

**Convenzione di Ricerca
tra
Regione Lazio – A.B.R.
e
Università degli studi di Roma TRE – D.S.I.C.**

**STUDI PER L'AGGIORNAMENTO
DEL PIANO STRALCIO
PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO**

**RELAZIONE TECNICA
(RAPPORTO FINALE)**

**Università degli studi ROMA TRE
Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile**

Responsabile scientifico
Prof. Ing. Guido Calenda

Coordinatore
Ing. Corrado Paolo Mancini

Collaboratori
*Ing. Alessandro Cappelli
Ing. Roberto Gaudenzi
Ing. Barbara Lastoria*

**Regione Lazio
Autorità dei Bacini Regionali**

Segretario generale
Arch. Giovanni Merloni

Segreteria tecnico operativa
*Arch. Antonio Bianchini
Ing. Umberto Federici*

Roma, luglio 2003

INDICE

PREMESSE	1
Capitolo 1 ANALISI DELLE SEZIONI IDROGRAFICHE.....	3
INTRODUZIONE	3
1 SEZIONI IDROGRAFICHE	4
2 DISTRIBUZIONI DI PROBABILITÀ.....	6
Capitolo 2 REGIONALIZZAZIONE DEI PARAMETRI DELLE DISTRIBUZIONI DI PROBABILITÀ.....	10
INTRODUZIONE	10
1 METODOLOGIA	10
1.1 Il metodo della portata indice	10
1.2 Invarianza di scala semplice	12
1.3 Stima dei parametri.....	13
2 APPLICAZIONE AI BACINI DEL COMPARTIMENTO DI ROMA DEL S.I.M.N.....	14
2.1 Ipotesi 1: unica regione omogenea	15
2.2 Ipotesi 2: tre regioni omogenee	16
2.3 Ipotesi 3: quattro regioni omogenee	18
Capitolo 3 REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE	25
INTRODUZIONE	25
1 LA LEGGE TCEV	25
1.1 Sostituzione dei parametri Θ_2 e Λ_2	27
1.2 Momenti	27
1.3 Stima regionale dei parametri della TCEV	28
2 REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE DELL'ITALIA CENTRALE	30
2.1 Regionalizzazione delle massime altezze di pioggia giornaliera	30

1	I RILIEVI D'ALVEO	89
2	IL PROGRAMMA DI CALCOLO HEC-RAS	101
	2.1 Il modello matematico	101
	2.2 Calcolo della cadente media	106
3	FIUME ARNONE.....	107
	3.1 Situazione attuale.....	107
	Inquadramento territoriale.....	107
	Profili di corrente.....	110
	3.2 Interventi Proposti	113
	Sistemazione della foce	113
	Tratto a valle di Maccarese	115
	Tratto nell'abitato di Maccarese.....	116
	Tratto a monte di Maccarese	118
4	FOSSO TRE DENARI	122
	4.1 Situazione Attuale	122
	Inquadramento territoriale.....	122
	Profili di corrente.....	124
	4.2 Interventi Proposti	126
5	FOSSO PALIDORO (DELLE CADUTE)	129
	5.1 Situazione Attuale	129
	Inquadramento territoriale.....	129
	5.2 Profili di corrente.....	131
	5.3 Interventi proposti	133
6	FIUME MIGNOME.....	135
	6.1 Situazione Attuale	135
	Inquadramento territoriale.....	135
	Profili di corrente.....	137
7	TORRENTE TAFONE.....	139
	7.1 Situazione Attuale	139

Inquadramento territoriale	139
Profili di corrente.....	142
7.2 Situazione con il nuovo ponte proposto dalla ferrovia sul Tafone	143
APPENDICE (Caposaldi).....	148

PREMESSE

La presente convenzione in atto tra l'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio (ABR) e il Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile dell'Università di Roma Tre (D.S.I.C.) ha per oggetto *“Rilievi, studi, e ricerche finalizzati all'aggiornamento del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico relativamente alla difesa idraulica dei Bacini Regionali minori area nord”*, con lo scopo di soddisfare gli obiettivi prioritari definiti dall'Allegato Tecnico alla Convenzione, riguardanti la difesa idraulica della piana litoranea dal fosso delle Cadute al fiume Arrone (Sud) nel Comune di Fiumicino e di quella interessata dalle inondazioni del fiume Mignone.

Nell'ambito di questa convenzione è previsto lo sviluppo della regionalizzazione delle portate e dei volumi di piena dei bacini regionali.

Oggetto di questa relazione è la regionalizzazione delle portate di piena.

Nell'ambito dei bacini regionali hanno funzionato per un certo periodo soltanto quattro stazioni idrometrografiche, per le quali, essendo state eseguite misure di portata e tracciate le scale di deflusso sono disponibili delle serie di osservazioni di portata. Tali stazioni sono:

- il Marta a Ponte della Cartiera, che, sottendendo un bacino esclusivamente lacuale è interessata da piene estremamente laminate;
- il Marta a Centrale Traponzo, che è comunque molto influenzata dal bacino lacuale;
- il Mignone a Rota, con una serie di osservazioni estremamente breve;
- l'Amaseno a Fossanova, anch'esso con una serie di osservazioni estremamente breve.

In queste condizioni, data l'esiguità delle osservazioni disponibili, in parte anche poco generalizzabili, il trasferimento dell'informazione idrologica dalle sezioni strumentate a quelle d'interesse con metodi regionali non può essere eseguito facendo riferimento ai soli bacini regionali. La regionalizzazione è stata eseguita, pertanto, estendendo la regione esaminata anche al bacino del Tevere, prendendo in considerazione le stazioni pluviometriche

e idrometrografiche di tutto il Compartimento di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, escluse quelle del bacino del Fiora¹.

La regionalizzazione è stata sviluppata con due metodologie:

- A regionalizzazione dei parametri delle distribuzioni di probabilità delle serie dei massimi colmi annuali osservati alle stazioni idrometrografiche;
- B regionalizzazione dei parametri di semplici modelli afflussi-deflussi, utilizzando sia le osservazioni dei massimi colmi annuali, sia, per tener conto dell'ingresso pluviometrico, la regionalizzazione delle leggi di probabilità pluviometrica sui bacini interessati, svolta nell'ambito del progetto *Valutazione Piene (VAPI)* del *Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI)* del CNR.

Infine si presenta il programma di rilievi sui fiumi Arrone e Mignone, da sottoporre all'approvazione dell'Autorità dei Bacini regionali del Lazio, così come previsto dalla convenzione.

¹ Poiché il bacino del Fiora non fa parte né del bacino del Tevere né dei bacini regionali del Lazio, per esso non sono disponibili informazioni omogenee a quelle utilizzate in questo studio per gli altri bacini.

Capitolo 1

ANALISI DELLE SEZIONI IDROGRAFICHE

INTRODUZIONE

Le osservazioni di portata utilizzate nel presente studio sono state eseguite a partire dalla terza decade del secolo scorso dal *Servizio Idrografico*, poi *Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale* (SIMN). I dati di portata sono ricavati dalle osservazioni di altezza idrometrica eseguite in corrispondenza delle *stazioni idrometrografiche* utilizzando *scale di deflusso ufficiali* fornite dal SIMN, mantenute aggiornate tramite periodiche *misure di portata*.

Le portate di riferimento per le elaborazioni sono le massime portate al colmo dell'anno di ciascuna sezione idrometrografica. Salvo rare eccezioni, questi dati non sono riportati negli *Annali Idrologici*, che si limitano generalmente a elencare anno per anno le altezze idrometriche giornaliere e le portate medie giornaliere. Poiché la massima portata giornaliera dell'anno è sempre inferiore alla massima portata al colmo dell'anno, soprattutto nei piccoli bacini, in cui le piene sono rapide e si esauriscono in poche ore, i massimi colmi annuali non sono ricavabili dagli *Annali Idrologici*. Fino al 1970 le massime portate al colmo osservate alle stazioni idrometrografiche sono riportate nella *Pubblicazione N. 17 del Servizio Idrografico "Dati caratteristici dei Corsi d'Acqua Italiani"*, pubblicata periodicamente dal Servizio. A partire da quella data le portate al colmo sono state ricavate direttamente dalle registrazioni d'altezza idrometrica degli idrometrografi.

Le portate al colmo sono state ricavate dalle altezze idrometriche al colmo utilizzando le scale di deflusso ufficiali. Per sette di esse, ossia le stazioni del Tevere a Roma (Ripetta), Tevere a Ponte Nuovo, Aniene a Lunghezza, Velino a Terria, Chiascio a Torgiano, Paglia a Orvieto e Chiani a Ponte di Morrano sono state utilizzate le scale di deflusso revisionate fornite da una recente pubblicazione del SIMN (Bencivenga e al. (2001)).²

² Bencivenga M., G. Calenda, C. P. Mancini. *Ricostruzione storica delle scale di deflusso delle principali stazioni di misura nel bacino del Fiume Tevere - il secolo XX*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Roma, 2001

1 SEZIONI IDROGRAFICHE

L'elenco delle stazioni idrometrografiche le cui osservazioni sono state utilizzate nel presente studio è indicato nella tabella 1.1.

I bacini imbriferi di ciascuna stazione sono rappresentati sono rappresentati nella figura 1.1 con l'indicazione della posizione di ciascuna stazione di misura.

Tabella 1.1 - Stazioni idrometrografiche utilizzate nello studio

<i>fiume</i>	<i>stazione</i>	<i>A</i> (<i>km²</i>)	<i>L</i> (<i>km</i>)	<i>Z</i> (<i>m</i>)	<i>z</i> (<i>m</i>)	<i>N oss. (Qc)</i> (<i>anni</i>)
<i>Tevere</i>	<i>Santa Lucia</i>	931	66	575	308	35
<i>Tevere</i>	<i>Ponte Felcino</i>	2032	113	521	321	33
<i>Tevere</i>	<i>Ponte Nuovo</i>	4101	140	512	344	67
<i>Chiascio</i>	<i>Torgiano</i>	1919	93	518	346	50
<i>Aniene</i>	<i>Subiaco</i>	218	35	1151	780	51
<i>Aniene</i>	<i>Lunghezza</i>	1095	100	609	580	44
<i>Treia</i>	<i>Civita Castellana</i>	455	30	272	226	17
<i>Nera</i>	<i>Torre Orsina</i>	1357	93	998	774	43
<i>Nera</i>	<i>Macchiagrossa</i>	3829	137	920	813	26
<i>Velino</i>	<i>Antrodoto</i>	319	35	1119	645	14
<i>Velino</i>	<i>Terria</i>	1975	98	957	637	14
<i>Turano</i>	<i>Posticcioia</i>	425	57	967	447	10
<i>Paglia</i>	<i>Orvieto</i>	1276	65	446	331	44
<i>Chiani</i>	<i>Ponte di Morrano</i>	415	59	406	266	54
<i>Mignone</i>	<i>Rota</i>	224	30	340	220	7
<i>Marta</i>	<i>Centrale Traponzo</i>	578	35	288	219	35
<i>Amaseno</i>	<i>Fossanuova</i>	390	44	386	365	10

Le serie dei massimi annuali delle portate al colmo osservate sono raccolte nelle tabelle da A1.1 a A1.3 dell'appendice 1.

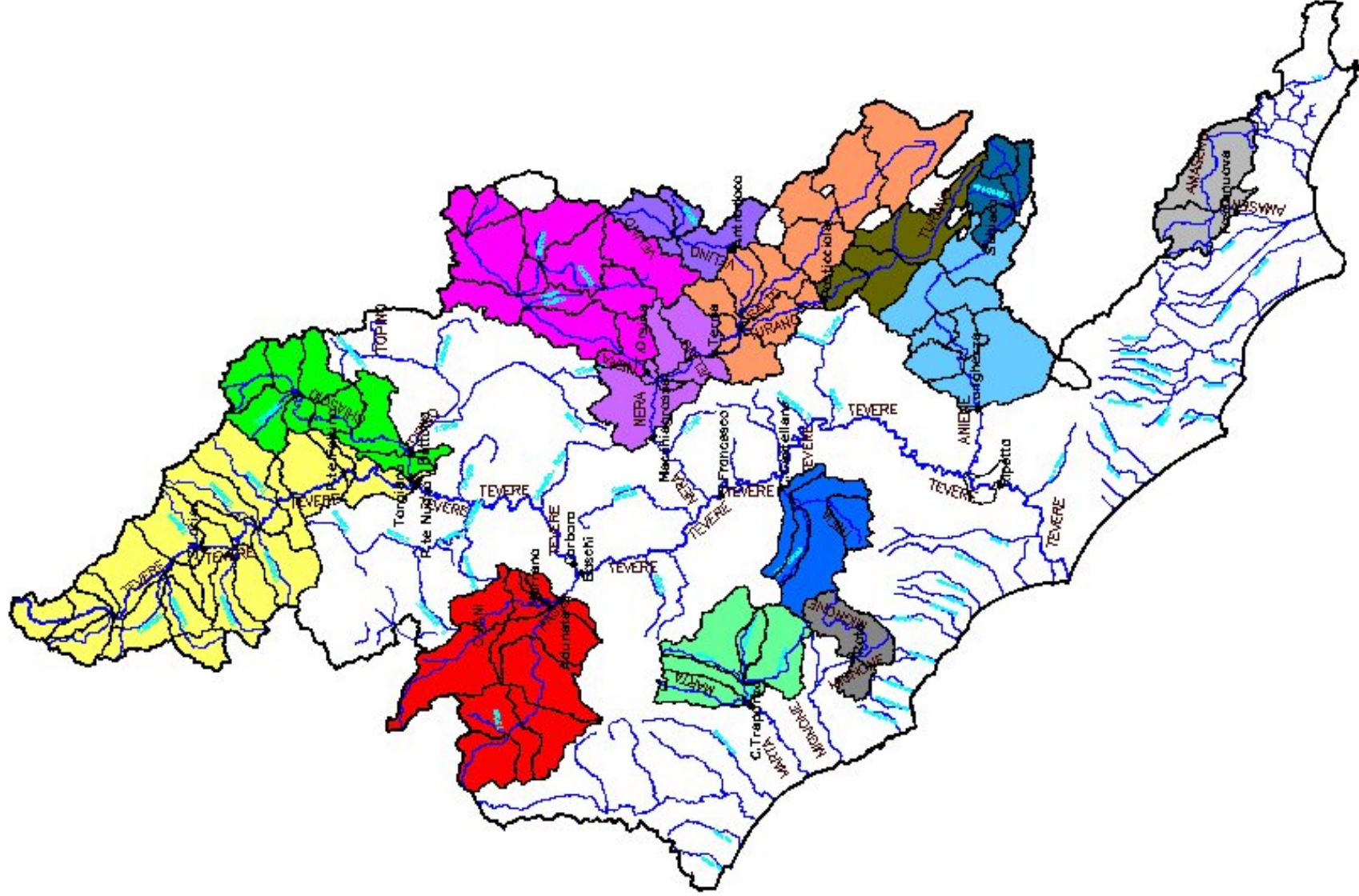


Figura 1.1 - Bacini considerati nella regionalizzazione

2 DISTRIBUZIONI DI PROBABILITÀ

Le serie dei massimi annuali sono state regolarizzate mediante le distribuzioni di probabilità che meglio si adattavano alle osservazioni.

Sono state impiegate le seguenti distribuzioni di probabilità:

A distribuzione *normale*:

la funzione di ripartizione è:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.1)$$

i cui parametri sono:

- $\mu = E(X)$
- $\sigma = \sqrt{E[(X - \mu)^2]}$

e la variabile standardizzata è:

$$u = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2.2)$$

B distribuzione *log-normale*:

la funzione di ripartizione è:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot v} \int_{x_0}^x e^{-\frac{\{\log x - \eta\}^2}{2v^2}} \frac{1}{x} dx \quad (2.3)$$

i cui parametri sono:

- $\eta = E(\ln X)$
- $v = \sqrt{E[(\ln X - \eta)^2]}$

C distribuzione del *massimo valore tipo 1* (o di *Gumbel*):

la funzione di ripartizione è:

$$P(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}} \quad (2.4)$$

i cui parametri sono:

$$\alpha = \frac{1,2825}{\sigma}$$
$$\varepsilon = \mu - 0,45006 \cdot \sigma$$

e la variabile standardizzata è:

$$y = \alpha(x - \varepsilon) \quad (2.5)$$

D distribuzione del *massimo valore tipo 2* (o di *Fréchet*):

la funzione di ripartizione è:

$$P(x) = e^{-\left(\frac{x-x_0}{\zeta-x_0}\right)^{-\beta}} \quad (2.6)$$

i cui parametri sono:

- $\beta = \frac{1,2825}{v}$
- $\zeta = e^{\eta-0,45006 \cdot v}$

E distribuzione del *massimo valore tipo 1 a due componenti* (o *TCEV*):

la funzione di ripartizione è:

$$P(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}} \quad (2.7)$$

descritta più in dettaglio nel capitolo 3.

Nella tabella 2.4 sono elencati per ciascuna stazione idrometrografica le distribuzioni adottate, i valori stimati dei parametri, calcolati col metodo della massima verosimiglianza ad eccezione di quelli relativi alle stazioni dell'Aniene a Subiaco e a Lunghezza per le quali si è adottato il metodo dei minimi quadrati.

Le distribuzioni sono poste a confronto con le frequenze cumulate dei campioni, sia in termini di variabile standardizzata, sia in termini di tempo di ritorno nelle figure da A1.1 a A1.17 dell'appendice 1.

Tabella 2.4 - Distribuzioni di probabilità e relativi parametri per le sezioni idrometrografiche del bacino del Tevere

<i>stazione</i>	<i>distribuzione</i>	<i>parametri</i>	
<i>Tevere a Santa Lucia</i>	<i>Normale</i>	$\mu = 278,7$	$\sigma = 94,5$
<i>Tevere a Ponte Felcino</i>	<i>Normale</i>	$\mu = 531,1$	$\sigma = 196,5$
<i>Chiascio a Torgiano</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 5,789$	$\nu = 0,6402$
<i>Tevere a Ponte Nuovo</i>	<i>Gumbel</i>	$\alpha = 0,003698$	$\varepsilon = 681,6$
<i>Chiani a Ponte Morrano</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 5,028$	$\nu = 0,6378$
<i>Paglia a Orvieto</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 6,171$	$\nu = 0,6116$
<i>Turano a Posticcioia</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 4,778$	$\nu = 0,5405$
<i>Velino a Antrodoco</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 3,664$	$\nu = 0,6432$
<i>Velino a Terria</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 5,556$	$\nu = 0,5684$
<i>Nera a Torre Orsina</i>	<i>Normale</i>	$\mu = 80,67$	$\sigma = 30,22$
<i>Nera a Macchiagrossa</i>	<i>Normale</i>	$\mu = 235,5$	$\sigma = 58,05$
<i>Treia a Civita Castellana</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 4,430$	$\nu = 0,7299$
<i>Aniene a Subiaco</i>	<i>TCEV</i>	$\Lambda_1 = 28,19$ $\Lambda_2 = 0,4912$	$\Theta_1 = 9,915$ $\Theta_2 = 50,309$
<i>Aniene a Lunghezza</i>	<i>TCEV</i>	$\Lambda_1 = 183,7$ $\Lambda_2 = 1,382$	$\Theta_1 = 23,087$ $\Theta_2 = 150,8$
<i>Mignone a Rota</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 5,227$	$\nu = 0,4900$
<i>Marta C. di Traponzo</i>	<i>Fréchet</i>	$\beta = 2,652$	$\zeta = 115,0$
<i>Amareno-P.te di Fossanuova</i>	<i>Log-Normale</i>	$\eta = 5,137$	$\nu = 0,5069$

Si può osservare che per la maggior parte delle stazioni è accettabile l'ipotesi di una distribuzione log-normale. Le stazioni che si discostano da questa distribuzione si possono suddividere in due gruppi:

- a) un primo gruppo di stazioni la distribuzione di probabilità mostra un andamento più simmetrico della log-normale, che si avvicina molto alla distribuzione normale. Ciò si verifica in due casi:
 - a₁) nelle stazioni sull'alto Tevere, dove a S. Lucia e a Ponte Felice la distribuzione è praticamente normale, e diventa un poco più asimmetrica a Ponte Nuovo, dove si può adottare una distribuzione di Gumbel;
 - a₂) nelle stazioni del Nera sia a monte, sia a valle della confluenza del Velino, dove la distribuzione è simmetrica e può essere interpretata da una legge normale.

- b) un secondo gruppo di stazioni in cui la distribuzione è più asimmetrica, talvolta anche molto più asimmetrica di una log-normale, costituito dal bacino dell'Aniene, cui si è adattata una distribuzione TCEV, e il Marta, in cui l'asimmetria è tale da poter essere interpretata soltanto con una legge di Fréchet.

Il comportamento del primo gruppo può essere facilmente spiegato considerando il fatto che in occasione di piene eccezionali la valle del Tevere è soggetta a estese esondazioni, che riducono a valle il coefficiente di deflusso apparente. Si tratta, in sostanza, non di perdite idrologiche, ma di volumi invasati nelle zone inondate che vengono sottratti ai deflussi immediati. Considerazioni analoghe si possono fare per il Nera, dove ad aree inondabili molto meno estese corrispondono anche portate di piena decisamente più basse.

REGIONALIZZAZIONE DEI PARAMETRI DELLE DISTRIBUZIONI DI PROBABILITÀ

INTRODUZIONE

I metodi di regionalizzazione delle portate hanno come impiego principale quello di consentire il trasferimento dell'informazione idrometrica dalle sezioni di misura alle sezioni d'interesse - quelli, cioè, in cui si vuole conoscere la distribuzione di probabilità delle portate - qualora questa non coincida con una sezione di misura. Ovviamente, quando in un sezione di misura la serie è troppo breve per essere significativa, oppure si ritiene di non poter fare affidamento sulle osservazioni per qualche altro motivo, la sezione di misura può essere considerata alla stessa stregua di una qualsiasi altra sezione d'interesse.

Per quanto riguarda le massime portate al colmo dell'anno, i più semplici metodi di regionalizzazione consistono nell'esprimere, nell'ambito di *regioni idrologicamente omogenee*, i parametri delle distribuzioni di probabilità dei massimi colmi annuali in funzione di specifiche caratteristiche del bacino imbrifero o, eventualmente, anche delle precipitazioni, caratteristiche considerate significative ai fini della formazione delle piene.

Il metodo più frequentemente usato è quello della *portata indice*, descritto nel paragrafo che segue, e il parametro più significativo è di solito l'area del bacino.

1 METODOLOGIA

1.1 IL METODO DELLA PORTATA INDICE

Una prima regionalizzazione delle portate del bacino del Tevere è stato eseguito procedendo direttamente alla regionalizzazione dei parametri delle distribuzioni di probabilità dei massimi colmi di piena annuali con il *metodo della portata indice*.

Sia Q la massima portata al colmo dell'anno in una generica sezione fluviale e sia μ_Q la media di Q . Si consideri la portata adimensionalizzata definita da:

$$K = \frac{Q}{\mu_Q} \quad (1.01)$$

Secondo il *metodo della portata indice*, introdotto da Dalrymple (1960), si definisce *idrologicamente omogenea* una regione in cui:

- a) la variabile K è indipendente dalla posizione della sezione all'interno della regione, nel senso di avere la medesima distribuzione di probabilità in tutta la regione. In particolare K non dipende dalle caratteristiche del bacino imbrifero. La distribuzione prende il nome di *curva di crescita regionale* e il generico quantile k_p quello di *quantile regionale*;
- b) la media μ_Q indicata col nome di *portata indice*, dipende da un vettore \mathbf{B} di caratteristiche del bacino (area, pendenza media, copertura vegetale, litologia, permeabilità, pluviometria), ma è ovviamente indipendente dalla distribuzione.

Per il generico quantile q_p di Q vale quindi la relazione:

$$q_p(\mathbf{B}, \Theta) = \mu_Q(\mathbf{B}) \cdot k_p(\Theta) \quad (1.02)$$

dove Θ è il vettore dei parametri della distribuzione. La (1.02) mostra chiaramente che il metodo della portata indice disaccoppia la dipendenza della portata dalle caratteristiche del bacino e dalla probabilità.

Si osservi che se si adotta il metodo dei massimi annuali, a ciascun valore delle probabilità cumulate P corrisponde un *tempo di ritorno* T e la (1.02) può essere scritta nella forma:

$$q_T(\mathbf{B}, \Theta) = \mu_Q(\mathbf{B}) \cdot k_T(\Theta)$$

L'*area del bacino* A è certamente il fattore geomorfologico più importante per la regionalizzazione delle piene, essendo in grado di spiegare gran parte della variabilità spaziale (Rossi e Villani, 1992): la regressione con ulteriori fattori produce soltanto modeste riduzioni della varianza (Gupta e al., 1994). Pertanto in molti casi l'analisi viene limitata a questo unico fattore e la (1.02) diventa:

$$q_p(A) = \mu_Q(A) \cdot k_p(\Theta) \quad (1.02')$$

Se s'ipotizza, inoltre, che la portata indice sia una funzione di potenza dell'area, ipotesi analoga a quella del metodo di Gherardelli, si ha:

$$\mu_Q(A) = \mu_Q(A_o) \left(\frac{A}{A_o} \right)^B \quad (1.03)$$

dove A_o è un'area di riferimento (ad esempio quella di 100 km^2), per cui dalla (1.02') e (1.03) si ricava:

$$q_p(A) = \mu_Q(A) \cdot k_p(\Theta) = \mu_Q(A_o) \left(\frac{A}{A_o} \right)^\beta k_p(\Theta) = q_p(A_o) \left(\frac{A}{A_o} \right)^\beta \quad (1.04)$$

che può essere interpretata anche in termini di portata con tempo di ritorno T , q_T :

$$q_T(A) = q_T(A_o) \left(\frac{A}{A_o} \right)^\beta \quad (1.04')$$

Dalla (1.04') si ricava che *il rapporto tra le portate relative al medesimo tempo di ritorno di bacini di aree diverse è indipendente dal tempo di ritorno*:

$$\frac{q_T(A)}{q_T(A_o)} = \left(\frac{A}{A_o} \right)^\beta \quad (1.05)$$

1.2 INVARIANZA DI SCALA SEMPLICE

Il metodo della portata indice può essere interpretato in termini d'*invarianza di scala* (vedi capitolo 4). Infatti, la (1.04) può essere espressa nella forma:

$$Q(A_o \lambda) \stackrel{d}{=} Q(A_o) \lambda^\beta \quad (1.06)$$

dove il simbolo $\stackrel{d}{=}$ indica l'uguaglianza della distribuzione di probabilità, la base

$$\lambda = \frac{A}{A_o} \quad (1.07)$$

è il *parametro di scala* e:

β è l'*esponente di scala*,

λ^β è la *funzione di scala*.

Assumendo per semplicità l'area A_o come unitaria, la (1.06) si scrive:

$$Q(\lambda) \stackrel{d}{=} Q(1) \lambda^\beta \quad (1.06')$$

La (1.06) è caratterizzata dal fatto che la funzione di scala non dipende dalla probabilità: una relazione di questo tipo prende il nome di *trasformazione di scala semplice* (simple scaling).

Nella trasformazione logaritmica della (1.06'):

$$\log q_p(\lambda) = \log q_p(1) + \beta \log \lambda \quad (1.08)$$

i logaritmi dei quantili per le diverse scale sono rappresentati in funzione del logaritmo di λ da rette parallele con coefficiente angolare β .

Se vale la (1.06) i momenti d'ordine n della distribuzione si modificano con la scala secondo l'espressione:

$$E[Q^n(\lambda)] = \lambda^{n\beta} E[Q^n(I)] \quad (1.09)$$

dove E è il simbolo di valore atteso. In particolare:

- la media:

$$\mu_Q(\lambda) = E[Q(\lambda)] = \lambda^\beta E[Q(I)] = \lambda^\beta \mu_Q(I) \quad (1.10)$$

che coincide con la (1.03) applicata alle portate invece che ai contributi;

- la varianza:

$$\sigma_Q^2(\lambda) = E\{[Q(\lambda) - \mu_Q(\lambda)]^2\} = \lambda^{2\beta} E\{[Q(I) - \mu_Q(I)]^2\} = \lambda^{2\beta} \sigma_Q^2(I) \quad (1.11)$$

- il coefficiente di variazione:

$$\gamma_Q(\lambda) = \frac{\sigma_Q(\lambda)}{\mu_Q(\lambda)} = \gamma_Q(I) \quad (1.12)$$

Si noti che per la (1.12) il coefficiente di variazione è indipendente dalla scala. Quindi, *se in una regione idrologicamente omogenea è valida l'ipotesi d'invarianza di scala semplice, il coefficiente di variazione della portata è costante*. Questa proprietà viene utilizzata proprio per controllare l'omogeneità idrologica della regione.

Dalla (1.09) si ricava che la pendenza $n\beta$ della retta che definisce la variazione del logaritmo del momento d'ordine n con $\log \lambda$ varia linearmente con n :

$$\frac{\log E[Q^n(\lambda)] - \log E[Q^n(I)]}{\log \lambda} = n\beta \quad (1.13)$$

1.3 STIMA DEI PARAMETRI

La procedura per la stima dell'esponente di scala β e dei parametri Θ della distribuzione è la seguente:

- s'indicano con $j = 1, 2, \dots, M$ le stazioni di misura delle portate ubicate in una regione ipotizzata idrologicamente omogenea, ciascuna che sottende un bacino di area A_j ;
- nella generica stazione j s'indicano con $q_{j,i}^*$ le portate osservate, con $i = 1, 2, \dots, N_j$;
- in ciascuna stazione si calcola la stima $m_{Q,j}$ della media delle portate;
- si regolarizzano le medie con la (1.03), stimando col metodo dei minimi quadrati i parametri $\mu_Q(A_o)$ e β ;

- si calcolano i rapporti:

$$k_{j,i}^* = \frac{q_{j,i}^*}{\mu_Q(A_j)}$$

- s'ipotizza una legge di distribuzione di probabilità di K (ad esempio log-normale) e con i valori $k_{j,i}^*$ di tutte le stazioni si stimano i parametri Θ della distribuzione;
- nota la distribuzione si calcolano i quantili k_p della variabile K ;
- si calcolano i valori di $q_{p,j}(A_j)$ per le varie stazioni con la (1.04) e si verifica l'adattamento alle osservazioni.

2 APPLICAZIONE AI BACINI DEL COMPARTIMENTO DI ROMA DEL S.I.M.N.

Questa metodologia è stata applicata ai bacini del Compartimento di Roma del S.I.M.N., esclusi quelli posti a valle di grandi laghi, vale a dire il Tevere a valle del serbatoio di Corbara, e il Marta. Le stazioni idrometriche utilizzate sono in numero di 15; di queste alcune sono localizzate lungo l'asta del Tevere fino a Corbara, altre sui suoi affluenti in destra e sinistra fino alla foce, e due sono su corsi d'acqua minori con foce a mare. Le serie storiche delle portate al colmo sono state ricavate dalla Pubblicazione n.17 o calcolate partendo dalle registrazioni delle altezze idrometriche. Per alcune sezioni sono state utilizzate le scale di deflusso revisionate da Bencivenga e al. (2001).

Nella tabella 2.1 sono indicati i fiumi, i nomi delle stazioni idrometrografiche e le caratteristiche principali dei rispettivi bacini:

- l'area del bacino A , espressa in km^2 ;
- la quota media del bacino sulla sezione di chiusura z , espressa in m ;
- la lunghezza dell'asta fluviale L , espressa in km ;
- la permeabilità del bacino P , espressa in %.

La portata indice è stata assunta funzione di potenza della sola area del bacino; assumendo come riferimento l'area unitaria, la (1.10) si scrive:

$$\mu_Q(A) = \alpha A^\beta \tag{2.1}$$

in cui α è la media relativa all'area unitaria.

Tabella 2.1 - Caratteristiche dei bacini delle sezioni idrometrografiche del bacino del Tevere usate nella regionalizzazione

<i>fiume</i>	<i>stazione</i>	<i>A</i> (<i>km</i> ²)	<i>z</i> (<i>m</i>)	<i>L</i> (<i>km</i>)	<i>P</i> (%)
<i>Tevere</i>	<i>Santa Lucia</i>	931	580	56	16
<i>Tevere</i>	<i>Ponte Felcino</i>	2032	528	103	4
<i>Tevere</i>	<i>Ponte Nuovo</i>	4138	523	130	16
<i>Tevere</i>	<i>Corbara</i>	6137	446	184	17
<i>Chiascio</i>	<i>Torgiano</i>	1956	530	73	31
<i>Topino</i>	<i>Ponte Bettona</i>	1216	552	68	56
<i>Paglia</i>	<i>Orvieto</i>	1276	443	61	20
<i>Chiani</i>	<i>Ponte Morrano</i>	415	395	54	0
<i>Nera</i>	<i>Visso</i>	60	1143	10	100
<i>Nera</i>	<i>Torre Orsina</i>	1439	1014	70	98
<i>Nera</i>	<i>Macchiagrossa</i>	4051	931	141	85
<i>Velino</i>	<i>Antrodoco</i>	319	1144	30	75
<i>Turano</i>	<i>Posticciola</i>	449	1002	48.5	39
<i>Treia</i>	<i>Civita Castellana</i>	497	265	24.5	15
<i>Aniene</i>	<i>Subiaco</i>	233	1100	17	100
<i>Aniene</i>	<i>Lunghezza</i>	1115	523	75	76

2.1 IPOTESI 1: UNICA REGIONE OMOGENEA

Ipotizzando che tutti i bacini considerati facciano parte di un'unica regione omogenea, sono stati ottenuti i valori dei parametri indicati nella tabella 2.2. L'andamento della (2.1), confrontato con le medie delle portate al colmo osservate nelle singole stazioni nella figura 2.1, mostra una correlazione molto bassa ($r^2 = 0,569$). L'ipotesi di un'unica regione omogenea è quindi da respingere.

Tabella 2.2 - Parametri delle funzioni di scala e coefficienti di correlazione

<i>regione omogenea</i>	α	β	r^2
<i>regione unica</i>	0,531	0,836	0,569
<i>regione 1</i>	9,906	0,522	0,908
<i>regione 2</i>	0,279	0,941	0,907
<i>regione 3</i>	0,0146	1,174	0,999
<i>regione 1a</i>	4,543	0,6131	0,954
<i>regione 1b</i>	4,526	0,659	0,819

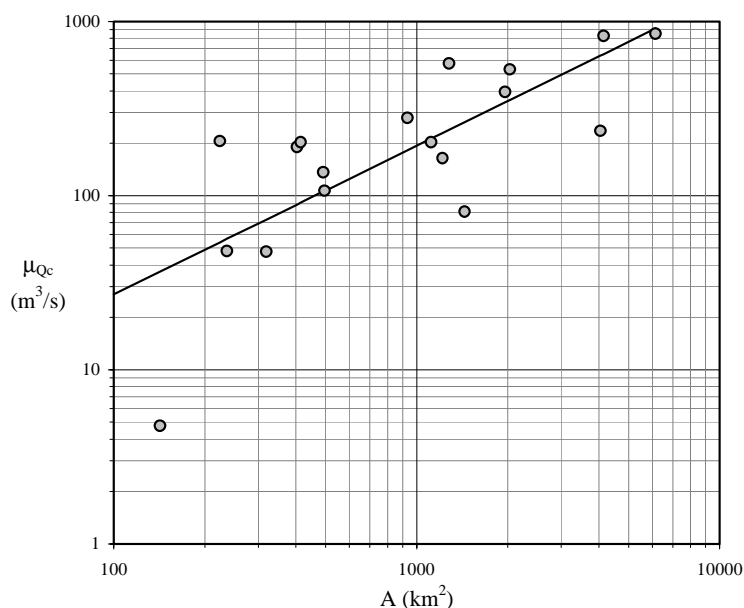


Figura 2.1 - Ipotesi di unica regione omogenea: dipendenza della portata indice dall'area del bacino

2.2 IPOTESI 2: TRE REGIONI OMOGENEE

L'attento esame dell'andamento delle medie osservate in funzione dell'area ha permesso di formulare un'ipotesi più attendibile, che suddivide i bacini del compartimento in tre regioni omogenee:

- a) *regione omogenea 1*, comprendente l'alto Tevere (esclusi gli affluenti in sinistra), il Paglia, il Mignone e l'Amaseno (che peraltro hanno serie di osservazioni molto corte);
- b) *regione omogenea 2*, comprendente gli affluenti di sinistra del Tevere, escluso il corso del Nera (ossia il Nera senza il Velino), e il Treia;
- c) *regione omogenea 3*, comprendente il solo corso del Nera (escluso, quindi, il Velino).

Questa suddivisione trova un riscontro fisico nella natura dei bacini, in quanto l'alto Tevere ha un bacino parzialmente impermeabile, e pressoché impermeabile è anche il bacino del Paglia, mentre gli affluenti di sinistra hanno bacini prevalentemente permeabili, con permeabilità particolarmente elevate soprattutto sull'alto Nera (a monte del Velino).

Anche i parametri relativi a queste tre regioni sono indicati nella tabella 2.2, e gli andamenti della (2.1) nei tre casi sono rappresentati nella figura 2.2.

Si noti che la correlazione è molto alta in tutti e tre i casi, ma nella regione 3 sono comprese solo tre stazioni, il che limita alquanto la significatività della regressione. Si osservi, inoltre, che nella regione tre, essendo $\beta > 1$ i contributi crescono con l'area. Ciò può essere attribuito

al fatto che procedendo verso valle lungo il corso del Nera, il bacino include aree più contribuenti di quelle a monte, che sono costituite da calcari molto fratturati.

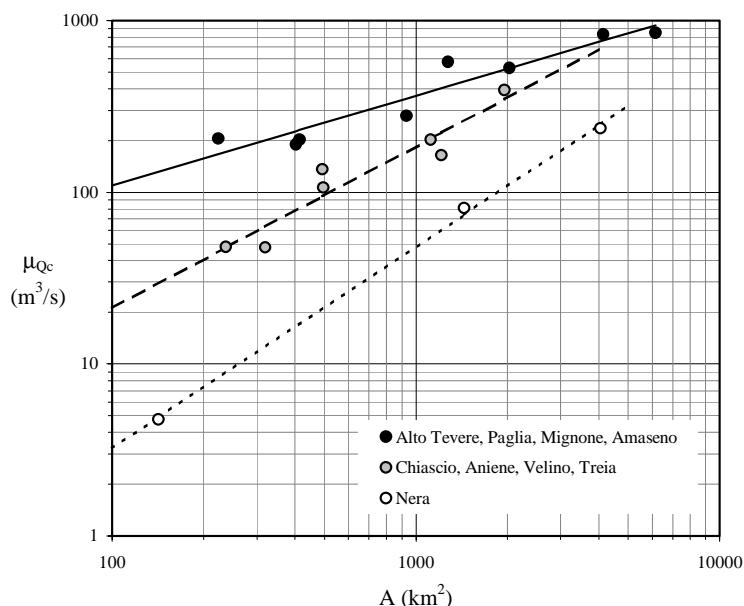


Figura 2.2 - Ipotesi di tre regioni omogenee: dipendenza della portata indice dall'area del bacino

Si è quindi proceduto a calcolare le curve di crescita regionali per le tre regioni omogenee, indicate nella figura 2.3 in termini di variabile normale standardizzata U . Si può osservare che la curva di crescita delle regioni 1 e 2 è nettamente asimmetrica, tanto da dovere essere interpolata con una legge log-normale, o addirittura, nel caso della regione 1, con una TCEV (Two Component Extreme Value), quella della regione 3 è sensibilmente simmetrica ed è bene interpretata da una legge normale.

I parametri delle leggi di distribuzioni delle tre curve di crescita sono indicati nella tabella 2.3.

La distribuzione di probabilità di $Q(A)$ è data dalla (1.06'), che si può scrivere nella forma:

$$q_p(A) = \alpha A^\beta k_p$$

dove $q_p(A)$ è il quantile della portata Q per un bacino di area A , αA^β è la portata indice e k_p è il quantile regionale.

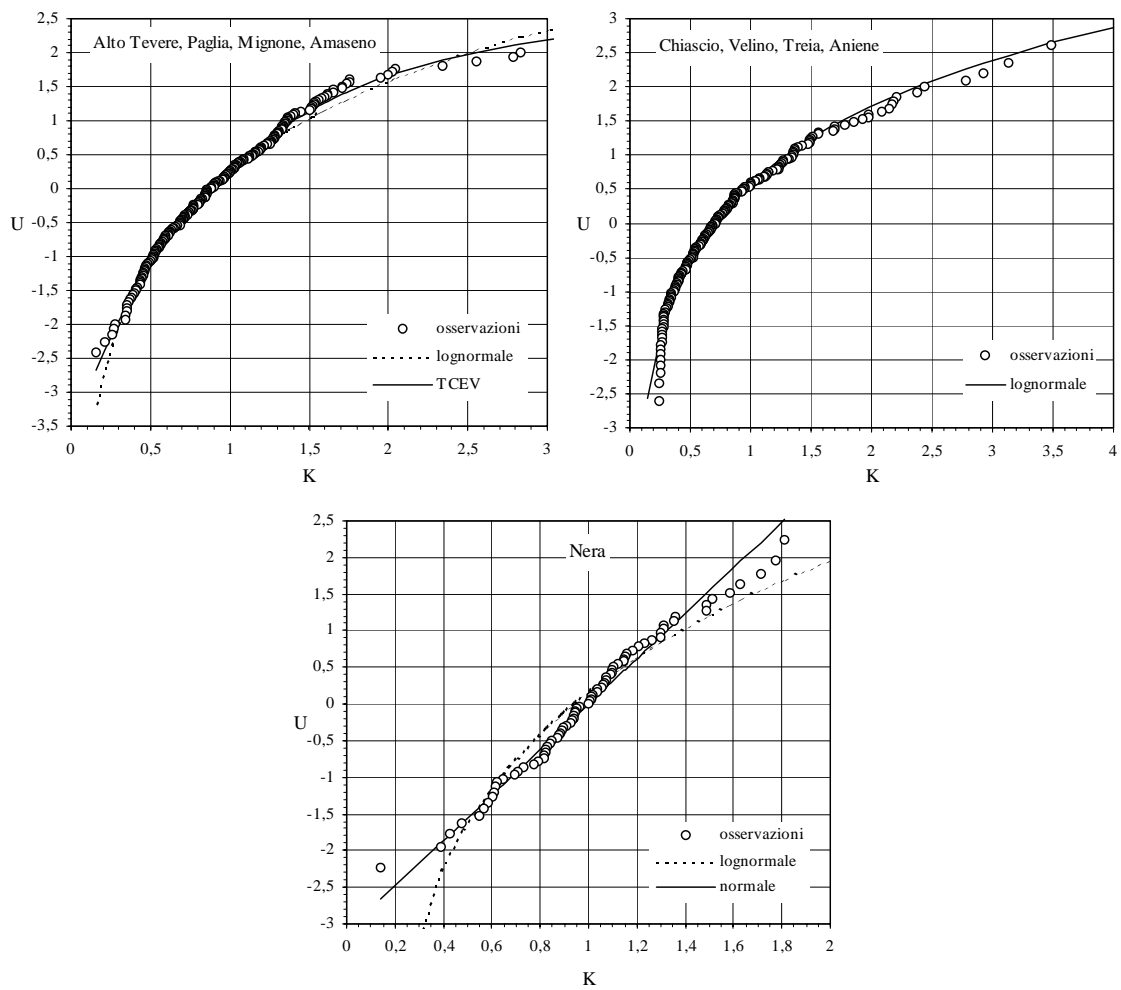


Figura 2.3 - Ipotesi di tre regioni omogenee: curve di crescita regionali

Tabella 4.3 - Distribuzioni di probabilità delle curve di crescita delle regioni omogenee e relativi parametri

regione omogenea	legge	ξ	σ	η	ν	Λ_1	Λ_2	Θ_1	Θ_2
regione 1	TCEV					8,839	0,141	0,329	1,279
regione 2	log-normale			-0,346	0,604				
regione 3	normale	1,000	0,322						
regione 1a	normale	1,007	0,365						
regione 1b	TCEV					10,802	0,549	0,228	1,132

2.3 IPOTESI 3: QUATTRO REGIONI OMOGENEE

Nella figura 2.4 sono indicate, a titolo d'esempio, le distribuzioni di probabilità delle portate al colmo relative a due sezioni della regione 1, il Tevere a Ponte Nuovo e il Chiani a Ponte di

Morrano. A prescindere dal grado d'adattamento della regionalizzazione alle distribuzioni osservate, si può osservare che, mentre le osservazioni del Chiani sono distribuite molto asimmetricamente, quelle del Tevere sono distribuite pressoché normalmente. Le due sezioni, quindi, pur avendo la medesima legge di dipendenza della portata indice dall'area del bacino, non possono essere considerate parte della stessa regione omogenea.

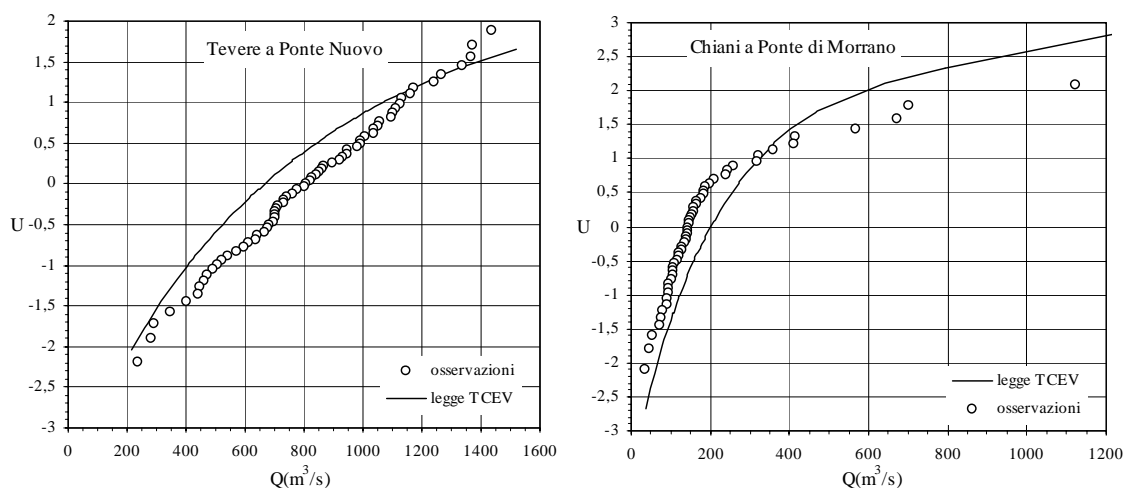


Figura 2.4 - Ipotesi di tre regioni omogenee: distribuzioni di probabilità delle portate in due sezioni della regione

Si è allora formulata una nuova ipotesi di regionalizzazione, suddividendo la regione 1 in due regioni distinte:

- *regione omogenea 1a*, comprendente il bacino dell'alto Tevere (sempre esclusi gli affluenti in sinistra);
- *regione omogenea 2b*, comprendente il Paglia, il Mignone e l'Amaseno.

Le regioni 2 e 3 rimangono immutate.

Per questa nuova regionalizzazione i parametri delle leggi di dipendenza della portata indice dall'area, rappresentate nella figura 2.5, sono indicate, insieme ai coefficienti di correlazione, nella tabella 2.2. Ovviamente la correlazione si mantiene buona, ma la regionalizzazione perde in significatività per il basso numero di stazioni contenute in ciascuna zona.

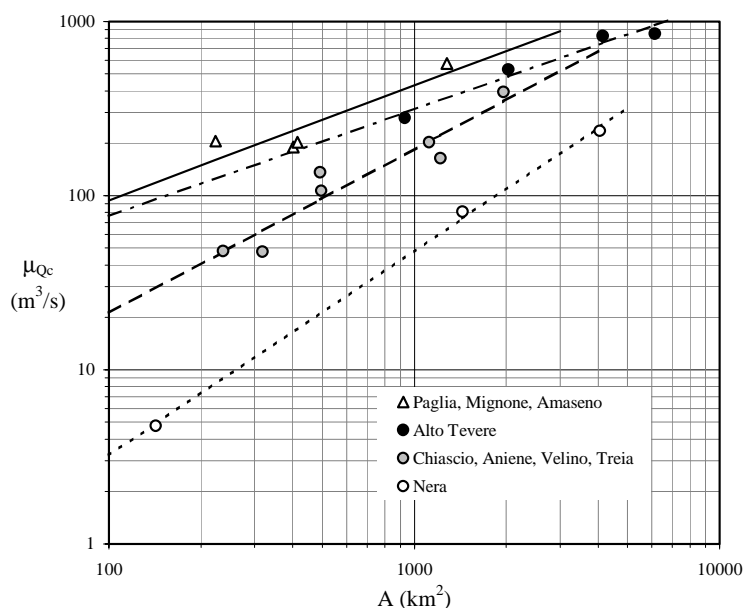


Figura 2.5 - Ipotesi di quattro regioni omogenee: dipendenza della portata indice dall'area del bacino

Le curve di crescita regionali delle regioni 1a e 1b, sono rappresentate nella figura 2.6, e i parametri delle distribuzioni di probabilità sono indicati nella tabella 2.3.

