



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
RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

ELABORATO:

A

REV:

00

DATA:

LUGLIO 2010

SCALA:

-

COMMESSA:

L564

NOME FILE:

Relazione.pdf



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

REV. DATA

PRIMA EMISSIONE

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

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>Il modello idrologico a parametri distribuiti</i>	12
4.4	<i>Le precipitazioni</i>	13
4.5	<i>I parametri del modello afflussi – deflussi</i>	14
4.6	<i>Le portate di piena</i>	15
5	ANALISI IDRAULICA.....	23
5.1	<i>Implementazione del modello idraulico</i>	23
5.1.1	<i>La Configurazione 1</i>	24
5.1.2	<i>La Configurazione 2</i>	25
5.2	<i>Risultati della verifica idraulica</i>	26
6	INVARIANZA IDRAULICA.....	29
7	CONCLUSIONI.....	31

ELENCO ELABORATI

ELABORATO A	—	Relazione Idrologica ed Idraulica
ALLEGATO A	—	Tabulati Verifiche Idrauliche
ALLEGATO B	—	Sezioni fluviali - Scenario 1 Configurazione 2
TAVOLA 1	—	Planimetria sezioni e aree di laminazione
TAVOLA 2	—	Profili longitudinali – Scenario 1 Configurazione 2

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 ripermimetrazione 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.

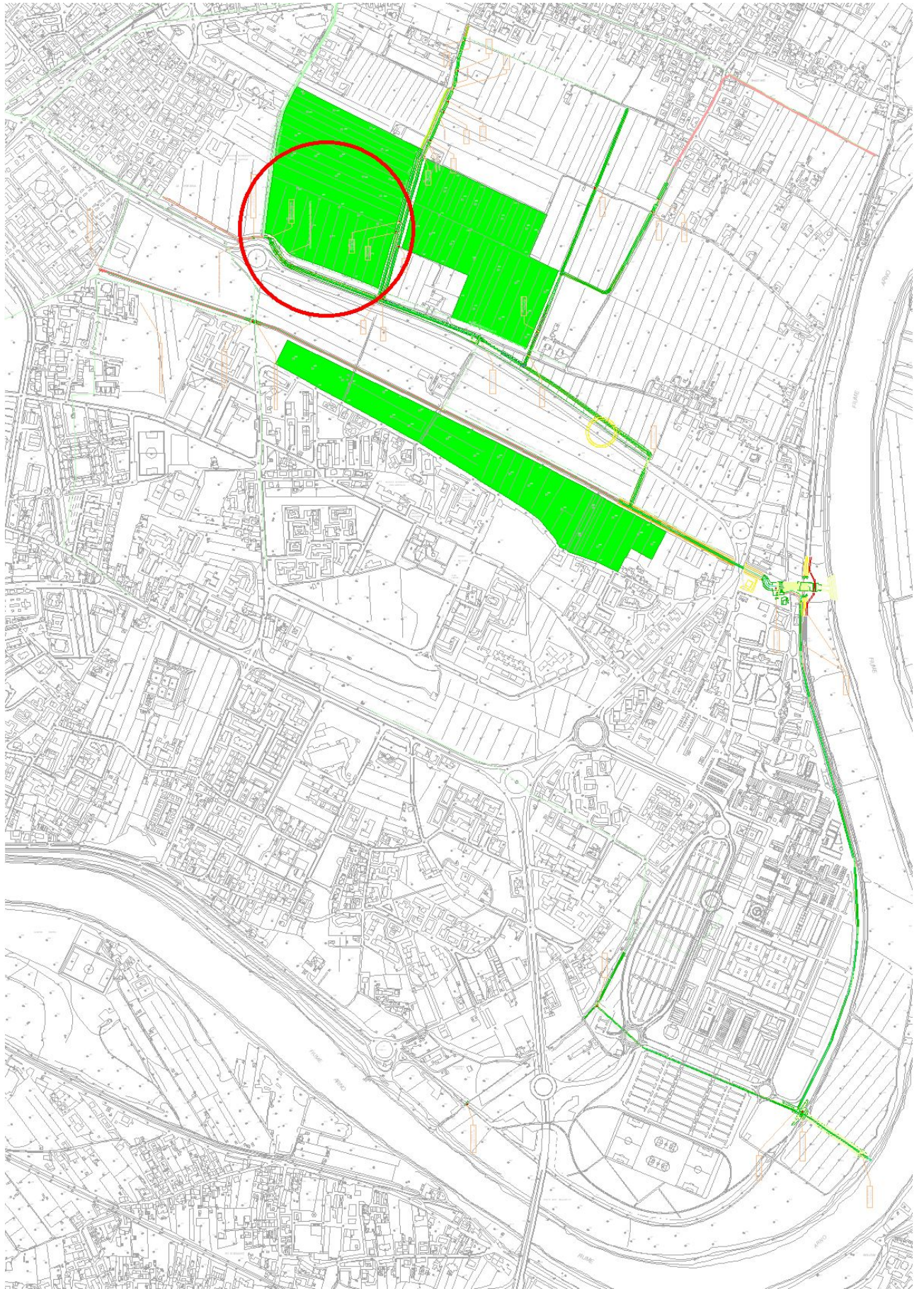


Figura 1-1 – Area di studio.

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 Tavola 1 e 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 casse hanno tutte la larghezza di 20 m 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 della 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.

