



## COMUNE DI SAN GIULIANO TERME



PROGETTO:

PROPOSTA PER LA REALIZZAZIONE DEL "CAMPUS SANT'ANNA  
SAN GIULIANO - POLO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE"  
DELLA SCUOLA SUPERIORE SANT'ANNA - VARIANTE AL PS ED AL RU

OGGETTO:

STUDIO IDROLOGICO ED IDRAULICO  
SINTESI DELLA RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

ELABORATO:

-

REV:

00

DATA:

LUGLIO 2010

SCALA:

-

COMMESSA:

L564

NOME FILE:

-



Via Bonifacio Lupi 1  
50129 - Firenze  
Tel. 055-491896/Fax. 055-4626342  
e-mail: segreteria.firenze@physis.net

PROGETTISTA:

Dott. Ing. David Settesoldi

COLLABORATORI:

Dott. Silvia Angelini

COMMITTENTE:

Scuola Superiore Sant'Anna  
Piazza Martiri della Libertà, 33  
56127 - PISA

02			
01			
00	14/07/10	PRIMA EMISSIONE	
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICHE	

--	--	--

**COMUNE DI SAN GIULIANO TERME**

**PROPOSTA PER LA REALIZZAZIONE DEL "CAMPUS SANT'ANNA  
SAN GIULIANO - POLO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE"  
DELLA SCUOLA SUPERIORE SANT'ANNA - VARIANTE AL PS ED AL RU**

**STUDIO IDROLOGICO ED IDRAULICO**

SINTESI DELLA RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

PHYSIS s.r.l. – Ingegneria per l'Ambiente

Ing. David Settesoldi

Firenze

Luglio 2010

## INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	IL QUADRO CONOSCITIVO.....	4
3	DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	5
3.1	<i>Configurazione 1 di progetto</i> .....	5
3.2	<i>Configurazione 2 di progetto</i> .....	6
4	ANALISI IDROLOGICA.....	10
4.1	<i>Le curve di possibilità pluviometrica</i> .....	10
4.2	<i>I dati territoriali</i> .....	10
4.3	<i>Le precipitazioni</i> .....	12
4.4	<i>I parametri del modello afflussi – deflussi</i> .....	13
4.5	<i>Le portate di piena</i> .....	13
5	ANALISI IDRAULICA.....	15
5.1	<i>Implementazione del modello idraulico</i> .....	15
5.1.1	La Configurazione 1.....	16
5.1.2	La Configurazione 2.....	17
5.2	<i>Risultati della verifica idraulica</i> .....	18
6	INVARIANZA IDRAULICA.....	21
7	CONCLUSIONI.....	23

## **1 PREMESSA**

La presente relazione è di supporto alla variante al PS ed al RU del comune di San Giuliano Terme finalizzata alla riorganizzazione funzionale e ripermetratura dell'UTOE CARRAIA funzionale alla proposta di realizzazione del "Campus Sant'Anna San Giuliano - Polo Scienze della Vita e dell'Ambiente" della Scuola Superiore Sant'Anna.

L'area in cui è prevista la realizzazione del progetto si colloca in una zona attualmente agricola risulta oggi vincolata come area destinata alla realizzazione di opere di laminazione.

Tale vincolo è stato posto a seguito della redazione del progetto di "Riassetto idraulico dei bacini di Pisa Nord-Est nei comuni di Pisa e di San Giuliano" coordinato dal Consorzio di Bonifica Fiumi e Fossi nell'ambito dell'Accordo di Programma per il trasferimento delle attività dell'azienda ospedaliera universitaria Pisana e polo Universitario da S. Chiara a Cisanello.

Il progetto prevede di alleggerire la rete drenante facente capo al Fiume Morto con la realizzazione di un impianto idrovoro con scarico delle acque in Arno, di una rete di canali drenanti le aree in comune di San Giuliano e di un nuovo canale al servizio dell'area ove è prevista la realizzazione del nuovo ospedale dotato di un proprio scarico a gravità in Arno.

Il progetto è suddiviso in due stralci, il primo che riguarda il canale al servizio del nuovo ospedale e il secondo relativo al resto degli interventi fatta eccezione per le casse di laminazione.

L'impianto idrovoro sarà dimensionato per tempi di ritorno di circa 30 anni. Al fine di garantire la messa in sicurezza delle aree oggetto delle future urbanizzazioni è necessario prevedere idonei volumi di compenso a monte dell'impianto con funzione di volano idraulico per il tempo di ritorno di 200 anni.

Allo stato attuale il progetto di "Riassetto idraulico dei bacini di Pisa Nord-Est nei comuni di Pisa e di San Giuliano" ha dimensionato le aree di laminazione in via preliminare.

Il presente studio ha lo scopo di definire i carichi idraulici da smaltire e i volumi da invasare provvedendo a identificare una soluzione progettuale che consenta la realizzazione del Campus Sant'Anna San Giuliano in modo compatibile con le esigenze di difesa idraulica del territorio.

Nella Figura 1-1 si riporta l'area oggetto di studio.

