



Università degli Studi
Mediterranea
di Reggio Calabria

Corso di
INFRASTRUTTURE FERROVIARIE E NODI
INTERMODALI

Prof. Dario Lo Bosco

Prof. Fabio Fonte – Ing. Federica Suraci

***Il dimensionamento delle opere d'arte
minori a difesa del corpo ferroviario***



Anno Accademico 2019- 2020

INDICE

1. Analisi e metodologie	pag. 3
2. Curve di probabilità pluviometrica (CPP)	pag.5
3. La proposta di una <i>curva di probabilità pluviometrica</i> per il territorio siciliano	pag.8
4. Fossi di Guardia	pag. 9
5. Tombini	pag. 11
6. La verifica idraulica di un tombino	pag. 16
7. Quadro normativo di riferimento	pag. 22
8. Riferimenti Bibliografici	pag. 24

1. Analisi e metodologie di approccio al problema.

Con la realizzazione di una nuova opera d'ingegneria come, nel caso che ci occupa, nel settore ferroviario o, più in generale, delle *infrastrutture a rete*, si va sempre ad incidere sugli equilibri pregressi dell'ecosistema (naturale e costruito) e, dunque, si produce un'inevitabile modifica dell'assetto territoriale di pertinenza.

Pertanto, compito del professionista incaricato dal Decisore pubblico dello studio progettuale è quello di valutare previamente ogni aspetto tecnico, economico (utilità e disutilità generate) ed ambientale del problema, comprese le variazioni che nelle diverse fasi di cantierizzazione, costruzione e gestione dell'esercizio verranno prodotte nel sito e nell'*area vasta* interessati, rispetto alle condizioni "*ante operam*".

In tale ottica di "*ottimizzazione globale*" dell'intervento, bisognerà quindi considerare opportunamente anche gli aspetti connessi ai fenomeni idraulici, sia in relazione agli eventi meteorici che caratterizzano la zona dell'intervento, sia per l'eventuale presenza di corsi d'acqua afferenti che possono incidere sulla sicurezza e sulle caratteristiche di durabilità delle nuove opere, soprattutto ove dovessero con essi interferire. Queste antropizzazioni rappresentano talvolta persino dei veri e propri "*nuovi ostacoli*" al naturale deflusso. Pertanto, occorrerà sempre effettuare un'analisi del *rischio specifico* e dovrà anche essere predisposto un apposito progetto di prevenzione, per il relativo contenimento entro limiti accettabili, per la durata della *vita utile* dell'opera (cfr. Fig. 1).



Fig. 1

L'acqua che s'infiltra nel terreno, va ad occupare i macropori, per gravità scende sino al fondo di lavorazione e raggiunge l'*organo emungente* come deflusso profondo. L'acqua che scorre in superficie costituisce il DEFLUSSO SUPERFICIALE che ha le maggiori responsabilità nel processo erosivo. Da ciò si deduce l'importanza di un corretto dimensionamento e realizzazione di opere di protezione quali tombini, fosse di guardia, canali, ecc ...

A tal fine occorre conoscere la portata (Q) riferita al tempo di ritorno ("Tr" il numero di anni nel quale mediante un certo evento ha la probabilità di essere eguagliato o superato una sola volta) che investirà le opere d'arte finalizzate alla protezione. Il deflusso superficiale varia anche dalle caratteristiche geologiche, pedologiche ed orografiche e dalla superficie del bacino tributario.

Le grandezze fondamentali che bisogna calcolare, per un corretto dimensionamento, sono le altezze di pioggia, l'intensità definita come $i=h/t$ che decresce all'aumentare della durata della pioggia, tempo di corrivazione (intervallo temporale che intercorre tra l'inizio della pioggia e l'istante in cui la particella d'acqua caduta nella località perviene, nella sezione del bacino che consideriamo, idraulicamente più lontana).

Per determinare il tempo di corrivazione è possibile utilizzare varie formule quali:

✓ Formula di Giandotti $\longrightarrow t_c = (1.5 \cdot L + 4 \cdot A^{0.5}) / [0.8 \cdot (H)^{0.5}]$

✓ Formula di Ventura $\longrightarrow t_c = 0.127 \cdot (A/Jm)^{0.5}$

✓ Formula di Viparelli $\longrightarrow t_c = L / (3.6 \cdot V)$

✓ Formula di Pasini $\longrightarrow t_c = 0.108 [(A \cdot L)^{1/3}] / (Jm^{0.5})$

✓ Formula di Kirpich

$\longrightarrow t_c = 0.003245 [1000L \cdot (1000 \cdot L)^{0.5} / (h_{max})^{0.5}]^{0.77}$

La formula più utilizzata nella pratica professionale è quella di Giandotti

$$t_c = (1.5 \cdot L + 4 \cdot A^{0.5}) / [0.8 \cdot (H)^{0.5}].$$

Dove:

L: lunghezza asta principale (Km);

A: area bacino (Km²);

H: altitudine media bacino (m).

Bisogna altresì individuare il bacino imbrifero (Fig.2) tracciando linee ortogonali alle *isoipse* (linee luogo dei punti di una superficie che si trovano ad una uguale quota).

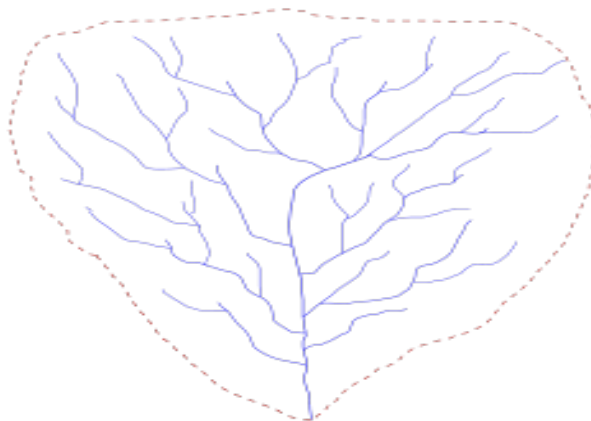


Fig.2

Occorre ricordare che non tutta l'acqua raggiungerà la sezione di chiusura in quanto una parte si infiltrerà nel terreno, una parte verrà intrappolata dalla vegetazione ed un'altra evaporerà. Per tale motivo occorre determinare il coefficiente di deflusso (C_T) che assume valori minori dell'unità.

$$C_T = C_{100} * (T_r/100)^{0.2}$$

Il valore di C_{100} viene determinato in base alla vegetazione del tipo di terreno.

