



COMUNE DI PISA

IL DIRIGENTE  
Arch. GABRIELE BARTI  
*Gabrielle Barti*

*STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO  
A SUPPORTO DELLA VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE  
DA "AREA DI CONNESSIONE" AD "AREA A SERVIZI"*

*PISA, LOC. SAN CATALDO*

ELABORATO **ADOTTATO**  
CON DELIBERAZIONE  
 Giunta Comunale  
 Consiglio Comunale  
n° 58 ..del 19 LUG. 2007

Relazione idraulica

Ottobre 2006

Il Tecnico:

Prof. Ing. Stefano Pagliara

Ing. STEFANO PAGLIARA  
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA  
N° 1200 Sezione A  
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE  
INDUSTRIALE DELL'INFORMAZIONE

Dott. Geol. Fabrizio Alvares



# **" STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO A SUPPORTO DELLA VARIANTE URBANISTICA DELL'AREA INTERESSATA DALLA REALIZZAZIONE DELLA NUOVA SEDE DEL DIPARTIMENTO DI CHIMICA E CHIMICA INDUSTRIALE A PISA, LOC. SAN CATALDO"**

## **PREMESSA**

Il presente studio idrologico-idraulico riguarda l'area di proprietà dell'Università di Pisa posta in loc. San Cataldo, così come indicato nella corografia di Fig. 1, oggetto di variante urbanistica finalizzata alla realizzazione della nuova sede del Dipartimento di Chimica e chimica industriale di Pisa. Ciò al fine di definire la Classe di Pericolosità idraulica e quindi di Fattibilità relativamente agli studi geologici ed ideologico-idraulici a supporto della suddetta variante.

## **DESCRIZIONE DEI BACINI INTERESSATI**

Sul lato nord, l'area è interessata dal Fosso dei Sei Comuni mentre in quello sud è presente il Canale Rivestito. Il primo, dall'origine fino alla Strada provinciale Vicarese presenta una lunghezza di circa 1800 m ed una pendenza di fondo dello 0.025%; risulta parzialmente tombato nel suo tratto terminale (per circa 400 m) mentre il tratto più a monte corre a cielo aperto e presenta una sezione trapezia con larghezza al fondo di circa 2 m e scarpa con pendenza 1:1. La tombatura, il cui inizio è a 120 m dalla confluenza con il Fosso San Marco, è costituita da uno scatolare di dimensioni 3x2 m.

Il secondo, che attualmente è chiuso, una volta portato a termine il progetto di sistemazione dei bacini di bonifica della zona di Cisanello, accoglierà le acque del Fosso dei Sei Comuni.

Per quanto riguarda il Fosso San Marco, che scola la periferia sud-orientale di Pisa, attualmente confluisce nel "Fosso dei sei Comuni" attraverso un collettore che delimita l'area oggetto di studio nella parte Ovest; anche questo risulta totalmente tombato e la sua sezione è costituita da uno scatolare di 2.5x1.9 m. La lunghezza del tratto considerato è di 380 m con una pendenza di fondo dello 0.064%.

## MODELLO IDROLOGICO

### PLUVIOMETRIA

Il regime pluviometrico della zona in oggetto, necessario per trovare gli idrogrammi di piena relativi ai vari tempi di ritorno, deriva dalla elaborazione dei dati relativi alle piogge intense ( $t < 1$  ora) ed ai dati di durata compresa tra 1 e 24 ore registrate alla stazione pluviometrica di Pisa.

I dati sono stati sottoposti ad analisi statistica utilizzando diverse distribuzioni teoriche.

In particolare l'elaborazione dei dati è stata effettuata con:

- distribuzione di Gumbel;
- distribuzione GEV (Generalized Extreme Value)
- LN3 (Log Normale a 3 parametri)
- LP3 (Log Pearson a 3 parametri)
- P3 (Pearson a 3 parametri)

Tali metodi, nota la serie cronologica dei valori assunti da una certa grandezza (in questo caso le piogge di data durata), consente di individuare sia i valori di tale grandezza corrispondenti ad un prefissato tempo di ritorno  $T_r$ , che cioè hanno probabilità di verificarsi non più di una volta in un dato intervallo di anni, sia il tempo corrispondente ad un dato valore della grandezza in esame

Il valore del tempo di ritorno e' legato a quello della probabilità di superamento (probabilità che l'evento  $X$  assuma un valore maggiore od uguale ad  $x$ ) dalla seguente relazione :

$$P(X > x) = 1/T_r$$

Il valore della probabilità di non superamento risulta:

$$P(X > x) = 1 - P(X < x) = 1 - 1/T_r$$

Nelle figure seguenti sono riportati i grafici relativi alle elaborazioni dei dati storici per le varie durate relativamente alla stazione di Follonica.

Nel caso della distribuzione tipo GEV i parametri sono stati calcolati con il metodo degli L-Moments (Hosking, 1985). Per la LN3 e LP3 con il metodo della massima verosomiglianza, per la P3 e per Gumbel con il metodo dei momenti.

Le curve di possibilità climatica sono state calcolate per diversi valori del tempo di ritorno; i risultati ottenuti sono:

Tabella Curve segnalatrici per vari tempi di ritorno per le stazioni considerate.