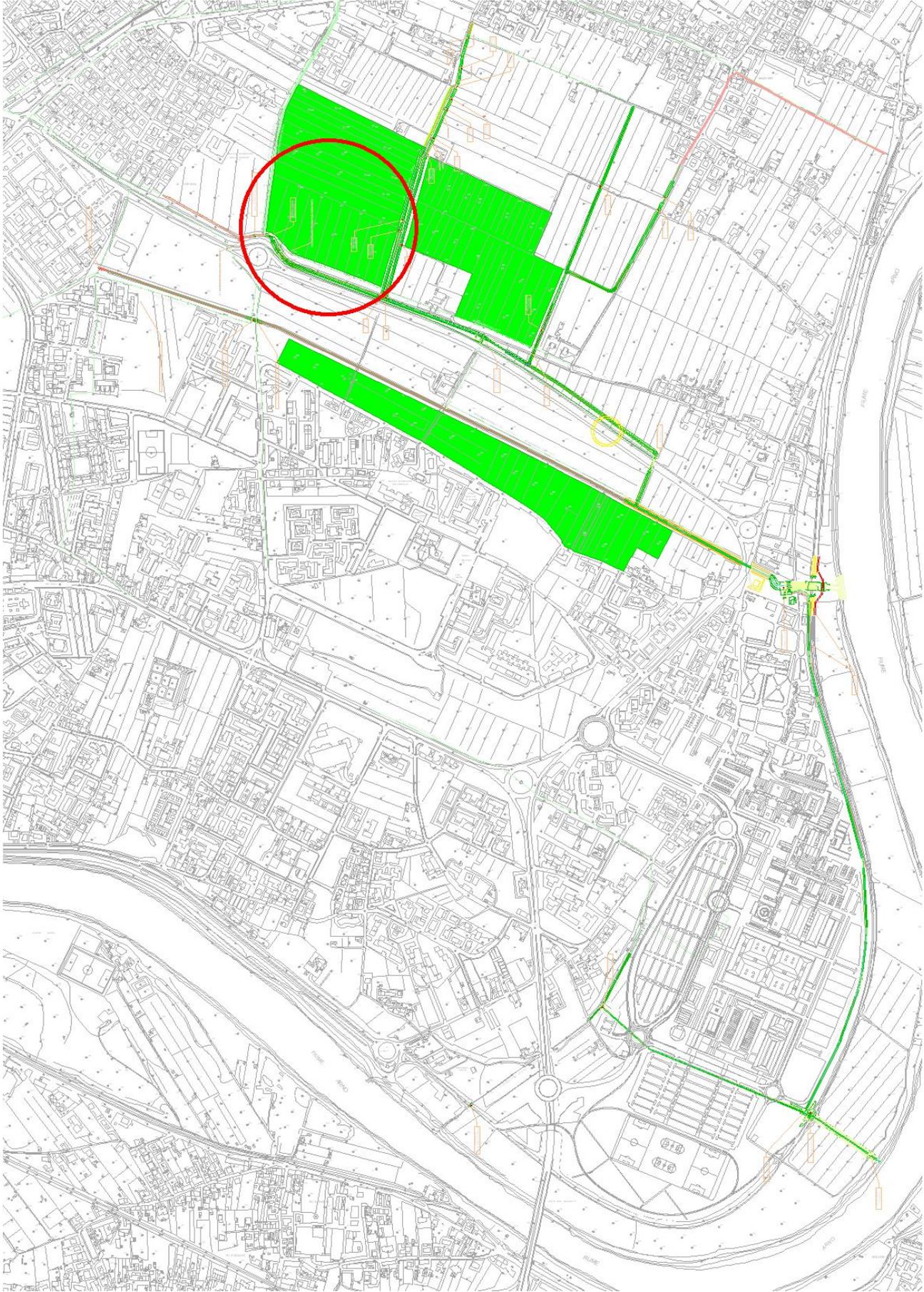


Figura 1-1 – Area di studio.

## **2 IL QUADRO CONOSCITIVO**

Per la definizione del quadro conoscitivo sono stati raccolti i seguenti dati:

- Progetti redatti a cura del Consorzio di Bonifica Fiumi e Fossi;
- Rilievi geometrici delle aree di interesse redatti dal Consorzio di Bonifica Fiumi e Fossi.

In particolare sono state acquisite le sezioni fluviali della rete di progetto. Le sezioni complessivamente acquisite sono circa 250.

Sono state acquisite inoltre i dati relativi ai bacini afferenti alla rete di drenaggio di progetto.

Il sistema idraulico complessivo è riportato nella Figura 1-1.

### 3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Sono state definite e verificate due configurazioni di progetto.

La prima configurazione non prevede la realizzazione del "Campus Sant'Anna San Giuliano" nella seconda ne è stata invece prevista la realizzazione.

#### 3.1 Configurazione 1 di progetto

Il progetto di "Riassetto idraulico dei bacini di Pisa Nord-Est nei comuni di Pisa e di San Giuliano" prevede l'adeguamento dei seguenti canali (Figura 3-1):

- Fosso Padule;
- Fosso di Ghezzano;
- Fosso Antenna destro;
- Fosso Antenna sinistro;
- Fosso della Libertà;
- Fosso Volta;
- Canale Rivestito;
- Canale Ospedale principale;
- Canale Ospedale derivazione.

E' prevista inoltre la realizzazione di 3 casse di laminazione:

- Cassa 1 – tra fosso Padule e fosso Antenna destro – 106800 mq;
- Cassa 2 – tra fosso Antenna sinistro e fosso della Libertà – 86200 mq;
- Cassa 3 – in destra del canale rivestito – 91500 mq.

Le aree individuate per la laminazione assommano a circa 284500 mq così ripartite:

- Cassa 1 – 106800 mq;
- Cassa 2 – 86200 mq;
- Cassa 3 – 91500 mq.

Per le casse di laminazione sono state previste le seguenti quote di fondo:

- Cassa 1 – 1.2 m s.l.m.;
- Cassa 2 – 1.1 m s.l.m.;
- Cassa 3 – 1.0 m s.l.m.

Tali quote sono state fissate in modo che il fondo della cassa risultasse circa 50 cm più alto rispetto al fondo del canale ove recapita lo scarico.

Lo scavo medio per ciascuna cassa è il seguente:

- Cassa 1 – 0.76 m;
- Cassa 2 – 1.00 m;
- Cassa 3 – 1.46 m.

La cassa 1 riceve le acque da uno sfioratore posto sul fosso di Ghezzano e le restituisce attraverso uno scarico di fondo nel fosso Antenna destro.

La cassa 2 riceve le acque ancora dal fosso di Ghezzano e le restituisce nel fosso Della Libertà.

La cassa 3 riceve le acque dal canale Rivestito e le restituisce nello stesso canale a valle della confluenza del fosso di Ghezzano.

Le soglie sfioranti verso le casce hanno tutte la larghezza di 20m e la quota di 1.6 m s.l.m.

Il progetto prevede inoltre la realizzazione di due canali di collegamento tra il canale Rivestito e il Ghezzano poco a valle della confluenza in quest'ultimo del fosso Padule e poco a monte della confluenza del fosso Libertà. Tali canali, la cui necessità di realizzazione è emersa durante le verifiche idrauliche, non sono esplicitamente previsti nel progetto redatto dal Consorzio di Bonifica Fiumi e Fossi. I due canali sono alimentati da soglie sfioranti poste alla quota di 1.6 m s.l.m. di larghezza 10m.

Per il bacino afferente al canale rivestito è previsto il solo scarico meccanico. Il canale Ospedale principale ha la possibilità di scarica a gravità finché i livelli in Arno lo consentono altrimenti le acque vengono convogliate all'impianto di sollevamento attraverso il canale Ospedale derivazione.

Il dimensionamento definitivo dell'impianto di sollevamento è ancora in corso da parte del Consorzio di Bonifica Fiumi e Fossi. In questa sede sulla base dei colloqui intercorsi è stato previsto un impianto idrovoro è dotato di 6 pompe principali e di 2 pompe secondarie. Le pompe al sezioni della zona Nord sono 5 principali e una secondaria. Le pompe principali hanno una portata di 3.0 mc/s, quelle secondarie di 1.5 mc/s per una capacità di sollevamento complessiva di 21 mc/s.

### **3.2 Configurazione 2 di progetto**

La seconda configurazione di progetto differisce dalla prima per il solo assetto dalla cassa 1 in corrispondenza dell'area ove è prevista la realizzazione del "Campus Sant'Anna San Giuliano".

In tale area, di circa 42300 mq, si prevede la seguente ripartizione tra i diversi usi:

- Aree edificate 40 % del lotto;
- Aree a parcheggi 30 % del lotto;
- Aree a verde 30 % del lotto.

Per le aree edificabili è prevista la messa in sicurezza alla quota di 3.5 m s.l.m. mentre per le aree a parcheggio e per le aree a verde si prevede una quota di 0.7 m s.l.m.. L'area a parcheggio è prevista idraulicamente separata rispetto all'area a verde almeno per eventi fino a circa 30 anni di tempo di ritorno. Si prevede infatti la realizzazione di un argine di sconnessione e di una soglia sfiorante posta alla quota di 1.6 m s.l.m. di larghezza 20 m.



Figura 3-1 – Schema del sistema idraulico configurazione 1

La quota di 0.7 m s.l.m. corrisponde alla quota di fondo del canale di scarico. Si ritiene pertanto che in fase realizzativa sia necessario prevedere un impianto di sollevamento per evitare il ristagno delle acque sia all'interno dell'area a verde che di quella a parcheggio.