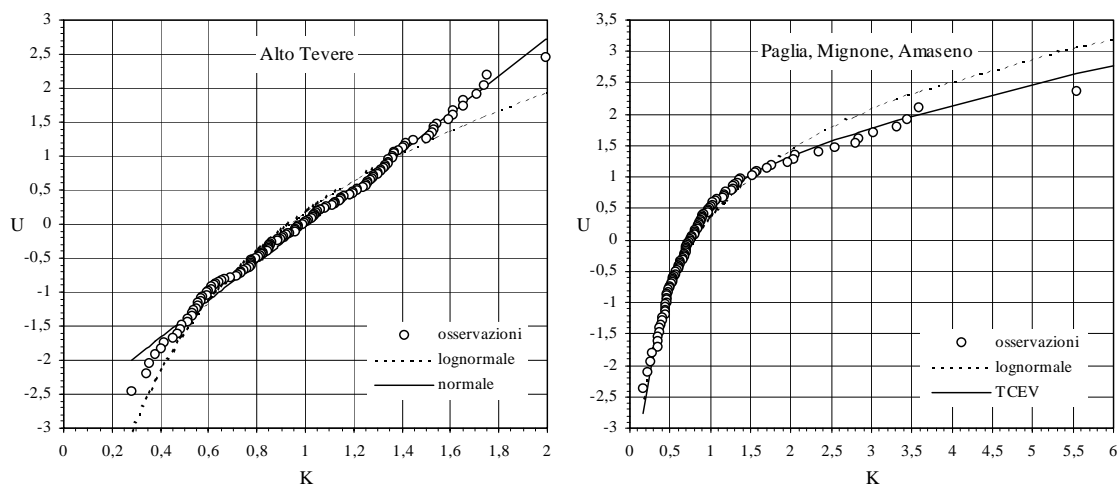


Figura 2.6 - Ipotesi di quattro regioni omogenee: curve di crescita delle regioni 1a e 1b

Le distribuzioni di probabilità delle portate per tutte le stazioni di misura sono poste a confronto con le osservazioni nelle figure 2.7, 2.8, 2.9 e 2.10 rispettivamente per le regioni 1a, 1b, 2 e 3. Si può osservare che in diverse stazioni di misura l'adattamento non è molto buono. Peraltro, in alcune di queste la serie osservata è veramente molto breve, e costituisce un campione decisamente poco significativo. In ogni caso, *gli scostamenti osservati, insieme alle poche stazioni contenute in ciascuna regione omogenea, inducono a ritenere che assumere*

l'area del bacino come unico parametro di regionalizzazione costituisca un'ipotesi eccessivamente schematica.

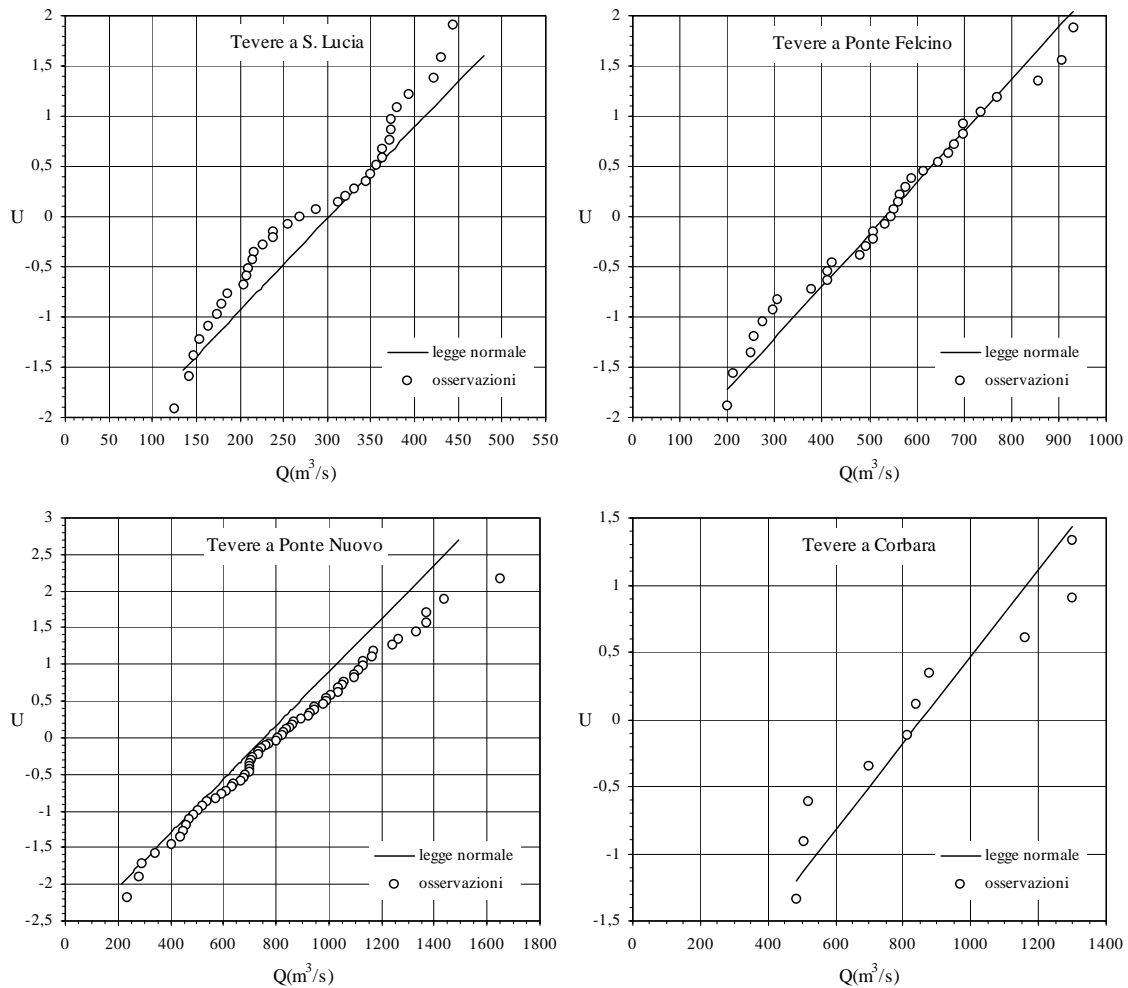


Figura 2.7 - Ipotesi di quattro regioni omogenee, regione 1a: distribuzioni di probabilità delle portate

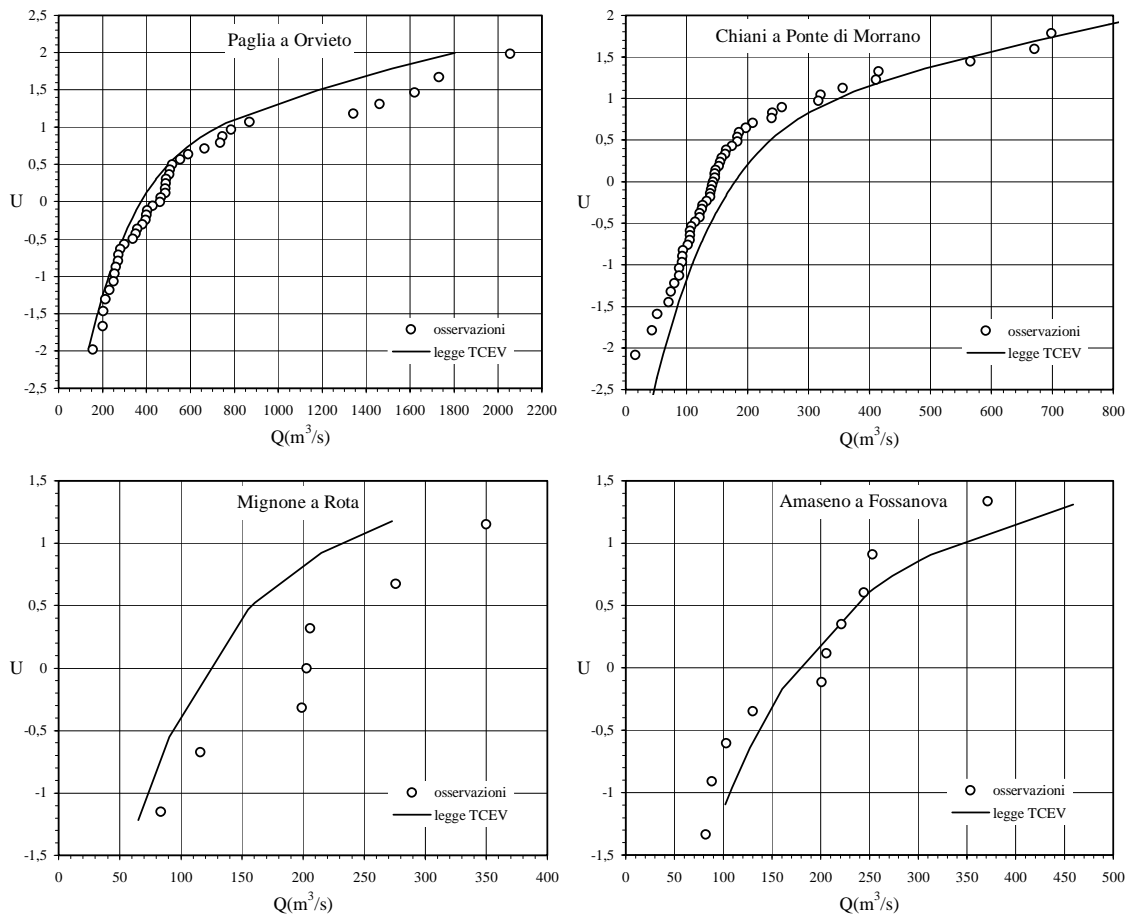


Figura 2.8 - Ipotesi di quattro regioni omogenee, regione 1b: distribuzioni di probabilità delle portate

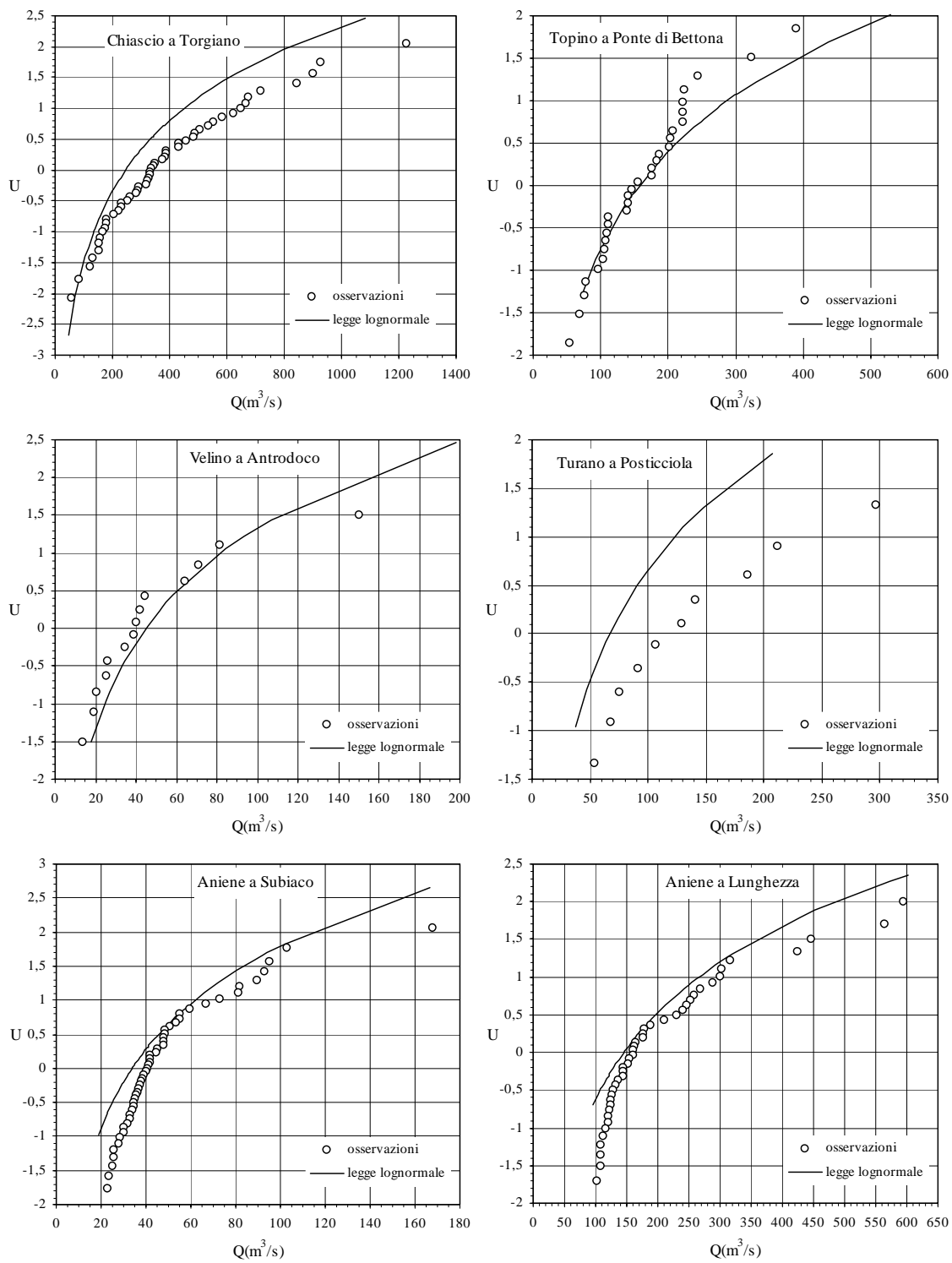


Figura 2.9 - Ipotesi di quattro regioni omogenee, regione 2: distribuzioni di probabilità delle portate

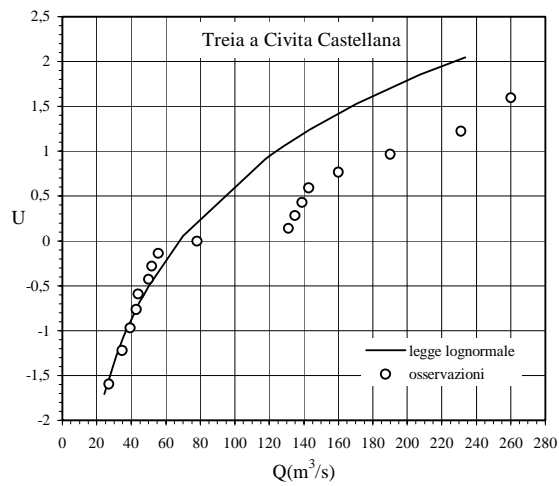


Figura 4.9 (segue) - Ipotesi di quattro regioni omogenee, regione 2: distribuzioni di probabilità delle portate

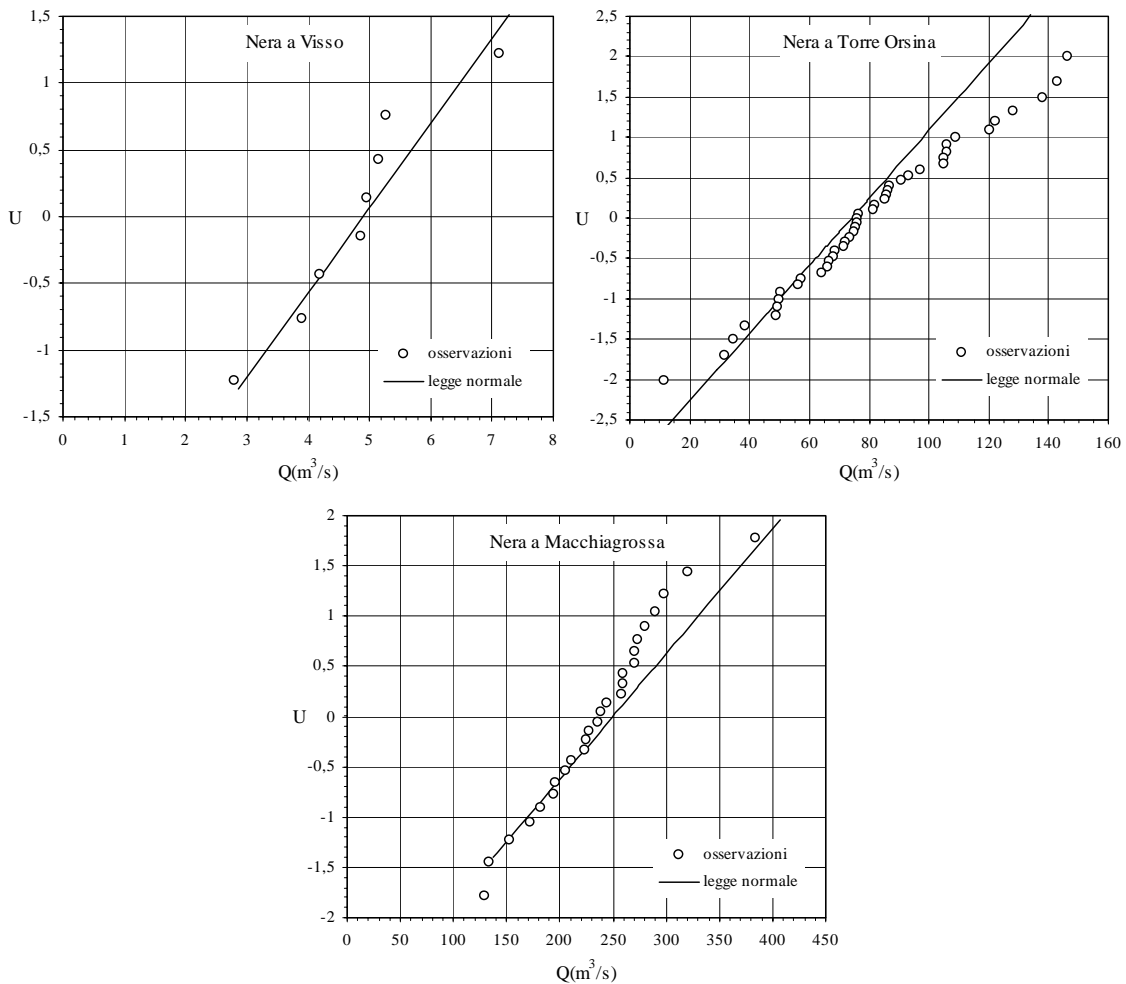


Figura 2.10 - Ipotesi di quattro regioni omogenee, regione 3: distribuzioni di probabilità delle portate

Capitolo 3

REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE

INTRODUZIONE

I risultati della regionalizzazione dei parametri delle distribuzioni di probabilità delle piene a partire dalle osservazioni di portata, sviluppata nel capitolo 2, ha mostrato che le differenze esistenti tra i bacini imbriferi delle diverse stazioni idrometrografiche comprese nell'area di pertinenza del Compartimento di Roma del SIMN sono troppo grandi per potere identificare delle regioni idrologicamente omogenee che includano un numero di stazioni idrometrografiche statisticamente significativo ai fini della stima dei parametri. Tali differenze riguardano, da un lato, le caratteristiche topografiche, geologiche e pedologiche dei bacini, che determinano la concentrazione dei deflussi e le perdite idrologiche, dall'altro le intensità delle piogge intense, che variano apprezzabilmente da una parte all'altra dell'area considerata. Di conseguenza si rende necessario effettuare la regionalizzazione utilizzando un modello che introduca esplicitamente dei parametri rappresentativi delle principali caratteristiche dei bacini e dell'ingresso pluviometrico che determinano le disomogeneità.

A seguito di queste considerazioni, è stata eseguita una regionalizzazione delle portate a partire dalle osservazioni di pioggia, adottando la procedura proposta dal programma VAPI. Tale procedura prevede l'impiego di modelli afflussi-deflussi che utilizzano come ingresso pluviometrico una regionalizzazione delle piogge intense, elaborate nella forma di leggi di probabilità pluviometrica (relazioni Intensità-Durata-Frequenza o IDF) espresse tramite la *legge asintotica del massimo valore tipo 1 a due componenti* o TCEV (Two Component Extreme Value).

1 LA LEGGE TCEV

L'adozione della legge TCEV è stata introdotta a seguito della constatazione del fatto che in

numerosi pluviometri si sono registrati alcuni eventi assolutamente straordinari, la cui intensità supera di gran lunga le intensità inferiori di pari durata. Tali eventi sono indicati nella letteratura anglosassone come *outliers*. La probabilità di questi eventi è fortemente sottostimata da una legge di Gumbel o da una legge log-normale.

La distribuzione TCEV definisce la probabilità di non superamento di una mistura di due popolazioni di eventi definite come *componente bassa*, che include gli eventi che potremmo chiamare *ordinari*, e componente alta che include gli eventi che potremmo considerare *straordinari*, di cui fanno parte gli eventuali *outliers*.

La distribuzione TCEV si esprime:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}} \quad (1.01)$$

dove X è la variabile, x è un generico valore di X e i parametri indicano:

- Λ_1 e Λ_2 il valore atteso del numero degli eventi che nell'intervallo di tempo unitario, ad esempio l'anno, che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta;
- Θ_1 e Θ_2 il valore atteso dell'intensità degli eventi che appartengono rispettivamente alla componente bassa e alla componente alta, in cui è ovviamente:

$$\Theta_2 \geq \Theta_1 \quad (1.02)$$

la (1.1") diventa:

La TCEV può essere messa nella forma:

$$P_X(x) = e^{-e^{-\alpha_1(x-\varepsilon_1)} - e^{-\alpha_2(x-\varepsilon_2)}} \quad (1.03)$$

avendo posto:

$$\alpha_1 = \frac{1}{\Theta_1} \quad \text{e} \quad \alpha_2 = \frac{1}{\Theta_2}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\ln \Lambda_1}{\alpha_1} = \Theta_1 \ln \Lambda_1 \quad \text{e} \quad \varepsilon_2 = \frac{\ln \Lambda_2}{\alpha_2} = \Theta_2 \ln \Lambda_2$$

Derivando la (1.01) rispetto a x si ottiene la densità di probabilità della TCEV:

$$p_X(x) = \left(\frac{\Lambda_1}{\Theta_1} e^{-\frac{x}{\Theta_1}} + \frac{\Lambda_2}{\Theta_2} e^{-\frac{x}{\Theta_2}} \right) \cdot e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\Theta_2}}} \quad (1.04)$$

che può essere anche espressa nella forma:

$$p_X(x) = \left(\alpha_1 e^{-\alpha_1(x-\varepsilon_1)} + \alpha_2 e^{-\alpha_2(x-\varepsilon_2)} \right) \cdot e^{-e^{-\alpha_1(x-\varepsilon_1)} - e^{-\alpha_2(x-\varepsilon_2)}} \quad (1.05)$$

1.1 SOSTITUZIONE DEI PARAMETRI Θ_2 E Λ_2

Ponendo:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad (1.06)$$

$$\Lambda^* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta^*}} \quad (1.07)$$

la (1.01) diventa:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\frac{x}{\Theta_* \Theta_1}}} \quad (1.08)$$

e la (1.04):

$$p_X(x) = \left(\frac{\Lambda_1}{\Theta_1} e^{-\frac{x}{\Theta_1}} + \frac{\Lambda^* \Lambda_1^{1/\Theta_*}}{\Theta_* \Theta_1} e^{-\frac{x}{\Theta_* \Theta_1}} \right) e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\Theta_1}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\frac{x}{\Theta_* \Theta_1}}} \quad (1.09)$$

Si osservi che è sempre:

- per la (1.02):

$$\Theta^* > 1$$

- poiché è $\Lambda_1 \geq 0$ e $\Lambda_2 \geq 0$:

$$\Lambda^* \geq 0$$

1.2 MOMENTI

Nella distribuzione TCEV i momenti di ordine r rispetto all'origine si esprimono (Versace e al., 1989):

$$\mu'_r = \Theta_1^r \left[\sum_{k=1}^r (-1)^k \binom{r}{k} (\ln \Lambda_1)^{r-k} \Gamma^{(k)}(1) + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \sum_{k=1}^r (-1)^k k \binom{r}{k} (\ln \Lambda_1)^{r-k} \Gamma^{(k-1)}(j/\Theta_*) \right]$$

L'espressione della media è quindi:

$$\mu = \Theta_1 \left[\ln \Lambda_1 + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left(\frac{j}{\Theta_*} \right) \right] = \Theta_1 \beta \quad (1.10)$$

con:

$$\beta(\Lambda_*, \Theta_*, \Lambda_I) = \ln \Lambda_I + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta_*}\right) \quad (1.11)$$

Sostituendo la (1.10) nella (2.07), si ottiene:

$$P_X(x) = e^{-\Lambda_I} e^{-\frac{\beta}{\mu_x} x} - \Lambda_* \Lambda_I^{1/\Theta_*} e^{-\frac{\beta}{\Theta_* \mu_x} x} \quad (1.12)$$

Si può dimostrare che:

a) il coefficiente di variazione teorico:

$$\gamma = \frac{\sigma}{\mu}$$

dipende da Λ_I , Λ_* e Θ_* ed è indipendente da Θ_I ;

b) il coefficiente di asimmetria teorico:

$$\xi = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{E[(X - \mu)^3]}{\sigma^3}$$

dipende solo da Λ_* e Θ_* ed è indipendente da Λ_I e Θ_I .

1.3 STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI DELLA TCEV

Nel caso delle piogge intense il numero degli eventi straordinari registrati da un singolo pluviometro è molto basso, e ciò rende impossibile una stima efficace dei parametri della componente alta facendo riferimento alle singole serie di osservazioni. È necessario quindi far ricorso a metodi regionali, in modo da utilizzare per la stima dei parametri tutte le osservazioni di una regione pluviometricamente omogenea. Il concetto di omogeneità pluviometrica risulterà definito dal modo in cui si sviluppa la procedura di regionalizzazione.

Con regionalizzazione delle variabili X_i ($i = 1 \dots n$) s'intende l'aggregazione di tali variabili in gruppi con caratteristiche stocastiche comuni. Nel caso di variabili distribuite sul territorio, come le piogge, si richiede generalmente che tali raggruppamenti abbiano anche riferimenti geografici.

Secondo la procedura proposta da Versace e al. (1989) vengono considerati tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al primo livello *regioni omogenee* rispetto ai parametri Λ_* e Θ_* , da cui deriva l'omogeneità anche rispetto al *coefficiente di asimmetria*;
- al secondo livello *zone omogenee* anche rispetto al parametro Λ_I , da cui deriva l'omogeneità anche rispetto al *coefficiente di variazione*;

- al terzo livello *sottozone omogenee* rispetto alla dipendenza del parametro Θ_l - e quindi della media - da alcune grandezze geografiche locali (quota, distanza dal mare, orientamento dei versanti).

Si procede come segue:

A al *primo livello di regionalizzazione*:

- in base ai valori dei coefficienti di asimmetria empirici, s'individuano, in prima approssimazione, delle regione omogenee;
- in ciascuna regione viene eseguita la stima dei parametri Λ_* e Θ_* con il metodo proposto da Fiorentino e Gabriele (1985), applicando il criterio della massima verosimiglianza a tutte le variabili che ricadono in essa;
- con la legge standardizzata si determinano gli intervalli di confidenza, con livello di significatività α , del coefficiente di asimmetria, e si verifica se l'ipotesi di omogeneità è verificata, con quel livello di significatività, per le regioni individuate;
- se tale condizione non è soddisfatta, si modificano le regioni e si riprende la procedura;

B al *secondo livello di regionalizzazione*, avendo fissato i valori di Λ_* e Θ_* determinati al primo livello:

- in base ai valori dei coefficienti di variazione empirici, s'individuano, in prima approssimazione, delle zone omogenee;
- si stimano con il criterio della massima verosimiglianza i parametri $\Lambda_{l,i}$ relativi a ciascuna stazione;
- si determinano i coefficienti di variazione della componente base di ciascuna stazione tramite la:

$$\gamma_{l,i} = \frac{1,2825}{\ln \Lambda_{l,i} + 0,57722} \quad (1.13)$$

- in ciascuna zona omogenea si calcola il coefficiente di variazione della zona γ_l come media dei $\gamma_{l,i}$ relativi a quella zona;
- per ciascuna zona omogenea si calcola la stima di Λ_l introducendo γ_l nella (1.13);
- con la legge standardizzata si determinano gli intervalli di confidenza, con livello di significatività α , del coefficiente di variazione, e si verifica se l'ipotesi di omogeneità è verificata, con quel livello di significatività, per le zone individuate;
- se questa condizione non è soddisfatta, si modificano le zone e si riprende la procedura;

C al *terzo livello di regionalizzazione*, avendo fissato i valori di Λ_* , Θ_* e Λ_l determinati ai precedenti livelli, per cui risulta fissato il parametro β :

- s'individuano, in prima approssimazione, in base all'andamento della media con la quota z , le sottozone omogenee;

- s'interpolano gli andamenti di $\mu(z)$ con la legge prescelta, e si verifica l'adattamento;
- se l'adattamento non risulta soddisfacente, si modificano le sottozone e si riprende la procedura.

2 REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE DELL'ITALIA CENTRALE

In questa relazione si fa riferimento alla regionalizzazione delle piogge intense svolta nell'ambito del progetto VAPI su un'ampia fascia dell'Italia Centrale, comprendente tra l'altro, tutti i bacini del Compartimento di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, ossia il bacino del Tevere e i bacini minori con foce lungo il litorale del Lazio (Calenda e al. 1994; Calenda e Cosentino, 1996).

2.1 REGIONALIZZAZIONE DELLE MASSIME ALTEZZE DI PIOGGIA GIORNALIERE

Per meglio definire le aree omogenee è stata preventivamente effettuata la regionalizzazione dei massimi annuali delle altezze di pioggia giornaliera h_d , in modo da utilizzare anche i pluviometri ordinari, utilizzando tutte le serie con almeno 30 dati. Le stazioni complessivamente utilizzate sono 628 (626 con numerosità di almeno 30 anni e 2 con numerosità di almeno 20 anni). La numerosità delle serie è distribuita come segue:

numerosità della serie	< 20	20 ÷ 29	≥ 30
numero di stazioni	206	131	627

Per la regionalizzazione si è utilizzato un criterio geografico, ed è sempre stato possibile conservare la continuità territoriale delle aree omogenee.

Ricordando la (1.04) la distribuzione di probabilità del massimo giornaliero si scrive:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_I} e^{-\left(\frac{h_d}{\mu_{hd}}\right)^\beta} - \Lambda_* \Lambda_I^{1/\Theta_*} e^{-\left(\frac{h_d}{\Theta_* \mu_{hd}}\right)^\beta} \quad (2.01)$$

dove con μ_{hd} si è indicata il valore medio delle massime altezze giornaliera.

Primo livello di regionalizzazione

Al primo livello di regionalizzazione si è dovuta respingere l'ipotesi di un'unica regione

omogenea rispetto al coefficiente d'asimmetria, che non è risultata accettabile. Il territorio è stato quindi suddiviso in tre regioni omogenee, che si potrebbero definire: *regione tirrenica* (regione A, con 154 stazioni), *regione appenninica* (regione B, con 353 stazioni) e *regione adriatica* (regione C, con 120 stazioni).

I valori regionali dei parametri Λ_* e Θ_* sono riportati nella tabella 2.1.

Tabella 2.1 - Parametri del primo livello di regionalizzazione

<i>regione</i>	Λ_*	Θ_*
<i>A</i>	0,174	3,490
<i>B</i>	0,762	1,241
<i>C</i>	0,795	2,402

Secondo livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione sono state considerate le stesse tre regioni individuate al primo livello. L'ipotesi che ciascuna fosse omogenea anche rispetto al coefficiente di variazione è risultata accettabile.

I valori regionali dei parametri Λ_i e β sono riportati nella tabella 2.2.

Tabella 2.2 - Parametri al secondo livello di regionalizzazione

<i>regione = zona</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Λ_i	29,314	22,017	27,806
β	4,480	4,359	5,301

Terzo livello di regionalizzazione

Al terzo livello di regionalizzazione si è ipotizzato che la media dell'altezza giornaliera μ_{hd} dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione³:

$$\mu_{hd} = cz + d \quad (2.02)$$

Sono state individuate 78 sottozone in cui i parametri della regressione e il coefficiente di correlazione assumono i valori indicati nella tabella 2.3.

³ In altre regionalizzazioni (Versace e al., 1989) è stata individuata una relazione esponenziale:

$$\ln \mu_{hd} = cz + d$$

Tabella 2.3 - Terzo livello di regionalizzazione: parametri della regressione della media sulla quota

<i>sottozona</i>	<i>N</i>	<i>c</i> (mm/m)	<i>d</i> (mm)	ρ	<i>sottozona</i>	<i>N</i>	<i>c</i> (mm/m)	<i>d</i> (mm)	ρ
A1	10	0,01892	55,64	0,886	B19	6	0,01418	36,02	0,836
A2	8	0,02785	59,22	0,953	B20	5	0,01098	57,23	0,449
A3	9	0,02738	64,43	0,919	B21	6	0,15691	16,83	0,913
A4	13	0,03390	67,67	0,833	B22	7	0,01890	76,65	0,795
A5	7	0,03031	60,09	0,620	B23	5	0,04972	60,54	0,887
A6	8	0,13518	66,15	0,901	B24	7	0,07960	30,38	0,903
A7	7	0,03582	67,72	0,830	B25	10	0,02089	64,28	0,676
A8	16	0,01680	62,79	0,843	B26	9	0,13532	-48,29	0,894
A9	7	0,02671	61,61	0,741	B27	5	0,05786	67,35	0,954
A10	5	0,06301	67,83	0,968	B28	12	0,03599	63,48	0,792
A11	3	0,07624	41,70	0,996	B29	5	0,03152	87,30	0,565
A12	6	0,01510	72,77	0,920	B30	4	0,05066	68,93	0,999
A13	9	0,02714	50,42	0,624	B31	11	0,00116	60,07	0,060
A14	4	0,02517	62,33	0,783	B32	7	0,04004	27,64	0,971
A15	4	0,03647	68,78	0,834	B33	6	0,01264	54,93	0,634
A16	4	0,02592	52,00	0,889	B34	4	0,25615	-85,09	0,955
A17	7	0,10165	15,14	0,860	B35	5	0,07432	15,64	0,740
A18	11	0,02208	58,80	0,685	B36	7	0,05270	40,46	0,667
A19	5	0,03408	41,11	0,980	B37	2	0,03513	33,42	1,000
A20	7	0,03637	49,62	0,956	B38	10	0,01874	40,79	0,637
A21	4	0,02854	43,38	0,926	B39	4	0,04514	38,13	0,969
B1	13	0,03028	43,52	0,895	B40	8	0,04250	58,21	0,921
B2	5	0,02250	42,59	0,830	B41	4	0,08894	34,37	0,835
B3	11	0,03478	49,18	0,859	B42	9	0,02237	71,20	0,567
B4	10	0,02747	62,61	0,724	C1	19	0,00482	57,46	0,392
B5	13	0,03136	53,96	0,904	C2	34	0,02822	64,04	0,915
B6	6	0,03764	44,54	0,933	C3	8	0,05900	42,12	0,952
B7	9	0,01863	49,36	0,756	C4	5	0,06381	49,63	0,984
B8	4	0,02219	50,91	0,844	C5	6	0,01574	61,16	0,809
B9	16	0,04546	46,32	0,953	C6	5	0,01374	58,39	0,825
B10	9	0,04145	37,12	0,893	C7	5	0,00985	62,40	0,831
B11	44	0,02300	35,60	0,849	C8	7	0,07690	50,19	0,917
B12	13	0,04292	45,49	0,901	C9	6	0,02767	51,23	0,886
B13	2	0,01793	20,47	1,000	C10	7	0,11377	38,98	0,937

Tabella 2.3 (segue) - Terzo livello di regionalizzazione: parametri della regressione della media sulla quota

sottozona	N	c (mm/m)	d (mm)	ρ	sottozona	N	c (mm/m)	d (mm)	ρ
B14	13	0,05343	55,04	0,921	C11	5	0,02573	57,44	0,887
B15	6	0,00153	69,69	0,135	C12	4	0,02395	44,17	0,976
B16	12	0,02565	22,88	0,912	C13	3	0,04634	-5,21	0,898
B17	5	0,00722	64,41	0,798	C14	4	0,03330	32,01	0,763
B18	3	0,00128	62,43	0,391	C15	4	0,00655	57,57	0,776

2.2 PIOGGE DI MASSIMA INTENSITÀ E BREVE DURATA

Per l'elaborazione delle precipitazioni intense di breve durata si è adottata quindi la legge intensità-durata-frequenza a tre parametri:

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m} \quad (2.03)$$

dove:

T è il tempo di ritorno,

t è la durata della pioggia critica,

b è un parametro di deformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata t , sia dal tempo di ritorno T ,

m è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno,

$a(T)$ è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

La (2.03) può essere messa nella forma:

$$i_t(T) = i_0(T) \left(\frac{b}{b+t} \right)^m \quad (2.04)$$

dove $i_0(T)$ è l'intensità istantanea con tempo di ritorno T . La media di i_t risulta allora:

$$\mu_{it} = \mu_{i0} \left(\frac{b}{b+t} \right)^m \quad (2.04')$$

dove μ_{i0} è la media dell'intensità istantanea.

Sono state assunte le seguenti ipotesi:

a) l'intensità media di 24 ore μ_{i24} è proporzionale all'intensità media giornaliera μ_{id} :

$$\mu_{i24} = \delta \mu_{id} \quad (2.05)$$

dove il coefficiente di proporzionalità, costante su tutta l'area esaminata, vale $\delta = 1,15$;

- b) il rapporto tra l'intensità media della pioggia di 5' e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area esaminata, assunto pari al valore ottenuto dallo studio delle piogge intense della stazione pluviometrica di Roma (Macao):

$$r = \frac{\mu_{i5'}}{\mu_{i1}} = \left(\frac{b+1}{b+0,0833} \right)^m = 3,36$$

Ricavando b :

$$b = \frac{1 - 0,0833r^{1/m}}{r^{1/m} - 1} \quad (2.06)$$

- c) l'esponente m e il parametro di trasformazione temporale b sono indipendenti dal tempo di ritorno T , in modo da imporre il parallelismo sul piano logaritmico delle leggi IDF relative a diversi tempi di ritorno;
- d) l'intensità istantanea media μ_{i0} è dipendente dalla quota z della stazione pluviometrica secondo la relazione:

$$\frac{\mu_{i0}(z)}{\bar{\mu}_{i0}} = \frac{\mu_{hd}(z)}{\bar{\mu}_{hd}} \quad (2.07)$$

L'ipotesi a) è confermata con buona approssimazione dall'esame dei rapporti δ di tutte le stazioni della area studiata. Da essa discende che anche per μ_{i24} vale una relazione lineare con la quota:

$$\mu_{i24} = \delta \frac{cz + d}{24} \quad (2.08)$$

L'ipotesi b) è suffragata da ricerche condotte su scala mondiale da diversi autori (Calenda e al., 1995). Da essa si può ricavare il valore del parametro di trasformazione temporale b per ciascuna stazione.

L'ipotesi c) è confermata con buona approssimazione dall'analisi delle curve di caso critico empiriche.

L'ipotesi d) è stata dedotta dai dati, anche se il numero molto ridotto delle stazioni pluviografiche presenti in ciascuna sottozona non autorizza conclusioni definitive.

Dalla (2.07), tenuto conto della (2.08), si ricava:

$$\frac{\mu_{i0}(z)}{\bar{\mu}_{i0}} = \frac{\mu_{i24}(z)}{\bar{\mu}_{i24}} = \frac{\delta(cz + d)}{24\bar{\mu}_{i24}} \quad (2.09)$$

da cui:

$$\mu_{i0}(z) = \frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}} \delta \frac{(cz + d)}{24} \quad (2.10)$$

Dalla (2.04') si ottiene:

$$\mu_{i0}(z) = \mu_{i24}(z) \left(\frac{b+24}{b} \right)^m \quad (2.11)$$

Per cui, uguagliando la (2.10) alla (2.11), ricavando m e ricordando la (2.08) si ottiene:

$$m = \frac{\ln \left(\frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}} \right)}{\ln \left(\frac{b+24}{b} \right)}$$

che sostituendo secondo la (2.06) diventa:

$$m = \frac{\ln \left(\frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}} \right)}{\ln \left[1 + \frac{24(r^{1/m} - 1)}{1 - 0,0833r^{1/m}} \right]} \quad (2.12)$$

che costituisce un'equazione implicita, la cui soluzione fornisce il valore di m . Sostituendo a sua volta questo nella (2.06) si ottiene b .

I valori regionali dei parametri b , m e $\bar{\mu}_{i0}/\bar{\mu}_{i24}$ che compaiono nella (2.12) sono riportati nella tabella 2.4.

È ovviamente:

$$\frac{h_d}{\mu_{hd}} = \frac{\delta h_{24}}{\delta \mu_{h24}} = \frac{i_0 \left(\frac{b}{b+24} \right)^m 24}{\mu_{i0} \left(\frac{b}{b+24} \right)^m 24} = \frac{i_0}{\mu_{i0}} \quad (2.13)$$

che sostituito nella (2.01) dà la distribuzione di probabilità dell'intensità di pioggia istantanea:

$$P(i_0) = e^{-\Lambda_1 e^{-\left(\frac{i_0}{\mu_{i0}} \right) \beta}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\left(\frac{i_0}{\Theta_* \mu_{i0}} \right) \beta} \quad (2.14)$$

Sostituendo ancora nella (2.14) i_0 secondo la (2.04) si ottiene la distribuzione di probabilità dell'intensità i_t relativa alla durata t generica:

$$P(i_t) = e^{-\Lambda_1 e^{-\left[\frac{i_t}{\mu_{i0}(z)} \beta \left(\frac{b+t}{b} \right)^m \right]}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\left[\frac{i_t}{\Theta_* \mu_{i0}(z)} \beta \left(\frac{b+t}{b} \right)^m \right]} \quad (2.15)$$

dove z è la quota del punto, $\mu_{i0}(z)$ è dato dalla (2.10), m si ricava dalla (2.12), b dalla (2.06), e i parametri Λ_* , Θ_* , Θ_l e β sono dati dalla procedura TCEV.

Per l'applicazione di tale modello è stato necessario individuare le intersezioni tra le singole aree dei bacini idrografici considerati e le sottozone omogenee risultanti dal terzo livello di regionalizzazione delle precipitazioni, in modo da ottenere l'intensità di precipitazione con durata pari al tempo di concentrazione del bacino, mediante una media pesata sull'area dei bacini considerati.

Nella figura 2.1 sono riportate le curve delimitanti le sottozone omogenee individuate dalla regionalizzazione delle piogge per i bacini considerati.

Le curve delimitanti le sottozone omogenee ricadenti nell'area dei bacini regionali del Lazio sono anche riportate, rispettivamente per i bacini Nord e i bacini Sud, nelle tavole 1a e 1b.

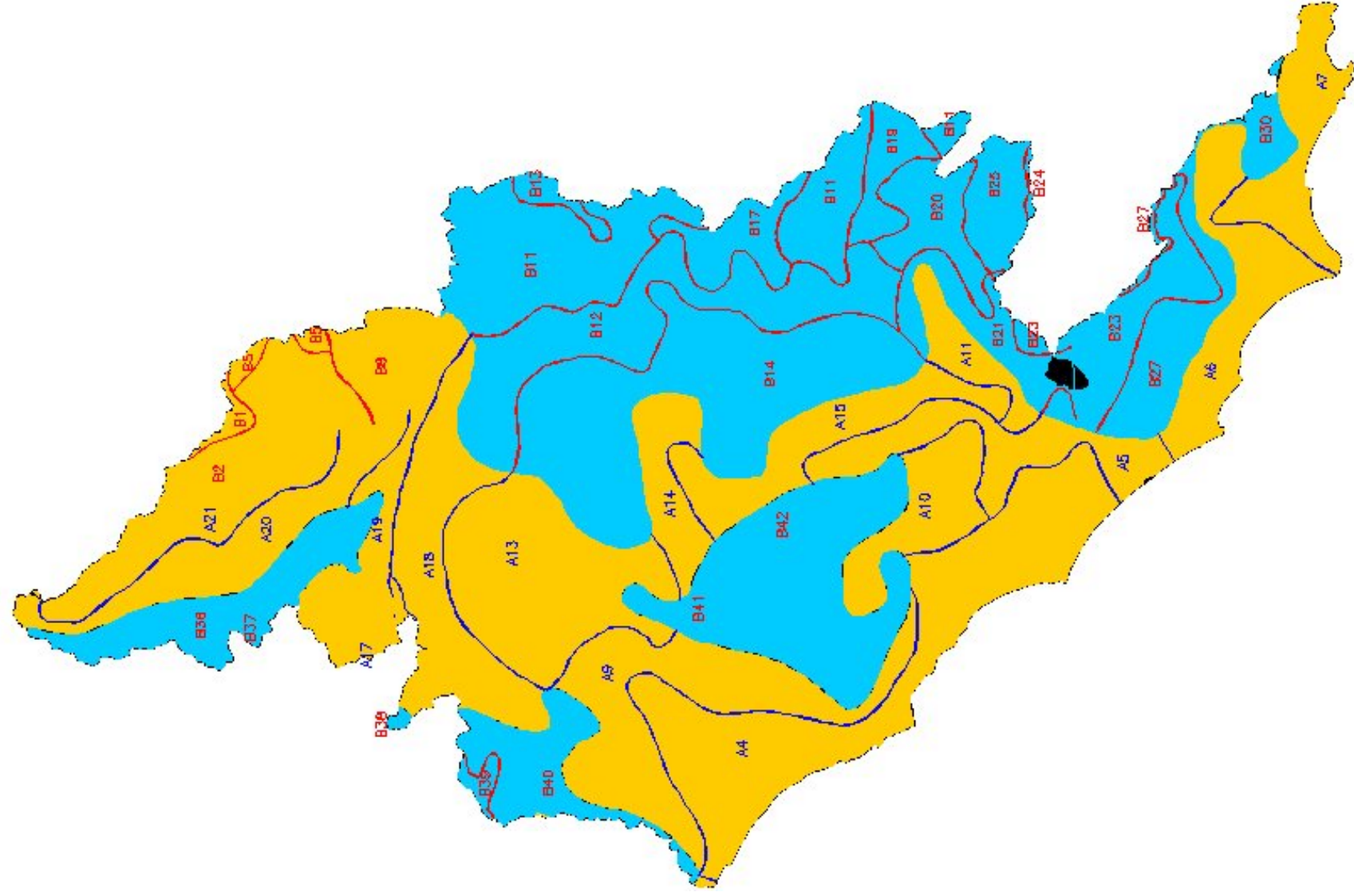


Fig. 2.1 - Sottozone Vapi per i bacini considerati.