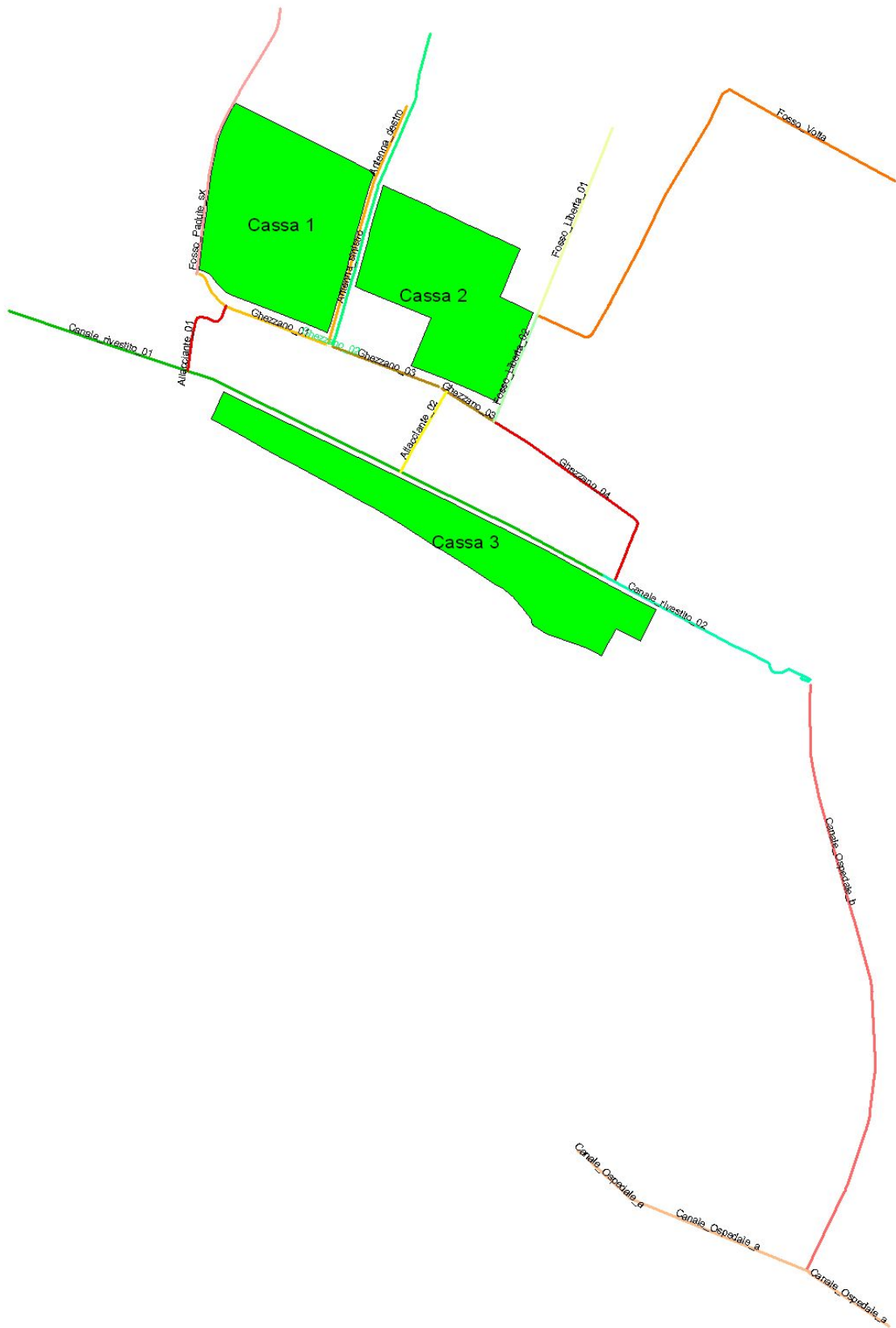


Figura 3 -1 – Schema del sistema idraulico configurazione 1

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

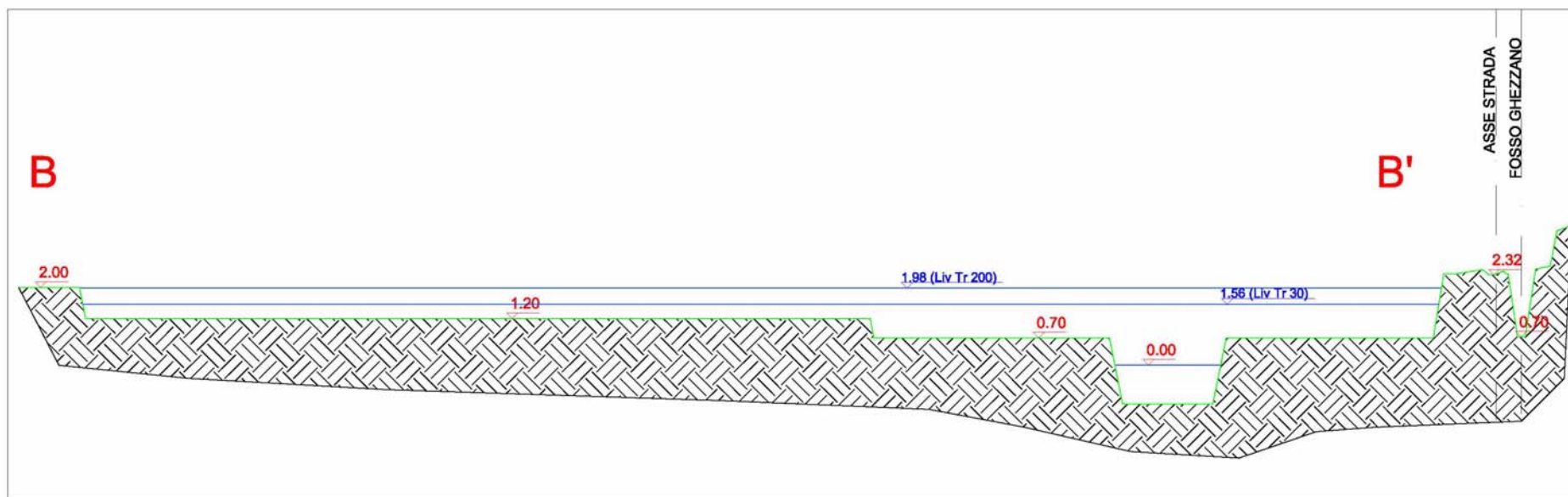
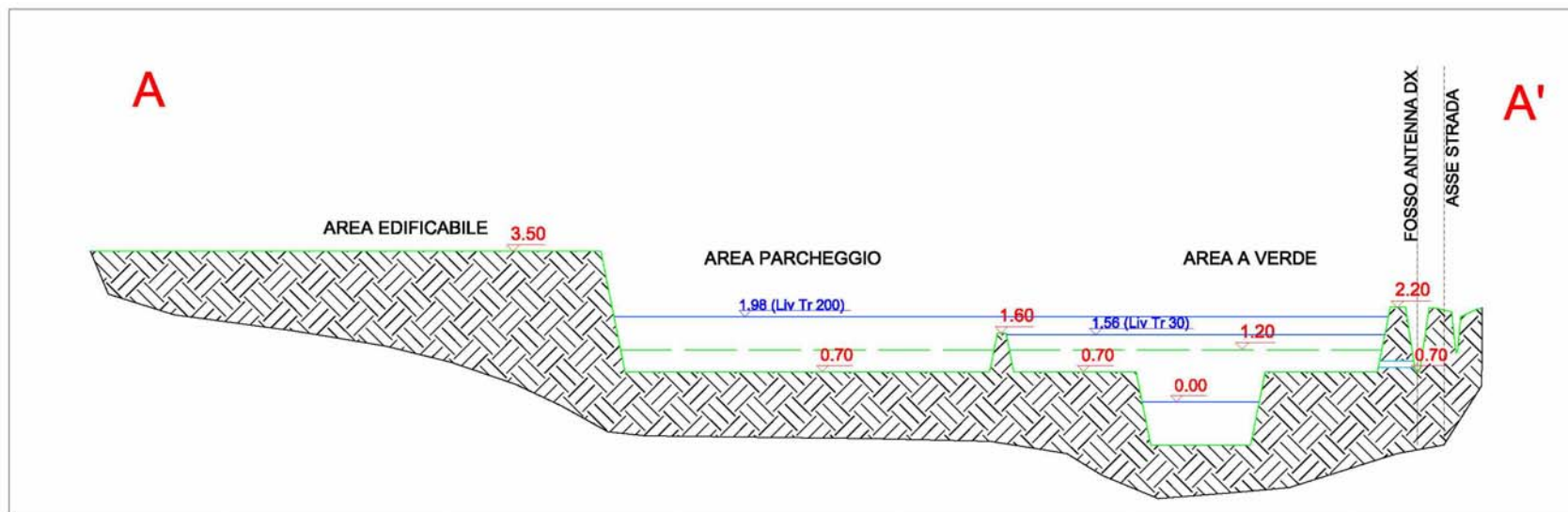


Figura 3-3 – Sezioni trasversali all'area di intervento

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 pluviometrica 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 come riportati nella Figura 4-1 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 (Figura 4-3) e quella della geolitologia (Figura 4-4).

Il modello digitale del terreno è stato invece ricavato dai dati della Autorità di Bacino del Fiume Arno (Figura 4-2).

Le legende per la mappa geolitologica e dell'uso del suolo sono riportate nella Tabella 4-2 e Tabella 4-3.

Codice	Descrizione
1	Tipo B - Depositi fluviali, lacustri e marini, terrazzati
2	Tipo C - Depositi alluvionali, di colmata e palustri, terreni torbosi

Tabella 4-2 – Legenda della cartografia geo-litologica.

Codice	Descrizione
1	Aree residenziali con aree impermeabili > 65%
2	Aree commerciali industriali e servizi
3	Spazi aperti con manto erboso >75%
4	Verde pubblico, giardini, parchi
5	Strade e parcheggi

Tabella 4-3 – Legenda della cartografia dell'uso del suolo.

Si è quindi operato sul modello digitale del terreno 10mx10m al fine di ricavare nel modo corretto il *raster* dei "puntatori idrologici e dei tempi di trasferimento". Il *raster* dei puntatori indica la direzione del deflusso superficiale e viene ricavato assumendo che ogni cella versi nella cella vicina a quota minore.

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 [km²], 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 4-4 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 4-4 – 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 4-5, 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 4-5 – 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 4-6 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 4-7.

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 4-6 – 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 4-7 – Moltiplicatore della capacità di ritenuta e della velocità di infiltrazione a saturazione.

4.3 Il modello idrologico a parametri distribuiti

Il modello a parametri distribuiti prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica. Il modello necessita di una serie di mappe relative alle grandezze idrologiche e geografiche.

La redazione delle mappe relative alle grandezze idrologiche viene in genere condotta a partire dalla carta dell'uso del suolo e della geolitologia del bacino attribuendo a ciascun tipo di suolo o formazione geologica dei valori di riferimento e una data variabilità spaziale.

Per i dati geografici si utilizza un modello digitale del terreno (DTM) di maglia adeguata a consentire l'individuazione delle linee di impluvio e una corretta individuazione dei bacini imbriferi.

Il modello necessita inoltre dei dati di precipitazione in una serie di stazioni ricadenti nel bacino o limitrofe ad esso. I dati puntuali di ciascuna stazione possono essere distribuiti spazialmente con il metodo dei topoi.

Dal punto di vista concettuale il modello valuta dapprima la formazione del deflusso superficiale mediante la simulazione del fenomeno dell'intercettazione e, successivamente, il trasferimento di tale deflusso sino alla sezione di chiusura.

Il modello che simula il fenomeno dell'intercettazione calcola il deflusso superficiale di ciascuna cella, considerando sia la capacità di ritenuta del suolo che la velocità di infiltrazione a saturazione.

Il modello mette in conto anche la componente di deflusso ipodermico che raggiunge il reticolo con tempi maggiori rispetto al deflusso superficiale.

La simulazione delle modalità di trasferimento del deflusso superficiale si basa sulla schematizzazione del fenomeno mediante una componente di tipo cinematico e su una di tipo "serbatoio lineare" (modello tipo *Clark*).

Il tempo di trasferimento per ciascuna cella, dipendente da entrambi i fenomeni sopra richiamati, è stimato in funzione della sua distanza dalla foce. La descrizione della struttura del modello idrologico è riportata in Appendice A.

4.4 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 ragguaglio 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.

4.5 I parametri del modello afflussi – deflussi

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

- α_o = 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 4-8 si riportano i valori dei parametri adottati per la ricostruzione delle portate di piena.

Parametro	
Grado di saturazione iniziale = α_o	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 4-8 – Parametri del modello idrologico utilizzati per i vari bacini.

Per il calcolo degli idrogrammi di piena di progetto è stato 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.