Lo scavo delle suddette aree non va ad interferire con la falda in quanto nella zona è presente un potente strato di argille che impedisce di fatto la circolazione delle acque.

Sulla base dei risultati delle indagini condotte si può affermare che da un punto di vista idrogeologico, l'area d'intervento è caratterizzata dalla presenza di una successione di terreni alluvionali coesivi sino alla profondità di circa 40 m dal p.c.; al di sotto di tale successione si rinviene un livello di sabbie fini grigie che costituisce il primo orizzonte acquifero confinato dell'area (vedi perforazioni AGBALT e Q8 della relazione geologica).

I terreni superficiali, costituiti da argille e argille limose, non hanno caratteristiche di porosità e permeabilità tali da consentire una significativa circolazione idrica; l'area è quindi sostanzialmente priva di un acquifero freatico. Eventuali escavazioni che interessino i primi metri di terreno non necessiteranno quindi di interventi (well point o pozzetti di emungimento) volti ad abbattere il livello freatico. Il livello idrico rilevato nella sola CPT 1 (vedi relazione geologica) è riferibile alla percolazione di una modesta circolazione idrica presente nello strato superficiale di suolo agrario.

Nella Figura 3-3 si riportano due sezioni tipo dell'area di intervento secondo gli allineamenti riportati nella Figura 3-2.



Figura 3-2 – Traccia delle sezioni nell'area di intervento configurazione 2

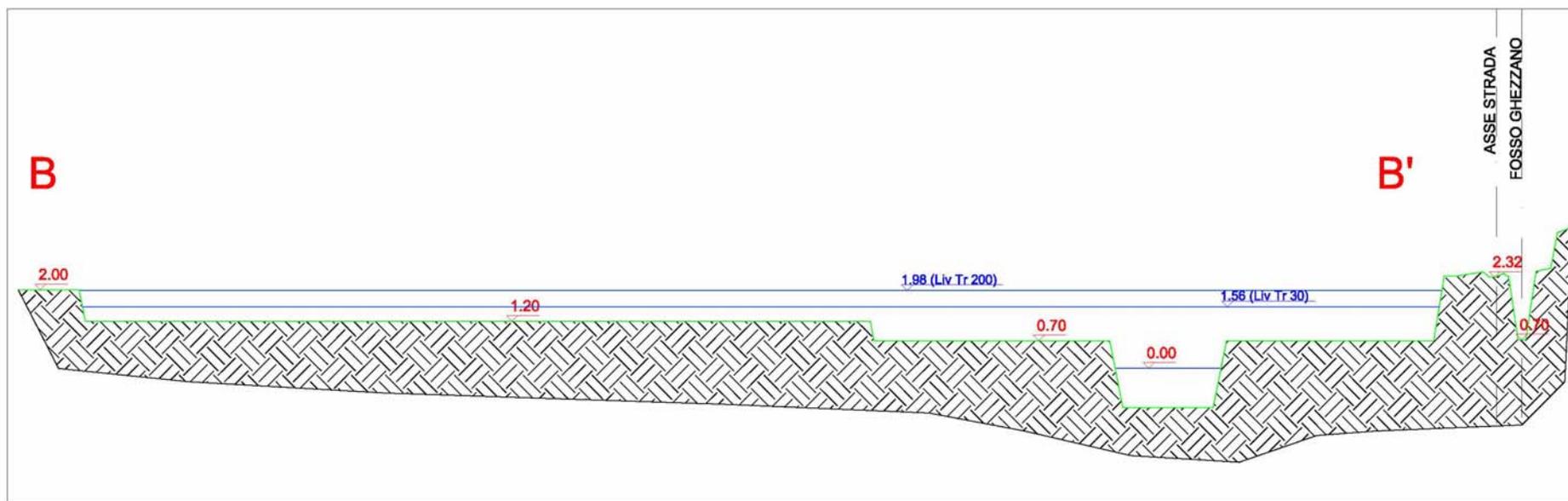
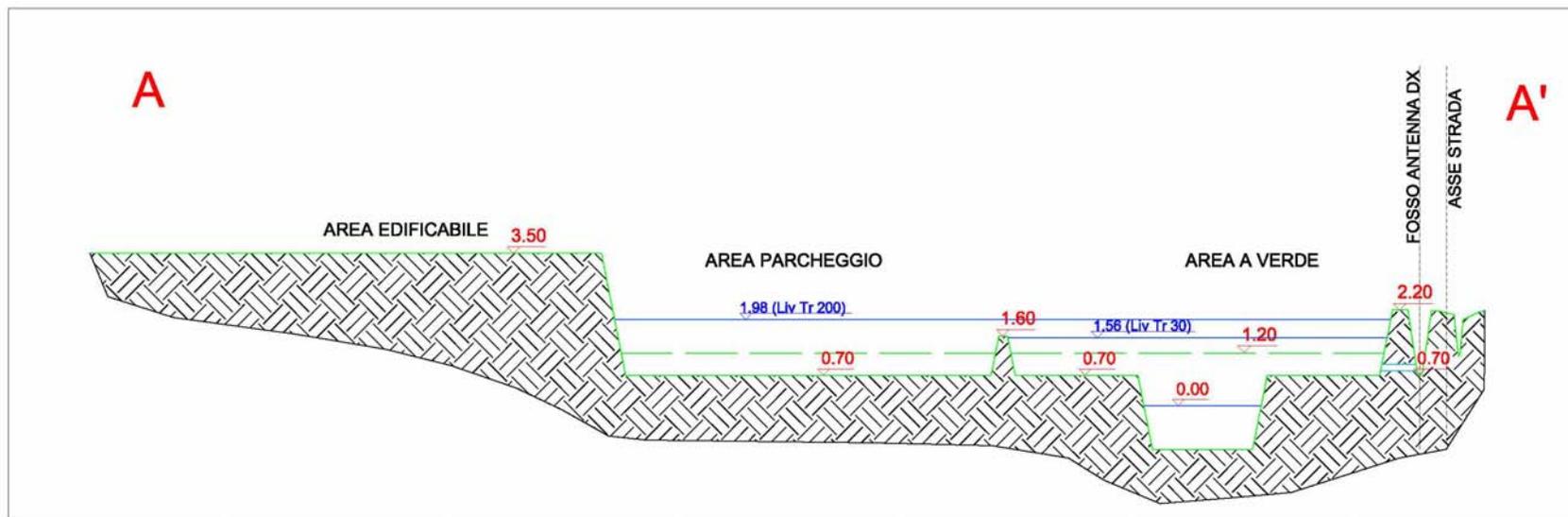


Figura 3-3 – Sezioni trasversali all'area di intervento

## 4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è stata finalizzata alla definizione dei carichi idraulici nell' stato di progetto come previsto dal "Riassetto idraulico dei bacini di Pisa Nord-Est nei comuni di Pisa e di San Giuliano".

L'analisi idrologica è stata condotta con un modello a parametri distribuiti su tutti i bacini di Pisa Nord-Est.

Il modello idrologico a parametri distribuiti utilizzato che prevede l'uso dei seguenti dati:

- curve di possibilità pluviometrica;
- modello digitale del terreno con maglia 10mx10m;
- mappa dell'uso del suolo;
- mappa geolitologica.

