



AUTORITA' PORTUALE DI CIVITAVECCHIA,
FIUMICINO E GAETA

**PROGETTO PRELIMINARE RELATIVO AGLI INTERVENTI DI
RIORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA FERRO IN AREA AUTORITÀ
PORTUALE DI CIVITAVECCHIA**

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO
Dott. Pasqualino Monti

IL COORDINATORE DELLA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Giuseppe Solinas

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Maurizio Marini

Collaboratori APC	geom. Vittorio Lauro geom. Jacopo Turchetti arch. Marco Vettrano ing. Fabio Candido Poleggi	
-------------------	--	--

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

CODICE PROGETTO: CV PP INF GEN 07 15

SCALA: ---

PROGETTAZIONE



IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. Letizia Berardi

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

E 1 0 X 0 0 R 1 1 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G. Grimaldi	Dic. 2015	E. Elisei	Dic. 2015	A. Peresso	Dic. 2015	F. Sacchi Dic. 2015

File:E10X00R11RIID0001001A.docx

n. Elab:

INDICE

1	PREMESSA	3
2	PRECEDENTI STUDI.....	4
3	CRITERI DI VERIFICA	5
4	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE E DELLE PIENE	6
4.1	IL MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL.....	6
4.2	IL MODELLO PROBABILISTICO TCEV.....	7
4.3	APPROCCIO GERARCHICO ALLA STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI	8
4.3.1	I° Livello di regionalizzazione:	9
4.3.2	II° Livello di regionalizzazione	9
4.3.3	III° Livello di regionalizzazione	9
5	ANALISI REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE	9
5.1	LE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA.....	9
5.1.1	La relazione intensità – durata delle precipitazioni.....	10
6	ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIENE.....	13
6.1	CURVE REGIONALI DI CRESCITA DELLE PIENE.....	13
6.2	STIMA DELLA PIENA MEDIA CON LA FORMULA RAZIONALE.....	14
6.3	IL TEMPO DI RITARDO	15
6.3.1	Bacini di dimensioni medio-grandi ($S > 10 \text{ km}^2$).....	15
6.3.2	Bacini di piccole dimensioni ($S < 10 \text{ km}^2$)	15
6.3.3	Il coefficiente statistico di piena.....	16
6.4	PORTATE MEDIE AL COLMO STIMATE PER I BACINI DI INTERESSE.....	17
6.5	RISULTATI DELLE ELABORAZIONI.....	17



**PROGETTO PRELIMINARE RELATIVO AGLI INTERVENTI DI
RIORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA FERRO IN AREA AUTORITÀ
PORTUALE DI CIVITAVECCHIA**

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA

E10X

LOTTO

00

CODIFICA

R 11 RI

DOCUMENTO

ID 00 01 001

REV.

A

FOGLIO

3 di 17

1 PREMESSA

Il porto di Civitavecchia è un nodo logistico a servizio sia di passeggeri sia di merci, che gestisce traffici di tipo Ro-Pax, crociere, traghetti, diporto, Ro-Ro, container, rinfuse liquide e solide.

L'attuale assetto dell'area portuale di Civitavecchia è significativamente carente, sia dal punto di vista della configurazione della rete infrastrutturale ferroviaria, sia da quello della dotazione dei sistemi di movimentazione.

Relativamente all'accessibilità ferroviaria, il porto è raccordato alla linea Torino - Genova - Civitavecchia - Roma - Napoli - Reggio Calabria ed alla linea Civitavecchia - Capranica - Orte, parzialmente dismessa (attiva fino al raccordo DECAR) e che, una volta riattivata, consentirà il collegamento diretto tra le aree portuali e quelle interportuali.

Attualmente, l'impianto ferroviario del Porto di Civitavecchia è utilizzato per la movimentazione delle seguenti tipologie di treni:

- treni di ferro cromo, diretti verso le acciaierie di Terni, e treni di semilavorati dell'acciaio, trasportati in coils, provenienti dalle acciaierie;
- treni di autovetture provenienti dallo stabilimento Fiat di Melfi e destinate all'imbarco per il mercato americano con ritorno a vuoto. Alla luce dei nuovi accordi commerciali, tale traffico è in rapida crescita proprio in questi ultimi tempi.

Il Porto, inoltre, movimentava un modesto traffico di container trasportato interamente su gomma. Di recente sono state inoltre attivate delle nuove relazioni commerciali da/per gli interporti di Bologna e Verona per il trasporto su ferro di generi alimentari da/per la banchina 25.