1. Curve di probabilità pluviometrica (CPP)

Definiscono i valori di altezza di pioggia (DDF) o di intensità di pioggia media (IDF) in funzione della durata dell'evento per assegnati valori della media (IDF) ed in funzione della durata dell'evento, per assegnati valori del *Tempo di Ritorno* T_r . Quest'ultimo rappresenta il numero di anni nel quale, mediamente, un certo evento (un'altezza di pioggia di durata assegnata) ha la probabilità p di essere eguagliato o superato una sola volta ($p = \frac{1}{T_r}$).

Si ottengono mediante elaborazioni statistiche su campioni di altezze max annuali di pioggia misurate in N anni di osservazioni per diverse durate.

▪ Sono note comunemente anche con altre dizioni:

- Curve di probabilità di pioggia (CPP),
- Linee segnalatrici di pioggia (LSP),
- Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica (LSPP),
- Linee segnalatrici di probabilità di pioggia (LSPP),
- Curve - altezza - durata - frequenza (ADF),
- Curve - intensità - durata – frequenza (IDF).

Queste ultime IDF, in particolare, assumono la forma indicata nella fig. 3.

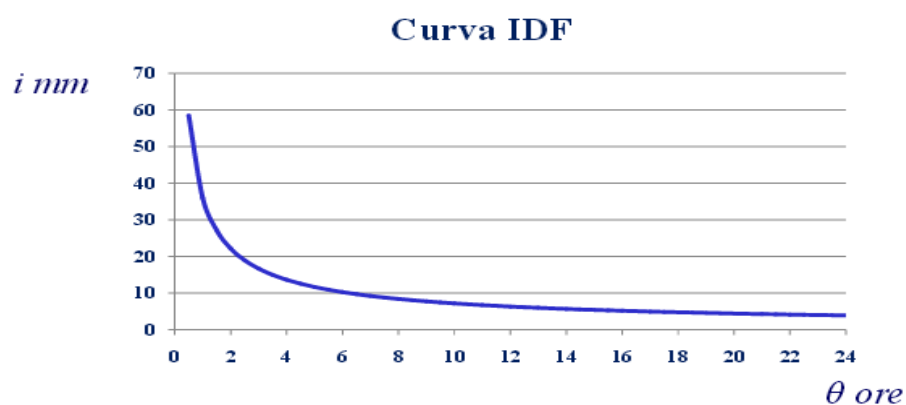


Fig. 3

Nella letteratura anglosassone gli unici termini in pratica utilizzati sono invece:

- Depth – duration – frequency - curves (DDF),
- Intensity – duration – frequency – curves (DDF).

Le curve DDF hanno la caratteristica forma riportata nella fig. 4:

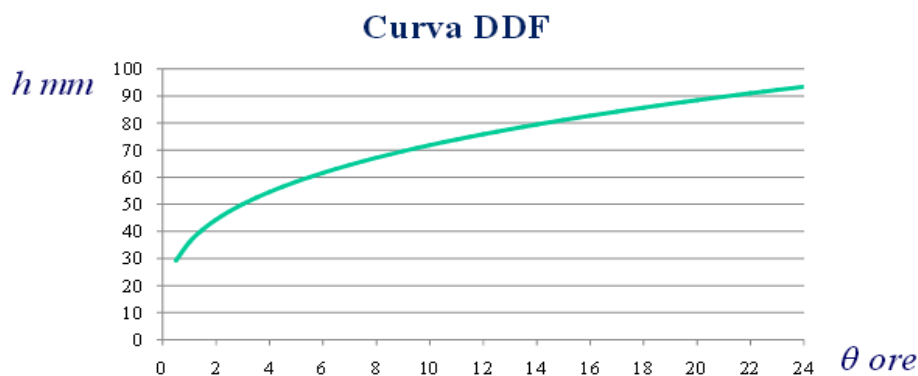


Fig. 4

Tali elementi sopra definiti servono a conseguire i seguenti risultati:

- esprimere in modo sintetico, per:
 - la località a cui si riferiscono,

- un dato tempo di ritorno T_r ,
- una durata di pioggia θ ;
- l'informazione relativa alle:
- massime altezze di pioggia h ,
- massime intensità di pioggia i ,

allo scopo di elaborare poi appositi istogrammi che siano utili all'ingegnere ferroviario per risolvere i seguenti problemi:

- progetto idraulico di un'opera d'arte,
- verifica dei manufatti a servizio del corpo ferroviario.

Sono curve la cui espressione matematica può assumere la forma:

- binomia, con la formula: $h = a \cdot \theta^n$, ovvero $i = a \cdot \theta^{n-1}$
- trinomina, del tipo: $h = a \cdot \theta / (b + \theta)^c$, o anche $i = a / (b + \theta)^c$.

