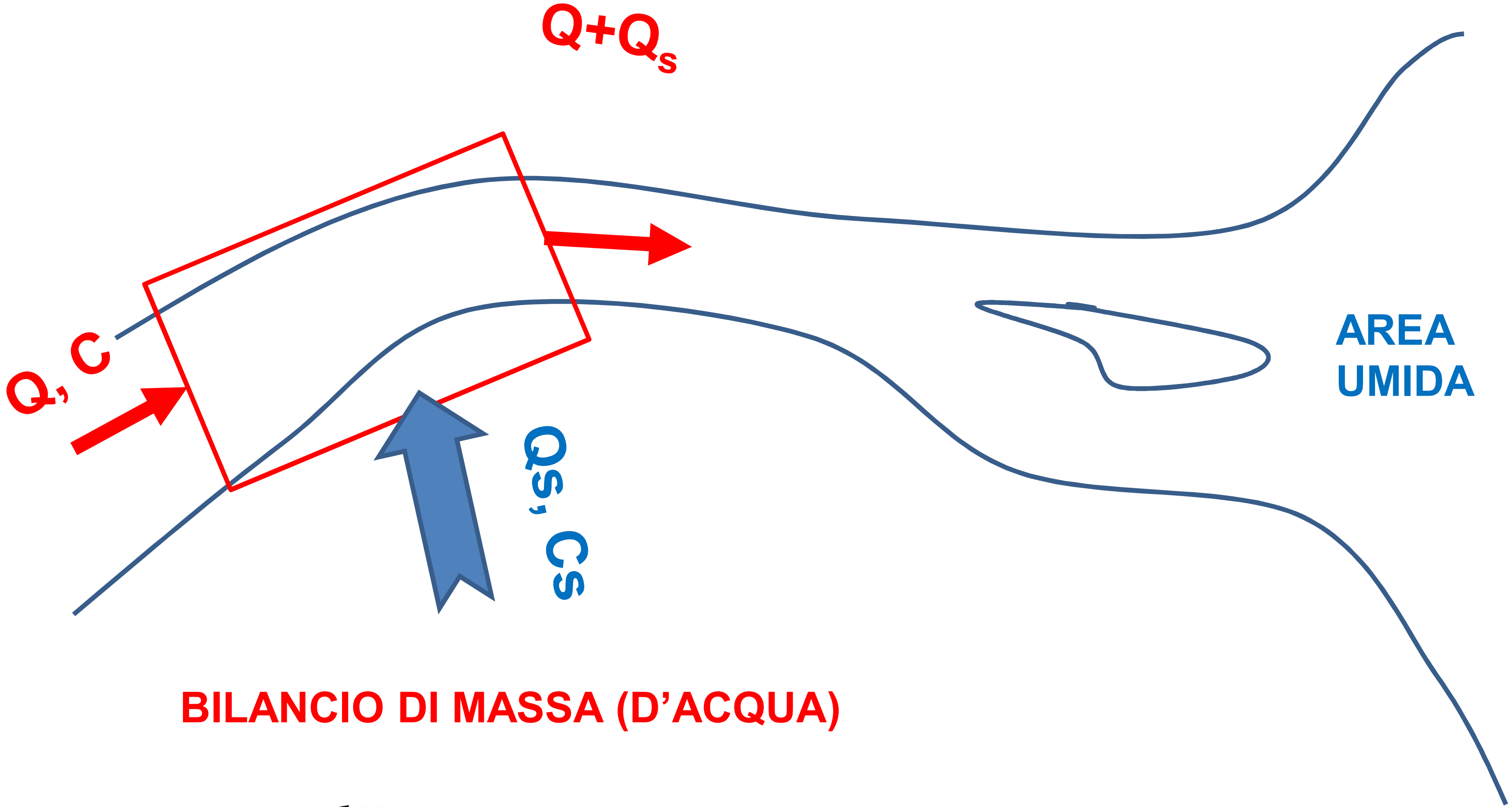
$$z_{progetto}(t^*) = 0,84 \Rightarrow G_{progetto}$$

Si realizza un’area umida in alveo per abbattere la concentrazione di BOD proveniente da uno scarico collocato a monte, a mezzo di un processo di fitodepurazione.
La portata scaricata è $Q_s$=1$m^3$/s, la concentrazione allo scarico è $C_s$=120 mg/l di BOD.
In alveo la portata è variabile.
Vengono dati un certo numero di valori che individuano altrettante classi e le probabilità delle classi.

| Q ($m^3$/s) | P |
|---|---|
| 0<Q<12 | 0,2 |
| 12<Q<28 | 0,5 |
| 28<Q<36 | 0,13 |
| 36<Q<64 | 0,12 |
| 64<Q<96 | 0,05 |