### 4.1 Le curve di possibilità pluviometrica

La curva di possibilità pluviometria utilizzata è stata acquisita dagli studi condotti dalla Regione Toscana per la regionalizzazione delle portate di piena con i dati fino al 2002.

Il modello probabilistico utilizzato è il modello di valore estremo TCEV a doppia componente che consente di pervenire a una curva di possibilità pluviometrica nella forma:

$$h = ad^n T^m$$

dove  $h$  è in [mm],  $d$  in [ore] e  $T$  in [anni], mentre  $a$ ,  $n$  e  $m$  sono i parametri della curva caratteristici per ciascuna stazione pluviometrica.

La curva di possibilità pluviometrica è riportata nella Tabella 4-1.

Codice	Nome	> ora			< ora		
		A	N	M	A	N	M
540	Pisa (Facoltà di Agraria)	32.289	0.256	0.212	32.426	0.473	0.168

Tabella 4-1 –Curva di possibilità pluviometrica.

### 4.2 I dati territoriali

Le basi di dati cartografici, in formato digitale (*raster*), sono costituite da:

- reticolo idrografico e spartiacque;
- modello digitale del terreno (DTM) 10mx10m finalizzato al calcolo del *raster* dei puntatori;
- mappa dell'uso del suolo;
- mappa delle formazioni geo-litologiche.

Il reticolo idrografico e i bacini afferenti sono stati definiti sulla base del materiale fornito dal Consorzio di bonifica Fiumi e Fossi per l'area oggetto di studio. Nello stesso modo sono state definite la cartografia dell'uso del suolo e quella della geolitologia.

Il modello digitale del terreno è stato invece ricavato dai dati della Autorità di Bacino del Fiume Arno.

I tempi di trasferimento sono stati valutati nella ipotesi che la velocità di trasferimento nella singola sezione sia funzione dell'area del bacino a monte e della pendenza del reticolo idrografico. La relazione, i cui coefficienti numerici scaturiscono dalla fase di taratura, risulta del tipo:

$$v = 1.2 \times A^{0.15} \times S^{0.2}$$

dove  $v$  è la velocità di trasferimento in [m/s],  $A$  è l'area del bacino espresso in [km<sup>2</sup>],  $S$  è la pendenza dell'asta fluviale.

Dalle mappe della geo-litologia e dell'uso del suolo, attraverso la stima dei parametri idraulici delle diverse formazioni corrette in base alle diverse coperture, vengono ricavate le mappe distribuite riguardanti la capacità di massima ritenuta del suolo e la velocità di infiltrazione a saturazione.

La capacità di ritenuta del suolo (indicata con  $SC$ , *Storage Capacity*) viene inizialmente stimata in funzione delle caratteristiche geo-litologiche. Nella Tabella 4-2 viene riportata l'associazione tra ogni classe geo-litologica e il valore medio e la deviazione standard della capacità di ritenuta.

Codice	SC media [mm]	SC dev.sta . [mm]	Descrizione
1	110	55	Tipo B - Depositi fluviali, lacustri e marini, terrazzati
2	120	60	Tipo C - Depositi alluvionali, di colmata e palustri, terreni torbosi

Tabella 4-2 – Capacità di ritenuta per ciascuna classe geo-litologica.

La capacità di ritenuta derivante dalla geolitologia viene pesata con il moltiplicatore della Tabella 4-1. Alla capacità di ritenuta propria del suolo viene aggiunta un'ulteriore quota di potenziale accumulo riconducibile al fattore uso del suolo. Tale contributo rispecchia prevalentemente la capacità di intercettazione propria della vegetazione: non si tratta quindi di una modificazione della capacità di accumulo del suolo precedentemente stimata, quanto piuttosto di una possibile quantificazione di un fenomeno legato alla copertura vegetale. L'effetto è comunque, nell'ottica del modello idrologico utilizzato, equivalente ad una maggiorazione della capacità di ritenuta, e come tale viene computato. Anche in questo caso vengono riportati in Tabella 4-3, per ogni classe, un valore medio e la sua deviazione standard.

Codice	SC media [mm]	SC dev.sta . [mm]	Descrizione
1	0.1	0.05	Aree residenziali con aree impermeabili > 65%
2	0.1	0.05	Aree commerciali industriali e servizi
3	15	7.5	Spazi aperti con manto erboso >75%
4	15	7.5	Verde pubblico, giardini, parchi
5	0.1	0.05	Strade e parcheggi

Tabella 4-3 – Capacità di ritenuta aggiuntiva per ciascuna classe di uso del suolo.

I valori della velocità di infiltrazione a saturazione ( $K_s$ ), che nel modello considerato regolano il meccanismo di perdite del suolo, vengono anch'essi derivati dalle caratteristiche litologiche e quindi pesati in funzione dell'uso del suolo. Nella Tabella 4-4 si riportano i valori medi e la deviazione standard della velocità di infiltrazione in funzione della geolitologia. La velocità di infiltrazione a saturazione così calcolata è stata corretta moltiplicandola con una fattore dipendente dall'uso del suolo variabile come riportato nella Tabella 4-5.

Codice	IN media [mm/h]	IN dev.sta . [mm/h]	Descrizione
1	2.00	1	Tipo B - Depositi fluviali, lacustri e marini, terrazzati
2	1.20	0.6	Tipo C - Depositi alluvionali, di colmata e palustri, terreni torbosi

Tabella 4-4 – Velocità di infiltrazione a saturazione per ciascuna classe geo-litologica.

Codice	IN media [mm/h]	IN dev.sta . [mm/h]	Descrizione
1	0.35	0.175	Aree residenziali con aree impermeabili > 65%
2	0.30	0.15	Aree commerciali industriali e servizi
3	1.30	0.65	Spazi aperti con manto erboso >75%
4	1.00	0.5	Verde pubblico, giardini, parchi
5	0.20	0.125	Strade e parcheggi

Tabella 4-5 – Moltiplicatore della capacità di ritenuta e della velocità di infiltrazione a saturazione.

### 4.3 Le precipitazioni

L'input di precipitazione, in termini di ietogramma di pioggia, è stato ricavato sulla base curve di possibilità pluviometria (C.P.P.) prima riportate. Lo ietogramma è ricostruito sulla base delle C.P.P. secondo l'andamento temporale dello ietogramma tipo Chicago. Si tralascia in questa sede la descrizione dello ietogramma Chicago e del coefficiente di riduzione areale  $K_r$ .

Nel caso specifico il valore di  $r$  (rapporto tra la durata dell'evento e il tempo di picco) è stato fissato pari a 0.4 che bene rappresenta la forma degli ietogrammi di pioggia nell'area di studio.

La durata degli eventi è stata assunta pari a 6 ore per gli eventi critici sull'area di intervento (Scenario 1) e di pari a 24 ore per gli eventi critici del fiume Arno (Scenario 2).

I parametri della formula adottata sono i seguenti:

- $\alpha = 0.036 \cdot a'$ , dove  $a'$  è il parametro della curva di possibilità;
- $\beta = 0.25$ ;
- $\gamma = 0.01$ .