La variazione dell'intensità di pioggia nel tempo, durante un evento piovoso prende il nome di *letogramma di pioggia* (Fig. 5)

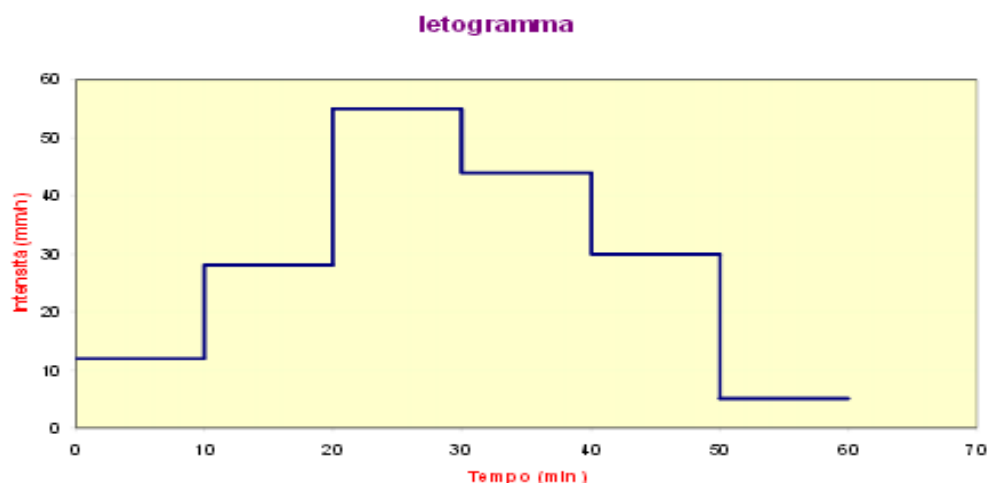


Fig. 5

Con *istogramma di progetto* si intende un evento pluviometrico generato sinteticamente con l'obiettivo di pervenire ad un corretto dimensionamento delle opere.

Questo risulta dedotto da analisi statistiche sulla base di osservazioni pluviometriche e ad esso è associato un tempo di ritorno T_r .

Dividendo la durata parziale θ in due parti θ_a e θ_b , con il seguente significato dei simboli:

- $\theta_b = r * \theta$ ($r < 1$) è la parte precedente il picco di intensità,
- $\theta_a = (1 - r) * \theta$ è la durata che segue il picco di intensità,

si ottengono le due *equazioni caratteristiche* che descrivono l'andamento dell'intensità nel ramo ascendente prima del picco ed in quello discendente, dopo che si sia invece verificato il picco:

<i>Prima del picco</i>	→	$i(\mathcal{G}_b) = na(\mathcal{G}_b / r)^{n-1}$
<i>Dopo il picco</i>	→	$i(\mathcal{G}_a) = na(\mathcal{G}_a / (1 - r))^{n-1}$

3. La proposta di una *curva di probabilità pluviometrica* su base sperimentale per il territorio siciliano ed altri con caratteristiche assimilabili.

In particolare, per il territorio siciliano, partendo dagli studi di *Bell* condotti negli USA, per durata delle precipitazioni meteoriche espressa in minuti e compresa nell'intervallo di tempo [5 - 120], si è riusciti a costruire, su base statistica, un'apposita *curva di probabilità pluviometrica* utile per il dimensionamento delle opere idrauliche a servizio del corpo ferroviario e per le altre infrastrutture a rete non solo per la Sicilia ma anche per altre realtà europee con caratteristiche analoghe.

Sono stati esaminati a tal fine gli annali idrologici del MIT, valutando le precipitazioni massime di notevole intensità e breve durata e quelle di durata pari ad un'ora; si sono poi considerati gli elementi rappresentativi delle effettive condizioni idrologiche e trattati i relativi dati di pioggia rilevati dalle stazioni pluviometriche presenti nell'Isola.

Sulla base del campione di dati così reperito e pari ad un decennio si è potuto costruire un apposito diagramma bilogarithmico avente per assi $x = \log i$; $y = \log \vartheta$ ed operare quindi una regressione lineare, pervenendo alla seguente espressione analitica (rappresentativa di una retta) di agevole utilizzo nella pratica professionale:

$$\log \frac{h}{h_{60}} = 0,34 \log \vartheta - 1,42$$

con $\begin{cases} h = \text{altezza di pioggia massima, in mm} \\ h_{60} = \text{altezza di pioggia di durata 60 min} \end{cases}$

ovvero, nell'equivalente sua forma esponenziale in cui è possibile anche esprimerla in un altro particolare sistema cartesiano di riferimento ottenuto con nuove coordinate

$$(x', y') \equiv \left(\vartheta, \frac{h}{h_{60}} \right)$$

$$\frac{h}{h_{60}} = 0,24 \vartheta^{0,34}$$

2. Fossi di Guardia



I fossi di guardia sono canali di dimensioni generalmente limitate realizzati al fine di convogliare le acque di ruscellamento superficiale ed evitare che queste raggiungano zone dell'infrastruttura su rotaia o di altre opere in cui la presenza d'acqua potrebbe costituire elemento di pericolo o di instabilità dell'intero corpo ferroviario.

Per il dimensionamento di tali manufatti occorre definire la massima portata Q_{MAX} che può essere determinata con:

$$Q_{MAX} = 0.278 \cdot (C \cdot h_t \cdot A) / t_c \quad \text{Formula di Giandotti}$$

$$Q_{MAX} = (0.363 + 0.0295 \ln T_r) \cdot h_t \cdot A$$

Dove:

C = parametro che dipende dalle dimensioni del bacino

A = area del bacino

T_r = tempo di ritorno

t_c = tempo di corrivazione.

Calcolata la portata di progetto, la verifica idraulica del fosso può essere quindi eseguita con l'equazione di Chezy o mediante la formula di Manning, più diffusa nella cultura scientifica anglosassone e valida per correnti a pelo libero con moto permanente.

Definita una sezione ed un'inclinazione "i" di progetto per il fosso, un coefficiente di scabrezza K_m per la superficie e conoscendo la portata "Q" è possibile mediante un processo iterativo verificare l'idoneità della geometria del fosso di guardia.

