

**PROVINCIA DI PISTOIA
COMUNE DI PESCIA**



PROGETTO:

**VERIFICA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA
DEL FIUME PESCIA DI PESCIA
A MONTE DELLA FERROVIA PISTOIA-VIAREGGIO
NEL COMUNE DI PESCIA**

OGGETTO:

Relazione idrologica e idraulica

TAVOLA: R01	REV: 00	DATA: Luglio 2013	SCALA: -	NUMERO COMMESSA: -	NOME FILE: R01.pdf
-----------------------	-------------------	-----------------------------	--------------------	------------------------------	------------------------------

PROGETTISTA:  STUDIO ASSOCIATO Ingegneria per l'Ambiente ing. G. Cannata, ing. D. Settesoldi Via Bonifacio Lupi, 1 - 50129 Firenze P.I. 04233820481 Ing. David Settesoldi	COMMITTENTE: Esselunga s.p.a. Via Tevere, 3 Sesto Fiorentino Firenze
--	--

02			
01			
00	28/07/13	PRIMA EMISSIONE	
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICHE	

--	--	--

PROVINCIA DI PISTOIA

Comune di Pescia

**Verifica della pericolosità idraulica del fiume Pescia di Pescia a monte
della ferrovia Pistoia-Viareggio nel comune di Pescia**

RELAZIONE

Studio Associato . Ingegneria per l'Ambiente
Ing. G. Cannata - Ing. D. Settesoldi

Ing. David Settesoldi

Firenze

Luglio 2013

INDICE

1	PREMESSA	5
2	IL QUADRO CONOSCITIVO	10
2.1	ACQUISIZIONE DEI DATI TERRITORIALI	10
2.2	IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO	10
2.3	LE SEZIONI FLUVIALI	10
3	SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA	13
3.1	IL MODELLO DIGITALE DELLE AREE INONDABILI	13
4	ANALISI IDROLOGICA	15
4.1	CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA	15
5	IL MODELLO IDRAULICO	31
5.1	IL MODELLO IN MOTO VARIO.....	31
5.2	IL MODELLO DI INONDAZIONE QUASI - BIDIMENSIONALE	34
5.3	IL MODELLO DI INONDAZIONE BIDIMENSIONALE.....	35
6	ANALISI IDRAULICA	42
6.1	ANALISI DEI RISULTATI	42
7	PERIMETRAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA	43
8	CONCLUSIONI	44

ELENCO FIGURE

Figura 1-1 . Aree di interesse.....	6
Figura 1-2 . Estratto PRG vigente.....	6
Figura 1-3 . Pericolosità idraulica di sintesi del PAI	7
Figura 1-4 . Pericolosità idraulica del Piano Strutturale	7
Figura 1-5 . Battenti di esondazione per Tr 30 anni	8
Figura 1-6 . Battenti di esondazione per Tr 200 anni	8
Figura 1-7 . Battenti di esondazione per Tr 500 anni	9
Figura 2-1 . Punti rilievo topografico	11
Figura 2-2 . Tratto di studio e sezioni fluviali	12
Figura 3-1 . Schema del sistema oggetto di studio.	14
Figura 4-1 - Schema del modello Piene	20
Figura 4-2 . Bacini idrografici	23
Figura 4-3 . Modello digitale del terreno	24
Figura 4-4 . Uso del suolo	25
Figura 4-5 . Geolitologia	26
Figura 4-6 . Idrogrammi di piena Tr 30 anni	29
Figura 4-7 . Idrogrammi di piena Tr 100 anni	29
Figura 4-8 . Idrogrammi di piena Tr 200 anni	30
Figura 4-9 . Idrogrammi di piena Tr 500 anni	30
Figura 5-1 . Griglia di calcolo equazione di continuità.....	37
Figura 5-2 . Griglia di calcolo equazione di moto lungo X.....	39
Figura 5-3 . Griglia di calcolo equazione di moto lungo Y.....	40
Figura 8-1 - Sezione monte ponte via Giovanni Pacini	45
Figura 8-2 - Sezione ponte via Giovanni Pacini	45
Figura 8-3 - Sezione monte ponte del Duomo.....	46
Figura 8-4 - Sezione ponte del Duomo.....	46
Figura 8-5 - Sezione monte ponte viale Europa	47
Figura 8-6 - Sezione ponte viale Europa	47

ELENCO TABELLE

Tabella 4-1 - Eventi utilizzati per la taratura del modello	15
Tabella 4-2 - Parametri della curva di possibilità pluviometrica	16
Tabella 4-3 - Tabella geolitologia - capacità di ritenuta.....	18
Tabella 4-4 - Tabella uso del suolo - capacità di ritenuta.....	18
Tabella 4-5 - Tabella geolitologia - infiltrazione a saturazione.....	19
Tabella 4-6 - Tabella uso del suolo - infiltrazione a saturazione.....	20
Tabella 4-7 - Parametri della taratura del modello idrologico.....	21
Tabella 4-8 . Portate al colmo	28

ELENCO ELABORATI

R1	Relazione
A1	Tabulati verifiche idrauliche
A2	Sezioni fluviali
T01	Planimetria modello idraulico [1:5000-1:2000]
T02	Profilo longitudinale e sezioni fluviali [1:5000/1:200 . 1:200]
T03	Planimetria battenti e velocità di propagazione [1:10000-1:2000]
T04	Planimetria aree inondabili e pericolosità idraulica [1:10000-1:2000]

1 PREMESSA

Il presente studio è di supporto all'ampliamento del negozio Esselunga posto in sponda destra del torrente Pescia di Pescia poco a monte della ferrovia Pistoia-Viareggio per il quale è necessaria una variante allo strumento urbanistico vigente (Figura 1-1).

La suddetta area nel vigente Piano Regolatore Generale ricade in parte in area FB - Attrezzature di interesse collettivo di completamento, in parte in area Pp - parcheggi esistenti o programmati e in parte in area E2 - Agricole di pianura Orto-floro-vivaismo (Figura 1-2).

La pericolosità idraulica nel Piano di Assetto Idrogeologico, ricavata su base storico inventariale e geomorfologica è riportata nella Figura 1-3. L'area ricade in pericolosità PI1.

L'area non ricade in nessuna delle classi della Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno+.

L'area non ricade nelle aree di pertinenza fluviale della carta Carta delle aree di pertinenza fluviale dell'Arno e degli affluenti+.

L'area non ricade nelle aree interessate da eventi alluvionali di cui alla Carta guida delle aree allagate redatta sulla base degli eventi alluvionali significativi+.

Nella Figura 1-4 si riporta la pericolosità idraulica del Piano Strutturale. L'area di interesse ricade in parte in pericolosità idraulica molto elevata I4.

La pericolosità idraulica del Piano Strutturale deriva da uno studio condotto dal Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio nel febbraio 2008. Nella Figura 1-5, Figura 1-6, Figura 1-7 si riportano i battenti di esondazione rispettivamente per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

La presente studio è pertanto finalizzato alla verifica della pericolosità idraulica del torrente Pescia di Pescia e alla valutazione dei battenti di esondazione.

Lo studio è stato condotto ai sensi del regolamento 53/R della Regione Toscana e dell'Allegato 2 alle Norme di Attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico.

In particolare sono state condotte verifiche idrauliche per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni con modellazione in moto vario dei canali e bidimensionale delle aree di esondazione.

Le attività previste per la redazione dello studio sono le seguenti:

- acquisizione del quadro conoscitivo ;
- analisi idrologica;
- analisi idraulica;
- perimetrazione delle aree inondabili e della pericolosità e valutazione dei battenti.