4.6 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 4-9 – Portate idrologiche

Gli idrogrammi sono riportati nella Figura 4-6, Figura 4-7, Figura 4-8 e Figura 4-9. L'ubicazione dei punti di immissione nel sistema idraulico è riportata nella Figura 4-5. Nella Tabella 4-10 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 4-10 – Portate a colmo delle varie immissioni [mc/s]

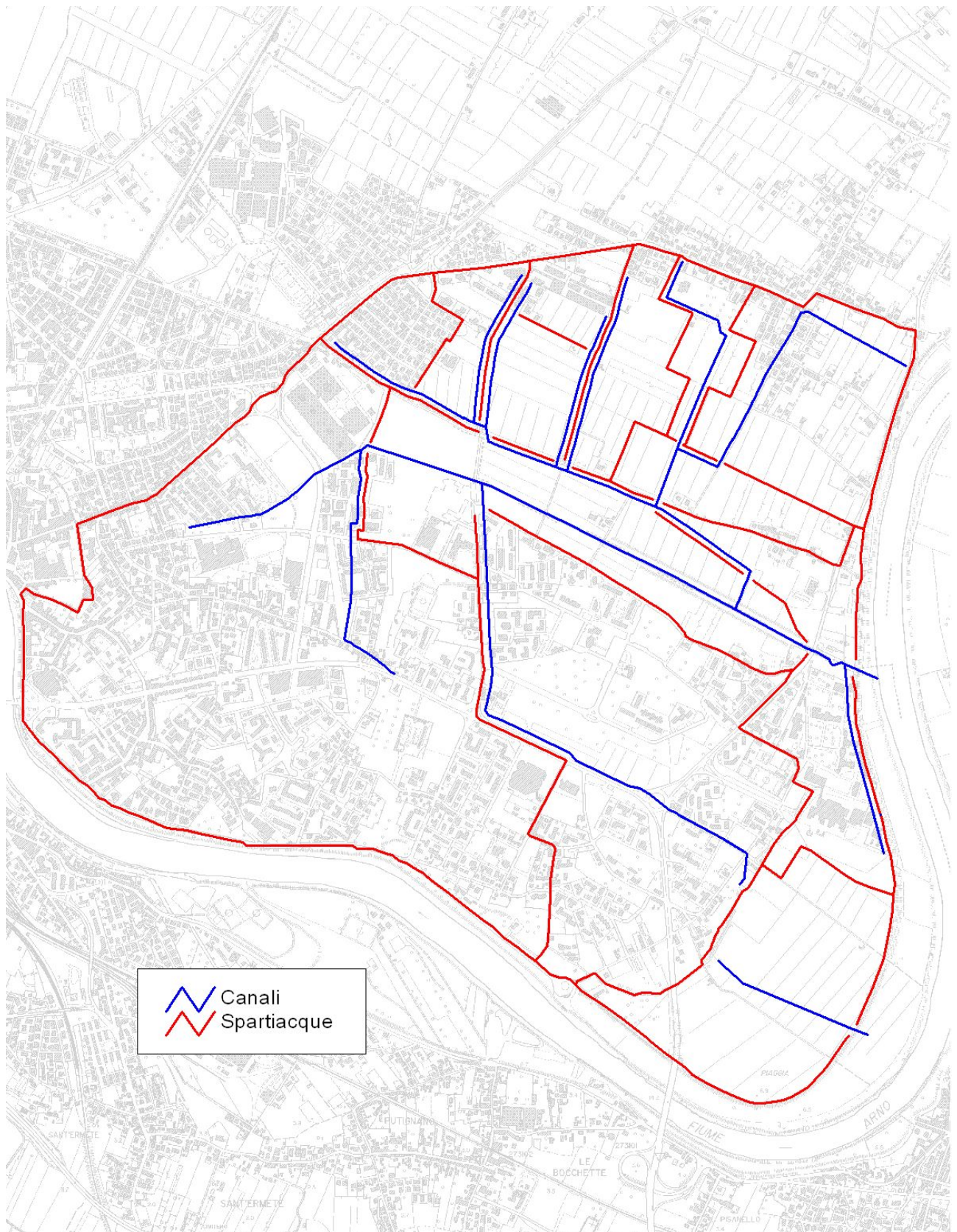


Figura 4-1 – Canali e bacini idrografici nello stato di progetto

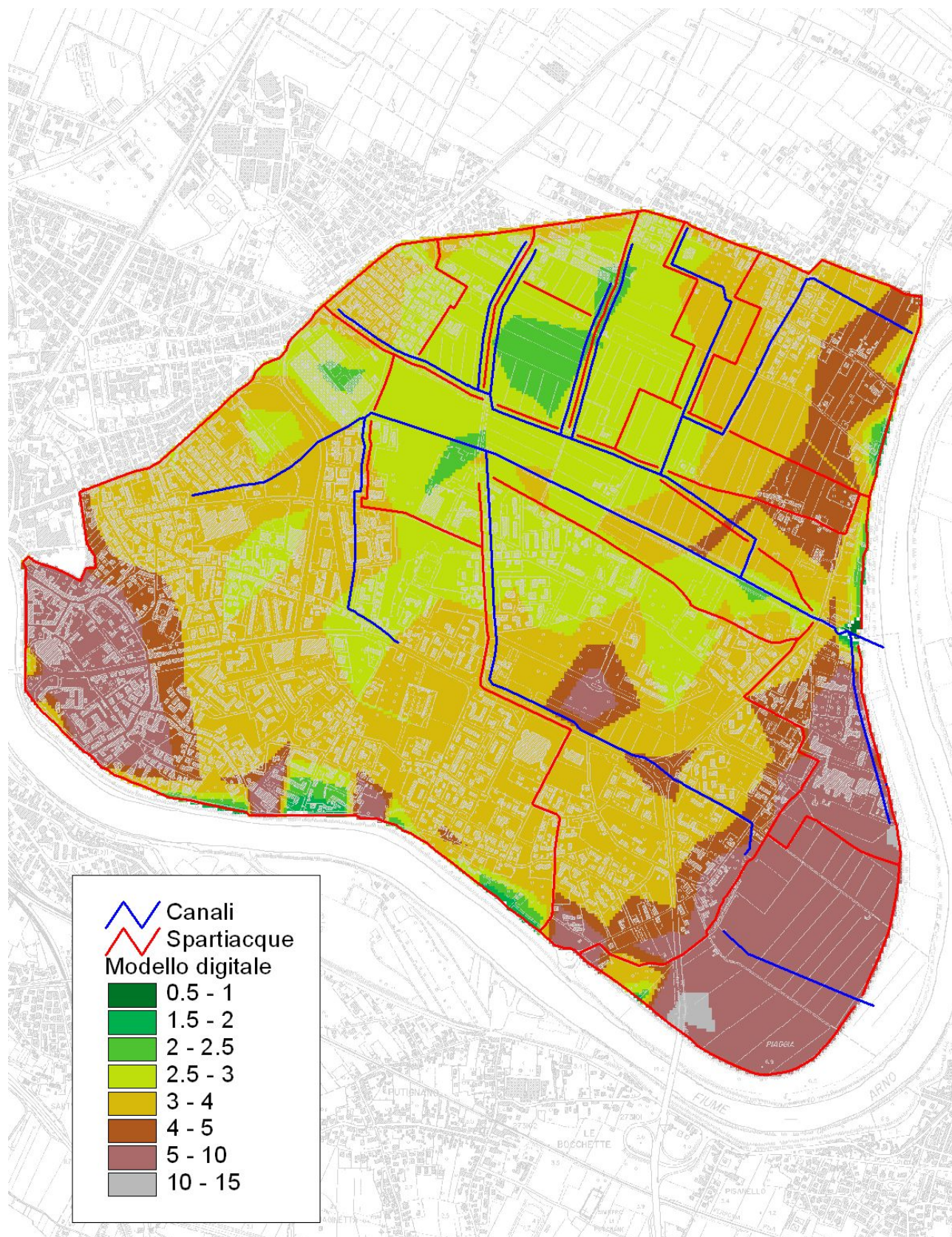


Figura 4-2 – Modello digitale del terreno

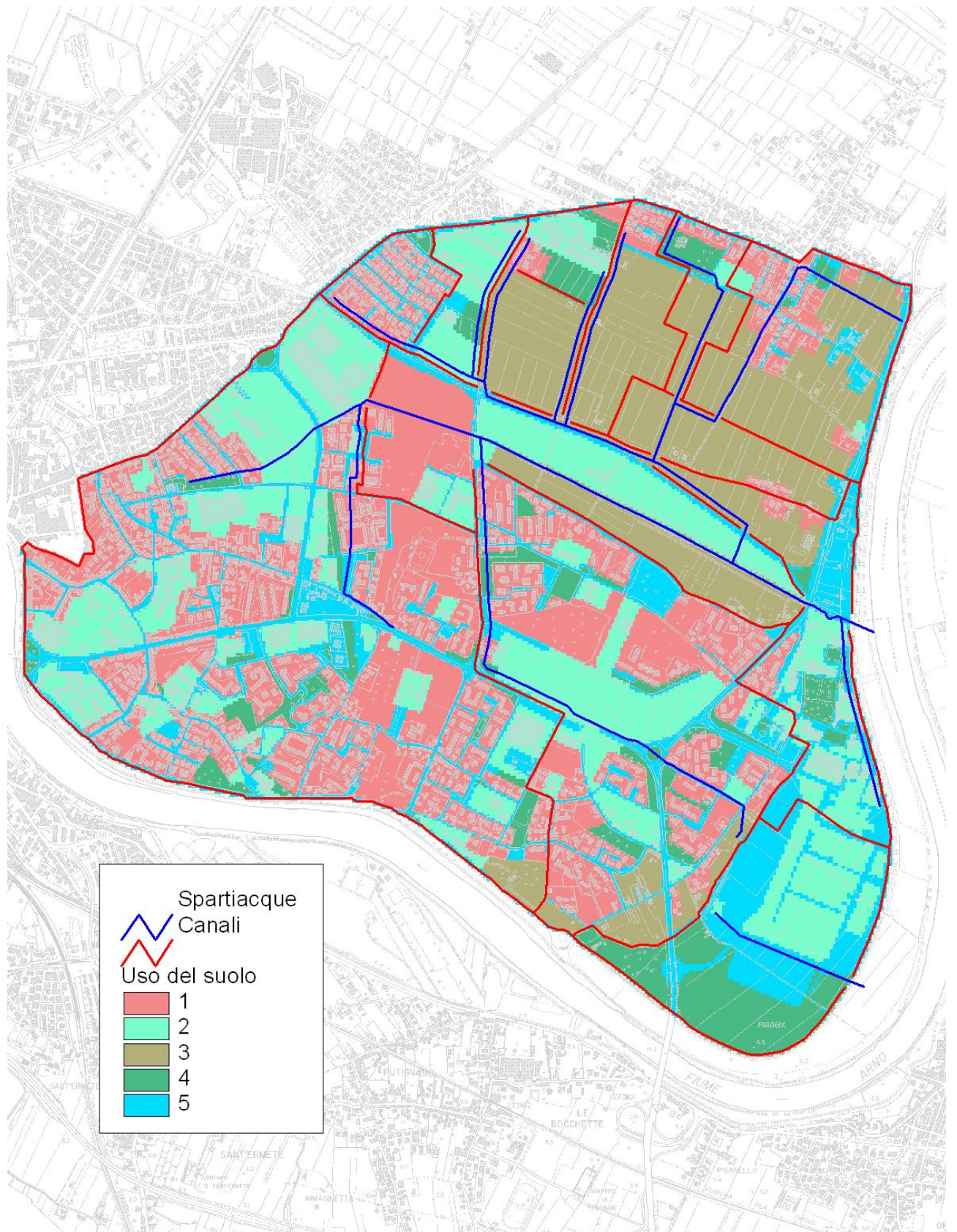