L'applicazione del coefficiente di ragguglio areale allo ietogramma di tipo Chicago è stata condotta applicando la formula separatamente a ciascuna intervallo di tempo a cavallo del

picco di pioggia in modo da modificare la forma dello ietogramma di progetto in funzione dell'area del bacino cui questo viene applicato.

Una tale applicazione consente di modificare automaticamente la forma dello ietogramma in considerazione del fatto che le piogge ragguagliate per bacini piccoli mantengono alti valori di intensità che poi diminuiscono all'aumentare della dimensione del bacino fino a divenire assimilabili a precipitazioni di intensità costante per grandi bacini.

Per gli eventi di durata 24 ore critici per il fiume Arno il valore dell'area inserito nella formula di ragguaglio areale è quello del bacino dell'Arno a Pisa pari a 7000kmq.

#### **4.4 I parametri del modello afflussi – deflussi**

Il modello necessita della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

- $\alpha_0$  = grado di saturazione iniziale [/];
- $RI$  = coefficiente moltiplicativo del *raster* della capacità di ritenuta del suolo [/];
- $IN$  = coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/];
- $IP$  = coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/];
- $MT$  = coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/];
- $CI$  = coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/].

I parametri sono stati derivati da analoghi studi condotti nell'area.

Nella Tabella 4-6 si riportano i valori dei parametri adottati per la ricostruzione delle portate di piena.

<b>Parametro</b>	
Grado di saturazione iniziale = $\alpha_0$	0.30
Coefficiente di ripartizione cinematico/invaso = $CI$	0.30
Molt. Velocità di trasferimento = $MT$	1.20
Molt. Infiltrazione a saturazione = $IN$	1.00
Molt. Capacità di Ritenuta = $RI$	1.20

Tabella 4-6 – Parametri del modello idrologico utilizzati per i vari bacini.

Per il calcolo degli idrogrammi di piena di progetto è stata trascurata la componente del deflusso ipodermico. Tale assunzione risulta comunque in favore di sicurezza in quanto l'introduzione della componente di deflusso ipodermico comporta una diminuzione delle portate al picco in ragione della minore entità dei deflussi superficiali.

#### **4.5 Le portate di piena**

La stima delle portate di piena è stata condotta considerando i tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni. La valutazione degli idrogrammi di piena è stata condotta sulla base di quanto esposto nei paragrafi precedenti utilizzando il modello afflussi-deflussi e applicando l'input di precipitazione con andamento temporale del tipo Chicago coerente con le Curve di

Possibilità Pluviometrica. L'analisi idrologica ha portato alla stima delle portate per il bacino del nuovo Ospedale (con scarico sia a gravità che meccanico) e per la restante parte di bacino afferente all'impianto idrovoro

Bacino	Area [kmq]	TI [ore]	Scenario	Q Tr 30 [mc/s]	Q Tr 200 [mc/s]
Bacino Nord	5.07	1.98	1	24.5	41.4
			2	20.0	33.7
Bacino Ospedale	0.46	0.96	1	3.5	5.9
			2	2.5	4.2

Tabella 4-7 – Portate idrologiche

Nella Tabella 4-8 si riportano i valori delle portate al colmo delle diverse immissioni.

Corso d'acqua	Codice	Tr 30		Tr 200	
		Locale	Arno	Locale	Arno
IMI_01	FP0001__	0.10	0.10	0.20	0.10
IMI_02	FP0008__	0.00	0.00	0.00	0.00
IMI_03	FP0013__	0.00	0.00	0.10	0.10
IMI_04	GH0001__	2.20	1.60	3.70	2.60
IMI_05	GH0008__	0.40	0.20	0.70	0.40
IMI_06	AD0001__	0.80	0.50	1.40	0.90
IMI_07	AD0011__	0.20	0.20	0.70	0.50
IMI_08	AD0022__	0.00	0.00	0.10	0.00
IMI_10	GH0011__	0.20	0.10	0.40	0.20
IMI_11	AS0001__	0.60	0.30	0.90	0.60
IMI_12	AS0020A__	0.10	0.10	0.40	0.30
IMI_13	AS0033__	0.00	0.00	0.20	0.10
IMI_15	GH0015__	1.40	0.90	2.30	1.40
IMI_16	FL0001__	0.40	0.30	0.70	0.50
IMI_17	FL0003__	0.10	0.00	0.20	0.10
IMI_18	FL0009__	0.00	0.00	0.10	0.10
IMI_19	FV0001__	1.00	0.70	1.80	1.20
IMI_20	FV0014__	1.00	0.70	2.00	1.40
IMI_21	FV0018__	0.20	0.10	0.40	0.20
IMI_23	FL0014__	0.10	0.10	0.40	0.30
IMI_25	GH0024__	0.30	0.20	0.60	0.40
IMI_26	RV0001__	15.90	12.10	25.90	19.60
IMI_27	RV0005__	8.90	6.90	14.90	11.40
IMI_28	RV0012__	0.60	0.30	1.00	0.70
IMI_30	RV0019__	3.90	2.70	6.30	4.30
IMI_31	CO0001A__	0.20	0.10	0.40	0.20
IMI_32	CO0008__	3.40	2.40	5.70	4.10

Tabella 4-8 – Portate a colmo delle varie immissioni [mc/s]

## 5 ANALISI IDRAULICA

La verifica idraulica del sistema è stata condotta per entrambe le configurazioni per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni in due scenari. Lo Scenario 1 è relativo all'evento critico sull'area di studio di durata 6 ore, lo Scenario 2 è relativo a uno scenario critico per il fiume Arno di durata 24 ore.

La verifica è stata condotta con un modello idraulico in moto vario con modellazione quasi-bidimensionale delle aree di esondazione.

La condizione al contorno di monte in termini di idrogramma di portata è stata assegnata nella prima sezione di monte di ciascun corso d'acqua e come immissioni in una serie di sezioni intermedie.

### 5.1 Implementazione del modello idraulico

La scabrezza utilizzata (espressa come coefficiente di Gauckler-Strickler) assume i valori di seguito riportati per ciascun canale:  
è stata assunta pari a per tutti i corsi d'acqua.

- Fosso Padule -  $36 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- Fosso di Ghezzano -  $36 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- Fosso Antenna destro -  $36 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ;
- Fosso Antenna sinistro -  $36 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- Fosso della Libertà -  $36 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- Fosso Volta -  $36 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- Canale Rivestito -  $54 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- Canale Ospedale principale-  $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- Canale Ospedale derivazione-  $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Per le perdite di espansione e contrazione in prossimità dei ponti sono stati assunti rispettivamente un coefficiente pari a 0.2 per la contrazione e 0.4 per l'espansione. I coefficienti delle perdite per espansione e contrazione in assenza di ponti sono rispettivamente pari a 0.2 e 0.1.

La condizione di valle del canale Rivestito e del canale Ospedale derivazione è stata posta direttamente nella vasca di carico dell'impianto idrovoro. La condizione di valle del canale Ospedale principale è stata posta nella sezione 127 dell'Arno.

Nei paragrafi seguenti si riporta la descrizione degli elementi costituenti il modello nelle varie configurazioni.

### 5.1.1 La Configurazione 1

Di seguito si riportano le caratteristiche delle casse (Tabella 5-1), delle soglie sfioranti (Tabella 5-2), delle portelle (Tabella 5-3) e delle idrovore (Tabella 5-4) nella configurazione 1.