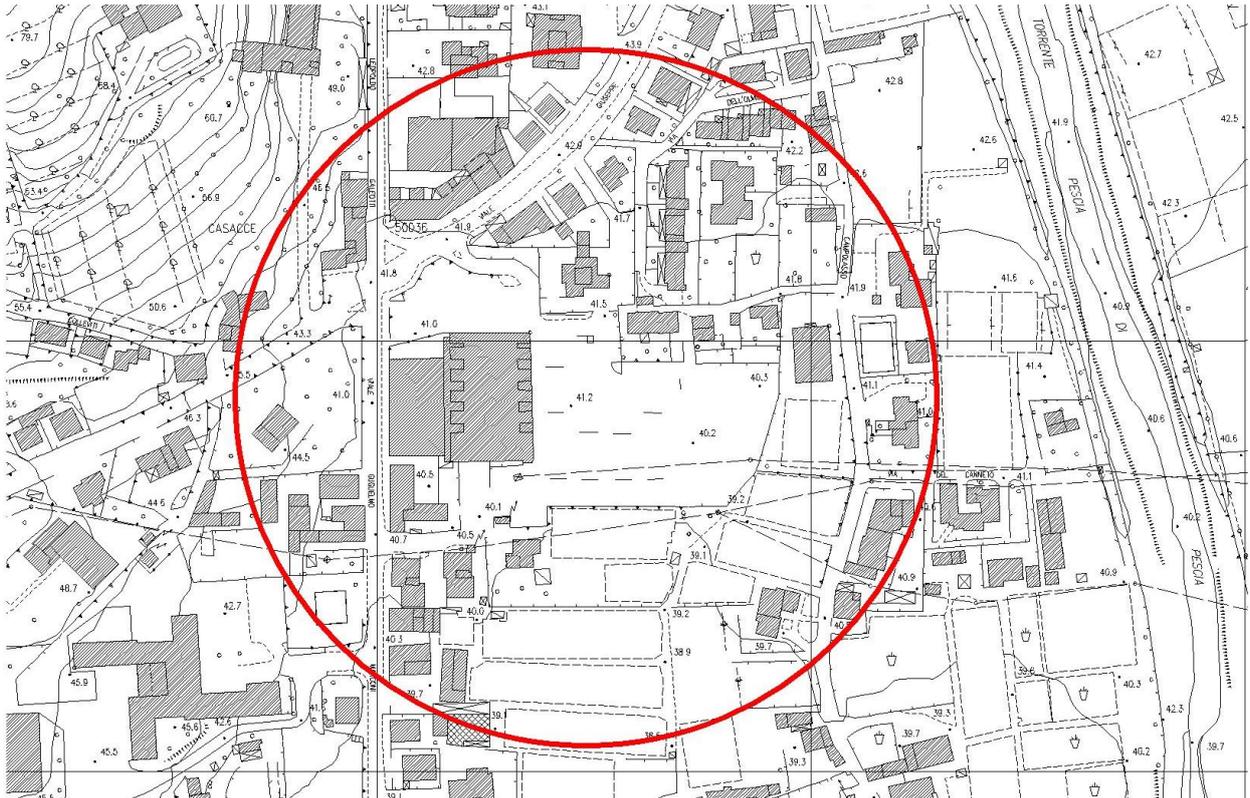


Figura 1-1 . Aree di interesse

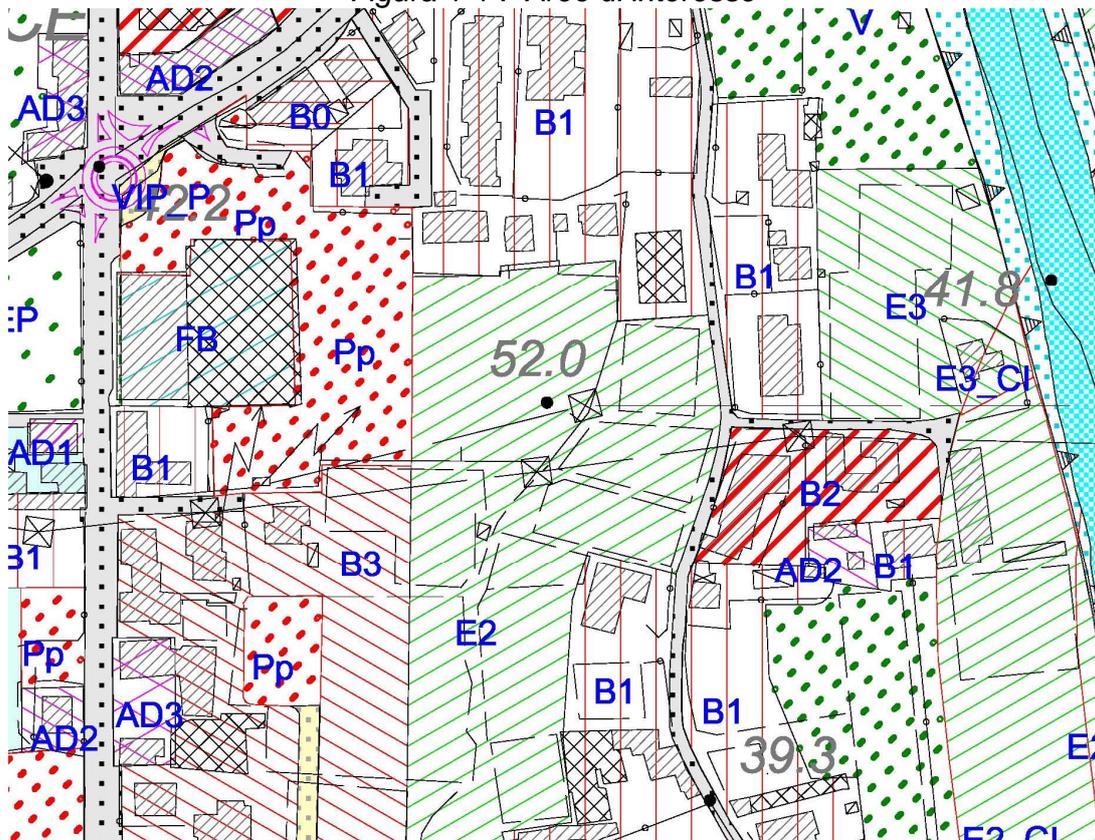


Figura 1-2 . Estratto PRG vigente

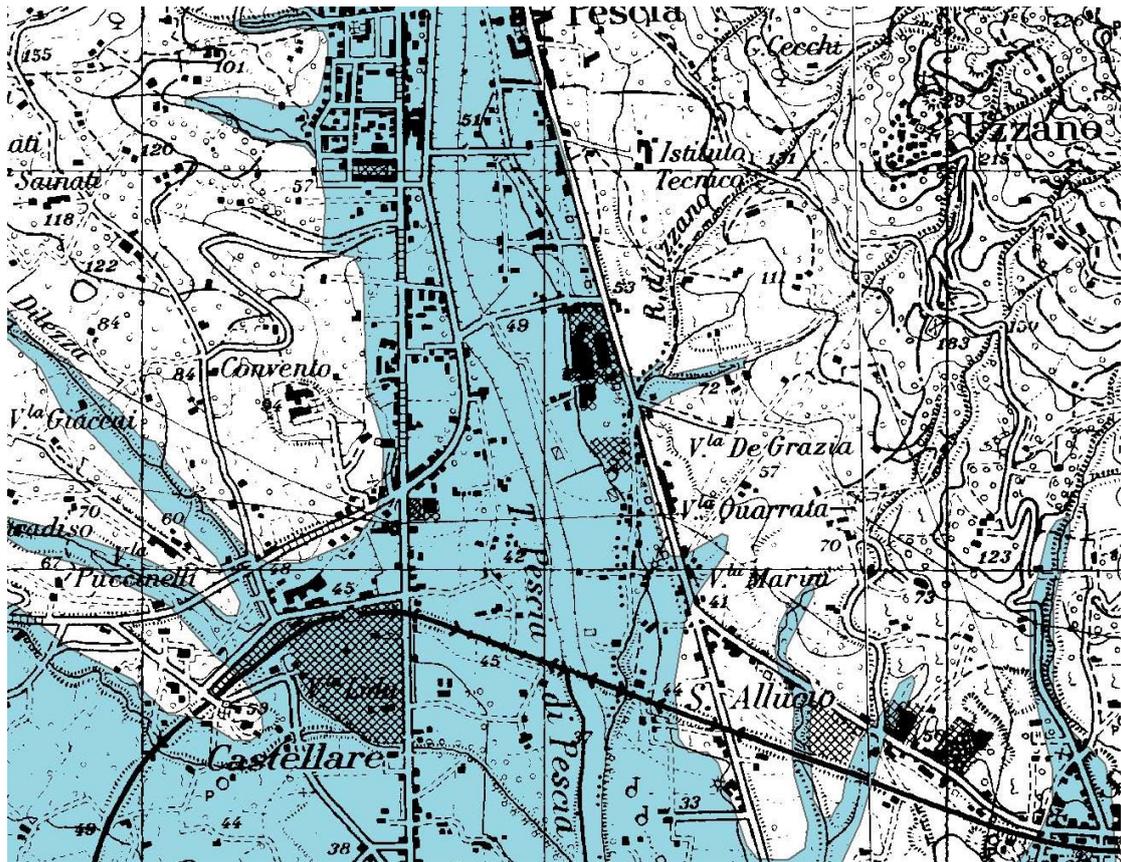


Figura 1-3 . Pericolosità idraulica di sintesi del PAI

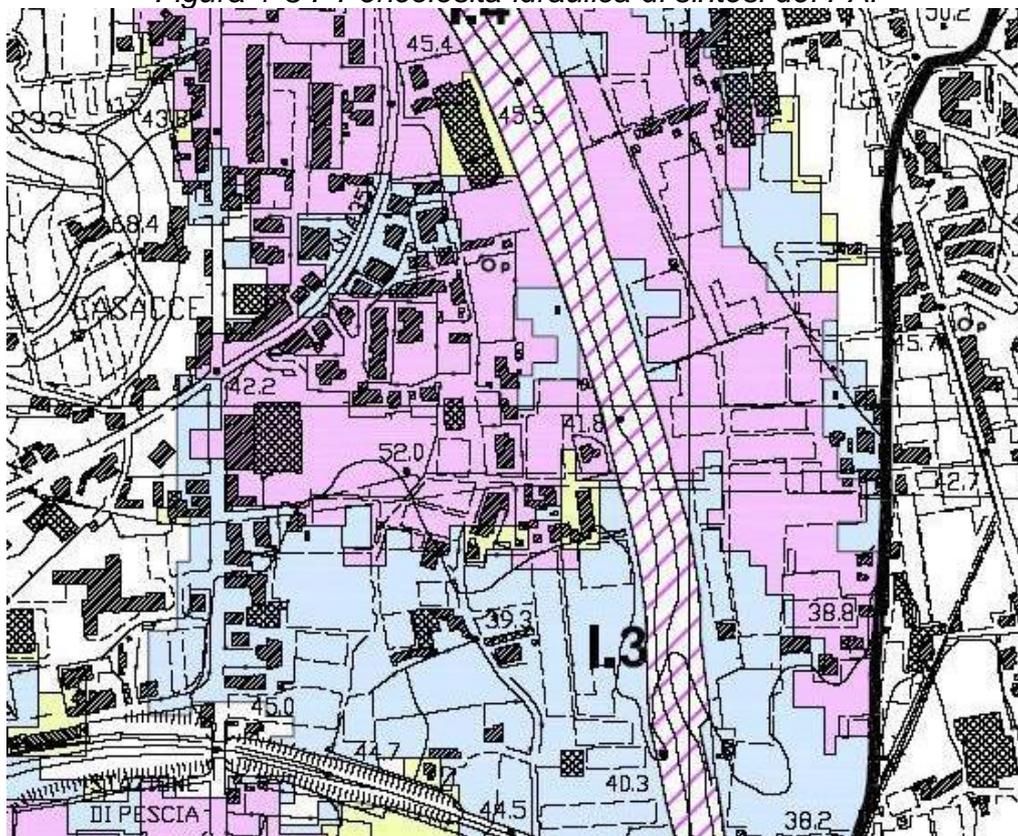


Figura 1-4 . Pericolosità idraulica del Piano Strutturale



Figura 1-5 . Battenti di esondazione per Tr 30 anni

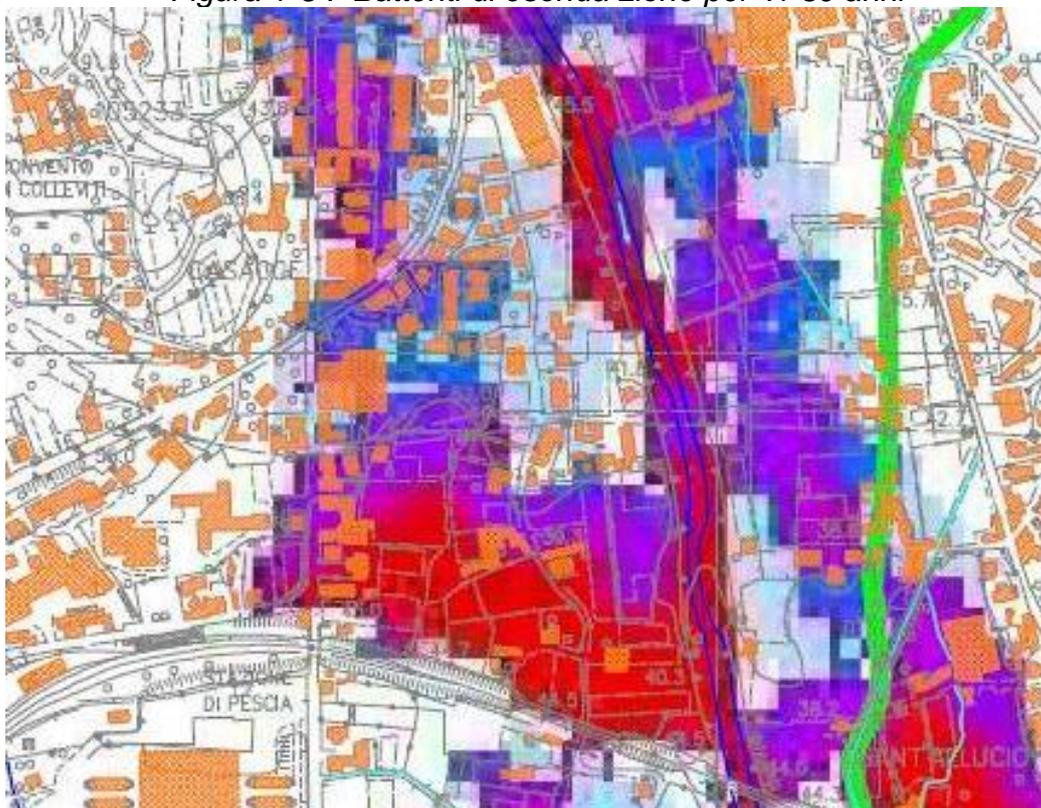


Figura 1-6 . Battenti di esondazione per Tr 200 anni

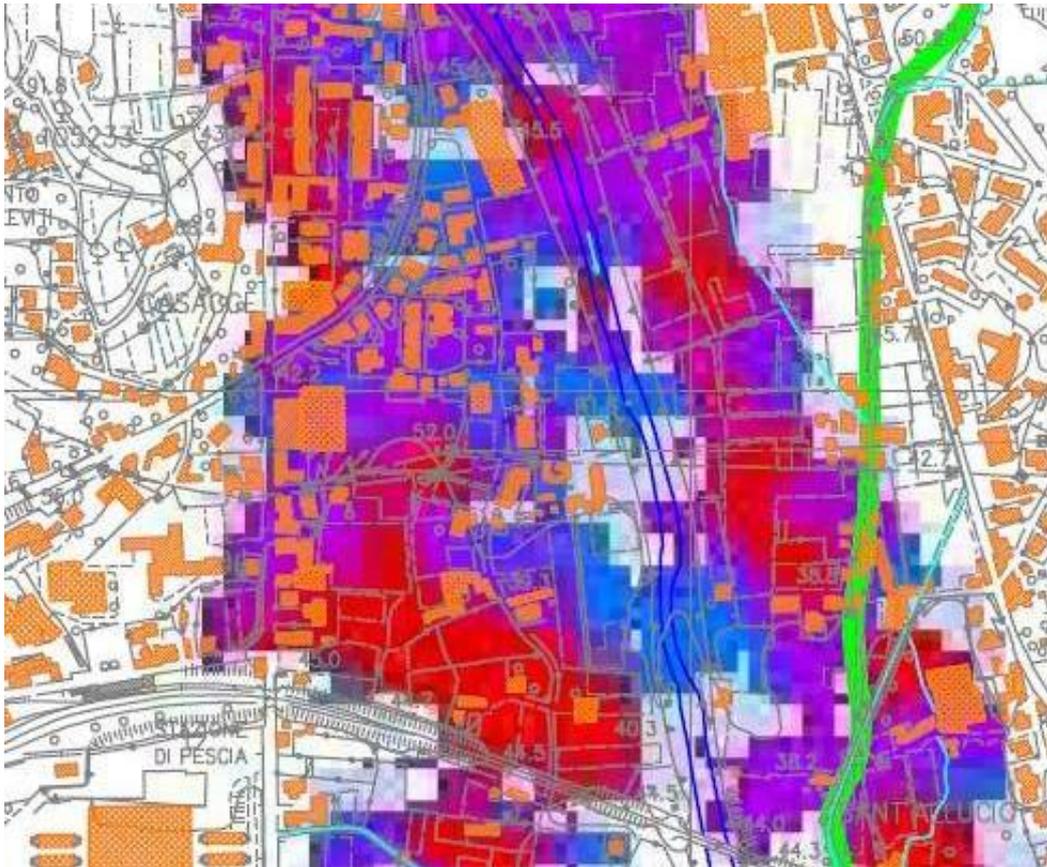


Figura 1-7 . Battenti di esondazione per Tr 500 anni

2 IL QUADRO CONOSCITIVO

2.1 *Acquisizione dei dati territoriali*

Le basi cartografiche utilizzate sono costituite dalla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000 e scala 1:2000. La cartografia 1:10000 è stata utilizzata per l'inquadramento a livello di bacino mentre la cartografia CRT 1:2000 per la rappresentazione locale dell'area di studio.

2.2 *Il modello digitale del terreno*

Il modello digitale del terreno con passo 10mx10m è derivato dal modello digitale Lidar con passo 1mx1m fornito dal comune di Pescia.

2.3 *Le sezioni fluviali*

In primo luogo sono state acquisite le sezioni fluviali utilizzate per lo studio del Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio del febbraio 2008 fornite dal comune di Pescia. Le sezioni sono complessivamente 31 dalla 850 alla 690.

E' stato inoltre condotto un rilievo strumentale su tutti gli attraversamenti presenti nel tratto di studio, per un totale di 6 ponti. Sono state inoltre rilevate le sommità arginali in destra e sinistra idraulica per tutto il tratto di studio.

Il rilievo è stato condotto in parte con strumentazione GPS e in parte con stazione totale (rilievo dei ponti). I punti di rilievo sono riportati nella Figura 2-1 e nella Appendice A.

Sono state inoltre sviluppate 118 sezioni a partire dal rilievo Lidar con passo 1x1m interpolando le tracce delle sezioni del rilievo del Consorzio di Bonifica.

Le sezioni del rilievo del Consorzio di Bonifica sono state quindi interpolate e confrontate con quelle del rilievo Lidar e con i punti del rilievo strumentale.

Si è potuto osservare che le sezioni del Consorzio di Bonifica specie nella parte più a monte non rappresentano gli effettivi contenimenti ma solo l'alveo inciso. Inoltre nel rilievo del Consorzio di Bonifica mancano i ponti, probabilmente desunti da precedenti rilievi. Di norma nella ricostruzione delle sezioni sono state assunte le minime quote di fondo alveo in considerazione del fatto che il rilievo Lidar non rappresenta la batimeria.

Complessivamente sono state ricostruite 118 sezioni nel tratto tra la traversa a monte del ponte di via Giovanni Pacini (sezione PE0850__) e la sezione a valle della confluenza del Rio della Dilezza (sezione PE0690__).

La posizione delle sezioni rilevate è riportata nella Tavola T1 e le sezioni nella tavola T02 e nell'allegato A2.

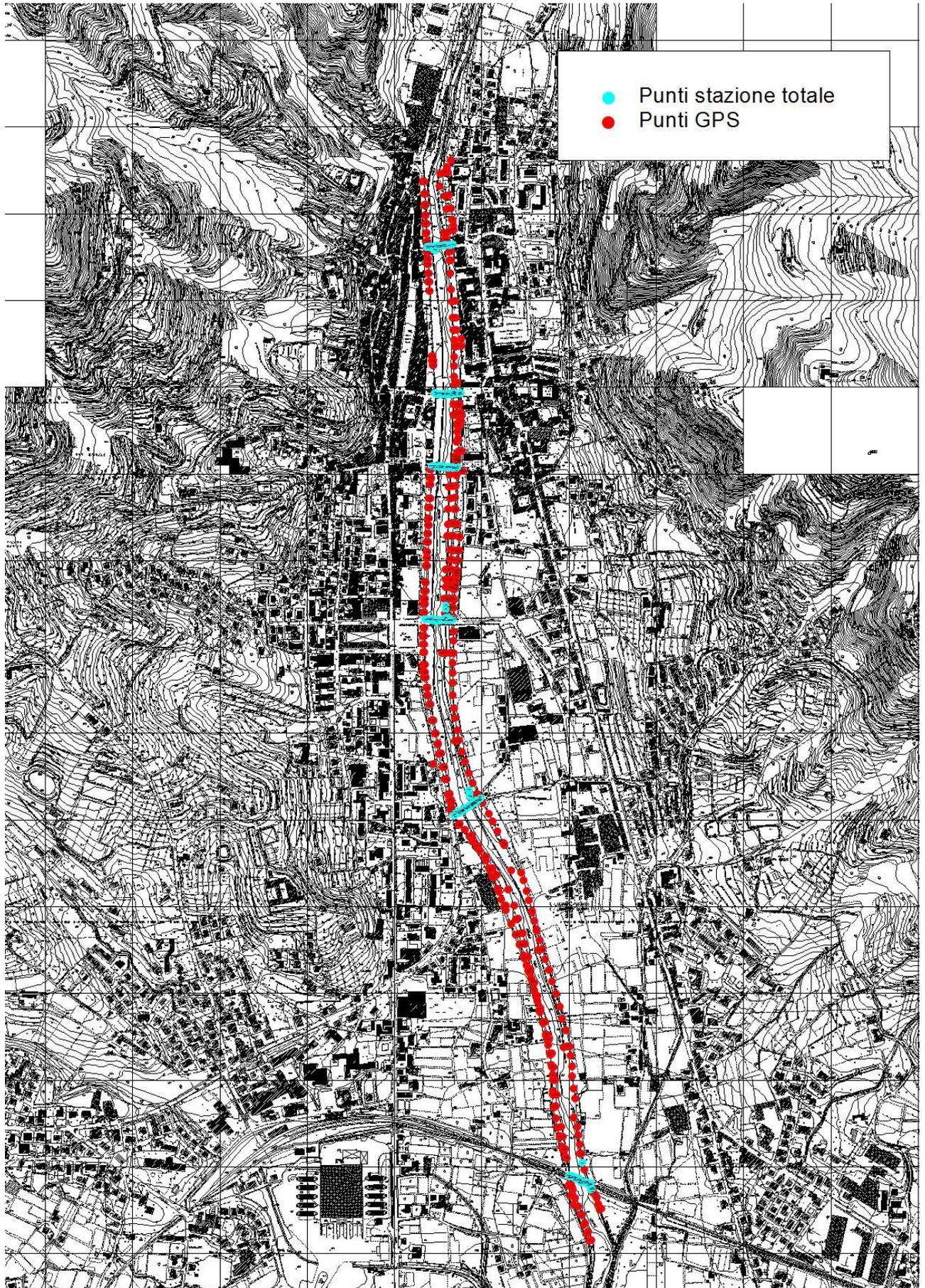


Figura 2-1 . Punti rilievo topografico

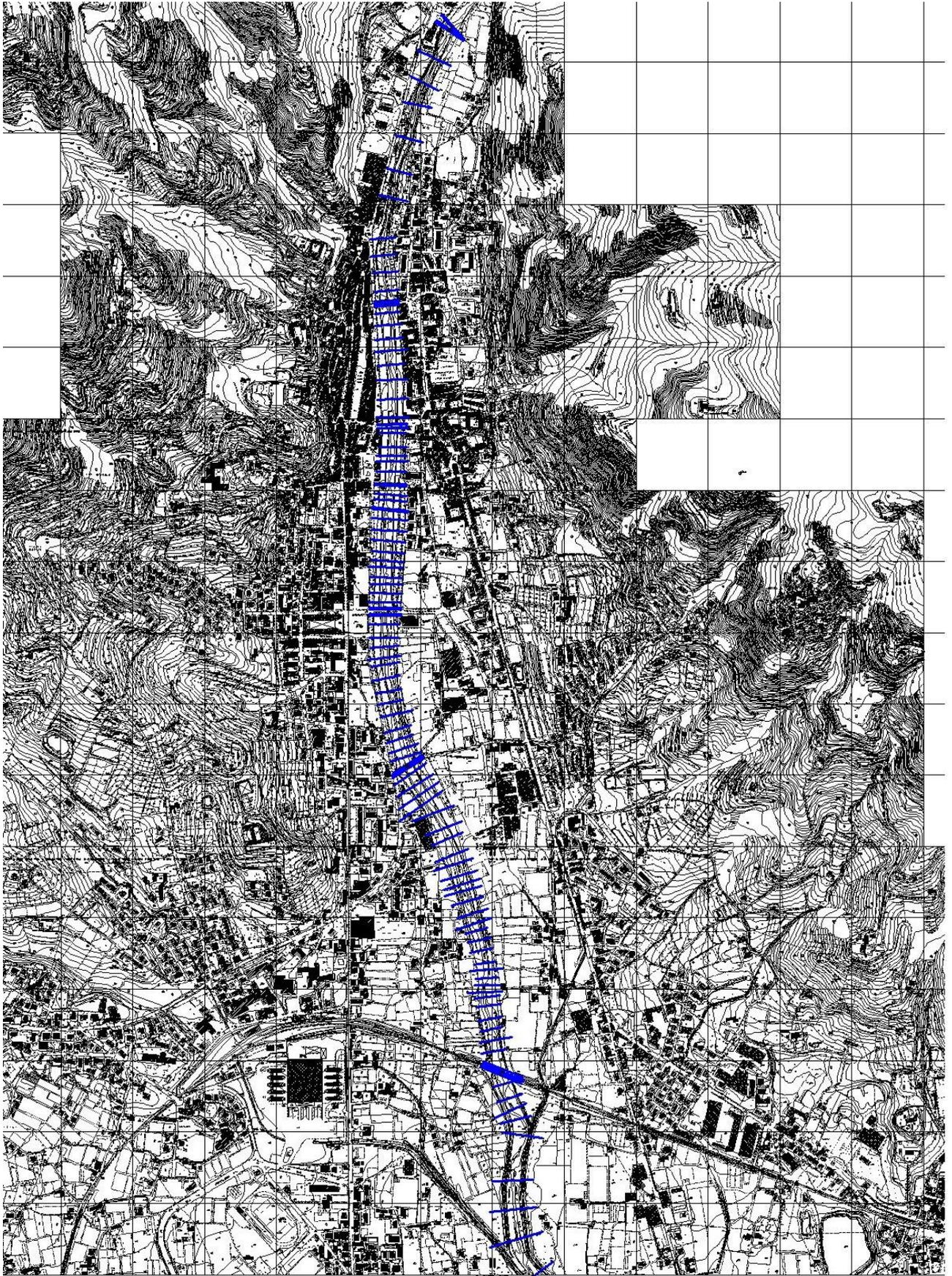


Figura 2-2 . Tratto di studio e sezioni fluviali

3 SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA

Il sistema idraulico è stato schematizzato da:

- 1 tronco;
- 7 immissioni di portata;
- 1 area di esondazione bidimensionale;
- 1 aree di espansione quasi-bidimensionali;
- 887 connessioni idrauliche.

Nella Figura 3-1 si riporta lo schema del sistema oggetto di studio.

Le sezioni utilizzate per la modellazione idraulica sono complessivamente in numero pari a 118.

La geometria viene considerata ~~variabile~~ ^{fissa} nel tempo, prescindendo quindi da evoluzioni del letto sul breve e lungo periodo e ignorando di conseguenza i fenomeni di erosione e deposito di tipo generalizzato e localizzato.

Localizzazione delle sezioni topografiche è riportata nella tavola T01.

I profili longitudinali sono riportati nella tavola T02.