Figura 4-3 – Usi del suolo

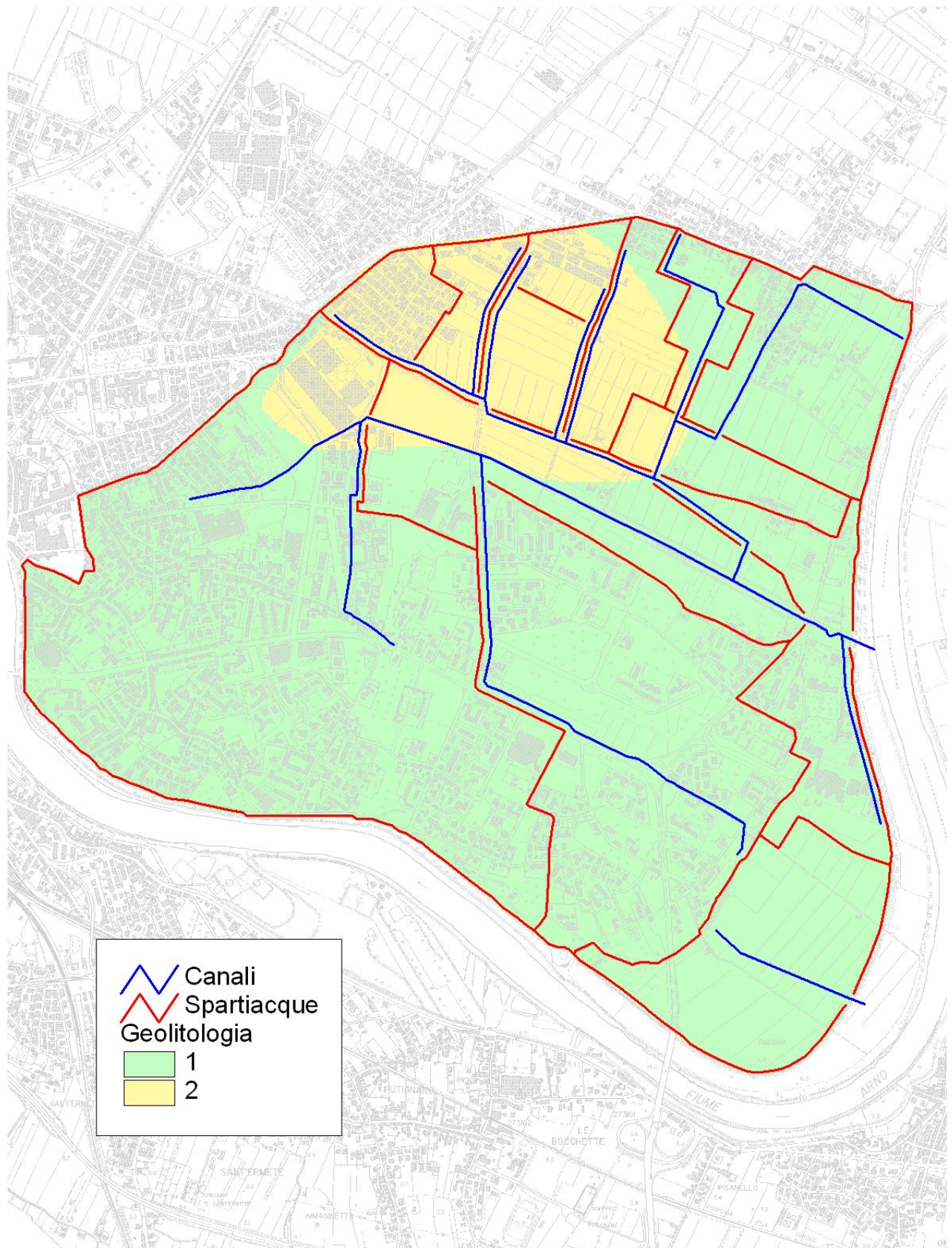


Figura 4-4 – Geolitologia

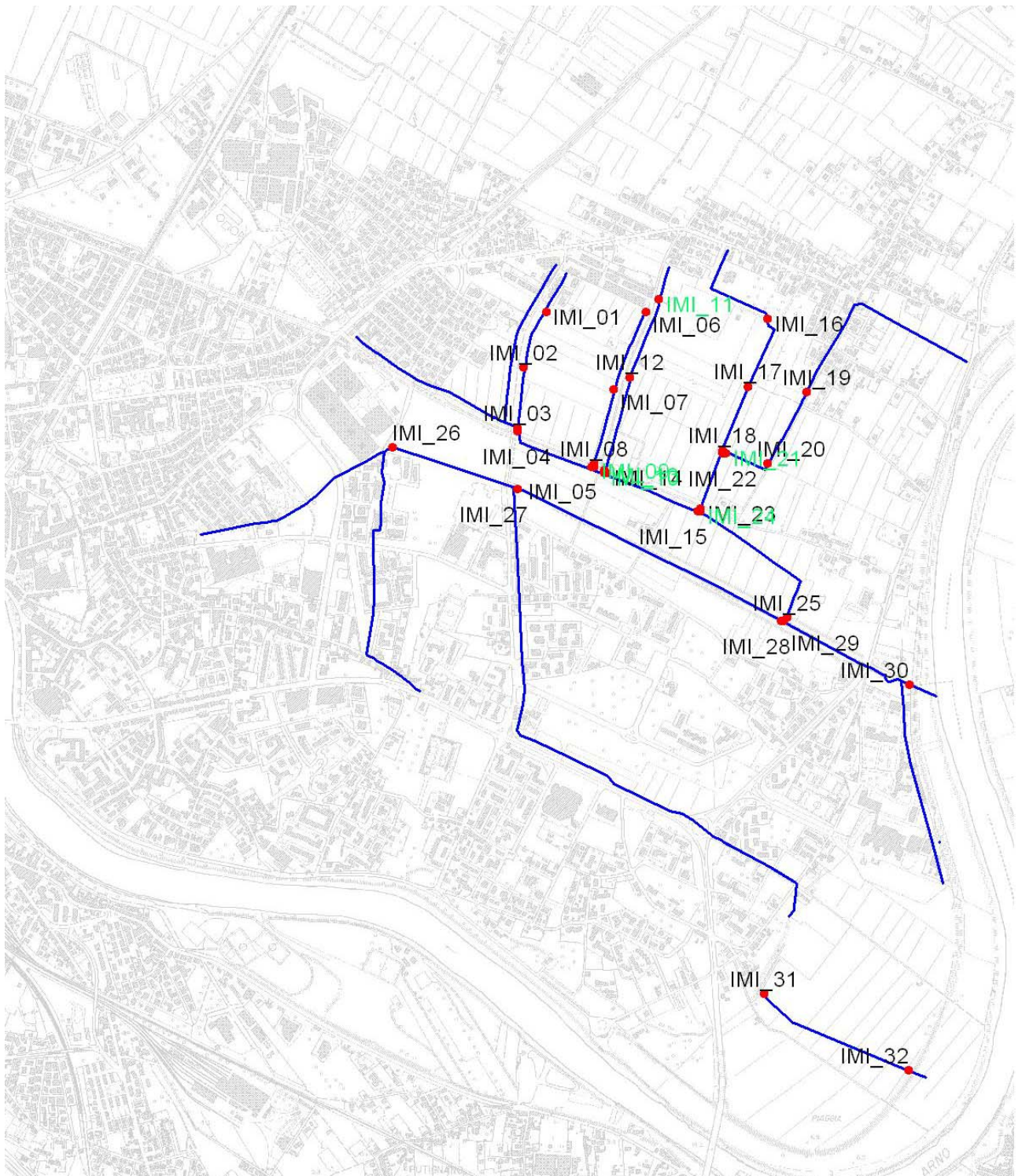


Figura 4-5 – Immissioni nel sistema idraulico

Idrogramma Bacino Nord Tr 30 anni

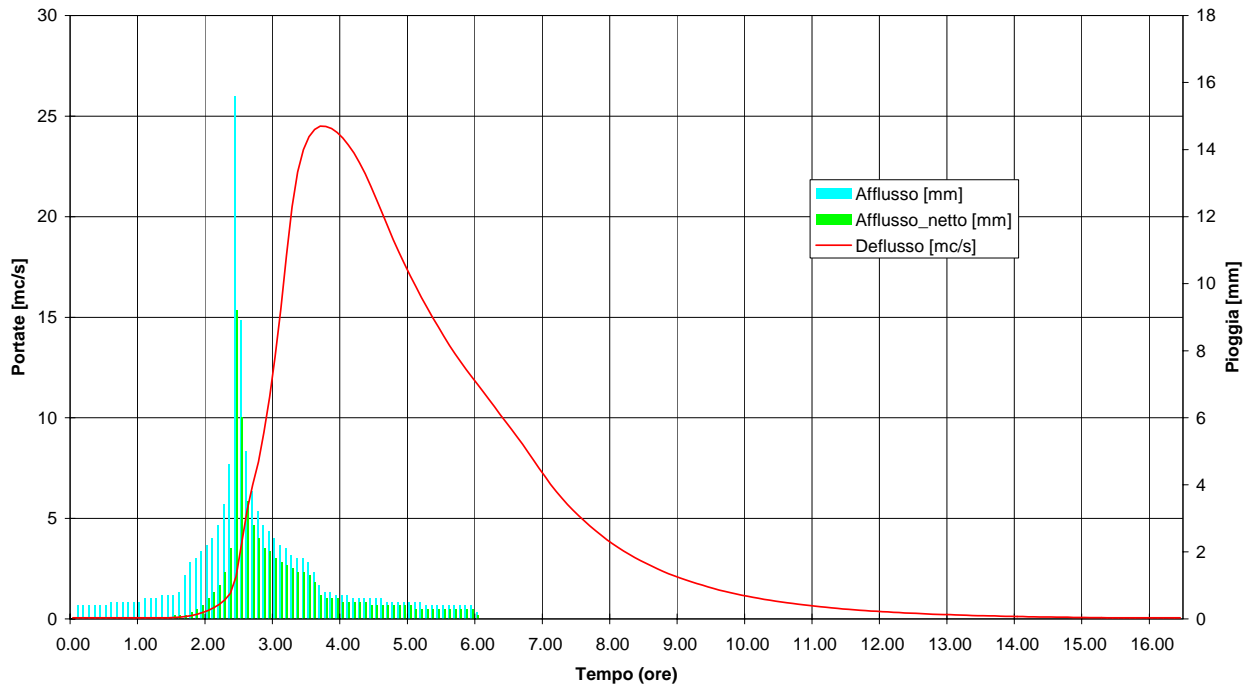


Figura 4-6 – Idrogramma bacini Nord per Tr 30 anni

Idrogramma Bacino Sud Tr 30 anni

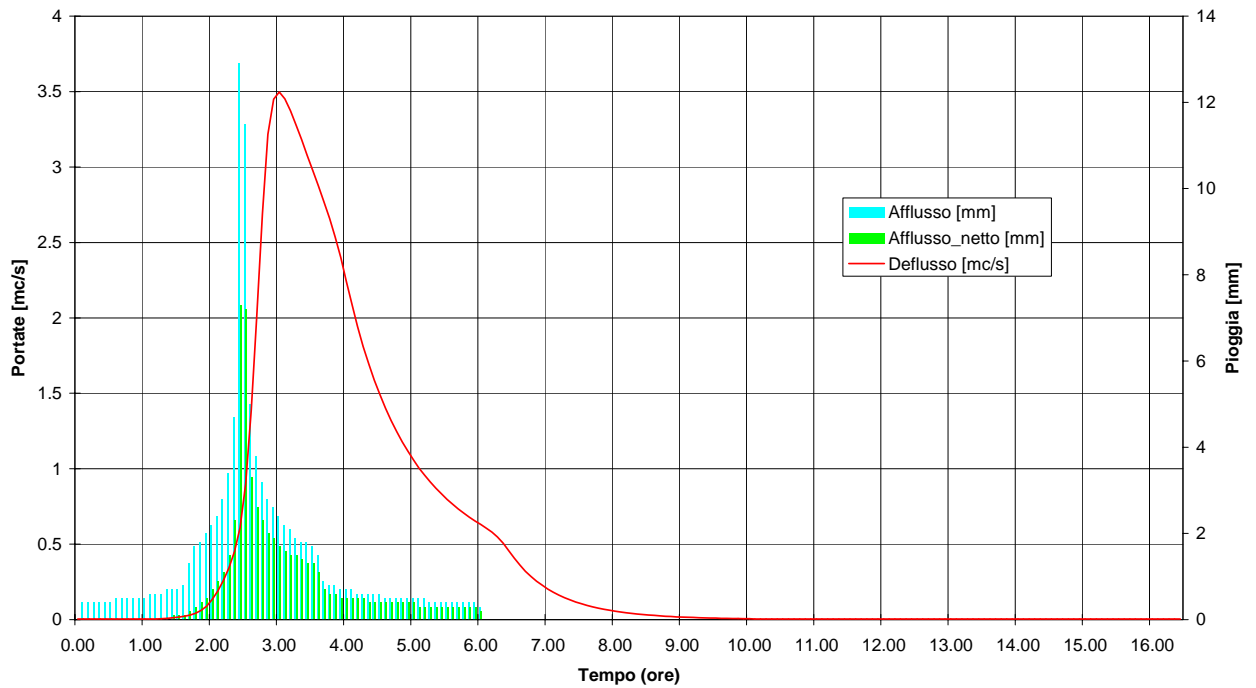


Figura 4-7 – Idrogramma bacini Sud per Tr 30 anni

Idrogramma Bacino Nord Tr 200 anni

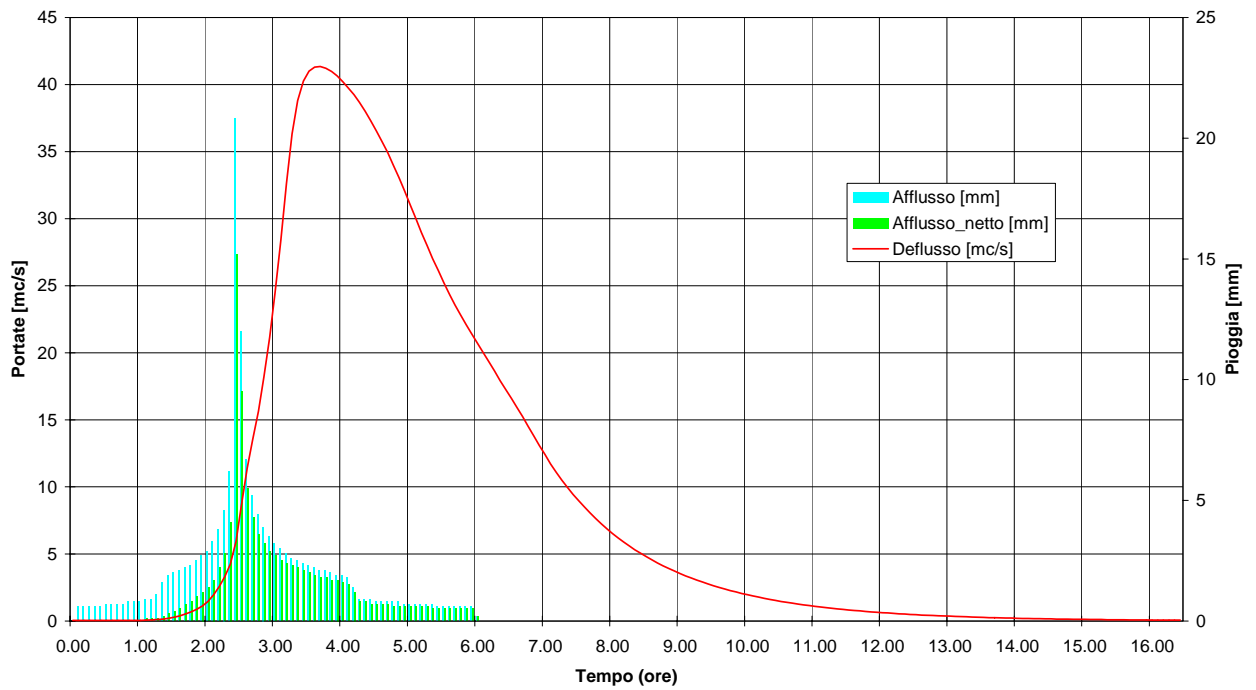


Figura 4-8 – Idrogramma bacini Nord per Tr 200 anni