Stazione pluviometrica	Tempo di ritorno (anni)	parametro a1	parametro a2	n1 (t<1 ora)	n2 (t>1ora)
Pisa	200	108.2	101.0	.55	.26
Pisa	100	92.3	87.9	.55	.26
Pisa	25	67.1	66.6	.55	.26
Pisa	20	63.7	63.7	.55	.26

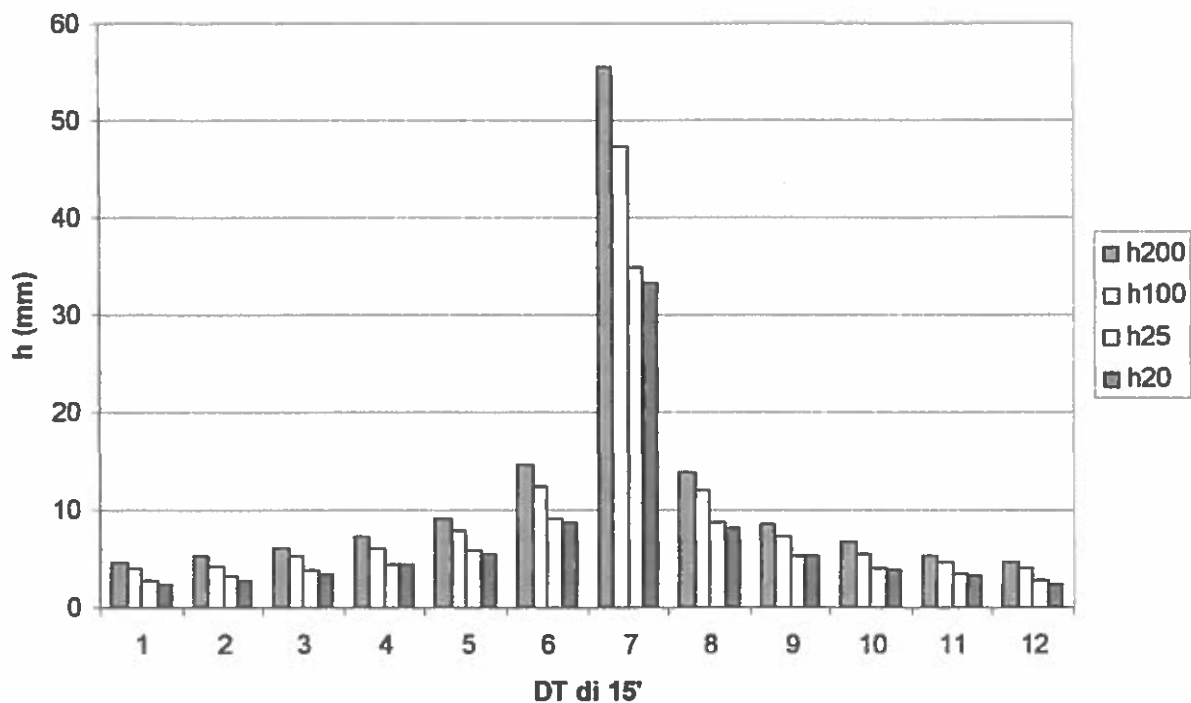
in cui la cpc è espressa come

$$h = a t^n$$

con t espresso in ore ed h in millimetri di pioggia.

Nel caso in esame , tra le varie procedure disponibili si e' utilizzata quella basata su uno ietogramma noto come tipo "Chicago" , che ha come caratteristica principale il fatto che per ogni durata, anche parziale, la intensità media della precipitazione e' congruente con quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica di assegnato periodo di ritorno.

Nel caso particolare e' stata scelta una durata dello ietogramma pari a 3 ore con la posizione del picco di pioggia nel centro dello scroscio. Lo ietogramma è stato determinato in forma discreta con un passo temporale pari a 15'.