Nome	Quota rif. [m s.l.m.]	AC	BC
Bacino_Nord	-0.5	4200	1
Bacino_Ospedale	-0.5	2700	1
CS001__	1.2	106822	1
CS002__	1.1	86213	1
CS003__	1	91503	1

Tabella 5-1 – Caratteristiche delle casse – configurazione 1

Nome	Sezione mon.	Sezione val.	Cassa val.	Largh. [m]	Quota [m s.l.m.]
SF001__	GH0007__		CS001__	20	1.6
SF002__	GH0018__		CS002__	20	1.6
SF003__	RV0007__		CS003__	20	1.6
SF006__	RV0004__	GH0007__		10	1.6
SF007__	RV0010__	GH0018__		10	1.6

Tabella 5-2 – Caratteristiche delle soglie sfioranti – configurazione 1

Nome	Sezione mon.	Cassa mon.	Sezione val.	Largh. [m]	Quota sogl. [m s.l.m.]	Quota intr. [m s.l.m.]	GA max	GA min	Batt. Max [m s.l.m.]	Batt. Min [m s.l.m.]
PO001__	CO0012__		Cb0013__	3	4.35	5.85	100	0	5.35	4.85
PO002__		CS001__	AD0024A__	1	1.2	2.2	100			
PO003__		CS002__	FL0014__	1	1.1	2.1	100			
PO004__		CS003__	RV0016__	1	1	2	100			

Tabella 5-3 – Caratteristiche delle portelle – configurazione 1

Nome	Q [mc/s]	Quota att. [m s.l.m.]	Quota stac. [m s.l.m.]	Livello val.	Cassa mon.
ID001__	1.5	0	-0.4	133	Vasca_Nord
ID002__	3	0.2	-0.2	133	Vasca_Nord
ID003__	3	0.4	0	133	Vasca_Nord
ID004__	3	0.6	0.2	133	Vasca_Nord
ID005__	3	0.8	0.4	133	Vasca_Nord
ID006__	3	1	0.6	133	Vasca_Nord
ID007__	3	0.6	0.2	133	Vasca_H
ID008__	1.5	0	-0.4	133	Vasca_H

Tabella 5-4 – Caratteristiche delle idrovore – configurazione 1

## 5.1.2 La Configurazione 2

Di seguito si riportano le caratteristiche delle casse (Tabella 5-5), delle soglie sfioranti (Tabella 5-6), delle portelle (Tabella 5-7) e delle idrovore (Tabella 5-8) nella configurazione 1.

Nome	Quota rif. [m s.l.m.]	AC	BC
Bacino_Nord	-0.5	4200	1
Bacino_Ospedale	-0.5	2700	1
CS001__	1.2	64527	1
CS001P__	0.7	12688	1
CS001V__	0.7	12688	1
CS002__	1.1	86213	1
CS003__	1	91503	1

Tabella 5-5 - Caratteristiche delle casse – configurazione 2

Nome	Sezione mon.	Cassa mon.	Sezione val.	Cassa val.	Largh. [m]	Quota [m s.l.m.]
SF001__	GH0007__			CS001V__	20	1.6
SF001V__		CS001V__		CS001__	20	1.2
SF001P__		CS001V__		CS001P__	20	1.6
SF002__	GH0018__			CS002__	20	1.6
SF003__	RV0007__			CS003__	20	1.6
SF006__	RV0004__		GH0007__		10	1.6
SF007__	RV0010__		GH0018__		10	1.6

Tabella 5-6 - Caratteristiche delle soglie sfioranti – configurazione 2

Nome	Sezione mon.	Cassa mon.	Sezione val.	Largh. [m]	Quota sogl. [m s.l.m.]	Quota intr. [m s.l.m.]	GA max	GA min	Batt. Max [m s.l.m.]	Batt. Min [m s.l.m.]
PO001__	CO0012__		Cb0013__	3	4.35	5.85	100	0	5.35	4.85
PO002__		CS001V__	AD0024A__	1	0.7	1.7	100			
PO003__		CS002__	FL0014__	1	1.1	2.1	100			
PO004__		CS003__	RV0016__	1	1	2	100			

Tabella 5-7 - Caratteristiche delle portelle – configurazione 2

Nome	Q [mc/s]	Quota att. [m s.l.m.]	Quota stac. [m s.l.m.]	Livello val.	Cassa mon.
ID001__	1.5	0	-0.4	133	Vasca_Nord
ID002__	3	0.2	-0.2	133	Vasca_Nord
ID003__	3	0.4	0	133	Vasca_Nord
ID004__	3	0.6	0.2	133	Vasca_Nord
ID005__	3	0.8	0.4	133	Vasca_Nord
ID006__	3	1	0.6	133	Vasca_Nord
ID007__	3	0.6	0.2	133	Vasca_H
ID008__	1.5	0	-0.4	133	Vasca_H

Tabella 5-8 - Caratteristiche delle idrovore – configurazione 2

## **5.2 Risultati della verifica idraulica**

Nell'Allegato A si riportano i tabulati delle verifiche idrauliche in tutti gli scenari e in tutte le configurazioni, nell'Allegato B si riportano le sezioni fluviali con i livelli dello scenario 1 nella configurazione 2.

Le verifiche idrauliche evidenziano che le due configurazioni sono del tutto equivalenti ai fini della messa in sicurezza idraulica dell'area.

I livelli con tempo di ritorno di 200 anni sono contenuti nei canali con franco nullo. Solo in alcuni casi si registrano modeste esondazioni che possono essere risolte con una regolarizzazione delle arginature.

Si segnala a tale proposito il caso del canale rivestito nella parte di monte dove per il contenimento della portata con tempo di ritorno di 200 anni sarebbe necessario provvedere alla sopraelevazione delle sponde per circa 80cm ad esempio con la realizzazione di una spalletta. In tal senso si osserva che in questo caso i livelli nel canale si mantengono comunque al disotto della quota dei piani stradali circostanti.

Si evidenzia inoltre che le portate con tempo di ritorno di 200 anni con cui è stato cimentato il sistema sono quelle idrologiche, tali portate, in modo particolare quelle afferenti al canale rivestito che provengono dall'area urbana, nel breve medio periodo difficilmente potranno afferire al sistema in quanto le reti fognarie a monte sono di norma progettate per il tempo di ritorno di 20-30 anni.

A titolo di esempio si riportano per lo scenario 1 nella configurazione 2 gli idrogrammi in uscita dal sistema a valle del canale Rivestito, del canale Ospedale principale e del canale Ospedale derivazione.

I volumi invasati nelle aree di espansione nello scenario 1 configurazione 1 sono riportati nella Tabella 5-9.