Si considerino ora le espressioni note in letteratura tecnica:

$$V = K_m \cdot R^{3/2} \cdot i^{1/2} \quad (1)$$

$$Q = V \cdot A \quad (2)$$

dove

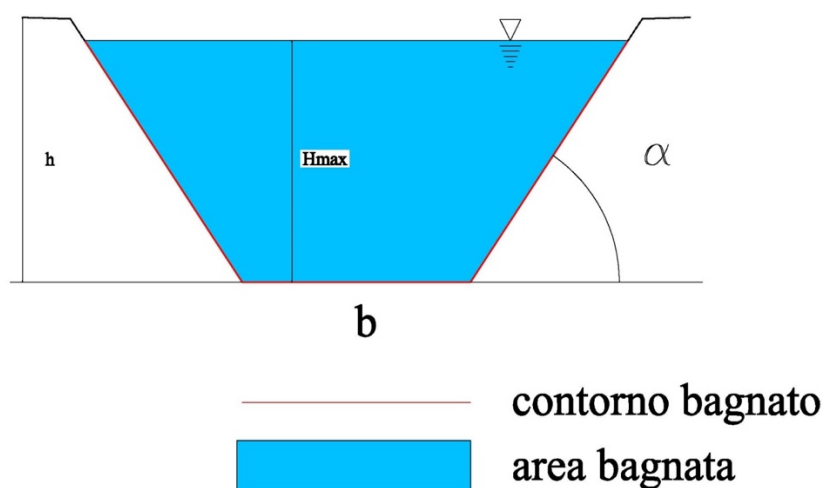
$R = A/P$ = raggio idraulico;

A = area bagnata;

P = contorno bagnato.

Il valore di K_m come è chiaro dipende dalle caratteristiche del terreno in cui avviene il deflusso superficiale; determinare con precisione tale valore è alquanto difficile, perché le pareti del canale subiscono nel tempo delle alterazioni rispetto a quelle originarie.

Si noti che aumentare o diminuire il valore di K_m influisce direttamente negli investimenti di costruzione, infatti più alto è K_m più ridotte sono le sezioni diminuendo di conseguenza i costi di realizzazione.



Essendo generalmente a sezione trapezoidale, in quanto presenta una maggiore capacità di trasporto idraulico con tiranti idrici contenuti e velocità della corrente non eccessiva, si può utilizzare la seguente formula per il calcolo dell'area bagnata:

$$A = H * (b + H/\tan\alpha) \quad (3)$$

Combinando la (1) con la (2) e la (3) e facendo delle considerazioni geometriche otteniamo:

$$A = \frac{Q}{Km * \left[\frac{H * \left(b + \frac{H}{\tan\alpha} \right)^2}{b + \frac{2H}{\sin\alpha}} \right]^{\frac{2}{3}}} I^{\frac{1}{2}}$$

Tramite un processo iterativo, è possibile trovare il valore del battente d'acqua massimo H_{max} .

Se ora inseriamo H_{max} , nell'equazione di Manning troveremo la velocità critica della corrente V_{cr} .

$$V_{cr} = Km \left[\frac{H_{max} * \left(b + \frac{H}{\tan\alpha} \right)^2}{b + \frac{2H_{max}}{\sin\alpha}} \right]^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}}$$

Per determinare la velocità critica della corrente V_{cr} è dunque necessario, note le caratteristiche geometriche e idrauliche del canale, calcolare il battente d'acqua massimo H_{max} procedendo per approssimazioni successive.

Definita la geometria ed i materiali utilizzati e conoscendo la velocità critica calcolata si deve valutare il possibile innesco di fenomeni erosivi e quindi l'idoneità della soluzione tecnica adottata. Al fine poi di minimizzare l'impatto ambientale, si possono utilizzare vari rivestimenti che mitigano i fenomeni di *intrusione visiva* di tali opere, come ad esempio *geostuoie* antierosione o strutture alveolari intasate.

3. Tombini



Per evitare che le acque meteoriche o fluviali distruggano un rilevato artificiale occorre costruire dei tombini che hanno la funzione di consentire l'attraversamento del rilevato al deflusso superficiale in prossimità delle linee di impluvio.

La forma geometrica del tombino (tubolare, a volta, scatolare, etc.) dipende dalla natura del terreno, dalla portata e dai sovraccarichi.

Al fine di ripartire i carichi trasmessi dai veicoli, è opportuno assicurare uno spessore di terreno di almeno 80 cm tra il tracciato ferroviario e il manufatto.

La pendenza deve essere compresa tra l'1% e 4% per consentire lo smaltimento dei materiali.

La sezione idraulica non deve essere eccessivamente larga altrimenti si creano fenomeni di sedimentazione dei solidi trasportati provocando una ostruzione del deflusso superficiale creando possibili fenomeni di ribaltamento, scivolamento e sifonamento (Fig.6).



Fig. 6

Se, invece, si utilizzano sezioni di modeste dimensioni, possono generare altezze del tirante idrico eccessive dando luogo a forti azioni di trascinamento provocando una possibile erosione nella superficie del manufatto.

Come si evince dalla scala delle portate, per sezione circolare (Fig.7) avremo una portata massima per una altezza pari a $0.94 D$ (diametro) per valori di altezza maggiore, la portata diminuisce gradualmente raggiungendo il valore di $Q_1 = 0.93 Q_{\max}$ a sezione piena $[h \text{ grado di riempimento} = D \text{ (diametro)}]$.

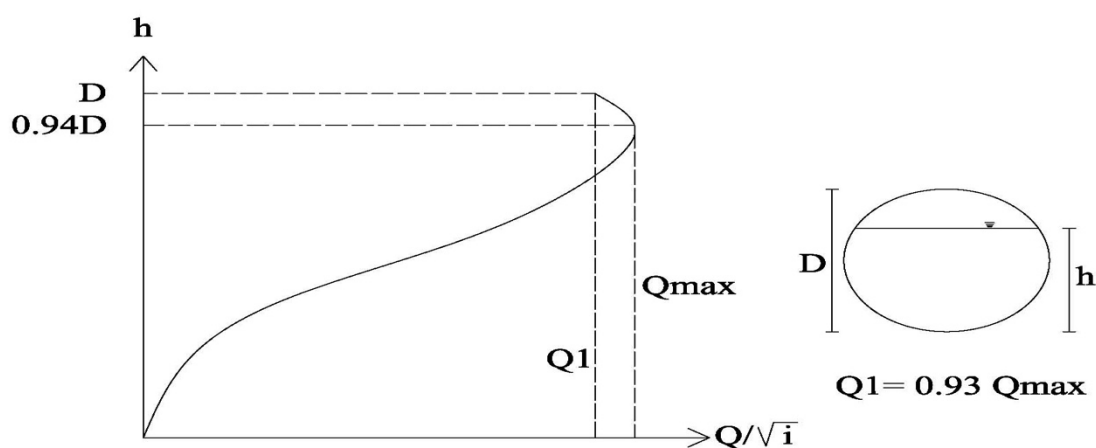


Fig. 7 Scale delle portate per sezione circolare.