3.1 Il modello digitale delle aree inondabili

Il modello digitale del terreno è stato ricavato dal rilievo Lidar con passo 1mx1m fornito dal comune di Pescia

Il modello utilizzato ha un passo di 10mx10m, la quota di ciascuna cella è data dalla media delle quote del rilievo Lidar.

Nella predisposizione del modello digitale del terreno si è posta particolare attenzione nella rappresentazione dei rilevati.

Il modello digitale del terreno è collegato alle sezioni fluviali attraverso una serie di soglie sfioranti la cui quota è ricavata dalle sezioni fluviali e la lunghezza è pari alla dimensione del modello digitale del terreno ovvero 10 m.

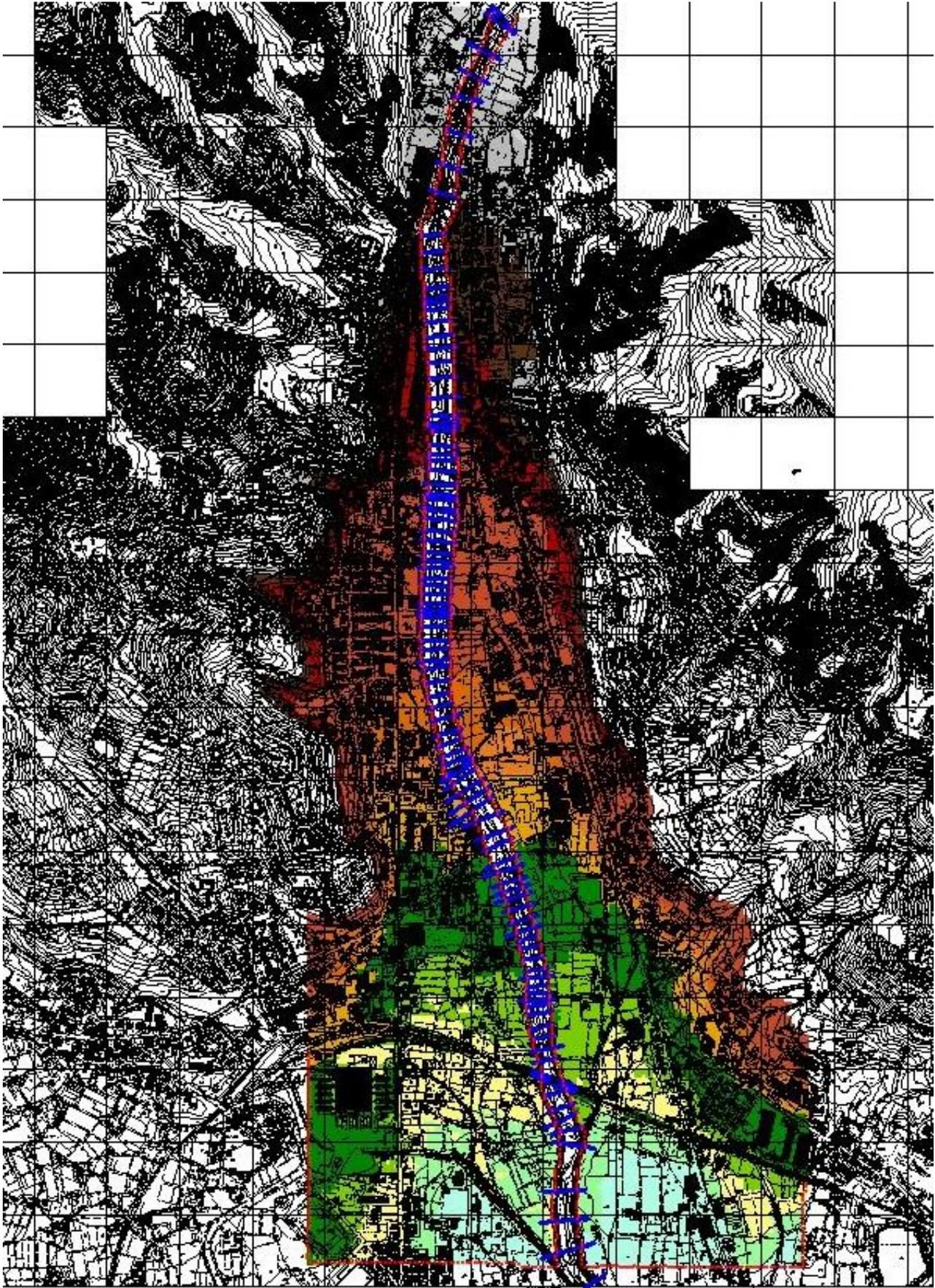


Figura 3-1 . Schema del sistema oggetto di studio.

4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è stata condotta con il modello messo utilizzato dal Consorzio di Bonifica per gli studi di Area Vasta. Le portate risultano pertanto identiche a quelle dello studio del Consorzio di Bonifica a supporto del Piano Strutturale del febbraio 2008.

L'analisi idrologica è finalizzata alla determinazione degli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni.

Nella Figura 4-2 sono riportati tutti i sottobacini nei quali è stato suddiviso il bacino del torrente Pescia di Pescia.

4.1 Calcolo degli idrogrammi di piena

La valutazione delle portate di piena è stata condotta con il modello Piene.

Il modello Piene è un modello a parametri distribuiti che utilizza le seguenti cartografie di base:

- modello digitale del terreno (DTM) 25x25m finalizzato al calcolo del raster dei puntatori (Figura 4-3);
- mappa dell'uso del suolo elaborata a partire dai dati forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno (Carta dell'Uso prodotta secondo la metodologia Corine Land Cover) (Figura 4-4)
- mappa delle formazioni geo-litologiche fornita dalla Autorità di Bacino del Fiume Arno sulla base dei fogli in scala 1:10.000 realizzati dal Servizio Geologico Nazionale (Figura 4-5).

Le curve di possibilità pluviometrica utilizzate sono quelle prodotte nell'ambito degli studi per la regionalizzazione delle portate di piena condotti dalla Regione Toscana.

Il modello è stato tarato nell'ambito degli studi di Area Vasta condotti dal Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio sui 6 eventi verificatisi nel bacino del Padule di Fucecchio riportati nella Tabella 4-1.

EVENTO	DATA INIZIO	DATA FINE
Nievole 1966	03/11/1966 00.00	06/11/1966 00.00
Nievole 1967	07/03/1967 12.00	10/03/1967 12.00
Nievole 1968	21/02/1968 00.00	25/02/1968 00.00
Pescia 1952	18/11/1952 09.00	21/11/1952 09.00
Pescia 1955_02	15/02/1955 09.00	21/02/1955 09.00
Pescia 1955_11	30/11/1955 00.00	03/12/1955 00.00

Tabella 4-1 - Eventi utilizzati per la taratura del modello

Le curve di possibilità pluviometrica adottate sono quelle ricavate dagli studi condotti dalla Regione Toscana per la regionalizzazione delle portate di piena pertanto per una trattazione di dettaglio si rimanda al relativo rapporto.

Si ricorda che il modello probabilistico utilizzato è il modello di valore estremo TCEV a doppia componente.

La curva di possibilità pluviometrica è espressa anche nella seguente forma:

$$h = a \cdot d \cdot n \cdot T^m$$

dove h è in [mm], d in [ore] e T in [anni].

I parametri sono riportati nella Tabella 4-2. Le precipitazioni vengono distribuite arealmente con il metodo dei topoi.

Cod.	Denominazione	a	n	m	aq	nq	mq
440	Prunetta	25.09	0.504	0.18	28.681	0.400	0.157
1350	Empoli_(Prunecchio)	20.649	0.258	0.182	20.352	0.260	0.173
1362	Empoli	25.067	0.274	0.205	28.662	0.380	0.186
1490	S-Miniato_(Cimitero)	25.954	0.315	0.205	31.791	0.608	0.141
1500	Fattoria_Scaletta	23.062	0.29	0.211	25.462	0.508	0.155
1530	S-Gervasio	25.462	0.221	0.203	24.530	0.369	0.178
1550	Stiappa	24.581	0.445	0.181	25.386	0.358	0.160
1560	Serra_Pistoiese	26.369	0.398	0.187	27.740	0.346	0.169
1570	Vellano	26.571	0.353	0.176	26.363	0.381	0.158
1580	Pescia	28.563	0.295	0.203	27.906	0.435	0.182
1600	Montecatini_Terme	24.814	0.333	0.201	27.046	0.411	0.156
1610	Marliana	26.254	0.365	0.189	29.282	0.455	0.156
1620	Monsummano	22.861	0.346	0.203	25.639	0.417	0.165
1630	Castelmartini	23.367	0.323	0.199	24.127	0.366	0.173
1640	Spicchio	22.626	0.316	0.184	22.522	0.264	0.167
1790	S-Giovanni_alla_Vena	26.02	0.285	0.201	25.864	0.334	0.180
1840	Pizzorne	20.003	0.479	0.206	19.980	0.343	0.199
1850	Segromigno_Monte	22.693	0.344	0.211	25.627	0.489	0.170
1860	Montecarlo	23.057	0.307	0.187	25.568	0.585	0.142
1900	Staffoli	22.777	0.305	0.196	23.752	0.351	0.174

Tabella 4-2 - Parametri della curva di possibilità pluviometrica

Il modello utilizza le seguenti mappe derivate da quelle di base:

- Mappa dei puntatori: specifica in quale cella contigua viene trasferita l'acqua in uscita dalla cella esaminata. Tale specificazione consegue dal confronto tra la quota della cella in esame e quelle delle otto celle circostanti.
- Mappa degli ordini di calcolo: specifica l'ordine della cella (ad ogni cella viene attribuito l'ordine massimo delle celle a monte +1); la mappa viene calcolata in funzione della mappa dei puntatori;
- Mappa dei bacini: identifica con uno stesso codice tutte le celle che afferiscono a una stessa foce; viene calcolata in funzione della mappa dei puntatori;
- Mappa delle velocità: fornisce le velocità di deflusso su ogni cella. Nello specifico le velocità sono state attribuite secondo la seguente relazione $V = 1.52 A^{0.15} S^{0.20}$ dove v è la velocità di trasferimento in m/s, A è l'area del bacino sotteso, s la pendenza della costa e 1,52 un parametro definito in fase di taratura;
- Mappa dei tempi di trasferimento: specifica il tempo di trasferimento da una cella alla foce in funzione della mappa delle velocità. Il percorso verso la foce viene individuato in funzione dei puntatori;

- Mappa della capacità di ritenuta del suolo(indicata con SC, Storage Capacity): la mappa è stata calcolata in funzione di geolitologia e uso del suolo secondo la Tabella 4-3 e Tabella 4-4. . I valori derivati sono stati sommati tra di loro.
- Mappa della velocità di infiltrazione del suolo:la mappa è stata calcolata in funzione di geolitologia e uso del suolo secondo la Tabella 4-5 e Tabella 4-6. I valori derivati sono stati moltiplicati tra di loro.

Codice	SC media [mm]	SC dev.sta. [mm]	Descrizione
1	100	50	detriti
2	80	40	alluvioni recenti e attuali Olocene
3	80	40	terreno palustre Olocene
4	100	50	Conoidi Olocene
5	56	28	travertini Olocene
6	80	40	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.
7	80	40	sabbie arrossate, conglomerati e depositi ciottolosi a stratificazione incrociata e a prevalenti elementi di "verrucano"; Pleist. Medio
8	80	40	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.
9	90	45	Conglomerati e ciottoli a prevalenti elementi di "verrucano"(zona di Montecarlo); di "macigno" e di "ligure" (aree piu' settentrionali) Post-Villafranchiano
10	80	40	argille grigie lignitifere, argille sabbiose e sabbie di ambiente lacustre; talora livelli ciottolosi ad elementi di "macigno" e subordinatamente di calcari della serie toscana; livelli torbosi Rusciniiano inf.-Villafranchiano sup.
11	90	45	conglomerato a grossi ciottoli di "macigno" Rusciniiano inf.?
12	90	45	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio
13	80	40	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio
14	60	30	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio
15	62	31	conglomerati, sabbie, lenti di calcari detritico-organogeni; a luoghi conglomerati ad elementi di "macigno Plioc. inf.-medio
16	56	28	("alberese" e "formazione di Lanciaia") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio
17	56	28	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora breccie sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
18	62	31	("argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre") argilliti varicolori,siltiti e marne grigie Oligocene superiore
19	62	31	("olistostroma basale") argilliti grigio scure con blocchi e frammenti di strato, calcari marnosi, microbreccie calcaree e arenarie Oligocene superiore
20	62	31	("macigno") arenarie quarzoso-felspatiche alternate a sottili interstrati di argilliti e siltiti;
21	62	31	calcareniti e calciruditi grigie, gradate Eocene
22	90	45	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti; al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene
23	32	16	("maiolica") calcari e calcari litografici selciferi bianco latte; nella parte alta calcari grigi talora selciferi e calcareniti Titonico sup.-Neocomiano/Barremiano
24	32	16	("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse Malm p.p.
25	62	31	("calcari grigio a selci nere") calcari e calcareniti gradate grigio scure, gradate, a liste e noduli di selce nera Dogger sup.-Malm p.p.
26	56	28	("marne a Posidonomya") marne e argilliti marnose grigio giallastre, talora con strati di calcareniti gradate e con rari livelli di radiolariti; intercalazioni nella parte alta di radiolariti Lias sup.-Dogger p.p
27	62	31	("calcari grigi a selci chiare") calcari stratificati di coloreda grigio a giallastro,

			leggermente marnosi, a grana fine, con liste e noduli di selce grigia; localmente sottili strati di argilliti e di marne in lastrine Lias medio e superiore
--	--	--	---

Tabella 4-3 - Tabella geolitologia - capacità di ritenuta

Codice	SC media [mm]	SC dev.sta. [mm]	Descrizione
1	0.1	0.05	Tessuto urbano continuo
2	0.1	0.05	Tessuto urbano discontinuo
3	0.1	0.05	Aree industriali o commerciali
4	0.1	0.05	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	0.1	0.05	Aree estrattive
6	15	7.5	Aree verdi urbane
7	5	2.5	Aree sportive e ricreative
8	15	7.5	Seminativi in aree non irrigue
9	5	2.5	Vigneti
10	5	2.5	Oliveti
11	10	5	Prati stabili
12	10	5	Prati stabili
13	10	5	Zone agricole eterogenee
14	10	5	Colture annuali associate a colture permanenti
15	5	2.5	Sistemi colturali e particellari complessi
16	15	7.5	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
17	20	10	Boschi di latifoglie
18	20	10	Boschi di conifere
19	20	10	Boschi misti
20	5	2.5	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
21	10	5	Brughiere e cespuglieti
22	15	7.5	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
23	5	2.5	Aree percorse da incendio
24	20	10	Paludi interne
25	20	10	Corsi d'acqua, canali e idrovie

Tabella 4-4 - Tabella uso del suolo - capacità di ritenuta

Codice	IN media [mm/h]	IN dev.sta. [mm/h]	Descrizione
1	8	4	detriti
2	0.5	0.25	alluvioni recenti e attuali Olocene
3	0.5	0.25	terreno palustre Olocene
4	8	4	Conoidi Olocene
5	7.75	3.88	travertini Olocene
6	0.5	0.25	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.
7	2.32	1.16	sabbie arrossate, conglomerati e depositi ciottolosi a stratificazione incrociata e a prevalenti elementi di "verrucano"; Pleist. Medio
8	2.32	1.16	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.
9	3	1.5	Conglomerati e ciottoli a prevalenti elementi di "verrucano"(zona di Montecarlo); di "macigno" e di "ligure" (aree piu' settentrionali) Post-Villafranchiano
10	1	0.5	argille grigie lignitifere, argille sabbiose e sabbie di ambiente lacustre; talora livelli ciottolosi ad elementi di "macigno" e subordinatamente di calcari della serie toscana; livelli torbosi Rusciniense inf.-Villafranchiano sup.
11	3	1.5	conglomerato a grossi ciottoli di "macigno" Rusciniense inf.?
12	3	1.5	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al

			tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio
13	1.55	0.78	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio
14	0.5	0.25	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio
15	0.77	0.39	conglomerati, sabbie, lenti di calcari detritico-organogeni; a luoghi conglomerati ad elementi di "macigno Plioc. inf.-medio
16	0.5	0.25	("alberese" e "formazione di Lanciaia") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio
17	0.5	0.25	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora brecce sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
18	0.5	0.25	("argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre") argilliti varicolori, siltiti e marne grigie Oligocene superiore
19	1.25	0.63	("olistostroma basale") argilliti grigio scure con blocchi e frammenti di strato, calcari marnosi, microbrecce calcaree e arenarie Oligocene superiore
20	1.55	0.78	("macigno") arenarie quarzoso-felspatiche alternate a sottili interstrati di argilliti e siltiti;
21	4.65	2.33	calcareniti e calciruditi grigie, gradate Eocene
22	1.05	0.53	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti; al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene
23	7.75	3.88	("maiolica") calcari e calcari litografici selciferi bianco latte; nella parte alta calcari grigi talora selciferi e calcareniti Titonico sup.-Neocomiano/Barremiano
24	3.88	1.94	("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse Malm p.p.
25	4.65	2.33	("calcari grigio a selci nere") calcari e calcareniti gradate grigio scure, gradate, a liste e noduli di selce nera Dogger sup.-Malm p.p.
26	0.5	0.25	("marne a Posidonomya") marne e argilliti marnose grigio giallastre, talora con strati di calcareniti gradate e con rari livelli di radiolariti; intercalazioni nella parte alta di radiolariti Lias sup.-Dogger p.p
27	7.75	3.88	("calcari grigi a selci chiare") calcari stratificati di coloreda grigio a giallastro, leggermente marnosi, a grana fine, con liste e noduli di selce grigia; localmente sottili strati di argilliti e di marne in lastrine Lias medio e superiore

Tabella 4-5 - Tabella geolitologia - infiltrazione a saturazione

Codice	IN media	IN dev.sta.	Descrizione
1	0.3	0.15	Tessuto urbano continuo
2	0.3	0.15	Tessuto urbano discontinuo
3	0.2	0.1	Aree industriali o commerciali
4	0.9	0.45	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	1	0.5	Aree estrattive
6	1	0.5	Aree verdi urbane
7	1	0.5	Aree sportive e ricreative
8	1.3	0.65	Seminativi in aree non irrigue
9	1.1	0.55	Vigneti
10	1.1	0.55	Oliveti
11	1	0.5	Prati stabili
12	1	0.5	Prati stabili
13	0.9	0.45	Zone agricole eterogenee
14	1.1	0.55	Colture annuali associate a colture permanenti
15	0.9	0.45	Sistemi colturali e particellari complessi
16	1.3	0.65	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
17	1.2	0.6	Boschi di latifoglie
18	1.2	0.6	Boschi di conifere
19	1.2	0.6	Boschi misti
20	1	0.5	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
21	1	0.5	Brughiere e cespuglieti

22	1	0.5	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
23	1	0.5	Aree percorse da incendio
24	1	0.5	Paludi interne
25	1	0.5	Corsi d'acqua, canali e idrovie

Tabella 4-6 - Tabella uso del suolo - infiltrazione a saturazione

Il calcolo viene condotto per ciascuna cella e per tutti i passi temporali secondo le 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 4-1 si riporta uno schema del modello idrologico adottato.