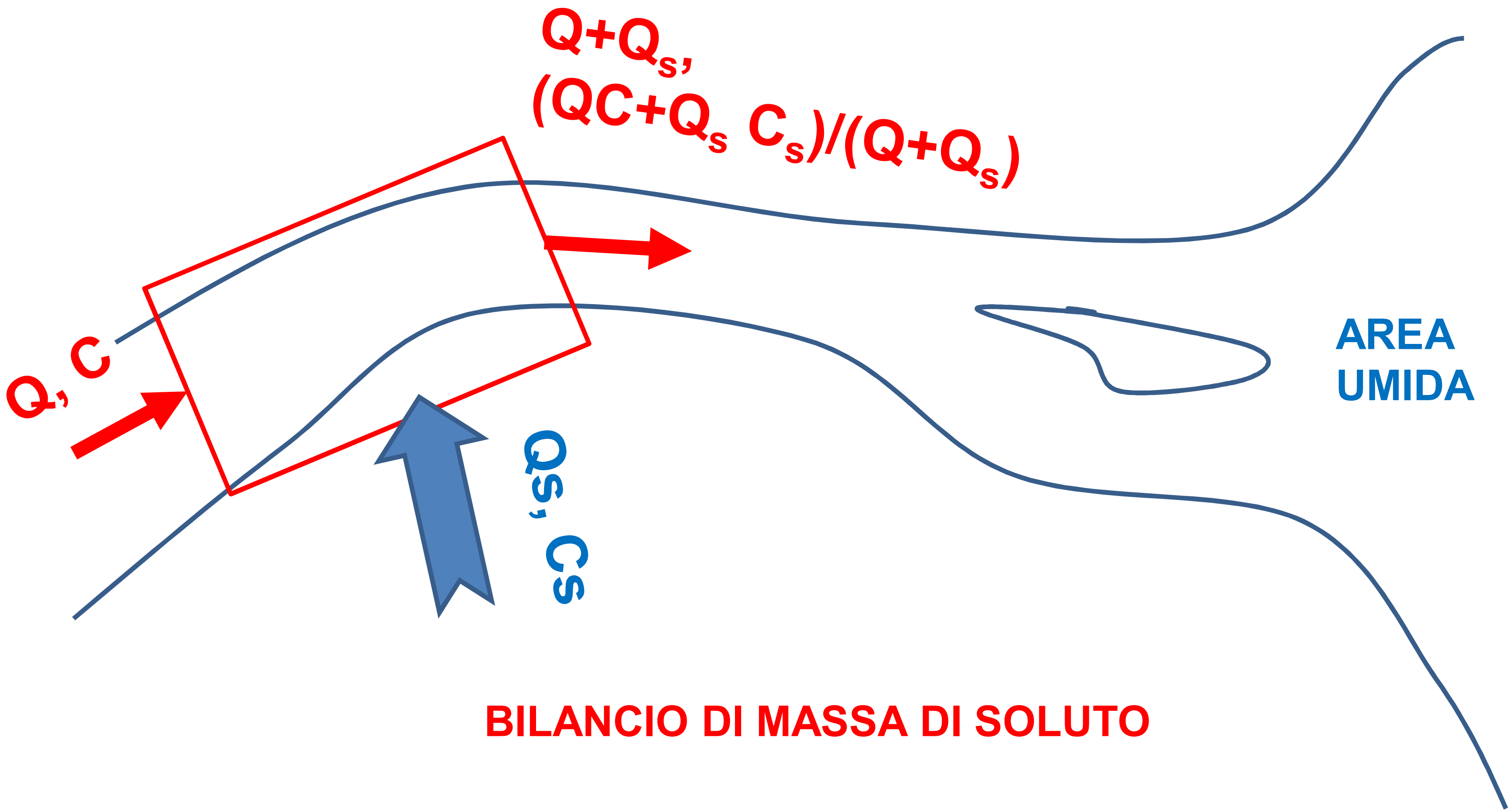
Calcolare il valore atteso della concentrazione in uscita dall’AU, assumento per il BOD una cinetica del primo ordine con costante k=0,67 $g^{-1}$


Q, C
Qs, Cs
AREA
UMIDA




**BILANCIO DI MASSA (D'ACQUA)**

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$




**BILANCIO DI MASSA DI SOLUTO**

$$\frac{dM}{dt} = V\frac{dC}{dt} = M_{in} - M_{out}$$

$$= Q_{in}C_{in} - Q_{out}C_{out}$$

## BILANCIO DI MASSA (D'ACQUA)

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} - (Q)_{\text{infiltrazione}}$$