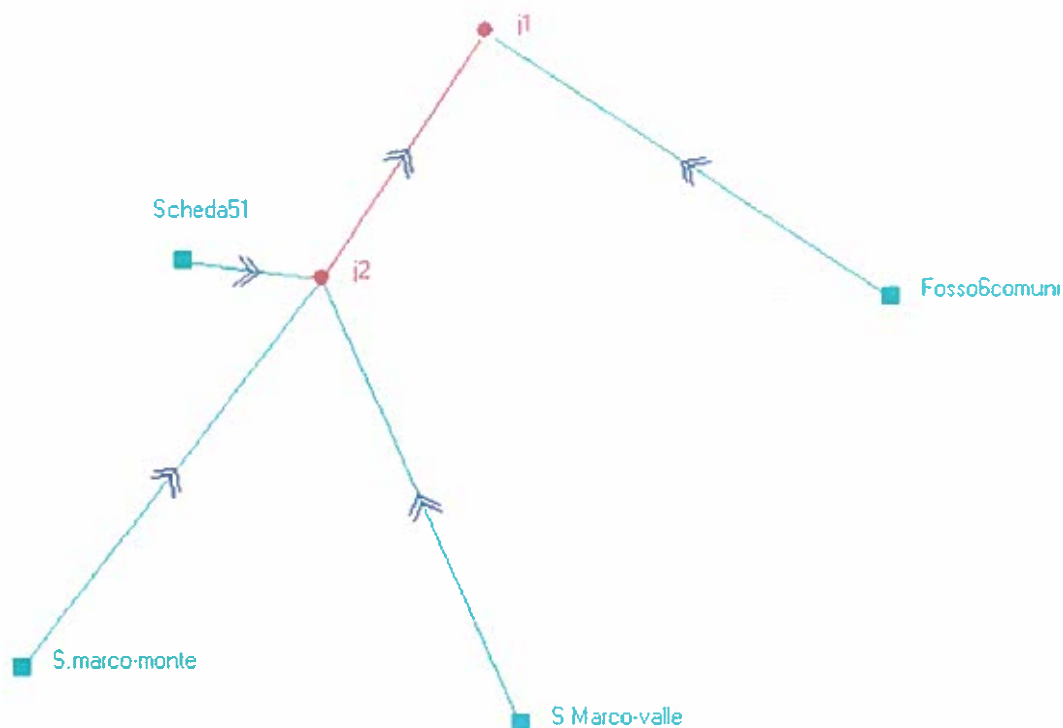
### IDROGRAMMI DI PIENA

Per la determinazione degli idrogrammi di piena in corrispondenza delle sezioni di chiusura di tutti i bacini esaminati si è utilizzato un algoritmo di calcolo che, per la trasformazione afflussi-deflussi, si basa sull'impiego dell'idrogramma sintetico di Clark (Clark, 1945). Tale metodo schematizza il processo di trasformazione afflussi-deflussi mediante un canale lineare ed un serbatoio lineare.

Nel caso specifico è stato adottato, per simulare le perdite di bacino, il metodo SCS- CURVE NUMBER (SCS, 1972), che è basato sulle curve di precipitazione e perdita cumulate ed in cui in funzione del tipo di suolo, del suo uso e del grado di imbibizione dello stesso, viene calcolato istante per istante il quantitativo di pioggia che va a produrre il deflusso.

Lo schema dei bacini considerati è riportato nella figura di pagina seguente.