Tabella 2.4 - Regionalizzazione delle piogge intense: parametri regionali delle relazioni IDF

<i>sottozona</i>	<i>N</i>	<i>b</i> (<i>h</i>)	<i>m</i>	μ_{i0}/μ_{i24}	<i>sottozona</i>	<i>N</i>	<i>b</i> (<i>h</i>)	<i>m</i>	μ_{i0}/μ_{i24}
A1	7	0,1660	0,7810	48,90	B19	1	0,1135	0,6951	41,48
A2	4	0,1528	0,7597	46,83	B20	1	0,1170	0,7010	41,91
A3	8	0,1454	0,7478	45,74	B21	2	0,1585	0,7690	47,72
A4	4	0,1705	0,7881	49,62	B22	3	0,1101	0,6895	41,08
A5	2	0,1621	0,7748	48,28	B23	5	0,1398	0,7387	44,94
A6	3	0,1137	0,6955	41,50	B24	3	0,1040	0,6792	40,39
A7	5	0,1054	0,6816	40,54	B25	6	0,0986	0,6700	39,80
A8	6	0,1323	0,7263	43,89	B26	4	0,0908	0,6565	39,02
A9	3	0,1502	0,7555	46,45	B27	2	0,1366	0,7335	44,49
A10	4	0,1415	0,7415	45,18	B28	6	0,1168	0,7007	41,88
A11	1	0,1744	0,7943	50,26	B29	4	0,0895	0,6542	38,89
A12	2	0,1251	0,7145	42,93	B30	2	0,1222	0,7097	42,56
A13	2	0,1484	0,7526	46,18	B31	5	0,0902	0,6555	38,96
A14	1	0,1521	0,7586	46,73	B32	5	0,1071	0,6844	40,73
A15	1	0,1326	0,7269	43,93	B33	3	0,0806	0,6389	38,13
A16	2	0,1427	0,7434	45,35	B34	2	0,0940	0,6620	39,33
A17	7	0,1728	0,7917	50,00	B35	3	0,0977	0,6684	39,71
A18	1	0,1498	0,7549	46,39	B36	2	0,1434	0,7446	45,45
A19	3	0,1729	0,7919	50,02	B37	1	0,1141	0,6962	41,56
A20	2	0,1456	0,7482	45,77	B38	7	0,1670	0,7826	49,06
A21	3	0,1437	0,7450	45,49	B39	4	0,0971	0,6674	39,65
B1	7	0,1168	0,7006	41,88	B40	4	0,1136	0,6953	41,49
B2	1	0,1603	0,7718	47,99	B41	1	0,1673	0,7830	49,11
B3	3	0,1252	0,7146	42,94	B42	3	0,1279	0,7190	43,29
B4	6	0,1015	0,6748	40,10	C1	10	0,1408	0,7403	45,08
B5	2	0,1302	0,7230	43,61	C2	24	0,1107	0,6905	41,15
B6	2	0,1354	0,7314	44,31	C3	7	0,1156	0,6986	41,73
B7	4	0,1275	0,7185	43,25	C4	2	0,1123	0,6932	41,34
B8	1	0,1768	0,7981	50,66	C5	2	0,1281	0,7195	43,33
B9	5	0,1455	0,7479	45,75	C6	4	0,0957	0,6650	39,50
B10	3	0,1136	0,6953	41,49	C7	3	0,1129	0,6942	41,41
B11	18	0,1035	0,6782	40,32	C8	6	0,1001	0,6725	39,96
B12	3	0,1097	0,6887	41,02	C9	4	0,1076	0,6852	40,79
B13	1	0,0685	0,6173	37,30	C10	6	0,1034	0,6781	40,31

Tabella 2.4 (segue) – Regionalizzazione delle piogge intense: parametri regionali delle relazioni IDF

<i>sottozona</i>	<i>N</i>	<i>b</i> (<i>h</i>)	<i>m</i>	μ_{i0}/μ_{i24}	<i>sottozona</i>	<i>N</i>	<i>b</i> (<i>h</i>)	<i>m</i>	μ_{i0}/μ_{i24}
<i>B14</i>	4	0,1380	0,7357	44,68	<i>C11</i>	1	0,1101	0,6895	41,08
<i>B15</i>	5	0,1048	0,6804	40,47	<i>C12</i>	3	0,1100	0,6894	41,07
<i>B16</i>	8	0,1051	0,6811	40,51	<i>C13</i>	3	0,0821	0,6414	38,25
<i>B17</i>	2	0,0889	0,6532	38,84	<i>C14</i>	3	0,0897	0,6547	38,92
<i>B18</i>	3	0,1167	0,7005	41,87	<i>C15</i>	1	0,0863	0,6488	38,61

REGIONALIZZAZIONE DEI PARAMETRI DEI MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI

INTRODUZIONE

La regionalizzazione delle portate secondo la procedura VAPI a partire da un ingresso pluviometrico espresso dalla regionalizzazione delle piogge con una legge TCEV (descritta nel capitolo 3) non si è ritenuto di poter adottare una formulazione analoga a quella proposta nel progetto pilota sulle piene della Calabria, redatto da Versace e al. (1989). Tale formulazione utilizza sistematicamente leggi TCEV anche per le portate, utilizzando per il primo e il secondo livello di regionalizzazione parametri stimati a partire dalle sole osservazioni di portata (per il primo livello utilizzando sezioni idrometrografiche di tutto l'Appennino e della Sicilia che sottendono bacini d'area inferiore a 3000 km^2) e limitando l'uso di modelli di trasformazione afflussi-deflussi al solo terzo livello, per la stima della portata indice. Come accennato in precedenza, lo studio dei corsi d'acqua del Compartimento di Roma del SIMN ha mostrato che la disuniformità dei bacini non consente un simile livello di generalizzazione. Si è visto, ad esempio, che l'influenza delle esondazioni può modificare non soltanto il momento di primo ordine della distribuzione (media), ma anche il momento di secondo ordine (coefficiente di variazione) e, soprattutto, il momento di terzo ordine (coefficiente d'asimmetria). Di conseguenza un'ipotesi d'omogeneità, anche se risultasse statisticamente da non respingere, dovrebbe essere rifiutata in base alla conoscenza fisica del fenomeno.

Di conseguenza la regionalizzazione dei massimi colmi annuali di piena a partire dalla regionalizzazione delle piogge è stata sviluppata senza imporre a priori la forma della distribuzione di probabilità delle piene, applicando un semplice modello di trasformazione afflussi-deflussi e regionalizzandone i parametri in modo da riprodurre, per quanto possibile, le distribuzioni di probabilità stimate nelle singole stazioni idrometrografiche.

1 METODOLOGIA

1.1 MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI

Si è scelto un modello di trasformazione afflussi-deflussi molto semplice di tipo concentrato, basato sulla formula razionale:

$$Q(T) = 278 \cdot \phi \cdot A_b \cdot i(\tau_b, T) \cdot r(A_b, \tau_b) \quad (1.01)$$

in cui:

- T è il *tempo di ritorno medio*, in anni,
- $Q(T)$ è la *massima portata al colmo dell'anno* relativa al tempo di ritorno T , in m^3/s ,
- A_b è l'*area del bacino*, in km^2 ,
- τ_b è il *tempo di concentrazione*, in h , parametro che regola la concentrazione dei deflussi,
- $i(\tau_b, T)$ è l'*intensità di pioggia* di durata τ_b con tempo di ritorno T , in m/h ,
- $\phi(T)$ è il *coefficiente di deflusso* relativo al tempo di ritorno T , parametro che rappresenta le perdite idrologiche,
- $r(A_b, \tau_b)$ è il *coefficiente di ragguaglio all'area* delle piogge.

Ietogrammi sintetici

Il modello utilizza idrogrammi sintetici uniformi di durata pari al tempo di concentrazione del bacino. Gli ietogrammi sono stati ricavati dalla regionalizzazione illustrata nel capitolo 3. Per i parametri delle leggi di probabilità pluviometrica che dipendono dalla quota del suolo sono state utilizzate le quote medie dei bacini.

Per il coefficiente di ragguaglio all'area si è fatto riferimento alla elaborazione dell'U.S. Weather Bureau [1958], rappresentata sotto forma di grafico nei principali manuali d'idrologia [Chow, 1964; Chow et alii, 1988]. Il grafico è stato interpolato da Eagleson [1972] con la relazione:

$$r = 1 - e^{-1,1\delta^{0,25}} + e^{-1,1\delta^{0,25} - 0,00386A} \quad (1.02)$$

Tempo di concentrazione

In prima approssimazione il tempo di concentrazione del bacino di ciascuna sezione idrometrografica è stato stimato tramite la formula di Giandotti:

$$\tau_b = \frac{4\sqrt{A_b} + 1,5L_b}{0,8\sqrt{y_m}} \quad (h) \quad (1.03)$$

con:

A_b area del bacino (km^2),

L_b lunghezza dell'asta principale del bacino (km),

y_m altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m);

L'area del bacino è stata calcolata utilizzando i limiti di bacino per il calcolo delle aree e il tracciato delle aste fluviali (blue lines) per il calcolo delle lunghezze delle aste principali che sono quelle tracciate dal SIMN, ricavate dalla cartografia 1:25.000 IGM. Le altitudini medie sono state ricavate dal DEM $20 m \times 20 m$ IGM.

1.2 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

I coefficienti di deflusso sono stati determinati per ciascun tempo di ritorno T tramite la relazione:

$$\phi(T) = \frac{Q(T)}{278 \cdot A_b \cdot i(\tau_b, T)} \quad (1.04)$$

dove per $Q(T)$ si assumono i valori forniti dalle distribuzioni di probabilità dei massimi colmi annuali della stazione idrometrografica considerata.

Ai fini della regionalizzazione i coefficienti di deflusso vengono espressi in funzione delle principali caratteristiche del bacino che influiscono sulla formazione delle piene.

I risultati dell'applicazione della (1.04) sono indicati nella tabella 1.1 e rappresentati nelle figure 1.1 per il bacino del Tevere e 1.2 per i bacini regionali del Lazio.

Tabella 1.1 - Coefficienti di deflusso di prima valutazione

<i>T</i>	<i>Tevere</i> <i>S. Lucia</i>	<i>Tevere</i> <i>P.te Felcino</i>	<i>Tevere</i> <i>P.te Nuovo</i>	<i>Chiascio</i> <i>Torgiano</i>	<i>Topino</i> <i>Bettona</i>	<i>Chiani</i> <i>Morrano</i>
1,5	0,299	0,366	0,312	0,186	0,115	0,296
5	0,293	0,372	0,339	0,278	0,138	0,424
10	0,274	0,351	0,340	0,315	0,144	0,459
15	0,261	0,335	0,337	0,333	0,146	0,468
20	0,250	0,322	0,333	0,344	0,147	0,470
30	0,235	0,304	0,327	0,358	0,148	0,466
50	0,217	0,281	0,317	0,373	0,149	0,458
100	0,195	0,254	0,304	0,393	0,149	0,449
200	0,178	0,232	0,294	0,412	0,149	0,446
500	0,160	0,210	0,284	0,439	0,151	0,451
1000	0,150	0,196	0,278	0,460	0,152	0,458
<i>T</i>	<i>Paglia</i> <i>Orvieto</i>	<i>Turano</i> <i>Posticciola</i>	<i>Velino</i> <i>Antrodoco</i>	<i>Velino</i> <i>Terria</i>	<i>Nera</i> <i>T. Orsina</i>	<i>Nera</i> <i>Macchiagrossa</i>
1,5	0,341	0,160	0,056	0,114	0,050	0,069
5	0,480	0,214	0,085	0,158	0,053	0,062
10	0,522	0,234	0,097	0,175	0,051	0,058
15	0,536	0,245	0,104	0,184	0,050	0,056
20	0,542	0,252	0,108	0,190	0,050	0,055
30	0,544	0,262	0,115	0,198	0,048	0,053
50	0,542	0,273	0,122	0,208	0,047	0,051
100	0,540	0,288	0,133	0,221	0,045	0,048
200	0,542	0,302	0,143	0,234	0,044	0,046
500	0,552	0,320	0,156	0,250	0,042	0,043
1000	0,563	0,333	0,166	0,262	0,040	0,041
<i>T</i>	<i>Treia</i> <i>C. Castellana</i>	<i>Aniene</i> <i>Subiaco</i>	<i>Aniene</i> <i>Lunghezza</i>	<i>Marta</i> <i>C. Traponzo</i>	<i>Mignone</i> <i>Rota</i>	<i>Amaseno</i> <i>Fossanuova</i>
1,5	0,102	0,064	0,107	0,185	0,415	0,193
5	0,172	0,074	0,145	0,219	0,518	0,238
10	0,205	0,087	0,174	0,243	0,553	0,248
15	0,222	0,099	0,186	0,258	0,570	0,250
20	0,234	0,108	0,192	0,268	0,581	0,250
30	0,250	0,120	0,199	0,283	0,595	0,247
50	0,270	0,132	0,205	0,302	0,610	0,242
100	0,297	0,147	0,210	0,335	0,629	0,235
200	0,324	0,158	0,213	0,379	0,646	0,231
500	0,360	0,171	0,217	0,457	0,670	0,229
1000	0,388	0,179	0,219	0,534	0,687	0,229

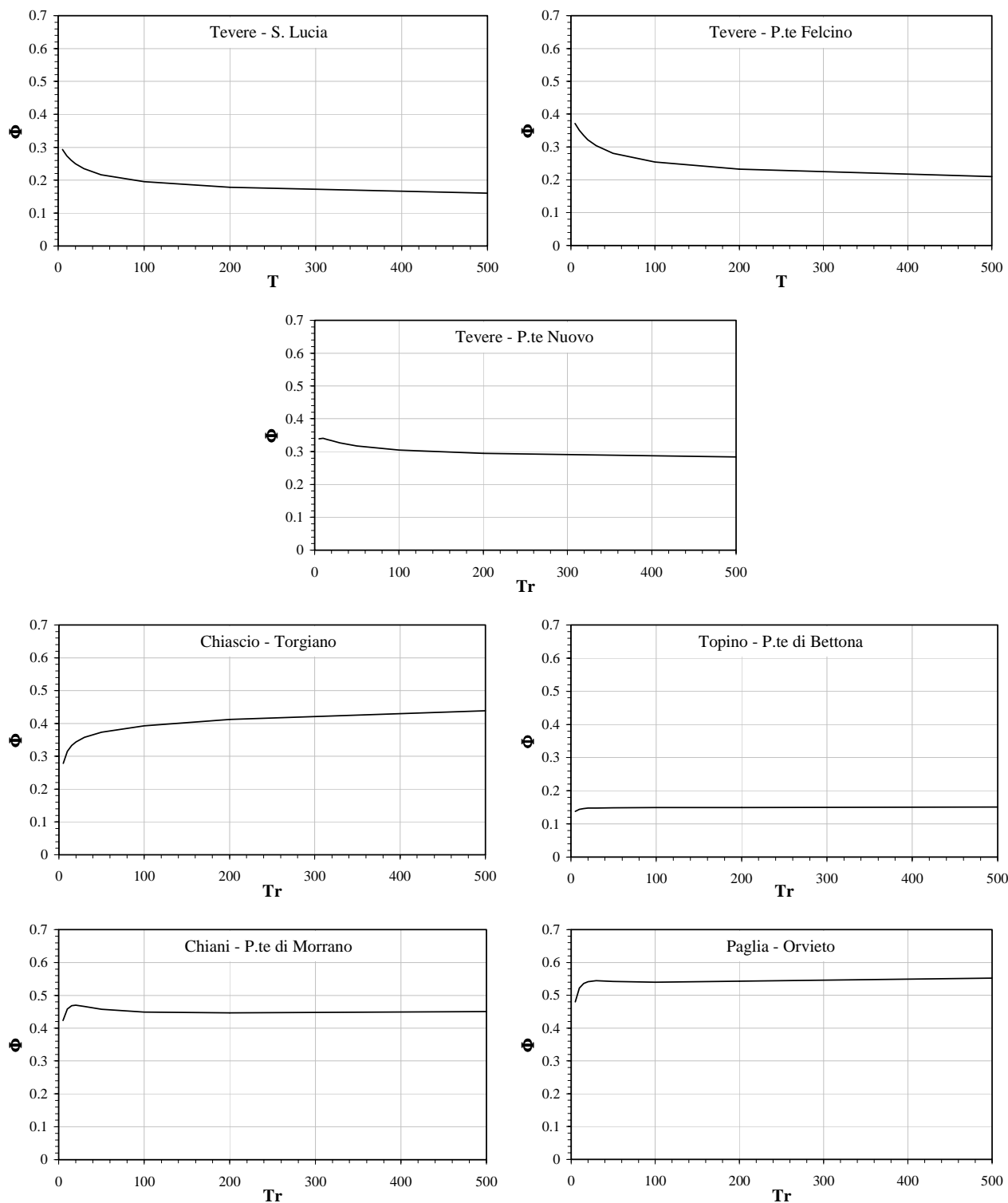


Figura 1.1 - Prima valutazione dei coefficienti di deflusso: stazioni del bacino del Tevere

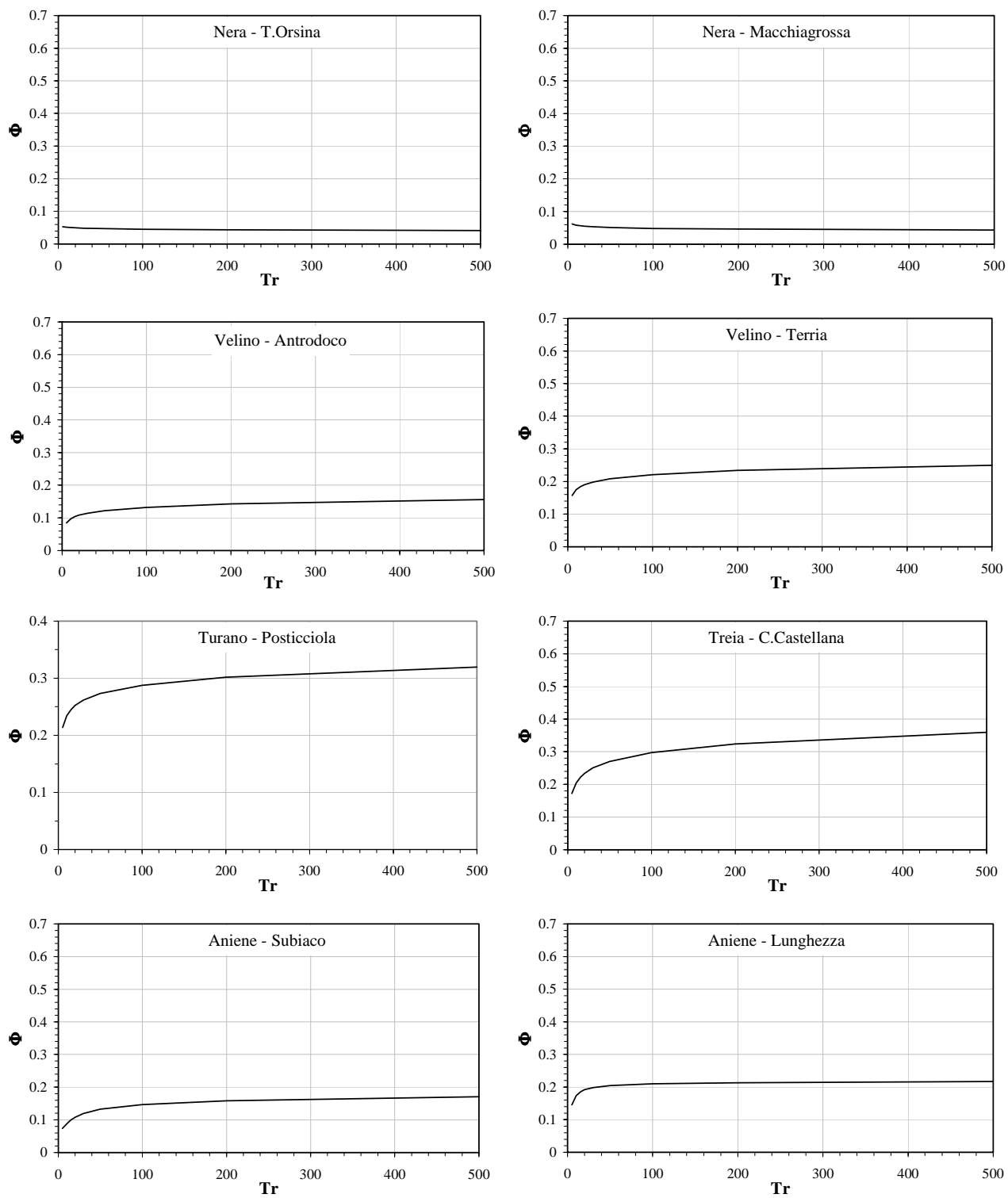


Figura 1.1 (segue) - Prima valutazione dei coefficienti di deflusso: stazioni del bacino del Tevere

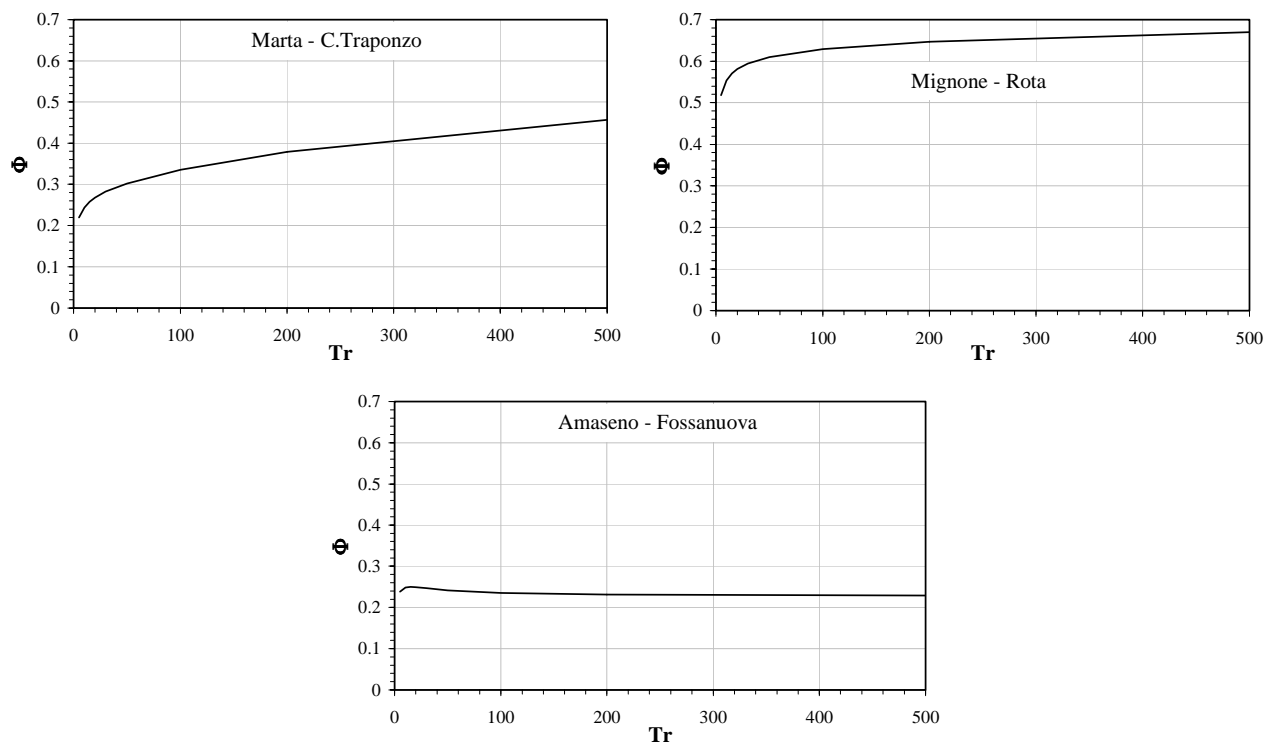


Figura 1.2 - Prima valutazione dei coefficienti di deflusso: stazioni dei bacini regionali del Lazio

1.3 CORREZIONE DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO

Nelle figure si può osservare che in alcuni bacini, quali quelli dell'alto Tevere, il sistema del Paglia e il Nera, i coefficienti di deflusso tendono a diminuire al crescere del tempo di ritorno. Questo fatto è coerente con le distribuzioni di probabilità delle piogge e delle piene, soprattutto per i bacini dell'alto Tevere. Infatti, mentre la distribuzione delle piogge segue una legge TCEV, marcatamente asimmetrica, la distribuzione delle portate segue invece una legge normale, assolutamente simmetrica, nel caso dei due bacini superiori (S. Lucia e Ponte Felcino), o al più una legge di Gumbel, poco asimmetrica, nel caso del Tevere a valle della confluenza del Chiascio (Ponte Nuovo).

Ciò nonostante il fenomeno richiede una spiegazione, perché sarebbe da attendersi un aumento del coefficiente di deflusso con gli eventi più intensi, come avviene in diversi altri bacini, dovuto alla maggiore saturazione del terreno con l'aumentare della pioggia. È verosimile che questa riduzione delle perdite idrologiche per gli eventi di maggiore intensità sia soltanto apparente. In effetti il coefficiente di deflusso reale deve aumentare. Non aumentano, però, necessariamente anche le portate attraverso le sezioni di misura, perché una parte notevole del volume ruscellato s'invasa a monte di tali sezioni quando il fiume esonda.

E in realtà la valle del Tevere a valle del serbatoio di Montedoglio fino al serbatoio di Corbara subisce frequenti inondazioni per le piene più intense, così come il fondovalle del Paglia e la conca di Terni e la stessa valle del Nera a monte della confluenza del Velino.

Emerge quindi l'esigenza di correggere i coefficienti di deflusso tenendo conto, in qualche misura, anche dei volumi esondati. Nel caso del bacino del Tevere, e in particolare delle aste del Tevere, del Paglia e del Nera, è possibile determinare i volumi esondati in funzione delle portate, perché l'Autorità di Bacino del Tevere ha fatto tracciare le aree inondabili per diversi tempi di ritorno. Tuttavia il modello cinematico non introduce alcuna laminazione delle portate in funzione del volume invasato. Per questo motivo si deve fa ricorso a un diverso modello, capace di tener conto dell'effetto dell'invaso. Il più semplice di questi modelli è il *modello dell'invaso lineare*.

Per passare dal modello cinematico a quello dell'invaso lineare occorre innanzitutto stabilire un criterio che consenta di assegnare alla *costante d'invaso* k , che è il parametro del modello dell'invaso che determina la concentrazione, valori coerenti con quelli del tempo di concentrazione del modello cinematico forniti dalla formula di Giandotti.

Se la legge di probabilità pluviometrica è espressa da una formula a due parametri:

$$i(t, T) = a(T)t^{n-1} \quad (1.05)$$

dove:

$a(T)$ in mm/h , è un parametro che rappresenta l'intensità di pioggia oraria,

n è un parametro adimensionale,

adottando il modello dell'invaso la portata al colmo con tempo di ritorno T si esprime:

$$Q_{c,i} = 278 \cdot r(A_b, t) \cdot A_b \cdot \phi(T) \cdot a(T) \cdot \varepsilon_m^{n-1} \cdot k^{*n-1} \cdot (1 - e^{-\varepsilon_m}) \quad (1.06)$$

in cui:

k^* è la costante d'invaso, espressa in h ;

ε_m esprime la condizione di massimo della portata al colmo nel modello dell'invaso, è approssimata dalla seguente relazione esplicita in funzione di n :

$$\varepsilon_m = -0,043 + 2,22 \cdot n + 0,0118 \cdot e^{5,49 \cdot n} \quad (1.07)$$

Uguagliando la (1.06) alla (1.01), in cui $i(\tau_b, T)$ è espresso nella forma (1.05), si ottiene la seguente relazione tra la costante k^* del metodo dell'invaso e il tempo di concentrazione τ_b del modello cinematico:

$$k^* = \frac{\tau_b}{\varepsilon_m \left(1 - e^{-\varepsilon_m}\right)^{\frac{1}{n-1}}} \quad (1.08)$$

Nel modello cinematico la relazione intensità-durata è stata rappresentata con una relazione a tre parametri del tipo:

$$i(t,T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m} \quad (1.09)$$

Poiché nel caso dei bacini fluviali considerati si ha sempre $t \gg b$, si può porre nella (1.07):

$$n = 1 - m \quad (1.10)$$

assumendo un valore pari alla media dei valori di m delle zone pluviometriche che interessano il bacino, pesate in base alle rispettive aree.

Come è noto, la costante d'invaso può essere espressa in funzione del volume invasato nel bacino tramite la relazione:

$$k = 278 \frac{W}{Q_c} \quad (1.11)$$

dove:

Q_c è la portata al colmo, in m^3/s ,

W è il volume invasato, in $m \times km^2$ (o $m^3 \cdot 10^6$).

Posto che sia k^* la costante d'invaso prima dell'esondazione, quando il corso d'acqua comincia a esondare tale costante deve essere modificata, perché il rapporto W/Q_c cambia.

Per la linearità del modello, con qualche modesta semplificazione si può porre:

$$k = k^* + 278 \frac{W_e}{Q_c} \quad (1.12)$$

in cui W_e è il volume esondato.

Per il calcolo dei volumi d'esondazione si è proceduto partendo dalle aree inondate, già disponibili per i bacini sopra indicati per 4 diversi valori di portata, e incrociandole con i dati altimetrici provenienti dal modello digitale del terreno (DEM). I valori puntuali dei volumi d'esondazione sono stati regolarizzati mediante un polinomio del 2° ordine che fornisce il legame tra portata e volumi e, essendo noto attraverso la regolarizzazione probabilistica la relazione tra portate e tempi di ritorno, resta determinata anche quella tra volumi e tempi di ritorno. Si è ipotizzato che l'esondazione sia sempre trascurabile per un tempo di ritorno inferiore a 5 anni. Per le stazioni di misura di Ponte Nuovo e di Ponte Felcino si sono determinati i contributi dei singoli bacini compresi tra le stazioni di misura disponibili, tenuto conto che ciascun contributo deriva dalla determinazione del tempo di ritorno corrispondente ad una intensità precipitazione che si impone costante su tutti i bacini. I risultati sono indicati nelle tabelle da 1.2 a 1.6.

Tabella 1.2 - Volumi d'esondazione per la stazione di Tevere a S. Lucia

<i>Tevere a S. Lucia</i>		
<i>T</i> <i>anni</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>W_e</i> <i>10⁶ m³</i>
5	358	0,000
10	400	1,002
15	421	1,573
20	434	1,972
30	452	2,528
50	473	3,218
100	498	4,139
200	522	5,045
500	551	6,225

Tabella 1.3 - Volumi d'esondazione per la stazione di Tevere a Ponte Felcino

<i>Tevere tra S.Lucia e P.te Felcino</i>			<i>Tevere a S.Lucia</i>			<i>Tevere a P.te Felcino</i>
<i>T</i> <i>anni</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>W_e'</i> <i>10⁶ m³</i>	<i>T''</i> <i>anni</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>W_e''</i> <i>10⁶ m³</i>	<i>W_e=W_e' + W_e''</i> <i>10⁶ m³</i>
5	697	0,000	5,4	363	0,000	0,000
10	783	3,844	9,8	399	0,873	4,717
15	826	5,745	14,3	418	1,401	7,145
20	854	6,982	18,9	432	1,793	8,775
30	892	8,602	28,8	450	2,371	10,973
50	935	10,473	50,2	473	3,121	13,594
100	988	12,777	105,5	500	4,107	16,884
200	1037	14,868	212,9	524	5,024	19,892
500	1097	17,382	503,0	551	6,130	23,512

Tabella 1.4 - Volumi d'esonazione per la stazione di Tevere a P.te Nuovo

<i>Tevere tra P.te Felcino e P.te Nuovo</i>			<i>Tevere a S. Lucia</i>			<i>Tevere tra S. Lucia e P.te Felcino</i>			<i>Tevere a P.te Nuovo</i>
<i>T</i> <i>anni</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>W_e'</i> <i>10⁶ m³</i>	<i>T''</i> <i>anni</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>W_e''</i> <i>10⁶ m³</i>	<i>T'''</i> <i>anni</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>W_e'''</i> <i>10⁶ m³</i>	<i>W_e=W_e'+W_e''+W_e'''</i> <i>10⁶ m³</i>
5	1087	0,000	2,4	300	0,0000	2,4	543	0,000	0,000
10	1290	4,893	3,9	340	0,4394	3,8	644	1,417	6,749
15	1405	7,764	5,1	359	0,8484	5,0	699	3,913	12,525
20	1485	9,822	6,2	372	1,1445	6,1	739	5,677	16,643
30	1597	12,761	8,3	390	1,5700	8,2	795	8,166	22,497
50	1737	16,543	12,2	410	2,113	12,1	866	11,290	29,946
100	1926	21,833	20,4	435	2,829	20,2	960	15,366	40,027
200	2114	27,318	33,5	457	3,506	33,3	1050	19,185	50,009
500	2362	34,884	62,4	481	4,341	62,3	1161	23,865	63,089

Tabella 1.5 - Volumi d'esondazione per la stazione del Paglia a Orvieto

<i>Paglia-Orvieto</i>		
<i>T</i> <i>anni</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>W_e</i> <i>10⁶ m³</i>
5	801	0,0
10	1048	2,4
15	1199	3,9
20	1309	5,0
30	1469	6,5
50	1681	8,6
100	1986	11,6
200	2313	14,7
500	2783	19,3

Tabella 1.6 - Volumi d'esondazione per la stazione del Nera a Macchiagrossa

<i>Nera-Macchiagrossa</i>		
<i>T</i> <i>anni</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>W_e</i> <i>10⁶ m³</i>
5	284	0,0
10	310	9,3
15	323	13,8
20	331	16,7
30	342	20,4
50	355	24,7
100	371	29,8
200	385	34,4
500	403	39,8

La correzione dei coefficienti di deflusso ha potuto essere apportata alle sezioni ubicate sulle aste dell'alto Tevere, del Paglia e del Nera. Per l'altra stazione del bacino del Paglia, il Chiani a Ponte di Morrano, non è stato possibile apportare la correzione perché manca la valutazione dei volumi esondati.

I coefficienti di deflusso corretti, calcolati con la:

$$\phi(T) = \frac{Q_{c,i}}{278 \cdot r(A_b, t) \cdot A_b \cdot a(T) \cdot \varepsilon_m^{n-1} \cdot k^{*n-1} \cdot (1 - e^{-\varepsilon_m})} \quad (1.13)$$

ricavata dalla (1.06), sono indicati nella tabella 1.7 e confrontati con quelli di prima determinazione nella figura 1.3.

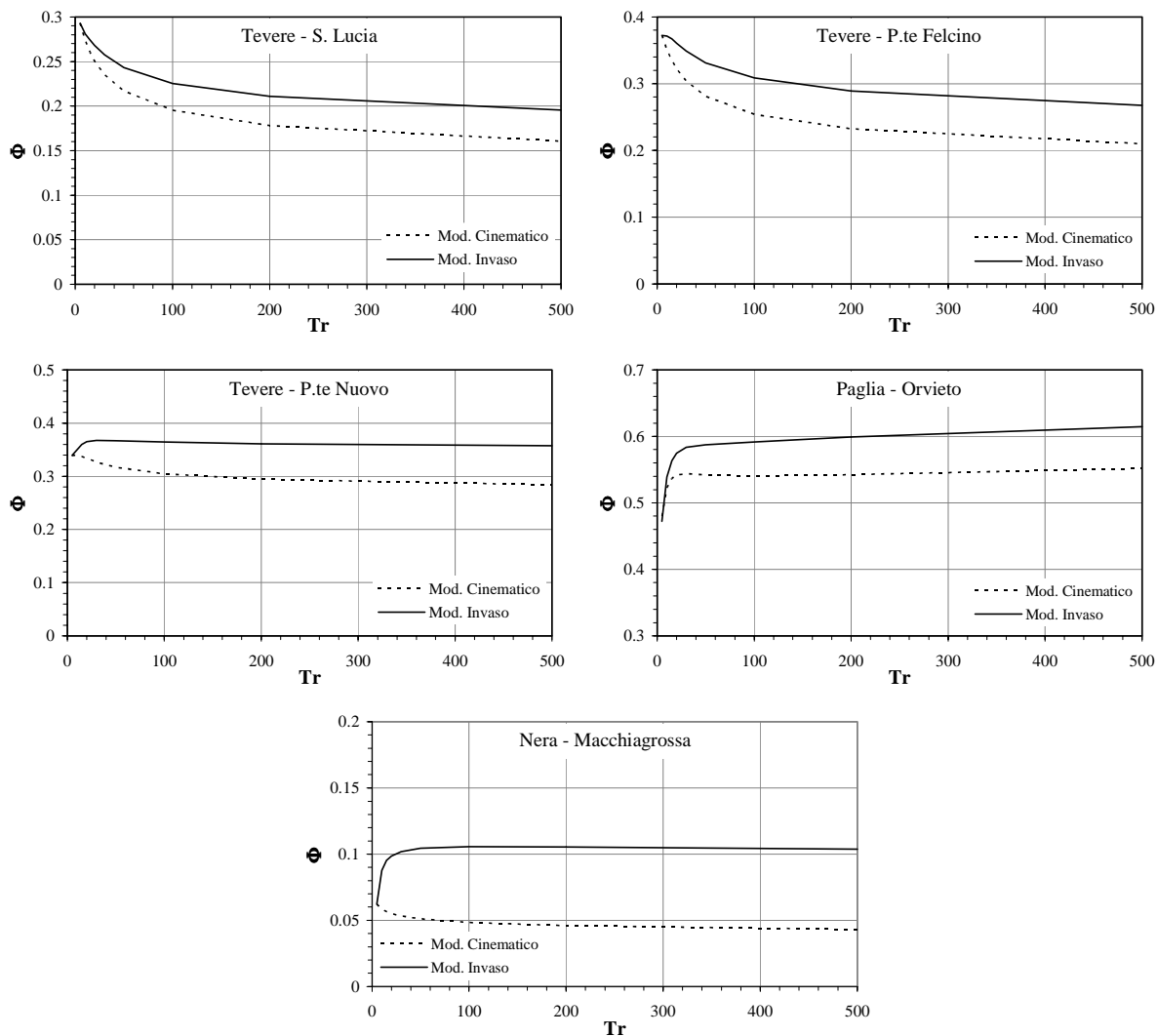


Figura 1.3 - Coefficienti di deflusso corretti.

Si può osservare che l'introduzione del volume d'invaso ha permesso di risolvere l'incongruenza della riduzione dei coefficienti di deflusso per tutte le stazioni considerate, tranne le stazioni del Tevere a S. Lucia e a Ponte Felcino, in cui la distribuzione delle portate è simmetrica.

Tabella 2.9 - Correzione dei coefficienti di deflusso delle stazioni con il metodo dell'invaso

<i>T</i>	<i>Tevere S.Lucia</i>	<i>Tevere P.te Felcino</i>	<i>Tevere P.te Nuovo</i>	<i>Paglia Orvieto</i>	<i>Nera Macchiagrossa</i>
5	0,284	0,361	0,328	0,472	0,063
10	0,281	0,371	0,349	0,539	0,088
15	0,274	0,367	0,360	0,564	0,095
20	0,268	0,361	0,365	0,575	0,099
30	0,257	0,349	0,368	0,583	0,102
50	0,243	0,331	0,367	0,588	0,104
100	0,225	0,309	0,364	0,592	0,106
200	0,211	0,289	0,361	0,599	0,105
500	0,196	0,268	0,358	0,615	0,104

2 REGIONALIZZAZIONE DEI PARAMETRI

2.1 CRITERI DI REGIONALIZZAZIONE

Si è fissato il parametro che regola la concentrazione dei deflussi, vale a dire:

- a) con il *metodo cinematico*, il tempo di concentrazione τ_b con la formula di Giandotti, che è in effetti una formula a due parametri, potendosi scrivere:

$$\tau_b = \frac{\alpha \sqrt{A_b} + \beta \cdot L_b}{\sqrt{y_m}} \quad (2.01)$$

con $\alpha = 5$ e $\beta = 1,875$;

- b) con il *metodo dell'invaso*, la costante d'invaso k , data dalla (1.12), in cui k^* è legato a τ_b dalla (1.08),

È rimasto, quindi, un unico parametro da regionalizzare, vale a dire il coefficiente di deflusso $\phi(T)$.

Ai fini della regionalizzazione si è deciso di esprimere il coefficiente di deflusso relativo a un tempo di ritorno di 100 anni in funzione delle sole caratteristiche geologiche dei terreni, tramite la formula lineare:

$$\phi_{R,i}(100) = \frac{\sum_{f=1}^5 \phi_f(100) A_{f,i}}{A_{b,i}} \quad (2.02)$$

in cui:

- $\phi_{R,i}(100)$ è il coefficiente di deflusso regionalizzato del bacino della sezione idrometrografica i per il tempo di ritorno di 100 anni,
- i è l'indice che definisce la sezione idrometrografica,
- f è l'indice che definisce la formazione geologica,
- $\phi_f(100)$ è un parametro che può essere inteso come un *coefficiente di deflusso* della formazione f per il tempo di ritorno di 100 anni,
- $A_{f,i}$ è l'area della formazione f compresa nel bacino della sezione idrometrografica i ,
- $A_{b,i}$ è l'area totale del bacino della sezione idrometrografica i .

2.2 STIMA DEI PARAMETRI DELLA REGIONALIZZAZIONE

Dall'esame della carta geologica Geologia del SIT di supporto al VAPI per l'Italia Centrale, rappresentata nella figura 2.1, nei bacini delle stazioni idrometrografiche considerate sono state individuate le 13 classi di formazioni geologiche indicate nella tabella 2.1. Poiché la regionalizzazione si riferisce alle piene, non è stata considerata l'area dei bacini a monte dei grandi laghi naturali. Al fine di ottenere una stima efficiente è necessario adottare un numero dei parametri ϕ_f della (2.02) quanto più basso possibile, accorpando le classi geologiche. La procedura è stata articolata come segue:

- a) per ciascuna stazione idrometrografica sono state calcolate le aree $A_{f,i}$ presenti nel bacino imbrifero, come indicato nella tabella 2.3;
- b) è stata minimizzata la funzione obiettivo:

$$\Sigma_{100} = \sum_i [\phi_{R,i}(100) - \phi_{L,i}(100)]^2 \quad (2.03)$$

dove $\phi_{L,i}(100)$ è il coefficiente di deflusso della sezione idrometrografica i per il tempo di ritorno di 100 anni ricavato localmente come indicato nei punti 1.2 e 1.3.

- c) sono state accorpate in 5 classi principali ($f = 1, 2, 3, 4, 5$) quelle classi geologiche che presentavano valori di $\phi_f(100)$ numericamente prossimi, compatibilmente con la natura delle formazioni stesse. Le 5 classi così ottenute sono indicate nella seconda colonna della tabella 2.1 e i coefficienti di deflusso locali e regionali sono posti a confronto nella figura 2.2;
- d) come appare nella figura 2.1, il modello di regionalizzazione così ottenuto fornisce una marcata sottostima del coefficiente di deflusso per il bacino del Mignone. Tale sottostima è probabilmente dovuta al fatto che le formazioni geologiche rappresentate dalla classe F (marne e calcari marnosi) per le aree del bacino del Tevere hanno natura diversa (preva-

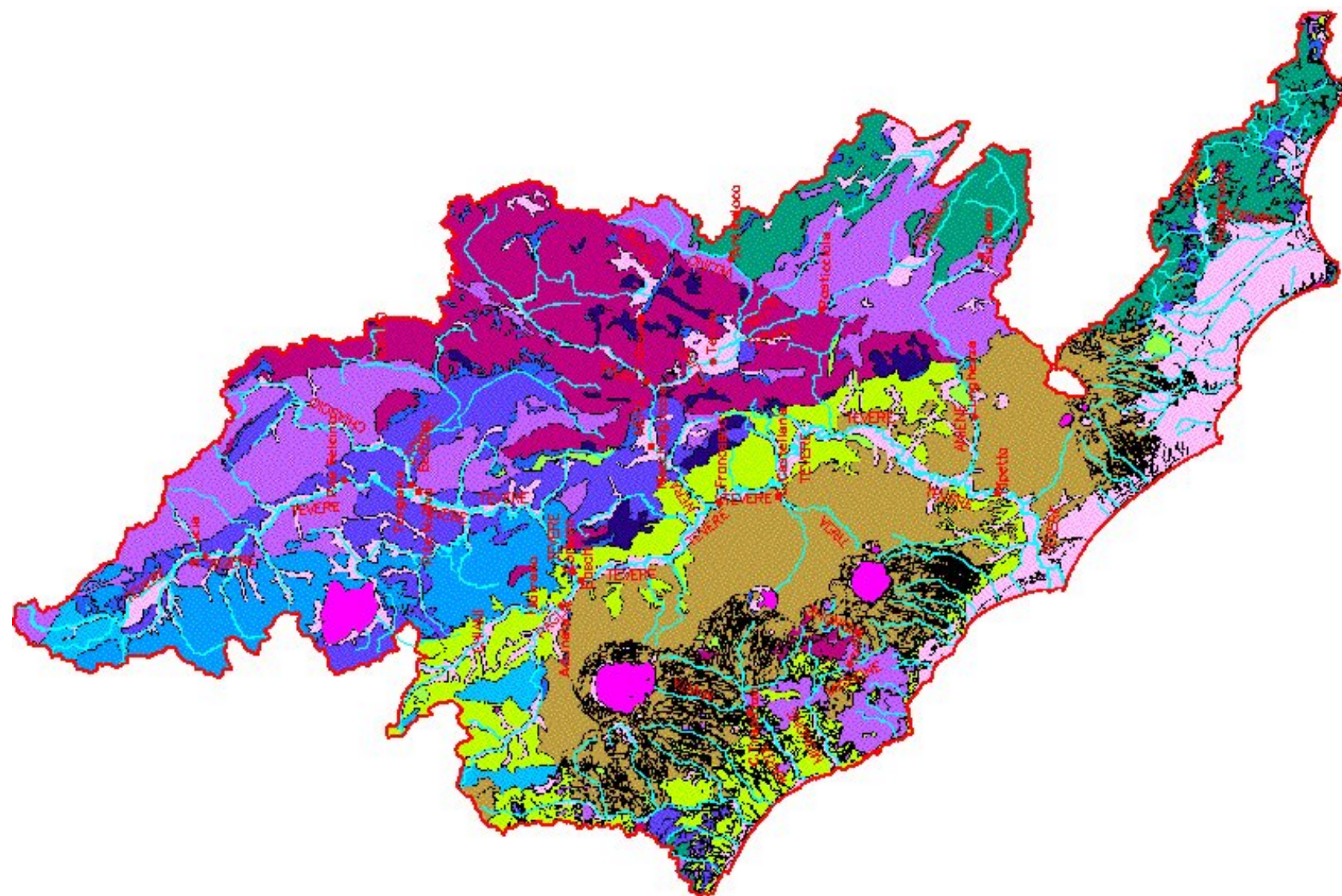


Figura 2.1 - Geolitologia del Compartimento di Roma del SIMN

Tabella 2.1 - Legenda della figura 2.1

Codice SIT	Classe reg.	Descrizione
AL2-3	4	Alluvioni recenti limoso-sabbioso-ghiaiose; Depositi fluviali. (Olocene)
DT	1	Detrito di falda; Coni di deiezione; Depositi morenici. (Olocene - Pleistocene)
AL1	5	Sedimenti fluvio-lacustri e fluvio palustri; Alluvioni antiche da argillose a ghiaiose.
TR	1	Travertini. (Pleistocene)
T	4	Vulcaniti (tufi, lava, etc., variamente intercalati). (Pleistocene - Pliocene)
SAM	5	Sedimenti prevalentemente argillosi con intercalazioni di sabbie più o meno argillose. (Pleistocene - Pliocene)
BL	3	Blocchi e pacchi di strati di tipi litologici diversi (calcari, arenarie, alfoliti, etc...). (Miocene inferiore - Cretaceo medio)
AT	2	Arenarie torbiditiche con intercalazioni di argillocisti e marnoscisti; Banchi di marne («Macigno» ouct.). (Miocene medio - Ologocene)
CMA	1	Alternanza di marne, calcari e calcari con selce ben stratificati («Scaglia toscana», «Maiolica», «Diaspri», «Calcari selciferi», Calcari marnosi rossastri»). (Eocene - Lias inferiore)
DC	1	Depositi carbonatici costituiti da calcari bianchi e grigiastri senza apparente stratificazione, a luoghi carsificati. («Calcare massiccio»). (Lias inferiore)
F	3	Marne, calcari marnosi e alternanza di arenarie e marne («Marnosa - arenacea»), intercalazioni di calcari detritici e marne Arenacee. Alternanza di strati argillosi ed arenacei a sedimentazione gradata; livelli calcarenitici e conglomeratici. («Molasse»). (Miocene superiore - medio)
C	2	Depositi carbonatici costituiti da calcari detritici talora debolmente carsificati, a volte marnosi (Miocene medio). Depositi costituiti prevalentemente da calcari a luoghi carsificati, con intercalazioni di calcari dolomitici, calcari marnosi e lenti di bauxite (Cretaceo superiore - Lias medio). Depositi carbonatici costituiti da dolomie bianche o grigie stratificate, talora laminate. (Lias inferiore - Trias superiore)
LAGO	n.c.	Laghi

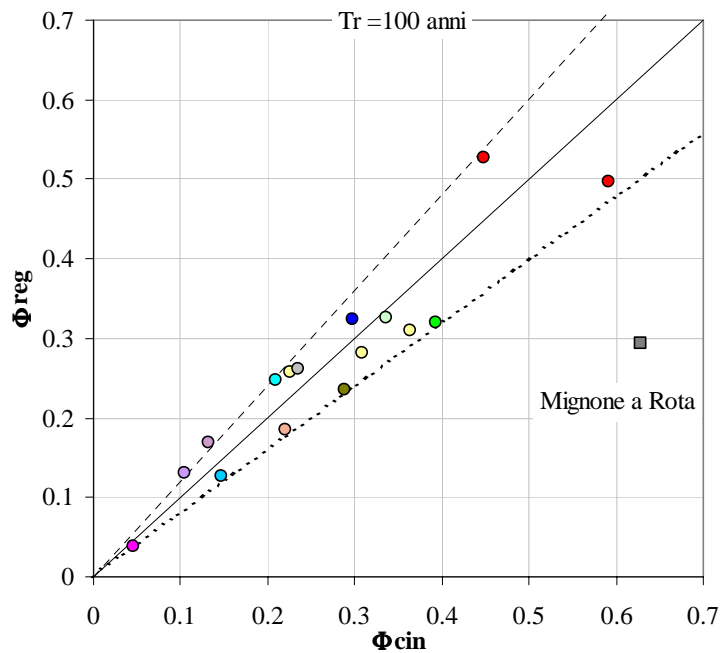


Figura 2.2 - Ottimizzazione di $\Phi_{reg}(100)$ con fasce d'errore del 20% prima dell'aggiunta della classe F₂

Tabella 2.2 – Aree dei bacini delle stazioni idrometrografiche considerate secondo le classi di formazioni geologiche del SIT e le corrispondenti classi della regionalizzazione

Bacino	GEOLOGIA													
	F	F ₂	C	T	AL2-3	SAM	TR	BL	LAGO	DT	AL1	CMA	DC	AT
	3	5	2	4	4	6	1	3	N.C.	1	6	1	1	2
	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)
<i>Tevere S.Lucia</i>	251,5	0,0	0,0	0,0	117,1	0,0	0,0	138,3	0,0	49,5	73,8	0,0	0,0	300,6
<i>Tevere P.te Felcino</i>	761,8	0,0	0,0	0,0	250,8	0,0	0,0	138,3	0,0	52,7	216,0	6,1	0,0	605,8
<i>Chiascio Torgiano</i>	633,5	0,0	0,0	0,0	86,3	0,0	0,0	0,0	0,6	87,1	488,6	607,3	16,1	0,0
<i>Tevere P.te Nuovo</i>	1443,2	0,0	0,0	0,0	363,0	0,0	0,0	138,3	0,6	139,8	781,3	613,3	16,1	605,8
<i>Chiani Morrano</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	76,1	205,8	9,0	37,9	0,0	0,0	0,3	3,1	0,0	82,9
<i>Paglia Orvieto</i>	0,0	0,0	0,0	263,5	189,2	499,9	9,0	201,0	1,5	12,4	0,3	3,1	0,0	96,5
<i>Nera T.Orsina</i>	39,8	0,0	0,0	0,0	88,5	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0	0,0	1106,0	60,9	0,0
<i>Turano Posticciola</i>	278,7	0,0	92,6	0,0	46,7	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0
<i>Velino Antrodoco</i>	161,4	0,0	87,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	58,0	4,6	0,0
<i>Velino Terria</i>	795,1	0,0	535,9	0,0	226,8	0,0	0,0	0,0	12,1	46,7	16,4	321,9	19,7	0,0
<i>Nera Macchiagrossa</i>	852,6	0,0	535,9	0,0	409,6	0,0	0,6	0,0	15,5	137,6	73,3	1689,1	115,1	0,0
<i>Treia C.Castellana</i>	0,0	0,0	0,0	450,8	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aniene Subiaco</i>	6,9	0,0	209,5	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aniene Lunghezza</i>	389,7	0,0	260,8	235,5	67,9	42,4	17,5	5,1	0,0	4,0	0,0	42,3	29,6	0,0
<i>Mignone Rota</i>	0,0	216,3	0,0	0,0	5,7	0,0	0,3	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Marta C.Traponzo</i>	30,0	0,0	0,0	424,7	62,7	25,8	9,9	0,0	0,0	0,1	0,0	24,7	0,0	0,0
<i>Amaseno Fossanuova</i>	3,2	0,0	266,7	9,8	44,4	9,6	0,0	0,0	0,0	4,6	51,5	0,0	0,0	0,0

lentamente flysch marnoso-arenacei) rispetto a quelle incluse nella stessa classe nel bacino del Mignone e nei bacini regionali compresi tra il Mignone stesso e il fosso Cupino (flysch argilloso-marnosi). È quindi presumibile che a questa classe per il bacino del Mignone corrisponda un coefficiente di deflusso più alto rispetto a quello associato alla classe geologica F nel suo complesso. Per questo motivo si è introdotta un'ulteriore classe d'accorpamento, la F_2 , che va a formare la classe 5, la quale accorpa, limitatamente al bacino del Mignone e dei corsi d'acqua minori a sud del Mignone fino al Cupino incluso, le formazioni principali che compaiono in questi bacini (ossia le formazioni F, T, SAM e CMA), mentre la vecchia classe 5 è diventata la classe 6 della nuova suddivisione.