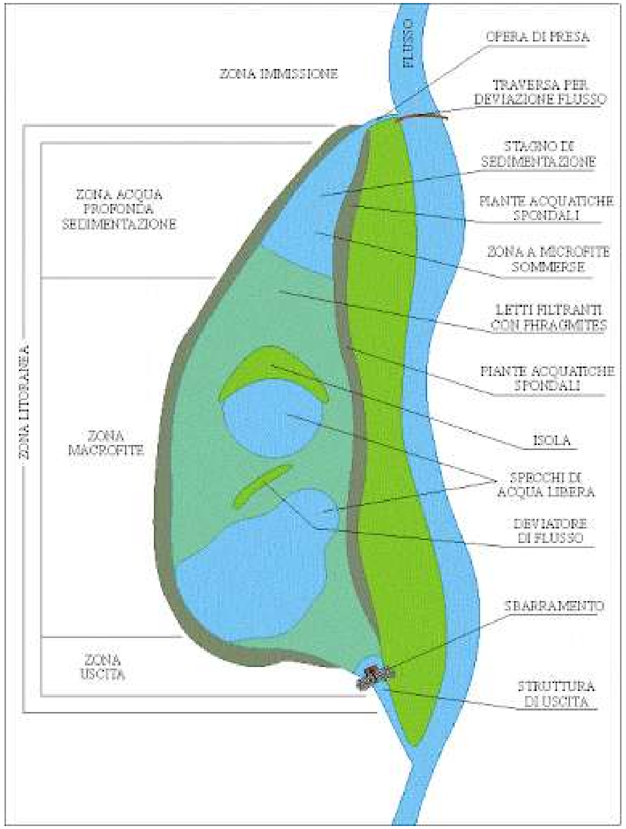
## BILANCIO DI MASSA DI SOLUTO

$$\frac{dM}{dt} = V\frac{dC}{dt} =$$

$$= M_{in} - M_{out} \pm \left(\frac{dM}{dt}\right)_{reazione}$$

$$= Q_{in}C_{in} - Q_{out}C_{out} \pm \left(\frac{dM}{dt}\right)_{reazione}$$

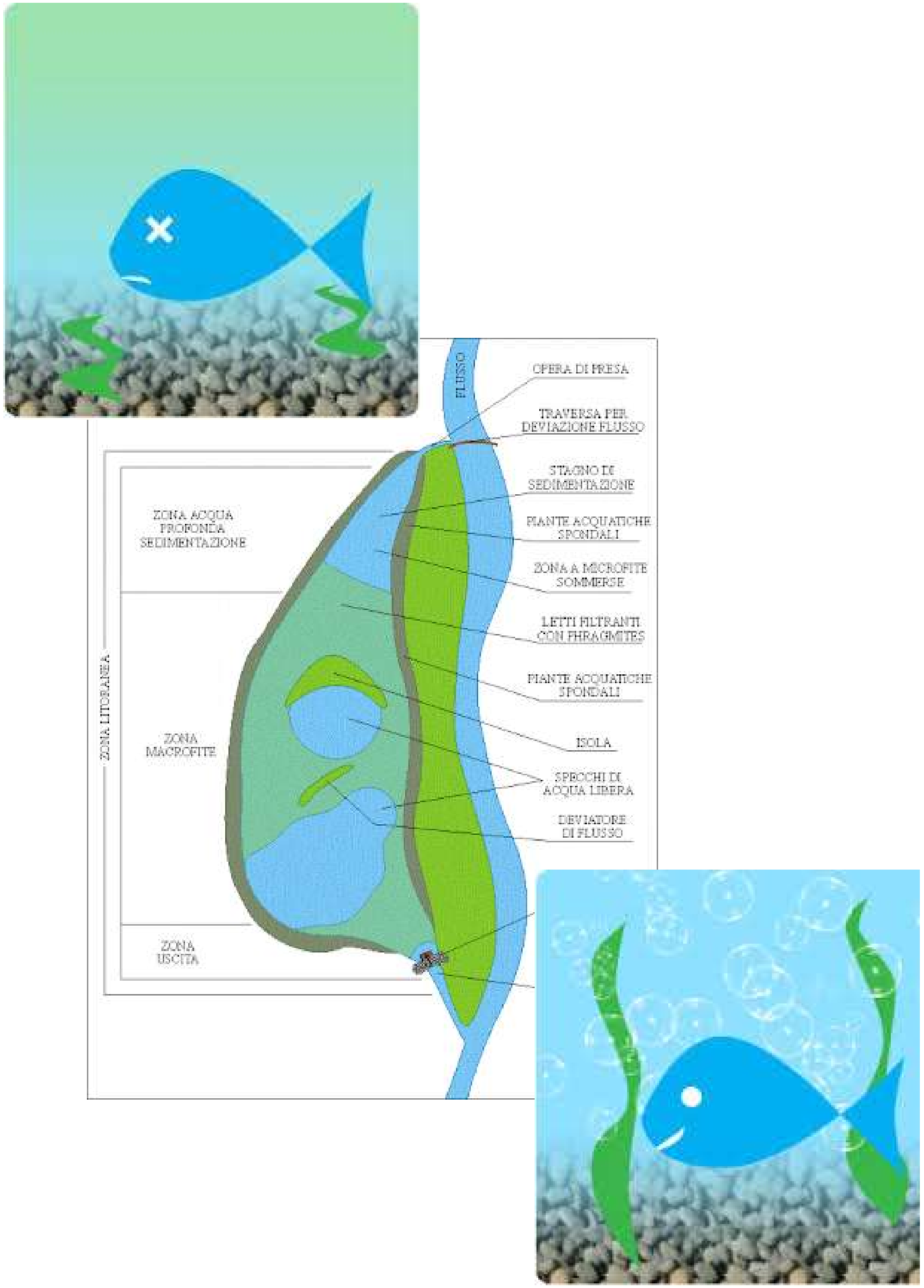
## AREA UMIDA IN ALVEO

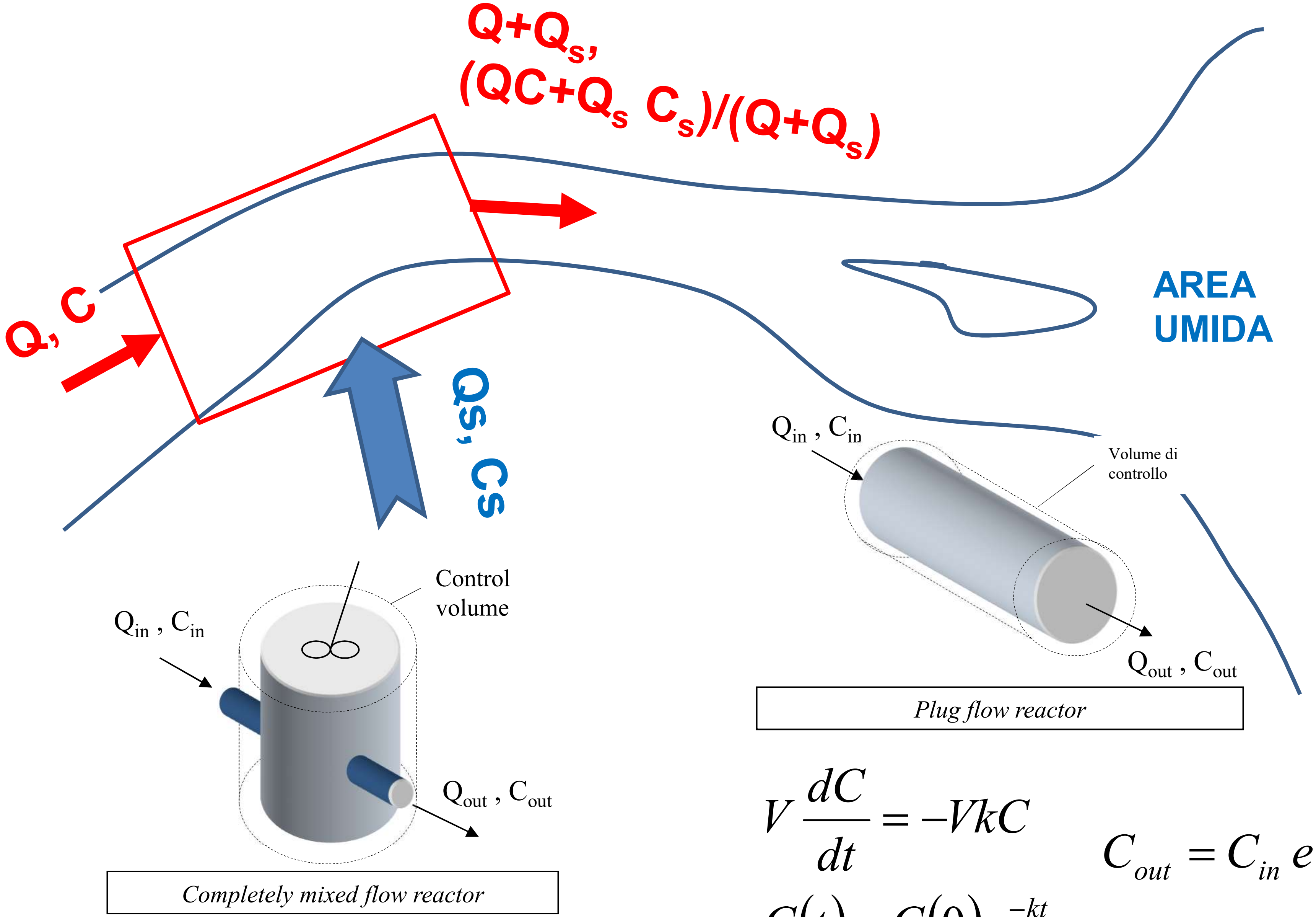


La domanda di ossigeno per la degradazione delle sostanze presenti nei liquami spesso determina una sottrazione di ossigeno disciolto nei corpi idrici ricettori degli scarichi urbani.