Idrogramma Bacino Sud Tr 200 anni

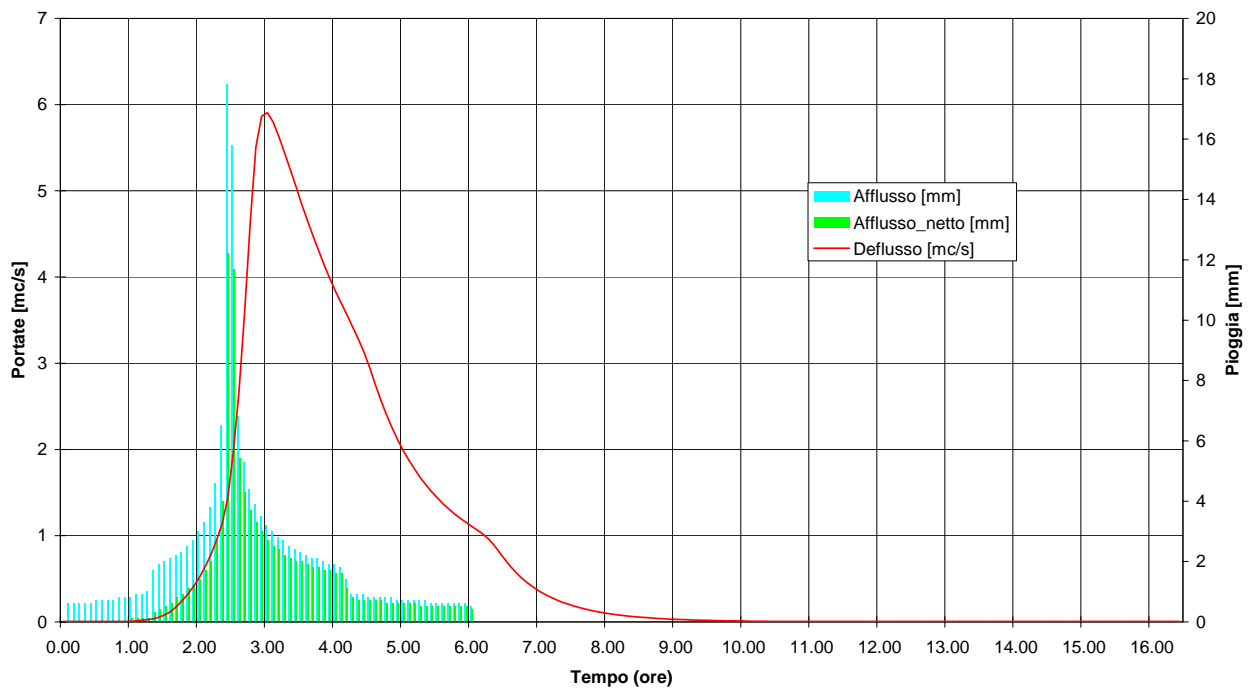


Figura 4-9 – Idrogramma bacini Sud per Tr 200 anni

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 descrizione del modello è riportata in Appendice B.

Il sistema idrografico viene descritto pertanto dalle sezioni fluviali riportate in Tavola 1.

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.

I profili longitudinali con i livelli idrometrici dello scenario 1 nella configurazione 2 sono riportati in Tavola 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 80 cm 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.