Assegnata a ciascuna formazione geologica la classe corrispondente, sono stati stimati i parametri $\phi_f(T)$ considerando una funzione obiettivo Σ_T analoga alla (2.03)

$$\Sigma_T = \sum_i [\phi_{R,i}(T) - \phi_{L,i}(T)]^2 \quad (2.04)$$

in cui:

$$\phi_{R,i}(T) = \frac{\sum_{f=i}^6 \phi_f(T) A_{f,i}}{A_{b,i}} \quad (2.05)$$

e minimizzandola per una serie di tempi di ritorno e precisamente per $T = 30, 50, 100, 200, 500$ anni. I risultati sono posti a confronto nella figura 2.3.

Si è osservato che i valori assunti dai parametri $\phi_f(T)$ per le classi 1 e 2, vale a dire, $\phi_1(T)$ e $\phi_2(T)$, al variare del tempo di ritorno si mantengono pressoché costanti e mediamente pari rispettivamente a 0,010 e 0,121, mentre i valori dei parametri $\phi_3(T)$, $\phi_4(T)$, $\phi_5(T)$ e $\phi_6(T)$ seguono un andamento che può essere regolarizzato mediante relazioni interpolari del tipo

$$\phi_f(T) = a_f \ln(T) + b_f \quad (2.06)$$

I valori dei coefficienti a_f e b_f sono riportati in tabella 2.3. Le curve sono indicate nella figura 2.4.

2.3 VERIFICA DEI TEMPI DI CONCENTRAZIONE

Con la procedura descritta, i valori regionali dei coefficienti di deflusso $\phi_{R,i}(T)$ delle sezioni strumentate sono stati calcolati assumendo a priori per i tempi di concentrazione i valori τ_b forniti dalla formula di Giandotti (2.01). Tali valori erano stati assunti come una prima approssimazione, da controllare successivamente. Per migliorare la stima dei τ_b Una volta

determinati i $\phi_{R,i(T)}$ si è proceduto quindi a una successiva fase di ottimizzazione, minimizzando la funzione (2.03) in funzione dei parametri α e β della (2.01), che influiscono sui $\phi_{L,i(T)}$.

Da tale ottimizzazione è risultata la seguente modifica dei parametri α e β della formula di Giandotti:

α da 5 a 5,1;

β da 1,875 a 1,50.

Per quanto la modifica di β non sia trascurabile, a differenza di quella di α , tuttavia non è neanche molto significativa, dato anche che è in larga misura compensata dal piccolo aumento di α , che moltiplica un numero più alto di almeno un ordine 10. Di conseguenza si è preferito mantenere i valori forniti da Giandotti, che in qualche modo sono consacrati dall'uso. In sostanza l'elaborazione è stata assunta come una conferma della bontà della formula di Giandotti.

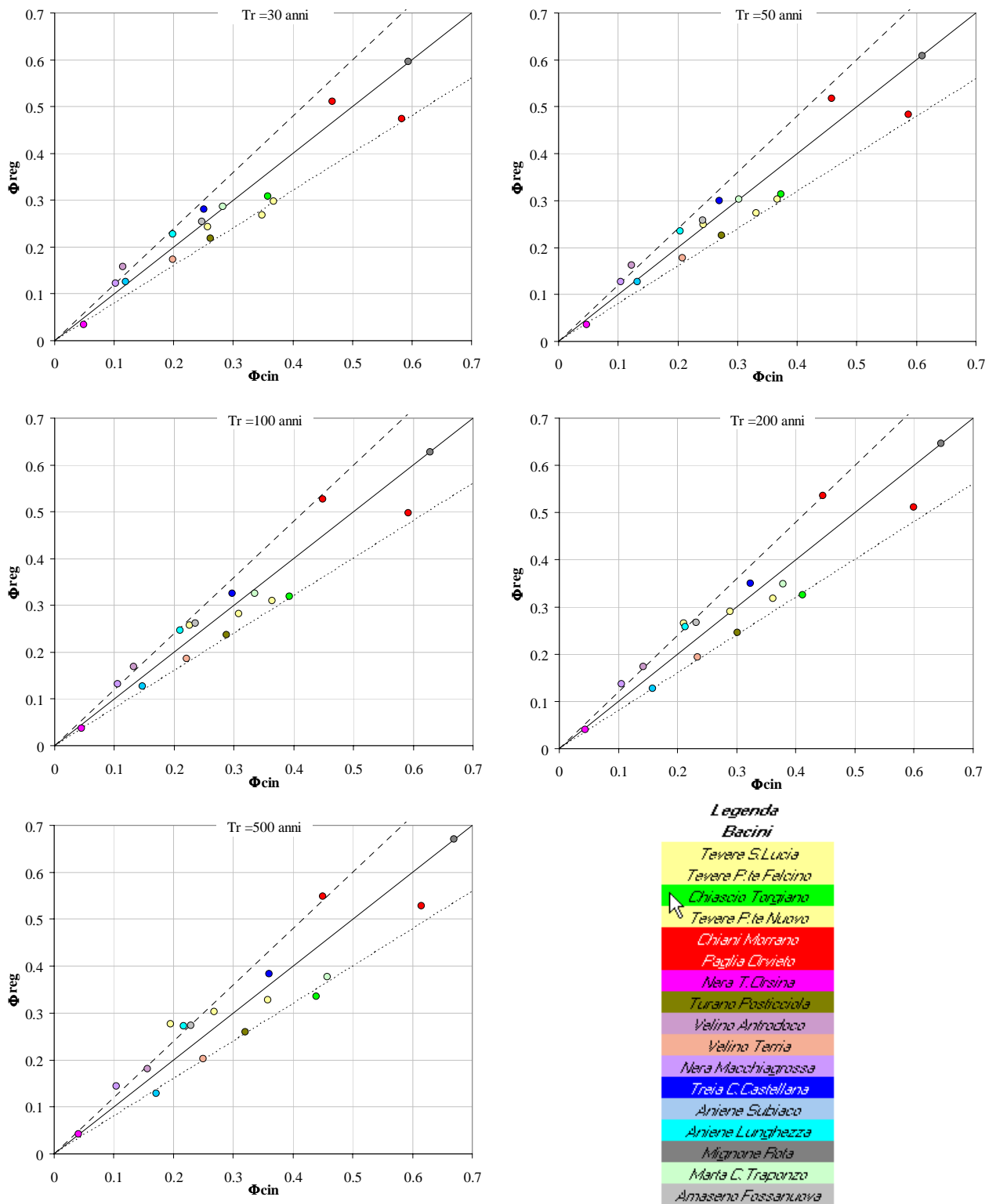


Figura 2.3 - Ottimizzazione dei $\Phi(Tr)$ per $Tr = 30, 50, 100, 200$ e 500 anni con fasce d'errore del 20%

Tabella 2.3 – Parametri delle curve $\Phi_f(T)$.

Φ_f	tipo curva	parametri		
		cost	a_f	b_f
Φ_1	$\Phi(T) = cost$	0,010	-	-
Φ_2	$\Phi(T) = cost$	0,121	-	-
Φ_3	$\Phi(T) = aLn(T)+b$	-	0,01552	0,19048
Φ_4	$\Phi(T) = aLn(T)+b$	-	0,03644	0,15681
Φ_5	$\Phi(T) = aLn(T)+b$	-	0,02647	0,51894
Φ_6	$\Phi(T) = aLn(T)+b$	-	0,01040	0,79570

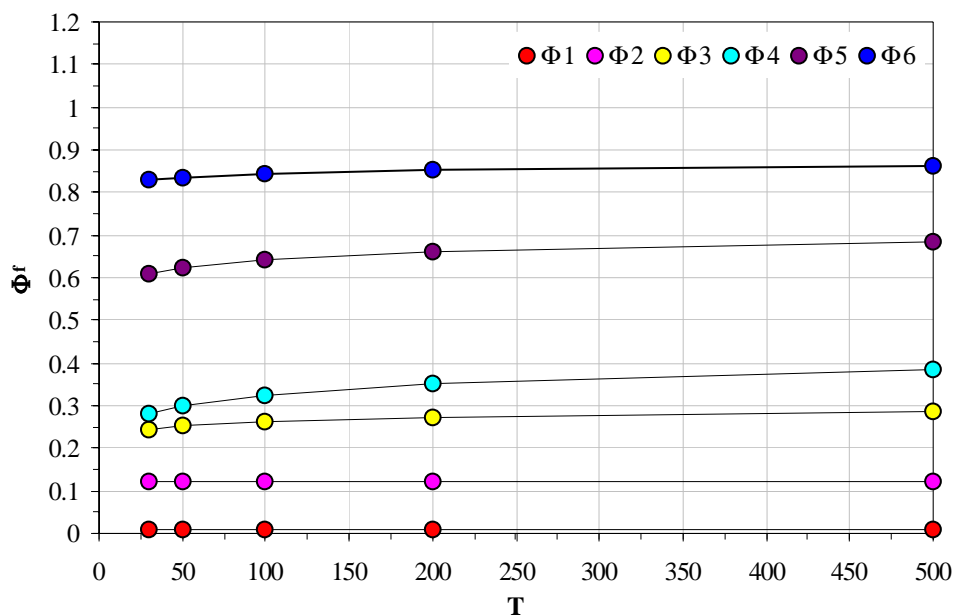


Figura 2.4 - Adattamento delle curve interpolari $\Phi_f(T)$ per $Tr = 30, 50, 100, 200, 500$ anni

3 PORTATE DEI BACINI REGIONALI

3.1 I BACINI REGIONALI

I bacini regionali sono rappresentati in planimetria nella figura 3.1. Le grandezze caratteristiche dei bacini regionali sono riportate nella tabella 3.1, con l'indicazione dei codici dei rispettivi sottobacini secondo la classificazione del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

Per ciascun sottobacino sono state individuate le aree relative alle 6 classi geologiche considerate nella regionalizzazione, indicate nella tabella 3.1. Quindi, applicando la (2.02) per il tempo di ritorno di 100 anni, nonché le curve riportate nella tabella 2.3 per gli altri tempi di ritorno, sono stati individuati gli andamenti dei coefficienti di deflusso $\phi_{reg}(T)$, indicati nella tabella 3.2 al variare del tempo di ritorno ($T = 30, 50, 100, 200$ e 500 anni).

3.2 MODIFICA DEL TEMPO DI CONCENTRAZIONE

Nell'applicare la regionalizzazione delle portate ai bacini regionali si è notato che, mentre il più piccolo dei bacini utilizzati nella taratura, il Mignone a Rota, ha un'area di 224 km^2 , i sottobacini d'interesse dei bacini regionali hanno in molti casi aree molto più piccole, anche di poche decine di km^2 , come appare nella tabella 3.2. Inoltre, se si osserva il grafico che sintetizza la taratura eseguita da Giandotti della sua formula, tracciato nella figura 3.2, il più piccolo dei bacini considerato da Giandotti, una sezione del Sesia, ha un'area di poco inferiore ai 200 km^2 . D'altra parte formule tarate per bacini di piccole dimensioni, come quella di Kirpich

$$\tau_b = 0,93 \left(\frac{L_b}{\sqrt{y_{max} / L_b}} \right)^{0,77} \quad (3.01)$$

in cui y_{max} , in metri, è l'altezza del punto più elevato del bacino rispetto alla sezione di chiusura, forniscono dei tempi di concentrazione apprezzabilmente più bassi di quella di Giandotti. L'uso della formula di Giandotti potrebbe portare allora, per questi bacini, a una sensibile sottovalutazione delle portate.

Per questo motivo si è deciso di utilizzare per i bacini di area inferiore a 1 km^2 la formula di Kirpich, valida per bacini d'estensione limitatissima. Per assicurare un passaggio graduale

dall'una all'altra formula, per i bacini con area compresa tra 1 e 75 km² si è impiegata la seguente relazione interpolare tra i valori ottenibili con le due formule:

$$\tau_b = \tau_{bG} \frac{(A_b - I)}{74} + \tau_{bK} \frac{(75 - A_b)}{74}$$

avendo indicato con τ_{bG} e τ_{bK} i valori del tempo di concentrazione calcolati rispettivamente con la formula di Giandotti e con quella di Kirpich.

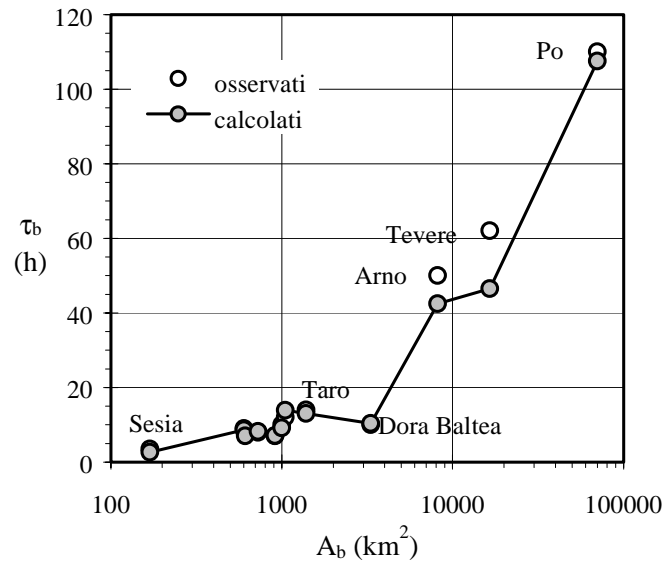


Figura 3.2 - Taratura della formula di Giandotti del tempo di concentrazione

3.3 CALCOLO DELLE PORTATE

Le portate dei bacini regionali, determinate mediante la relazione:

$$Q(T) = 278 \cdot A_b \cdot i(\tau_b, T) \cdot \phi_{reg}(T)$$

per tempi di ritorno pari a 30, 50, 100, 200 e 500 anni, sono riportate in tabella 3.3. In essa sono riportati anche i codici delle sottozone VAPI con le aree corrispondenti e le intensità di precipitazione relative a ciascun bacino per i vari tempi di ritorno.

Tabella 3.1 - Grandezze caratteristiche dei bacini regionali

NOME BACINO	L_b (km)	A_b (km ²)	y_m (m)	y_{max} (m)	τ_b (h)	r	Codici Sottobacini
<i>Bacini Nord</i>							
<i>F.so Chiarone</i>	14,99	78,32	69,77	416,00	8,7	0,960	CHI
<i>F.so Margherita</i>	15,91	48,26	65,81	353,00	5,9	0,969	
<i>F.so Tafone</i> (fino alla confl. con il F.so di P.te Rotto escluso)	21,78	60,88	146,44	500,00	5,9	0,962	
<i>F.so di P.te Rotto</i>	12,60	37,36	44,22	109,00	5,5	0,975	
<i>F.so Tafone</i> (fino alla foce escluso il bacino Margherita)	24,00	102,71	103,13	500,00	9,4	0,952	
<i>F.so Tafone</i> (fino alla foce incluso il bacino Margherita)	24,00	150,5	91,63	502,00	11,1	0,941	TAF
<i>Arrone (Nord)</i>	44,58	168,96	185,36	609,00	10,9	0,935	ARN
<i>Marta</i> (fino alla confl. con il T.Traponzo escluso)	25,43	101,54	167,97	352,00	7,6	0,948	MAR-200
<i>F.so Leia</i>	23,72	177,63	238,17	797,00	7,2	0,918	MAR-300-100
<i>F.so Rigomero</i>	19,29	55,49	186,71	701,00	4,6	0,961	MAR-300-200
<i>F.so Biedano</i>	28,64	173,93	194,03	862,00	8,6	0,926	MAR-300-300
<i>T.Traponzo</i> (fino alla confl. con il Marta)	33,00	474,93	229,27	891,00	11,3	0,888	MAR-300-400
<i>Marta</i> (fino alla Centrale di Traponzo-T. Traponzo incluso)	34,79	577,84	218,77	891,00	12,5	0,887	MAR-350
<i>Marta (fino alla foce)</i>	65,03	800,48	249,24	959,00	16,7	0,897	MAR-400
<i>Mignone</i> (fino alla confl. con il F.so Verginese escluso)	29,10	177,20	224,19	480,00	8,1	0,923	MIG-100
<i>Mignone</i> (Rota - F.so Verginese incluso)	29,62	223,79	219,90	500,00	8,8	0,913	MIG-150
<i>Mignone</i> (fino alla confl. con il F.so Capocaccia incluso)	51,55	367,56	268,45	597,00	11,7	0,901	MIG-200
<i>Mignone (fino alla foce)</i>	67,80	496,33	247,72	619,00	15,2	0,903	MIG-300
<i>F.so del Marangone</i>	14,05	23,35	244,59	535,00	2,2	0,977	MAA
<i>F.so di Castelsecco</i>	12,94	19,31	235,21	559,00	1,9	0,980	CAS
<i>F.so di Rio</i>	12,60	43,21	225,08	563,00	2,8	0,963	RIO
<i>F.so Sassetera</i>	11,82	21,07	205,27	479,00	1,9	0,979	SAS

Tabella 3.1 (segue) - Grandezze caratteristiche dei bacini regionali

<i>NOME BACINO</i>	L_b (km)	A_b (km ²)	y_m (m)	y_{max} (m)	τ_b (h)	r	<i>Codici Sottobacini</i>
<i>Bacini Nord</i>							
<i>F.so di Vaccina</i>	24,54	77,93	209,96	402,00	6,2	0,954	VAC
<i>F.so Sanguinara</i>	22,04	43,99	102,14	297,00	5,8	0,972	SAG
<i>F.so Cupino</i>	21,25	45,08	111,83	277,00	5,6	0,971	SAG-CAD
<i>F.so delle Cadute</i>	24,09	66,89	119,36	311,00	7,5	0,963	CAD
<i>F.so Tre Denari</i>	14,86	24,04	39,74	115,00	4,9	0,983	CAD-ARS
<i>Arrone (sud)</i> <i>(dal Lago di Bracciano fino al P.te sull'Aurelia)</i>	31,07	118,74	103,06	319,00	11,1	0,951	ARS-200
<i>Arrone (sud) - (fino alla foce)</i>	41,17	154,47	95,22	335,00	14,3	0,947	ARS-300

Tabella 3.1 (segue) - Grandezze caratteristiche dei bacini regionali

<i>NOME BACINO</i>	L_b (km)	A_b (km ²)	y_m (m)	y_{max} (m)	τ_b (h)	r	<i>Codici Sottobacini</i>
<i>Bacini Sud</i>							
<i>Rio Torto</i>	22,79	50,86	94,40	498,00	6,5	0,969	<i>RTO</i>
<i>F.so dell'Incastro</i>	25,71	132,98	105,76	514,00	10,3	0,944	<i>INC-300</i>
<i>F.so di Loricina</i>	12,46	47,72	47,18	82,00	6,5	0,971	<i>LOR</i>
<i>F.so di Fontana Neccia (fino all'immissione nel fiume Astura)</i>	2,59	15,60	19,48	41,00	1,6	0,983	<i>AST-200</i>
<i>Astura (fino alla foce)</i>	19,79	77,44	29,07	76,00	15,0	0,970	<i>AST-300</i>
<i>Rio Torto</i>	22,79	50,86	94,40	498,00	6,5	0,969	<i>RTO</i>
<i>Val Carella (fino al P.te della strada Ninfa)</i>	6,64	49,64	538,00	1358,00	1,5	0,949	<i>MOS-100</i>
<i>F.so Teppia</i>	13,72	153,02	313,20	1324,00	4,9	0,914	<i>MOS-300</i>
<i>F.so Cisterna (fino al P.te della strada Cisterna -Terracina)</i>	12,58	32,97	215,40	868,00	2,3	0,969	<i>MOS-500-100</i>
<i>F.so Cisterna (fino alla confl. col Canale delle Acque Alte)</i>	18,65	45,97	185,37	897,00	3,9	0,965	<i>MOS-500-200</i>
<i>F.so Spaccasassi</i>	19,50	65,54	163,23	748,00	5,5	0,959	<i>MOS-700-100</i>
<i>F.so della Ficocchia</i>	9,12	49,41	25,29	109,00	7,5	0,972	<i>MOS-700-200</i>
<i>F.so di Carano</i>	19,30	43,29	92,25	536,00	5,2	0,971	<i>MOS-700-300</i>
<i>F.so delle Crocette</i>	20,73	19,73	235,45	1098,00	2,6	0,982	<i>MOS-700-400-10</i>
<i>Fosso Pane e Vino</i>	15,07	24,6	332,37	1101,00	1,9	0,975	<i>MOS-700-400-20</i>
<i>F.so del Fico</i>	8,27	10,9	181,11	891,00	1,0	0,986	<i>MOS-700-400-30</i>
<i>F.so Femminamorta</i>	19,53	31,0	242,23	1106,00	2,8	0,973	<i>MOS-700-400-40</i>
<i>F.so Bottagone</i>	7,97	33,6	181,11	891,00	1,9	0,966	<i>MOS-700-400-50</i>
<i>F.so Brivolco (Fiume Ufente fino a Sezze)</i>	14,75	75,1	195,08	891,00	5,1	0,952	<i>BAD-400-10</i>
<i>Amaseno (fino a Madonna del Ponte)</i>	37,42	238,73	354,74	1087,00	7,8	0,904	<i>BAD-100</i>
<i>Amaseno (fino al P.te di Fossanuova)</i>	43,52	389,80	370,47	1493,00	9,4	0,886	<i>BAD-200</i>
<i>F. Itri</i>	14,73	55,95	436,35	1263,00	2,7	0,952	<i>ITR</i>

Tabella 3.2 - Aree dei bacini regionali secondo le classi di formazioni geologiche del SIT e le corrispondenti classi della regionalizzazione

Bacino	GEOLOGIA												
	<i>F</i>	<i>F2</i>	<i>C</i>	<i>T</i>	<i>AL2-3</i>	<i>SAM</i>	<i>TR</i>	<i>BL</i>	<i>DT</i>	<i>ALI</i>	<i>CMA</i>	<i>DC</i>	<i>AT</i>
	3	5	2	4	4	6	1	3	1	6	1	1	2
	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)
<i>F.so Chiarone</i>	10,63	0,00	12,69	0,00	18,58	18,85	0,00	0,00	3,47	14,04	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Margherita</i>	3,69	0,00	4,31	0,00	7,54	18,44	0,00	0,00	0,00	14,29	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Tafone</i> (fino alla confl. con il F.so di P.te Rotto escluso)	1,27	0,00	4,25	0,00	4,50	21,72	1,06	0,00	0,17	27,95	0,00	0,00	0,00
<i>F.so di P.te Rotto</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	2,61	22,55	0,00	0,00	0,00	12,04	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Tafone</i> (fino alla foce escluso il bacino Margherita)	1,27	0,00	4,25	0,00	10,98	44,55	1,07	0,00	0,17	39,99	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Tafone</i> (fino alla foce incluso il bacino Margherita)	5,05	0,00	8,52	0,00	18,54	63,12	1,05	0,00	0,18	54,18	0,00	0,00	0,00
<i>Arrone (Nord)</i>	5,62	0,00	0,00	89,68	14,12	59,51	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Marta</i> (fino alla confl. con il T.Traponzo escluso)	0,00	0,00	0,00	85,06	12,12	4,11	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Leia</i>	1,22	0,00	0,00	141,46	20,38	0,00	8,34	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	0,00
<i>F.so Rigomero</i>	0,06	0,00	0,00	48,70	5,86	0,00	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Biedano</i>	19,30	0,00	0,00	100,75	15,28	20,20	0,00	0,00	0,00	0,00	18,38	0,00	0,00
<i>T.Traponzo</i> (fino alla confl. con il Marta)	29,50	0,00	0,00	339,14	50,52	21,42	9,61	0,00	0,08	0,00	24,73	0,00	0,00

Tabella 3.2 (segue) - Aree dei bacini regionali secondo le classi di formazioni geologiche del SIT e le corrispondenti classi della regionalizzazione

Bacino	GEOLOGIA												
	<i>F</i>	<i>F2</i>	<i>C</i>	<i>T</i>	<i>AL2-3</i>	<i>SAM</i>	<i>TR</i>	<i>BL</i>	<i>DT</i>	<i>ALI</i>	<i>CMA</i>	<i>DC</i>	<i>AT</i>
	3	5	2	4	4	6	1	3	1	6	1	1	2
	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(km ²)
<i>F.so Spaccasassi</i>	0,00	0,00	0,00	51,21	14,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
<i>F.so della Ficocchia</i>	0,00	0,00	0,00	16,11	33,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so di Carano</i>	0,00	0,00	0,00	22,20	21,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so delle Crocette</i>	0,00	0,00	13,80	5,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Pane e Vino</i>	0,00	0,00	16,75	7,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so del Fico</i>	0,00	0,00	11,08	10,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Femminamorta</i>	0,00	0,00	21,43	9,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Botagone</i>	0,00	0,00	8,06	25,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>F.so Brivolco (Fiume Ufente fino a Sezze)</i>	0,00	417,01	467,94	216,47	0,00	0,00	0,00	0,00	283,31	267,40	0,00	0,00	0,00
<i>Amaseno (fino a Madonna del Ponte)</i>	3,24	0,00	168,92	7,97	22,14	9,28	0,00	0,00	3,24	24,03	0,00	0,00	0,00
<i>Amaseno (fino al P.te di Fossanuova)</i>	3,24	0,00	266,66	9,81	44,36	9,64	0,00	0,00	4,58	51,47	0,00	0,00	0,00
<i>F. Itri</i>	0,00	0,00	46,92	0,00	1,32	0,25	0,00	0,00	5,04	2,45	0,00	0,00	0,00

Tabella 3.3 - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

<i>Nome bacino</i>	<i>Codice Sottozona</i>	A_s (km^2)	T (<i>anni</i>)	$i(\tau_b, T)$ (mm/h)	$\Phi_{reg}(T)$	$Q(T)$ (m^3/s)
<i>F.so Chiarone</i>	A3	6,85	30	13,2	0,4690	129,6
	A4	32,91	50	15,6	0,4768	155,7
	A9	21,82	100	18,9	0,4873	192,0
	B40	16,68	200	22,1	0,4977	229,7
				500	26,3	0,5116
<i>F.so Margherita</i>	A4	28,71	30	19,0	0,6367	157,1
	A9	19,55	50	22,8	0,6438	190,4
			100	27,8	0,6535	236,4
			200	32,9	0,6631	283,6
			500	39,6	0,6759	347,8
<i>F.so Tafone</i> (<i>fino alla confl. con il F.so di P.te Rotto escluso</i>)	A4	23,37	30	18,9	0,7121	219,4
	A9	35,01	50	22,6	0,7180	264,4
	B40	2,50	100	27,6	0,7259	326,3
			200	32,6	0,7339	389,3
			500	39,2	0,7444	474,3
<i>F.so di P.te Rotto</i>	A4	37,36	30	21,2	0,7924	170,3
			50	25,5	0,7986	205,7
			100	31,2	0,8071	254,4
			200	36,8	0,8156	303,8
			500	44,3	0,8268	370,6
<i>F.so Tafone</i> (<i>fino alla foce escluso il bacino Margherita</i>)	A4	65,20	30	13,6	0,7253	267,6
	A9	35,01	50	16,2	0,7318	323,0
	B40	2,50	100	19,8	0,7406	399,4
			200	23,4	0,7494	477,2
			500	28,2	0,7610	582,5
<i>F.so Tafone</i> (<i>fino alla foce incluso il bacino Margherita</i>)	A4	93,42	30	11,9	0,6968	326,6
	A9	54,53	50	14,3	0,7035	394,7
	B40	2,58	100	17,4	0,7125	488,6
			200	20,6	0,7216	584,5
			500	24,8	0,7336	714,4

Tabella 3.3 (segue) - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

<i>Nome bacino</i>	<i>Codice Sottozona</i>	<i>A_s (km²)</i>	<i>T (anni)</i>	<i>i(τ_b,T) (mm/h)</i>	<i>Φ_{reg}(T)</i>	<i>Q(T) (m³/s)</i>
<i>Arrone (Nord)</i>	<i>A4</i>	<i>167,98</i>	<i>30</i>	<i>13,3</i>	<i>0,4732</i>	<i>276,1</i>
	<i>A9</i>	<i>1,03</i>	<i>50</i>	<i>15,9</i>	<i>0,4867</i>	<i>340,4</i>
			<i>100</i>	<i>19,5</i>	<i>0,5051</i>	<i>432,2</i>
			<i>200</i>	<i>23,0</i>	<i>0,5235</i>	<i>529,5</i>
			<i>500</i>	<i>27,7</i>	<i>0,5479</i>	<i>666,7</i>
<i>Marta (fino alla confl. con il T.Traponzo escluso)</i>	<i>A4</i>	<i>18,92</i>	<i>30</i>	<i>16,2</i>	<i>0,3022</i>	<i>130,6</i>
	<i>A9</i>	<i>82,69</i>	<i>50</i>	<i>19,4</i>	<i>0,3202</i>	<i>165,8</i>
			<i>100</i>	<i>23,7</i>	<i>0,3446</i>	<i>218,4</i>
			<i>200</i>	<i>28,0</i>	<i>0,3691</i>	<i>276,4</i>
			<i>500</i>	<i>33,7</i>	<i>0,4014</i>	<i>361,7</i>
<i>F.so Leia</i>	<i>A13</i>	<i>2,38</i>	<i>30</i>	<i>14,7</i>	<i>0,2581</i>	<i>171,6</i>
	<i>A9</i>	<i>71,82</i>	<i>50</i>	<i>16,7</i>	<i>0,2751</i>	<i>208,6</i>
			<i>100</i>	<i>19,5</i>	<i>0,2982</i>	<i>263,8</i>
			<i>200</i>	<i>22,3</i>	<i>0,3213</i>	<i>324,7</i>
			<i>500</i>	<i>26,0</i>	<i>0,3518</i>	<i>414,1</i>
<i>F.so Rigomero</i>	<i>A9</i>	<i>12,94</i>	<i>30</i>	<i>18,5</i>	<i>0,2767</i>	<i>75,9</i>
			<i>50</i>	<i>20,8</i>	<i>0,2950</i>	<i>90,7</i>
			<i>100</i>	<i>23,8</i>	<i>0,3199</i>	<i>112,8</i>
			<i>200</i>	<i>26,8</i>	<i>0,3448</i>	<i>137,0</i>
			<i>500</i>	<i>30,8</i>	<i>0,3777</i>	<i>172,3</i>
<i>F.so Biedano</i>	<i>A9</i>	<i>67,47</i>	<i>30</i>	<i>12,2</i>	<i>0,3119</i>	<i>170,2</i>
			<i>50</i>	<i>13,9</i>	<i>0,3258</i>	<i>202,5</i>
			<i>100</i>	<i>16,2</i>	<i>0,3447</i>	<i>249,6</i>
			<i>200</i>	<i>18,5</i>	<i>0,3636</i>	<i>300,4</i>
			<i>500</i>	<i>21,5</i>	<i>0,3886</i>	<i>373,5</i>
<i>T.Traponzo (fino alla confl. Con il Marta)</i>	<i>A13</i>	<i>2,38</i>	<i>30</i>	<i>10,3</i>	<i>0,2836</i>	<i>341,8</i>
	<i>A9</i>	<i>220,13</i>	<i>50</i>	<i>11,8</i>	<i>0,2996</i>	<i>414,4</i>
			<i>100</i>	<i>13,9</i>	<i>0,3214</i>	<i>521,7</i>
			<i>200</i>	<i>15,9</i>	<i>0,3431</i>	<i>639,1</i>
			<i>500</i>	<i>18,6</i>	<i>0,3718</i>	<i>810,0</i>

Tabella 3.3 (segue) - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

Nome bacino	Codice Sottozona	A_s (km^2)	T (anni)	$i(\tau_b, T)$ (mm/h)	$\Phi_{reg}(T)$	$Q(T)$ (m^3/s)
<i>Marta</i> (fino alla Centrale di Traponzo-T. Traponzo incluso)	A13	2,38	30	9,8	0,2871	399,8
	A4	18,92	50	11,3	0,3035	489,3
	A9	304,20	100	13,4	0,3257	621,7
	B41	239,79	200	15,5	0,3478	767,0
	B42	12,70	500	18,2	0,3772	978,9
<i>Marta (fino alla foce)</i>	A13	2,38	30	8,2	0,3556	583,2
	A4	182,46	50	9,6	0,3704	711,2
	A9	363,22	100	11,5	0,3905	897,2
	B41	239,79	200	13,4	0,4106	1097,8
	B42	12,70	500	15,9	0,4372	1385,9
<i>Mignone</i> (fino alla confl. Con il F.so Verginese escluso)	A10	7,48	30	13,5	0,6006	367,8
	A9	4,80	50	14,9	0,6143	414,4
	B41	1,41	100	16,7	0,6328	480,1
	B42	163,62	200	18,6	0,6513	548,7
				500	21,0	0,6758
<i>Mignone</i> (Rota – F.so Verginese incluso)	A10	7,48	30	12,6	0,5957	427,0
	A9	4,80	50	13,9	0,6093	480,3
	B41	1,41	100	15,6	0,6277	555,2
	B42	210,18	200	17,3	0,6460	633,6
				500	19,5	0,6703
<i>Mignone</i> (fino alla confl. Con il F.so Capocaccia incluso)	A4	4,03	30	10,2	0,5903	552,6
	A10	7,48	50	11,3	0,6039	627,9
	A9	46,47	100	12,8	0,6222	734,2
	B41	14,85	200	14,3	0,6406	845,4
	B42	294,83	500	16,3	0,6649	1000,0
<i>Mignone (fino alla foce)</i>	A4	70,53	30	8,7	0,5790	626,2
	A10	7,48	50	9,8	0,5927	726,0
	A9	95,67	100	11,4	0,6113	866,9
	B41	14,85	200	12,9	0,6299	1014,7
	B42	307,90	500	15,0	0,6545	1220,7

Tabella 3.3 (segue) - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

<i>Nome bacino</i>	<i>Codice Sottozona</i>	<i>A_s (km²)</i>	<i>T (anni)</i>	<i>i(τ_b, T) (mm/h)</i>	<i>Φ_{reg}(T)</i>	<i>Q(T) (m³/s)</i>
<i>F.so del Marangone</i>	<i>A4</i>	<i>12,57</i>	<i>30</i>	<i>41,5</i>	<i>0,6060</i>	<i>159,4</i>
	<i>A9</i>	<i>7,97</i>	<i>50</i>	<i>49,3</i>	<i>0,6196</i>	<i>193,6</i>
	<i>B42</i>	<i>2,84</i>	<i>100</i>	<i>59,8</i>	<i>0,6380</i>	<i>241,9</i>
			<i>200</i>	<i>70,3</i>	<i>0,6564</i>	<i>292,5</i>
			<i>500</i>	<i>84,1</i>	<i>0,6808</i>	<i>363,1</i>
<i>F.so di Castelsecco</i>	<i>A4</i>	<i>7,86</i>	<i>30</i>	<i>44,4</i>	<i>0,5943</i>	<i>138,6</i>
	<i>A9</i>	<i>9,27</i>	<i>50</i>	<i>52,7</i>	<i>0,6076</i>	<i>168,5</i>
	<i>B42</i>	<i>2,26</i>	<i>100</i>	<i>64,0</i>	<i>0,6257</i>	<i>210,6</i>
			<i>200</i>	<i>75,2</i>	<i>0,6438</i>	<i>254,7</i>
			<i>500</i>	<i>90,1</i>	<i>0,6677</i>	<i>316,2</i>
<i>F.so di Rio</i>	<i>A4</i>	<i>11,42</i>	<i>30</i>	<i>32,6</i>	<i>0,5982</i>	<i>225,2</i>
	<i>A9</i>	<i>24,10</i>	<i>50</i>	<i>38,5</i>	<i>0,6118</i>	<i>272,3</i>
	<i>B42</i>	<i>7,68</i>	<i>100</i>	<i>46,5</i>	<i>0,6303</i>	<i>338,9</i>
			<i>200</i>	<i>54,5</i>	<i>0,6488</i>	<i>408,8</i>
			<i>500</i>	<i>65,1</i>	<i>0,6732</i>	<i>506,1</i>
<i>F.so Sassetera</i>	<i>A4</i>	<i>4,86</i>	<i>30</i>	<i>43,1</i>	<i>0,4668</i>	<i>115,2</i>
	<i>A9</i>	<i>16,14</i>	<i>50</i>	<i>51,6</i>	<i>0,4798</i>	<i>141,9</i>
			<i>100</i>	<i>63,1</i>	<i>0,4975</i>	<i>180,0</i>
			<i>200</i>	<i>74,6</i>	<i>0,5152</i>	<i>220,3</i>
			<i>500</i>	<i>89,8</i>	<i>0,5385</i>	<i>277,0</i>
<i>F.so di Vaccina</i>	<i>A10</i>	<i>3,63</i>	<i>30</i>	<i>17,3</i>	<i>0,5626</i>	<i>200,9</i>
	<i>A4</i>	<i>18,51</i>	<i>50</i>	<i>19,9</i>	<i>0,5768</i>	<i>236,7</i>
	<i>A9</i>	<i>15,58</i>	<i>100</i>	<i>23,3</i>	<i>0,5960</i>	<i>287,4</i>
	<i>B42</i>	<i>40,19</i>	<i>200</i>	<i>26,8</i>	<i>0,6153</i>	<i>340,7</i>
			<i>500</i>	<i>31,4</i>	<i>0,6407</i>	<i>415,3</i>
<i>F.so Sanguinara</i>	<i>A4</i>	<i>37,30</i>	<i>30</i>	<i>20,0</i>	<i>0,5307</i>	<i>126,2</i>
	<i>A9</i>	<i>1,74</i>	<i>50</i>	<i>23,8</i>	<i>0,5454</i>	<i>154,2</i>
	<i>B42</i>	<i>4,99</i>	<i>100</i>	<i>28,9</i>	<i>0,5654</i>	<i>194,1</i>
			<i>200</i>	<i>34,0</i>	<i>0,5854</i>	<i>236,3</i>
			<i>500</i>	<i>40,7</i>	<i>0,6119</i>	<i>295,7</i>

Tabella 3.3 (segue) - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

<i>Nome bacino</i>	<i>Codice Sottozona</i>	<i>A_s (km²)</i>	<i>T (anni)</i>	<i>i(τ_b, T) (mm/h)</i>	<i>Φ_{reg}(T)</i>	<i>Q(T) (m³/s)</i>
<i>F.so Cupino</i>	<i>A4</i>	<i>37,55</i>	<i>30</i>	<i>20,5</i>	<i>0,5355</i>	<i>133,4</i>
	<i>A9</i>	<i>0,73</i>	<i>50</i>	<i>24,3</i>	<i>0,5501</i>	<i>162,4</i>
	<i>B42</i>	<i>6,71</i>	<i>100</i>	<i>29,4</i>	<i>0,5699</i>	<i>203,8</i>
			<i>200</i>	<i>34,5</i>	<i>0,5898</i>	<i>247,6</i>
			<i>500</i>	<i>41,3</i>	<i>0,6160</i>	<i>309,1</i>
<i>F.so delle Cadute</i>	<i>A4</i>	<i>58,02</i>	<i>30</i>	<i>16,7</i>	<i>0,3705</i>	<i>110,6</i>
	<i>B42</i>	<i>8,90</i>	<i>50</i>	<i>19,8</i>	<i>0,3865</i>	<i>137,0</i>
			<i>100</i>	<i>24,0</i>	<i>0,4083</i>	<i>175,4</i>
			<i>200</i>	<i>28,2</i>	<i>0,4300</i>	<i>217,1</i>
			<i>500</i>	<i>33,7</i>	<i>0,4587</i>	<i>277,0</i>
<i>F.so Tre Denari</i>	<i>A4</i>	<i>24,04</i>	<i>30</i>	<i>23,0</i>	<i>0,4132</i>	<i>62,3</i>
			<i>50</i>	<i>27,5</i>	<i>0,4284</i>	<i>77,4</i>
			<i>100</i>	<i>33,7</i>	<i>0,4490</i>	<i>99,2</i>
			<i>200</i>	<i>39,8</i>	<i>0,4696</i>	<i>122,6</i>
			<i>500</i>	<i>47,9</i>	<i>0,4968</i>	<i>156,1</i>
<i>Arrone (sud) (dal Lago di Bracciano fino al P.te sull'Aurelia)</i>	<i>A10</i>	<i>41,04</i>	<i>30</i>	<i>12,5</i>	<i>0,3751</i>	<i>147,1</i>
	<i>A4</i>	<i>66,12</i>	<i>50</i>	<i>14,9</i>	<i>0,3914</i>	<i>182,6</i>
	<i>B42</i>	<i>11,55</i>	<i>100</i>	<i>18,1</i>	<i>0,4136</i>	<i>234,6</i>
			<i>200</i>	<i>21,3</i>	<i>0,4358</i>	<i>290,8</i>
			<i>500</i>	<i>25,5</i>	<i>0,4651</i>	<i>371,8</i>
<i>Arrone (sud) - (fino alla foce)</i>	<i>A10</i>	<i>41,04</i>	<i>30</i>	<i>10,3</i>	<i>0,3872</i>	<i>161,3</i>
	<i>A4</i>	<i>101,87</i>	<i>50</i>	<i>12,2</i>	<i>0,4032</i>	<i>200,2</i>
	<i>B42</i>	<i>11,55</i>	<i>100</i>	<i>14,9</i>	<i>0,4250</i>	<i>256,9</i>
			<i>200</i>	<i>17,5</i>	<i>0,4468</i>	<i>318,0</i>
			<i>500</i>	<i>21,0</i>	<i>0,4756</i>	<i>406,0</i>
<i>Rio Torto</i>	<i>A4</i>	<i>10,35</i>	<i>30</i>	<i>17,0</i>	<i>0,2808</i>	<i>65,4</i>
	<i>A5</i>	<i>37,36</i>	<i>50</i>	<i>20,3</i>	<i>0,2994</i>	<i>83,1</i>
	<i>B21</i>	<i>0,28</i>	<i>100</i>	<i>24,7</i>	<i>0,3246</i>	<i>109,7</i>
	<i>B23</i>	<i>2,96</i>	<i>200</i>	<i>29,1</i>	<i>0,3499</i>	<i>139,3</i>
			<i>500</i>	<i>34,9</i>	<i>0,3833</i>	<i>183,1</i>

Tabella 3.3 (segue) - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

Nome bacino	Codice Sottozona	A_s (km^2)	T (anni)	$i(\tau_b, T)$ (mm/h)	$\Phi_{reg}(T)$	$Q(T)$ (m^3/s)
<i>F.so dell'Incastro</i>	A5	77,36	30	11,1	0,2808	108,7
	B21	3,79	50	12,8	0,2994	134,0
	B23	17,40	100	15,2	0,3246	171,9
	B27	34,43	200	17,5	0,3499	213,7
				500	20,6	0,3833
<i>F.so di Loricina</i>	A6	47,73	30	17,4	0,2857	64,1
			50	20,9	0,3042	81,7
			100	25,5	0,3293	108,2
			200	30,2	0,3544	137,7
			500	36,3	0,3876	181,2
<i>F.so di Fontana Neccia</i> <i>(fino all'immissione nel fiume Astura)</i>	A6	7,14	30	40,1	0,2808	47,9
	B27	8,46	50	45,9	0,2994	58,5
			100	53,8	0,3246	74,4
			200	61,7	0,3499	91,9
			500	72,0	0,3833	117,6
<i>Astura (fino alla foce)</i>	A6	64,24	30	9,1	0,2808	53,2
	B27	13,23	50	10,7	0,2994	67,2
			100	13,0	0,3246	88,1
			200	15,2	0,3499	111,3
			500	18,2	0,3833	145,5
<i>Val Carella</i> <i>(fino al P.te della strada Ninfa)</i>	B23	42,94	30	51,8	0,1400	94,8
	B24	0,43	50	56,5	0,1414	104,5
	B27	6,34	100	62,9	0,1433	117,9
			200	69,3	0,1451	131,6
			500	77,7	0,1476	150,1
<i>F.so Teppia</i>	B21	23,35	30	19,2	0,2401	179,4
	B23	119,93	50	21,0	0,2541	207,2
	B24	0,75	100	23,4	0,2731	247,9
	B27	8,95	200	25,8	0,2921	292,1
			500	28,9	0,3172	355,8

Tabella 3.3 (segue) - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

Nome bacino	Codice Sottozona	A_s (km^2)	T (anni)	$i(\tau_b, T)$ (mm/h)	$\Phi_{reg}(T)$	$Q(T)$ (m^3/s)
<i>F.so Cisterna</i> (fino al P.te della strada Cisterna -Terracina)	B21	16,23	30	32,9	0,2808	82,1
	B23	12,18	50	36,0	0,2994	95,5
	B27	4,63	100	40,0	0,3246	115,3
			200	44,1	0,3499	136,9
			500	49,4	0,3833	168,2
<i>F.so Cisterna</i> (fino alla confl. col Canale delle Acque Alte)	B21	16,23	30	21,9	0,2480	66,9
	B23	12,50	50	23,9	0,2644	77,9
	B27	17,28	100	26,6	0,2866	94,0
			200	29,3	0,3088	111,6
			500	32,9	0,3382	137,0
<i>F.so Spaccasassi</i>	B21	14,86	30	16,9	0,2812	83,1
	B23	17,18	50	18,5	0,2998	96,7
	B27	33,50	100	20,6	0,3250	116,7
			200	22,7	0,3503	138,6
			500	25,4	0,3837	170,2
<i>F.so della Ficoccia</i>	A6	7,25	30	13,3	0,2808	49,9
	B27	42,13	50	14,8	0,2994	59,1
			100	16,8	0,3246	72,8
			200	18,8	0,3499	87,7
			500	21,4	0,3833	109,5
<i>F.so di Carano</i>	B21	4,93	30	16,6	0,2808	54,4
	B23	10,33	50	18,1	0,2994	63,3
	B27	28,00	100	20,2	0,3246	76,5
			200	22,2	0,3499	90,8
			500	24,9	0,3833	111,5
<i>F.so delle Crocette</i>	B21	5,70	30	30,9	0,2808	46,6
	B23	3,76	50	33,7	0,2994	54,3
	B27	10,27	100	37,5	0,3246	65,5
			200	41,3	0,3499	77,7
			500	46,3	0,3833	95,5

Tabella 3.3 (segue) - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

<i>Nome bacino</i>	<i>Codice Sottozona</i>	<i>A_s (km²)</i>	<i>T (anni)</i>	<i>i(τ_b, T) (mm/h)</i>	<i>Φ_{reg}(T)</i>	<i>Q(T) (m³/s)</i>
<i>F.so Pane e Vino</i>	<i>B21</i>	<i>13,54</i>	<i>30</i>	<i>40,2</i>	<i>0,2808</i>	<i>75,3</i>
	<i>B23</i>	<i>5,09</i>	<i>50</i>	<i>43,9</i>	<i>0,2994</i>	<i>87,6</i>
	<i>B27</i>	<i>5,98</i>	<i>100</i>	<i>48,9</i>	<i>0,3246</i>	<i>105,8</i>
			<i>200</i>	<i>53,8</i>	<i>0,3499</i>	<i>125,6</i>
			<i>500</i>	<i>60,4</i>	<i>0,3833</i>	<i>154,3</i>
<i>F.so del Fico</i>	<i>B27</i>	<i>10,9</i>	<i>30</i>	<i>66,6</i>	<i>0,2808</i>	<i>56,0</i>
			<i>50</i>	<i>72,7</i>	<i>0,2994</i>	<i>65,2</i>
			<i>100</i>	<i>80,9</i>	<i>0,3246</i>	<i>78,7</i>
			<i>200</i>	<i>89,2</i>	<i>0,3499</i>	<i>93,4</i>
			<i>500</i>	<i>100,0</i>	<i>0,3833</i>	<i>114,8</i>
<i>F.so Femminamorta</i>	<i>B21</i>	<i>3,03</i>	<i>30</i>	<i>28,3</i>	<i>0,2808</i>	<i>66,7</i>
	<i>B23</i>	<i>10,39</i>	<i>50</i>	<i>30,9</i>	<i>0,2994</i>	<i>77,6</i>
	<i>B27</i>	<i>17,59</i>	<i>100</i>	<i>34,4</i>	<i>0,3246</i>	<i>93,7</i>
			<i>200</i>	<i>37,9</i>	<i>0,3499</i>	<i>111,2</i>
			<i>500</i>	<i>42,5</i>	<i>0,3833</i>	<i>136,6</i>
<i>F.so Bottagone</i>	<i>B27</i>	<i>33,56</i>	<i>30</i>	<i>44,0</i>	<i>0,2808</i>	<i>111,3</i>
			<i>50</i>	<i>48,1</i>	<i>0,2994</i>	<i>129,6</i>
			<i>100</i>	<i>53,5</i>	<i>0,3246</i>	<i>156,4</i>
			<i>200</i>	<i>58,9</i>	<i>0,3499</i>	<i>185,7</i>
			<i>500</i>	<i>66,1</i>	<i>0,3833</i>	<i>228,2</i>
<i>F.so Brivolco (Fiume Ufente fino a Sezze)</i>	<i>B23</i>	<i>67,1</i>	<i>30</i>	<i>19,9</i>	<i>0,2831</i>	<i>111,6</i>
	<i>B27</i>	<i>7,99</i>	<i>50</i>	<i>21,7</i>	<i>0,2916</i>	<i>125,6</i>
			<i>100</i>	<i>24,1</i>	<i>0,3033</i>	<i>145,4</i>
			<i>200</i>	<i>26,6</i>	<i>0,3149</i>	<i>166,2</i>
			<i>500</i>	<i>29,8</i>	<i>0,3303</i>	<i>195,6</i>
<i>Amaseno (fino a Madonna del Ponte)</i>	<i>A6</i>	<i>166,28</i>	<i>30</i>	<i>21,1</i>	<i>0,2403</i>	<i>304,1</i>
	<i>A7</i>	<i>0,02</i>	<i>50</i>	<i>24,8</i>	<i>0,2435</i>	<i>361,9</i>
	<i>B23</i>	<i>23,69</i>	<i>100</i>	<i>29,7</i>	<i>0,2479</i>	<i>442,2</i>
	<i>B27</i>	<i>28,44</i>	<i>200</i>	<i>34,7</i>	<i>0,2522</i>	<i>524,8</i>
	<i>B28</i>	<i>2,25</i>	<i>500</i>	<i>41,2</i>	<i>0,2579</i>	<i>637,7</i>

Tabella 3.3 (segue) - Bacini regionali: portate calcolate con il modello di regionalizzazione

Nome bacino	Codice Sottozona	A_s (km^2)	T (anni)	$i(\tau_b, T)$ (mm/h)	$\Phi_{reg}(T)$	$Q(T)$ (m^3/s)
Amaseno (fino al P.te di Fossanuova)	A6	191,18	30	16,9	0,2542	412,2
	A7	26,78	50	19,6	0,2577	484,8
	B23	79,46	100	23,2	0,2625	585,7
	B27	71,95	200	26,9	0,2672	689,6
	B28	2,25	500	31,7	0,2734	831,7
	B30	18,14				
F. Itri	A7	55,98	30	35,5	0,1490	78,4
			50	42,6	0,1497	94,4
			100	52,1	0,1507	116,2
			200	61,6	0,1516	138,2
			500	74,1	0,1528	167,6

4 CALCOLO SEMPLIFICATO DELLE PORTATE DI PIENA

Al fine di rendere più spedito il calcolo delle portate al colmo $Q(T)$, relative al tempo di ritorno T , si propone in questo paragrafo una procedura semplificata che risulta lievemente cautelativa rispetto a quelle descritte nei paragrafi precedenti.