La quantità di ossigeno che può essere consumata per litro d'acqua è la **BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD)**

**BOD si misura in mg $O_2$/l**

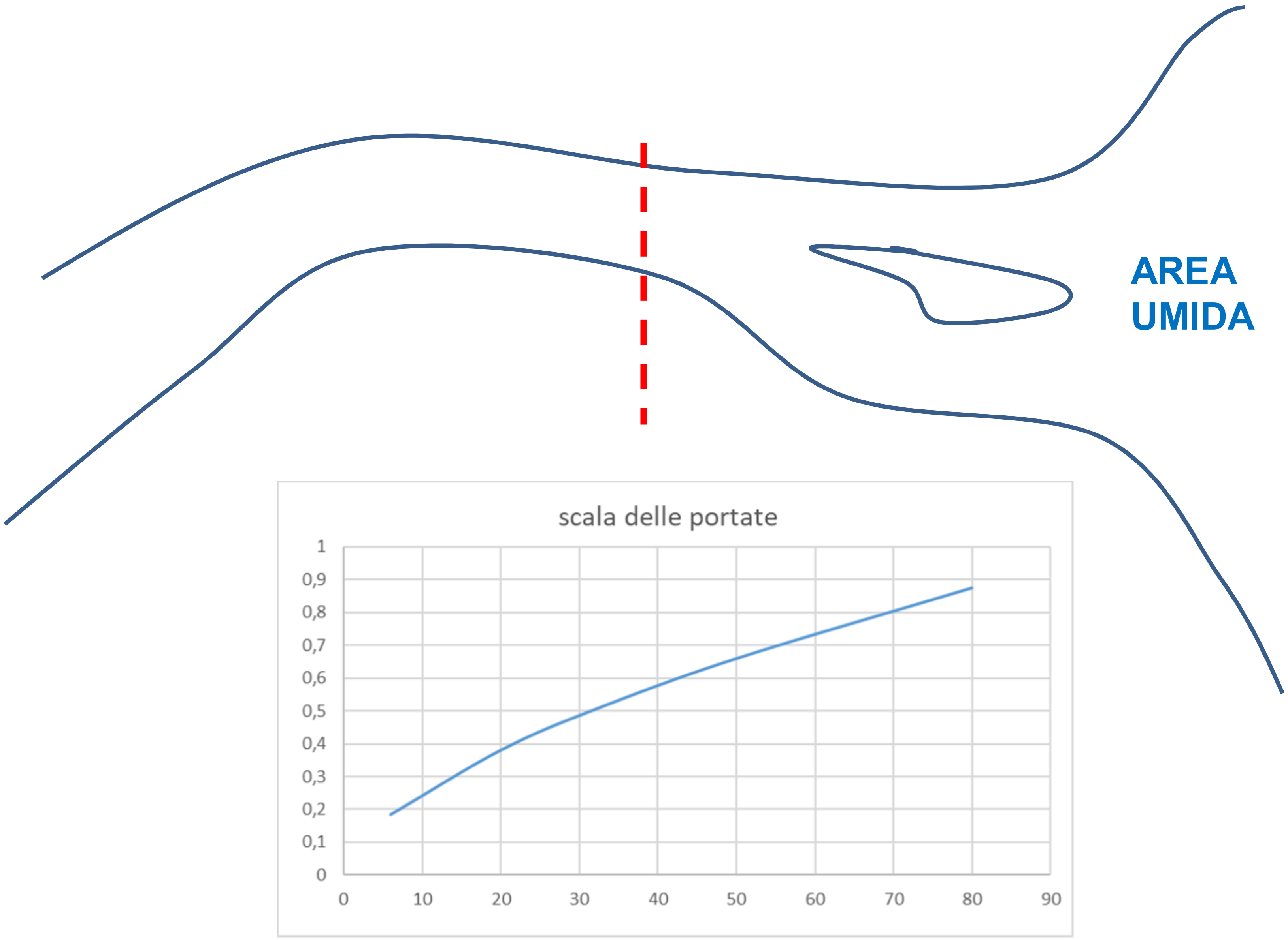




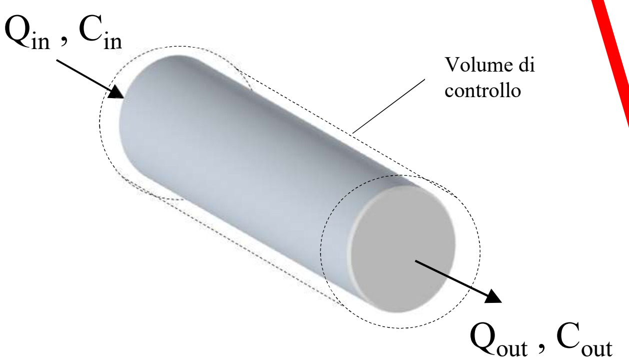

$$V\frac{dC}{dt} = -VkC$$

$$C(t) = C(0)e^{-kt}$$

$$C_{out} = C_{in}\, e^{-k\frac{V}{Q}}$$


AREA
UMIDA
scala delle portate
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