## Stato attuale

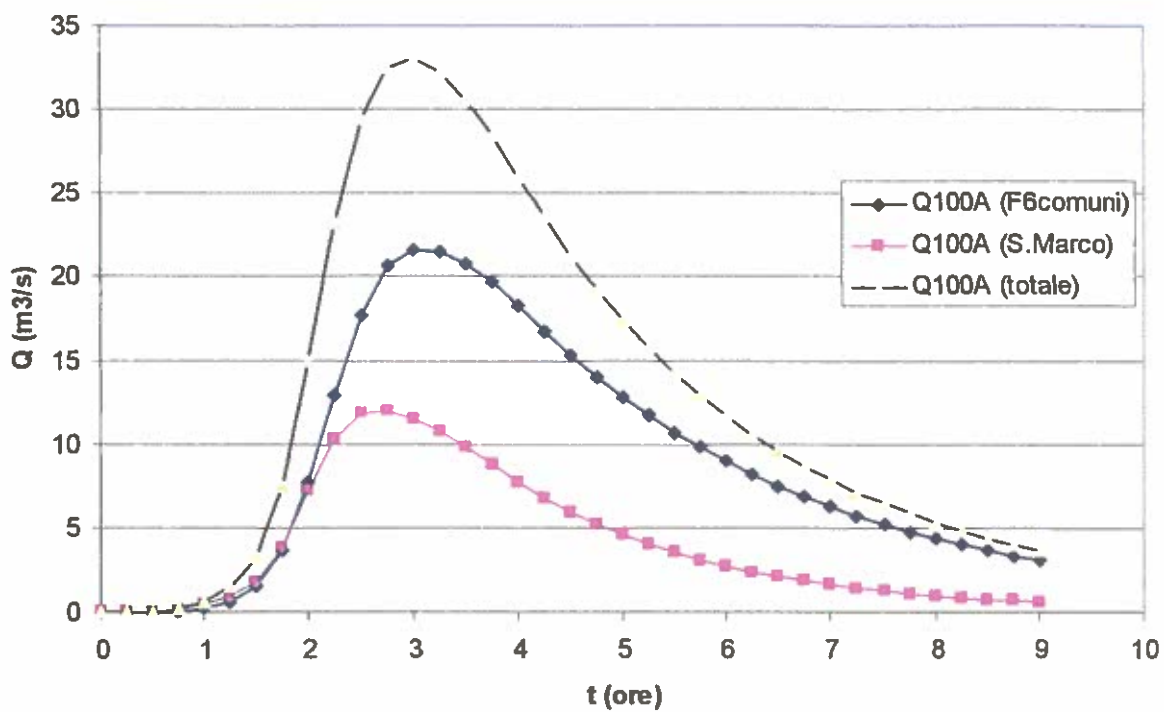


*Schema planimetrico stato attuale*

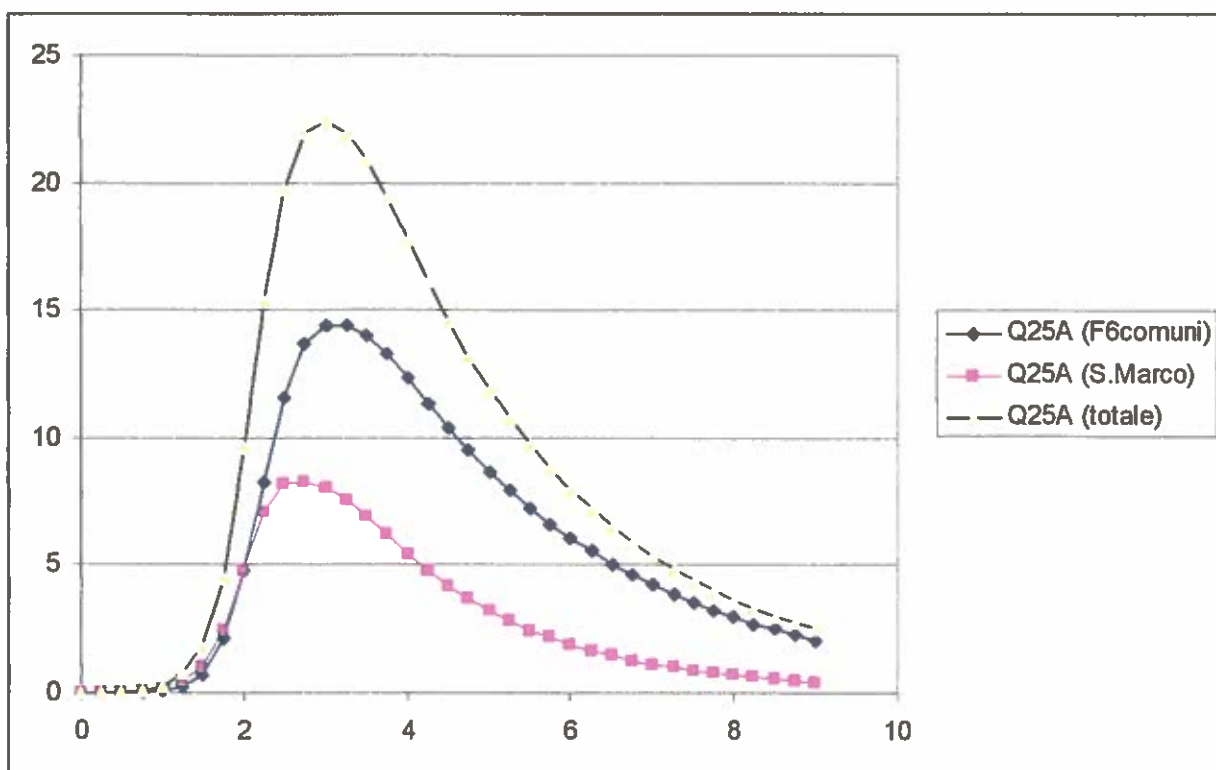
Di seguito sono riportate le portate massime di calcolo ottenute nello stato attuale

	Q100 att	Q25 att	S (km <sup>2</sup> )
S.marco-monte	9.6	6.7	1.1
S.Marco-valle	2.2	1.5	0.2
i2	11.9	8.3	1.34
Fosso6comuni	21.6	14.4	3.5
i1	33.1	22.4	4.84

*Tabella: portate massime (m<sup>3</sup>/s) nelle diverse sezioni per vari Tr per lo stato attuale (lo schema dei bacini è quello delle figure precedentemente riportate).*



*idrogrammi relativi ai bacini studiati; stato attuale per  $Tr= 100$  anni.*



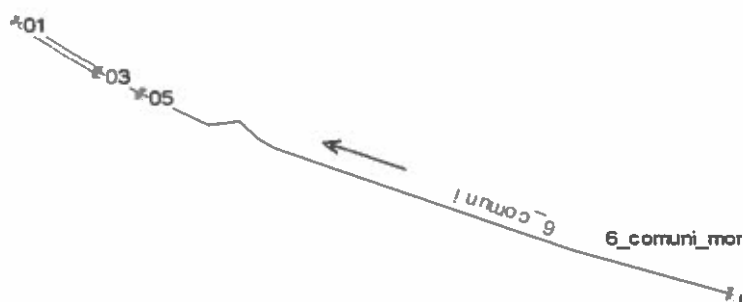
*idrogrammi relativi ai bacini studiati; stato attuale per  $Tr= 25$  anni.*

Tali idrogrammi risulteranno però ridotti con l'attivazione del nuovo impianto idrovoro che scaricherà in Arno buona parte delle acque che oggi vanno nel fosso dei sei comuni. Per questo nel calcolo e' stata assunta una portata inferiore.