Portata

La portata $Q(T)$ è calcolata con la formula:

$$Q(T) = 278 \cdot \phi(T) \cdot A_b \cdot i(\tau_b, T) \cdot r(A_b, \tau_b)$$

in cui:

T è il tempo di ritorno medio, in anni,

$Q(T)$ è la massima portata al colmo dell'anno relativa al tempo di ritorno T , in m^3/s ,

A_b è l'area del bacino, in km^2 ,

τ_b è il tempo di concentrazione, in ore (h), parametro che regola la concentrazione dei deflussi,

$i(\tau_b, T)$ è l'intensità di pioggia di durata τ_b con tempo di ritorno T , in m/h ,

$\phi(T)$ è il coefficiente di deflusso relativo al tempo di ritorno T , parametro che rappresenta le perdite idrologiche,

$r(A_b, \tau_b)$ è il coefficiente di ragguglio all'area delle piogge.

Tempo di concentrazione

Il tempo di concentrazione è calcolato nel modo seguente:

- per $A_b \geq 75$:

$$\tau_b = \tau_{bG}$$

- per $75 > A_b > 1$:

$$\tau_b = \tau_{bG} \frac{(A_b - 1)}{74} + \tau_{bK} \frac{(75 - A_b)}{74}$$

- per $A_b \leq 1$:

$$\tau_b = \tau_{bK}$$

in cui:

$$\tau_{bG} = \frac{5\sqrt{A_b} + 1,875 \cdot L_b}{\sqrt{y_m}}$$

$$\tau_{bK} = 0,93 \left(\frac{L_b}{\sqrt{y_{max} / L_b}} \right)^{0,77}$$

con:

A_b area del bacino (km^2),

L_b lunghezza dell'asta principale del bacino (km),

y_m altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m);

y_{max} in metri, è l'altezza del punto più elevato del bacino rispetto alla sezione di chiusura

Intensità di pioggia

Per il calcolo dell'intensità di pioggia si fa riferimento alla legge intensità-durata-frequenza (IDF) a tre parametri (2.03 del capitolo 3):

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m}$$

dove:

t è la durata della pioggia critica, assunta pari a τ_b , in ore,

b è un parametro di deformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata t , sia dal tempo di ritorno T , in ore,

m è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno,

$a(T)$ è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

I parametri delle relazioni IDF per i diversi bacini sono indicati in funzione del tempo di ritorno medio nella tabella 4.1.

Tabella 4.1 - Bacini regionali: parametri $a(T)$, b , m per il calcolo semplificato dell'intensità di pioggia

<i>Gruppo bacini</i>	<i>Nome bacini</i>	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	<i>T</i> (anni)	<i>a(T)</i> (m/h)
<i>F.so Chiarone</i>	<i>F.so Chiarone</i>	0,153	0,761	30	0,069
				50	0,082
				100	0,099
				200	0,116
				500	0,139
<i>F.so Tafone</i>	<i>F.so Margherita</i> <i>F.so Tafone (fino alla confl. con il F.so di P.te Rotto escluso)</i> <i>F.so di P.te Rotto</i> <i>F.so Tafone (fino alla foce escluso il bacino Margherita)</i> <i>F.so Tafone (fino alla foce incluso il bacino Margherita)</i>	0,171	0,788	30	0,083
				50	0,099
				100	0,122
				200	0,144
				500	0,173
<i>Arrone (Nord)</i>	<i>Arrone (Nord)</i>	0,170	0,788	30	0,089
				50	0,106
				100	0,130
				200	0,153
				500	0,185
<i>Marta</i>	<i>Marta (fino alla confl. con il T.Traponzo escluso)</i> <i>Marta (fino alla Centrale di Traponzo-T. Traponzo incluso)</i> <i>Marta (fino alla foce)</i>	0,155	0,763	30	0,077
				50	0,092
				100	0,113
				200	0,133
				500	0,160
<i>Marta affluenti</i>	<i>F.so Leia</i> <i>F.so Rigomero</i> <i>F.so Biedano</i> <i>T.Traponzo (fino alla confl. con il Marta)</i>	0,158	0,769	30	0,068
				50	0,078
				100	0,091
				200	0,103
				500	0,120
<i>Mignone</i>	<i>Mignone (fino alla confl. con il F.so Verginese escluso)</i> <i>Mignone (Rota – F.so Verginese incluso)</i> <i>Mignone (fino alla confl. con il F.so Capocaccia incluso)</i> <i>Mignone (fino alla foce)</i>	0,142	0,742	30	0,066
				50	0,074
				100	0,086
				200	0,098
				500	0,114

Tabella 4.1 (segue) - Bacini regionali: parametri $a(T)$, b , m per il calcolo semplificato dell'intensità di pioggia

<i>Gruppo bacini</i>	<i>Nome bacini</i>	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	<i>T</i> (anni)	<i>a(T)</i> (m/h)
<i>Sud Mignone</i>	<i>F.so del Marangone</i> <i>F.so di Castelsecco</i> <i>F.so di Rio</i> <i>F.so Sassetera</i>	0,160	0,771	30	0,080
				50	0,096
				100	0,116
				200	0,136
				500	0,163
<i>Fosso di Vaccina</i>	<i>F.so di Vaccina</i>	0,146	0,749	30	0,069
				50	0,079
				100	0,093
				200	0,107
				500	0,126
<i>da F.so Sanguinara ad Arrone (sud)</i>	<i>F.so Sanguinara</i> <i>F.so Cupino</i> <i>F.so delle Cadute</i> <i>F.so Tre Denari</i> <i>Arrone (sud) (da Bracciano al P.te sull'Aurelia)</i> <i>Arrone (sud) - (fino alla foce)</i>	0,170	0,786	30	0,083
				50	0,099
				100	0,121
				200	0,143
				500	0,172
<i>da Rio Torto a F.so di Loricina</i>	<i>Rio Torto</i> <i>F.so dell'Incastro</i> <i>F.so di Loricina</i>	0,156	0,762	30	0,074
				50	0,088
				100	0,107
				200	0,126
				500	0,151
<i>Astura</i>	<i>F.so di Fontana Neccia (fino al fiume Astura)</i> <i>Astura (fino alla foce)</i>	0,117	0,700	30	0,061
				50	0,072
				100	0,087
				200	0,102
				500	0,122
<i>Val Carella</i>	<i>Val Carella (fino al P.te della strada Ninfa)</i>	0,139	0,737	30	0,076
				50	0,082
				100	0,092
				200	0,101
				500	0,113

Tabella 4.1 (segue) - Bacini regionali: parametri $a(T)$, b , m per il calcolo semplificato dell'intensità di pioggia

<i>Gruppo bacini</i>	<i>Nome bacini</i>	<i>b</i> (h)	<i>m</i>	<i>T</i> (anni)	<i>a(T)</i> (m/h)
da F.so Spaccasassi a F.so Teppia	<i>F.so Spaccasassi, F.so di Carano, F.so delle Crocette</i>	0,142	0,743	30	0,064
	<i>F.so Pane e Vino, F.so del Fico, F.so Femminamorta</i>			50	0,070
	<i>F.so Bottagone</i>			100	0,078
	<i>F.so Cisterna (fino al P.te della strada Cisterna – Terracina)</i>			200	0,086
	<i>F.so Cisterna (fino alla confl. col Canale delle Acque Alte) F.so Teppia</i>			500	0,097
Brivolco	<i>F.so Brivolco (Fiume Ufente fino a Sezze)</i>	0,140	0,738	30	0,060
				50	0,065
				100	0,073
				200	0,080
				500	0,090
Amaseno	<i>Amaseno (fino a Madonna del Ponte) Amaseno (fino al P.te di Fossanuova)</i>	0,118	0,702	30	0,091
				50	0,106
				100	0,127
				200	0,149
				500	0,176
Sud Amaseno F. Itri	<i>F. Itri</i>	0,105	0,682	30	0,071
				50	0,085
				100	0,104
				200	0,123
				500	0,148

Coefficiente di ragguaglio

Per il coefficiente di ragguaglio si usa la formula:

$$r = 1 - e^{-1,1 \cdot t^{0,25}} + e^{-1,1 \cdot t^{0,25} - 0,00386 A_b}$$

in cui t è assunto pari a τ_b , in ore.

Coefficiente di deflusso

Per il coefficiente di deflusso $\phi(T)$ si usano i valori riportati per i diversi bacini nella tabella 4.2.

Tabella 4.2 - Bacini regionali: coefficienti di deflusso per il calcolo semplificato delle portate

<i>Nome bacino</i>	<i>T</i> <i>(anni)</i>	$\Phi(T)$
<i>F.so Chiarone</i>	30	0,47
	50	0,48
	100	0,49
	200	0,50
	500	0,51
<i>F.so Tafone</i> <i>(fino alla foce)</i>	30	0,72
	50	0,73
	100	0,74
	200	0,75
	500	0,76
<i>Affluenti del Tafone: F.so di P.te Rotto</i>	30	0,79
	50	0,80
	100	0,81
	200	0,82
	500	0,83
<i>Affluenti del Tafone: F.so Margherita</i>	30	0,64
	50	0,65
	100	0,66
	200	0,67
	500	0,68
<i>Arrone (Nord)</i>	30	0,47
	50	0,49
	100	0,50
	200	0,52
	500	0,55

Tabella 4.2 (segue) - Bacini regionali: coefficienti di deflusso per il calcolo semplificato delle portate

<i>Nome bacino</i>	<i>T</i> <i>(anni)</i>	$\Phi(T)$
<i>Marta</i> <i>(fino alla confl. con il T.Traponzo escluso)</i>	30	0,30
	50	0,32
	100	0,35
	200	0,37
	500	0,40
<i>Marta</i> <i>(fino alla foce)</i>	30	0,36
	50	0,37
	100	0,39
	200	0,41
	500	0,44
<i>Affluenti del Marta</i>	30	0,31
	50	0,33
	100	0,35
	200	0,37
	500	0,39
<i>Mignone</i>	30	0,60
	50	0,62
	100	0,64
	200	0,66
	500	0,68
<i>F.so del Marangone</i> <i>F.so di Castelsecco</i> <i>F.so di Rio</i>	30	0,60
	50	0,62
	100	0,64
	200	0,66
	500	0,68
<i>F.so Sassetera</i>	30	0,47
	50	0,48
	100	0,50
	200	0,52
	500	0,54

Tabella 4.2 (segue) - Bacini regionali: coefficienti di deflusso per il calcolo semplificato delle portate

<i>Nome bacino</i>	<i>T</i> <i>(anni)</i>	$\Phi(T)$
<i>F.so di Vaccina</i>	30	0,56
	50	0,58
	100	0,60
	200	0,62
	500	0,64
<i>F.so Sanguinara</i> <i>F.so Cupino</i>	30	0,54
	50	0,55
	100	0,57
	200	0,59
	500	0,62
<i>F.so delle Cadute</i>	30	0,37
	50	0,39
	100	0,41
	200	0,43
	500	0,46
<i>F.so Tre Denari</i>	30	0,41
	50	0,42
	100	0,45
	200	0,47
	500	0,50
<i>Arrone (sud)</i>	30	0,39
	50	0,41
	100	0,43
	200	0,45
	500	0,48
<i>Rio Torto</i>	30	0,28
	50	0,30
	100	0,33
	200	0,36
	500	0,39

Tabella 4.2 (segue) - Bacini regionali: coefficienti di deflusso per il calcolo semplificato delle portate

<i>Nome bacino</i>	<i>T</i> <i>(anni)</i>	$\Phi(T)$
<i>F.so dell'Incastro</i> <i>F.so di Loricina</i> <i>F.so di Fontana Neccia</i> <i>(fino all'immissione nel fiume Astura)</i> <i>Astura (fino alla foce)</i>	30	0,28
	50	0,30
	100	0,33
	200	0,36
	500	0,39
<i>Val Carella</i> <i>(fino al P.te della strada Ninfa)</i>	30	0,14
	50	0,14
	100	0,14
	200	0,15
	500	0,15
<i>F.so Teppia</i>	30	0,24
	50	0,25
	100	0,27
	200	0,29
	500	0,32
<i>F.so Spaccasassi, F.so di Carano, F.so delle Crocette</i> <i>F.so Pane e Vino, F.so del Fico, F.so Femminamorta</i> <i>F.so Bottagone</i> <i>F.so Cisterna (fino al P.te della strada Cisterna – Terracina)</i> <i>F.so Cisterna (fino alla confl. col Canale delle Acque Alte)</i>	30	0,28
	50	0,30
	100	0,32
	200	0,35
	500	0,39
<i>F.so Brivolco (Fiume Ufente fino a Sezze)</i>	30	0,28
	50	0,30
	100	0,30
	200	0,31
	500	0,33
<i>Amaseno (fino al P.te di Fossanuova)</i>	30	0,25
	50	0,26
	100	0,26
	200	0,27
	500	0,27
<i>F. Itri</i>	30	1,50
	50	0,15
	100	0,15
	200	0,15
	500	0,15

VERIFICHE IDRAULICHE DEI FIUMI ARRONE E MIGNONE E DEI FOSSI TRE DENARI, PALIDORO (DELLE CADUTE) E TAFONE

INTRODUZIONE

Nel presente capitolo si illustra lo studio preliminare per la difesa dalle inondazioni dei fiumi Arrone e Mignone e dei fossi Palidoro (delle Cadute), Tafone e Tre Denari, in cui si sono analizzati i livelli idrici per assegnati tempi di ritorno (30, 50, 100, 200, e 500 anni) e si sono individuati, in via preliminare, gli interventi di adeguamento atti a garantire il deflusso della piena di riferimento duecentennale. Per il fiume Mignone si sono solamente verificate le arginature attuali, senza proporre interventi d'adeguamento.

1 I RILIEVI D'ALVEO

I rilievi topografici, eseguiti tra la fine del 2002 e l'inizio del 2003, sono serviti a fornire nuove informazioni e a integrare e verificare quelle già disponibili in possesso del Consorzio di Bonifica del Tevere e Agro Romano (fiume Arrone e fossi Palidoro e Tre Denari) e del Consorzio della Maremma Etrusca (fiume Mignone e fosso Tafone). Per il fosso Tre Denari e il fosso Tafone i rilievi hanno fornito esclusivamente nuove informazioni, non essendo disponibili rilievi antecedenti. Per il fosso Palidoro si sono utilizzati dei rilievi eseguiti alla fine del 2002 direttamente dal Consorzio di Bonifica del Tevere e Agro Romano.

I rilievi topografici sono stati georeferenziati mediante una metodologia satellitare (GPS) nel sistema di riferimento UTM fuso 33, con apposizione di caposaldi stabili e poligonal di precisione di collegamento, riferite a caposaldi G.P.S. IGM. Le monografie dei caposaldi sono riportate in Appendice.

I rilievi hanno interessato i fiumi in esame per i tratti di seguito indicati:

- il fiume Arrone da poco a monte del ponte dell'autostrada Roma – Civitavecchia alla foce;

- il fosso Tre Denari da poco a monte del ponte dell'autostrada Roma – Civitavecchia alla foce;
- il fosso Palidoro (delle Cadute) da poco a monte del ponte della S.S. Aurelia alla foce;
- il fiume Mignone da poco a monte del ponte dell'Aurelia alla foce;
- il fosso Tafone da poco a monte del ponte dell'Aurelia alla foce.

Sono stati rilevati, secondo quanto riportato di seguito e come illustrato nelle tavole delle planimetrie allegate:

- per il fiume Arrone, come riportato nella tavola 3:

le sezioni d'alveo, in numero di 28 e con passo medio di circa 190 m; la sezione tipo rilevata si presenta di forma trapezia con larghezza alla base di circa 10 m, golene di circa 4 m e argini di altezza variabile intorno ai 3,5-4,0 m, con pendenza delle sponde di circa 30°;

i profili arginali, in destra e sinistra idraulica, per tutto lo sviluppo del tratto esaminato; il tratto di fiume considerato ha una lunghezza di circa 5.500 m e la pendenza media del fiume è di circa l'1,6‰;

le opere d'arte, in numero di 5 ponti, 1 attraversamento aereo a servizio del depuratore di Fregene e 1 soglia subito a monte del ponte dell'autostrada Roma – Civitavecchia; i ponti, procedendo da monte verso valle, sono:

- il ponte di via della Muratela,
- il ponte dell'autostrada Roma – Civitavecchia,
- il ponte della ferrovia Roma – Pisa,
- il ponte di via Tre Denari,
- il ponte di Maccarese;

nelle figure dalla 1.1 alla 1.8 sono riportate le fotografie di alcune delle opere d'arte;

- per il fosso Tre Denari, come riportato nella tavola 4:

le sezioni d'alveo, in numero di 20 e con passo medio di circa 260 m; il tratto di fiume considerato ha una lunghezza di circa 5.200 m, la sua pendenza media è di circa il 3‰ e la sezione tipo si presenta di forma trapezia con larghezza alla base di circa 5 m, argini in frodo senza golena, di altezza variabile intorno ai 3 m rispetto al piano campagna, con pendenza delle sponde di circa 30°.

le opere d'arte, in numero di 8 ponti che, procedendo da monte verso valle, sono:

- il ponte di via della Torre del Pagliaccetto,
- il ponte dell'autostrada Roma – Civitavecchia,
- il ponte di via Aurelia,
- il ponte della ferrovia Roma – Pisa,
- il ponte di via Tre Denari,
- il ponte di via delle Pagliete,

- il nuovo ponte “isolato”,

- la passerella pedonale in prossimità della foce;

nelle figure dalla 1.9 alla 1.14 sono riportate le fotografie di alcune delle opere d’arte;

- per il fosso Palidoro (delle Cadute) , come riportato nella tavola 5:

le sezioni d’alveo, in numero di 29 e con passo medio di circa 130 m; la lunghezza del tratto studiato è di circa 3.800 m, la pendenza media del fosso è di circa il 2‰; le sezioni rilevate presentano argini in frodo, con quota diversa tra argine sinistro e destro;

le opere d’arte, in numero di 6 ponti, che, procedendo da monte verso valle, sono:

- il ponte di via Aurelia;

- il ponte di via Cuggiani,

- il ponte della linea ferroviaria Roma – Pisa,

- il nuovo ponte a valle della ferrovia,

- il ponte S. Carlo,

- la passerella pedonale;

nelle figure dalla 1.15 alla 1.19 sono riportate le fotografie di alcune delle opere d’arte;

- per il fiume Mignone, come riportato nella tavola 6:

le sezioni d’alveo, in numero di 19 e con passo medio di circa 300 m; il tratto di fiume considerato ha una lunghezza di circa 6.000 m e la sua pendenza media è di circa l’1‰; la sezione tipo rilevata si presenta con alveo di forma variabile, di larghezza alla quota delle sponde di circa 35 m, golene di 20 m ed argini di altezza di circa 3 m rispetto al piano campagna;

le opere d’arte, in numero di 4 ponti e 3 ponti acquedotto che, procedendo da monte verso valle, sono:

- il primo ponte acquedotto,

- il ponte di via Aurelia,

- il ponte della vecchia sede della via Aurelia,

- il secondo ponte acquedotto,

- il ponte della ferrovia Roma – Pisa,

- il ponte della strada litoranea di bonifica,

- il terzo ponte acquedotto;

nelle figure dalla 1.20 alla 1.21 sono riportate le fotografie di alcune delle opere d’arte;

- per il fosso Tafone, come riportato nella tavola 7:

le sezioni d’alveo, in numero di 16 e con passo medio di circa 250 m; il tratto di fiume considerato ha una lunghezza di circa 5.500 m e la sua pendenza media è di circa il 3‰ nel

tratto tra il ponte dell'Aurelia e quello della ferrovia, mentre scende al 2‰ subito a valle di esso, fino a poco meno dell'1‰ negli ultimi 1.000 m fino alla foce;

i rilievi topografici hanno interessato anche il fosso di Ponte Rotto, per il tratto che va dalla sua confluenza nel Tafone fino a poco a monte della ferrovia; le sezioni rilevate sono in numero di 5 per una lunghezza di circa 1.300 m con pendenza media del fosso di circa l'1,4‰;

i profili arginali del Tafone e del fosso di Ponte Rotto a valle della ferrovia;

le opere d'arte, in numero di 3 ponti per il fosso del Tafone ed 1 ponte per il Fosso di Ponte Rotto che, procedendo da monte verso valle, sono:

- il ponte di via Aurelia sul Tafone,
- il ponte della ferrovia Roma – Pisa sul Tafone,
- il ponte della ferrovia Roma – Pisa sul fosso di Ponte Rotto
- il ponte del Diavolo sul Tafone;

nelle figure dalla 1.22 alla 1.27 sono riportate le fotografie di alcune delle opere d'arte.



figura 1.1 - Arrone: ponte di via della Muratella – vista da monte



figura 1.2 - Arrone: ponte autostradale – vista da monte



figura 1.3 - Arrone: ponte ferroviario – vista da valle



figura 1.4 - Arrone: ponte di via Tre Denari – vista da monte



figura 1.5 - Arrone: ponte di Maccarese – vista da monte



figura 1.6 - Arrone: muri a difesa del borgo di Maccarese – vista da monte



figura 1.7 - Arrone: ponte di via della Torre del Pagliaccetto - vista da monte



figura 1.8 - Arrone: ponte autostradale – vista da monte



figura 1.9 – Tre Denari: ponte di via Aurelia – vista da valle



figura 1.10 – Tre Denari: ponte ferroviario – vista da monte



figura 1.11 – Tre Denari: ponte di via Tre Denari – vista da monte



figura 1.12 – Tre Denari: ponte di via delle Pagliete – vista da monte



figura 1.13 – Tre Denari: ponte “isolato” – vista da valle



figura 1.14 – Tre Denari: passerella pedonale – vista da monte



figura 1.15 – Palidoro: ponte di via Aurelia – vista da valle



figura 1.16 – Palidoro: ponte di via Cuggiani



figura 1.17 – Palidoro: ponte ferroviario – vista da monte



figura 1.18 – Palidoro: ponte ferroviario – vista da valle



figura 1.19 – Palidoro: passerella pedonale – vista da valle



figura 1.20 – Mignone: dal ponte della litoranea – vista verso monte



figura 1.21 – Mignone: dal ponte della litoranea – vista verso valle



figura 1.23 – Tafone: ponte di via Aurelia – vista da valle



figura 1.24 – Tafone: ponte di via Aurelia – vista da monte



figura 1.25 – Tafone: ponte ferroviario sul Tafone – vista da valle



figura 1.26 – Tafone: ponte ferroviario sul Fosso di Ponte Rotto – vista da valle



figura 1.27 – Tafone: ponte ferroviario sul Fosso di Ponte Rotto (particolare) – vista da valle

2 IL PROGRAMMA DI CALCOLO HEC-RAS

I profili di corrente sono stati tracciati per mezzo del noto codice di calcolo HEC-RAS⁴, versione 3.1.1 - maggio 2003, messo a punto dal Corpo degli Ingegneri dell'Esercito Americano.

Il codice HEC-RAS è un modello progettato per il calcolo idraulico in simulazione monodimensionale di una rete di canali naturali e/o artificiali. Le principali potenzialità di HEC-RAS riguardano:

- il calcolo di profili di corrente gradualmente variata in condizioni stazionarie (*steady flow water surface profiles*), per corrente lenta, veloce o mista (lenta e veloce);
- la simulazione di flussi di piena in condizioni non stazionarie per regimi in corrente lenta;
- la quantificazione dei processi di erosione e trasporto di sedimenti in alveo, con previsione dei fenomeni di escavazione e deposizione entro intervalli temporali ridotti.

In quanto segue, per brevità, si riferisce solo sulle procedure di calcolo principali adottate nel codice HEC-RAS in condizioni di moto permanente, rinviando per maggiori ragguagli sulle basi teoriche e sulla costruzione dei processi di simulazione, ai relativi manuali.

2.1 Il modello matematico

Il calcolo del profilo di corrente in condizioni di moto permanente fra due sezioni successive è effettuato da HEC-RAS mediante la soluzione dell'equazione dell'energia, attraverso un processo iterativo denominato *standard step method*. Indicate con 1, 2 rispettivamente le sezioni di monte e di valle, l'equazione dell'energia è scritta nella seguente forma:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

Y_1, Y_2 sono il tirante idrico;

Z_1, Z_2 sono le quote piezometriche;

V_1, V_2 sono le velocità medie (portata totale / area di flusso totale);

α_1, α_2 sono i coefficienti di ragguaglio delle altezze cinetiche;

g è accelerazione di gravità;

⁴ HEC-RAS, *Hydrologic Engineering - Center River Analysis System*, US Army Corps of Engineers

h_e è la perdita di carico totale nel tratto;

Le perdite di carico fra due sezioni successive, h_e , sono comprensive delle perdite continue dovute all'attrito e di quelle dovute all'espansione e contrazione della vena e sono così rappresentabili:

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right|$$

con

L lunghezza del tratto mediata sulle portate;

$\overline{S_f}$ cadente della linea dei carichi totali;

C coefficiente di espansione/contrazione.

Il codice HEC-RAS suddivide l'area interessata al moto in tre zone principali perpetuando la convenzione introdotta con HEC-2: zona golenale sinistra (*left overbank, lob*), alveo ordinario (*channel, ch*), zona golenale di destra (*right overbank, rob*). Per tener conto dell'andamento curvilineo dell'asse, la distanza di calcolo tra due sezioni viene ponderata rispetto alla frazione di portata che fluisce rispettivamente in golena sinistra (*lob*), nel canale ordinario (*ch*) e nella golena destra (*rob*). La lunghezza mediata del tratto L è calcolata quindi nel seguente modo:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \overline{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}}$$

con

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} lunghezze del tratto relative rispettivamente all'area golenale sinistra (*lob*), al canale principale (*ch*) e all'area golenale destra (*rob*);

\overline{Q}_{lob} , \overline{Q}_{ch} , \overline{Q}_{rob} portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, canale principale e golena destra.

La determinazione della *conveyance* della sezione e del coefficiente α di ragguaglio delle altezze cinetiche richiede di norma una maggior suddivisione del flusso in porzioni di sezione all'interno delle quali la velocità possa ritenersi uniformemente distribuita. Nelle zone golenali, l'approccio usato da HEC-RAS (o meglio l'approccio di *default*, ma il programma ne contempla anche altri di carattere opzionale) consiste nell'assumere come base della suddivisione linee verticali, in corrispondenza dei punti di discontinuità nel valore della scabrezza n . La valutazione della *conveyance* per ogni elemento viene quindi effettuata con la formula di Manning scritta per unità di misura del sistema internazionale:

$$Q = K \cdot S_f^{1/2}, \quad K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3}$$

con i parametri:

$K = \text{conveyance } (m^3/s)$

n = coefficiente di scabrezza di Manning ($m^{-1/3}s$)

A = area di flusso (m^2)

R = raggio idraulico (m)

tutti riferiti alla singola porzione di flusso. Le *conveyance* parziali di ogni area golenale vengono quindi sommate per ottenere infine i due valori di *conveyance* relativi rispettivamente alla golenale destra e sinistra. Di norma, il canale principale è invece trattato come un unico elemento dotato di un solo valore di *conveyance*. Il valore finale unico di K per l'intera sezione è ottenuto come somma dei tre contributi parziali (*lob*, *ch*, *rob*).

Per ciò che concerne invece il coefficiente di ragguglio α , poiché HEC-RAS consente la simulazione di soli profili di corrente 1-D, ad ogni sezione resterà associata una sola superficie libera e di conseguenza una sola altezza cinetica. Pertanto, per un dato valore del tirante idrico nella sezione, l'altezza cinetica viene calcolata come un valor medio pesato alla portata fra quelli associati alle tre sottosezioni: golenale sinistra, canale, golenale destra. In pratica l'altezza cinetica è calcolata mediante la seguente relazione generale:

$$\alpha \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \left(\frac{V_i^2}{2g} \right)}{Q_{tot}}$$

da cui α risulta:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot V_i^2}{Q \cdot \bar{V}^2}$$

Il programma considera, riguardo alle perdite di carico concentrate, una contrazione ogni volta che l'altezza cinetica della sezione di monte risulta maggiore di quella della sezione più a valle, viceversa per l'espansione.

La modalità attraverso cui il programma calcola per ogni sezione il valore incognito dell'altezza della superficie libera, a partire da dati geometrici e di portata assegnati in input, è costituita da una soluzione iterativa delle equazioni dell'energia e delle perdite di carico. La procedura di calcolo consiste, più in dettaglio, nei seguenti passi:

- 1 scelta di un valore di primo tentativo per la quota della superficie libera (WS_L , *water surface*) in corrispondenza della sezione di monte, per correnti lente, o di valle, per correnti veloci;
- 2 calcolo, a partire dal valore assunto al passo 1, dei corrispondenti valori di *conveyance* totale e di altezza cinetica;
- 3 stima di \bar{S}_f e soluzione dell'equazione delle perdite di carico per il calcolo delle perdite di carico totali h_e ;

- 4 soluzione, a partire dai valori ottenuti al passo 2 e 3, dell'equazione dell'energia per il calcolo della superficie libera WS_2 ;
- 5 confronto fra il valore di WS_2 calcolato ed il valore assunto al passo 1 e reiterazione dei passi 1-5 fino al raggiungimento della convergenza, definita per default da una differenza fra i due valori inferiore a $0,003 m$ (o qualsiasi altra tolleranza definibile dall'utente).

La scelta del valore dell'altezza della superficie libera di partenza viene effettuata con metodi che variano fra la prima e le successive iterazioni: per il primo tentativo si adotta un valore ottenuto dalla proiezione dell'altezza calcolata alla sezione precedente; alla seconda iterazione il valore di primo tentativo viene incrementato del 70% dell'errore ($WS_{calcolata} - WS_{assunta}$) relativo al primo step; infine il terzo tentativo e seguenti sono basati sul metodo "secante", che proietta il valore della differenza fra quota calcolata e quota assunta ai due tentativi precedenti, secondo la relazione:

$$WS_i = WS_{i-2} - Err_{i-2} \cdot \frac{Err_{ass}}{Err_{dif}}$$

con

- WS_i = valore di WS assunto al passo i -esimo
- WS_{i-1} = valore di WS assunto nella $(i-1)$ -esima iterazione
- WS_{i-2} = valore di WS assunto nella $(i-2)$ -esima iterazione
- Err_{i-2} = errore relativo alle due iterazioni precedenti ($WS_{calcolato, i-2} - WS_{i-2}$);
- Err_{ass} = $WS_{i-2} - WS_{i-1}$;
- Err_{dif} = $WS_{i-1} - WS_{calcolato, i-1} + Err_{i-2}$

La variazione di WS fra un tentativo e il successivo è vincolata ad un massimo di $\pm 50\%$ del valore assunto allo step precedente. Il numero massimo delle iterazioni risulta comunque limitato (per default pari a 20) e nel corso di esse il programma tiene traccia del valore di WS che produce il minimo errore fra valore assunto e valore calcolato, indicato come "superficie libera di minimo errore". Qualora il massimo delle iterazioni venga eguagliato prima del raggiunto bilanciamento, il programma calcola l'altezza critica e verifica se l'errore associato alla superficie libera di minimo errore è inferiore ad una prefissata tolleranza. Se questo accade e se tale superficie è ben posta rispetto all'altezza critica calcolata (ovvero è maggiore dell'altezza critica per corrente lenta e minore per corrente veloce), allora il programma assume proprio tale valore come risposta finale del processo iterativo, altrimenti adotta l'altezza critica, producendo in entrambi i casi una nota informativa. L'incapacità di bilanciare l'equazione dell'energia entro il dato numero di iterazioni è generalmente da imputarsi ad un inadeguato numero di sezioni. L'altezza critica viene assunta anche ogniqualvolta la superficie libera calcolata risulta "mal posta" rispetto ad essa, ovvero quando risulta al di sotto dell'altezza critica per correnti lente e al di sopra per correnti veloci. HEC-RAS calcola l'altezza critica mediante un processo iterativo in cui viene assunto un valore di WS cui corrisponde il valore minimo del carico totale H .

I metodi impiegati per sviluppare tale processo sono due: il metodo “parabolico” ed il metodo “secante”. Il primo risulta più veloce a livello computazionale, ma in grado di localizzare un solo punto di minimo. Dal momento che per la maggior parte delle sezioni esiste un solo minimo del carico totale, il metodo parabolico rappresenta il metodo di default di HEC-RAS, riservandosi il programma la facoltà di passare al metodo secante qualora il primo non converga.

Il passaggio attraverso l’altezza critica rende tuttavia inapplicabile l’equazione dell’energia, la quale si basa sull’ipotesi di condizioni di flusso gradualmente variato.

Tutti i fenomeni che producono una transizione corrente lenta - corrente veloce e viceversa, quali variazioni di pendenza, costrizioni associate alla presenza di un ponte, confluenze, ecc., sono quindi affrontati da HEC-RAS col ricorso all’equazione dei momenti.

La forma generale dell’equazione dei momenti applicata alla porzione di flusso compresa fra due sezioni 1 e 2 è la seguente:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

dove:

$P_{1,2}$ = spinta idrostatica in corrispondenza delle sezioni 1 e 2

W_x = componente della forza peso nella direzione di moto

F_f = forza resistente dovuta all’attrito

Q = portata

ρ = densità dell’acqua

ΔV_x = variazione di velocità fra le sezioni 1 e 2 nella direzione di moto

Esplicitando i vari termini si ottiene la forma funzionale dell’equazione dei momenti utilizzata dal programma:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot \bar{S}_f = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot \bar{Y}_1$$

con

$A_{1,2}$ = area bagnata relativa alle sezioni 1 e 2;

L = distanza fra le sezioni 1 e 2 misurata lungo la direzione x ;

$\beta_{1,2}$ = coefficiente di ragguglio che tiene conto delle variazioni nella distribuzione della velocità in canali irregolari (permette di modellare il problema in termini dei valori medi di V);

S_0 = pendenza del canale;

\bar{S}_f = cadente della linea dei carichi totali;

L’equazione precedente si specifica poi ulteriormente per l’analisi di particolari condizioni idrauliche quali confluenze, ponti, ecc.

Un'ultima considerazione deve essere rivolta alle procedure disponibili in HEC-RAS per la modellazione idraulica dei ponti. HEC-RAS dispone di un'ampia serie di routine per l'analisi del flusso attraverso ponti. Senza entrare nel dettaglio e rimandando per maggiori ragguagli ai manuali tecnici, si richiamano brevemente i principali metodi a disposizione. HEC-RAS è in grado di modellare situazioni di flusso così definite:

- *low flow*: si verifica quando il flusso che attraversa il ponte avviene come in un canale aperto, con la superficie libera al di sotto del punto più alto dell'intradosso del ponte. I metodi di calcolo utilizzabili sono: equazione dell'energia, equazione dei momenti, metodo di Yarnell e metodo WSPRO.
- *weir flow*: si innesca quando la superficie libera raggiunge la quota di estradosso del ponte. Vengono applicate nel calcolo le classiche equazioni delle luci a stramazzo;
- *pressure flow*: si verifica quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. HEC-RAS assume nel calcolo l'equazione più appropriata tra quelle disponibili per descrivere il flusso attraverso la luce del ponte.
- *high flow*: si verifica quando il ponte risulta fortemente sommerso; il programma in questo caso applica automaticamente l'equazione dell'energia.

2.2 Calcolo della cadente media

Le perdite di carico continue vengono valutate come prodotto tra il valore medio della pendenza della linea dei carichi totali tra due sezioni contigue, \bar{S}_f , e l'interasse, L , tra le due sezioni. In corrispondenza di una sezione, la cadente \bar{S}_f , detta anche pendenza d'attrito, viene valutata con l'equazione di Manning, tarata in condizioni di moto uniforme:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Il programma HEC-RAS implementa quattro modalità distinte per valutare la pendenza d'attrito media \bar{S}_f :

- media della *conveyance* valutate nelle sezioni 1, 2, con $S_f = \bar{S}_f$

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

- media aritmetica della pendenza d'attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f,1} + S_{f,2}}{2}$$

- media geometrica della pendenza d'attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f,1} \cdot S_{f,2}}$$

- media armonica della pendenza d'attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \frac{2S_{f,1} \cdot S_{f,2}}{S_{f,1} + S_{f,2}}$$

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni proposte, a meno di indicazioni diverse specificate nel file input. Il programma offre una quinta opzione che consente la selezione automatica della formula più idonea tra quelle illustrate in funzione del regime della corrente come indicato nella tabella 2.1.

Tabella 2.1 - HEC-RAS: Criteri di scelta dell'equazione per la pendenza d'attrito media

<i>Tipo di profilo</i>	<i>La S_f nella sezione corrente è più grande che non in quella precedente?</i>	<i>Equazione impiegata</i>
<i>Corrente lenta</i>	<i>Si</i>	<i>Media aritmetica</i>
<i>Corrente lenta</i>	<i>No</i>	<i>Media armonica</i>
<i>Corrente veloce</i>	<i>Si</i>	<i>Media aritmetica</i>
<i>Corrente veloce</i>	<i>No</i>	<i>Media geometrica</i>

3 FIUME ARNONE

3.1 Situazione attuale

Inquadramento territoriale

Il tratto del Fiume Arnone considerato in questo studio va da poco a monte del ponte di via della Muratella, attraversa il borgo di Maccarese e sfocia in prossimità del Villaggio dei Pescatori alla periferia nord di Fregene. La cartografia disponibile, CTR Regione Lazio – foglio 373110 (*scala 1:10.000*) e carta digitale del comune di Fiumicino elaborata da CARTESIA (*scala 1:2.000*) consentono di individuare le infrastrutture intercettate dal corso d'acqua e di valutare la morfologia del territorio. La carta digitale CARTESIA, in particolare, evidenzia la presenza e l'ubicazione delle strade e delle costruzioni presenti, oltre a fornire le quote del terreno e dei punti significativi.

Attualmente a difesa del borgo di Maccarese esiste un muro di sponda subverticale in calcestruzzo, sia in destra che in sinistra idraulica, tranne per un tratto a valle del ponte di Maccarese, dove, in

destra idraulica, in luogo del muro vi è un terrapieno, protetto da lastre di calcestruzzo, con pendenza di $2/3$ ($\sim 30^\circ$).

Nella figura 3.1 è riportato il profilo longitudinale dell'alveo e degli argini nella situazione attuale.

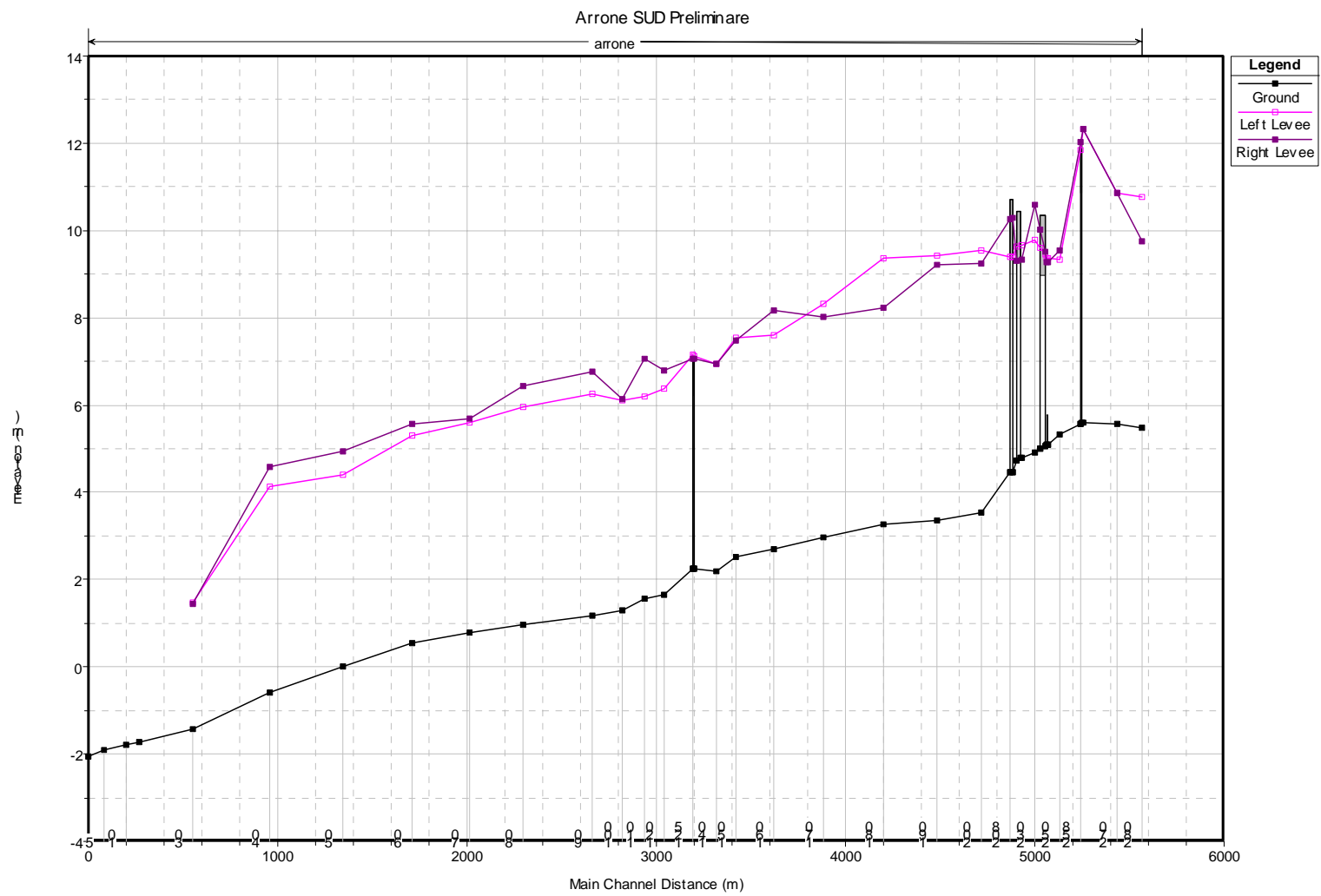


figura 3.1 – Profilo longitudinale del fondo alveo e dei coronamenti arginali

Profili di corrente

Nella figura 3.2 sono riportati i profili di corrente, calcolati per le portate con tempo di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni.

I valori dell'indice di scabrezza di Manning prescelti per il corso d'acqua in esame sono i seguenti:

- 0,060 per gli argini,
- 0,040 in alveo,
- 0,025 per i muri di sponda.

Nel tratto a valle dell'attraversamento aereo del depuratore di Fregene, poiché l'alveo e le sponde sono prevalentemente sabbiosi e gli argini si raccordano alle quote spondali lasciando il posto alla duna costiera, l'indice di scabrezza è stato posto uniformemente pari a 0,030.

La foce, attualmente caratterizzata da un tratto di alveo che divaga parallelamente alla costa per circa 500 m, è stata schematizzata aggiungendo nel modello di calcolo due sezioni, una sulla linea di costa e un'altra a mare a opportuna distanza, dove si è ipotizzata una quota del livello marino dovuta a un sovrizzo di tempesta pari a +0,75 m s.m.. Le dimensioni e la quota del fondo di tali sezioni è stata valutata mantenendo una pendenza del fondo compatibile con le condizioni di moto in corrente lenta considerando che, a causa dell'erosione, durante le piene tutta la foce sabbiosa venga rimodellata dalla corrente idrica, la quale, come già accaduto durante tutte le piene avvenute, provocherà una rettifica dello sbocco a mare del fiume.

Le portate considerate sono riportate nella tabella 3.1.

Tabella 3.1 – Tempi di ritorno e portate di calcolo

<i>T</i> (anni)	<i>Q</i> (m ³ /s)
30	161,3
50	200,2
100	256,9
200	318,0
500	406,0

Si può notare che la portata trentennale è contenuta in alveo dagli argini presenti nel tratto a valle del ponte di Maccarese, ma in corrispondenza dell'inizio dei muraglioni essa esonda a causa dell'insufficienza della sezione e il relativo livello idrico in corrispondenza del ponte di Maccarese è superiore alla quota dell'impalcato, per cui la struttura viene tracimata. Il restringimento delle sezioni nel tratto in cui il fiume Arrone attraversa l'abitato di Maccarese determina un rigurgito della corrente con conseguente innalzamento dei livelli idrici, che, pur non interessando gli

impalcati dei ponti di via Tre Denari e della ferrovia, entrambi di adeguata sezione idraulica per questa portata, determinano un funzionamento “in pressione” ponte dell’autostrada.

Le portate relative a $T = 200$ e $T = 500$ anni non sono invece contenute dagli argini, causando quindi la tracimazione delle arginature e dei ponti e il conseguente allagamento di tutta la campagna circostante. Il modello di calcolo impiegato non consente di valutare l’estensione delle esondazioni, né l’effetto di probabili rotte arginali. Dato l’andamento orografico, la pianura in cui scorre il fiume Arrone degrada molto lentamente verso il mare senza alture circostanti che possano contenere le acque esondate, si ritiene di poter considerare valide le aree inondabili già delimitate nel Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PSAI).