Calcolare il valore atteso della concentrazione in uscita dall'AU, assumento per il BOD una cinetica del primo ordine con costante k=0,67 $g^{-1}$



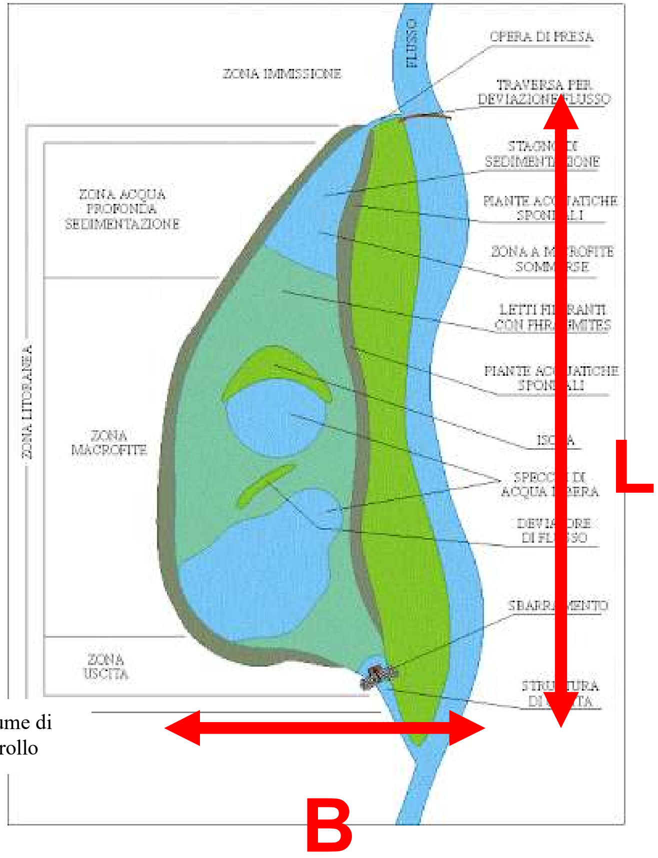

*Plug flow reactor*

$$V\frac{dC}{dt} = -VkC$$

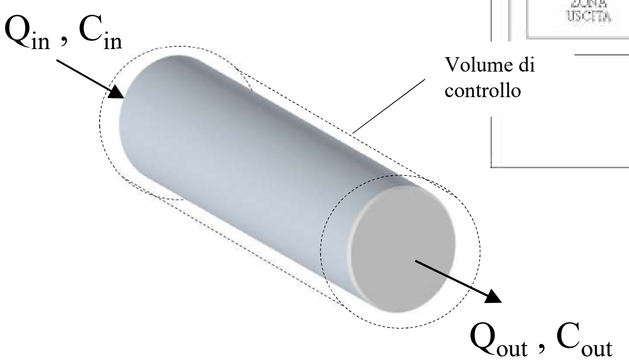
$$C_{out} = C_{in}\, e^{-k\frac{V}{Q}}$$

$$C(t) = C(0)e^{-kt}$$

| Q | y |
|---|---|
| 6 | 0,18 |
| 20 | 0,38 |
| 32 | 0,50 |
| 50 | 0,66 |
| 80 | 0,87 |