	Tr 30	Tr 200
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

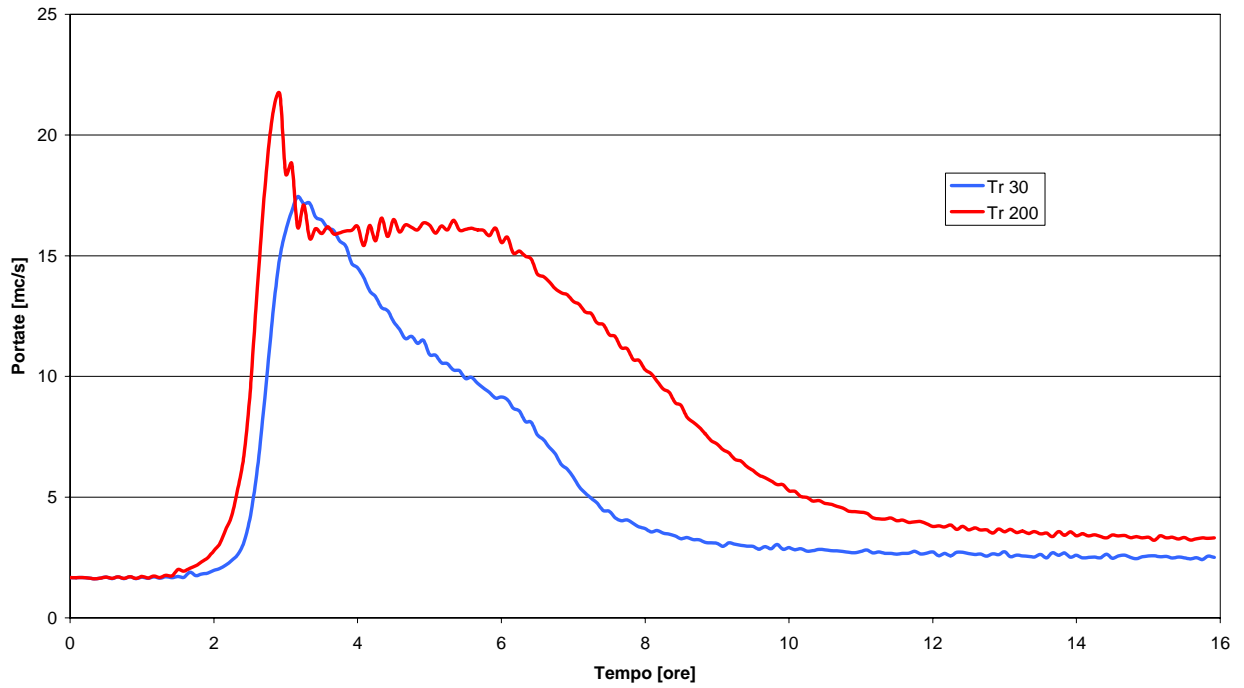


Figura 5-1 – Idrogrammi canale Rivestito scenario 1 configurazione 2

Idrogrammi canale Ospedale principale

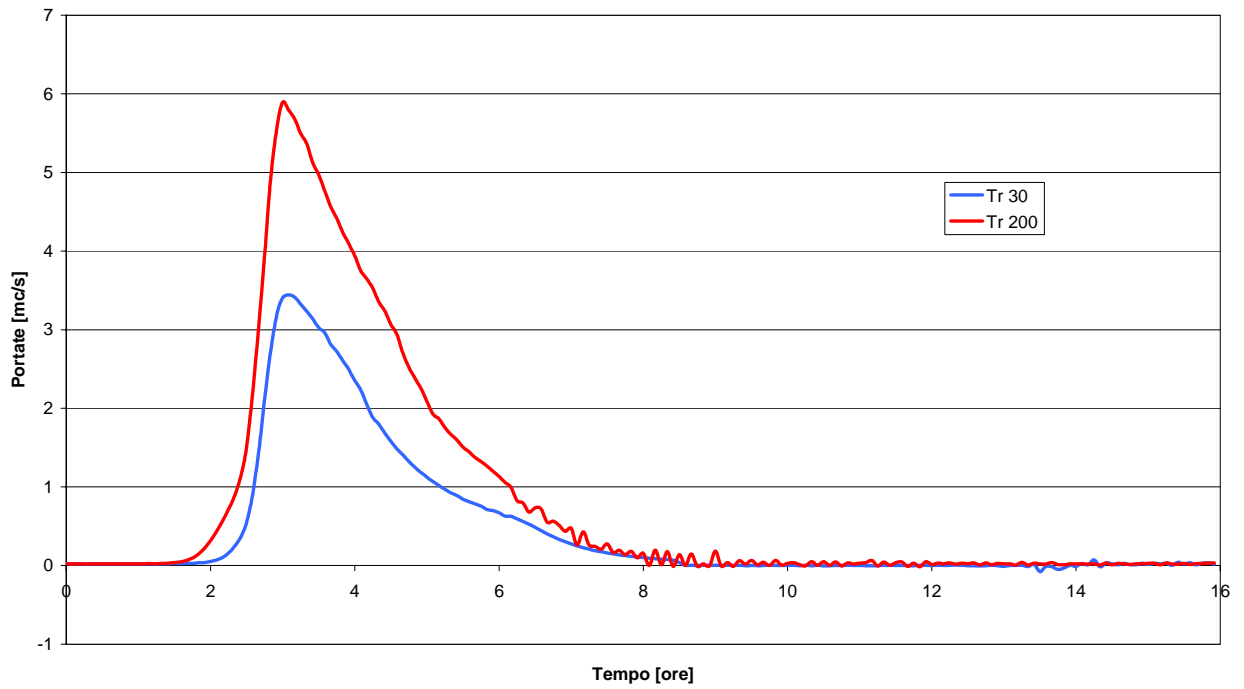


Figura 5-2 - Idrogrammi canale Ospedale principale scenario 1 configurazione 2

Idrogrammi canale Ospedale derivazione

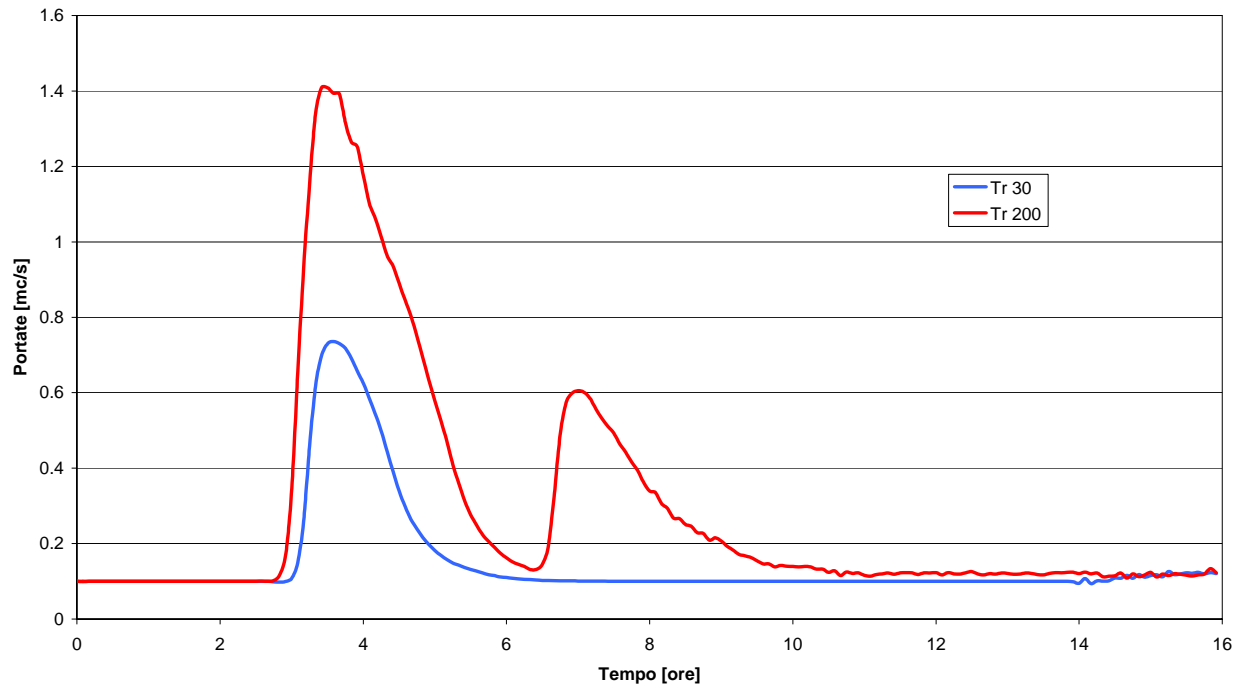


Figura 5-3 - Idrogrammi canale Ospedale derivazione scenario 1 configurazione 2

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 per lo scenario 1 risultano di fatto invariati come è possibile osservare nella Tabella 5-10.

	Livello [m s.l.m.]	Volume [mc]
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 n₀ (secondo Puppini nella ipotesi di serbatoio lineare);
- ψ coefficiente di deflusso unitario;
- a coefficiente dalla CPP [m/hn];
- n₀ = 4/3 n esponente della CPP;
- v₀ invaso specifico [m].

I parametri ψ e v₀ sono funzione del tipo di uso del suolo. Nel presente caso sono stati adottati i seguenti coefficienti:

Superfici permeabili	ψ = 0.20	v ₀ = 0.010 m.
Superfici semipermeabili	ψ = 0.50	v ₀ = 0.008 m.
Superfici impermeabili	ψ = 0.90	v ₀ = 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 ¹ [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.

¹ 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.

APPENDICE A

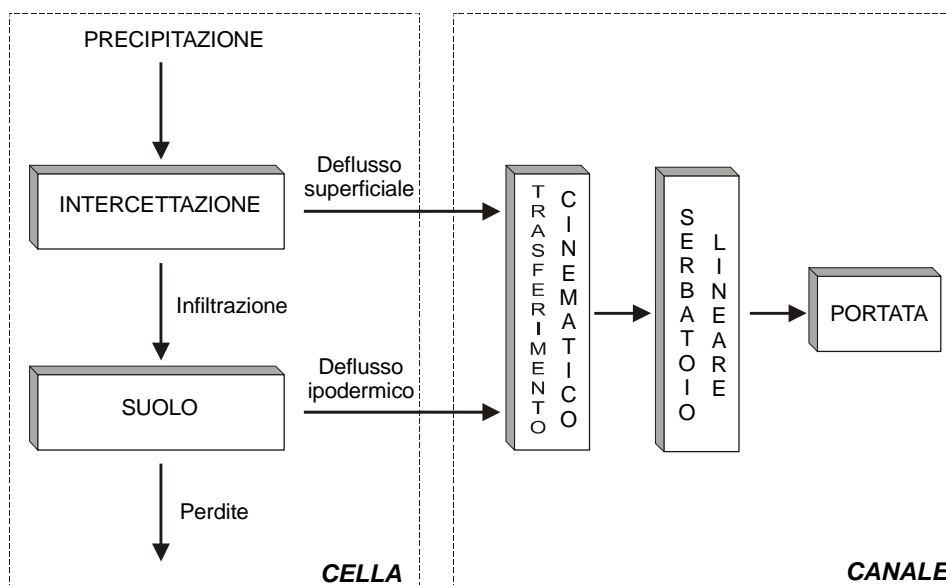
Il modello idrologico

Il modello idrologico

Il modello idrologico simula il processo di generazione e trasferimento dei deflussi attraverso la successione, per ciascuna cella e per tutti i passi temporali, delle seguenti fasi:

- *intercettazione*: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale. La stima è riferita ad una componente iniziale che comprende le varie perdite per intercettazione (vegetazione, assorbimento del suolo) e ad una componente a regime riferita alla capacità di infiltrazione a saturazione.
- *suolo*: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo e la componente del deflusso ipodermico.
- *canale*: in questa fase si simula il trasferimento del deflusso superficiale e di quello ipodermico dalla singola cella alla sezione di chiusura.

Nella figura seguente si riporta uno schema del modello idrologico adottato.



Schema del modello afflussi-deflussi.

All'inizio dell'evento di precipitazione una parte della pioggia si infiltra nel suolo, fino a saturare la capacità di ritenuta del suolo. Saturato tale volume, l'acqua continua a infiltrare nel suolo con un tasso definito dalla velocità di infiltrazione. Se l'afflusso eccede la velocità di infiltrazione si ha deflusso superficiale verso il canale. Tale deflusso contribuisce alla portata con un ritardo dettato dal modello di trasferimento.

Il bilancio del serbatoio "suolo" tiene pertanto conto da una parte dell'afflusso per infiltrazione, dall'altra delle perdite. Le perdite sono tali che per suolo saturo la quantità di acqua che si infiltra nel suolo sia pari alla velocità di infiltrazione.