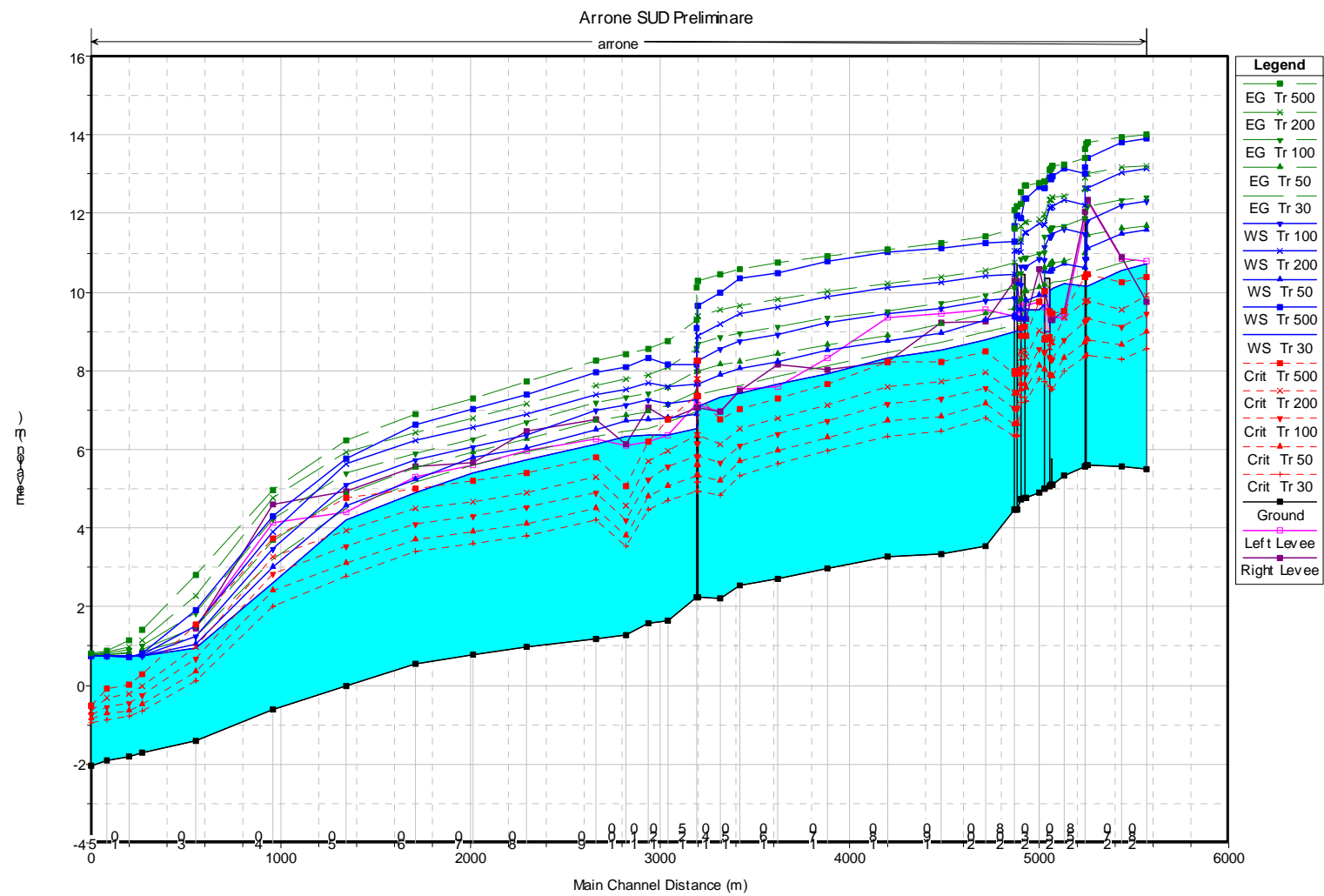


figura 3.2 – Profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: situazione attuale

3.2 Interventi Proposti

Gli interventi di sistemazione idraulica ipotizzati in questo studio consistono nel ridefinire le sezioni del Fiume Arrone, per salvaguardare le opere d'arte che lo attraversano e consentire il deflusso della portata duecentennale con un congruo franco idraulico.

La soluzione proposta si configura sostanzialmente in un allargamento delle sezioni, solo da un lato per contenere il costo dell'intervento, mantenendo la quota arginale pari a quella attuale. Tale allargamento comporta inevitabilmente anche il rifacimento dell'attuale ponte di Maccarese, di luce insufficiente per il deflusso della portata duecentennale. Il ponte di via Tre Denari risulta invece sufficiente, mentre quello della ferrovia, da esso distante poco più di 20 m, richiede solo un intervento sulla sezione di raccordo ai muri di spalla. Il ponte dell'autostrada, la cui quota inferiore dell'impalcato risulta notevolmente più bassa di quella del ponte della ferrovia, mostra un funzionamento in pressione per la portata duecentennale, nonostante l'allargamento e la regolarizzazione della sezione d'alveo nel tratto di valle. Ciò comporta che l'impalcato del ponte andrebbe adeguato sopraelevandolo di almeno un metro.

Di seguito si riporta la descrizione degli interventi previsti a partire dalla foce e fino al ponte dell'autostrada. Gli interventi sono riportati anche nella tavola 8.

In figura 3.3 sono riportati i profili di corrente a sistemazioni avvenute.

Sistemazione della foce

L'ampliamento dell'alveo interessa anche il tratto che va dal depuratore alla foce, dove l'azione erosiva della corrente di piena determinerebbe comunque un approfondimento e un allargamento dell'attuale sezione. Per evitare che tale fenomeno interessi, nel tratto prossimo al litorale, la sponda sinistra dove sono presenti delle costruzioni, è necessario allargare la sezione di deflusso in destra idraulica, portando la larghezza dell'alveo a circa 65 m in corrispondenza della quota del piano campagna, come indicato in figura 3.4.

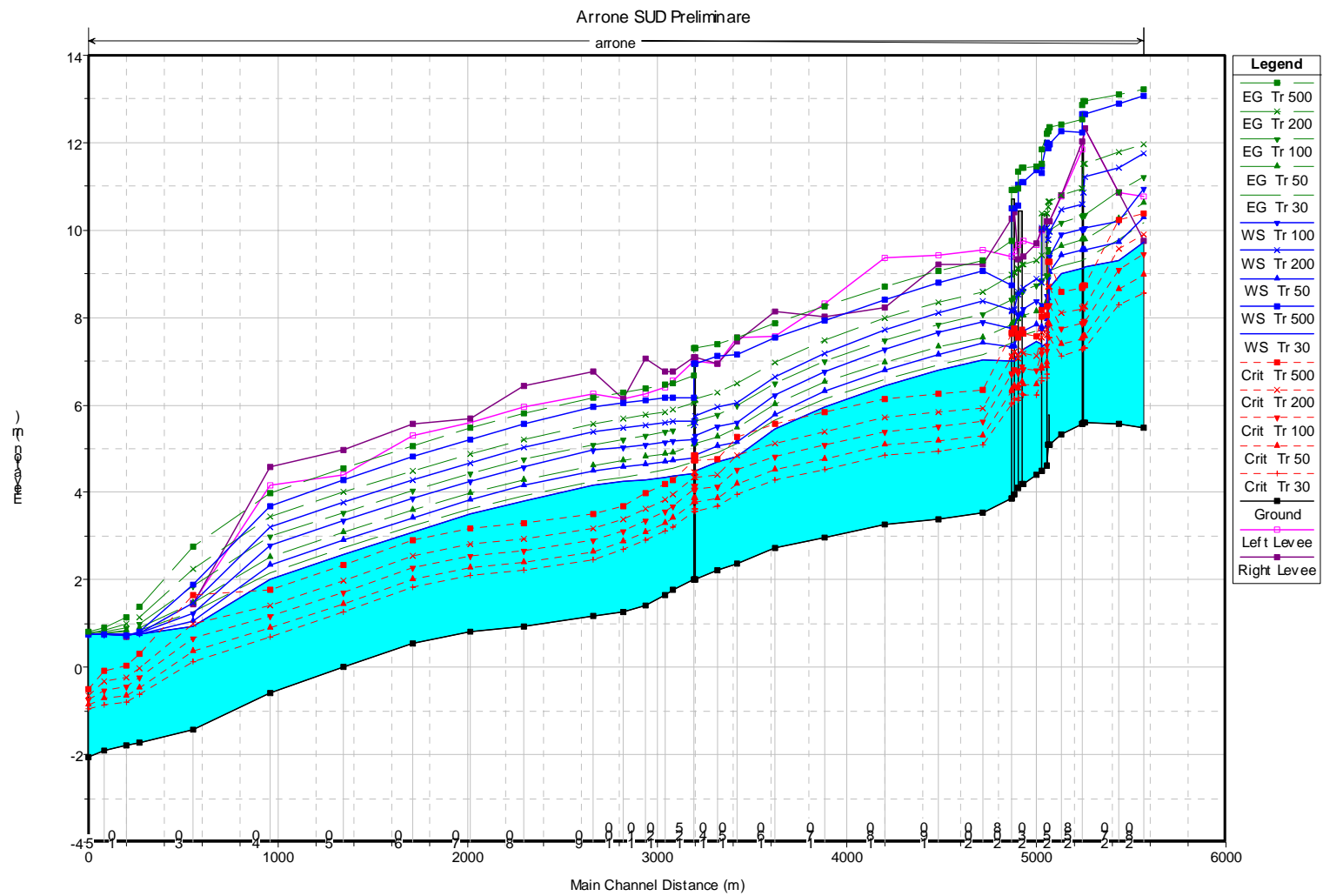


figura 3.3 – Profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: dopo le sistemazioni proposte

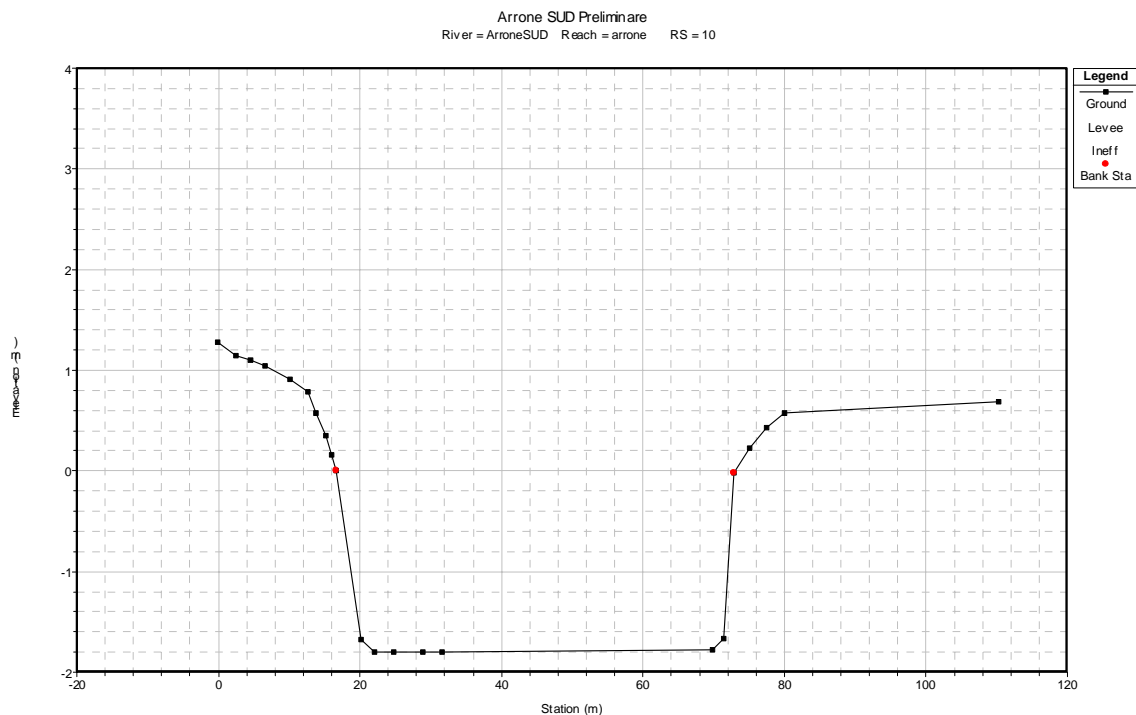


figura 3.4 – Sezione tipo in corrispondenza della foce

Tratto a valle di Maccarese

Per il tratto dal depuratore all’inizio dei muraglioni di Maccarese la sezione tipo proposta presenta forma trapezia con argini sagomati con golena a circa $2 \div 3$ m dal fondo alveo, con le caratteristiche riportate nella tabella 3.2 e come indicato in figura 3.5:

Tabella 3.2 – Caratteristiche della sezione tipo nel tratto a valle di Maccarese

<i>larghezza alla base</i>	<i>35 m</i>
<i>pendenza delle sponde dell'alveo ordinario</i>	<i>45 °</i>
<i>quota delle golene</i>	<i>quota attuale</i>
<i>larghezza della nuova golena</i>	<i>3 m</i>
<i>pendenza nuovo argine</i>	<i>35 °</i>
<i>quota della sommità del nuovo argine</i>	<i>quota attuale</i>
<i>larghezza testa nuovo argine</i>	<i>4 m</i>

L'intervento consiste sostanzialmente nel rifacimento di uno solo degli argini, ripristinando la pendenza attuale delle sponde del canale. L'allargamento interessa la sponda destra, per il tratto che va dall'inizio degli argini a valle del depuratore fino all'immissione dell'idrovora a monte di esso, mentre riguarda la sponda sinistra dalla sezione successiva fino all'inizio dei muraglioni.

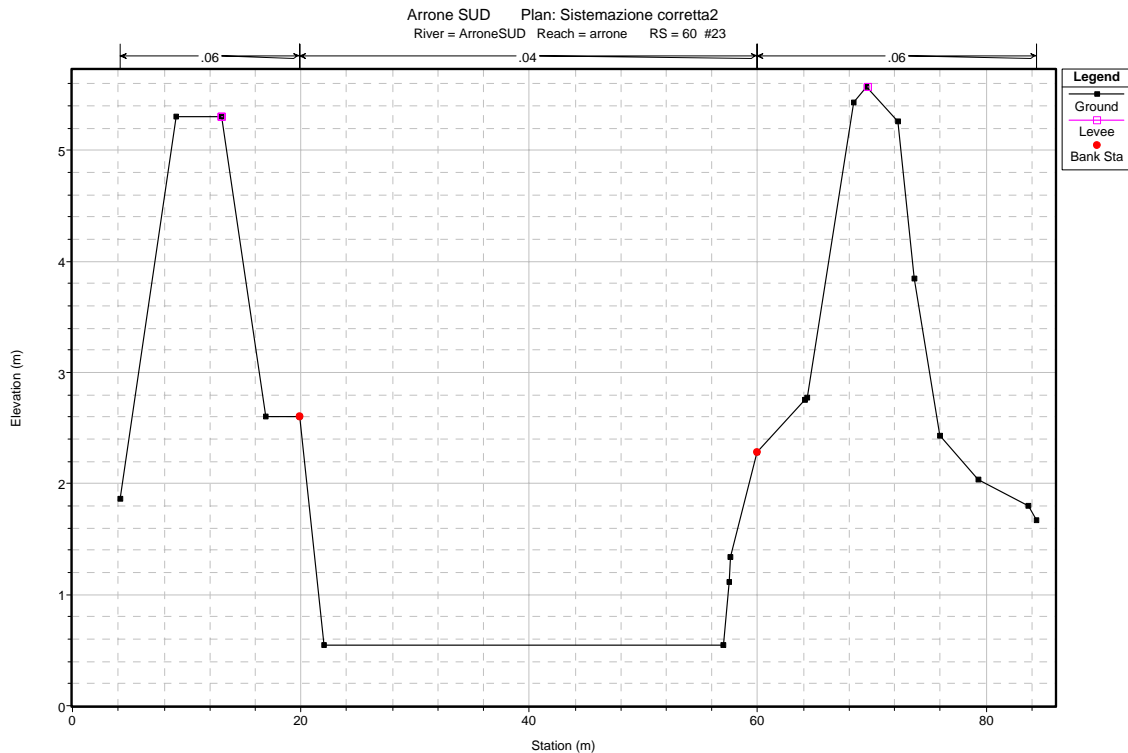


figura 3.5 – Sezione tipo per il tratto a valle di Maccarese

Tratto nell'abitato di Maccarese

Il tratto che attraversa l'abitato di Maccarese è caratterizzato da una sezione rettangolare con muro di sponda in cls in sinistra e terrapieno rivestito di cls in destra. Le caratteristiche della nuova sezione tipo fino al ponte di Maccarese sono riportate nella tabella 3.3 e come indicato in figura 3.6:

Tabella 3.3 – Caratteristiche della sezione tipo nel tratto dell'abitato di Maccarese

<i>larghezza alla base</i>	<i>25 m</i>
<i>quota della golena sinistra</i>	<i>quota attuale</i>
<i>pendenza della sponda dell'alveo ordinario</i>	<i>30 °</i>
<i>larghezza della golena sinistra</i>	<i>5 m</i>
<i>pendenza del muro in sinistra</i>	<i>85 °</i>
<i>quota della sommità del muro</i>	<i>quota attuale</i>

La pendenza dell'alveo nel tratto che attraversa l'abitato di Maccarese viene regolarizzata al valore del 2%, modificando la quota attuale del fondo in corrispondenza del ponte.

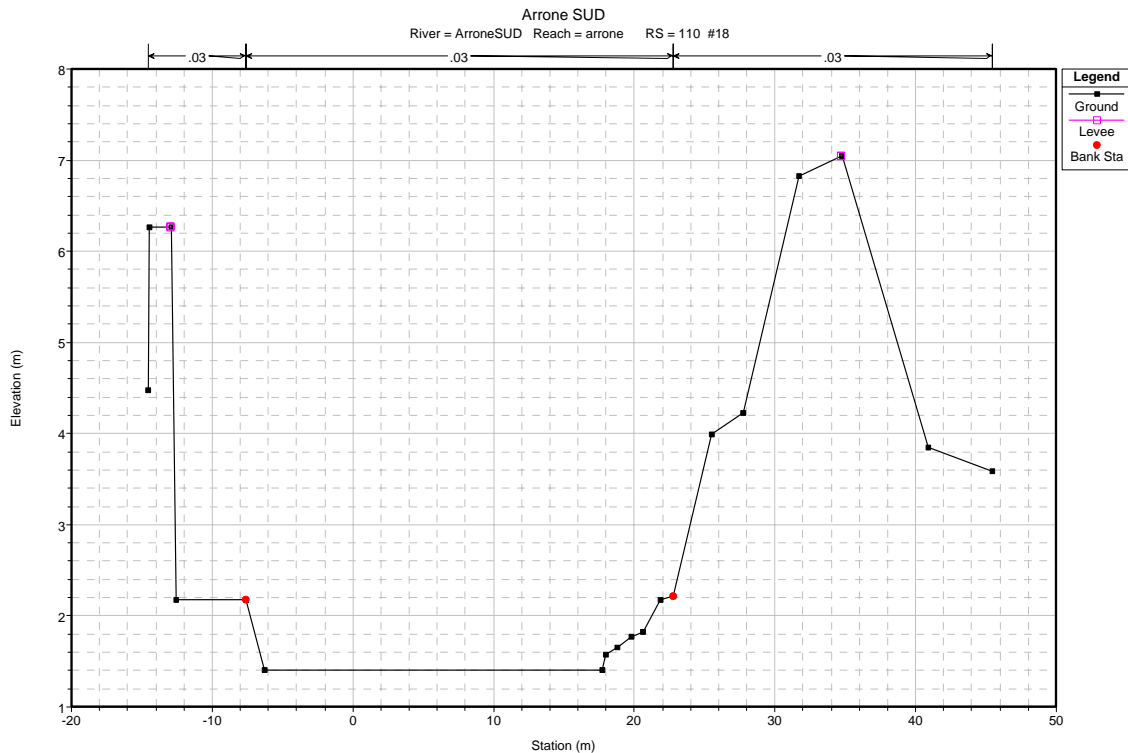


figura 3.6 – Sezione del tratto che attraversa l’abitato di Maccarese

L’indice di scabrezza adottato in questo tratto è pari a $0,030$, sia per le sponde che per il canale.

Si prevede anche l’adeguamento del ponte di Maccarese e la corrispondente sezione del ponte con le caratteristiche riportate in tabella 3.4 e come indicato in figura 3.7:

Tabella 3.4 – Caratteristiche della sezione tipo nel ponte di Maccarese

<i>larghezza alla base</i>	<i>20 m</i>
<i>quota della golena sinistra</i>	<i>2.5 m s.l.m.</i>
<i>quota della golena destra</i>	<i>2.5 m s.l.m.</i>
<i>pendenza delle sponde dell’alveo ordinario</i>	<i>30 °</i>
<i>larghezza delle golene</i>	<i>5 m</i>
<i>pendenza dei muri di sponda</i>	<i>85 °</i>
<i>quota della sommità del muro</i>	<i>quota attuale</i>
<i>quota del fondo</i>	<i>2 m s.l.m.</i>

Poiché le sezioni proposte a valle del nuovo ponte sono più larghe di quella prevista per il nuovo ponte il raccordo tra le sezioni può essere lineare. La sezione del ponte presenta larghezza alla base di 20 m e golene di 5 m , come indicato in figura 3.7.

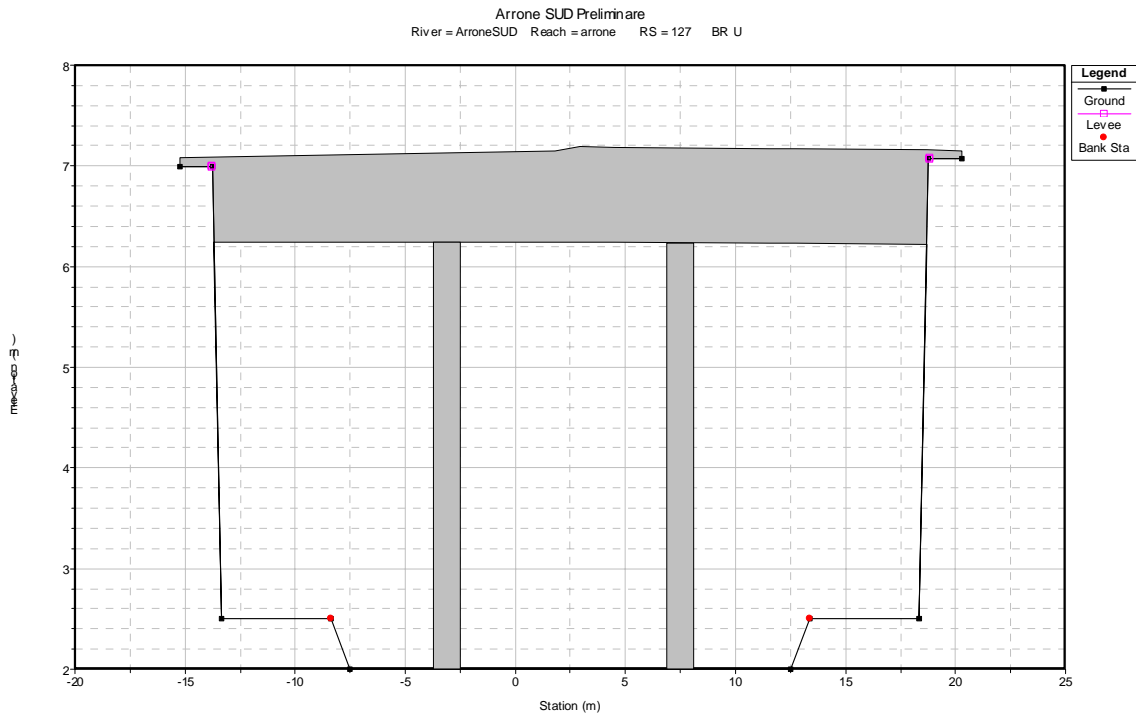


figura 3.7 – Sezione in corrispondenza del ponte di Maccarese

Lo schema del ponte impiegato, ipotizzando una struttura con tre luci di 10 m e due pile di spessore $1,2\text{ m}$, consente il transito della portata duecentennale e può essere considerato come base progettuale della nuova struttura.

Tratto a monte di Maccarese

Il tratto a monte di Maccarese, dove riprendono gli argini in terra, presenta una sezione con le caratteristiche riportate in tabella 3.5:

Tabella 3.5 – Caratteristiche della sezione tipo nel tratto a monte di Maccarese

<i>larghezza alla base</i>	<i>25 m</i>
<i>pendenza delle sponde dell'alveo ordinario</i>	<i>40 °</i>
<i>quota delle golene</i>	<i>quota attuale</i>
<i>larghezza della nuova golena</i>	<i>3 m</i>
<i>pendenza nuovo argine</i>	<i>35 °</i>
<i>quota della sommità del nuovo argine</i>	<i>quota attuale</i>
<i>larghezza testa nuovo argine</i>	<i>4 m</i>

L'intervento consiste nel rifacimento di uno solo degli argini, ripristinando la pendenza attuale delle sponde del canale. L'allargamento interessa in questo tratto la sponda destra fino a poco a valle del ponte di via Tre Denari, dove il nuovo argine si raccorda verso il muro esistente, come indicato in figura 3.8.

Più a monte, in corrispondenza del ponte della ferrovia, le simulazioni effettuate mostrano che, grazie all'allargamento delle sezioni nel tratto di valle, è sufficiente riprofilare i muri di sponda del ponte, attualmente inclinati di 30° , portandoli a un'inclinazione sub-verticale ed eliminando dall'alveo i resti di una pila di un precedente ponte, come mostrato in figura 3.9; si prevede, inoltre, la realizzazione di un piccolo approfondimento della parte centrale del canale in modo da regolarizzare la pendenza dell'alveo nel tratto che va dal ponte di via Tre Denari fino al ponte dell'autostrada.

Le sezioni a monte del ponte della ferrovia, come detto precedentemente, vengono modificate nella parte centrale dell'alveo, configurandosi come sezioni rettangolari con golena sia in destra che in sinistra. Le caratteristiche delle nuove sezioni ipotizzate sono riportate nella tabella 3.6 e indicate nella figura 3.10.

Tabella 3.6 – Caratteristiche della sezione tipo nel tratto a monte del ponte della ferrovia e fino al ponte dell'autostrada

<i>larghezza alla base</i>	<i>8 m</i>
<i>quota delle golene</i>	<i>quota del fondo attuale</i>
<i>pendenza della sponda dell'alveo</i>	<i>60°</i>
<i>larghezza delle golene</i>	<i>5 m</i>

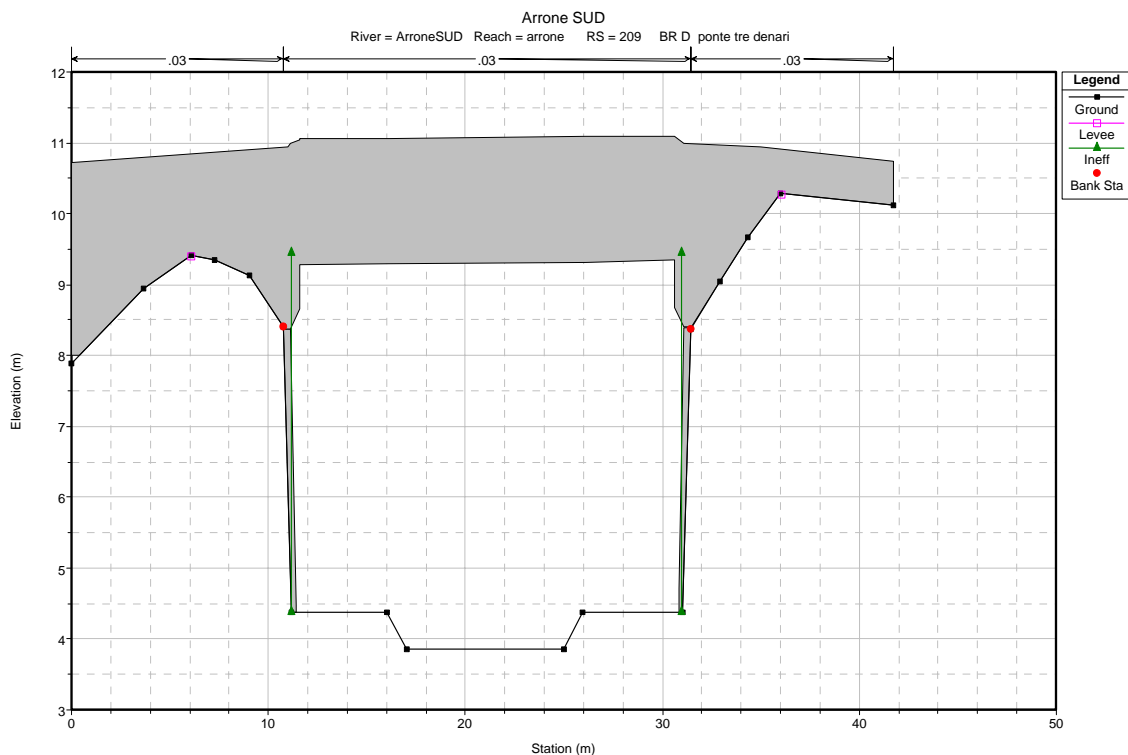


figura 3.8 – Sezione del ponte di via Tre Denari

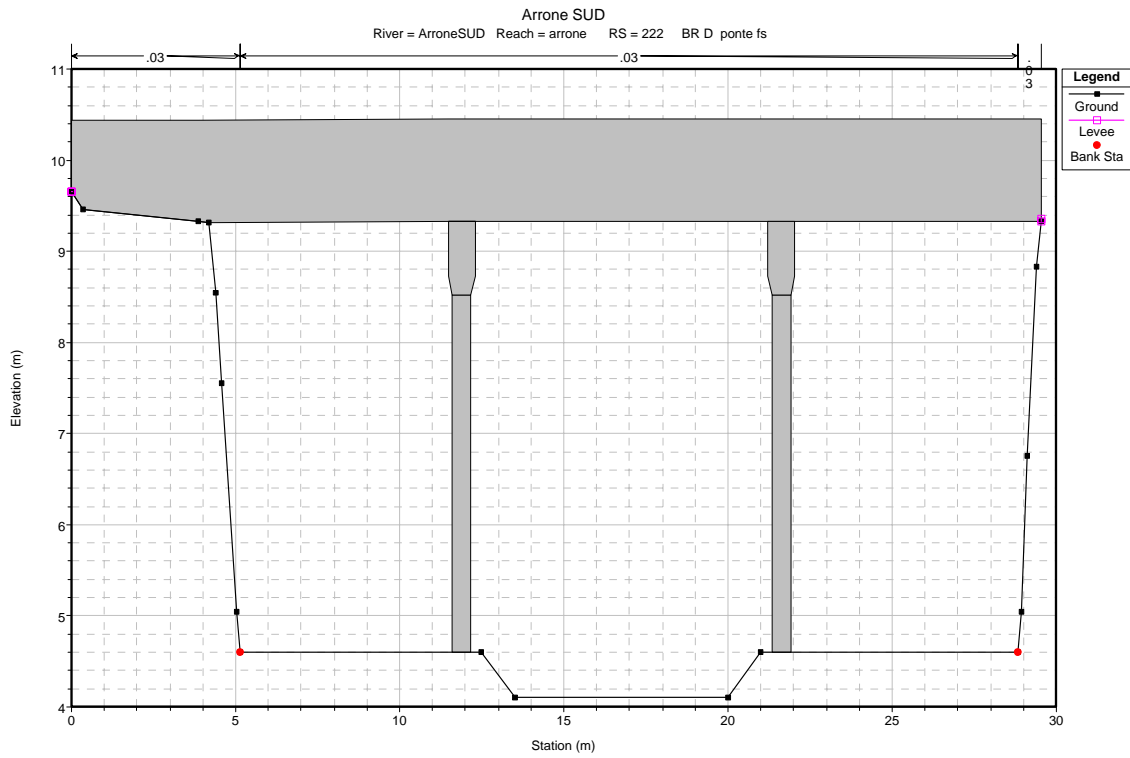


figura 3.9 – Sezione del ponte della ferrovia Roma – Pisa

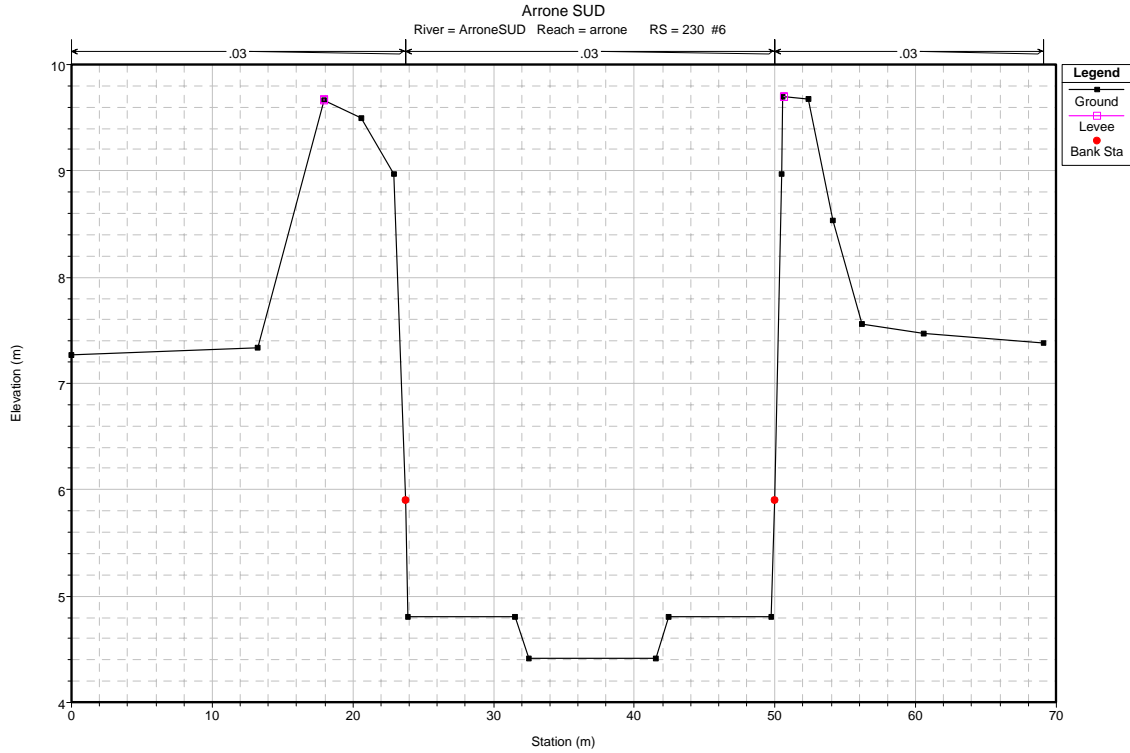


figura 3.10 – Sezione tipo nel tratto compreso tra il ponte della ferrovia e quello dell'autostrada

Come già indicato il ponte dell'autostrada, riportato in figura 3.11, presenta un funzionamento in pressione per la portata duecentennale, nonostante la regolarizzazione delle sezioni nei tratti a valle. Ciò è dovuto alla quota della parte inferiore dell'impalcato, che dovrebbe essere adeguata innalzando il ponte di almeno un metro, e anche dall'insufficiente luce del ponte. Nell'ipotesi di accettare il funzionamento in pressione del ponte per una portata con $T = 200$ anni, dato che per $T = 100$ anni il deflusso avviene con un congruo franco, per contenere l'innalzamento dei livelli a monte è necessario alzare gli argini, regolarizzandone il profilo fino al ponte di via della Muratella.

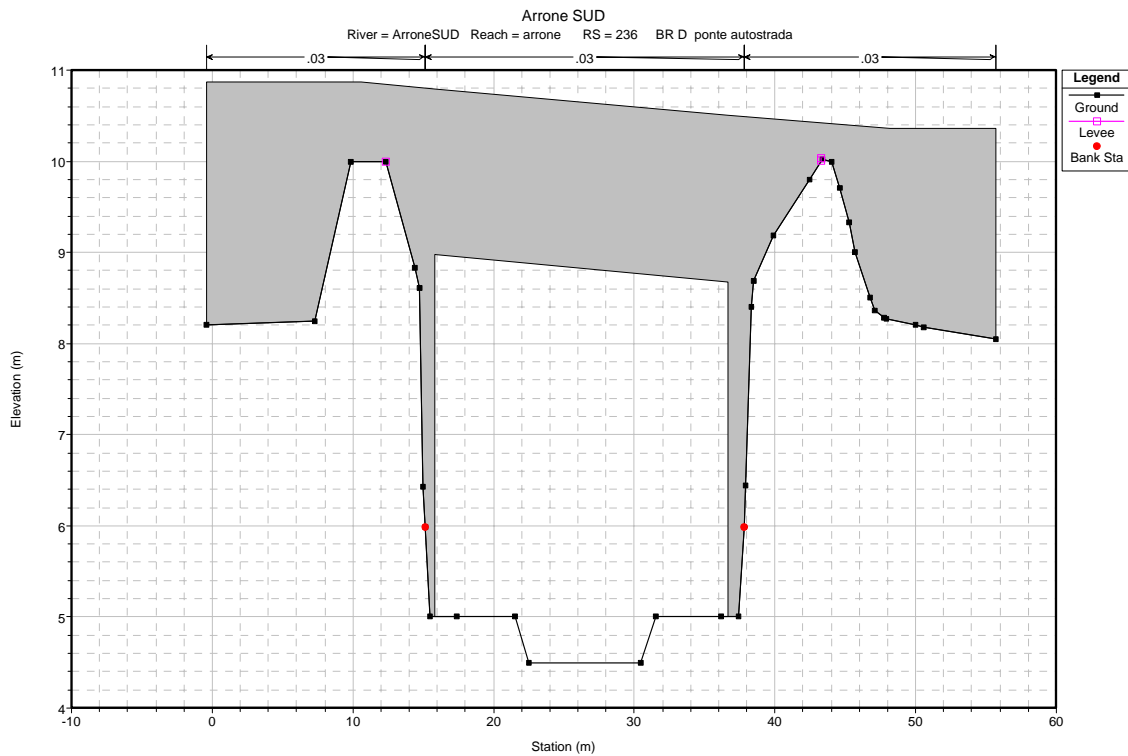


figura 3.11 – Sezione del ponte dell'autostrada Roma - Civitavecchia

In quest'ultima ipotesi, la sistemazione proposta consiste nella realizzazione di muri di sponda con pendenza sub-verticale e rifacimento dell'alveo come nel tratto a valle del ponte dell'autostrada.

4 FOSSO TRE DENARI

4.1 Situazione Attuale

Inquadramento territoriale

Il tratto del Rio Tre Denari considerato va dal ponte di via della Torre del Pagliaccetto, fino alla foce, situata alla periferia sud di Passo Oscuro, dove riceve le acque del fosso delle Pagliete. La cartografia disponibile, CTR Regione Lazio – fogli 373060, 373070, 373100 e 373110 e la carta digitale del comune di Fiumicino elaborata da CARTESIA, consente di individuare le infrastrutture intercettate dal corso d'acqua e di valutare la morfologia del territorio. La carta digitale CARTESIA, in particolare, evidenzia la presenza e l'ubicazione delle strade e delle costruzioni presenti, oltre a fornire le quote del terreno e dei punti significativi.

Nella figura 4.1 è mostrato il profilo longitudinale dell'alveo e degli argini.

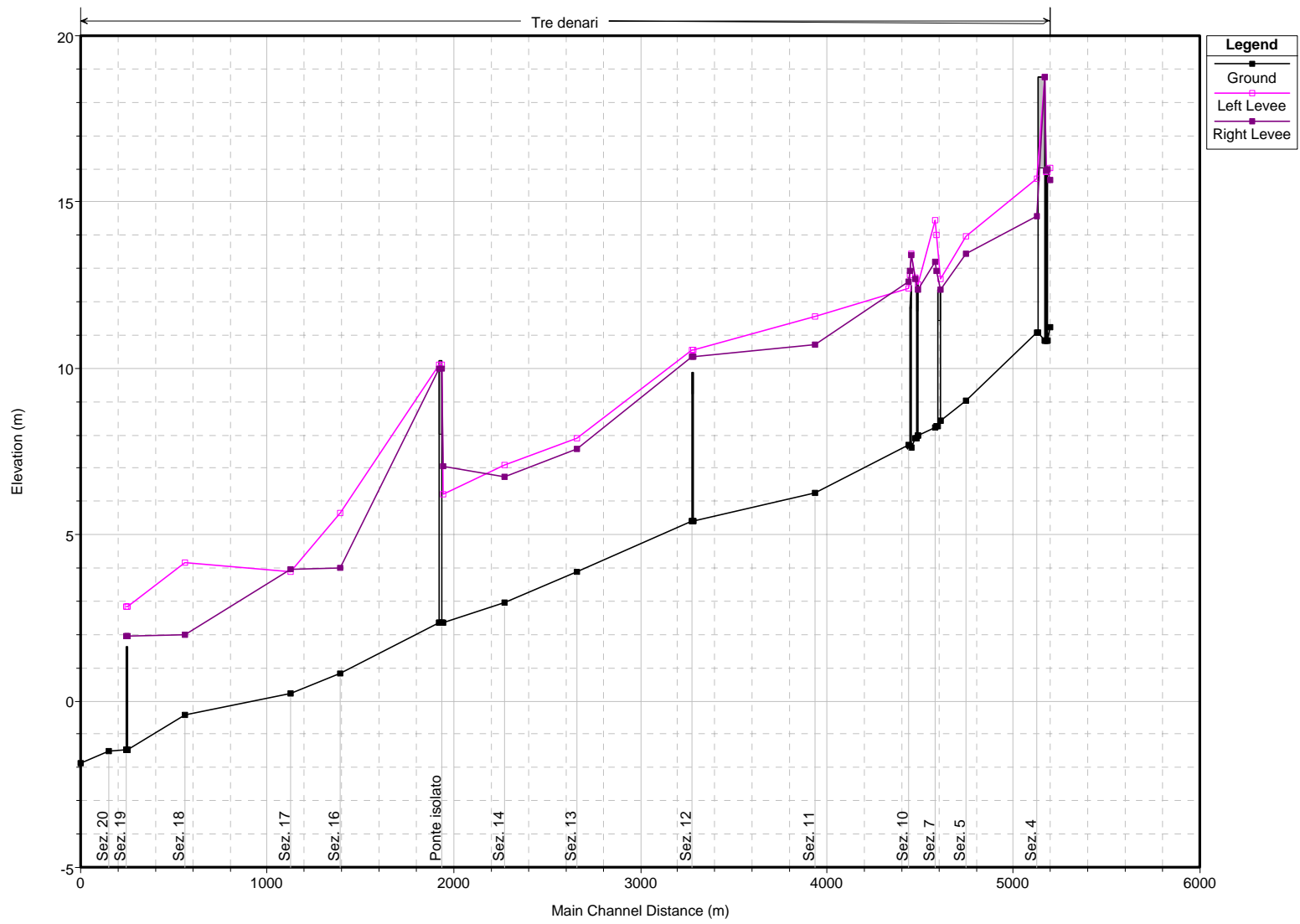


figura 4.1 – Profilo longitudinale del fondo alveo e dei coronamenti arginali

Profili di corrente

I valori prescelti per l'indice di scabrezza di Manning nel corso d'acqua in esame, valutati in base alle osservazioni in situ e confrontando le condizioni dell'alveo e degli argini con quelle riportate nei manuali, sono i seguenti:

0,060 sugli argini,

0,040 in alveo.

Nel tratto terminale, poiché il canale è prevalentemente sabbioso e privo di argini, lasciando il posto alla duna costiera, si è operato come nel caso del fiume Arrone.

Le portate considerate sono quelle riportate nella tabella 4.1.

Tabella 4.1 – Tempi di ritorno e portate di calcolo

<i>Tr</i>	<i>Q</i>
(<i>anni</i>)	(<i>m³/s</i>)
30	62.3
50	77.4
100	99.2
200	122.6
500	156.1

Nella figura 4.2 sono riportati i profili di corrente calcolati.

Si può notare che la portata con tempo di ritorno di 30 anni è sempre contenuta negli argini, tranne nel tratto in destra idraulica in prossimità della foce (località Passoscuro); il ponte dell'Aurelia presenta un funzionamento in pressione.

Per quanto riguarda la portata duecentennale, invece, si può notare che il fiume esonda in tutto il tratto preso in esame e i ponti di Via delle Pagliete, di Via Tre Denari e della ferrovia funzionano in pressione, mentre il ponte dell'Aurelia viene tracimato.

La portata cinquecentennale, infine, tracima tutti i ponti, tranne quello isolato e dell'autostrada.

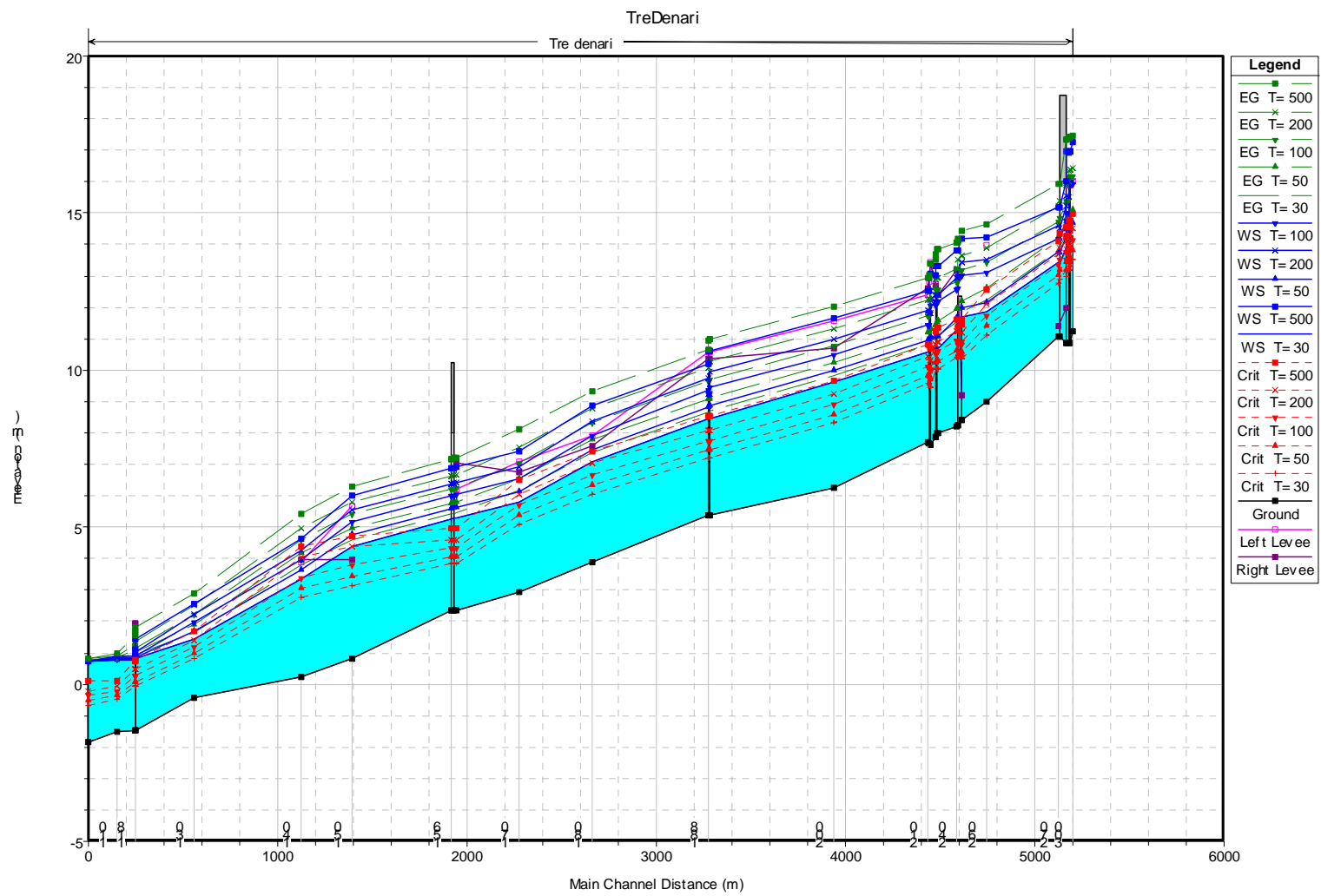


figura 4.2 – Profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: situazione attuale

4.2 Interventi Proposti

Gli interventi di sistemazione idraulica ipotizzati in questo studio sono volti a contenere la portata duecentennale con un adeguato franco. Gli interventi, descritti successivamente, sono riportati nella tavola 9.

Nella figura 4.3 sono riportati i profili idraulici nelle condizioni di progetto.

Nel tratto compreso tra il mare e il ponte “isolato” si propone di realizzare un muro in destra idraulica per difendere le abitazioni, con quota sommitale un metro al disopra del livello idrico della portata duecentennale.

In corrispondenza del ponte “isolato” la quota arginale è stata innalzata per evitare l’erosione locale, garantendo un franco di un metro.

Nel tratto compreso tra il ponte “isolato” e il ponte di Via delle Pagliete, la sezione tipo è caratterizzata da una golenia in sinistra idraulica di larghezza pari a 15 metri, secondo lo schema illustrato in figura 4.4.