| B | L |
|---|---|
| 474 | 6393 |
| 535 | 6393 |
| 560 | 6393 |
| 586 | 6393 |
| 614 | 6393 |



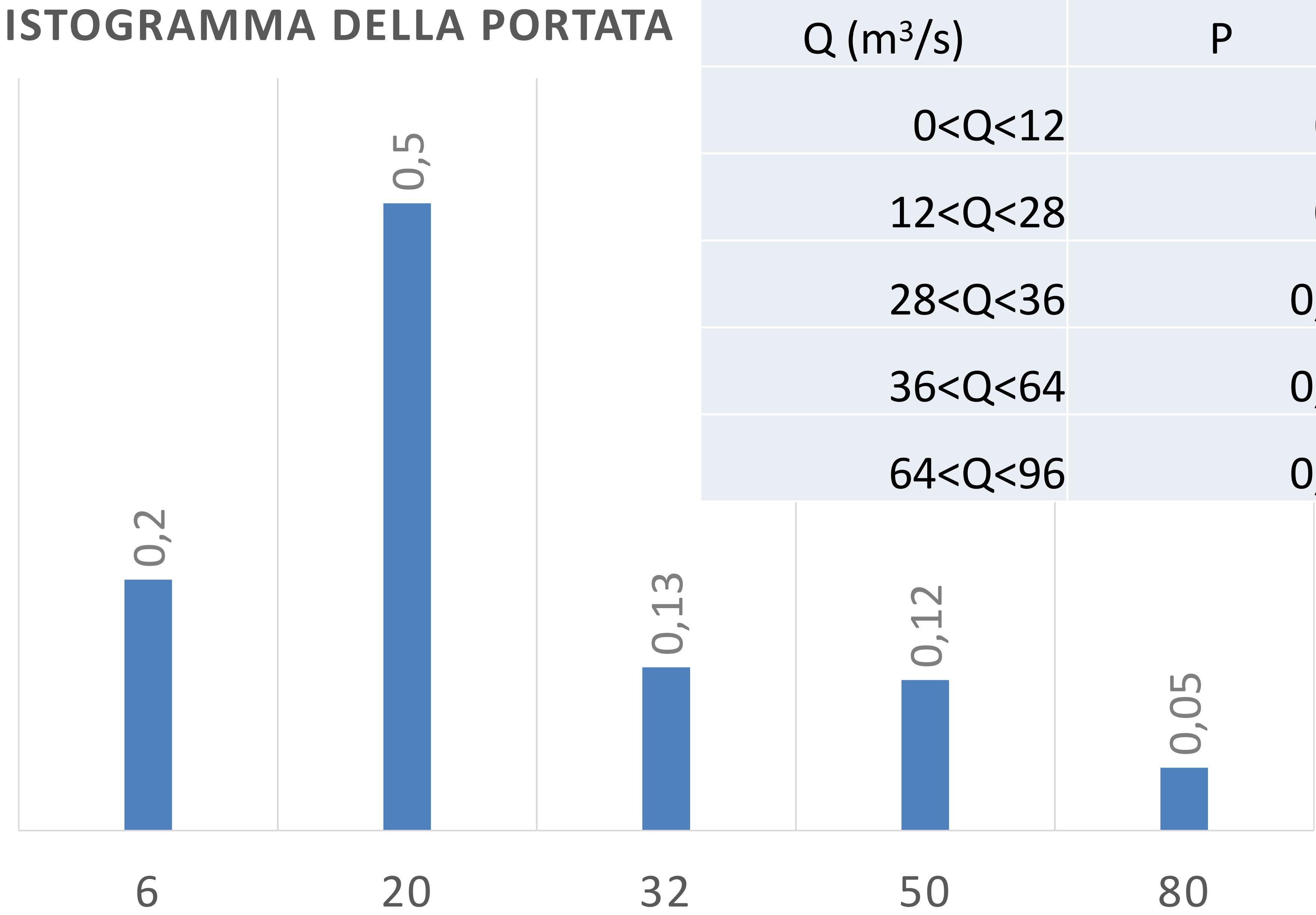

*Plug flow reactor*

B=A/y (scala delle portate)
V=ByL*p
p=0,6=porosotà

$$V\frac{dC}{dt} = -VkC$$

$$C(t) = C(0)e^{-kt}$$

$$C_{out} = C_{in}\, e^{-k\frac{V}{Q}}$$




| Q ($m^3/s$) | P |
|---|---|
| 0<Q<12 | 0,2 |
| 12<Q<28 | 0,5 |
| 28<Q<36 | 0,13 |
| 36<Q<64 | 0,12 |
| 64<Q<96 | 0,05 |

$$C_{out} = C_{in}\, e^{-k\frac{V}{Q}}$$

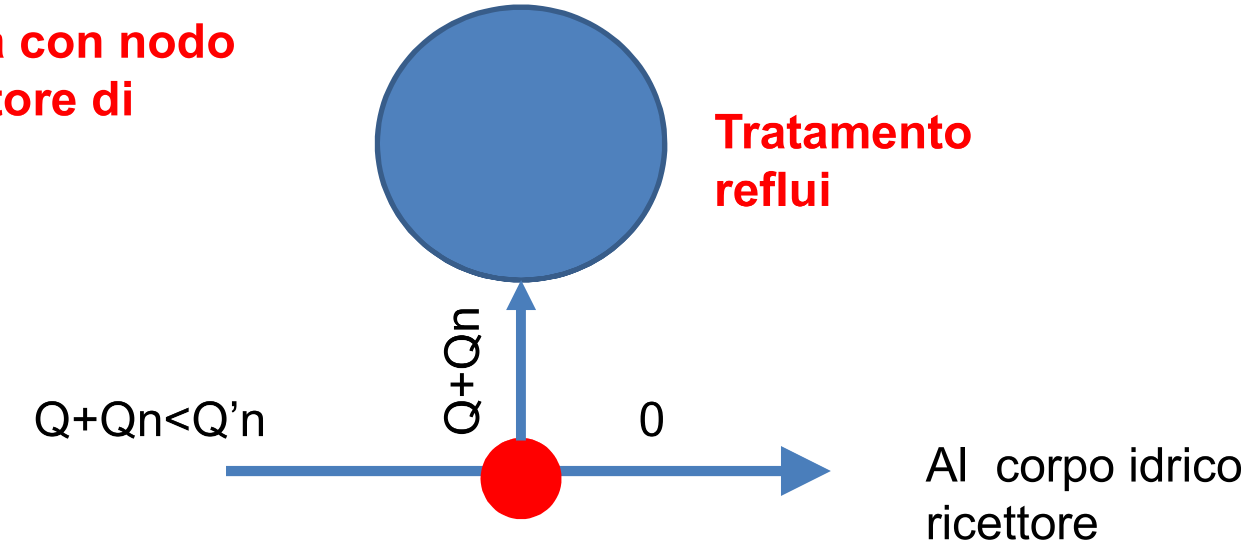
| Q ($m^3/s$) |
| --- |
| 0<Q<12 |
| 12<Q<28 |
| 28<Q<36 |
| 36<Q<64 |
| 64<Q<96 |