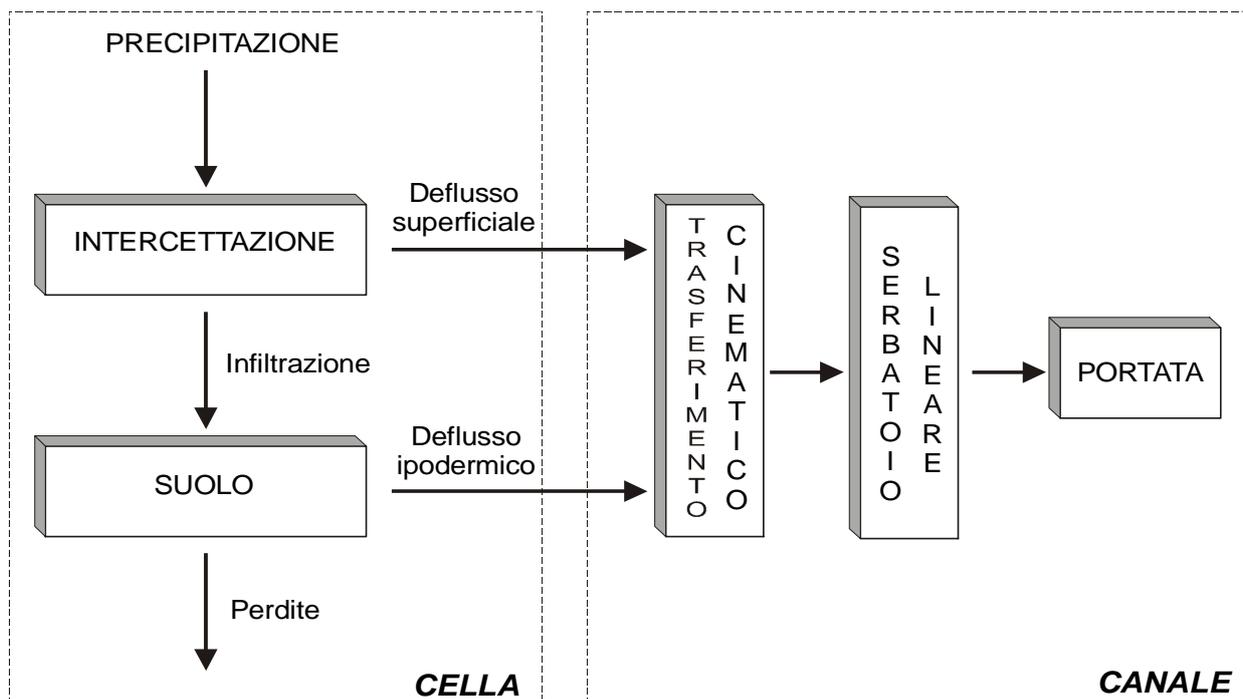


Figura 4-1 - Schema del modello Piene

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 [/]

Nella Tabella 4-7 si riportano i parametri che saranno adottati nella generazione degli eventi per i diversi tempi di ritorno.

Saturazione α_0	Infiltrazione IN	Ritenuta RI	Ipodermico IP	Rapporto cinematico /invaso CI	Velocità di trasferimento MT
0.85	0.50	1.79	1.52	0.45	1.52

Tabella 4-7 - Parametri della taratura del modello idrologico

L'input di precipitazione, in termini di ietogramma, è stato ricavato sulla base curve di possibilità pluviometrica.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di riduzione, K_r , del tipo:

$$K_r = hA(A, t) / h(t)$$

dove $hA(A, t)$ è l'altezza di pioggia di durata t ragguagliata all'area A e $h(t)$ l'altezza di pioggia di durata t nel centro di scroscio.

Il valore di K_r dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia;

Per la quantificazione di K_r si è fatto riferimento alla formula dell'USWB opportunamente modificata per tenere in conto delle caratteristiche peculiari della Regione Toscana [4]

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove α , β e γ sono i parametri della formula, t [h] la durata della precipitazione e A [kmq] l'area del bacino.

Nel presente caso i parametri della formula adottata sono i seguenti:

- $\alpha = 0.036 \times a_q$ dove a_q è il parametro della curva di possibilità;
- $\beta = 0.25$;
- $\gamma = 0.01$.

Le simulazioni saranno condotte adottando la seguente metodologia:

- eventi pluviometrici estesi su tutto il bacino di intensità costante;
- coefficienti K_r di ragguaglio areale globale.

L'opzione globale prevede di calcolare separatamente il K_r della sezione di monte e della sezione di valle, e procedendo pertanto al calcolo del K_r del sottobacino con la seguente formula:

$$K_a = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{(A_v - A_m)}$$

dove: K_v = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di valle; A_v = area del bacino di valle;
 K_m = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di monte; A_m = area del bacino di monte.

Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati per la durata di evento critica per il tratto oggetto di studio e per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni.

Per ciascun tempo di ritorno sono state calcolate le portate al colmo riportate nella Tabella 4-8 e gli idrogrammi di piena riportati nella Figura 4-6, Figura 4-7, Figura 4-8 e Figura 4-9.