A partire dai risultati dello Studio di Fattibilità del 2015, oggetto della fase progettuale corrente è stato l'approfondimento della riorganizzazione del sistema ferro all'interno dell'area dell'Autorità Portuale finalizzato alla risoluzione delle criticità funzionali del fascio operativo, per il miglioramento delle procedure di gestione dei treni Fiat e dei treni acciaierie, per l'ottimizzazione delle aree di stoccaggio e accumulo e per la mitigazione delle interferenze fra l'infrastruttura ferroviaria e le viabilità stradali pubblica ed operativa del porto.

La presente relazione riassume brevemente le indagini sviluppate, le metodologie applicate ed i risultati dello studio idrologico svolto per il dimensionamento e la verifica della compatibilità idraulica delle opere ferroviarie previste in progetto e relative ai nuovi attraversamenti dei Fossi Torre d'Orlando e Monna Felice, attraversamenti realizzati con tombini scatolari.

I due fossi sono identificati, secondo il Manuale di Progettazione Italferr, come fossi secondari presentando bacini di superficie inferiore a 10 km².

In progetto è attraversato anche il fosso Buonaugurio (altresì denominato fosso del Prete). L'attraversamento avviene in corrispondenza dell'attuale viadotto ferroviario.

2 PRECEDENTI STUDI

Si fa presente inoltre che lo studio idrologico proposto, integra e complementa quelli

effettuati nelle precedenti fasi progettuali sviluppate da:

- 1) Modimar nell'ambito del progetto per il completamento della banchina commerciale del porto di Civitavecchia e per la realizzazione della darsena traghetti;
- 2) C.r.a. nell'ambito del progetto per l'intervento di realizzazione nuove rampe di accesso area enel e adeguamento del raccordo viabilistico dell'area portuale lato nord;
- 3) VIA ingegneria nell'ambito dello studio preliminare di sistemazione spondale dei fossi del Marangone, Malpasso, di Scarpatosta, dell'Oro, di Zampa d'Agnello, Fiumaretta e Del Prete;
- 4) ABR Lazio nell'ambito della convezione "Rilievi, studi e ricerche per l'aggiornamento del piano stralcio per l'assetto idrogeologico relativamente alla difesa idraulica dei Bacini Regionali minori area nord";
- 5) 1° Lotto Funzionale Prolungamento Antemurale C. Colombo e Darsena Servizi e Traghetti - progetto Esecutivo - Allegato 2: Interventi di Riquilificazione e Sistemazione dei Fossi a cura di DAM S.p.A.;
- 6) 1° Lotto Funzionale Prolungamento Antemurale C. Colombo e Darsena Servizi e Traghetti -perizia di Variante 1 - Relazione Idraulica ed Idrologica del Fosso del Buonaugurio a cura di Rogedil Servizi s.r.l.

Nella tabella seguente si riportano le portate presenti negli studi sopra elencati.

Studio	Torre d'Orlando	Monna Felice	Buonaugurio già Del Prete	Fiumaretta
	(m ³ /s) (T anni)	(m ³ /s) (T anni)	(m ³ /s) (T anni)	(m ³ /s) (T anni)
Modimar	--	--	40.00 (T=200)	140.00 (T=200)
C.r.a.	59.50 (T=100)	28.00 (T=100)	104.70 (T=100)	--
VIA ingegneria GTA	--	--	31.60 (T=100)	87.20 (T=100)
	--	--	34.20 (T=200)	94.60 (T=200)
AbR Lazio	--	--	--	192.10 (T=100)
	--	--	--	232.30 (T=200)
DAM S.p.A.	60.00 (T=100)	28.00 (T=100)	81.20 (T=100)	191.70 (T=100)
	72.50 (T=200)	33.90 (T=200)	98.20 (T=200)	231.80 (T=200)
Rogedil Servizi s.r.l.	--	--	77.00 (T=200)	--

In progetto sono previste nuove opere di attraversamento in corrispondenza del fosso Torre d'Orlando e del Fosso Monna Felice. I restanti attraversamenti avvengono con riposizionamento ed adeguamento della sovrastruttura ferroviaria su opere di attraversamento esistenti costituite da ponti ad arco e viadotti. Il torrente Fiumaretta è fuori dal limite di intervento.

3 CRITERI DI VERIFICA

Lo studio idraulico è finalizzato al dimensionamento delle sezioni di deflusso dei manufatti per la risoluzione delle problematiche connesse con il regime idraulico dell'area interessata dalla variante alla linea ferroviaria in progetto.