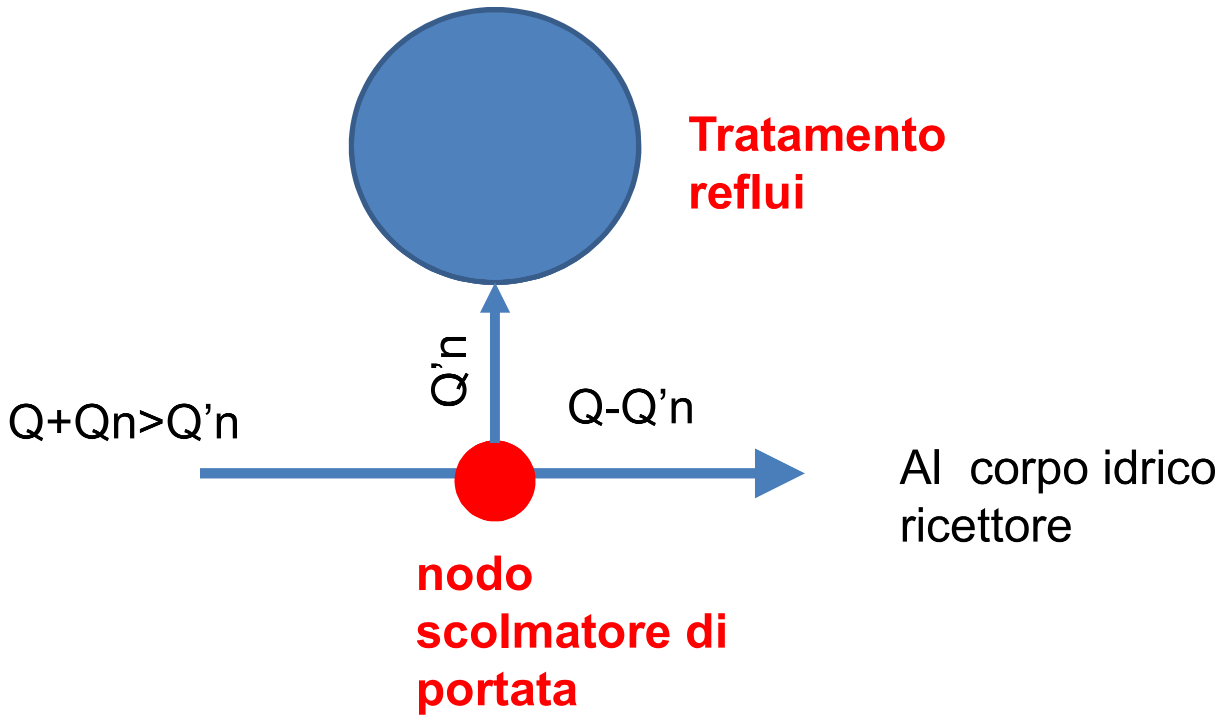
| Q | P | $C_{out}$ (mg/l) | P $C_{out}$ (mg/l) |
| --- | --- | --- | --- |
| 6 | 0,2 | 18,3 | 3,7 |
| 20 | 0,5 | 20,9 | 10,5 |
| 32 | 0,13 | 21,8 | 2,8 |
| 50 | 0,12 | 22,5 | 2,7 |
| 80 | 0,05 | 23,2 | 1,2 |
| tot | 1 | tot | 20,8 |

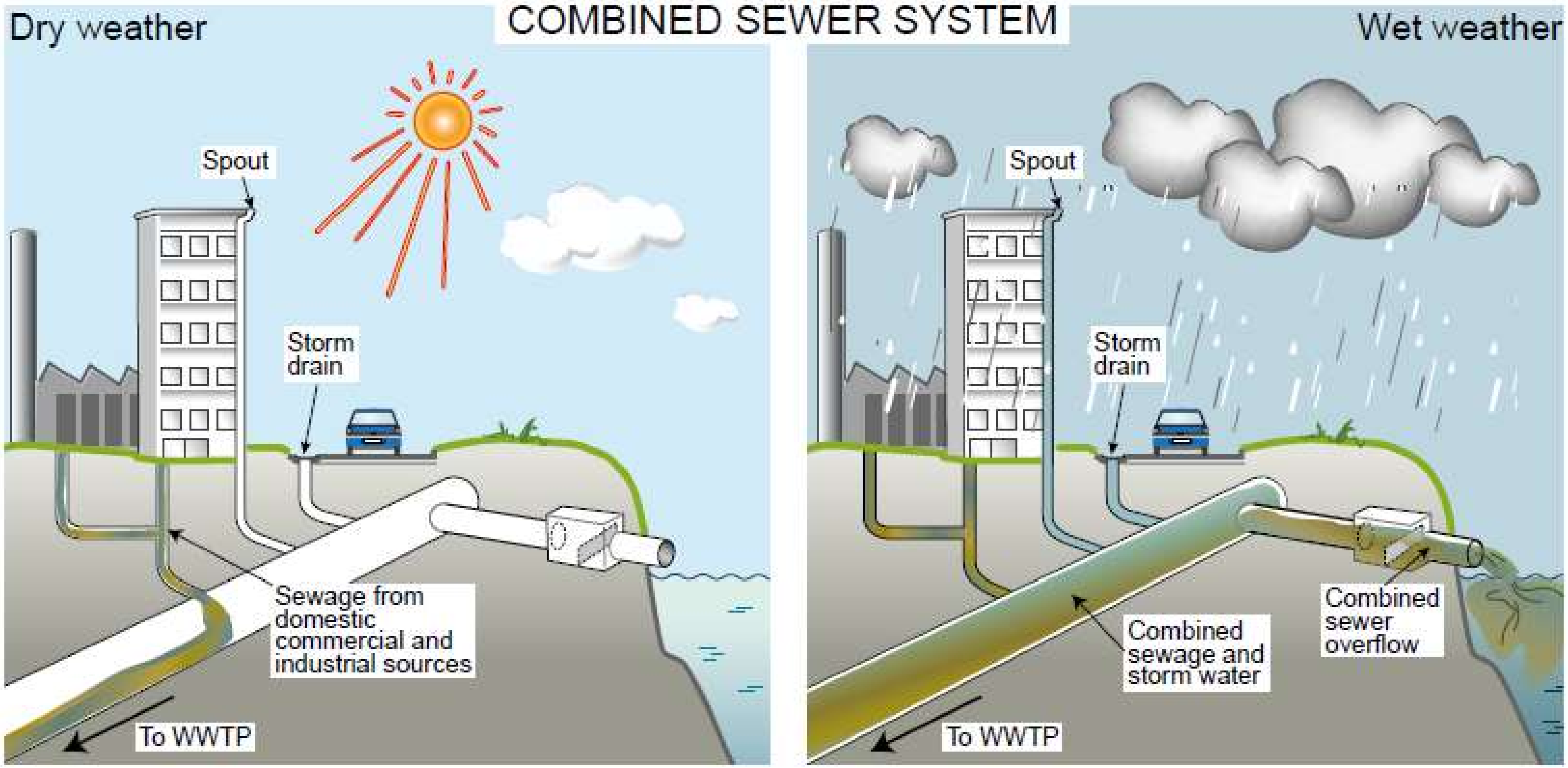
In una fognatura mista le acque nere hanno una concentrazione di BOD pari a $C=500$ mg/l.
La portata delle acque nere è $Qn=0.39\ m^3/s$
La portata meteorica media è $Q=5\ m^3/s$