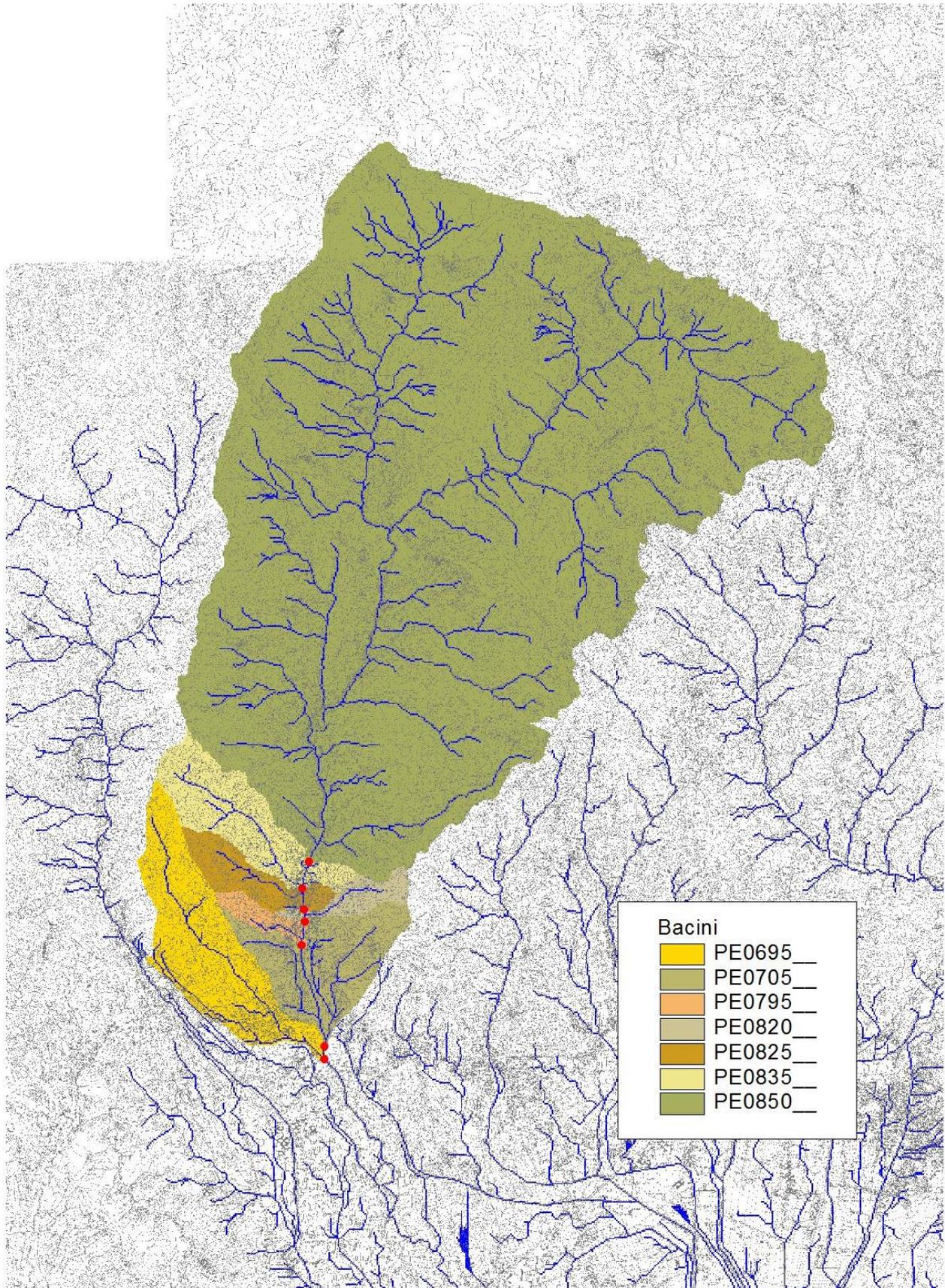


Figura 4-2 . Bacini idrografici

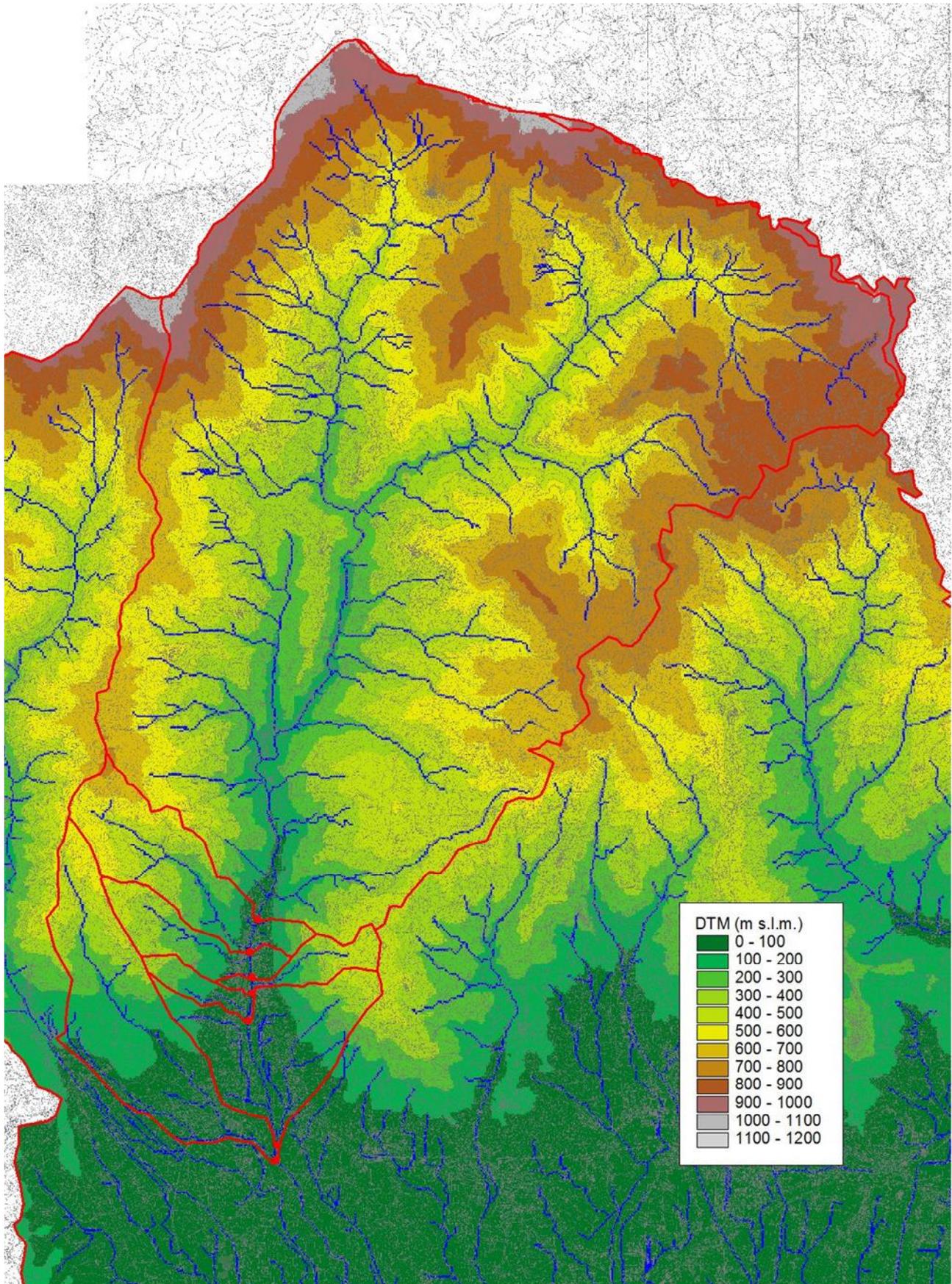


Figura 4-3 . Modello digitale del terreno

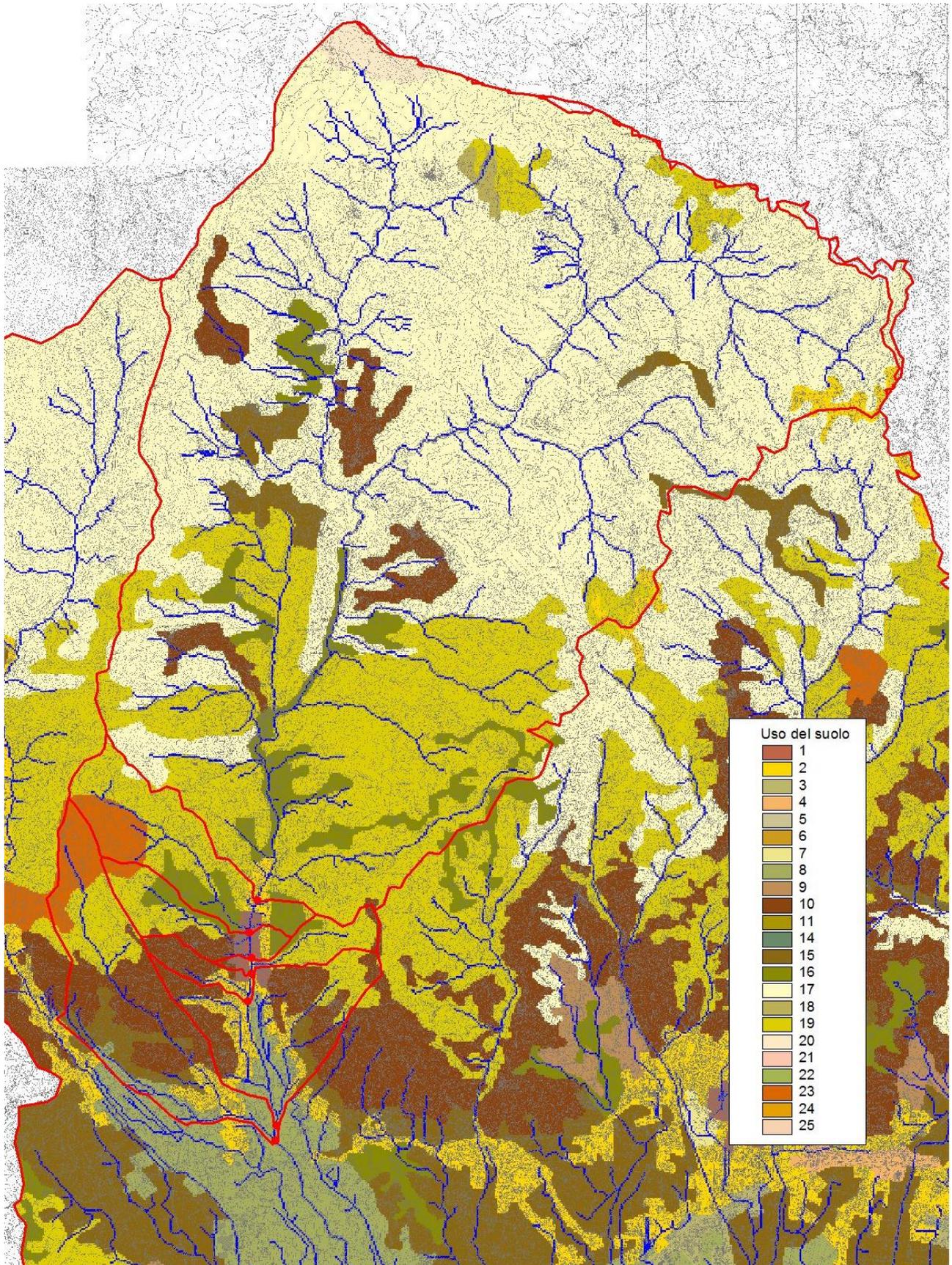


Figura 4-4 . Uso del suolo

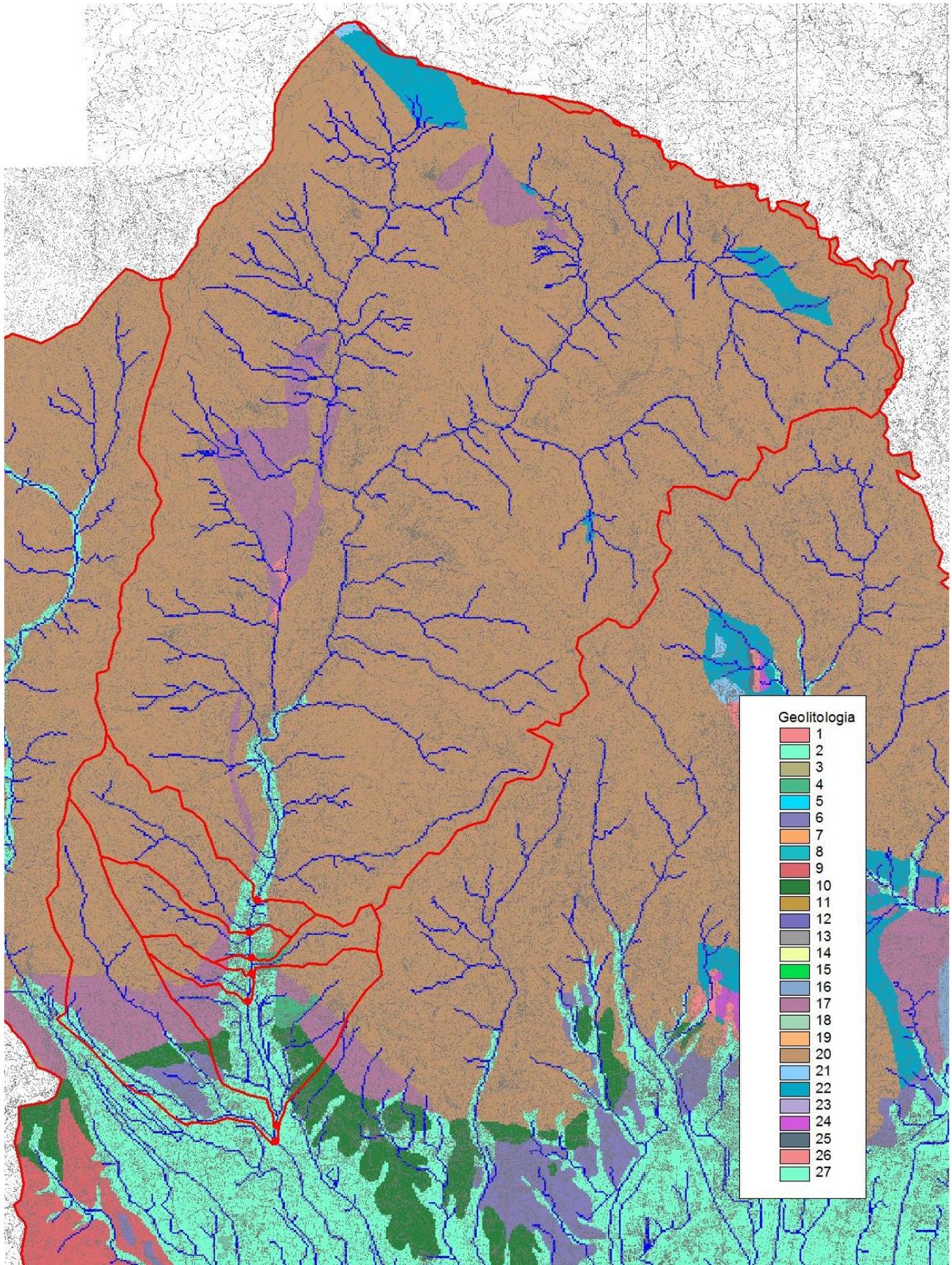


Figura 4-5 . Geolitologia

Tr 30 anni																
Codice	Molt. infiltrazione	Molt. ritenuta	Durata [h]	Area bacino [kmq]	Tempo di ritardo [h]	Portata [mc/s]	Precipitazione [mm]	Deflusso [mm]	Coeff. ragguaglio	Deflusso unitario [mc/s kmq]	CPP a < 1 ora	CPP n < 1 ora	CPP m < 1 ora	CPP a > 1 ora	CPP n > 1 ora	CPP m > 1 ora
PE0850__	0.50	1.79	3.80	74.10	1.84	273.06	80.66	77.42	0.86	3.69	26.74	0.37	0.16	26.27	0.38	0.18
PE0835__	0.50	1.79	3.80	2.97	0.52	2.89	84.64	19.92	0.01	0.97	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0825__	0.50	1.79	3.80	1.35	0.40	6.73	84.39	57.08	0.85	4.98	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0820__	0.50	1.79	3.80	0.76	0.37	3.68	84.68	57.51	0.85	4.86	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0795__	0.50	1.79	3.80	0.52	0.31	2.65	84.58	56.46	0.85	5.06	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0705__	0.50	1.79	3.80	3.28	0.63	16.37	84.14	58.27	0.85	4.99	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0695__	0.50	1.79	3.80	4.70	1.01	22.62	84.40	62.40	0.85	4.81	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20

Tr 100 anni																
Codice	Molt. infiltrazione	Molt. ritenuta	Durata [h]	Area bacino [kmq]	Tempo di ritardo [h]	Portata [mc/s]	Precipitazione [mm]	Deflusso [mm]	Coeff. ragguaglio	Deflusso unitario [mc/s kmq]	CPP a < 1 ora	CPP n < 1 ora	CPP m < 1 ora	CPP a > 1 ora	CPP n > 1 ora	CPP m > 1 ora
PE0850__	0.50	1.79	3.46	74.10	1.84	367.77	96.59	90.50	0.86	4.96	26.74	0.37	0.16	26.27	0.38	0.18
PE0835__	0.50	1.79	3.46	2.97	0.52	2.89	104.59	19.13	0.01	0.97	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0825__	0.50	1.79	3.46	1.35	0.40	8.89	104.60	70.15	0.81	6.59	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0820__	0.50	1.79	3.46	0.76	0.37	4.93	105.04	70.10	0.81	6.52	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0795__	0.50	1.79	3.46	0.52	0.31	3.48	104.98	69.69	0.81	6.66	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0705__	0.50	1.79	3.46	3.28	0.63	21.58	104.63	71.12	0.81	6.57	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0695__	0.50	1.79	3.46	4.70	1.01	29.87	104.80	75.54	0.81	6.35	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20

Tr 200 anni																
Codice	Molt. infiltrazione	Molt. ritenuta	Durata [h]	Area bacino [kmq]	Tempo di ritardo [h]	Portata [mc/s]	Precipitazione [mm]	Deflusso [mm]	Coeff. ragguglio	Deflusso unitario [mc/s kmq]	CPP a < 1 ora	CPP n < 1 ora	CPP m < 1 ora	CPP a > 1 ora	CPP n > 1 ora	CPP m > 1 ora
PE0850__	0.50	1.79	3.29	74.10	1.84	432.51	107.22	99.42	0.85	5.84	26.74	0.37	0.16	26.27	0.38	0.18
PE0835__	0.50	1.79	3.29	2.97	0.52	2.89	119.41	18.72	0.01	0.97	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0825__	0.50	1.79	3.29	1.35	0.40	10.40	118.99	78.99	0.79	7.71	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0820__	0.50	1.79	3.29	0.76	0.37	5.78	119.34	78.78	0.79	7.63	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0795__	0.50	1.79	3.29	0.52	0.31	4.06	118.80	78.64	0.79	7.78	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0705__	0.50	1.79	3.29	3.28	0.63	25.16	118.59	79.86	0.79	7.66	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0695__	0.50	1.79	3.29	4.70	1.01	34.82	118.89	84.35	0.78	7.40	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20

Tr 500 anni																
Codice	Molt. infiltrazione	Molt. ritenuta	Durata [h]	Area bacino [kmq]	Tempo di ritardo [h]	Portata [mc/s]	Precipitazione [mm]	Deflusso [mm]	Coeff. ragguglio	Deflusso unitario [mc/s kmq]	CPP a < 1 ora	CPP n < 1 ora	CPP m < 1 ora	CPP a > 1 ora	CPP n > 1 ora	CPP m > 1 ora
PE0850__	0.50	1.79	3.11	74.10	1.84	530.41	123.49	113.17	0.85	7.16	26.74	0.37	0.16	26.27	0.38	0.18
PE0835__	0.50	1.79	3.11	2.97	0.52	2.89	141.27	18.30	0.01	0.98	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0825__	0.50	1.79	3.11	1.35	0.40	12.69	140.93	92.79	0.77	9.41	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0820__	0.50	1.79	3.11	0.76	0.37	7.05	141.35	92.37	0.77	9.31	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0795__	0.50	1.79	3.11	0.52	0.31	4.94	141.03	92.40	0.76	9.46	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0705__	0.50	1.79	3.11	3.28	0.63	30.65	140.45	93.42	0.76	9.34	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20
PE0695__	0.50	1.79	3.11	4.70	1.01	42.33	141.18	97.97	0.76	9.00	27.91	0.44	0.18	28.56	0.30	0.20