La capacità di ritenuta in [mm], ovvero la quantità di acqua che può essere immagazzinata nella parte gravitazionale del suolo (corrisponde al grado di saturazione uguale a 1) e la velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h] che rappresenta la velocità di infiltrazione nel suolo in condizioni di saturazione (grado di saturazione uguale a 1) sono definite dalle

mappe *raster* relative. Per quanto riguarda il deflusso ipodermico si assume che esso sia funzione della velocità di filtrazione a saturazione moltiplicata per un fattore 1000.

Passando all'algoritmo di calcolo, con riferimento alle variabili elencate nella tabella 9 si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino:

- 1 - l'afflusso sulla singola cella, P_{i_k} [mm/h] è determinato con il metodo dei topoi;
- 2 - il suolo è assimilato a un serbatoio lineare che si riempie in ragione della precipitazione (di intensità costante sul passo di bilancio) e si svuota in ragione della percolazione, K_s [mm/h], e del deflusso ipodermico regolato dal parametro K [1/h].
- 3 - l'equazione di continuità, da cui si ricava il contenuto di acqua nel suolo da un passo a quello successivo, è esprimibile in forma differenziale nel seguente modo:

$$\Delta\theta = \theta_{k+1} - \theta_k = \left(P_i - K_s - K \cdot \frac{\theta_{k+1} + \theta_k}{2} \right) dt$$

$$\frac{\theta_{k+1}}{dt} + \frac{K}{2} \cdot \theta_{k+1} = \frac{\theta_k}{dt} - \frac{K}{2} \cdot \theta_k + P_i - K_s$$

$$\theta_{k+1} = \left(\frac{\left(\frac{1}{dt} - \frac{K}{2} \right) \theta_k + P_i - K_s}{\frac{1}{dt} + \frac{K}{2}} \right)$$

Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio θ_0 [mm] è uguale a $\alpha_0 \theta_{\max}$, dove α_0 è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e θ_{\max} , pertanto si possono distinguere tre casi:

- essiccamento del suolo:

se $\theta_k / dt + P_{i_k} > K_s$ allora

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = \theta_k / dt + P_{i_k} - K_s$$

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

altrimenti

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = 0$$

$$I_{\text{eff}} = \theta_k / dt + P_{i_k}$$

- saturazione del suolo:

$$\theta_{k+1} = \theta_{\max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{\max}) / dt + P_{i_k} - K_s$$

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

- caso intermedio:

$$0 < \theta_{k+1} < \theta_{\max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{k+1})/dt + P_{ik} - K_s$$
$$I_{\text{eff}} = K_s$$

4 - il modello di trasferimento nel reticolo è costituito da una componente di invaso e da una componente cinematica poste in serie. La componente di invaso è caratterizzata dalla seguente espressione:

$$\varphi_{k+1} = \left(\frac{\left(\frac{1}{dt} - \frac{C_s}{2} \right) \varphi_k + Q_{1k}}{\frac{1}{dt} + \frac{C_s}{2}} \right)$$

dove C_s [1/h] è il parametro del serbatoio calcolato come $1/\tau_i$ e φ_k il volume d'acqua nel reticolo (assunto inizialmente nullo). Il contributo verso la componente cinematica risulta:

$$Q_k = C_s \frac{\varphi_{k+1} + \varphi_k}{2}$$

5 - la componente cinematica trasla nel tempo il contributo Q_k di un fattore pari a τ_c .