Nel caso poi di sezione rettangolare la portata massima si ha per un valore prossimo ad 1, un ulteriore innalzamento del pelo libero provoca una brusca diminuzione della massima portata a $0.825Q_{\max}$. (Fig. 8).

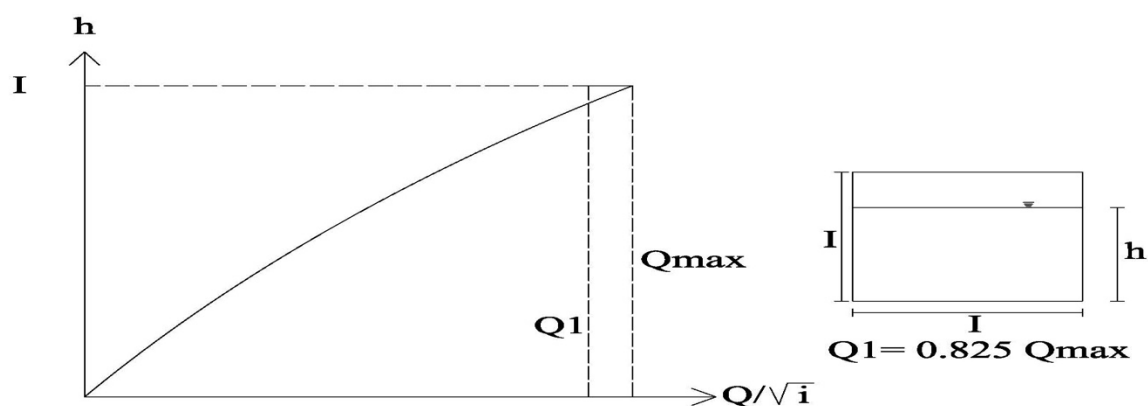


Fig. 8 Scale delle portate per sezione quadrata.

Per tali motivi occorre prevedere in sede di calcolo un *grado di riempimento* (0.7) tale da assicurare il massimo deflusso possibile.

Per il calcolo dei tombini bisogna poi conoscere la portata che deve defluire al loro interno, le dimensioni della sezione e la pendenza del fondo.

Con questi dati l'Ingegnere deve verificare che il rapporto tra la massima altezza d'acqua e quella della sezione (*grado di riempimento*) non superi il valore limite prefissato.

Per ottenere questo risultato occorre determinare il *profilo* della corrente in moto permanente, la massima altezza del *tirante idrico* e quindi il suddetto *grado di riempimento*.

Questa operazione viene reiterata fino a quando si ottiene il valore voluto.

L'altezza del moto uniforme viene poi determinata con le seguenti formule, note in letteratura tecnica di settore:

$$Q = A^* \sqrt{g * K}$$

dove:

A : area della sezione idrica
 g : accelerazione di gravità
 K : altezza media della sezione.

Per la verifica dei manufatti in progetto si può nella pratica professionale utilmente fare riferimento alla formula di *Gauckler-Strickler*:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

dove:

Q: portata in mc/s;

n: coefficiente di scabrezza secondo Manning;

R_H : raggio idraulico;

i: pendenza del corso d'acqua;

Ω : sezione bagnata.

Il valore del coefficiente di scabrezza per le strutture in calcestruzzo viene assunto pari a 0,015 m-1/3/s-1.

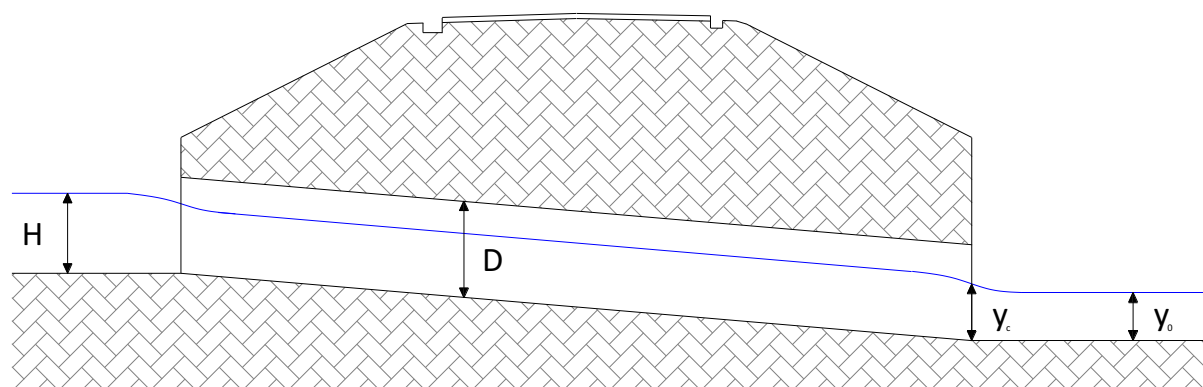


Fig. 9 – Schema profilo longitudinale tombino/ponticello.

Utilizzando, ad esempio, i criteri in uso in Ferrovie, il manufatto idraulico risulta verificato secondo le prescrizioni del Manuale di Progettazione se si verifica la condizione:

$$\frac{y_m}{D} \leq 70\%$$

con D = altezza del tombino.