Tabella 4-8 . Portate al colmo

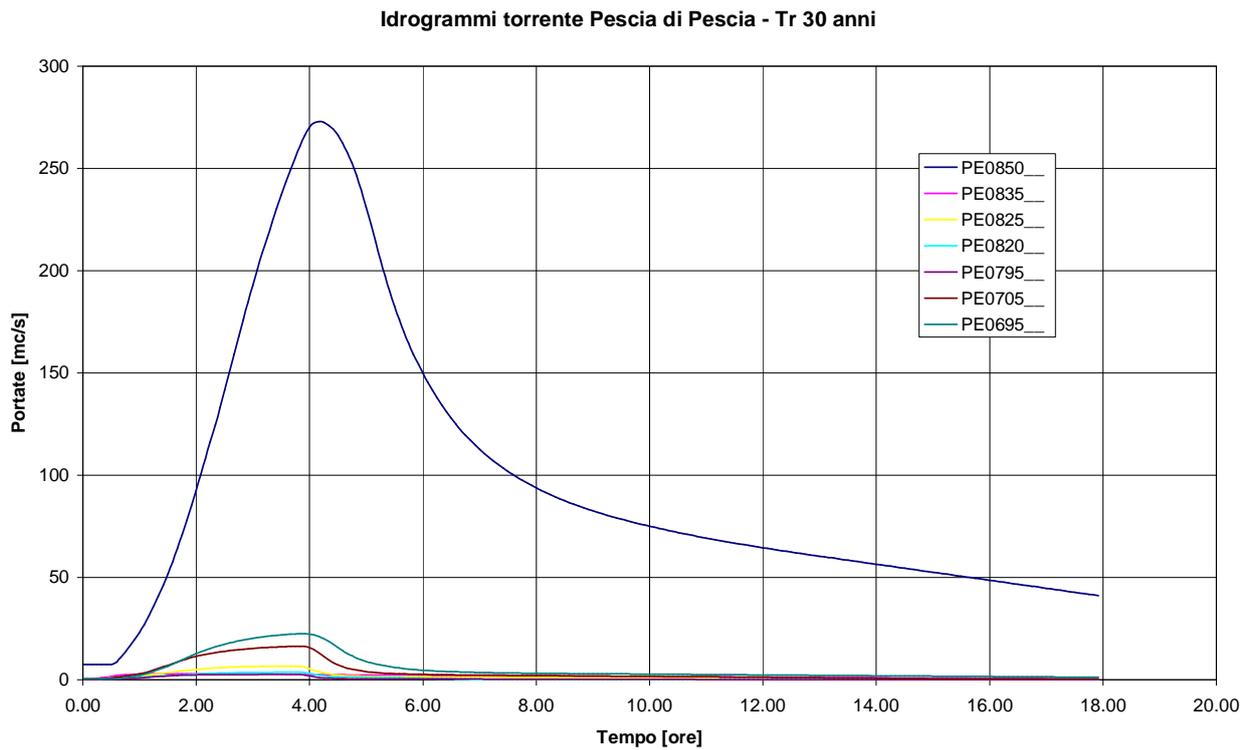


Figura 4-6 . Idrogrammi di piena Tr 30 anni

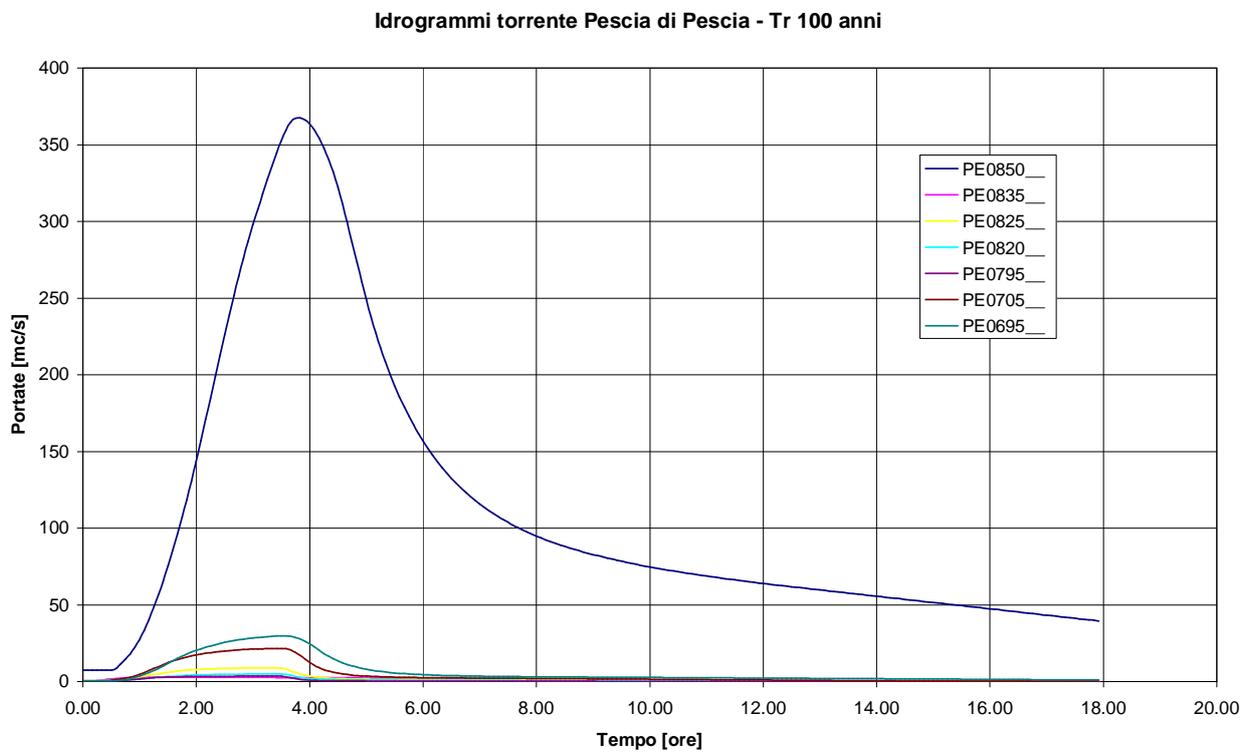


Figura 4-7 . Idrogrammi di piena Tr 100 anni

Idrogrammi torrente Pescia di Pescia - Tr 200 anni

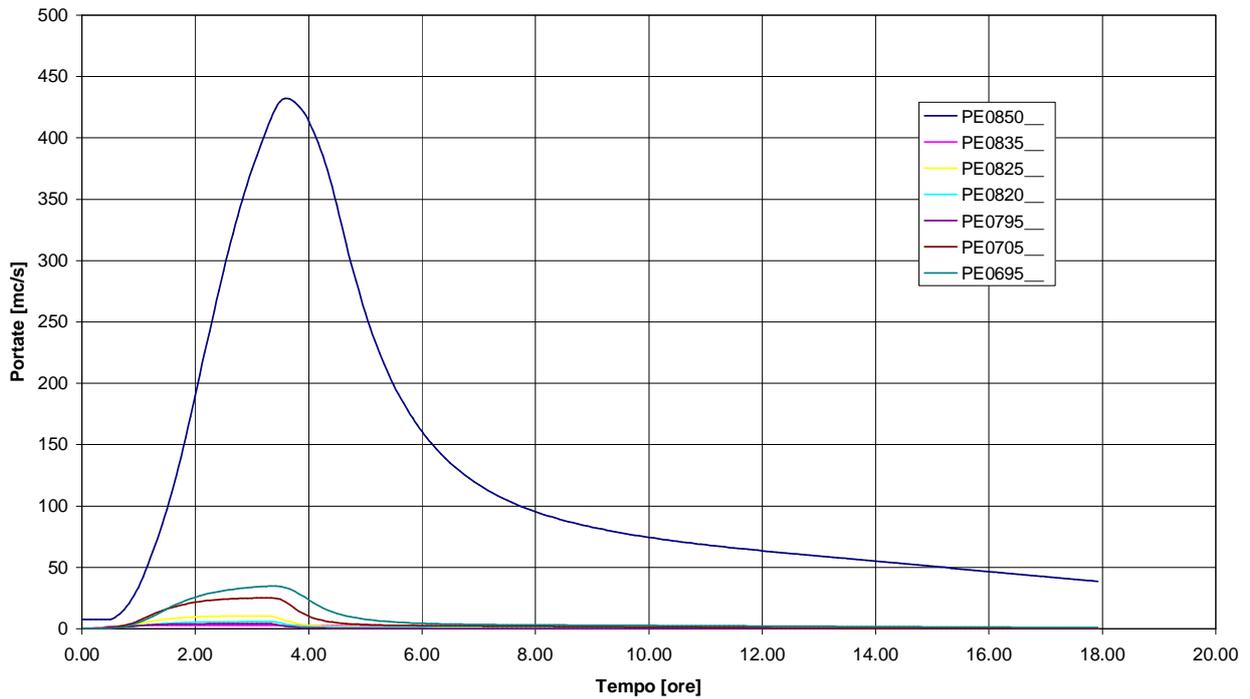


Figura 4-8 . Idrogrammi di piena Tr 200 anni

Idrogrammi torrente Pescia di Pescia - Tr 500 anni

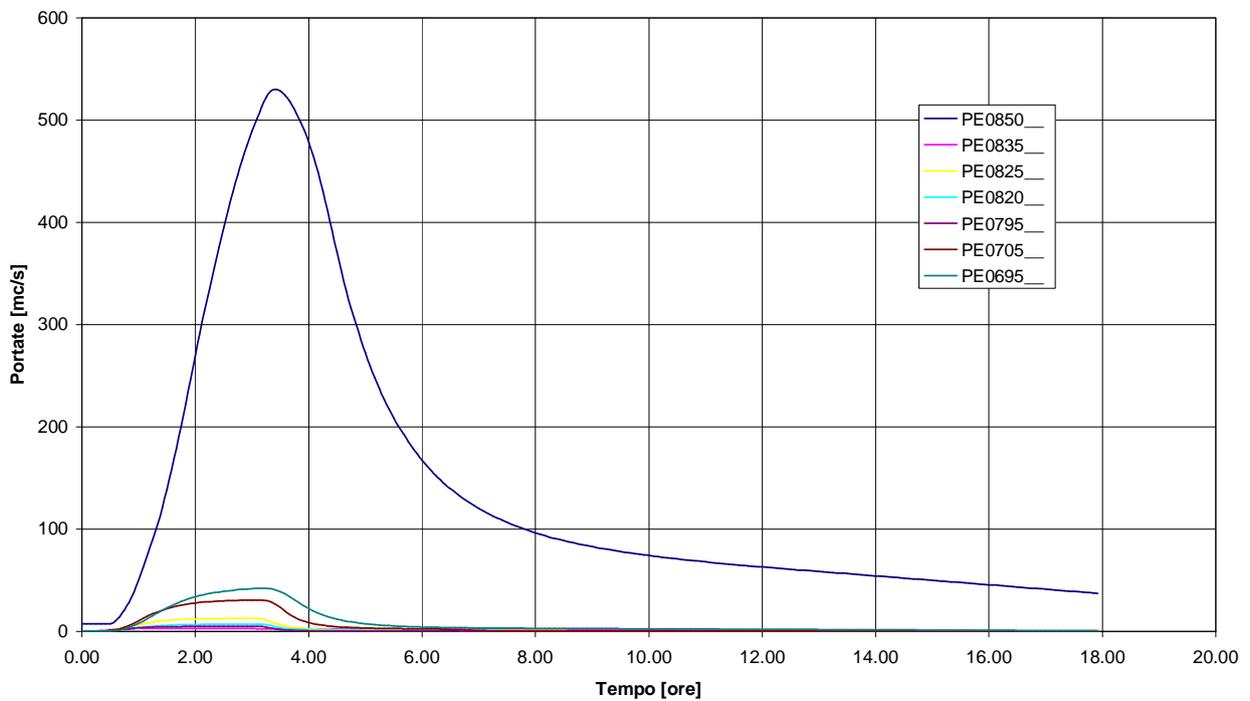


Figura 4-9 . Idrogrammi di piena Tr 500 anni

5 IL MODELLO IDRAULICO

Il modello idraulico adottato si basa sulle classiche equazioni del moto e di continuità per una corrente unidimensionale, associate a una 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. Nel presente caso il passo temporale adottato è stato di 5 minuti.

Gli elementi che compongono il modello idraulico sono riportati nella tavola T01.

5.1 Il modello in moto vario

In particolare, 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 presenti 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:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J \quad [5.1]$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q(x) = 0 \quad [5.2]$$

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:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2R} \quad [5.3]$$

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

$$C = \frac{K_s R^{1/6}}{\sqrt{g}} \quad [5.4]$$

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

Nel caso specifico è stato adottato un parametro di scabrezza di G.S. di $21 m^{1/3}s^{-1}$ caratteristico di un alveo naturale con presenza di vegetazione arbore e di sedimenti analogo a quello adottato negli studi del Consorzio di Bonifica del febbraio 2008.

Il coefficiente C (e i valori α e β coefficienti di ragguglio dell'energia e della quantità di moto) sono calcolati con il metodo di Engelund (1964) che suddivide la sezione in strisce verticali fornendo le seguenti espressioni:

$$C^2 = \frac{1}{\Omega^2 R} \left(\int cr^2 d\Omega \right)^2$$

$$\beta = \Omega \frac{\int c^2 r d\Omega}{\left(\int cr^2 d\Omega \right)^2}$$

$$\alpha = \Omega^2 \frac{\int c^3 r^{\frac{3}{2}} d\Omega}{\left(\int cr^2 d\Omega \right)^3}$$

dove:

C = coefficiente di Chezy adimensionale;

α = coefficiente di ragguglio dell'energia;

β = coefficiente di ragguglio della quantità di moto;

Ω = area della sezione;

R = raggio idraulico;

c = coefficiente di Chezy adimensionale della singola striscia;

r = raggio idraulico della singola striscia;

$d\Omega$ = area della singola striscia.

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:

$$\Delta H = \xi \Delta \left(\alpha \frac{Q^2}{2gA^2} \right) \quad [5.5]$$

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. Tali coefficienti sono stati assunti in generale pari a 0.1 (contrazione) e 0.3 (espansione), in corrispondenza dei ponti sono stati utilizzati i coefficienti 0.3 (contrazione) e 0.5 (espansione).

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:

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

$$\frac{\partial A}{\partial s} = p_t \frac{A_{i+1}^k - A_i^k}{\Delta s} + (1 - p_t) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_i^{k+1}}{\Delta s} \quad [5.6]$$

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

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:

$$Q = a(h - h_0)^c + q_0 \quad [5.7]$$

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.

Nelle presenti simulazioni è stata calcolata una scala di deflusso nella sezione di valle.

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.

La simulazione di eventuali fenomeni di esondazione è stata condotta associando al modello idraulico non stazionario appena descritto un modello quasi-bidimensionale o bidimensionale, definiti mediante la rappresentazione delle celle di accumulo o distribuite delle aree inondabili adiacenti il corso d'acqua.

5.2 Il modello di inondazione quasi - bidimensionale

La modellazione *quasi-bidimensionale tipo Cunge*, integra il modello mono-dimensionale con quello a macro-aree interconnesse.

Nel modello tipo Cunge l'area potenzialmente inondabile viene immaginata composta da aree elementari connesse idraulicamente tra loro e con l'asta fluviale da soglie sfioranti. La definizione delle aree elementari che compongono le aree di potenziale inondazione deve avvenire con criteri di massima verosimiglianza del modello alla realtà: pertanto ad ogni struttura di contenimento identificabile sul territorio (quali i rilevati stradali e ferroviari, muri e argini) deve corrispondere il bordo di una o più aree.

La delimitazione e la modellazione di tali aree, dette *aree di laminazione*, per le quali risulta prevalente il fenomeno di invaso rispetto a quello di trasporto, avviene secondo le seguenti fasi:

- *individuazione e acquisizione delle strutture di contenimento*
le aree elementari di potenziale esondazione sono delimitate da elementi di contorno rappresentati da argini, rilevati stradali e ferroviari, contenimenti naturali. L'individuazione di tali elementi è stata condotta sulla base cartografica della C.T.R. 1:2000 acquisita in forma digitale vettoriale;
- *caratterizzazione morfologica delle aree di potenziale inondazione*
in tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche delle aree elementari 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:

$$V = A(y - y_0)^B \quad [5.8]$$

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

- *definizione delle connessioni idrauliche*
sulla base dell'analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche, infrastrutturali ed idrauliche del territorio sono definite le caratteristiche delle connessioni idrauliche tra l'alveo principale e le aree di potenziale esondazione, e tra le aree stesse.

La simulazione del fenomeno esondativo si basa inoltre sulle seguenti ipotesi:

- i volumi idrici di inondazione si generano esclusivamente *per tracimazione* delle sommità arginali del corso d'acqua. Non sono considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito diversi da quelli già considerati nel presente studio. Anche gli elementi infrastrutturali, delimitanti le aree di potenziale inondazione (i.e. rilevati stradali, ferroviari, etc.), si considerano, al pari degli argini fluviali, tracimabili senza collasso;
- il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area potenzialmente inondabile avviene seguendo la legge di riempimento quota-volume (5.8);
- il trasferimento dei volumi di esondazione, sia alveo/area sia area/area avviene con 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:

$$Q_{sf} = l(\mu_1 h_2 - \mu_2 h_1) \sqrt{2gh_1} \quad [5.9]$$

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. Mentre la quota di sfioro delle connessioni alveo/area o area/area è in generale ben definibile come la quota inferiore dell'elemento di contenimento che separa le aree stesse, invece la lunghezza del fronte di sfioro ha un valore dipendente in linea di massima dalla densità spaziale delle sezioni fluviali o dalla lunghezza dei lati delle aree.

Il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area avviene in modo sincrono, cioè non viene messo in conto il tempo effettivo connesso alla reale propagazione sul terreno dei volumi esondati.

La propagazione dei livelli idrici nelle celle avviene pertanto attraverso la sola legge di continuità dei volumi. A tale scopo è necessario considerare il volume accumulato nella singola cella e le sue variazioni dovute agli scambi di portata con le celle circostanti.

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

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

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i) \quad [5.10]$$

ove A_{ck} rappresenta la superficie allagata nell'area k -esima, h_k è l'altezza d'acqua relativa, Q_{ki} è la portata scambiata con l'area 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.

Nel presente caso la modellazione quasi-bidimensionale è stata adottata per la sola area di potenziale esondazione posta a valle dell'area di studio.

5.3 Il modello di inondazione bidimensionale

Le aree di potenziale esondazione possono essere modellate anche come oggetto bidimensionale a patto di fornire un modello digitale del terreno rappresentativo della loro altimetria.

La risoluzione dello schema di inondazione bidimensionale è ottenuta mediante la risoluzione di un sistema alle derivate parziali, di tipo iperbolico, non lineare, costituito dalle equazioni complete di De Saint Venant scritte in forma bidimensionale.

Le equazioni di continuità e del moto nelle due direzioni possono essere scritte come segue:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad [5.8]$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x = 0 \quad [5.9]$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y = 0 \quad [5.10]$$

in cui:

- x = coordinata longitudinale;
- y = coordinata trasversale;
- t = coordinata temporale;
- h = altezza d'acqua;
- u = componente di velocità nella direzione x;
- v = componente di velocità nella direzione y;
- M = uh = flusso della corrente in direzione x;
- N = vh = flusso della corrente in direzione y;
- h = altezza d'acqua;
- H = quota della superficie libera;
- ρ = densità dell'acqua;
- τ_x = sforzo tangenziale al fondo nella direzione x;
- τ_y = sforzo tangenziale al fondo nella direzione y.

In particolare, gli sforzi tangenziali lungo x e y sono stati valutati nel modo seguente:

$$\tau_x = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad [5.11a]$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad [5.11b]$$

avendo indicato con n il coefficiente di scabrezza di Manning assunto nel caso specifico pari a 0.10 (c = 10 di Gaukler-Strikler)

La risoluzione delle equazioni sopra scritte viene svolta numericamente mediante uno schema alle differenze finite di tipo implicito accoppiato ad appropriate condizioni al contorno.

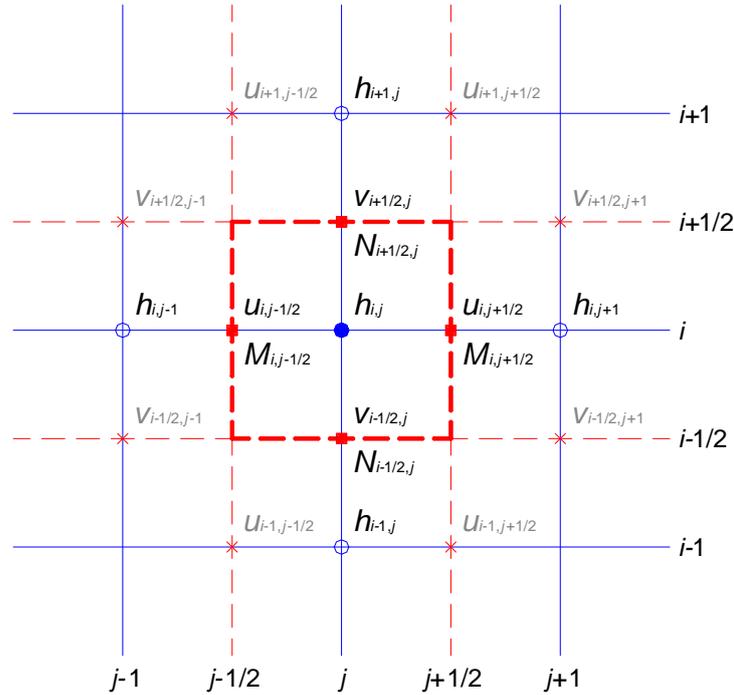


Figura 5-1 . Griglia di calcolo equazione di continuità

In particolare, facendo riferimento allo schema di Figura 5-1, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione di continuità:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{h_{i,j}^{k+1} - h_{i,j}^k}{\Delta t} \\ \frac{\partial M}{\partial x} = p_t \left(\frac{M_{i,j+1/2}^k - M_{i,j-1/2}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left(\frac{M_{i,j+1/2}^{k+1} - M_{i,j-1/2}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\ \frac{\partial N}{\partial y} = p_t \left(\frac{N_{i+1/2,j}^k - N_{i-1/2,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left(\frac{N_{i+1/2,j}^{k+1} - N_{i-1/2,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \end{array} \right. \quad [5.12]$$

in cui:

$$\left\{ \begin{array}{ll} M_{i,j-1/2}^k = u_{i,j-1/2}^k [p_s h_{i,j}^k + (1-p_s) h_{i,j-1}^k]; & N_{i-1/2,j}^k = v_{i-1/2,j}^k [p_s h_{i,j}^k + (1-p_s) h_{i-1,j}^k]; \\ M_{i,j+1/2}^k = u_{i,j+1/2}^k [p_s h_{i,j+1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k]; & N_{i+1/2,j}^k = v_{i+1/2,j}^k [p_s h_{i+1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k]; \\ M_{i,j-1/2}^{k+1} = u_{i,j-1/2}^{k+1} [p_s h_{i,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j-1}^{k+1}]; & N_{i-1/2,j}^{k+1} = v_{i-1/2,j}^{k+1} [p_s h_{i,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i-1,j}^{k+1}]; \\ M_{i,j+1/2}^{k+1} = u_{i,j+1/2}^{k+1} [p_s h_{i,j+1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}]; & N_{i+1/2,j}^{k+1} = v_{i+1/2,j}^{k+1} [p_s h_{i+1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}]. \end{array} \right. \quad [5.13a,b]$$

Mentre, facendo riferimento allo schema di Figura 5-2, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione del moto nella direzione x:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{M_{i,j}^{k+1} - M_{i,j}^k}{\Delta t} = \frac{(uh)_{i,j}^{k+1} - (uh)_{i,j}^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial(uM)}{\partial x} &= p_t \left(\frac{(uM)_{i,j}^k - (uM)_{i,j-1}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left(\frac{(uM)_{i,j}^{k+1} - (uM)_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\
 \frac{\partial(vM)}{\partial y} &= p_t \left(\frac{(vM)_{i+1/2,j-1/2}^k - (vM)_{i-1/2,j-1/2}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left(\frac{(vM)_{i+1/2,j-1/2}^{k+1} - (vM)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1}}{\Delta y} \right) \\
 gh \frac{\partial H}{\partial x} &= g \left[p_t (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[p_t \left(\frac{H_{i,j}^k - H_{i,j-1}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left(\frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x} \right) \right] \\
 \frac{1}{\rho} \tau_x &= gn^2 (p_t u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1-p_t) u_{i,j-1/2}^k) \cdot \left[p_t (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]^{-1/3} \cdot \\
 &\quad \cdot \left\langle (p_t u_{i,j-1/2}^k + (1-p_t) u_{i,j-1/2}^{k+1})^2 + \left\{ p_t [\rho_s (p_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^k) + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1-p_s) (\rho_s v_{i+1/2,j-1}^k + (1-p_s) v_{i+1/2,j}^k)] + (1-p_t) [\rho_s (p_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-p_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1-p_s) (\rho_s v_{i+1/2,j-1}^{k+1} + (1-p_s) v_{i+1/2,j}^{k+1})] \right\}^2 \right\rangle^{1/2}
 \end{aligned} \right. \tag{5.14}$$

in cui:

$$\begin{aligned}
 (uM)_{i,j-1}^k &= [\rho_s u_{i,j-3/2}^k \cdot u_{i,j-3/2}^k + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^k \cdot u_{i,j-1/2}^k] h_{i,j-1}^k ; \\
 (uM)_{i,j}^k &= [\rho_s u_{i,j-1/2}^k \cdot u_{i,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^k \cdot u_{i,j+1/2}^k] h_{i,j}^k ; \\
 (uM)_{i,j-1}^{k+1} &= [\rho_s u_{i,j-3/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-3/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-1/2}^{k+1}] h_{i,j-1}^{k+1} ; \\
 (uM)_{i,j}^{k+1} &= [\rho_s u_{i,j-1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j+1/2}^{k+1}] h_{i,j}^{k+1} ;
 \end{aligned} \tag{5.15a}$$

$$\begin{aligned}
 (vM)_{i-1/2,j-1/2}^k &= \left[(\rho_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[\rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i-1,j}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) \right]; \\
 (vM)_{i+1/2,j-1/2}^k &= \left[(\rho_s v_{i+1/2,j-1}^k + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i,j-1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i+1,j-1/2}^k) \right] \\
 &\quad \cdot \left[\rho_s (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i+1,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i+1,j}^k) \right]; \\
 (vM)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[(\rho_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[\rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i-1,j}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]; \\
 (vM)_{i+1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[(\rho_s v_{i+1/2,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i+1,j-1/2}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[\rho_s (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i+1,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i+1,j}^{k+1}) \right].
 \end{aligned}
 \tag{5.15b}$$