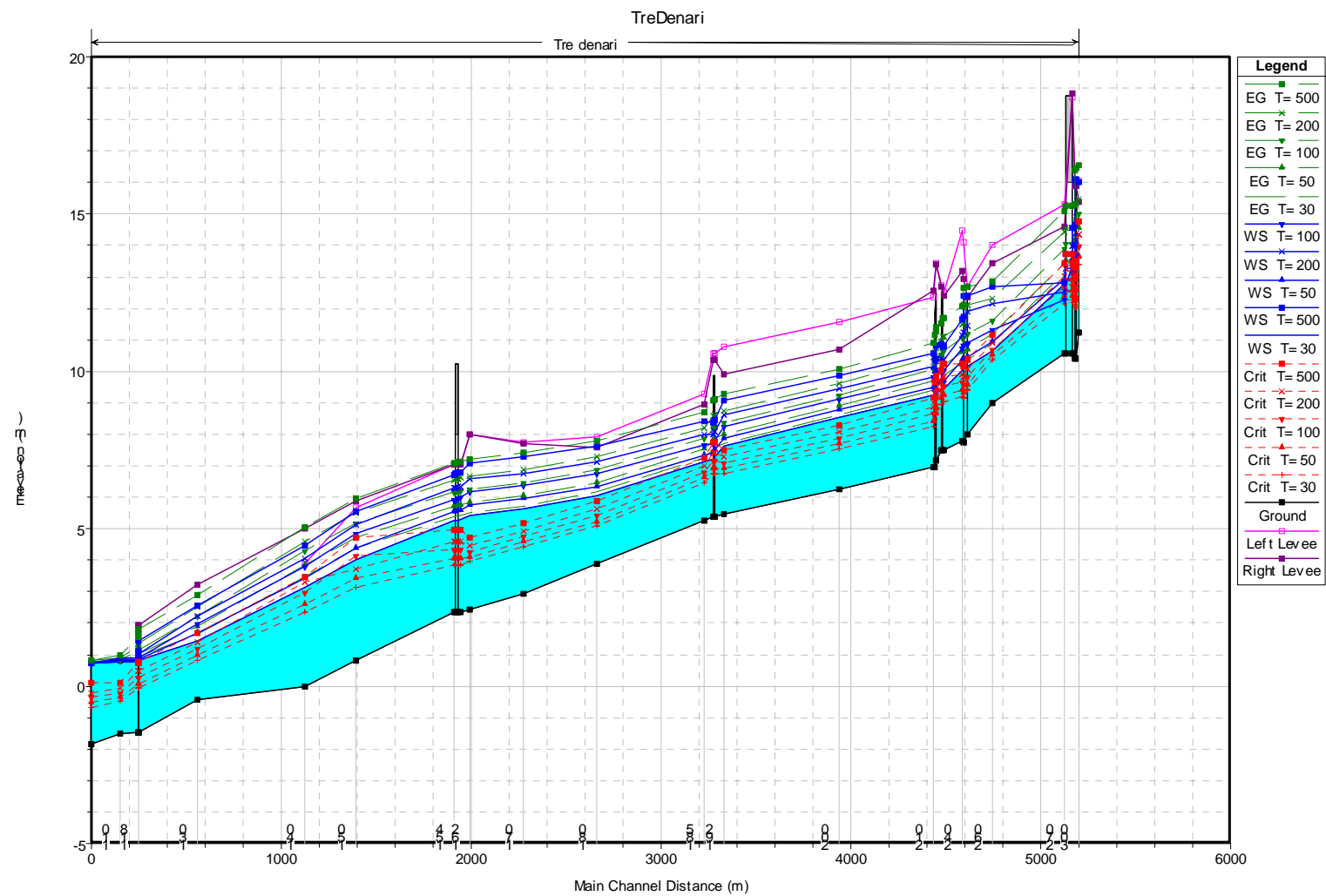


figura 4.3 – Profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: dopo le sistemazioni proposte

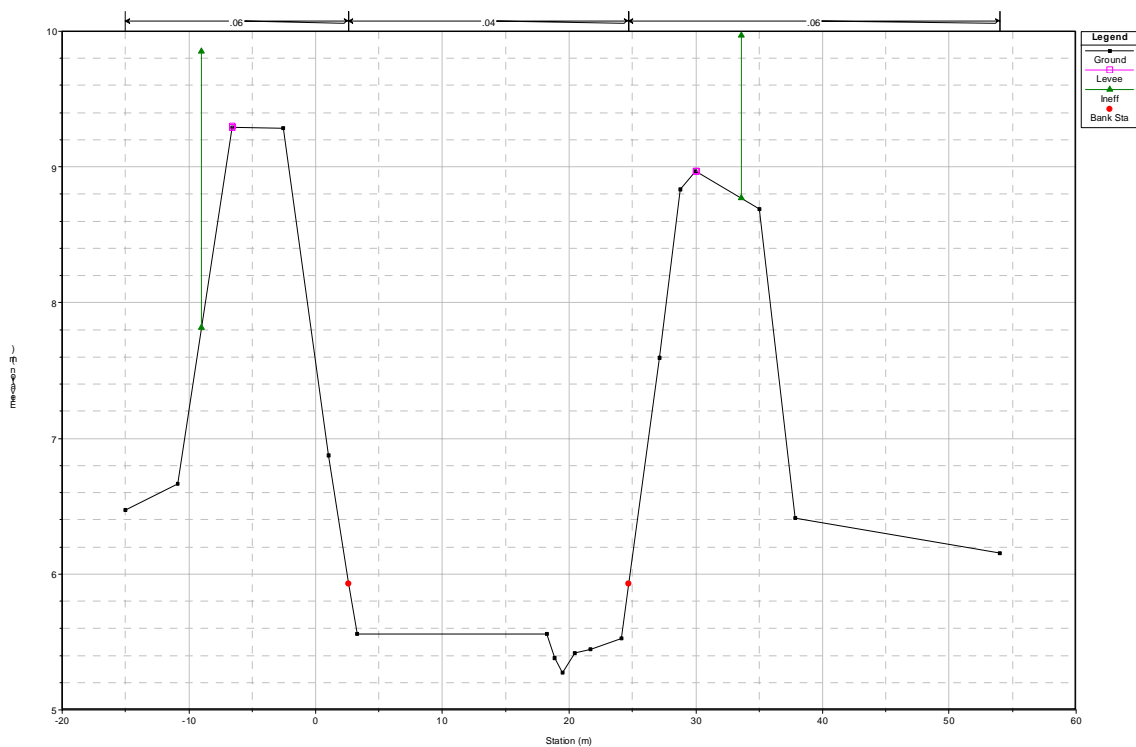


figura 4.4 – Sezione tipo nel tratto compreso tra il ponte “isolato” ed il ponte di Via delle Pagliete

Nel successivo tratto, fino al ponte di Via Tre Denari, la golena si realizza in destra idraulica per evitare di interferire con le strutture presenti (depuratore).

Nel tratto compreso tra il ponte dell’Aurelia e quello dell’Autostrada, la golena torna ad essere in sinistra idraulica.

In corrispondenza dei ponti, a esclusione di quello isolato, la sezione proposta è di forma rettangolare con muro di sponda sub-verticale e quota del fondo pari a quella attuale, per il ponte di Via delle Pagliete, mentre per gli altri si approfondisce di $0,5\text{ m}$ la sezione realizzando una gaveta di larghezza di fondo pari a 8 m e pendenza delle sue sponde pari a $1/2$, come mostrato in figura 4.5.

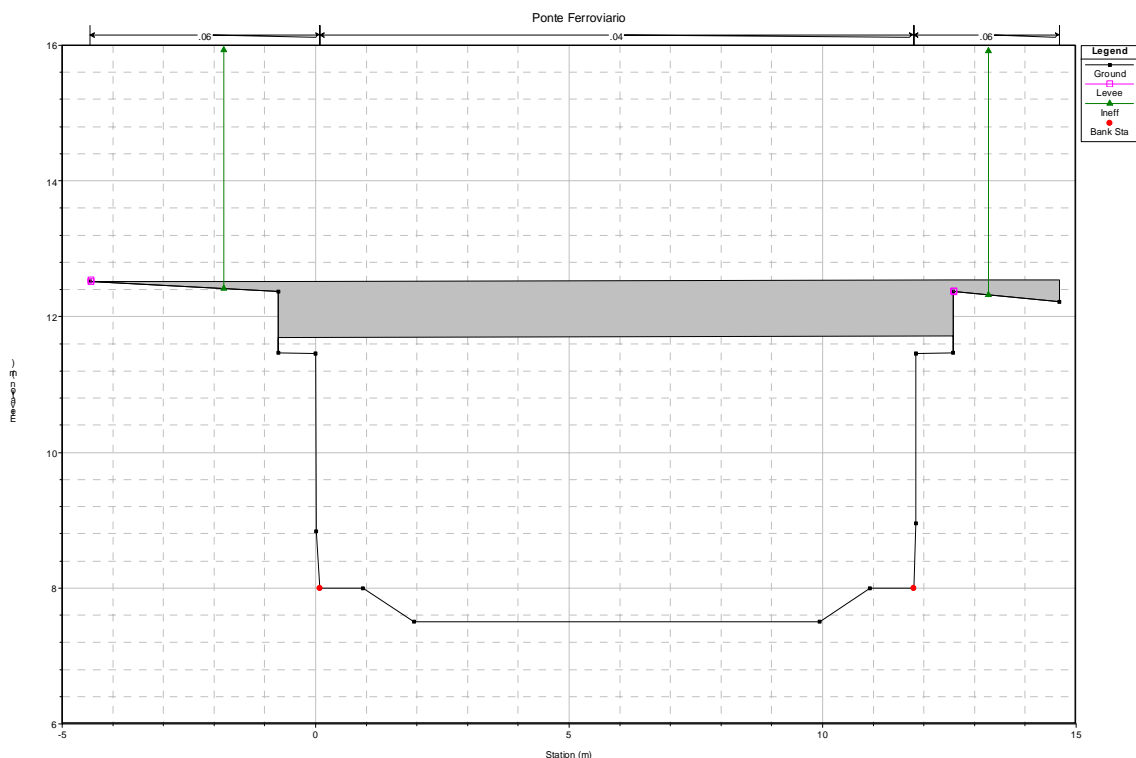


figura 4.5 – Sezione tipo con gaveta – Ponte Ferroviario

5 FOSSO PALIDORO (DELLE CADUTE)

5.1 Situazione Attuale

Inquadramento territoriale

Il tratto del Fosso delle Cadute considerato va da poco a monte del ponte di via Aurelia, in località Palidoro, fino al litorale. La cartografia disponibile, CTR Regione Lazio – fogli 373060 e 373070 e carta digitale del comune di Fiumicino elaborata da CARTESIA, consente di individuare le infrastrutture intercettate dal corso d'acqua e di valutare la morfologia del territorio. La carta digitale CARTESIA, in particolare, evidenzia la presenza e l'ubicazione delle strade e delle costruzioni presenti, oltre a fornire le quote del terreno e dei punti significativi.

Lo stato attuale del corso d'acqua in esame è stato valutato in base ai rilievi topografici delle sezioni d'alveo e delle opere d'arte, eseguiti dal *Consorzio di Bonifica del Tevere e dell'Agro Romano*.

Nella figura 5.1 è mostrato il profilo longitudinale dell'alveo e degli argini.

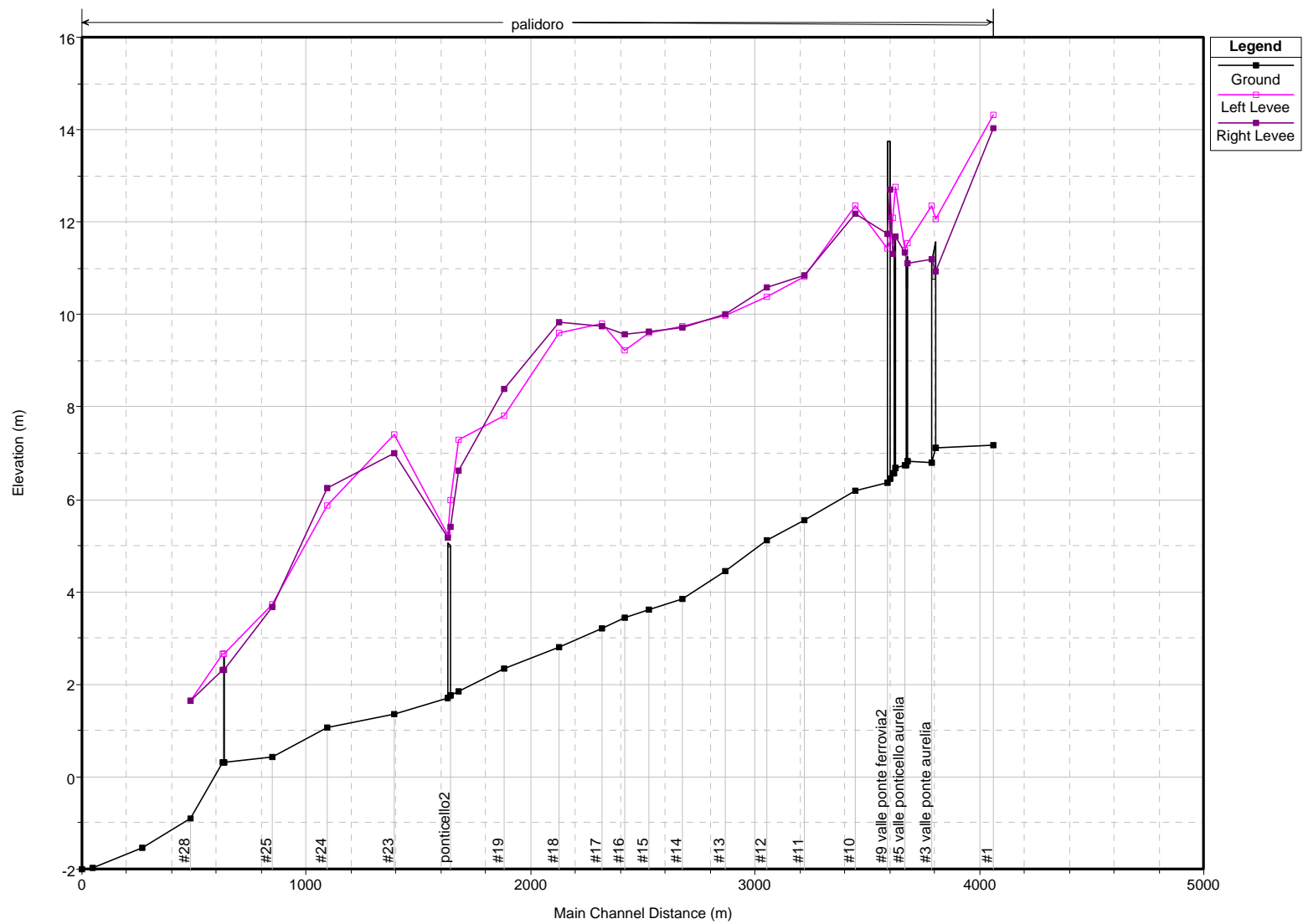


figura 5.1 – Profilo longitudinale del fondo alveo e dei coronamenti arginali

5.2 Profili di corrente

I valori prescelti per l'indice di scabrezza di Manning nel corso d'acqua in esame, valutati in base alle osservazioni in situ e confrontando le condizioni dell'alveo e degli argini con quelle riportate nei manuali, sono i seguenti:

0,060 sugli argini,

0,040 in alveo.

Per l'ultimo tratto, da ponte S. Carlo fino alla foce, poiché il canale è prevalentemente sabbioso e gli argini scompaiono, lasciando il posto alla duna costiera, l'indice di scabrezza utilizzato è invece inferiore e pari a:

0,035 fino alla passerella pedonale,

0,030 fino alla foce.

La foce è stata schematizzata come nei casi precedenti.

Le portate considerate sono quelle riportate nella tabella 5.1.

Tabella 5.1 – Tempi di ritorno e portate di calcolo

<i>Tr</i>	<i>Q</i>
(<i>anni</i>)	(<i>m³/s</i>)
30	110.6
50	137.0
100	175.4
200	217.1
500	277.0

Nella figura 5.2 sono riportati i profili di corrente calcolati.

Si possono individuare, con la portata trentennale, già alcuni problemi di deflusso in corrispondenza di ponte S. Carlo, la cui luce è indubbiamente insufficiente, rigurgitando la corrente per un lungo tratto a monte.

La situazione più critica risulta quella del ponte della ferrovia "Roma – Pisa", la cui luce è di soli 8 m e la quota dell'impalcato inferiore, a 11.14 m s.l.m., determina un'altezza rispetto al fondo dell'alveo di circa 4.5 m. L'area disponibile, quindi, è di circa 35 m², non sufficiente al deflusso della portata con tempo di ritorno di 100 anni.

Simulando la situazione in cui ponte S. Carlo venga ristrutturato secondo il progetto del Comune di Fiumicino, si nota che tale intervento da solo, pur eliminando il rigurgito causato dal ponte attuale e riducendo sensibilmente i livelli idrici, non è sufficiente ad evitare la tracimazione del ponte della ferrovia per la portata duecentennale e di quelli di via Cuggiani e di via Aurelia per la portata trentennale.

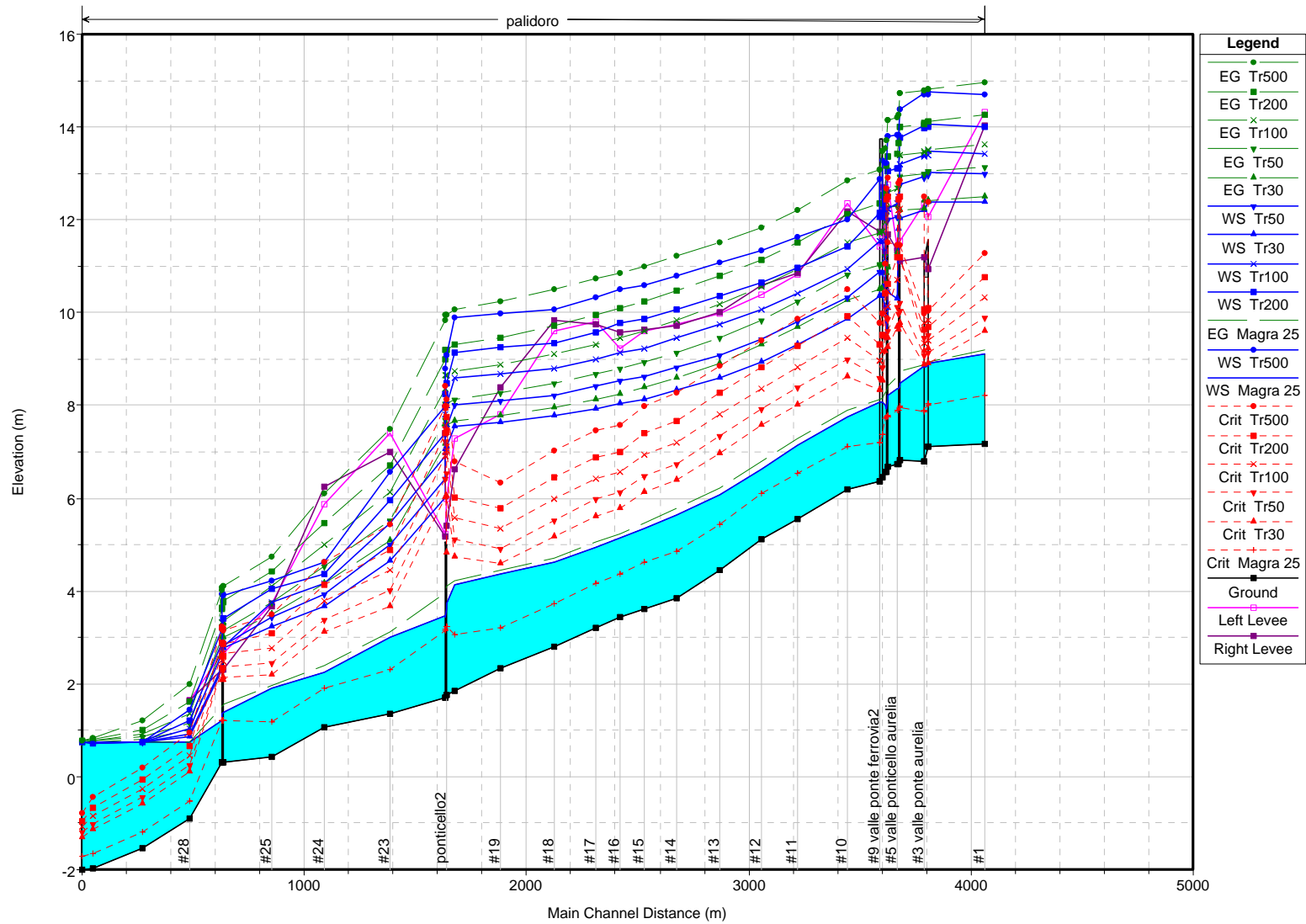


figura 5.2 – Profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: situazione attuale

5.3 Interventi proposti

Gli effetti degli interventi di ristrutturazione di alcuni dei manufatti presenti lungo il tratto terminale del Fosso delle Cadute, secondo i progetti del Comune di Fiumicino per ponte S. Carlo e dell'ANAS per il ponte dell'Aurelia, sono stati valutati mediante simulazione idraulica con il modello citato, in cui si sono sostituite le attuali sezioni dei ponti con quelle di progetto. Gli interventi, descritti successivamente, sono riportati nella tavola 10.

Nella figura 5.3 sono riportati i profili di corrente in seguito alle sistemazioni proposte.

I profili di corrente ottenuti pongono in evidenza l'esigenza di allargare le sezioni del tratto tra il nuovo ponte a valle della ferrovia e ponte S. Carlo, poiché il ponte della linea ferroviaria non può essere modificato. La soluzione proposta consiste in un allargamento delle sezioni, solo da un lato per contenere l'intervento, realizzando una golena di 15 m ad un'altezza di circa 0,5 m rispetto al fondo dell'alveo, mantenendo la pendenza degli argini e la quota della loro sommità pari a quella attuale. Anche la sezione in corrispondenza della passerella pedonale viene allargata, con conseguente rifacimento della stessa.

La sezione tipo proposta è illustrata nella figura 5.4.

È comunque necessario aumentare l'area della sezione del ponte della ferrovia, per evitare che i livelli idrici raggiungano la quota dell'impalcato inferiore. A tal fine si propone la realizzazione di due tombini scatolari, messi in opera mediante la tecnica dello spingitubo, di larghezza 7 m e altezza 5.32 m, approfondendo l'alveo in corrispondenza di dette aperture e ridisegnando il profilo del fondo, in modo da ridurre la pendenza. Inoltre la sezione in corrispondenza del nuovo ponte a valle della ferrovia viene allargata fino al muro di spalla del ponte. Dal nuovo ponte dell'Aurelia fino a quest'ultimo si propone anche la realizzazione di muri di sponda, con pendenza sub-verticale.

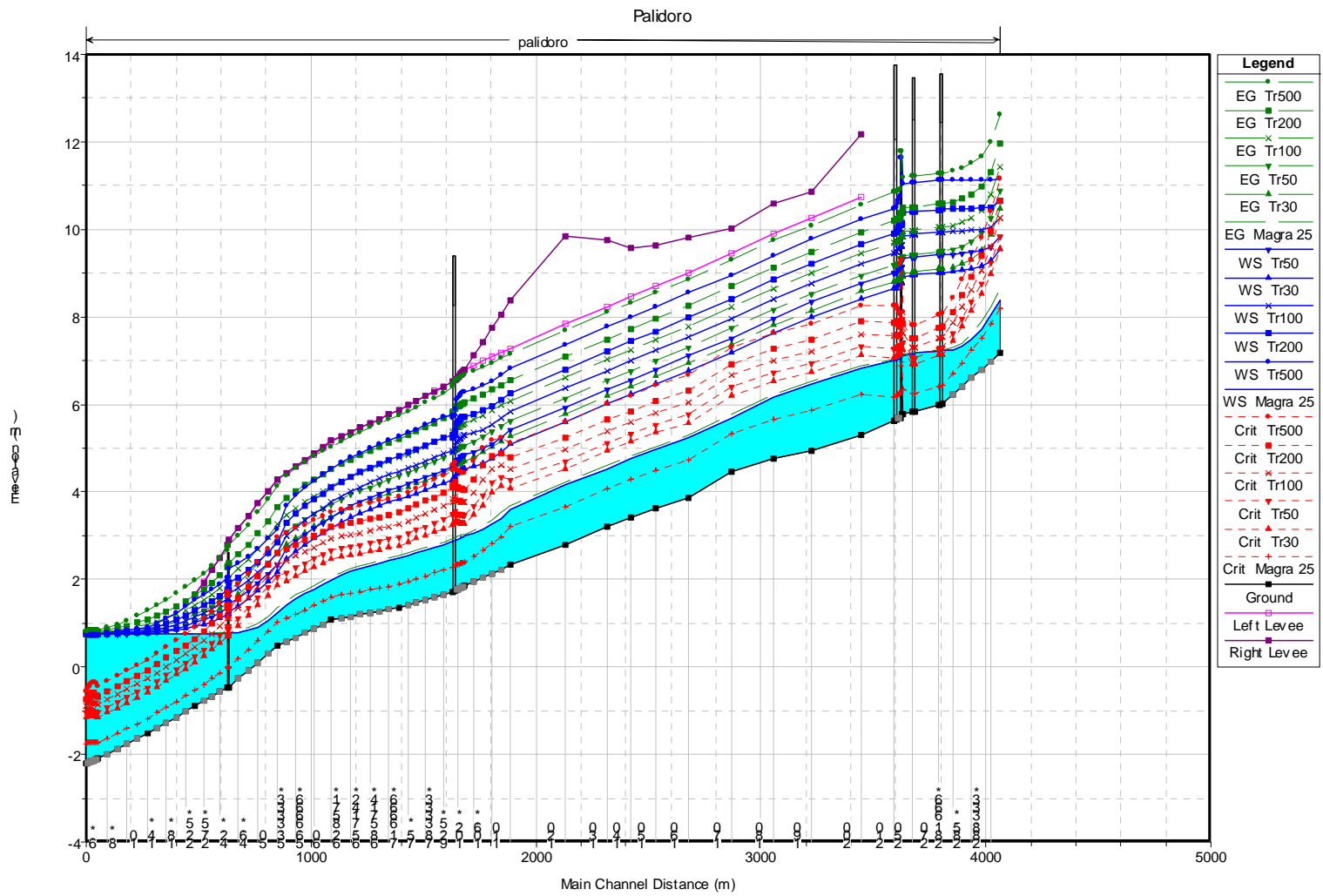


figura 5.3 – Profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: dopo le sistemazioni proposte

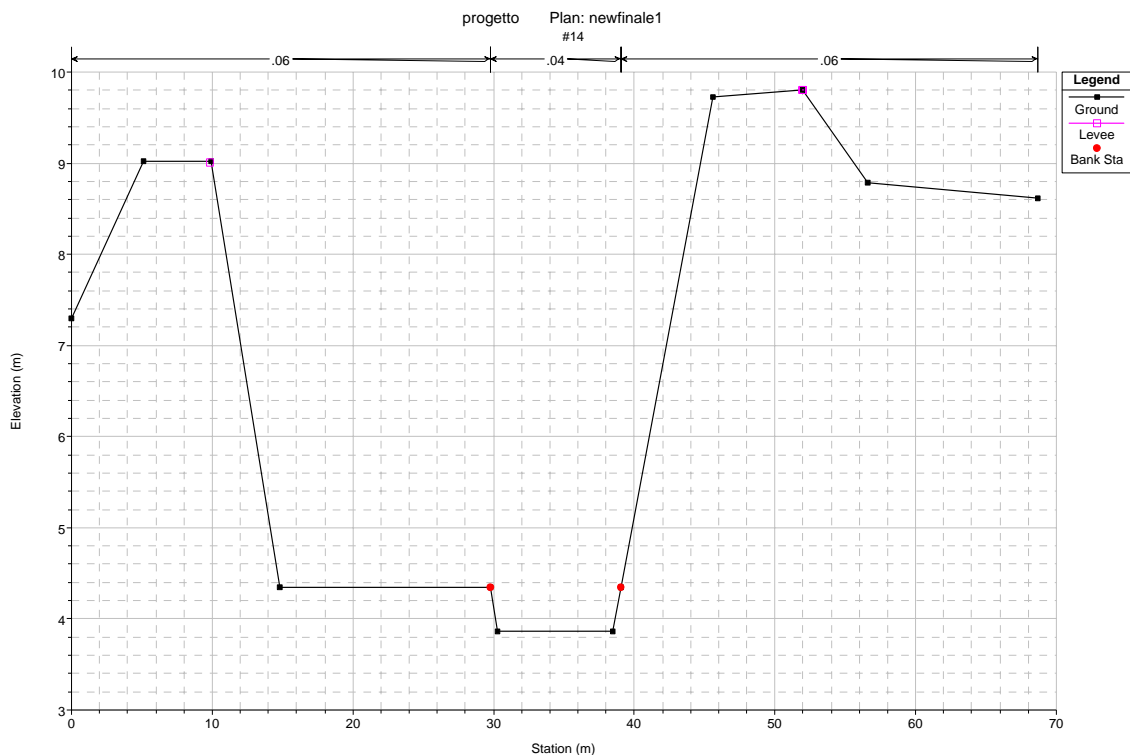


figura 5.4 – Sezione d'alveo tipo proposta

6 FIUME MIGNOME

6.1 Situazione Attuale

Inquadramento territoriale

Il tratto del Fiume Mignone considerato va da poco a monte del ponte della via Aurelia, all'altezza del km 85 circa, fino alla foce tra le località "La Cerreta" e "S. Giorgio", poco a nord dell'abitato di Bagni S. Agostino. La cartografia disponibile, CTR Regione Lazio – fogli 354140, 363010 e 363020, consente di individuare le infrastrutture intercettate dal corso d'acqua e di valutare la morfologia del territorio.

Nella figura 6.1 è mostrato il profilo longitudinale dell'alveo e degli argini.

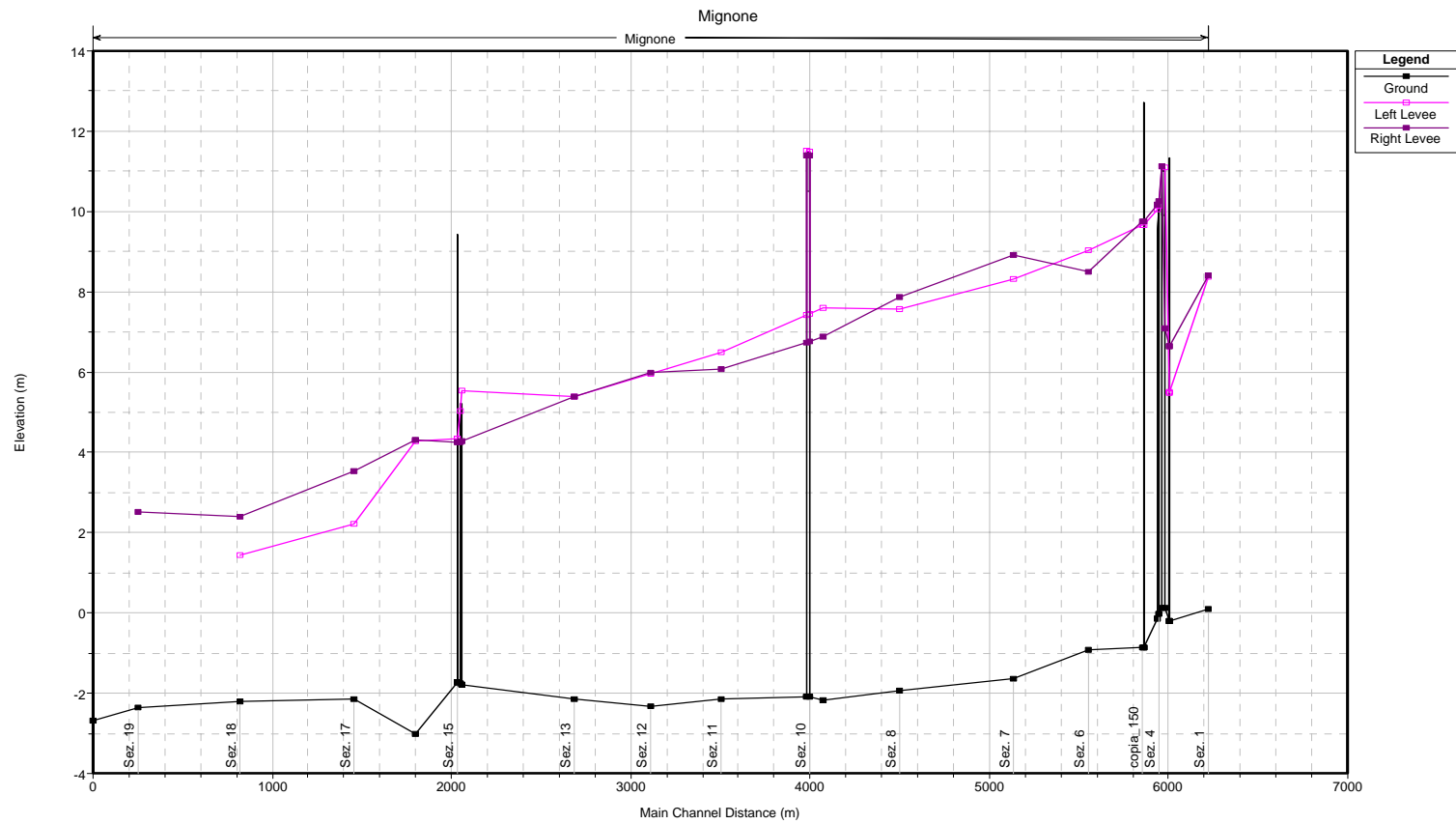


figura 6.1 – Profilo longitudinale del fondo alveo e dei coronamenti arginali

Profili di corrente

I valori prescelti per l'indice di scabrezza di Manning nel corso d'acqua in esame, valutati in base alle osservazioni in situ e confrontando le condizioni dell'alveo e degli argini con quelle riportate nei manuali, sono i seguenti:

0,060 sugli argini,

0,040 in alveo.

Per l'ultimo tratto, in prossimità della foce, poiché il canale è prevalentemente sabbioso e gli argini scompaiono, lasciando il posto alla duna costiera, l'indice di scabrezza utilizzato è invece pari a 0,030.

La foce è stata schematizzata come nei casi precedenti.

Le portate considerate sono quelle riportate nella tabella 6.1.

Tabella 6.1 – Tempi di ritorno e portate di calcolo

<i>Tr</i> (anni)	<i>Q</i> (m ³ /s)
30	626.2
50	726.0
100	866.9
200	1014.7
500	1220.7

Nella figura 6.2 sono riportati i profili di corrente calcolati.

Si può notare che le attuali difese arginali sono in grado di contenere la portata trentennale, ma risultano insufficienti sia per la duecentennale che per la cinquecentennale. Tuttavia i ponti acquedotto si trovano ad una quota tale da non venir sommersi dal flusso idrico, così come il ponte della ferrovia Roma – Pisa, la cui quota dell'impalcato inferiore si trova 2,2 m al di sopra di quella dei carichi totali della portata duecentennale e ad 1,4 m al di sopra di quella della portata cinquecentennale.

Il ponte di via Aurelia presenta un funzionamento in pressione per la portata duecentennale, mentre viene tracimato dal flusso idrico per la portata cinquecentennale. Questa situazione è sicuramente determinata dalla presenza dal ponte della vecchia via Aurelia, che, ostruendo il deflusso idrico, causa l'innalzamento dei livelli idrici a monte.

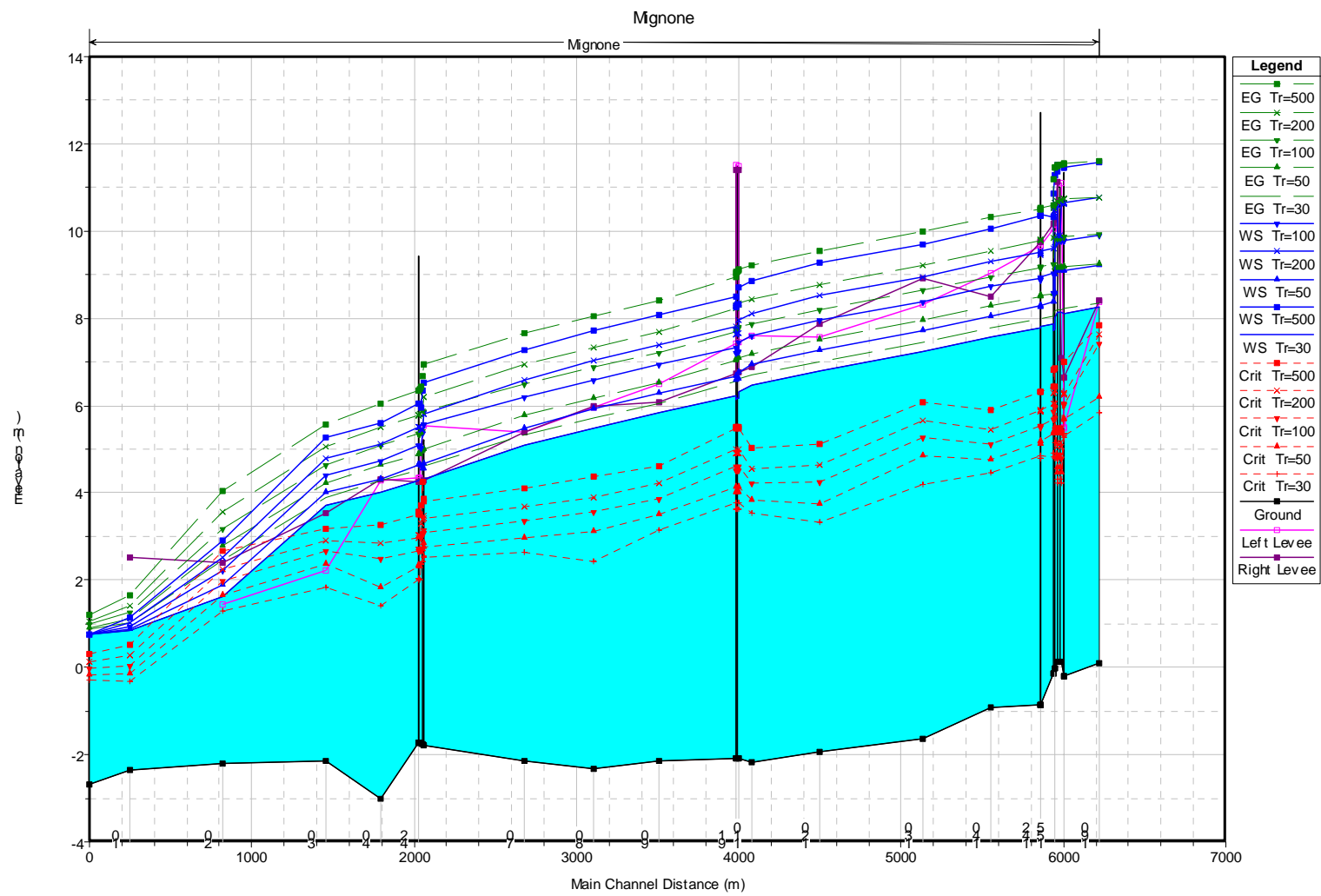


figura 6.2 – Profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: situazione attuale

7 TORRENTE TAFONE

7.1 Situazione Attuale

Inquadramento territoriale

Il tratto del Fosso del Tafone considerato va da poco a monte del ponte della via Aurelia, all'altezza del km 116.500 circa, fino alla foce in prossimità della riserva naturale del "Tombolo del Paglieto grande". La cartografia disponibile, CTR Regione Lazio – foglio 353030, consente di individuare le infrastrutture intercettate dal corso d'acqua e di valutare la morfologia del territorio.

Nella figura 7.1 e 7.2 sono mostrati, rispettivamente per il fosso Tafone e per il fosso di Ponte rotto, il profilo longitudinale dell'alveo e degli argini.

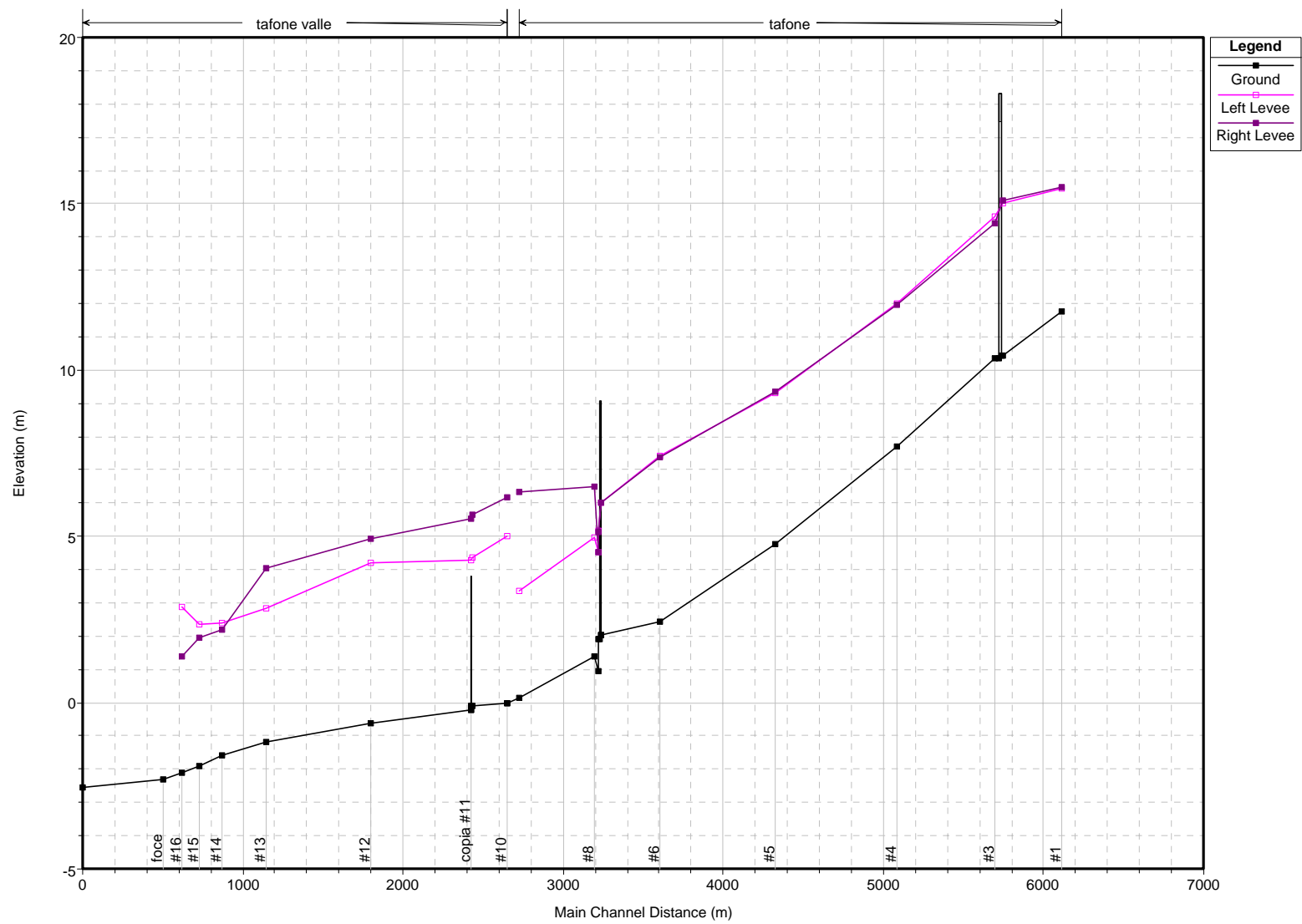


figura 7.1 – Fosso Tafone: profilo longitudinale del fondo alveo e dei coronamenti arginali

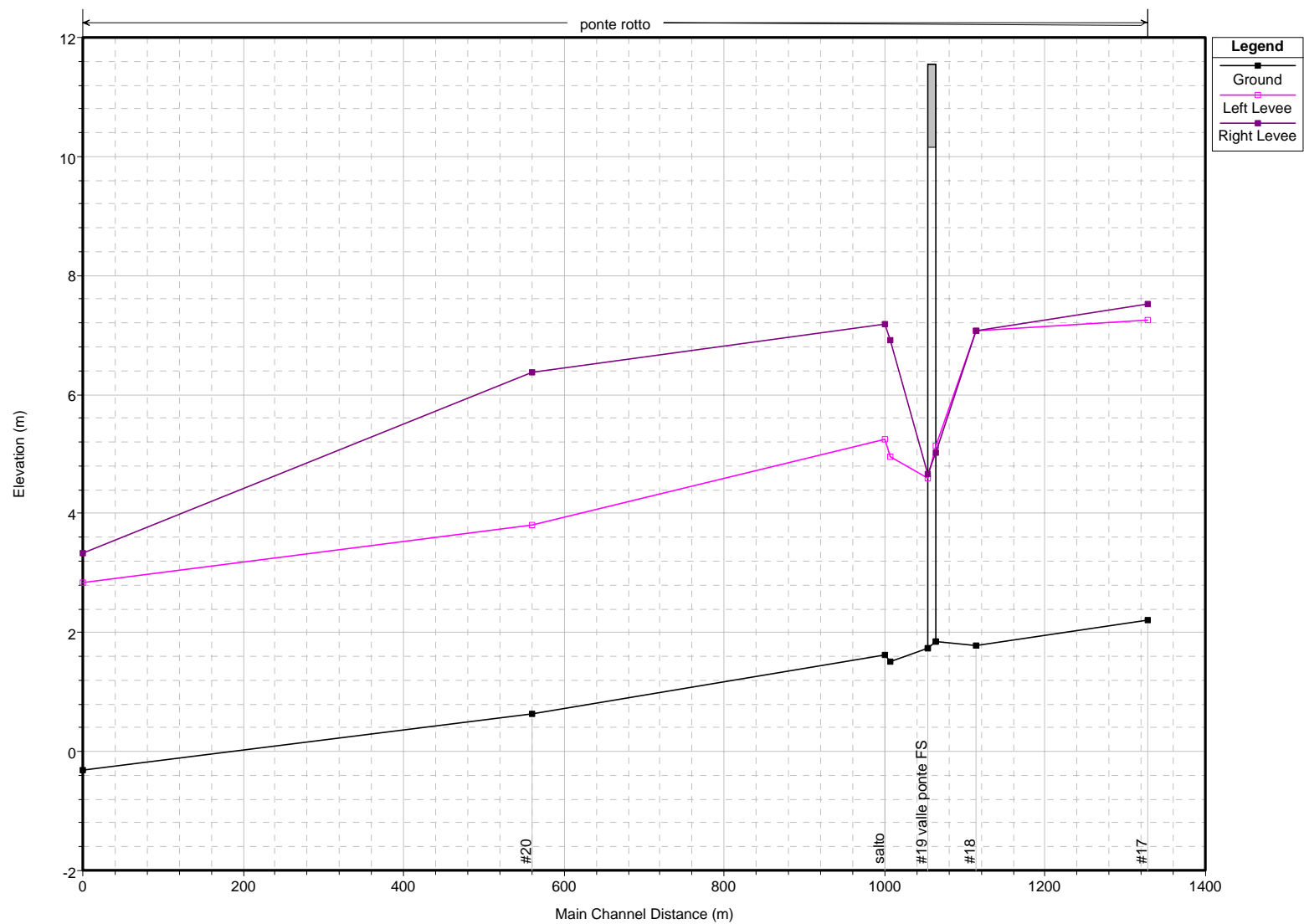


figura 7.2 – Fosso di Ponte Rotto: profilo longitudinale del fondo alveo e dei coronamenti arginali

Profili di corrente

I valori prescelti per l'indice di scabrezza di Manning nel corso d'acqua in esame, valutati in base alle osservazioni in situ e confrontando le condizioni dell'alveo e degli argini con quelle riportate nei manuali, sono i seguenti:

0,060 sugli argini,

0,040 in alveo.

Per l'ultimo tratto, in prossimità della foce, poiché il canale è prevalentemente sabbioso e gli argini scompaiono, lasciando il posto alla duna costiera, l'indice di scabrezza utilizzato è invece pari a 0,030.

La foce è stata schematizzata come nei casi precedenti.

Il modello idraulico comprende il fosso del Tafone ed il fosso di Ponte Rotto, costituendo un reticolo schematico formato da tre rami:

- il fosso del Tafone con sezione di chiusura in corrispondenza della confluenza del fosso di Ponte Rotto (bacino Tafone monte),
- il fosso di Ponte di Rotto con sezione di chiusura in corrispondenza della sua confluenza nel Tafone (bacino P.te Rotto),
- il fosso del Tafone dalla confluenza del fosso di Ponte Rotto fino alla foce (bacino Tafone valle).

Le portate considerate sono quelle riportate nella tabella 7.1.

Tabella 7.1 – Tempi di ritorno e portate di calcolo

<i>Tafone monte</i>		<i>P.te Rotto</i>		<i>Tafone valle</i>	
<i>Tr</i>	<i>Q</i>	<i>Tr</i>	<i>Q</i>	<i>Tr</i>	<i>Q</i>
<i>(anni)</i>	<i>(m³/s)</i>	<i>(anni)</i>	<i>(m³/s)</i>	<i>(anni)</i>	<i>(m³/s)</i>
30	219,4	30	170,3	30	267,6
50	264,4	50	205,7	50	323,0
100	326,3	100	254,4	100	399,4
200	389,3	200	303,8	200	477,2
500	474,3	500	370,6	500	582,5

Nelle figure 7.3 e 7.4 sono riportati i profili di corrente calcolati.