3.1 Tombini a sezione circolare:

Per risolvere i problemi di dimensionamento dei manufatti in questione, si considerino le seguenti formule applicative:

$$A = \frac{1}{2} r^2 (\varphi - \sin \varphi)$$

$$C = r \varphi,$$

$$R = \frac{1}{2} r \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi}\right),$$

$$Q_{\max} = V' * A = \frac{r^2}{2} (5.090 + 0.848) * V' = \frac{r^2}{2} * 5.938 V'.$$

Il valore $V_{\max}$ si realizza invece per $\varphi = 4.4$ rad, perciò detta V' la velocità corrispondente a $Q_{\max}$, il rapporto tra $V_{\max}$ e V' sarà:

$$\frac{V_{\max}}{V'} = \left[\frac{1 - \frac{\sin 257^\circ}{4.40}}{1 - \frac{\sin 302^\circ}{5.09}} \right]^{2/3} = 1.03,$$

inoltre, sviluppando i calcoli si ottengono i relativi valori di $Q_{\max}$ e di $V_{\max}$:

$$Q_{\max} = A \frac{V_{\max}}{1.03} = \frac{r^2}{2} * 5.938 * \frac{V_{\max}}{1.03}$$

$$V_{\max} = k_m * R^{2/3} * I^{1/2} = k_m * \left(\frac{r}{2}\right)^{2/3} * \left(1 - \frac{\sin 257^\circ}{4.40}\right)^{2/3} * I^{1/2}.$$

Infine, tramite l'utilizzo degli appositi monogrammi, per diversi valori di K_m , si può determinare il raggio della sezione del tombino " r " e la pendenza " i ", una volta fissata la portata " Q " e la velocità " V ".

4. La verifica idraulica di un tombino nel territorio di Caltanissetta

Procediamo ora ad effettuare un'applicazione pratica della metodologia sopra illustrata, con la verifica idraulica di un tombino che debba smaltire le acque di un bacino imbrifero della Sicilia Centrale ricadente all'interno del bacino idrografico denominato "*Imera Meridionale*".

Tale bacino insistente nella periferia di Caltanissetta (cfr. Fig.10), ha le seguenti caratteristiche:

Area = 3.09 Km²; Lunghezza asta principale = 2,45 Km;

Altezza media = 605 m.s.m.

Si consideri, inoltre, per l'opera in esame di assumere un tempo di ritorno $T = 50$ anni.

Tramite la formula di Giandotti si ricava il tempo di corrivazione t_c , cioè il tempo che impiega la generica goccia di acqua a raggiungere la sezione di calcolo partendo dal punto idraulicamente più svantaggiato.

Pertanto, si ha:

$$t_c = (1.5 L + 4 A^{0.5}) / [0.8 (H)^{0.5}]$$

in cui:

H = altitudine media del bacino [m];

L = lunghezza dell'asta principale [km];

A = area bacino [kmq].

Per cui, sviluppando i calcoli, risulta: $t_c = 0,544$ h.

Ricerchiamo adesso il *coefficiente di deflusso* attraverso la formula di *Harolds*

$$CT = C_{100}(T_r / 100)^{0.2}$$

Con il seguente significato dei simboli:

T_r = Tempo di ritorno;

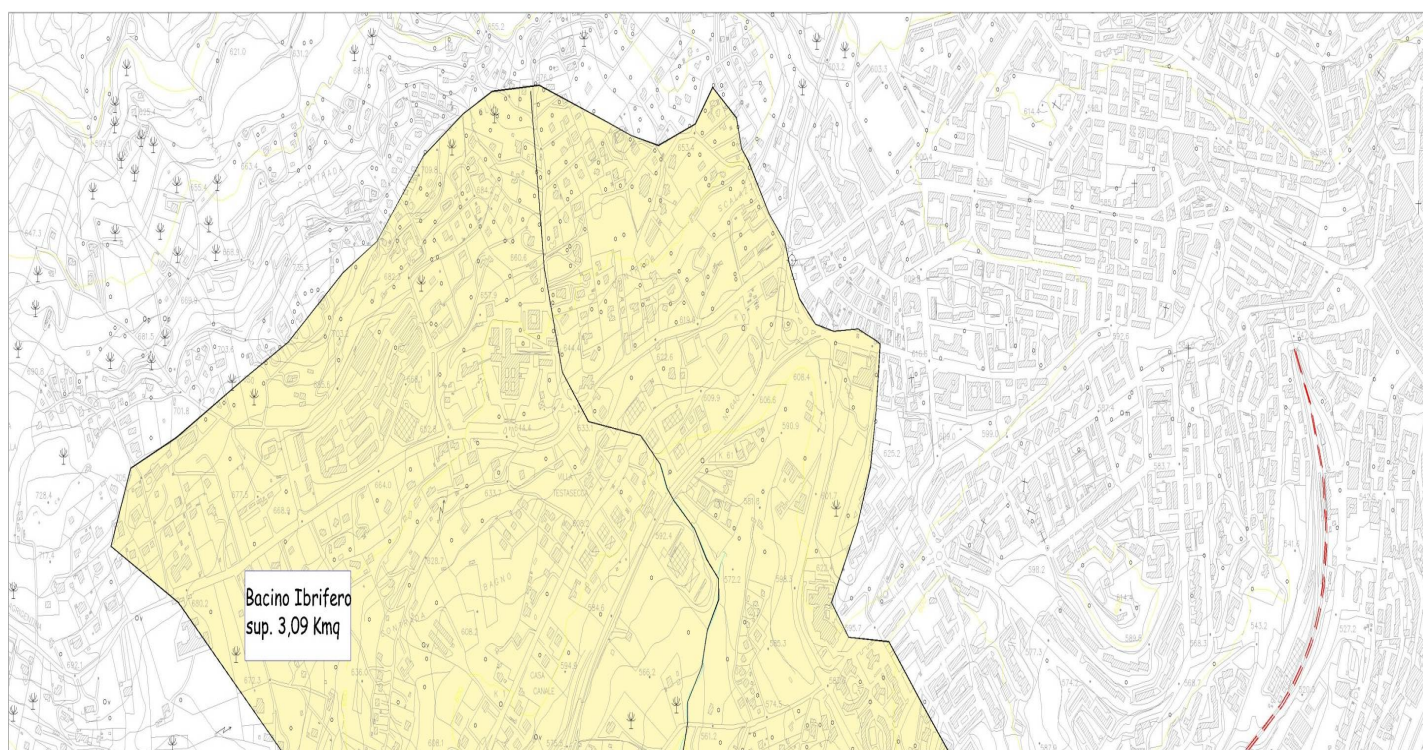


Fig. 10

C_{100} = Coefficiente di Deflusso per un tempo di ritorno pari a 100 anni.