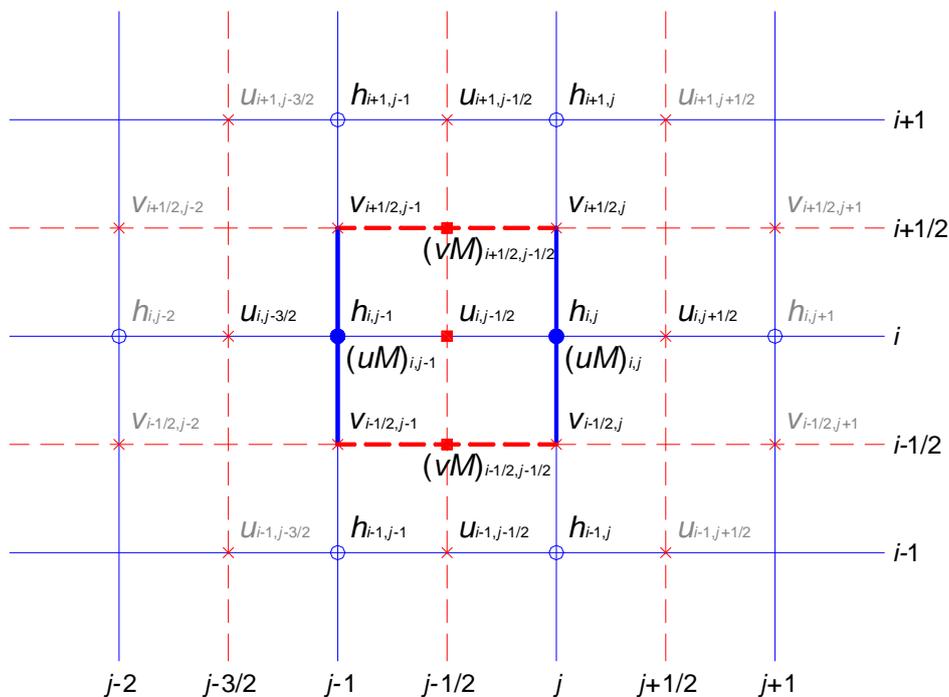


Figura 5-2 . Griglia di calcolo equazione di moto lungo X

Infine, facendo riferimento allo schema di Figura 5-3, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione del moto nella direzione y:

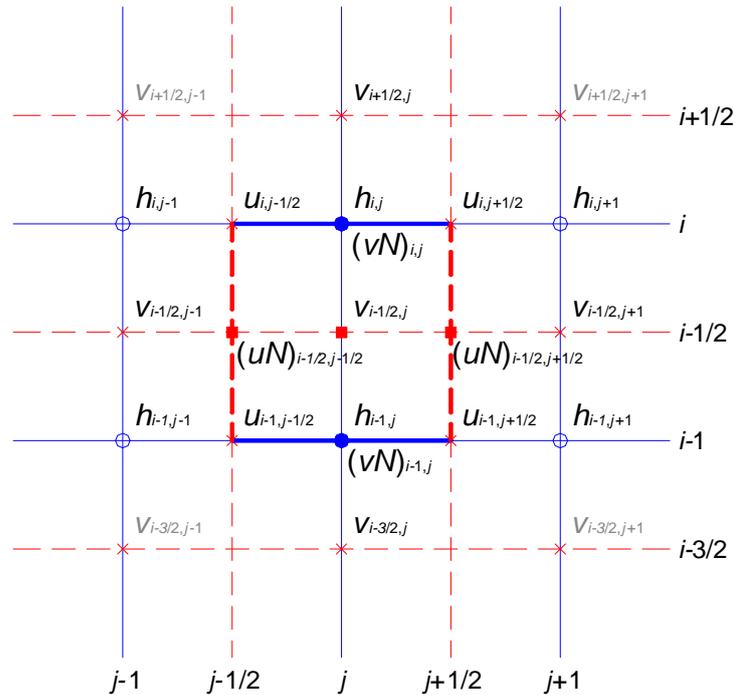


Figura 5-3 . Griglia di calcolo equazione di moto lungo Y

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{N_{i,j}^{k+1} - N_{i,j}^k}{\Delta t} = \frac{(vh)_{i,j}^{k+1} - (vh)_{i,j}^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial (uN)}{\partial x} &= p_t \left(\frac{(uN)_{i-1/2,j+1/2}^k - (uN)_{i-1/2,j-1/2}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left(\frac{(uN)_{i-1/2,j+1/2}^{k+1} - (uN)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\
 \frac{\partial (vN)}{\partial y} &= p_t \left(\frac{(vN)_{i,j}^k - (vN)_{i-1,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left(\frac{(vN)_{i,j}^{k+1} - (vN)_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \\
 gh \frac{\partial H}{\partial y} &= g \left[p_t (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[p_t \left(\frac{H_{i,j}^k - H_{i-1,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left(\frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \right] \\
 \frac{1}{\rho} \tau_y &= gn^2 (p_t v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-p_t) v_{i-1/2,j}^k) \cdot \left[p_t (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]^{-1/3} \cdot \\
 &\quad \cdot \left\langle \left\{ p_t [p_s (p_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^k) + (1-p_s) (p_s u_{i-1,j+1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^k)] + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1-p_t) [p_s (p_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) + (1-p_s) (p_s u_{i-1,j+1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^{k+1})] \right\}^2 + \right. \\
 &\quad \left. + (p_t v_{i-1/2,j}^k + (1-p_t) v_{i-1/2,j}^{k+1})^2 \right\rangle^{1/2}
 \end{aligned} \right\} \quad [5.16]$$

in cui:

$$\begin{aligned}
 (uN)_{i-1/2,j-1/2}^k &= \left[(\rho_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[\rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j-1}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j+1/2}^k &= \left[(\rho_s v_{i-1/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j+1}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j+1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i,j+1/2}^k) \right] \\
 &\quad \cdot \left[\rho_s (\rho_s h_{i-1,j}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j+1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j+1}^k) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[(\rho_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[\rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j-1}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j+1/2}^{k+1} &= \left[(\rho_s v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j+1}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j+1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i,j+1/2}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[\rho_s (\rho_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j+1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j+1}^{k+1}) \right].
 \end{aligned}$$

[5.17a]

$$\begin{aligned}
 (vN)_{i,j-1}^k &= \left[\rho_s v_{i-3/2,j}^k \cdot v_{i-3/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^k \cdot v_{i-1/2,j}^k \right] h_{i,j-1}^k ; \\
 (vN)_{i,j}^k &= \left[\rho_s v_{i-1/2,j}^k \cdot v_{i-1/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^k \cdot v_{i+1/2,j}^k \right] h_{i,j}^k ; \\
 (vN)_{i,j-1}^{k+1} &= \left[\rho_s v_{i-3/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-3/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-1/2,j}^{k+1} \right] h_{i,j-1}^{k+1} ; \\
 (vN)_{i,j}^{k+1} &= \left[\rho_s v_{i-1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i+1/2,j}^{k+1} \right] h_{i,j}^{k+1} ;
 \end{aligned}$$

[5.17b]

dove ρ_s è il peso della media spaziale e ρ_t il peso della media temporale (l'indice k è riferito al tempo, mentre gli indici i e j sono riferiti rispettivamente alle coordinate lungo x e y). I valori utilizzati per ρ_s e ρ_t sono rispettivamente di 0.5 e 0.45 che dalle prove effettuate risultano essere i più affidabili per la risoluzione del sistema.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, 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. La propagazione delle esondazioni avviene in condizioni di corrente lenta.

Il modello digitale del terreno, riportato nelle tavole T01 ha una maglia di 10 m.

6 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica è stata condotta per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni.

I tabulati delle verifiche idrauliche per ciascun tempo di ritorno sono riportati nell'Allegato A01 mentre nell'Allegato A2 si riportano le sezioni fluviali con i livelli idrometrici.

Nella tavola T02 è riportato il profilo longitudinale e le sezioni fluviali limitrofe all'area di intervento con i livelli idrometrici.

Per ciascun tempo di ritorno è stata prodotta una mappa dei battenti e delle velocità nelle aree inondabili riportata nella tavola T03 alla scala di insieme 1:10000 e alla scala di dettaglio 1:2000.

Nella tavola T04 si riportano le planimetrie delle aree inondate, della pericolosità idraulica ai sensi del 53/R e del PAI.

6.1 *Analisi dei risultati*

Nel tratto di interesse il torrente Pescia di Pescia non esonda per i tempi di ritorno di 30 e di 100 anni.

Si registrano esondazioni a partire dal tempo di ritorno di 200 anni in sinistra idraulica a monte del ponte della ferrovia Pistoia - Viareggio e per il tempo di ritorno di 500 anni anche in sponda destra sempre a monte della ferrovia.

L'area di interesse non risulta pertanto interessata da allagamenti per i tempi di ritorno esaminati

7 PERIMETRAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Le aree inondabili sono state tracciate a partire dalle mappe dei battenti.

Le aree inondabili sono state tracciate per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni.

A partire dalla mappa delle aree allagabili è stata ricavata la carta della pericolosità idraulica come definita dal Regolamento 53/R (14 eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni, 13 eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni, e 12 eventi con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni).

Analogamente è stata ricavata la carta della pericolosità idraulica come definita dalla Autorità di Bacino del fiume Arno secondo il seguente criterio:

PI4 . $Tr < 30$ anni e battenti $>$ di 30 cm;

PI3 . $Tr < 30$ anni e battenti $<$ di 30 cm o $30 < Tr < 100$ anni e battenti $>$ di 30 cm;

PI2 . $30 < Tr < 100$ anni e battenti $<$ di 30 cm o $100 < Tr < 200$ anni;

PI1 . $200 < Tr < 500$ anni.

Nella Tavola T04 si riporta la perimetrazione delle aree inondabili e della pericolosità.

La area di interesse non ricade nelle aree inondabili e nelle pericolosità ai sensi del 53/R e del PAI.

8 CONCLUSIONI

È stata condotta una valutazione di dettaglio delle aree inondabili del torrente Pescia di Pescia nel tratto urbano a monte del ponte della ferrovia Pistoia-Viareggio.

La pericolosità dell'area di intervento risulta sensibilmente minore rispetto a quella stimata negli studi a supporto del Piano Strutturale.

Tale minore pericolosità deriva dalla diversa geometria delle sezioni utilizzate nel presente studio rispetto a quelle dello studio a supporto del Piano Strutturale in quanto le portate di verifica risultano identiche.

A titolo di esempio si riporta il confronto tra le sezioni a monte e in corrispondenza dei ponti di via Giovanni Pacini (sezione 830-829) (Figura 8-1 e Figura 8-2), del ponte del Duomo (sezione 820-819) (Figura 8-3 e Figura 8-4) e del ponte di viale Europa (sezione 790-789) (Figura 8-5 e Figura 8-6).

Si osserva che le sezioni a monte dei ponti di via Giovanni Pacini e del Duomo presentano dei contenimenti più bassi rispetto a quelli effettivi e che il ponte di viale Europa presenta una luce molto inferiore rispetto a quella rilevata nel presente studio.