### CALCOLO IDRAULICO RELATIVO ALLO STATO ATTUALE

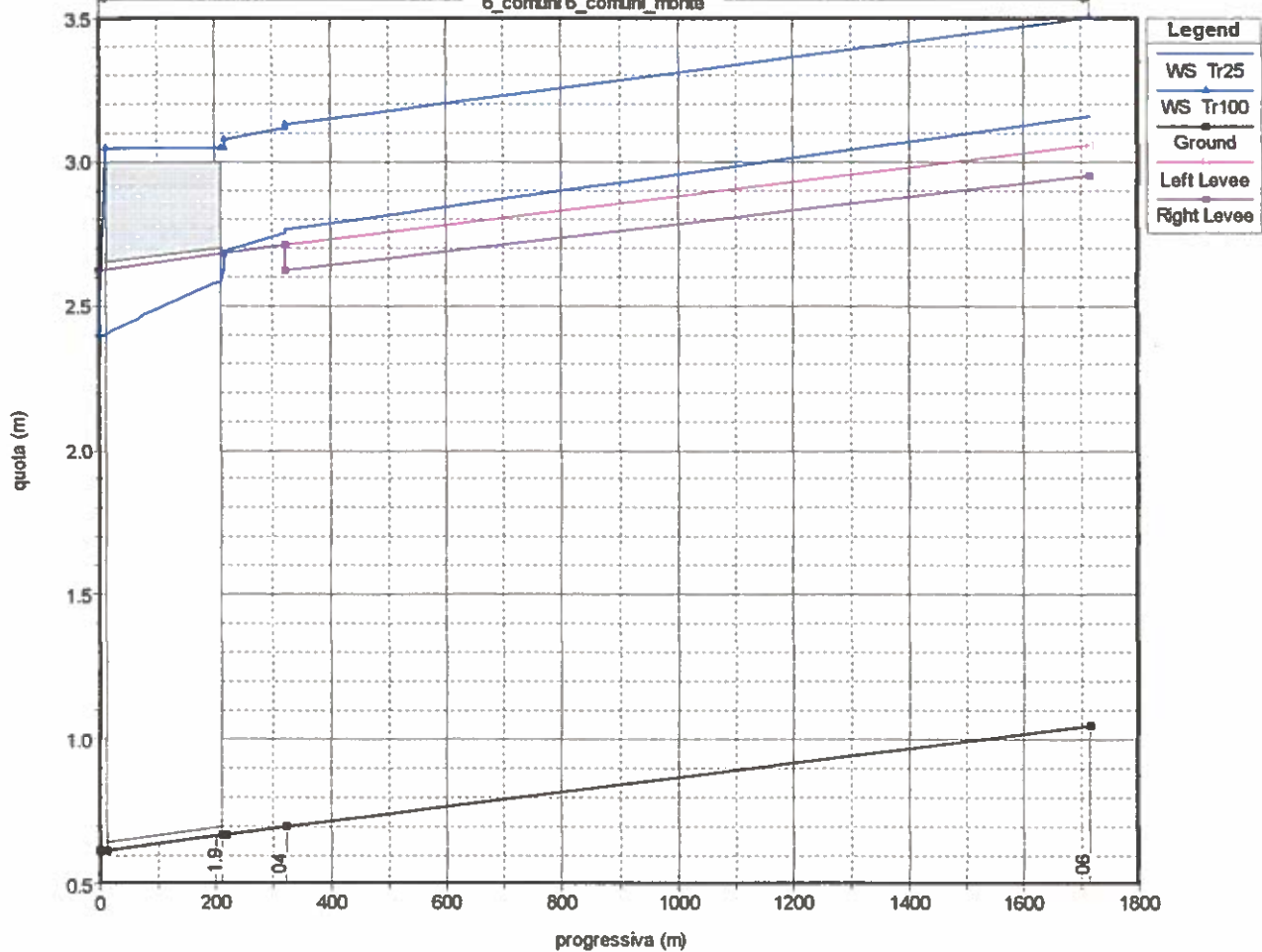
Una volta calcolati gli idrogrammi di piena sono stati costruiti i profili di rigurgito.

Il calcolo ha messo in evidenza pesanti insufficienze idrauliche sia per la piena con  $Tr=100$  anni che per quella con  $Tr= 25$  anni.



*Tratto del fosso dei sei comuni interessato dal calcolo*





*Profilo longitudinale del tratto di interesse*

Quindi il nuovo canale in c.a. che porta alle idrovore (progetto dell'ufficio Fiumi e Fossi) risulterà in grado di alleggerire in maniera sensibile il rischio idraulico nell'area oggetto dello studio che risulterà quindi funzione soprattutto degli allagamenti del reticolo maggiore di cui verrà esposto nel successivo paragrafo.



*foto del nuovo canale in c.a. che porta alle idrovore.*

#### **CALCOLO DELLE AREE ALLAGATE**

La realizzazione di un DTM dell'area in esame ha avuto come scopo quello di rappresentare il piano di campagna attraverso un dataset di punti georeferenziati ( $x, y, z$ ) distribuiti regolarmente secondo un reticolo di maglia quadrata e di lato 10 m. Il DTM dovrà essere esportato in un file ASCII utilizzabile da software dedicati per la verifica idraulica.

Le quote sono quelle derivabili dalla carta in scala 1:2000 regionale.

#### **CALCOLO IDRAULICO IN MOTO VARIO BIDIMENSIONALE**

Il calcolo idraulico è stato effettuato a moto vario bidimensionale per quanto riguarda la propagazione delle esondazioni.

Nel calcolo si è tenuto conto in maniera dettagliata delle caratteristiche geometriche e topografiche del territorio, nonché della presenza di eventuali opere interferenti in varia misura con il deflusso fluviale (ponti, rilevati stradali, traverse, ecc.). In tale fase risulta altresì opportuna la ricognizione dello stato di consistenza delle opere di difesa dalle inondazioni (quali vasche di assorbimento e/o di laminazione, scolmatori, ecc.).