I valori di C_{100} in funzione del tipo di terreno e della vegetazione di pertinenza possono essere ricavati dalla seguente *tab. 1*.

Tab. 1

Tipo di terreno	Bassa densità vegetale	Alta densità vegetale
Impermeabile	0,85	0,77
Debolmente permeabile	0,7	0,6
Permeabile	0,55	0,5,

Nel caso in esame siamo in presenza di terreni permeabili con bassa densità vegetale, per cui risulta:

$$CT = 0,478 .$$

Adesso si determini il parametro K' attraverso l'espressione:

$$1,795/K' = (1/CT) - 0,45,$$

pertanto, risulta $K' = 1.095$.

Ciò posto, si calcoli il coefficiente di crescita K_T (relativo al tempo di ritorno assunto, per l'opera idraulica in questione, pari a $T_r = 50$ anni)

$$K_T = (1 - K' \log T/T-1) / (1+0,251K')$$

il cui valore è: $K_T = 2,551$.

Per ottenere la massima altezza di pioggia di durata t relativa al prefissato tempo di ritorno utilizzando la formula:

$$h_{t,T} = P_t K_T$$

in cui:

$$Pt = at^n$$

le variabili a ed n per ogni stazione pluviometrica della Sicilia sono state elaborate dal Servizio Rischi Idrogeologici ed Ambientali del Dipartimento Regionale di Protezione Civile che ha calcolato i suddetti parametri basandosi su osservazioni pluviometriche dal 1924 al 2002. Nel nostro caso per un tempo di ritorno pari a 50 anni per la stazione pluviometrica di Caltanissetta risulta:

$$a = 67; \quad n = 0.27;$$

Quindi, risulta che la massima altezza di pioggia h_{tc} di durata $t = t_c$ relativa ad un tempo di ritorno $T_r = 50$ anni, è:

$$h_{tc} = 145,05 \text{ mm}$$

mentre per l'intensità di pioggia i si ottiene

$$i = h_{tc} / t_c = 266,59 \text{ mm/h}$$

La massima portata che defluisce attraverso la sezione terminale del bacino si determina utilizzando l'espressione:

$$Q = \varphi i A/3,6 \text{ [mc/s]}$$

in cui:

$$A = 3.09 \text{ Km}^2$$

area del bacino imbrifero

$$\varphi = 0,47$$

coefficiente di deflusso

$$i = 109.50 \text{ mm/h}$$

intensità di pioggia

risulta:

$$Q = 107,55 \text{ mc/s.}$$

Per la determinazione della *portata massima* che può defluire attraverso il tombino circolare, si applica la nota relazione di Chezy:

$$Q' = \chi A \sqrt{R}$$

con:

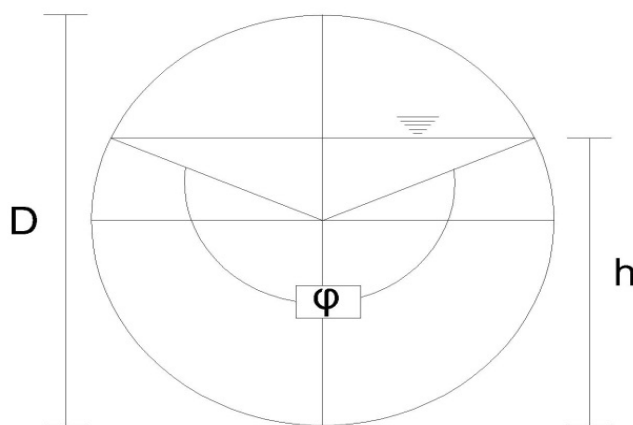
$\chi = c R^{1/6}$ coeff. di scabrezza (formula di Gauckler-Strickler);
 $c = 70$ coeff. di resistenza per canale con pareti in lamiera ondulata;

$R = A/C$ raggio idraulico;
 A = area di sezione liquida;
 C = contorno bagnato;
 $i = 3\%$ pendenza del tombino.

Assumendo un grado di riempimento della canna pari al 70% si ricava l'altezza del pelo libero (h), quindi per un tombino avente un diametro $D=2$ m, risulta:

$$h=0.7 \times D=1,4\text{m}$$

L'area della sezione liquida si calcola attraverso la:



$$A = \frac{1}{2} r^2 (\phi - \sin \phi)$$

Dove:

r = raggio della canna
 ϕ = angolo al centro che sottende il pelo libero.

$$\Phi = 2 \arccos(1-h/r) = 3,9614 \text{ rad}$$

Pertanto, si ottiene:

$$A = 2,3462 \text{ mc/s}, \quad C = 3,9614 \text{ m} \quad R = 0,5923.$$

da cui, si perviene ad una portata pari a:

$$Q' = 20,06 \text{ mc/s.}$$

Quindi, essendo la portata che può defluire attraverso la canna del tombino, minore della massima portata prevedibile (relativa al prefissato tempo di ritorno $T = 50$ anni):

$$Q' < Q = 107,55 \text{ mc/s.}$$

la verifica idraulica in esame **non** risulta soddisfatta, pertanto si prefigurano 2 soluzioni:

1. realizzazione di più tombini a sezione circolare affiancati;
2. realizzazione di un tombino scatolare di idonee dimensioni

Procediamo ora alla verifica di un tombino scatolare, avente le seguenti dimensioni:

Altezza $H=4$ m

Larghezza $L=4$ m.