Si può notare che a valle del ponte della ferrovia in destra idraulica le quote arginali sono sufficienti a contenere piene con tempo di ritorno inferiore a $T = 500$ anni, mentre l'argine sinistro viene tracimato già con una portata trentennale. Immediatamente a valle del ponte della ferrovia l'interruzione dell'argine destro, provocata da una strada poderale con attraversamento a guado del fosso Tafone, causa un'esondazione locale già con una portata con tempo di ritorno $T = 30$ anni, aggirando la difesa idraulica di valle.

A monte del ponte della ferrovia non sono presenti arginature, mentre il ponte della ferrovia stesso viene tracimato a partire da una portata con tempo di ritorno $T = 100$ anni mentre il ponte dell'Aurelia è sufficiente a far defluire una portata duecentennale, mentre viene tracimato dalla portata cinquecentennale. Il ponte della ferrovia sul fosso di Ponte Rotto è invece sufficiente a far defluire anche la portata cinquecentennale.

7.2 Situazione con il nuovo ponte proposto dalla ferrovia sul Tafone

A causa di un evento alluvionale che ha tracimato il ponte della ferrovia sul torrente Tafone, asportando un tratto di rilevato con interruzione della linea, l'Ente ferroviario ha proposto in rifacimento del ponte redigendo un relativo progetto. Nelle figure 7.5 e 7.6 sono riportate le sezioni del ponte attuale e del nuovo ponte proposto.

Successivamente si riportano i risultati delle simulazioni idrauliche, avendo sostituito il ponte attuale con quello di progetto, tenendo conto anche delle modifiche proposte dall'Ente ferroviario per l'adeguamento della sezione d'alveo per circa 100 m a monte e 100 m a valle del ponte stesso.

Nella figura 7.7 sono riportati i profili di corrente calcolati per il Tafone nella nuova situazione progettuale.

Come si può vedere dai profili idrici illustrati, il nuovo ponte consente il deflusso anche della piena con tempo di ritorno $T = 500$ anni. Peraltro il progetto della ferrovia non risolve il problema dell'esondazione in destra idraulica immediatamente a valle del ponte, non prevedendo il raccordo tra l'argine destro del fosso Tafone e il rilevato ferroviario, ancora separati dalla strada podereale citata.

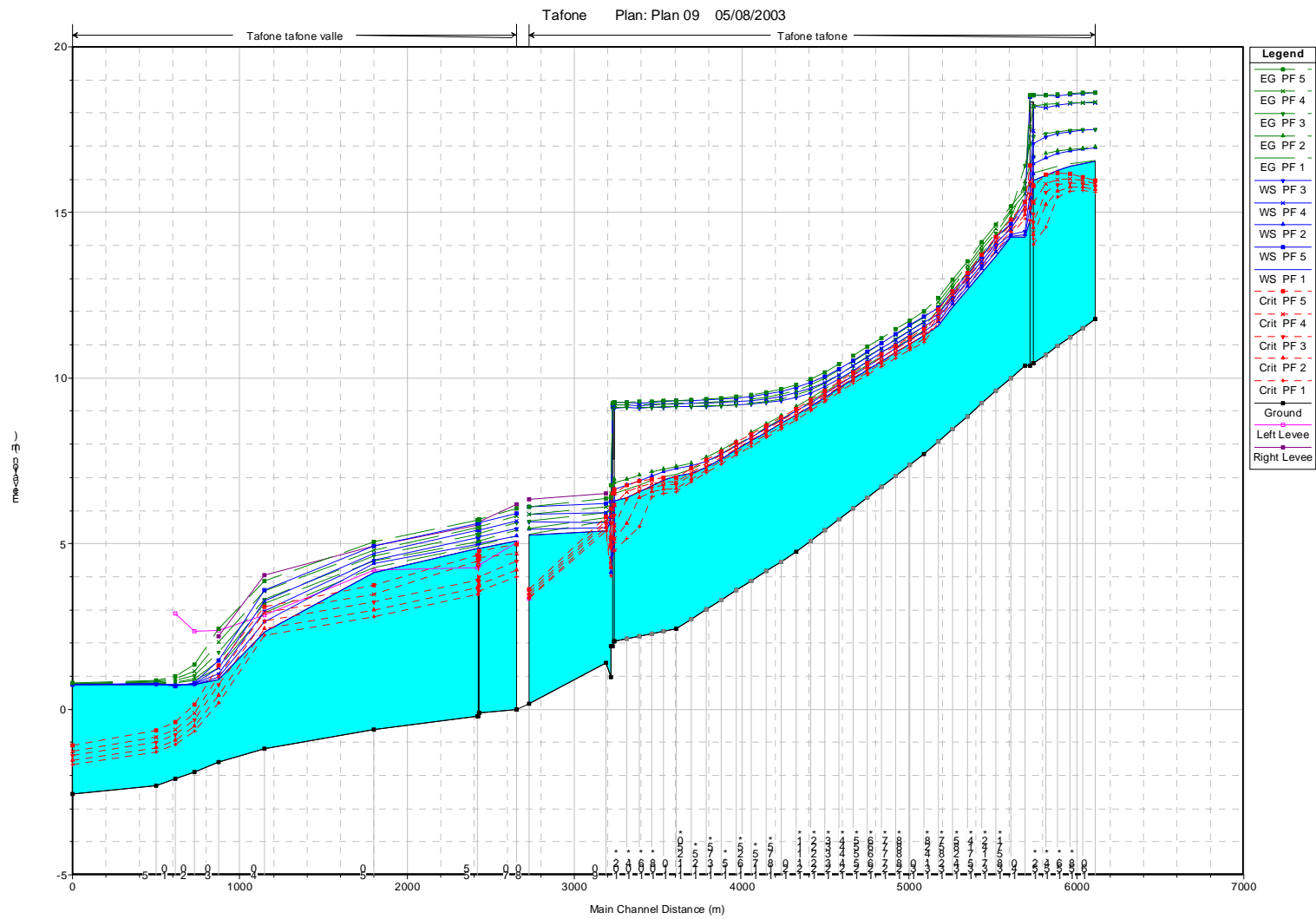


figura 7.3 – Fosso Tafone: profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: situazione attuale

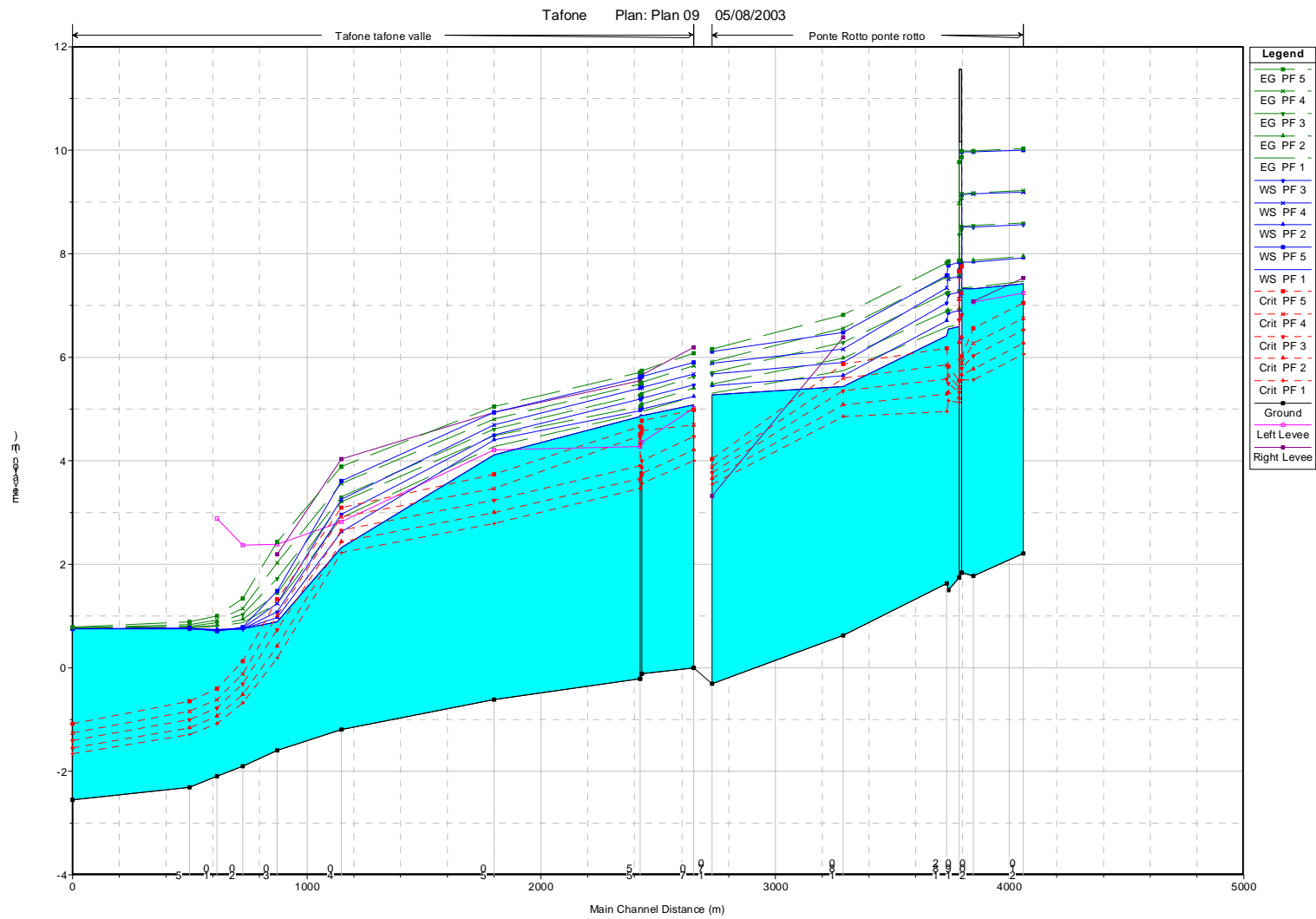


figura 7.4 – Fosso di Ponte Rotto: profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: situazione attuale

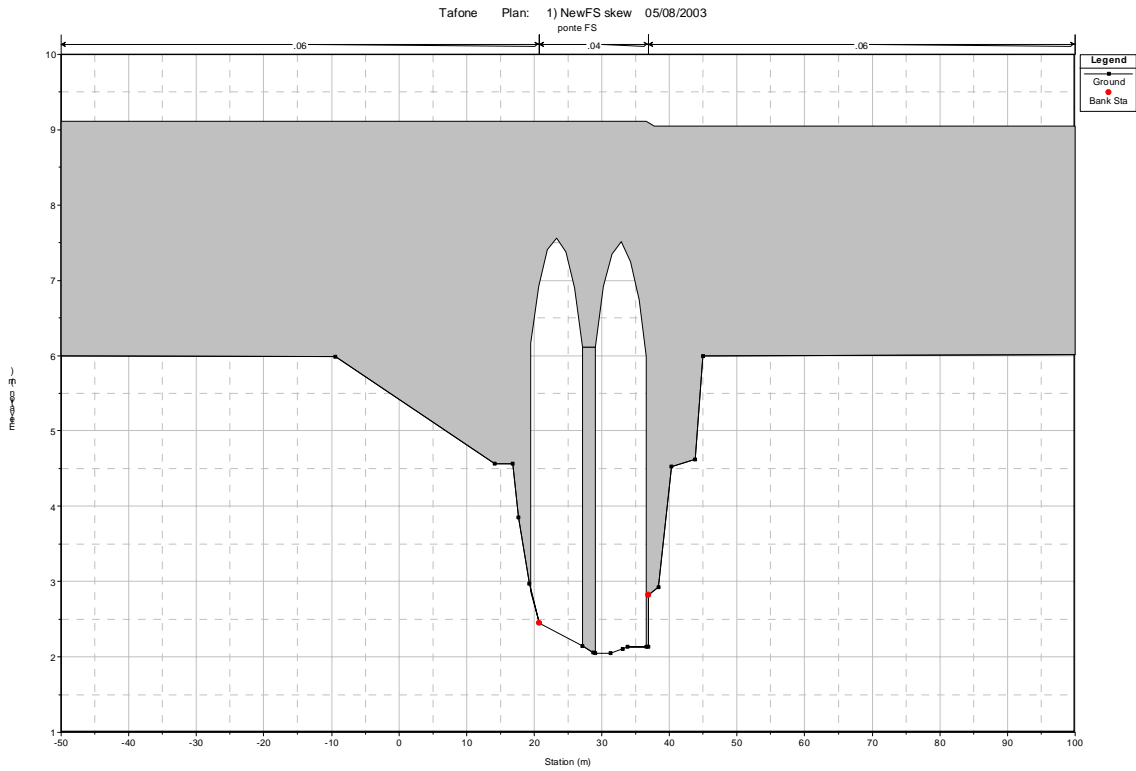


figura 7.5 – Sezione del ponte ferroviario: situazione attuale

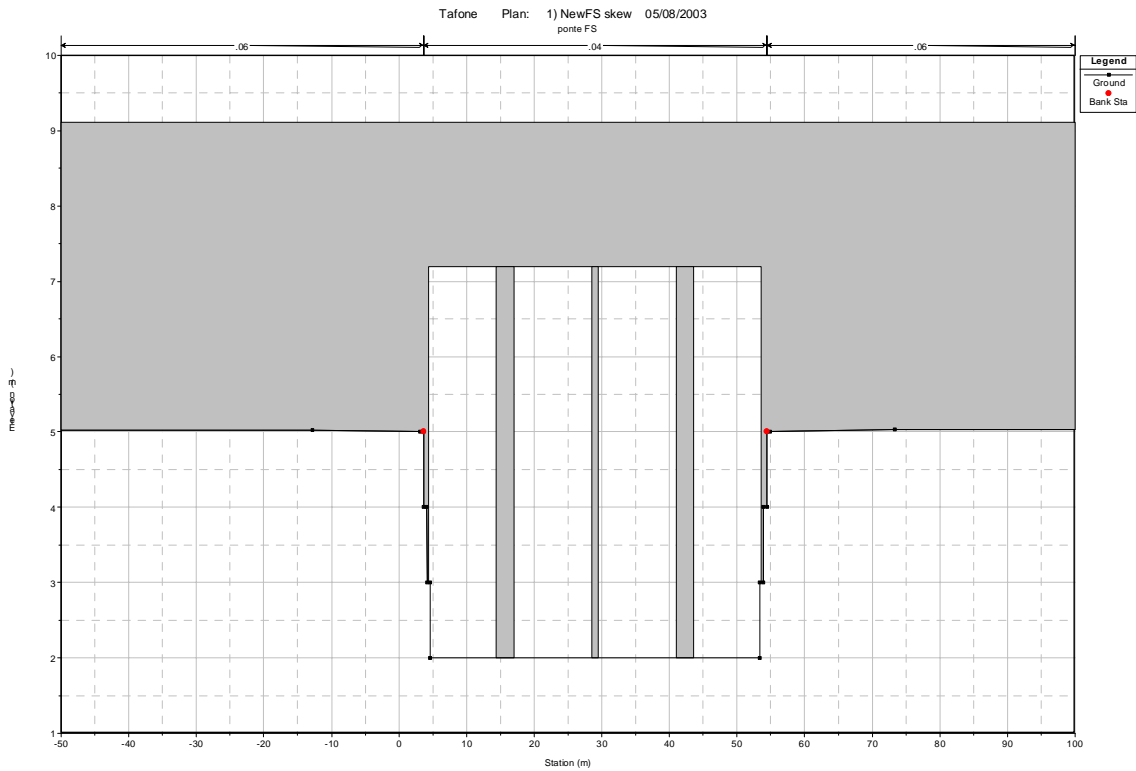


figura 7.6 – Sezione del ponte ferroviario: proposta dell'Ente ferroviario

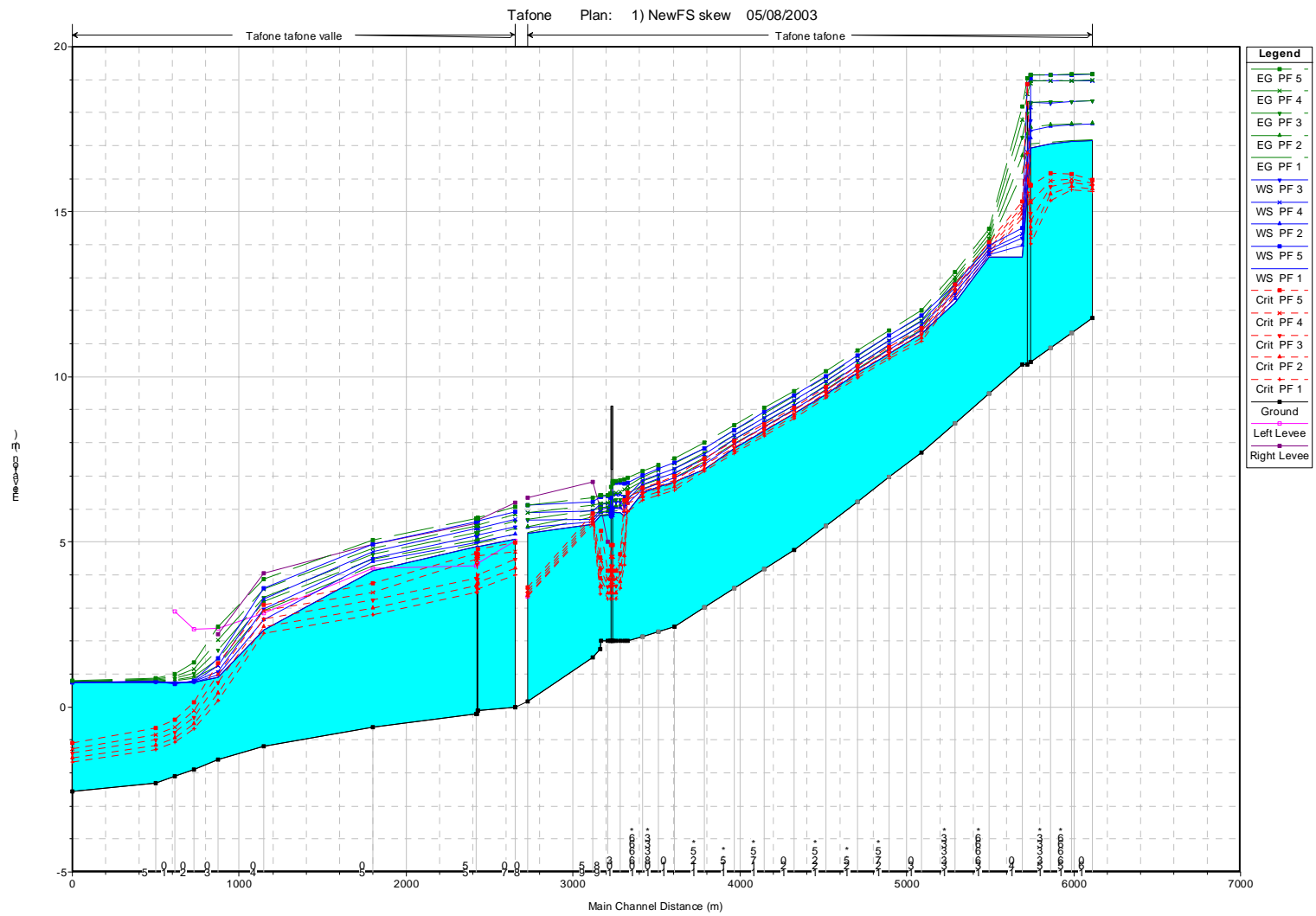

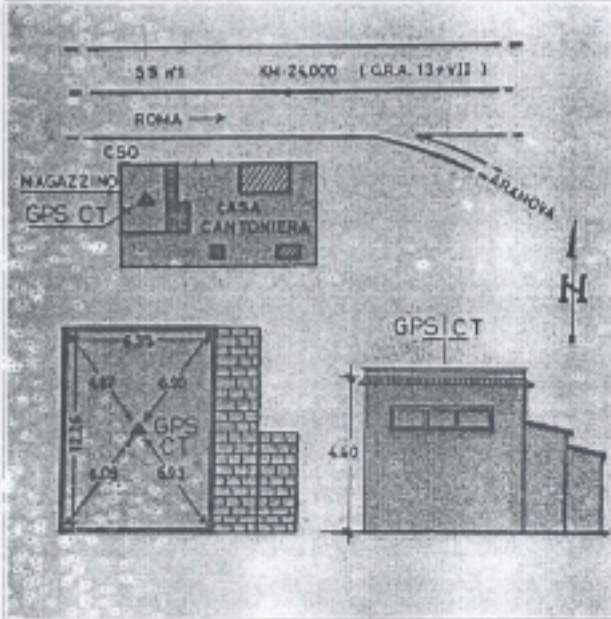


figura 7.7 – Fosso Tafone: profili di corrente per i tempi di ritorno esaminati: situazione di progetto

APPENDICE
(Caposaldi)

Riproduzione della scheda IGM dei Caposaldi di appoggio per i rilievi del fiume Arrone e del fosso Tre Denari

		CASA CANTONIERA (Km 24 SS. 1)		149701	373 sez I	149 ISD	
Nazione: ITALIA Provincia: ROMA Comune: ROMA Carabinieri: MACCARESE		Proprietà: A.N.A.S. - Azienda Nazionale Autonoma delle Strade - Compartimento di Roma Indirizzo: Via Stazione Cesaro Comune: ROMA Cap: 00100 Tel: 063037112 Fax: Provincia: ROMA					
Materializzazione: Cerchio di tipo "GPS C" fissato alla sommità della copertura del magazzino annesso alla casa cantoniera posta al Km 24 della SS. 1 (numero civico 2403).		Geografiche (Roma40) φ: 41°54'55,1132" λ: -00°12'38,3402"		Plane (Gauss-Boaga) N: 4.645.540,650 E: 1.768.898,197 N: 4.644.133,779 E: 2.291.286,094		Geografiche (WGS84) φ: 41°54'57,4450" λ: 12°14'31,2995" Quota ell.: 129,459 N: 4.644.124,122 E: 271.281,348	
Quota s.l.m.: 81,290 <small>Le coordinate nel Sistema Roma40 sono state calcolate dalle coordinate WGS84, usando l'algoritmo di trasformazione.</small>		Quota ell.: 129,459 <small>Le coordinate nel Sistema WGS84 sono state determinate nell'anno 1996.</small>					
Accesso: SS. 1 (Aurelia) Km 24, numero civico 2403.							
Informazioni ausiliarie: E' indispensabile l'uso di una scala per accedere al punto.		Punti di integrazione (pedoni, etc.) Con quota derivata da capacità di livellazione (Rice Forc.) Produttore: IGM Stazioni astronomiche:					
Segnalizzato: 3D08/1994 G8M-94 Cart. Aledda A. Ultimo intervento: 27/06/2001 GFT1 Cart. Bocci M.							

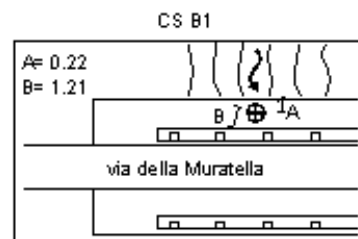
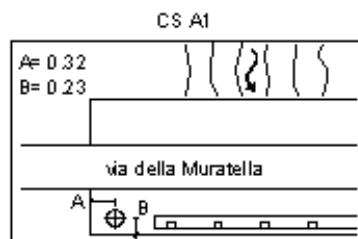
ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE - Servizio Geodetico - Via di Novoli, 93 - 50127 FIRENZE - ☎ 055 2732442 📠 055 417909

Caposaldi dei rilievi sul fiume Arrone

Borchia metallica monumentata nei pressi dello spigolo del cordolo di bordura del ponte su via della Muratella del fiume Arrone lato monte sponda sinistra.

Coordinate

Gauss-Boaga	UTM
N= 4640637.928	N= 4640821.11
E= 2290759.608	E= 270823.92
Q= 12.227	Q= 12.227



Borchia metallica monumentata in asse al ponte su via della Muratella del fiume Arrone, lato valle.

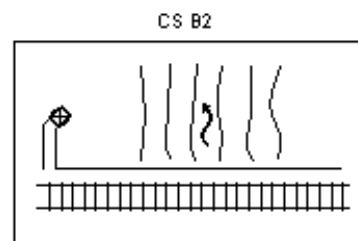
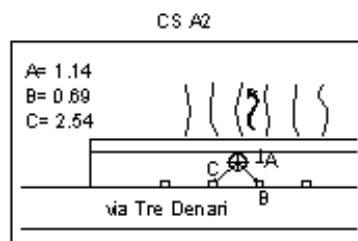
Coordinate

Gauss-Boaga	UTM
N= 4640626.459	N= 4640809.64
E= 2290772.857	E= 270837.17
Q= 12.396	Q= 12.396

Borchia metallica monumentata in asse al ponte su via di Tre Denari del fiume Arrone, lato valle.

Coordinate

Gauss-Boaga	UTM
N= 4640465.069	N= 4640648.25
E= 2290426.957	E= 270491.27
Q= 11.089	Q= 11.089



Borchia metallica monumentata sul muretto di protezione, a valle del ponte ferroviario, sponda sinistra.

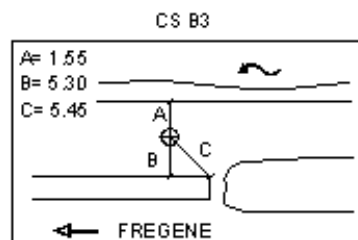
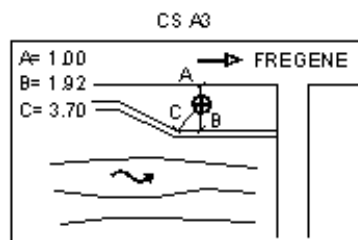
Coordinate

Gauss-Boaga	UTM
N= 4640463.479	N= 4640646.66
E= 2290461.227	E= 270525.54
Q= 9.680	Q= 9.680

Borchia metallica monumentata a valle del ponte di Maccarese, sull'argine sinistro.

Coordinate

Gauss-Boaga	UTM
N= 4639830.006	N= 4640013.20
E= 2288925.441	E= 268989.76
Q= 6.566	Q= 6.566



Borchia metallica monumentata sulla sponda in cls, a monte del ponte di Maccarese, sponda sinistra.

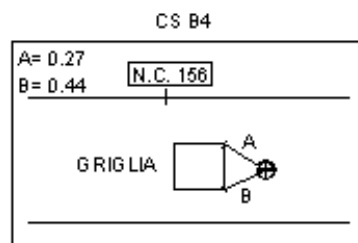
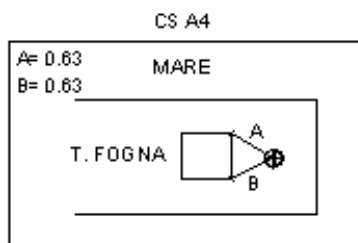
Coordinate

Gauss-Boaga	UTM
N= 4639875.419	N= 4640059.13
E= 2289061.938	E= 269126.28
Q= 4.885	Q= 4.885

Borchia metallica monumentata su pilastro in travertino, alla fine della strada lungomare.

Coordinate

Gauss-Boaga	UTM
N= 4639049.455	N= 4639232.65
E= 2286247.120	E= 266311.51
Q= 1.844	Q= 1.844

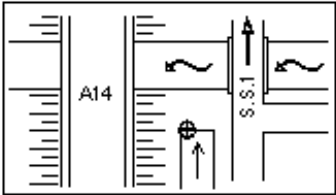
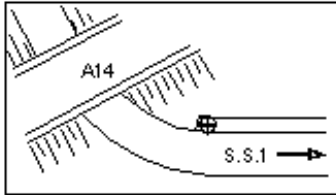
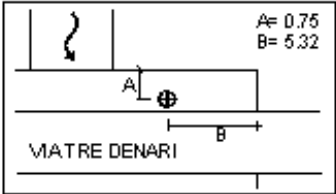
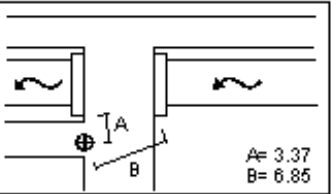
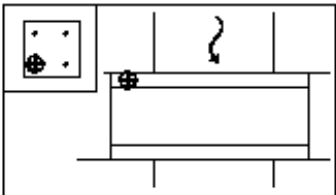
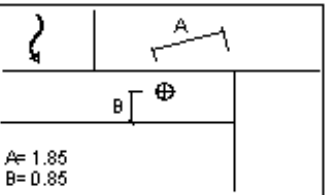
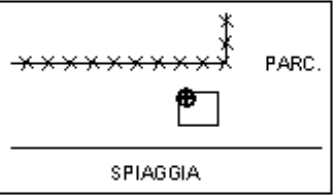
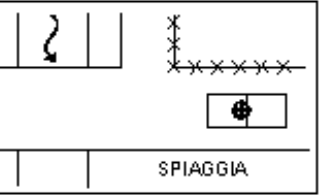


Borchia metallica monumentata in asse alla strada lungomare, all'altezza del numero civico 156.



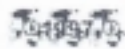
Coordinate

Gauss-Boaga	UTM
N= 4638863.626	N= 4639046.83
E= 2286316.439	E= 266380.83
Q= 2.487	Q= 2.487

Caposaldi dei rilievi del fosso Tre Denari

<p>Chiodo monumentato sul bordo del canale, in cls, della raccolta acque piovane</p>	<p style="text-align: center;">CS C1</p> 	<p style="text-align: center;">CS D1</p> 	<p>Chiodo monumentato sul cordolo, in cls, posto lungo la strada</p>																
<p style="text-align: center;">Coordinate</p> <table border="0"> <tr> <td>Gauss-Boaga</td> <td>UTM</td> </tr> <tr> <td>N= 4644603.214</td> <td>N= 4644786.26</td> </tr> <tr> <td>E= 2288163.889</td> <td>E= 268228.23</td> </tr> <tr> <td>Q= 15.313</td> <td>Q= 15.313</td> </tr> </table>	Gauss-Boaga	UTM	N= 4644603.214	N= 4644786.26	E= 2288163.889	E= 268228.23	Q= 15.313	Q= 15.313		<p style="text-align: center;">Coordinate</p> <table border="0"> <tr> <td>Gauss-Boaga</td> <td>UTM</td> </tr> <tr> <td>N= 4644449.329</td> <td>N= 4644632.38</td> </tr> <tr> <td>E= 2288251.230</td> <td>E= 268315.57</td> </tr> <tr> <td>Q= 15.088</td> <td>Q= 15.088</td> </tr> </table>	Gauss-Boaga	UTM	N= 4644449.329	N= 4644632.38	E= 2288251.230	E= 268315.57	Q= 15.088	Q= 15.088	
Gauss-Boaga	UTM																		
N= 4644603.214	N= 4644786.26																		
E= 2288163.889	E= 268228.23																		
Q= 15.313	Q= 15.313																		
Gauss-Boaga	UTM																		
N= 4644449.329	N= 4644632.38																		
E= 2288251.230	E= 268315.57																		
Q= 15.088	Q= 15.088																		
<p>Chiodo monumentato sul marciapiede della strada via Tre Denari, lato monte, sponda sx</p>	<p style="text-align: center;">CS C2</p> 	<p style="text-align: center;">CS C3</p> 	<p>Chiodo monumentato in prossimità del ponte di via delle Pagliate, in sponda sx lato valle</p>																
<p style="text-align: center;">Coordinate</p> <table border="0"> <tr> <td>Gauss-Boaga</td> <td>UTM</td> </tr> <tr> <td>N= 4643983.043</td> <td>N= 4644166.11</td> </tr> <tr> <td>E= 2287898.888</td> <td>E= 267963.23</td> </tr> <tr> <td>Q= 13.133</td> <td>Q= 13.133</td> </tr> </table>	Gauss-Boaga	UTM	N= 4643983.043	N= 4644166.11	E= 2287898.888	E= 267963.23	Q= 13.133	Q= 13.133		<p style="text-align: center;">Coordinate</p> <table border="0"> <tr> <td>Gauss-Boaga</td> <td>UTM</td> </tr> <tr> <td>N= 4643483.931</td> <td>N= 4643667.00</td> </tr> <tr> <td>E= 2286902.952</td> <td>E= 266967.31</td> </tr> <tr> <td>Q= 10.552</td> <td>Q= 10.552</td> </tr> </table>	Gauss-Boaga	UTM	N= 4643483.931	N= 4643667.00	E= 2286902.952	E= 266967.31	Q= 10.552	Q= 10.552	
Gauss-Boaga	UTM																		
N= 4643983.043	N= 4644166.11																		
E= 2287898.888	E= 267963.23																		
Q= 13.133	Q= 13.133																		
Gauss-Boaga	UTM																		
N= 4643483.931	N= 4643667.00																		
E= 2286902.952	E= 266967.31																		
Q= 10.552	Q= 10.552																		
<p>Bullone di fissaggio del guard-rail del ponte in disuso lato monte, sponda dx</p>	<p style="text-align: center;">CS C4</p> 	<p style="text-align: center;">CS D4</p> 	<p>Chiodo monumentato su cordolo, in cls, del ponte in disuso lato monte, sponda sx</p>																
<p style="text-align: center;">Coordinate</p> <table border="0"> <tr> <td>Gauss-Boaga</td> <td>UTM</td> </tr> <tr> <td>N= 4642824.259</td> <td>N= 4643007.34</td> </tr> <tr> <td>E= 2285744.246</td> <td>E= 265808.63</td> </tr> <tr> <td>Q= 10.282</td> <td>Q= 10.282</td> </tr> </table>	Gauss-Boaga	UTM	N= 4642824.259	N= 4643007.34	E= 2285744.246	E= 265808.63	Q= 10.282	Q= 10.282		<p style="text-align: center;">Coordinate</p> <table border="0"> <tr> <td>Gauss-Boaga</td> <td>UTM</td> </tr> <tr> <td>N= 4642856.244</td> <td>N= 4643039.33</td> </tr> <tr> <td>E= 2285719.488</td> <td>E= 265783.87</td> </tr> <tr> <td>Q= 10.390</td> <td>Q= 10.390</td> </tr> </table>	Gauss-Boaga	UTM	N= 4642856.244	N= 4643039.33	E= 2285719.488	E= 265783.87	Q= 10.390	Q= 10.390	
Gauss-Boaga	UTM																		
N= 4642824.259	N= 4643007.34																		
E= 2285744.246	E= 265808.63																		
Q= 10.282	Q= 10.282																		
Gauss-Boaga	UTM																		
N= 4642856.244	N= 4643039.33																		
E= 2285719.488	E= 265783.87																		
Q= 10.390	Q= 10.390																		
<p>Borchia monumentata sul tombino posto lungo il sentiero che si trova in fondo al parcheggio del lido di Maccarese</p>	<p style="text-align: center;">CS C5</p> 	<p style="text-align: center;">CS D5</p> 	<p>Borchia monumentata sulla coppia di tombini posti lungo il sentiero che si trova in fondo al parcheggio del lido di Maccarese</p>																
<p style="text-align: center;">Coordinate</p> <table border="0"> <tr> <td>Gauss-Boaga</td> <td>UTM</td> </tr> <tr> <td>N= 4641893.725</td> <td>N= 4642076.83</td> </tr> <tr> <td>E= 2284695.515</td> <td>E= 264759.92</td> </tr> <tr> <td>Q= 2.766</td> <td>Q= 2.766</td> </tr> </table>	Gauss-Boaga	UTM	N= 4641893.725	N= 4642076.83	E= 2284695.515	E= 264759.92	Q= 2.766	Q= 2.766		<p style="text-align: center;">Coordinate</p> <table border="0"> <tr> <td>Gauss-Boaga</td> <td>UTM</td> </tr> <tr> <td>N= 4642025.669</td> <td>N= 4642208.77</td> </tr> <tr> <td>E= 2284618.457</td> <td>E= 264682.86</td> </tr> <tr> <td>Q= 3.928</td> <td>Q= 3.928</td> </tr> </table>	Gauss-Boaga	UTM	N= 4642025.669	N= 4642208.77	E= 2284618.457	E= 264682.86	Q= 3.928	Q= 3.928	
Gauss-Boaga	UTM																		
N= 4641893.725	N= 4642076.83																		
E= 2284695.515	E= 264759.92																		
Q= 2.766	Q= 2.766																		
Gauss-Boaga	UTM																		
N= 4642025.669	N= 4642208.77																		
E= 2284618.457	E= 264682.86																		
Q= 3.928	Q= 3.928																		

Riproduzione della scheda IGM dei Caposaldi di appoggio per i rilievi del fiume Mignone

	Nazione: ITALIA Provincia: ROMA Comune: CIVITAVECCHIA Carabinieri: CIVITAVECCHIA	Proprietà: Silvio Parmigiani Indirizzo: Via Aurelia Nord, 85 Comune: CIVITAVECCHIA Cap: 00053 Tel: 0755 560281 Fax: Provincia: ROMA		
	142701			
Materializzazione: Centro di tipo "GPS" C" fissato sulle sommità della copertura del ristorante annesso al complesso alberghiero denominato "Samaritanis".	Geografiche (Roma40) q: 42°08'02,242" l: -07°40'41,120" Quota s.l.m.: 53,93	Piana (Gauss-Boaga) Q N: 4.068.457,83 E: 1.729.253,42 U N: E:	Geografiche (WGS84) q: 42°08'04,570" l: 11°46'26,457" Quota ell.: 102,19	Piana (UTM-WGS84) S N: 4.658.465,03 E: 725.261,59 U N: 4.669.950,00 E: 233.445,00
Accesso: L'entrata del complesso alberghiero si trova in corrispondenza del Km 77 - IV della SS. 1 al numero civico 85 dell'Aurelia Nord.				
Informazioni ausiliarie: Si consiglia l'uso di una scala per accedere al punto e di munirsi di treggiate per misure GPS.	Vertici collegati: R 0026 #89 077# Contrassegno di tipo Cno Pozzetto (C) Alt: -2,34	Parametri: Tx: 158,90 Rx: 1,062" Ty: -0,09 Ry: -0,516" K: 19,91 Tz: -45,55 Rz: -0,050"	Stazioni astronomiche:	
Segnalizzato: 07/05/94 G8494 Alessandro Aledda Ultima intervento: Ricognito 20/05/97 G497 Stefano B. Aut. IGM/53M				

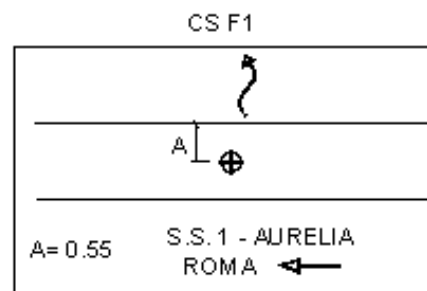
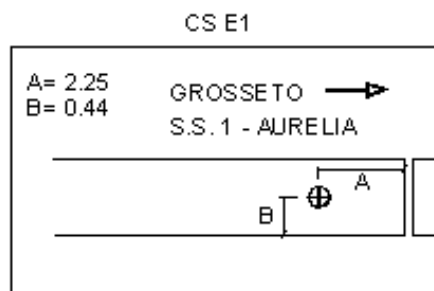
ISTITUTO GEODIA-TIPO IGM 1997 - Direzione Generale - via Di Furiosa, 80 - 50127 FIRENZE - Tel. 055/2773442 Fax: 055/417865

Caposaldi dei rilievi del fiume Mignone

Chiodo monumentato sul marciapiede della S.S. 1, lato monte, sponda dx.

Coordinates

Gauss-Boaga	UTM F33
N= 4675240.416	N= 4676662
E= 1730074.205	E= 234704
Q= 11.493	Q= 11.493



Chiodo monumentato sul marciapiede della S.S. 1, lato valle.

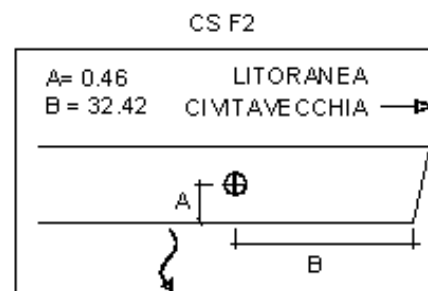
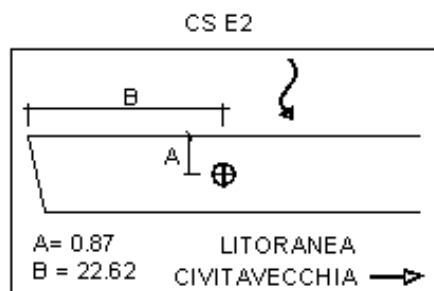
Coordinates

Gauss-Boaga	UTM F33
N= 4675156.398	N= 4676579
E= 1730061.939	E= 234686
Q= 11.508	Q= 11.508

Chiodo monumentato sul marciapiede della strada Litoranea, lato monte, sponda dx

Coordinates

Gauss-Boaga	UTM F33
N= 4672627.652	N= 4674231
E= 1727576.071	E= 232028
Q= 6.335	Q= 6.335



Chiodo monumentato sul marciapiede della strada Litoranea, lato valle, sponda sx

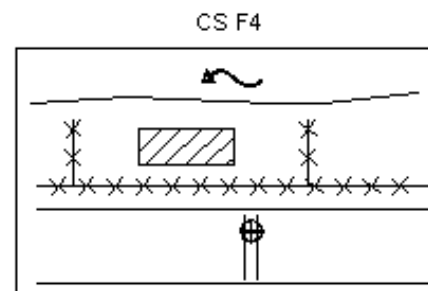
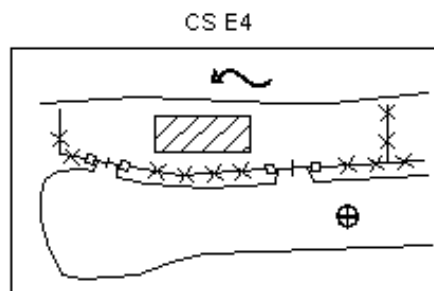
Coordinates

Gauss-Boaga	UTM F33
N= 4672583.912	N= 4674187
E= 1727589.343	E= 232038
Q= 6.647	Q= 6.647

Chiodo monumentato al centro della strada, nella parte finale, che costeggia il fiume in sponda sx

Coordinates

Gauss-Boaga	UTM F33
N= 4672894.568	N= 4674605
E= 1726056.947	E= 230531
Q= 1.337	Q= 1.337


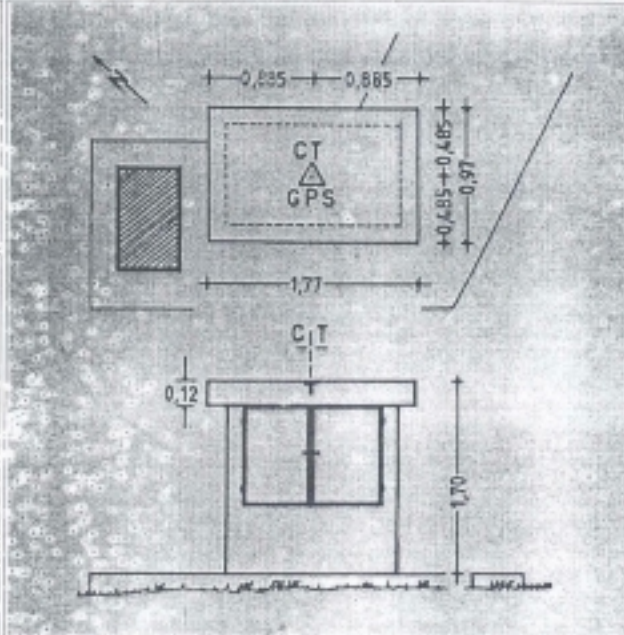


Chiodo monumentato su un dosso della strada che costeggia il fiume in sponda sx

Coordinates

Gauss-Boaga	UTM F33
N= 4672741.988	N= 4674434
E= 1726335.681	E= 230798
Q= 1.432	Q= 1.432

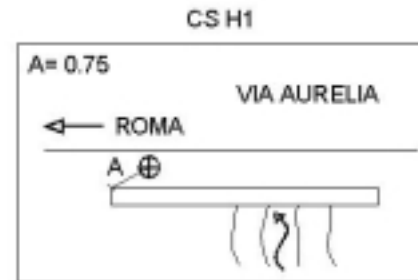
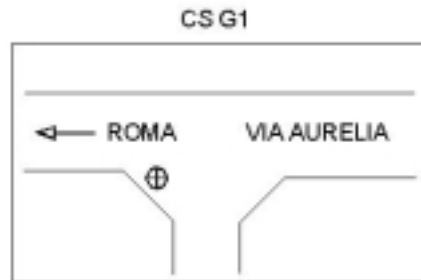
Riproduzione della scheda IGM dei Caposaldi di appoggio per i rilievi del fosso Tafone

	PESCIA FIORENTINA		136902	343 sez III	136 IIINO
	Nazione: ITALIA Provincia: GROSSETO Comune: CAPALBIO Carabinieri: CAPALBIO		Proprietà: Acquedotto del Fiore Indirizzo: Via Mameli, 10 Comune: GROSSETO Cap: 58100 Tel: 056420479 Fax: Provincia: GROSSETO		
Materializzazione: Centro di tipo "GPS C" fissato alla sommità della cabina d'ispezione dell'Acquedotto del Fiore, in corrispondenza dell'asse geometrico dalle solette di copertura in calcestruzzo, posta sul colle prospiciente a nord - est dall'abitato di Pescia Fiorentina.		Geografiche (Roma40) φ: 42°28'78,4535" λ: -00°58'48,4272" Quota s.l.m.: 198,548 <small>Le coordinate nel Sistema Roma40 sono state calcolate, dalle coordinate WGS84, usando algoritmi di trasformazione.</small>		Geografiche (WGS84) φ: 42°28'20,7850" λ: 11°28'19,1045" Quota ell.: 198,047 <small>Le coordinate nel Sistema WGS84 sono state determinate nell'anno 1998.</small>	
Accesso: Dall'Aurelia uscire per Pescia Fiorentina - Chiarone Scalo e proseguire per Pescia Fiorentina, raggiunta quest'ultima svoltare al bivio per Capalbio e proseguire per circa 600 metri, quindi svoltare a destra su strada sterrata (chiusa da una sbarra in ferro) e percorrere fino alla sommità della collina.		Informazioni ausiliarie: Le chiavi della sbarra sono in possesso del guardiano di zona: Sig. Bartolci Moreno - Tel. 0564/896130 (ore cena); Tel. 0335/713409 (dalle 7.30 alle 14.00). La chiave è in possesso anche del Comando dei Carabinieri di Capalbio. Tel. 0564/856916			
Rete primaria di inquadramento (IGM95) Con quote derivate dal modello del geoide (ITALEC099 v.1) Produttore: IGM		Stazioni astronomiche:			
Segnalizzato: 07/09/1994 GBA-94 Cart. Giovannoni G. Ultimo intervento: 27/05/1997 G4-97 Cart. Stefanelli G.					

Caposaldi dei rilievi del fosso Tafone

Borchia metallica monumentata su via Aurelia, all'altezza dell'incrocio a circa 150 metri, in direzione Roma, dal ponte del fiume Tafone.

Coordinate
 Gauss-Boaga UTM F33
 N= 4695814.928 N= 4698627.26
 E= 1709594.907 E= 215707.21
 Q= 17.362 Q= 17.362

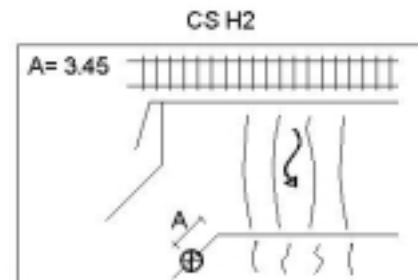
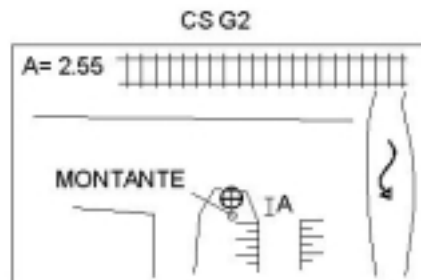


Borchia metallica monumentata nei pressi del cordolo di bordura del ponte su via Aurelia, del fiume Tafone, lato monte sponda sinistra.

Coordinate
 Gauss-Boaga UTM F33
 N= 4695926.187 N= 4698745.2
 E= 1709495.941 E= 215616.18
 Q= 18.283 Q= 18.283

Borchia metallica monumentata lungo la strada interpodereale parallela alla ferrovia, nei pressi dell'inizio delle argine destro del fiume Tafone.

Coordinate
 Gauss-Boaga UTM F33
 N= 4693859.325 N= 4696749.63
 E= 1708540.915 E= 214519.88
 Q= 5.405 Q= 5.405



Borchia metallica monumentata sulla rampa che conduce alla soglia, a valle del ponte ferroviario.

Coordinate
 Gauss-Boaga UTM F33
 N= 4693864.712 N= 4696753.3
 E= 1708565.503 E= 215444.8
 Q= 2.393 Q= 2.393

Borchia metallica monumentata su pilastro in travertino, lungo il sentiero che porta al mare, in sponda destra del fiume Tafone.

Coordinate
 Gauss-Boaga UTM F33
 N= 4692747.040 N= 4695778.8
 E= 1706545.048 E= 212451.52
 Q= 1.328 Q= 1.328