	<b>Tr 30</b>	<b>Tr 200</b>
Cassa 1	34790	83476
Cassa 2	16664	66670
Cassa 3	40676	90368
	92130	240514

Tabella 5-9 – Volumi invasati nelle casse di laminazione

### Idrogrammi canale Rivestito

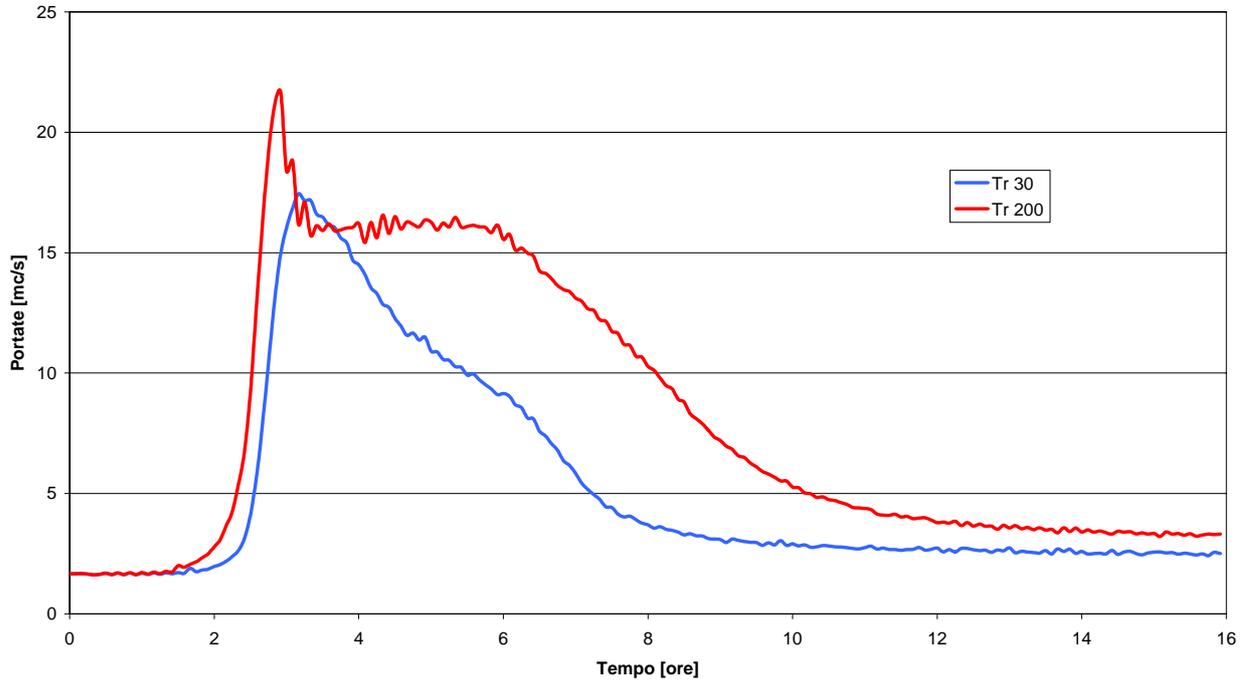


Figura 5-1 – Idrogrammi canale Rivestito scenario 1 configurazione 2

### Idrogrammi canale Ospedale principale

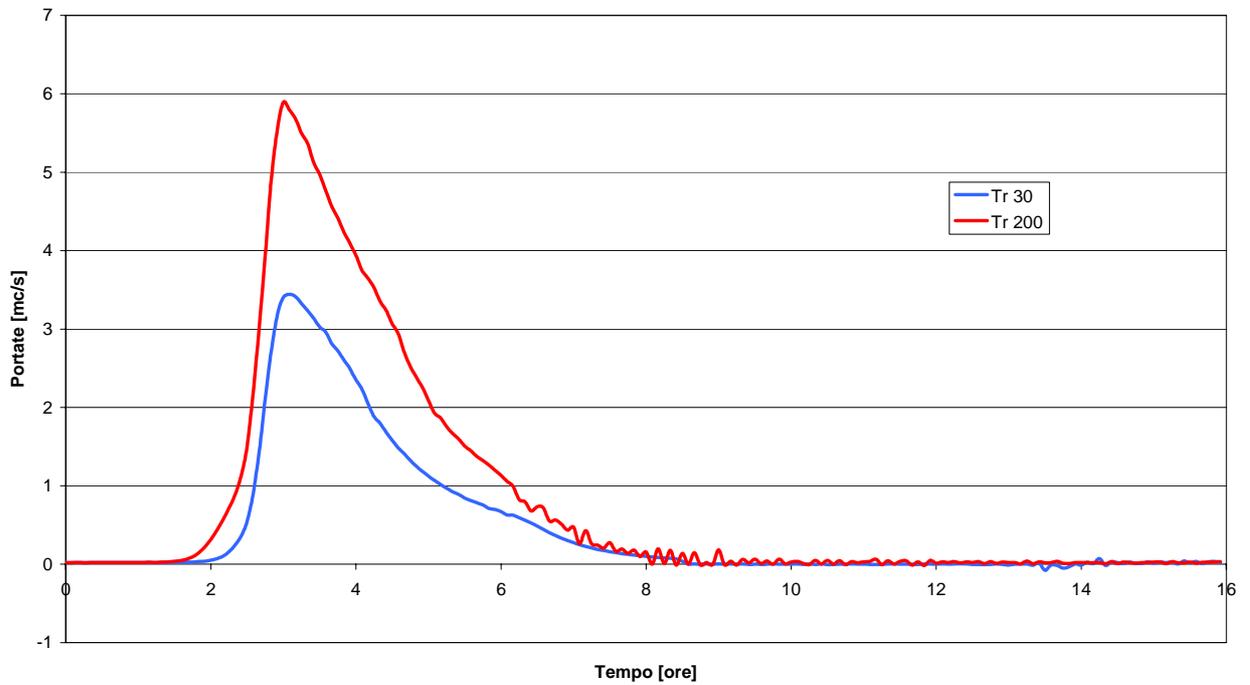


Figura 5-2 - Idrogrammi canale Ospedale principale scenario 1 configurazione 2

**Idrogrammi canale Ospedale derivazione**

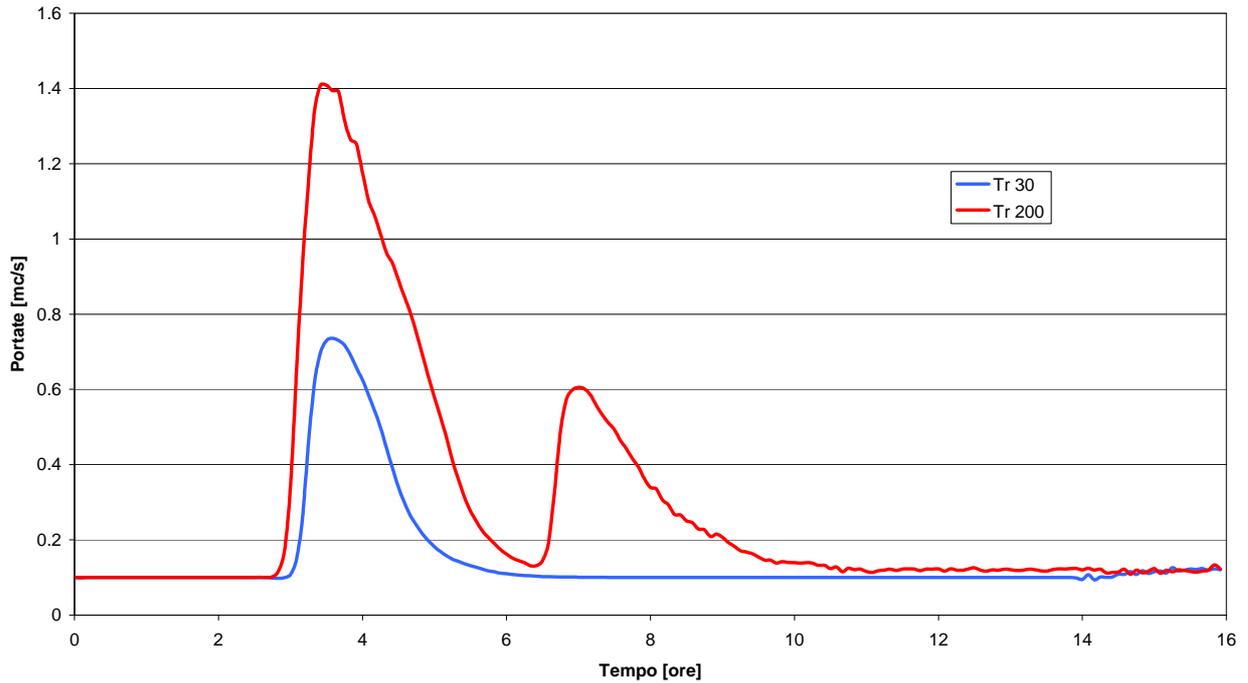


Figura 5-3 - Idrogrammi canale Ospedale derivazione scenario 1 configurazione 2

Si osserva infine che nella configurazione 1 e nella configurazione 2 i volumi invasati nella cassa 1 e i livelli per il tempo di ritorno di 200 anni risultano di fatto invariati come è possibile osservare nella Tabella 5-10.

	<b>Livello [m s.l.m.]</b>	<b>Volume [mc]</b>
Configurazione 1	1.98	83475
Configurazione 2	1.98	83504

Tabella 5-10 – Livelli e volumi nelle due configurazioni nella cassa 1

## 6 INVARIANZA IDRAULICA

Oltre alla verifica della compatibilità idraulica dell'intervento con le previsioni di messa in sicurezza del progetto "Riassetto idraulico dei bacini di Pisa Nord-Est nei comuni di Pisa e di San Giuliano" è stato condotto il calcolo dei volumi necessari al fine di garantire il principio della invarianza idraulica a seguito delle variazioni della permeabilità delle aree oggetto di intervento.

Il calcolo dei contributi ante e post operam è stato condotto utilizzando il metodo dell'"invaso secondo la seguente espressione:

$$u = C \frac{(\psi a)^{1/n_0}}{v_0^{(1/n_0-1)}}$$

dove

- u contributo unitario in [l/s ha];
- C = 2160 n<sub>0</sub> (secondo Puppini nella ipotesi di serbatoio lineare);
- ψ coefficiente di deflusso unitario;
- a coefficiente dalla CPP [m/hn];
- n<sub>0</sub> = 4/3 n esponente della CPP;
- v<sub>0</sub> invaso specifico [m].

I parametri ψ e v<sub>0</sub> sono funzione del tipo di uso del suolo. Nel presente caso sono stati adottati i seguenti coefficienti:

Superfici permeabili	ψ = 0.20	v <sub>0</sub> = 0.010 m.
Superfici semipermeabili	ψ = 0.50	v <sub>0</sub> = 0.008 m.
Superfici impermeabili	ψ = 0.90	v <sub>0</sub> = 0.005 m.

In questa fase sono stati ipotizzate le seguenti percentuali di superfici permeabili, semipermeabili e impermeabili nelle aree a diversa destinazione d'uso:

### *Area edificabile*

Superfici impermeabili      100%

### *Area a parcheggi*

Superfici permeabili      20%  
Superfici semipermeabili      30%  
Superfici impermeabili      50%

### *Area a verde*

Superfici permeabili      100%

I calcoli sono stati effettuati per il tempo di ritorno di 200 anni utilizzando la curva pluviometrica della stazione di Pisa (Istituto di Agraria).

I risultati sono riportati nella Tabella 6-1 nello stato ante e post operam.

ZONA	AREA <sup>1</sup> [mq]	Tipo progetto	Tipo attuale	up [l/sha]	Vt[m]	Vi [mc]	Vp [m]	Phip	ua [l/sha]	Va [m]	Phia