Fissando un "franco" del 30%, l'altezza della *sezione liquida* risulta:

$$h = 0,7 \cdot H = 2,8 \text{ m}$$

ricaviamo poi agevolmente l'area della sezione bagnata

$$A = L \cdot h = 11,2 \text{ mq}$$

mentre il contorno bagnato risulta

$$C = L + 2 h = 9,6 \text{ m}$$

ed il raggio idraulico

$$R = A/C = 1,17 \text{ m.}$$

Si applichi adesso la nota relazione di *Chezy*: $Q' = \chi A \sqrt{Ri}$

con:

$$\chi = c R^{1/6} = \text{coeff. di scabrezza (formula di Gauckler-Strickler);}$$

$c = 65$ = coefficiente di resistenza per canale in cemento con pareti non perfettamente lisce;

$R = A/C$ = raggio idraulico;

A = area di sezione liquida;

C = contorno bagnato;

i = 3% pendenza del tombino,

da cui, si perviene alla determinazione della relativa portata

$$Q' = 139,74 \text{ mc/s.}$$

Quindi, essendo la portata che può defluire attraverso la canna del tombino maggiore di quella massima prevedibile (relativa al prefissato tempo di ritorno $T = 50$ anni):

$$Q' > Q = 107,55 \text{ mc/s}$$

la verifica idraulica in esame risulta pertanto soddisfatta.

5. Quadro Normativo di riferimento per la difesa del suolo e per l'assetto idrogeologico

Unione Europea

- [Direttiva 23 Ottobre 2007, n. 2007/60/CE \(direttiva alluvioni \)](#)
Direttiva 2007/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2007 relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni
- [Communication COM/2002/0481 from the Commission to the European Parliament and the Council](#)
The European Community response to the flooding in Austria, Germany and several applicant countries - A solidarity-based initiative
- [Risoluzione del Consiglio del 6-05-1994](#)
concernente una strategia comunitaria di gestione integrata delle zone costiere
- [Raccomandazione 2002/413/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30-05-2002](#)
relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa
- [Comunicazione COM/2002/0179 16-04-2002 della Commissione al Consiglio e al Parlamento europeo, al Comitato economico e sociale e al Comitato delle Regioni](#)
Verso una strategia tematica per la protezione del suolo

Repubblica Italiana

- [Decreto legislativo 23 Febbraio 2010, n. 49 \(Gestione alluvioni \)](#)
Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni (G.U. n. 77 del 2 aprile 2010)
- [Legge 31-07-2002, n. 179](#)
Disposizioni in materia ambientale
- [D.L. 12-10-2000, n. 279 convertito in legge da L. 11-12-2000, n. 365](#)
Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali
- [D.L. 13-05-1999, n. 132 convertito in legge da L. 13-07-1999, n. 226](#)
Interventi urgenti in materia di protezione civile
- [D.P.R. 21-12-1999](#)
Delimitazione del bacino idrografico del fiume Arno.
- [D.L. 11-06-1998, n. 180 convertito in legge da L. 1998, n. 267, modificato dal D.L. 13-05-1999, n.132 convertito in legge da L. 13-07-1999, n. 226 e successivamente modificato dal D.L.12-10-2000 convertito in legge da L. 11-12-2000, n. 365](#)
Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania
- [D.P.C.M. 29-09-1998](#)
Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180
- [D.M. 14-02-1997](#)
Direttive tecniche per l'individuazione e la perimetrazione, da parte delle Regioni, delle aree a rischio idrogeologico
- [D.P.R 18-07-1995](#)
Atto di indirizzo e coordinamento per determinare i criteri di integrazione e di coordinamento tra le attività conoscitive dello Stato, delle autorità di bacino e delle regioni per la redazione dei piani di bacino di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo
- [Legge 5-01-1994, n. 37](#)
Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle altre acque pubbliche
- [D.P.R. 14-04-1994](#)
Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici
- [D.P.R. 14-04-1993](#)
Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni recante criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica e forestale
- [D.P.R. 7-01-1992](#)
Atto di indirizzo e coordinamento per determinare i criteri di integrazione e di coordinamento tra le attività conoscitive dello Stato, delle autorità di bacino e delle regioni per la redazione dei piani di bacino
- [Legge 7-08-1990, n. 253](#)
Disposizioni integrative alla legge 183/89
- [Legge 8-11-1991, n. 360](#)
Interventi urgenti per Venezia e Chioggia.

- [D.P.C.M. 23-03-1990](#)
Atto di indirizzo e coordinamento ai fini della elaborazione e della adozione degli schemi previsionali e programmatici di cui all'art. 31 della legge 18 maggio 1989, n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.
- [Legge 18-05-1989, n. 183](#)
Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo
- [R.D. 25 luglio 1904, n. 523](#)
Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.

6. Riferimenti Bibliografici

- Viparelli C. (1963), "Ricostruzione dell'idrogramma di piena nei piccoli bacini naturali", L'Energia Elettrica, Milano, 1963;
- Lo Bosco D.(1989), "Le opere d'arte minori nel progetto stradale", Parte seconda, Università di Reggio Calabria; Quaderno n. 5;
- Tesoriere G. (1994), " Strade Ferrovie Aeroporti", Vol.5, il progetto e le opere d'arte; UTET, Torino;
- Maione U., Brath A., (1995), "Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali", Atti Corso di Aggiornamento, Politecnico di Milano, Ed. BIOS, Cosenza;
- Maione U. , Moisello U (2011), - Elementi di statistica per l'idrologia;
- Moisello U. (2012), - Idrologia Tecnica, Roma.
- F. Napolitano: "APPUNTI E DISPENSE DI PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO E DEI LITORALI", 2012.
- A. Armanini: Principi di Idraulica Fluviale, Editoriale Bios, 1999;
- L. Da Deppo, C. Datei, P. Salandin: Sistemazione dei corsi d'acqua italiani, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1998;
- R. Rosso: Manuale di protezione idraulica del territorio, CUSI, Milano, 2002;
- Lo Bosco D. – Leonardi G. – Scopelliti F., "Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale", gennaio, 2012.
- MIT – Annali a cura del Servizio Idrologico Italiano, Roma, 2013.
- Annali delle stazioni pluviometriche regionali con dati elaborati dal Servizio Rischi Idrogeologici ed Ambientali del Dipartimento di Protezione Civile Regione Sicilia, 2014.