L'individuazione è stata effettuata mediante studio idraulico di moto vario, condotto con l'ausilio di modelli unidimensionali "estesi" e di modelli bidimensionali, delle aree inondabili.

Nel calcolo si tiene conto delle caratteristiche geometriche e topografiche del territorio, nonché della presenza di eventuali opere interferenti in varia misura con il deflusso fluviale (ponti, rilevati stradali, traverse, ecc.). In tale fase risulta altresì opportuna la ricognizione dello stato di consistenza delle opere di difesa dalle inondazioni (quali vasche di assorbimento e/o di laminazione, scolmatori, ecc.).

## MODELLO DI CALCOLO IN MOTO VARIO BIDIMENSIONALE

Il calcolo è stato effettuato mediante un modello di simulazione in moto vario bidimensionale (l'unico che permetta, con un ottimo grado di precisione il calcolo della propagazione delle acque di esondazione). In particolare è stato usato il modello FIM2D (Pagliara 1997-2005).

Il modello matematico usato simula il flusso bidimensionale a superficie libera mediante il sistema alle derivate parziali, iperbolico, non lineare, delle equazioni complete di De Saint Venant.

Le equazioni di continuità e del moto nelle due direzioni possono essere scritte,

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y = 0 \quad (3)$$

con:

$$\tau_x = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (4)$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (5)$$

in cui  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $x$  ed  $y$  sono le coordinate spaziali,  $t$  il tempo,  $h$  l'altezza d'acqua,  $u$  e  $v$  le componenti della velocità nelle due direzioni,  $M = u \cdot h =$  flusso nella direzione  $x$ ;  $N = v \cdot h =$  flusso della corrente nella direzione  $y$ ,  $H$  è la quota della superficie libera,  $n$  il coefficiente di scabrezza di Manning,  $\rho$  la densità dell'acqua mentre  $\tau_x$  e  $\tau_y$  sono gli sforzi tangenziali al fondo, rispettivamente nelle direzioni  $x$  ed  $y$ .

Il metodo usato per la formulazione numerica delle equazioni (1)-(3) è quello originariamente proposto da Iwasa (Iwasa et al., 1980) e usa uno schema alle differenze finite di tipo esplicito.

La propagazione della piena lungo il corso d'acqua arginato viene effettuata usando le equazioni complete di De Saint Venant :

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{gA^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} = 0 \quad (17)$$

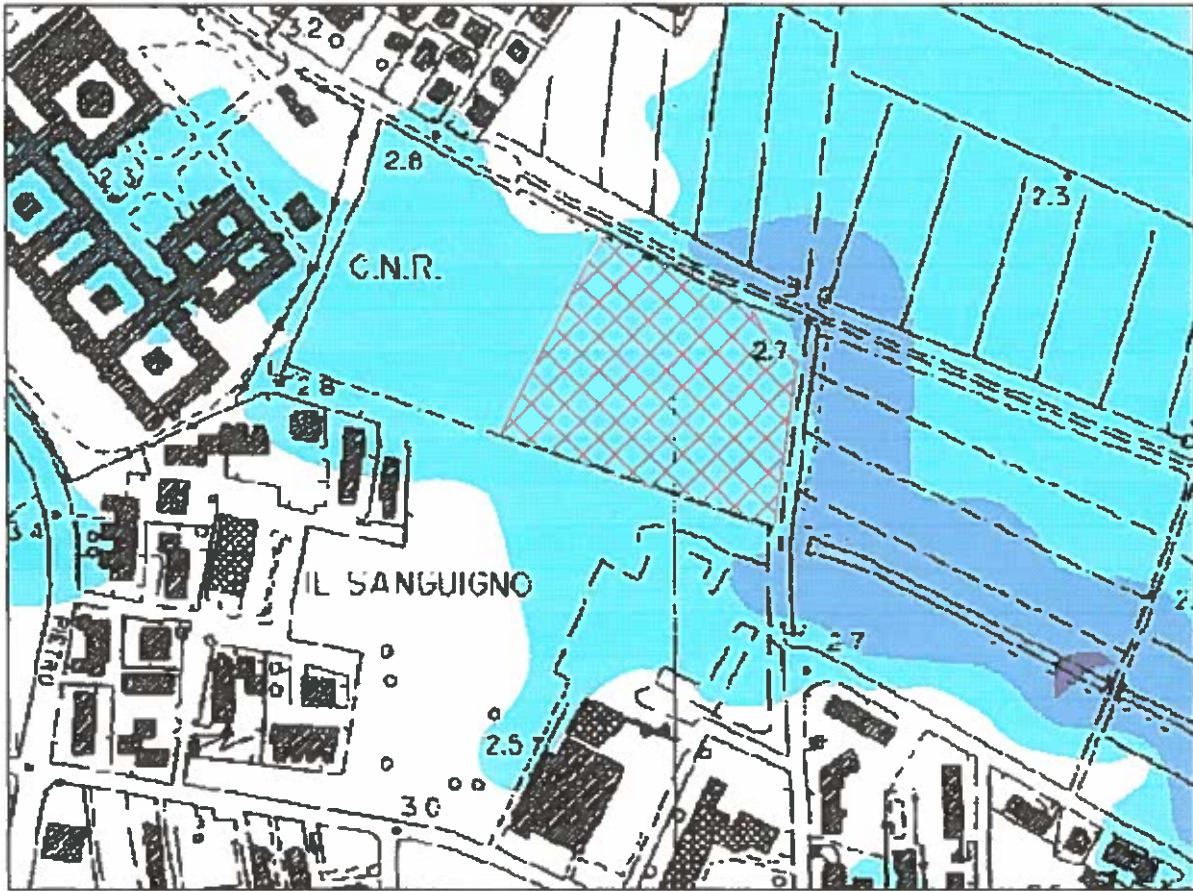
$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