Il contributo complessivo alla sezione di chiusura avviene attraverso la convoluzione dei contributi delle singole celle.

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

- α_0 = frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità 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 [/].

Simbolo	Significato	unità di misura
P_{ik}	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
Δt	passo temporale	[h]
Dx	passo spaziale	[m]
SC	valore della capacità di ritenuta del suolo (storage capacity)	[mm]
KL	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
RI	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
IN	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione	[/]
IP	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
T	valore dei tempi di trasferimento	[h]
$T_c = CI T$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
$T_i = (1 - CI) T / MT$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invaso	[h]
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\theta_{max} = RI SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$K_s = IN KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
$\tau_c = T_c / MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo cinematico	[h]
$\tau_i = T_i / MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo dell'invaso	[h]
$C_s = 1 / \tau_i$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
α_o	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
θ_o	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
$K = IP (KL / SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
θ_k	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]
I_{eff}	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
Q_{1k}	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
φ_k	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
Q_k	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.

APPENDICE B

Il modello idraulico

Il modello unidimensionale in moto vario

Il modello idraulico unidimensionale adottato si basa sulle classiche equazioni del moto e di continuità per una corrente, associate ad un'opportuna equazione per la stima delle dissipazioni energetiche sia a carattere concentrato sia di tipo distribuito.

Le equazioni, nella loro formulazione generale di De Saint Venant, esprimono le caratteristiche idrauliche (portata, carico piezometrico, altezza d'acqua, velocità) in funzione del tempo e dello spazio.

In generale, la risoluzione dello schema di moto vario viene ottenuta per via numerica, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante opportuni schemi numerici. La soluzione viene pertanto ottenuta solo nei punti di discretizzazione (e non con continuità su tutto il dominio). Tali punti sono rappresentati dalle sezioni geometriche rilevate (*discretizzazione spaziale*) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (*discretizzazione temporale*).

Il grado di risoluzione che si ottiene deriva quindi dalla densità delle sezioni rilevate e, per lo schema di moto vario, anche dal passo temporale adottato.

Le equazioni di moto vario sono state applicate per lo studio della propagazione delle onde di piena, ovvero per la stima delle condizioni idrometriche dei corsi d'acqua interessati da onde di piena.

Il modello di moto vario si basa sulle equazioni di continuità e di moto per una corrente liquida incomprimibile e unidirezionale in condizioni non stazionarie; tali equazioni risultano, rispettivamente:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q(x) = 0$$

in cui:

- A = area della sezione liquida [m²];
- Q = portata [m³/s];
- $q(x)$ = portata laterale (positiva se entrante) [m²/s];
- H = carico totale della corrente [m];
- g = accelerazione di gravità [m/s²];
- U = velocità media della corrente [m/s];
- J = perdite di carico effettivo per unità di lunghezza;
- x = ascissa corrente lungo l'alveo [m];
- t = tempo [s].

La perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2R}$$

ove, oltre ai simboli già noti, R è il raggio idraulico e C il coefficiente di resistenza esprimibile nella forma:

$$C = \frac{K_s R^{1/6}}{\sqrt{g}}$$

ove K_s [$m^{1/3}s^{-1}$] è il coefficiente dimensionale di Gauckler-Strickler.

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si sono valutate le perdite di carico effettivo addizionali, ΔH , mediante la formula:

$$\Delta H = \xi \Delta \left(\alpha \frac{Q^2}{2gA^2} \right)$$

ove α è il coefficiente di ragguglio della energia cinetica e ξ può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.9 maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento.

La risoluzione delle equazioni sopra descritte viene svolta per via numerica, discretizzandole opportunamente alle differenze finite, e associandovi appropriate condizioni al contorno.

Le equazioni ridotte in forma numerica sono in generale risolte in forma implicita approssimando alle differenze finite le derivate e operando una media pesata per gli altri termini. In particolare sono utilizzate le seguenti formulazioni:

$$A = p_s p_t A_i^k + p_s (1 - p_t) A_i^{k+1} + (1 - p_s) p_t A_{i+1}^k + (1 - p_s) (1 - p_t) A_{i+1}^{k+1}$$

$$\frac{\partial A}{\partial s} = p_t \frac{A_{i+1}^k - A_i^k}{\Delta s} + (1 - p_t) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_i^{k+1}}{\Delta s}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = p_s \frac{A_i^{k+1} - A_i^k}{\Delta t} + (1 - p_s) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_{i+1}^k}{\Delta s}$$

dove p_s è il peso della media spaziale e p_t il peso della media temporale (l'indice k è riferito al tempo e l'indice i allo spazio). I valori utilizzati in genere per p_s e p_t sono rispettivamente di 0.5 e 0.45.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, in corrispondenza delle sezioni fluviali predefinite, al variare del tempo si ricavano i valori delle grandezze idrauliche (portata, velocità, carico piezometrico, etc). A ciascun passo il programma bilancia le equazioni di moto e di continuità in modo iterativo fino al raggiungimento di una correzione su portate e livelli inferiore a una soglia prefissata.

Nell'ipotesi di corrente lenta, le condizioni al contorno da imporre al sistema prima definito possono consistere nella attribuzione di una scala di deflusso nella sezione di chiusura di valle, del tipo:

$$Q = a(h - h_0)^c + q_0$$

dove a , b , c e q_0 sono i parametri della scala di deflusso, mentre nella sezione di monte si assegna un idrogramma di portata.

Come condizione di valle può essere assunto, inoltre, un livello idrometrico o una portata variabili nel tempo.

E' inoltre possibile inserire una portella nella simulazione che impedisce il rigurgito verso monte annullando la portata.

Nel caso di condizioni locali di corrente veloce, la profondità viene fissata sul valore critico. In particolare l'equazione di moto a valle della sezione viene sostituita dalla condizione di corrente critica nella sezione in esame.

Il modello delle casse di espansione

La simulazione del funzionamento delle casse di espansione è stata condotta associando al modello idraulico non stazionario il modello di inondazione della cassa che si basa sulle seguenti rappresentazioni:

– *caratterizzazione morfologica delle aree interne alla cassa di espansione*

In tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche delle casse di espansione sulla base della cartografia con l'obiettivo di ricavare la legge di riempimento quota-volume di inondazione in funzione dei livelli di piena nella forma:

$$V = A(y - y_0)^B$$

in cui y_0 è la quota minima del terreno all'interno dell'area.

– *definizione delle leggi di connessione idraulica cassa-fiume*

Sulla base delle caratteristiche delle casse di espansione considerate, sono state definite le leggi di connessioni idraulica che regolano il trasferimento dei volumi idrici alveo-fiume in entrambe le direzioni.

– Di norma, il trasferimento dei volumi idrici avviene attraverso soglia sfiorante fissa schematizzabile mediante la legge degli stramazzi in parete grossa, con possibilità di funzionamento bidirezionale, in condizioni di deflusso libero oppure rigurgitato in funzione dei livelli a monte e a valle dello stramazzo. La legge di deflusso adottata è la seguente:

$$Q_{sf} = l(\mu_1 h_2 - \mu_2 h_1) \sqrt{2gh_1}$$

dove l è la lunghezza della soglia, μ_1 e μ_2 sono pari rispettivamente a 0.65 e 0.4, h_1 e h_2 sono rispettivamente i livelli del pelo libero a monte e a valle, riferiti alla quota della soglia.

Con tale schema, il riempimento della cassa è regolato dalle caratteristiche dello sfioratore che, in funzione della quota e della lunghezza, influenza la velocità di riempimento della cassa stessa. Si trascurano in tal caso gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione del fronte di inondazione nella cassa.

Ad ogni passo temporale l'equazione di continuità impone il bilancio tra i volumi netti scambiati tra alveo e cassa, e la variazione di volume locale, sotto le ipotesi che il volume accumulato sia univocamente correlato all'altezza idrica nella cassa stessa, e che le portate scambiate siano funzione univoca dei livelli a monte e a valle delle connessioni idrauliche.

In particolare, l'equazione di continuità per la generica cassa k -esima risulta la seguente:

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i)$$

ove A_{ck} rappresenta la superficie allagata nella cassa k -esima, h_k è l'altezza d'acqua relativa, Q_{ki} è la portata scambiata con la eventuale cassa i -esima adiacente in funzione delle relative altezze idriche e la sommatoria è estesa a tutte le aree in comunicazione diretta con l'area k -esima.

Qualora siano presenti organi di sfioro diversi dalla soglia fissa sopra descritta, saranno illustrate caso per caso le schematizzazioni adottate.