Come previsto dal Manuale di Progettazione RFI/Italferr ogni tipo di manufatto idraulico verrà verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno T_r (essendo S la superficie del bacino):

a) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria $T_r = 300$ anni per $S \geq 10 \text{ km}^2$.
- **linea ferroviaria $T_r = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$.**

b) Inalveamenti:

- tratti a monte e a valle della linea ferroviaria $T_r = 300$ anni per $S \geq 10 \text{ km}^2$.
- **tratti a monte e a valle della linea ferroviaria $T_r = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$.**

4 MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE E DELLE PIENE

In questo capitolo vengono esposti i richiami fondamentali teorici relativamente all'analisi probabilistica degli estremi idrologici. Vengono descritte brevemente le due leggi teoriche più importanti (Gumbel e TCEV) con indicazioni sulle modalità di stima dei parametri.

4.1 Il modello probabilistico di Gumbel

L'espressione della probabilità cumulata della legge di Gumbel è

$$F(x) = e^{-e^{\alpha(x-\varepsilon)}} \quad (1)$$

con α ed ε parametri della distribuzione, che vengono, di norma, stimati attraverso il metodo dei momenti:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} = \frac{1.283}{\sigma} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \mu - 0.45 \cdot \sigma \quad (3)$$

dove μ e σ sono rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio dei dati.

Un diverso metodo di stima dei parametri è basato sulla massimizzazione della funzione di verosimiglianza della distribuzione (metodo della massima verosimiglianza). Le differenze tra i due metodi si apprezzano in particolare quando il grado di adattamento della distribuzione ai dati è basso. Infatti, il metodo dei momenti tende a privilegiare i valori di entità più elevata, che hanno forte influenza in particolare sul momento del secondo ordine. Il metodo della massima verosimiglianza fornisce invece una curva che rispetta maggiormente i pesi rappresentati dalle frequenze cumulate, per cui non si lascia influenzare molto da singoli valori molto elevati.

Per riportare opportunamente i valori di x corrispondenti ad una fissata probabilità F (o periodo di ritorno T) si può invertire la legge $F(x)$ ottenendo

$$x_T = \varepsilon \left\{ 1 - (\alpha\varepsilon)^{-1} \ln \ln \left[\frac{T}{T-1} \right] \right\} \quad (4)$$

in quanto vale $T=1/(1-F)$.

Stimando i parametri con il metodo dei momenti è possibile esprimere direttamente x_T in funzione di media e scarto, attraverso l'espressione:

$$x_T = \mu \left\{ 1 - C_{v_x} \left[0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

dove C_{v_x} rappresenta il coefficiente di variazione dei dati.

	PROGETTO PRELIMINARE RELATIVO AGLI INTERVENTI DI RIORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA FERRO IN AREA AUTORITÀ PORTUALE DI CIVITAVECCHIA					
IDROLOGIA E IDRAULICA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA E10X	LOTTO 00	CODIFICA R 11 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 7 di 17

L'espressione della legge di Gumbel può essere quindi rappresentata attraverso il prodotto della media per una quantità che rappresenta la crescita della media stessa in funzione del periodo di ritorno, quantità che è chiamata fattore di crescita con il periodo di ritorno (K_T), e che consente di rappresentare la relazione di frequenza delle precipitazioni secondo il prodotto:

$$x_T = \mu \cdot K_T \quad (6)$$

Questa rappresentazione risulta particolarmente utile nella determinazione su base regionale delle leggi di frequenza, in quanto molto spesso K_T risulta essere costante in ampie regioni.

4.2 Il modello probabilistico TCEV

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle portate al colmo di piena non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche delle portate al colmo di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati (v.: Penta et al., 1978, Penta et al., 1980).

La funzione di probabilità cumulata (CDF dall'acronimo inglese *Cumulative Distribution Function*) del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F_X(x) = \exp \left\{ -\Lambda_1 \exp \left(-\frac{x}{\Theta_1} \right) - \Lambda_2 \exp \left(-\frac{x}{\Theta_2} \right) \right\} \quad x \geq 0 \quad (7)$$

La funzione ha quattro parametri, Λ_1 , Θ_1 , Λ_2 e Θ_2 . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

I parametri Λ_1 e Λ_2 esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri Θ_1 e Θ_2 esprimono invece la media di tali eventi.

Spesso è utile fare riferimento, anziché alla X , alla variabile standardizzata

$$Y = \frac{X}{\Theta_1} - \ln \Lambda_1 \quad (8)$$

caratterizzata dalla CDF:

$$F_Y(y) = \exp \left\{ -\exp(-y) - \Lambda_* \exp \left(-\frac{y}{\Theta_*} \right) \right\} \quad (9)$$

nella quale risulta

$$\Theta_* = \Theta_2 / \Theta_1 \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\Theta}$$

L'espressione completa della CDF della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale $X' = \frac{X}{\bar{x}}$ dove con \bar{x} si è indicato il *valore indice* (la media della variabile).