in cui  $Q$  è la portata,  $A$  è la sezione trasversale,  $R$  il raggio idraulico,  $H$  la quota della superficie libera,  $q$  la portata laterale ed  $n$  il coefficiente di scabrezza della equazione di Manning. Le equazioni vengono risolte numericamente mediante uno schema alle differenze finite di tipo esplicito. Le due necessarie condizioni al contorno vengono specificate come idrogramma  $Q=Q(t)$  nella sezione di monte e come andamento dei livelli in funzione del tempo nella sezione di valle da stabilire in base alla condizione al contorno presente in tale sezione.

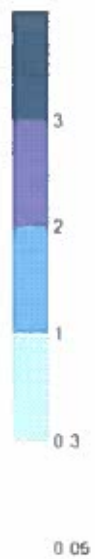
## SIMULAZIONI EFFETTUATE E RISULTATI

Per l'area in oggetto sono state considerate sia le esondazioni di Fiume Arno e Fiume Morto, per tempi di ritorno pari a 200 anni, sia le esondazioni relative al reticolo idraulico secondario, in particolare del Fosso dei 6 Comuni, per tempi di ritorno pari a 100 anni e 25 anni.

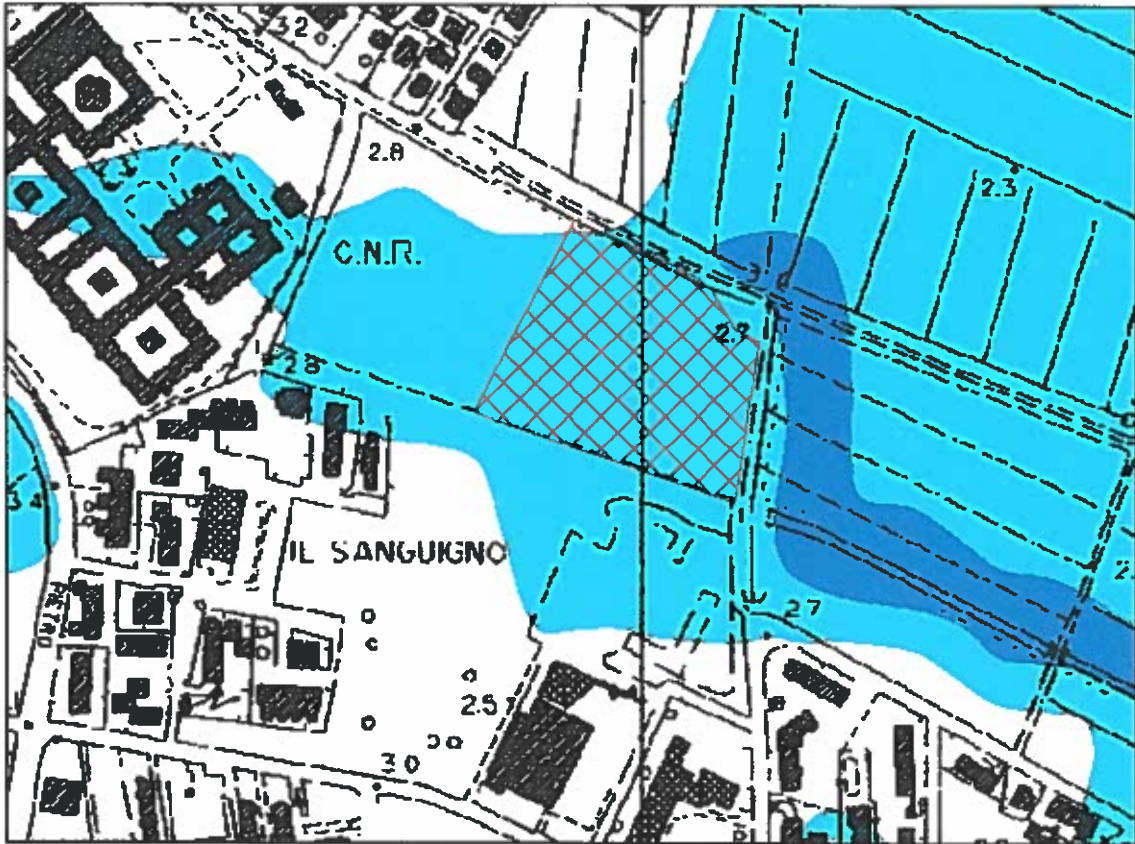
Relativamente ai fiumi Arno e Morto, nelle figure di pagina seguente è riportato il dettaglio dell'involuppo delle altezze d'acqua nell'area in esame da cui si evincono tiranti idrici che vanno da 30 cm fino a 1 m nella parte più depressa dell'area stessa (per  $Tr=200$  anni) mentre, relativamente al Fosso dei 6 Comuni, si hanno esondazioni più contenute. Come possiamo osservare dalle figure successive, per tempi di ritorno di 100 anni per l'area in esame è stato rilevato un battente compreso tra 30 cm e 100 cm mentre per tempi di ritorno  $<30$  anni, per l'area in esame sono state individuati due battenti d'acqua: 10-20 cm e 20-30 cm.