Supponendo che Q segua una distribuzione di tipo esponenziale, qual è il rischio che allo scarico la concentrazione di BOD superi il limite $C_{out}=40$ mg/l se la portata massima che viene avviata al trattamento è $Q'n=0.8\ m^3/s$

**Sistema con nodo scolmatore di portata**




COMBINED SEWER SYSTEM
Dry weather
Spout
Storm drain
Sewage from domestic commercial and industrial sources
To WWTP
Wet weather
Spout
Storm drain
Combined sewage and storm water
Combined sewer overflow
To WWTP

## BILANCIO DI MASSA (D'ACQUA)

$$\frac{dV}{dt} = Q + Q_n - Q_{out} = 0$$

Condizioni stazionarie

## BILANCIO DI MASSA DI SOLUTO

$$\frac{dM}{dt} = V\frac{dC}{dt} = 0$$

$$= Q \cdot 0 + Q_n C_n - Q_{out} C_{out}$$

$$\Rightarrow C_{out} = \frac{Q_n C_n}{Q + Q_n}$$

Condizioni stazionarie

Tempi di detenzione<<tempi di reazione
→ variazione di massa per effetto della reazione, trascurabile

$$C_{out} = \frac{Q_n C_n}{Q+Q_n} = 40\, mg/l$$

$$\Rightarrow Q = \frac{Q_n C_n}{C_{out}} - Q_n = \frac{0{,}39 \cdot 500}{40} - 0{,}39 = 4{,}5\, m^3/s$$

Se Q>4,5 $m^3$/s → $C_{out}$<40 mg/l

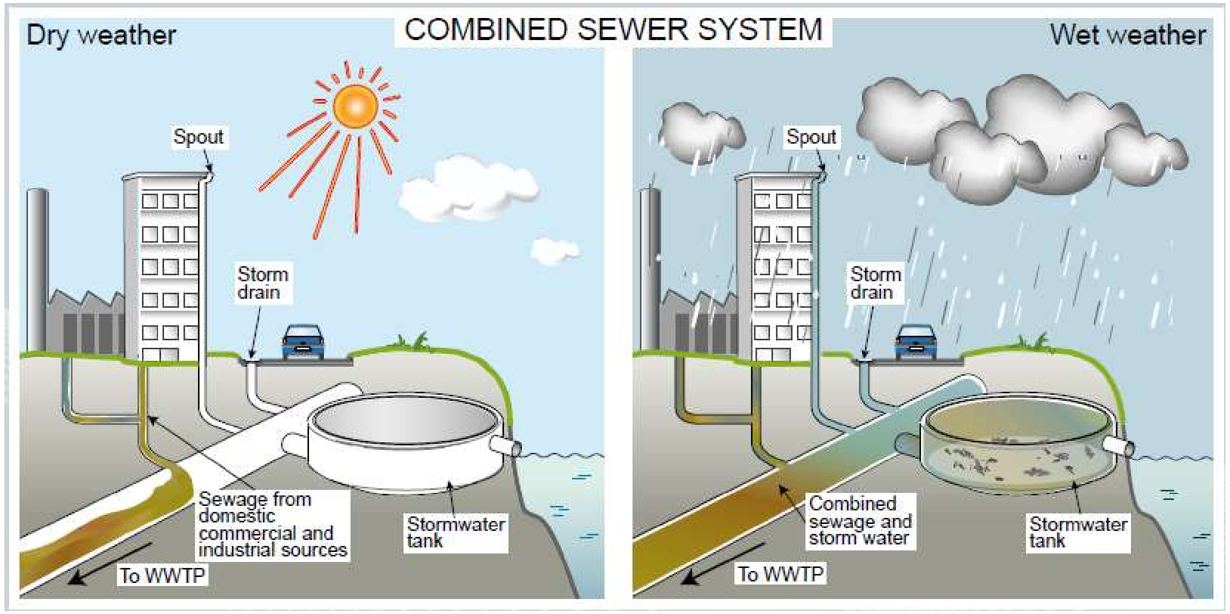
Se Q<$Q'_n$ → non viene scaricato nulla

$$P\left[Q'_n \le Q < Q_{\lim}\right] = \exp\left(-\frac{Q'_n}{Q_{media}}\right) - \exp\left(-\frac{Q_{\lim}}{Q_{media}}\right) =$$

$$= P\left[0{,}8 \le Q < 4{,}5\right] = \exp\left(-\frac{0{,}8}{5}\right) - \exp\left(-\frac{4{,}5}{5}\right) = 0{,}44$$

# Self-cleaning stormwater tanks

The cycles that take place in the tank during a storm water event from inflow of wastewater to the completely cleaned tank are:




1) a filling period where the inflow exceeds the outflow;
2) a settling period;
3) a depletion period where the tank empties when the outflow is greater than the inflow rate;
4) a cleaning period where the tank is flushed, cleaned and completely emptied.