La CDF di questa nuova variabile X' è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri Λ^* , Θ^* , Λ_1 e Θ_1 , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee, per cui rappresenta uno strumento di uso particolarmente comodo. Infatti, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile (\bar{x}) per avere, a partire dalla $F_{X'}(x')$, la distribuzione di probabilità finale

$$F_X(x) = \bar{x} F_{X'}(x') \quad (10)$$

4.3 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

Si sono già evidenziate le relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV. Su queste relazioni si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da Λ^* , Θ^* e Λ_1 ed è quindi indipendente da Θ_1 , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ^* e Θ^* ed è quindi indipendente da Λ_1 e Θ_1 .

La stima su base regionale di parametri dipendenti da momenti di ordine elevato si rende necessaria in quanto i coefficienti di asimmetria e di variazione campionari, espressi rispettivamente dalle relazioni:

$$C_A = \sqrt{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^{3/2}} \quad C_V = \frac{N}{\sqrt{N-1}} \cdot \frac{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right]^{3/2}}{\sum_{i=1}^N x_i} \quad (11)$$

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale.

Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti. Per le relazioni di cui si è detto in precedenza si ha come conseguenza la costanza dei parametri del modello TCEV direttamente legati ai suddetti momenti campionari.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli.

4.3.1 I° Livello di regionalizzazione:

Si assume che il coefficiente di asimmetria C_A sia costante in una regione molto ampia (l'intera Italia Appenninica ed insulare ad eccezione della Sardegna). Ciò implica, per quanto detto in precedenza, la costanza dei parametri Λ^* e Θ^* del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a Λ^* e Θ^* , risulta unica la CDF della variabile standardizzata Y , in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello. In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque Λ^* e Θ^* assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

4.3.2 II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a Λ^* e Θ^* possa suddividersi in sottozona in cui il coefficiente di variazione C_V risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro Λ_1 , nella sottozona omogenea, oltre che di Λ^* e Θ^* . Il valore di Λ_1 relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a Λ_1 la variabile $X' = X/\bar{x}$ risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

4.3.3 III° Livello di regionalizzazione

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media \bar{x} (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse. Infatti la variabilità della pioggia (o della piena) indice \bar{x} con le caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche è tale che l'ipotesi basata sulla ricerca di aree con \bar{x} costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

5 ANALISI REGIONALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

5.1 Le curve di probabilità pluviometrica

La rappresentazione di x_T secondo il modello probabilistico scelto (Gumbel o TCEV) si ritiene valida per massimi annui di pioggia in un qualsiasi intervallo di durata inferiore al giorno, considerando che la modalità di "crescita" del valore indice non cambia con la durata delle precipitazioni. Pertanto, la massima pioggia di generica durata corrispondente ad un periodo di ritorno T , sintetizzata nell'espressione

$$h_{t,T} = \mu_{ht} K_T \quad (12)$$

rappresenta la famiglia di curve di probabilità pluviometrica.

Nel paragrafo seguente si tratterà della rappresentazione e stima della relazione altezza di pioggia-durata per le precipitazioni estreme annue (o, che è lo stesso, della relazione intensità-durata), con riferimento ai valori medi della grandezza.

5.1.1 La relazione intensità – durata delle precipitazioni

La legge di dipendenza della media dei massimi di precipitazione con la durata può esprimersi, nel caso più semplice, come:

$$\mu_{it} = at^n \quad (13)$$

con i coefficienti a ed n da stimarsi tramite un modello di regressione sui dati disponibili, sugli *Annali Idrologici*, per le durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Trattandosi di una legge di potenza, a ed n possono essere stimati tramite regressione lineare sui logaritmi di μ e t .

Per bacini di dimensioni ridotte, risulta necessario focalizzare l'attenzione sulla parte della legge di probabilità pluviometrica che interessa le durate inferiori all'ora.

Esiste una letteratura specifica sulla derivazione di leggi intensità - durata valide per durate molto brevi (v. es. *Hall*, 1984).

Tra le relazioni più efficaci che sono in grado di tenere conto del reale andamento delle intensità al disopra ed al disotto dell'ora, è quella iperbolica a tre parametri:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \frac{I}{(1 + Bt)^\beta} \quad (14)$$

In Italia ci si trova però spesso in grande difficoltà nella fase di stima dei parametri delle relazioni, in quanto mancano dati sistematici relativi ai massimi annuali di durata inferiore all'ora, per l'uso di relazioni di questo tipo diventa spesso inutile se non si dispone di dati attendibili relativi ai massimi di durata inferiore all'ora (v. es. *Modica e Rossi*, 1988).