Edificabile	17520	Impermeabile	Permeabile	33	0.139	2346	0.005	0.9	33	0.01	0.2
Parcheggio	2628	Permeabile	Permeabile	33	0.010	0	0.01	0.2	33	0.01	0.2
Parcheggio	3942	Semipermeabile	Permeabile	33	0.057	193	0.008	0.5	33	0.01	0.2
Parcheggio	6570	Impermeabile	Permeabile	33	0.139	880	0.005	0.9	33	0.01	0.2
Verde	13140	Permeabile	Permeabile	33	0.010	0	0.01	0.2	33	0.01	0.2

Tabella 6-1 – Calcolo dell'invarianza idraulica

Il contributo del suolo permeabile è stato valutato in 33 l/s ha. Al fine di non variare il contributo nello stato di progetto è necessario realizzare un invaso di circa 3500 mc.

Tale invaso potrà essere utilmente realizzato all'interno delle aree a verde. Supponendo un battente di invaso di 70 cm è necessaria un'area di circa 5000 mq. Tale area potrebbe coincidere con la realizzazione di uno specchio d'acqua con pelo libero alla quota 0.0 m s.l.m. e profondità da definire nelle successive fasi progettuali (Figura 3-3).

Il drenaggio di tale area sarà demandato all'impianto di sollevamento già previsto per il drenaggio delle aree a parcheggio e a verde.

---

<sup>1</sup> La somma delle aree è pari a 43200 mq in quanto in quanto si è fatto riferimento all'intera superficie di intervento anche esterna all'area della cassa.

## 7 CONCLUSIONI

Le analisi condotte nel presente studio hanno dimostrato la compatibilità tra le previsioni del progetto di "Riassetto idraulico dei bacini di Pisa Nord-Est nei comuni di Pisa e di San Giuliano" e la realizzazione, in una porzione della cassa 1 di laminazione del "Campus Sant'Anna San Giuliano -Polo Scienze della Vita e dell'Ambiente" della Scuola Superiore Sant'Anna.

In particolare nello studio è stato prima verificata una configurazione di progetto che non prevede la realizzazione del Campus. In questa fase sono stati definiti una serie di parametri progettuali quali: le portate di progetto, la quota di fondo delle casse di laminazione, la quota e la dimensione delle soglie sfioranti, la portata e il numero delle macchine per il sollevamento meccanico.

I suddetti parametri dovranno essere condivisi con i tecnici del Consorzio Fiumi e Fossi.

E' stata quindi definita una configurazione progettuale che prevede la realizzazione del Campus in una porzione della cassa 1. Al fine di recuperare completamente il volume di invaso previsto nella configurazione 1 si propone di accentuare lo sbassamento del piano campagna nelle aree a parcheggio e nelle aree a verde all'interno del Campus.

Le aree a parcheggio saranno comunque separate dalle aree a verde in modo da non essere inondabili per il tempo di ritorno di circa 30 anni.

Lo sbassamento del piano campagna nelle aree suddette fino alla quota di fondo dei canali di scarico comporterà la necessità di prevedere un sollevamento meccanico delle acque meteoriche per evitare fenomeni di ristagno.

Nelle aree a verde si provvederà infine a realizzare i volumi di compenso necessari a garantire il principio di invarianza idraulica.