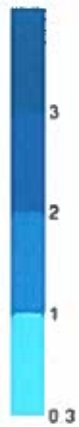
Altezze massime di esondazione per  $T_r=200$  anni



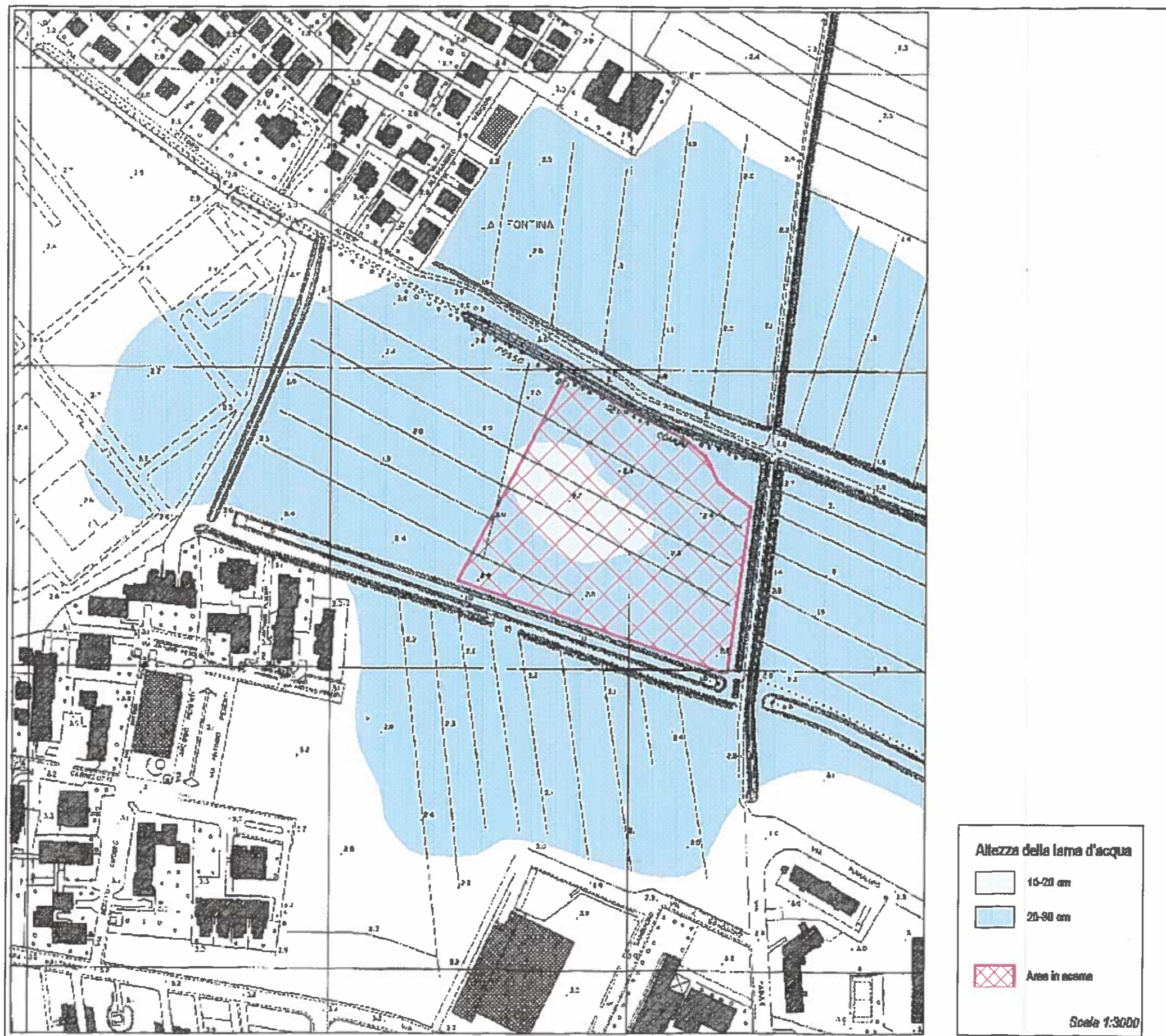
Valori delle altezze d'acqua



Altezze massime di esondazione per  $T_r=100$  anni



Valori delle altezze d'acqua



Altezze massime di scondazione per Tr < 30 anni

## **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Gli studi idrologici ed idraulici condotti sull'area in esame, hanno evidenziato una pesante criticità idraulica relativamente al reticolo idrografico secondario. Dai calcoli, infatti, l'area risulta inondabile per tempi di ritorno di 25 anni con un battente compreso tra 10 cm e 30 cm e per tempi di ritorno di 100 anni e 200 anni, con battenti compresi tra 30 cm e 100 cm.