L'effettiva possibilità di usare una siffatta legge a tre parametri in assenza di dati inferiori all'ora nella specifica stazione di interesse esiste solo se si effettua un'analisi regionale, come ad esempio quella realizzata da *Rossi e Villani* (1995), *Calenda e Cosentino*, (1996) nell'ambito dell'attività del *GNDCI* (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche).

Nello studio di *Calenda e Cosentino* (1996) la legge a tre parametri viene espressa come:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b + t} \right)^m \quad (15)$$

dove μ_{i0} è la media dell'intensità istantanea (parametro da stimare), t è la durata in ore e b e m sono gli altri due parametri.

Le ipotesi assunte da *Calenda e Cosentino* (1996) per derivare espressioni della relazione intensità - durata valide su regioni omogenee sono:

1. il rapporto tra intensità media della pioggia di 5'' e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area esaminata, ed è desunto dallo studio delle piogge intense della stazione pluviometrica di *Roma (Macao)*:

$$\left(\frac{\mu_{i5''}}{\mu_{i1}} \right) = 3.36 = r \quad (16);$$

2. l'esponente m ed il parametro di deformazione temporale b sono indipendenti dal tempo di ritorno T ;
3. l'intensità istantanea media μ_{i0} è dipendente dalla quota Z della stazione pluviometrica secondo la relazione:

$$\frac{\mu_{i0}(Z)}{\mu_{i0}} = \frac{\mu_{hg}}{\mu_{hg}} \quad (17)$$

4. esiste una dipendenza dalla quota dell'esponente m , in virtù del fatto che l'intensità media nelle 24 ore è assunta proporzionale all'intensità media giornaliera: $\mu_{i24} = \mu_{ig} \delta$ con $\delta=1.15$.

Essendo μ_{ig} dipendente linearmente dalla quota, lo stesso vale per μ_{i24} , secondo la relazione:

$$\mu_{i24} = \delta \frac{cZ + d}{24} \quad (18)$$

Dalla (17) tenendo conto della (18), il parametro m può essere espresso dalla relazione:

$$m = \frac{\ln \left[\frac{\mu_{i0}}{\mu_{i24}} \right]}{\ln \left[\frac{b + 24}{b} \right]} = \frac{\ln \left[\frac{\mu_{i0}}{\mu_{i24}} \right]}{\ln \left[1 + \frac{24(r^{1/m} - 1)}{1 - 0.0833r^{1/m}} \right]} \quad (19)$$

Ai fini della determinazione della curva di probabilità pluviometrica per la zona di interesse, vanno quindi identificati i valori dei coefficienti delle relazioni (15) e (17) per la sottozona pluviometrica alla quale appartiene l'area indagata.

Essenzialmente, servono i valori dei coefficienti b , c , e μ_{i0} e la quota di riferimento, che è funzione della zona indagata.

Il bacino oggetto dello studio è posto nell'ampia zona omogenea A4 (*Calenda e Cosentino*, 1996) caratterizzata dai seguenti valori dei coefficienti:

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

E10X

00

R 11 RI

ID 00 01 001

A

12 di 17

- $c = 0.0339 \text{ mm/m}$;
- $d = 67.67 \text{ mm}$;
- $b = 0.1705 \text{ h}$;
- $m = 0.7881$;
- $\mu_{10} / \mu_{124} = 49.62$.

Noti i coefficienti con la relazione (18) è possibile stimare valore medio dell'intensità di 24 e quindi il valor medio dell'intensità istantanea μ_{10} noto il loro rapporto.

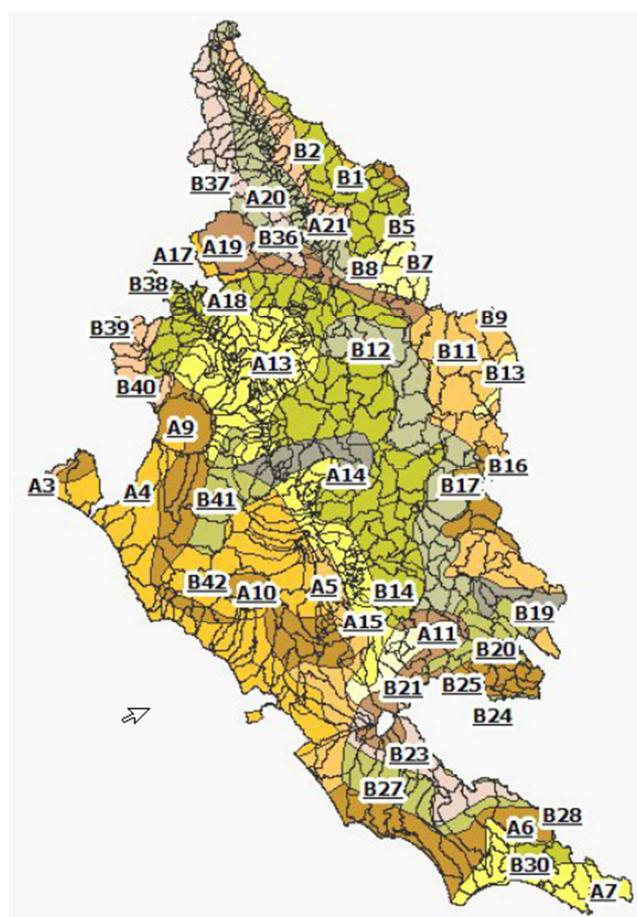


Figura 1 – Sottozone VAPI per l'ex Compartimento di Roma del SIMN

In conclusione, la curva adottata per la relazione intensità – durata delle precipitazioni è del tipo:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m \quad \text{con } b = 0.11705 \text{ h e } m = 0.7881 \quad (20)$$

Considerando la quota media del bacino pari a 50 m s.m.m. si ottiene $\mu_{i0} = 164.92$ mm/h per il fosso Torre D'Orlando e, per la quota media pari a 30 m s.m.m. si ottiene $\mu_{i0} = 163.32$ mm/h per il fosso Monna Felice.

Con riferimento al rapporto sulla valutazione delle piene in Italia per il bacino di Roma (CNR-GNDICI, Allegato F, 1994 a cura di Calenda, Campolo, Cosentino, Guercio) il fattore di crescita con il periodo di ritorno per la zona omogenea A assume i seguenti valori:

K_T (analisi regionale) - Piogge			
T	50	100	200
K _T	2.45	2.98	3.52

6 ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIENE

6.1 Curve regionali di crescita delle piene

Come detto in precedenza, la stima delle portate di piena per fissato tempo di ritorno avviene tramite il calcolo dei valori della media delle piene e la successiva amplificazione delle stesse nella logica della formula

$$x_T = \mu K_T \quad (21)$$

Nel paragrafo successivo si approfondiranno i metodi ed i problemi di stima dei parametri relativi al calcolo della media.

Per quanto riguarda le curve di crescita, che hanno carattere regionale e che sono valutate con tecniche statistiche sofisticate usando un numero notevole di serie storiche, non vi è ragione di non applicare la metodologia proposta da Calenda et al. (1994). Nel caso specifico, gli autori hanno identificato un'unica zona 'idrometrica' omogenea, nelle quali i parametri di ordine elevato dalla TCEV sono costanti.

Il fattore di crescita con il periodo di ritorno per il compartimento di Roma assume i seguenti valori:

K_T (analisi regionale) - Portate			
T	50	100	200
K _T	2.27	2.85	3.84

6.2 Stima della piena media con la formula razionale

La formula razionale, in uso da oltre un secolo per valutazioni prima deterministiche ed oggi statistiche relative alle massime portate al picco di piena, è espressa nella sua accezione più attuale (v. es Villani, 1990, Rossi e Villani, 1995) come:

$$Q = \frac{C * I_{tr} S}{3.6} \quad (22)$$

in cui:

Q è la portata al colmo (in m³/s),

S è l'area del bacino (in Km²),

I_{tr} è l'intensità media di precipitazione in una durata pari al tempo di ritardo tr (in mm/ora),

C^* è detto coefficiente statistico di piena.

Quest'ultimo coefficiente rappresenta il prodotto del coefficiente di deflusso in piena C_f , che definisce l'area del bacino che contribuisce effettivamente alla portata, e della cosiddetta funzione di picco C_p , che porta in conto il fatto che nell'ambito di una precipitazione di durata pari al tempo di ritardo, solo parte dell'IUH (idrogramma unitario istantaneo) può contribuire alla determinazione della relazione tra picco e volume della piena. C_p risulta essere pertanto un fattore di attenuazione, che dà conto, tutto sommato, dei fenomeni di invaso nella rete idrografica.

In questa formulazione, che risulta essere una evoluzione di quella originariamente espressa da Mulvaney nel secolo scorso, il tempo "critico" è quello di *ritardo*, pari alla distanza dall'origine del baricentro della curva che definisce la risposta impulsiva del bacino (IUH).

I parametri da determinare per l'applicazione del metodo sono quindi, in aggiunta alla curva di probabilità pluviometrica h_t, T , necessaria a fornire il dato d'intensità media per la durata desiderata:

- il tempo di ritardo del bacino
- il coefficiente statistico di piena

La pluviometria rappresenta il fattore che comporta maggiore precisione per il fatto che la densità di stazioni sul territorio è elevata e, di solito, si può contare su una buona precisione delle misure pluviometriche. Incertezze molto maggiori accompagnano le valutazioni sul tempo di ritardo del bacino e sul coefficiente statistico di piena, che vanno derivati per via indiretta. Nei paragrafi che seguono si esaminano le tecniche per la loro determinazione ed i problemi da risolvere per la riduzione del grado di incertezza nella stima.

6.3 Il tempo di ritardo

Esistono in letteratura numerose formule empiriche (v. es. Watt e Chow, 1985) per la determinazione sia del tempo di corrivazione del bacino (che corrisponde al tempo di base dell'IUH) che per la stima della distanza dall'origine del baricentro dell'IUH (tempo di ritardo). Nel secondo caso, le formule empiriche puntano alla ricostruzione del tempo che separa il baricentro dello ietogramma dal baricentro dell'idrogramma. Gran parte delle formule empiriche hanno base fisica, nel senso che quasi sempre sono ottenute per composizione di parametri quali la lunghezza dell'asta principale (o dall'area) e la sua pendenza media (o da caratteristiche altimetriche del bacino).

L'applicazione delle formule empiriche deve sempre avvenire conformemente all'uso che ne è stato fatto nella loro determinazione, il che comporta una certa attenzione anche alla reale definizione di tempo di ritardo adottato ed alla formula finale utilizzata per la determinazione del picco di piena

6.3.1 Bacini di dimensioni medio-grandi ($S > 10 \text{ km}^2$)

Molto usata in Italia è la formula di Giandotti per il calcolo del tempo di corrivazione del bacino

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} \cdot 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad (23)$$

nella quale L rappresenta la lunghezza dell'asta principale e H la quota media 'netta' del bacino, cioè calcolata relativamente alla quota della sezione di chiusura. Uno dei motivi fondamentali per i quali questa formula rappresenta ancora un ausilio importante nella determinazione del tempo critico dei bacini idrografici è che per mezzo di tale formula sono stati ricostruiti molti valori di portata di piena storici nell'ambito del Servizio Idrografico Italiano. In particolare, essa è stata usata proprio per la ricostruzione dei valori eccezionali di piena, in corrispondenza dei quali le stazioni idrometriche spesso sono state distrutte. Nel caso dell'applicazione della formula razionale, non è del tempo di corrivazione che si ha però bisogno, bensì del tempo di ritardo. Questo passaggio è reso possibile da una procedura proposta da Silvagni (1984) nella quale si ipotizza un meccanismo di relazione tra le due grandezze tale che il tempo di ritardo risulta essere la metà di quello della corrivazione.

Il criterio appena esposto è stato usato per verifica da Versace et al. (1989) per i bacini calabresi. Nelle calcolazioni qui effettuate si è tenuto conto delle stime effettuate nello studio del Vapi - GNDICI, che confermano tali valutazioni.

6.3.2 Bacini di piccole dimensioni ($S < 10 \text{ km}^2$)

Tutto quanto detto con riferimento alla formula di Giandotti perde significato quando si considerano bacini di dimensioni molto piccole, come certamente è il caso di quelli che sono sottesi dai tombini e ponticelli oggetto di analisi per il tracciato ferroviario. A questo riguardo, ed in considerazione dei problemi che possono derivare da applicazioni acritiche delle formule empiriche, negli ultimi anni si sono affermate relazioni basate sulla formulazione geomorfologica dell'IUH, che hanno il pregio di essere state derivate nell'ambito di uno schema matematico che porta direttamente alla costruzione dell'IUH di un bacino. Tra queste, di particolare efficacia è quella proposta da Troutman e Karlinger (1985), che fa dipendere dal numero di aste del primo ordine (e quindi, in ultima analisi dall'area S) e dalla celerità media della corrente in piena, secondo la relazione:

$$t_r = \frac{1.25 \sqrt{S}}{3.6 c} \quad (24)$$

La relazione derivata, piuttosto semplice, è tale da dare un preciso significato ai coefficienti, i cui valori sono peraltro molto vicini a coefficienti ricavati da analisi empiriche (v. es. Rossi e Villani, 1995; Ermini e Fiorentino, 1994). Ovviamente, perché la formula possa venir applicata è necessario introdurre valori tipici di celerità per le situazioni fisiche in esame. Tenuto conto che

$$c = 1.5 v \quad (25)$$

dove v è la velocità della corrente, vengono qui in aiuto valutazioni effettuate specificamente sulle velocità delle correnti in piena. Viparelli (1963) suggerisce i seguenti valori tipici di velocità:

alvei a lieve pendenza: $v = 1\text{-}1.3$ m/s

alvei a forte pendenza: $v = 1.5\text{-}2$ m/s

Le configurazioni dei bacini esaminati in questo studio, in particolare per le piccole dimensioni di molti di questi, sono tali da richiedere un criterio di valutazione della velocità che tenga conto della pendenza dell'alveo. Il criterio che si è seguito corrisponde ad assegnare debole pendenza ai bacini le cui aste abbiano pendenza non superiore al 5%. Pertanto, la regola adottata corrisponde a porre:

$$P_{alveo} < 5\% \quad \rightarrow \quad v = 1.15$$

$$P_{alveo} > 5\% \quad \rightarrow \quad v = 1.75$$

Un altro aspetto particolarmente significativo per l'analisi in corso riguarda il fatto che in molti casi i bacini presentano aree tanto piccole da dar luogo a valori teorici del tempo di ritardo talmente bassi da non risultare verosimili. Come per le analoghe applicazioni che vengono svolte in ambito urbano, infatti, esistono dei tempi minimi di percorrenza che prescindono dalle dimensioni del bacino e che danno conto del ruscellamento sui versanti (incanalamento da strade e tetti in ambito urbano). Generalmente si assume che tali tempi siano dell'ordine dei 10 minuti.

Per quanto detto, quindi, nei casi in cui il tempo di ritardo stimato con la relazione regionale risulti essere inferiore a 0.15 ore (pari a 9 minuti), il valore assunto sarà pari proprio a 0.15 ore.

6.3.3 Il coefficiente statistico di piena

Il coefficiente statistico di piena dipende dalle caratteristiche geologiche dei bacini quali indicatori della permeabilità del suolo in condizioni di piena. All'incertezza derivante dalla sola caratterizzazione geologica si sofferisce di solito con un'analisi regionale, dalla quale emerge l'insieme delle relazioni tra i valori di C^* ed i complessi idrogeologici principali.

Per la determinazione del valore di riferimento di C^* ci si è pertanto avvalsi di informazioni sul comportamento dei bacini idrografici in piena desunte dai dati del Servizio Idrografico (Pubbl. n. 17) e da Calenda et al. (1996).

Va premesso che in aree completamente impermeabili (zone caratterizzate dalla presenza di formazioni geologiche a prevalente matrice argillosa) il coefficiente C^* assume valori dell'ordine di 0.4 / 0.5, mentre andando verso

formazioni molto permeabili, quali sono quelle contraddistinte da forte permeabilità per fessurazione (massicci carbonatici), il valore del coefficiente scende al disotto di 0.1. In Campania (Rossi e Villani, 1995) il valore medio di C^* stimato per le aree impermeabili è 0.38 mentre per i calcari va a 0.09, per scendere a zero se sui calcari è presente il bosso. Valori analoghi, con media prossima a 0.34, sono stati ottenuti in Basilicata, dove la matrice argillosa è prevalente. In presenza di formazioni di origine vulcanica (zona del Vulture) il coefficiente assume valori prossimi a quelli caratteristici dei calcari, cioè dell'ordine di 0.11-0.15 (Copertino e Fiorentino, 1994). In Calabria, Versace et al. hanno trovato un valore di 0.159 molto stabile nell'ambito del lotto di bacini esaminati.

La valutazione di C^* si può effettuare per via indiretta se si hanno a disposizione dati riferiti al bacino di interesse o a bacini analoghi per caratteristiche idrogeologiche. Nel nostro caso non sono disponibili osservazioni, ma, tenuto presente la natura dei suoli caratterizzanti da una permeabilità media e da una parziale urbanizzazione si è assunto per C^* il valore di 0.35 e 0.50.

6.4 Portate medie al colmo stimate per i bacini di interesse

In virtù di quanto è stato detto finora, i bacini individuati sono di piccole dimensioni e pertanto il tempo di critico di questi bacini è calcolato con il metodo cinematico, secondo la relazione

$$t_r = \frac{1.25 \sqrt{S}}{3.6 c} \quad (26)$$

limitando a 0.15 ore il tempo critico minimo ammissibile.

6.5 Risultati delle elaborazioni

Nome	AREA	L asta	Hmin	Hmax	Hmed	t _r	L _r	C*	Q _{media}	Q _{T=50}	Q _{T=100}	Q _{T=200}
	ha	Km	m m.s.l.m	m m.s.l.m	m m.s.l.m	h	mm/h		(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
Fosso Torre d'orlando	216.26	2.271	1.1	100	51	0.30	74.6	0.400	17.93	40.69	51.09	68.84
Fosso Monna Felice	104.35	1.619	1.1	60	31	0.21	87.5	0.350	8.88	20.16	25.31	34.11

Le portate stimate sono compatibili con gli ultimi studi effettuati in precedenza.