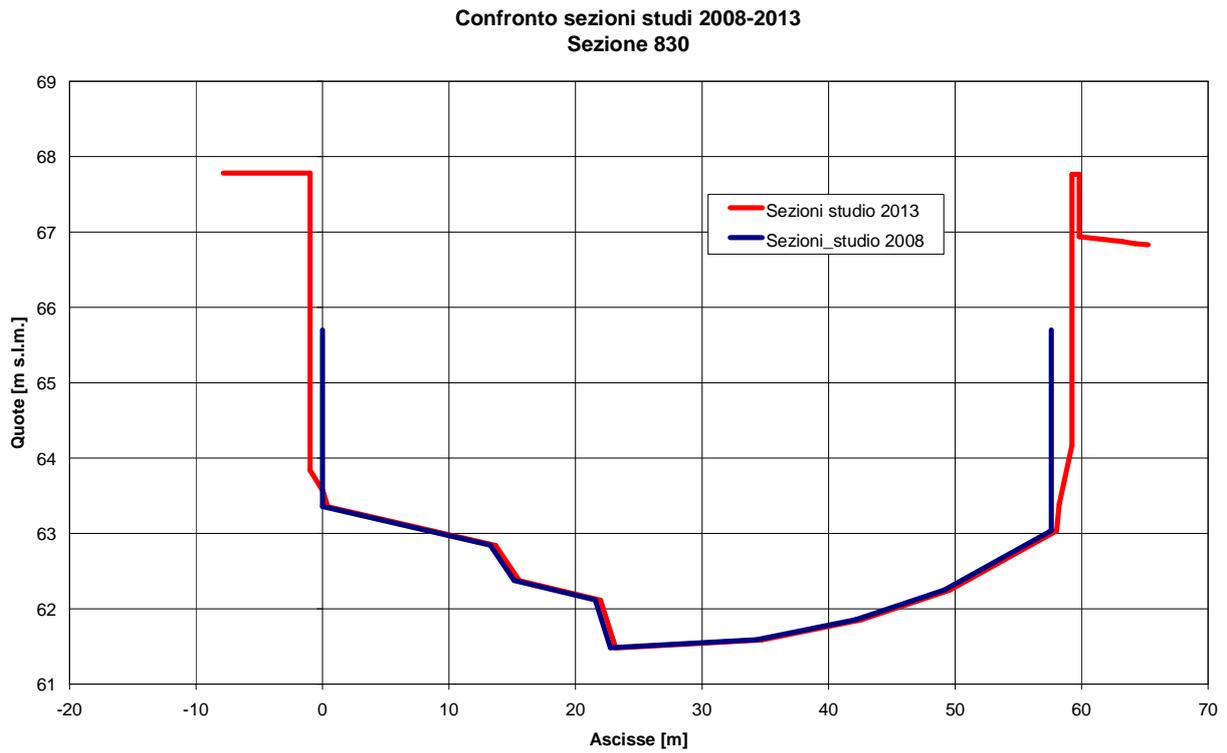


Figura 8-1 - Sezione monte ponte via Giovanni Pacini

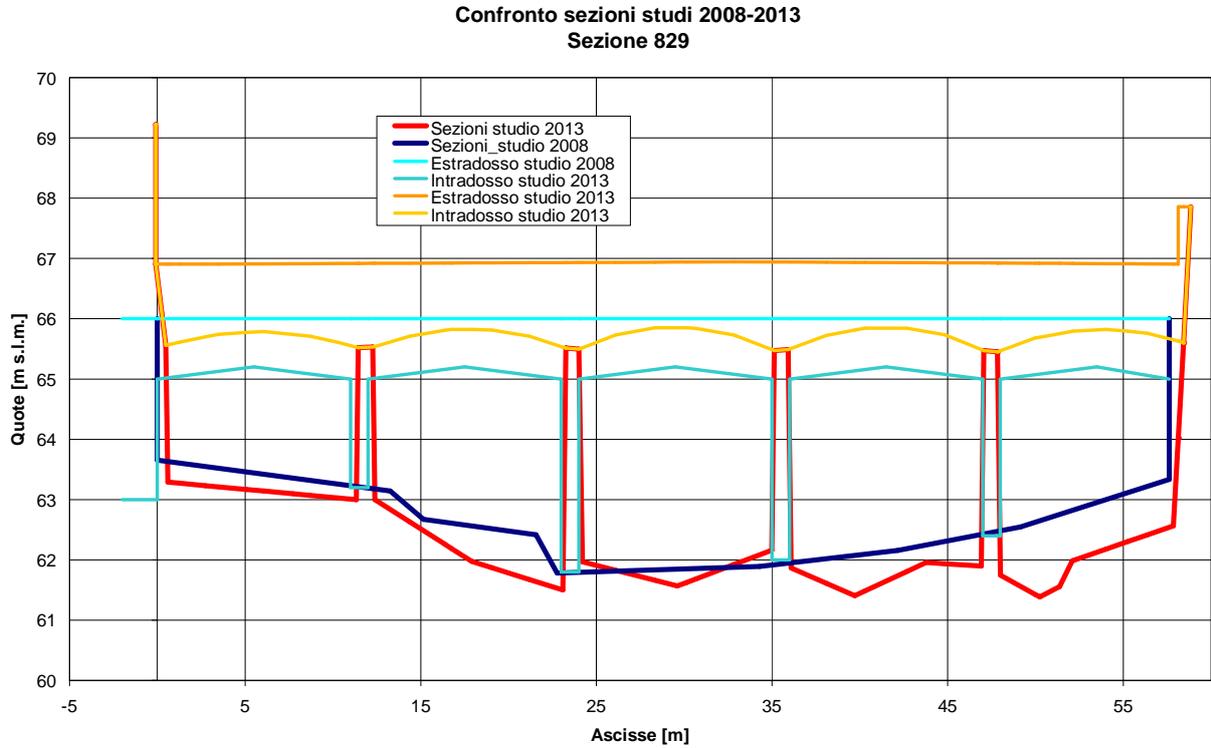


Figura 8-2 - Sezione ponte via Giovanni Pacini

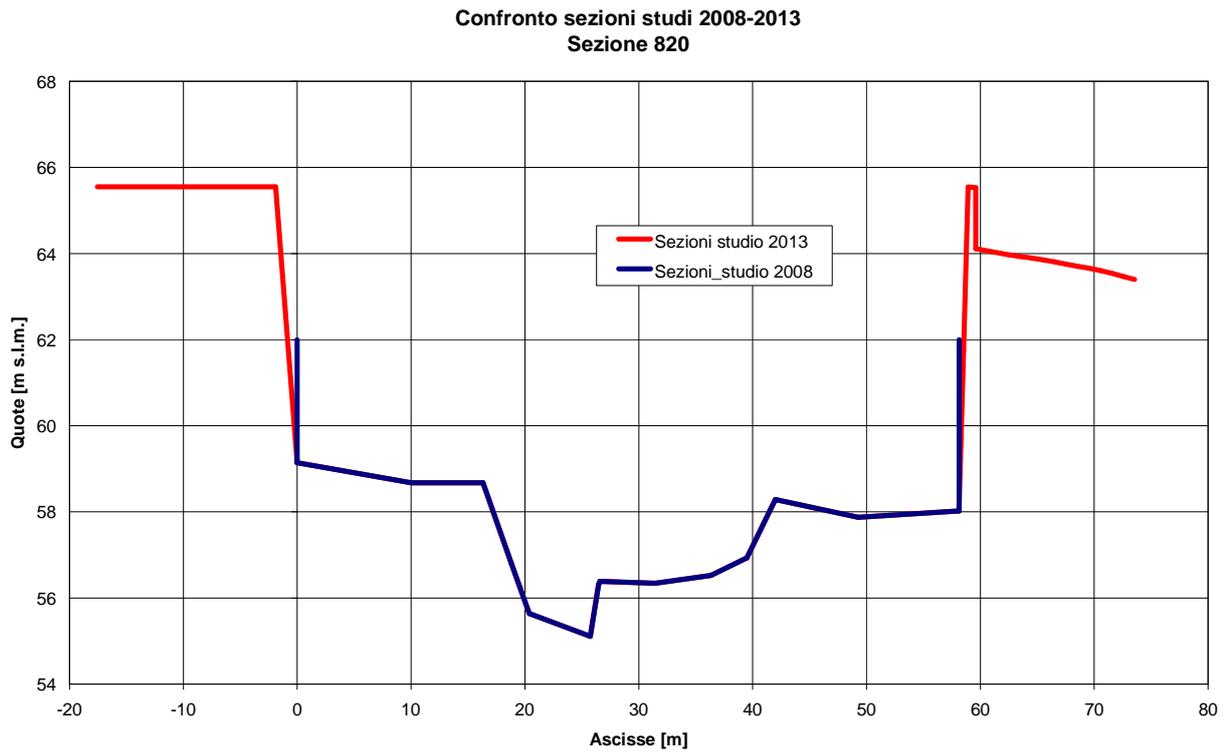


Figura 8-3 - Sezione monte ponte del Duomo

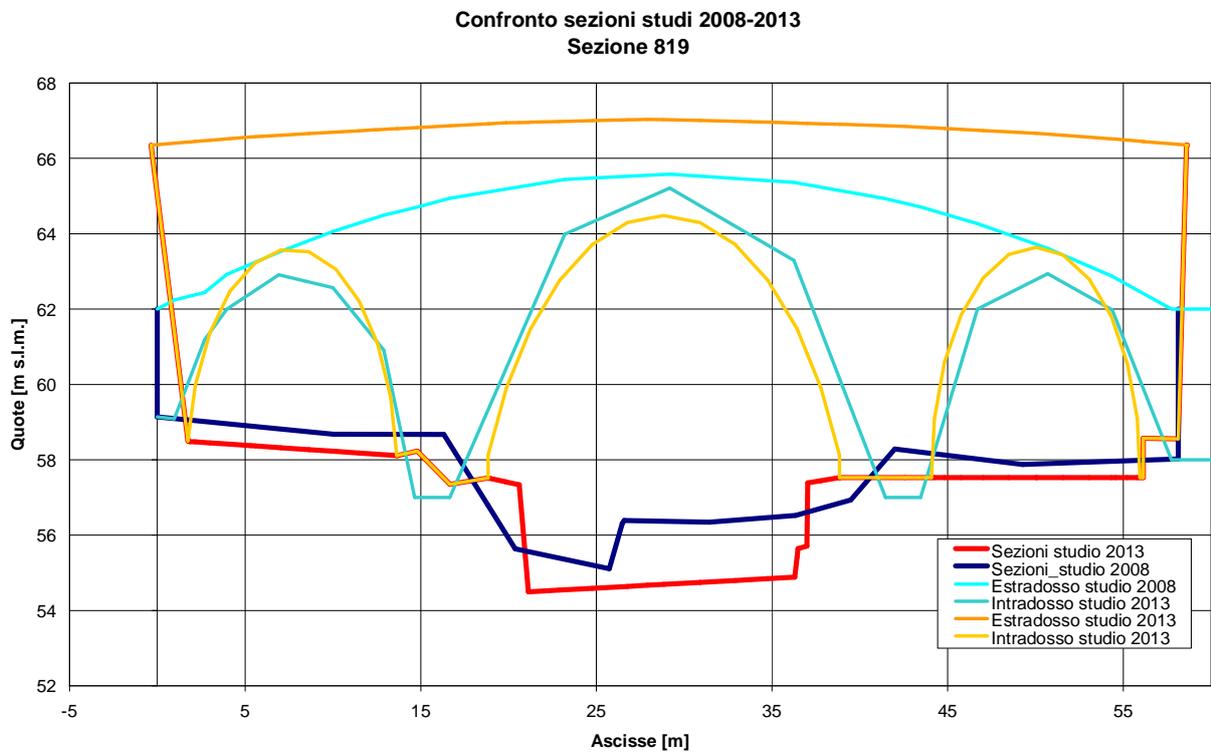


Figura 8-4 - Sezione ponte del Duomo

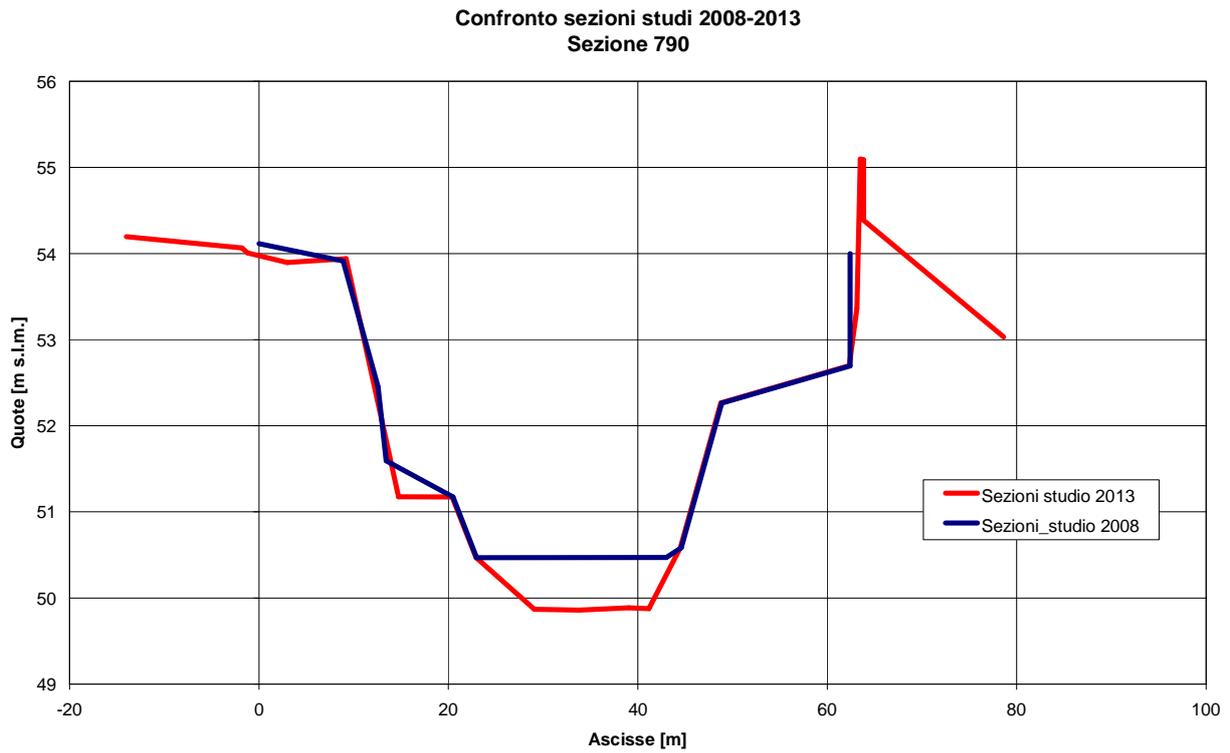


Figura 8-5 - Sezione monte ponte viale Europa

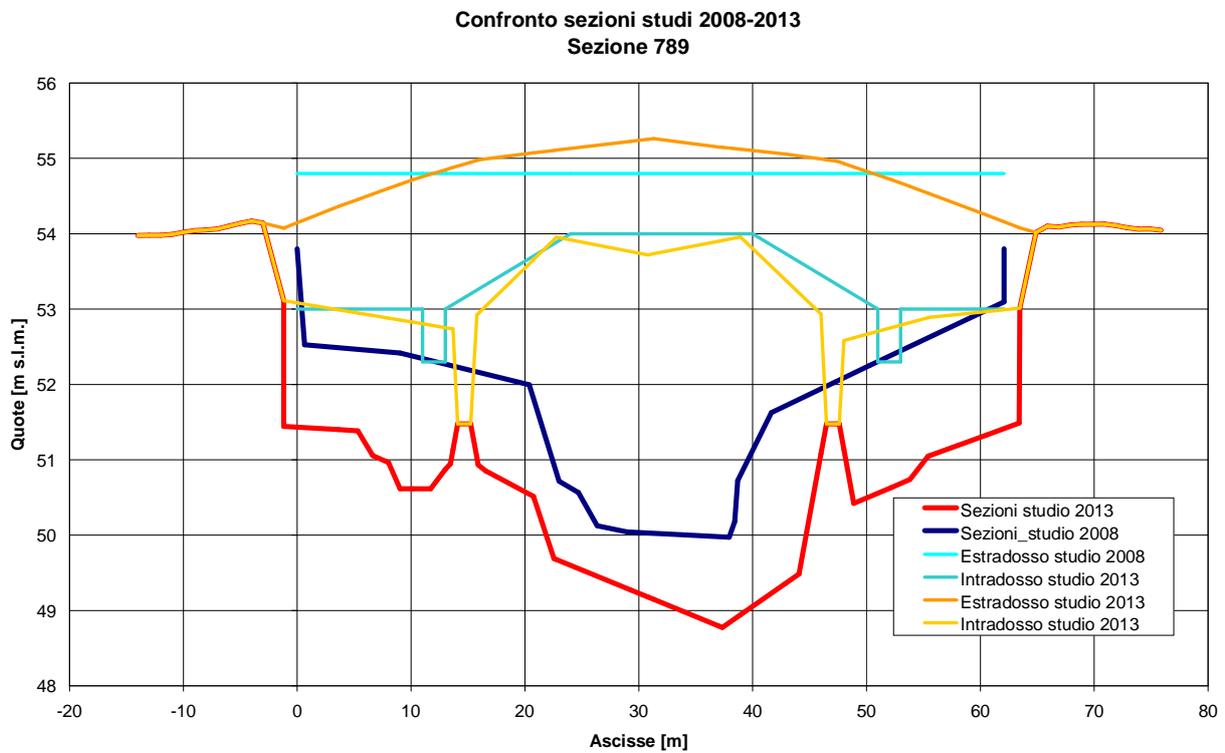


Figura 8-6 - Sezione ponte viale Europa

APPENDICE A

Punti di rilievo

Punti GPS

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
1	1636074.535	4860502.863	40.442	188	1635744.618	4862234.389	56.926	373	1635669.163	4861757.346	53.628
2	1636072.023	4860501.793	40.286	189	1635740.088	4862234.154	56.785	374	1635668.806	4861757.246	53.631
3	1636070.509	4860500.938	38.904	190	1635739.256	4862234.255	55.580	375	1635668.689	4861757.278	52.874
4	1636067.305	4860513.925	40.356	191	1635739.105	4862239.752	56.130	376	1635666.045	4861756.248	52.897
5	1636064.002	4860527.423	41.654	192	1635739.968	4862240.128	56.450	377	1635670.162	4861740.378	53.385
6	1636064.139	4860528.997	42.573	193	1635744.146	4862240.550	56.521	378	1635670.046	4861740.462	52.630
7	1636060.517	4860534.479	41.762	194	1635745.303	4862240.530	57.736	379	1635667.358	4861740.287	52.639
8	1636055.517	4860540.117	40.852	195	1635751.932	4862251.737	57.948	380	1635671.537	4861727.779	53.161
9	1636055.212	4860541.633	42.805	196	1635745.767	4862251.102	57.804	381	1635671.383	4861727.918	52.381
10	1636055.304	4860550.333	41.714	197	1635754.956	4862251.731	59.684	382	1635668.486	4861727.707	52.295
13	1636035.895	4860592.305	41.651	198	1635743.072	4862273.641	58.113	383	1635676.010	4861704.554	52.334
14	1636050.534	4860546.929	39.141	199	1635745.533	4862279.809	58.236	384	1635675.322	4861704.444	52.510
15	1636054.268	4860549.466	39.225	200	1635745.449	4862296.632	58.499	385	1635675.292	4861704.416	53.011
16	1636030.253	4860607.789	39.646	201	1635745.336	4862310.130	58.663	386	1635674.917	4861704.384	53.003
17	1636025.602	4860629.451	39.842	202	1635749.864	4862310.720	58.787	387	1635674.852	4861704.404	52.190
18	1636028.526	4860629.884	39.865	203	1635745.252	4862315.651	58.733	388	1635677.912	4861687.475	52.694
19	1636028.630	4860629.902	41.891	204	1635750.277	4862320.402	58.939	389	1635677.874	4861687.486	51.922
20	1636025.113	4860650.886	42.070	205	1635752.957	4862320.741	60.682	390	1635675.074	4861687.676	51.891
21	1636021.783	4860671.430	42.154	206	1635752.756	4862331.571	60.894	391	1635682.098	4861666.392	52.415
22	1636020.284	4860691.969	42.071	207	1635752.728	4862340.679	61.074	392	1635681.975	4861666.378	51.597
23	1636011.105	4860711.911	42.497	208	1635752.600	4862340.593	59.110	393	1635680.941	4861666.094	51.594
24	1636013.876	4860756.999	42.618	209	1635745.090	4862340.689	59.037	394	1635689.530	4861629.079	51.893
25	1636010.959	4860780.690	42.680	210	1635745.218	4862359.443	59.431	395	1635689.357	4861629.107	51.085
26	1636008.265	4860807.516	43.014	211	1635750.086	4862360.388	59.638	396	1635686.644	4861628.857	51.065
27	1636007.150	4860831.745	43.211	212	1635736.139	4862359.436	57.403	397	1635695.461	4861599.004	51.465
28	1636004.793	4860856.352	43.477	213	1635735.161	4862335.353	57.083	398	1635695.367	4861599.009	50.661
29	1635988.408	4860875.206	40.664	214	1635743.246	4862335.487	57.140	399	1635694.206	4861598.716	50.616
30	1635996.020	4860876.618	41.377	215	1635743.221	4862358.556	57.454	400	1635700.304	4861575.667	51.093
31	1636001.610	4860876.918	43.795	216	1635736.829	4862404.589	58.525	401	1635700.275	4861574.923	51.082
32	1635993.731	4860913.147	44.285	217	1635745.033	4862409.618	58.596	402	1635700.185	4861574.816	50.223
33	1635984.600	4860940.786	44.573	218	1635738.085	4862423.822	58.888	403	1635699.169	4861574.548	50.222
34	1635978.804	4860968.425	44.898	219	1635738.307	4862448.631	59.276	404	1635707.052	4861552.835	51.128
35	1635970.158	4860999.166	45.383	220	1635738.211	4862469.161	59.165	405	1635706.938	4861552.721	50.004
36	1635962.241	4861026.179	45.615	221	1635739.112	4862491.983	59.242	406	1635702.223	4861550.905	49.999
37	1635954.050	4861052.707	45.199	222	1635745.393	4862493.254	59.678	407	1635689.317	4861528.366	49.415
38	1635946.118	4861078.012	45.431	223	1635753.306	4862493.909	62.008	408	1635711.110	4861521.298	49.647
39	1635930.178	4861099.483	43.546	224	1635736.778	4862508.757	59.558	409	1635714.071	4861521.862	49.660
40	1635933.916	4861100.087	43.784	225	1635753.662	4862510.010	61.360	410	1635714.066	4861521.794	51.260
41	1635938.788	4861101.764	44.056	226	1635735.851	4862530.267	59.972	411	1635715.783	4861493.149	49.222
42	1635938.905	4861101.822	45.865	227	1635743.646	4862531.739	59.958	412	1635720.352	4861493.804	49.250
43	1635932.644	4861122.871	46.096	228	1635734.498	4862559.016	60.702	413	1635720.428	4861493.716	50.902
44	1635926.679	4861143.250	46.431	229	1635740.460	4862560.048	60.507	414	1635722.639	4861457.818	48.840
45	1635925.688	4861146.958	46.257	230	1635731.534	4862596.893	61.005	415	1635727.659	4861458.723	48.731
46	1635920.985	4861166.582	46.636	231	1635738.656	4862598.924	61.156	416	1635727.603	4861458.817	50.431
47	1635916.356	4861185.652	46.617	232	1635730.617	4862625.101	61.697	417	1635727.581	4861458.789	48.701
48	1635915.446	4861189.319	46.700	233	1635728.374	4862662.443	62.051	418	1635729.794	4861444.775	48.507
49	1635909.205	4861213.603	46.962	234	1635726.892	4862691.032	62.143	419	1635729.777	4861444.633	50.194
50	1635903.318	4861235.879	47.473	235	1635730.667	4862691.819	62.196	420	1635726.518	4861443.665	48.497
51	1635896.468	4861260.055	47.640	236	1635725.000	4862710.547	62.523	421	1635728.132	4861424.320	48.273
52	1635891.433	4861278.447	47.537	237	1635730.476	4862712.270	62.732	422	1635732.406	4861424.997	48.285

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
53	1635868.844	4861282.358	45.251	238	1635714.637	4862738.546	62.605	423	1635732.403	4861424.951	49.925
54	1635852.907	4861341.890	47.931	239	1635719.241	4862738.940	63.234	424	1635749.768	4861390.372	50.299
55	1635852.456	4861342.767	48.085	240	1635716.111	4862749.160	63.387	425	1635749.754	4861390.307	49.252
56	1635851.087	4861345.458	48.493	241	1635715.159	4862754.768	63.363	426	1635747.975	4861388.634	48.829
57	1635850.611	4861346.464	49.029	242	1635724.280	4862757.840	63.642	427	1635746.743	4861387.646	47.406
58	1635837.271	4861372.451	49.031	243	1635735.160	4862761.819	63.610	428	1635761.556	4861376.050	50.124
59	1635825.396	4861395.904	49.089	244	1635736.531	4862762.202	66.870	429	1635780.629	4861349.794	49.717
60	1635816.461	4861413.133	49.408	245	1635732.894	4862785.185	63.567	430	1635795.066	4861328.051	49.400
61	1635802.407	4861439.044	50.061	246	1635733.822	4862786.108	67.197	431	1635809.275	4861306.711	49.227
62	1635795.650	4861451.820	50.064	247	1635730.691	4862811.073	67.470	432	1635817.468	4861288.211	48.921
63	1635788.366	4861455.159	47.059	248	1635719.968	4862810.641	63.908	433	1635826.701	4861264.605	48.827
64	1635791.381	4861459.301	50.382	249	1635729.593	4862811.943	63.936	434	1635836.378	4861240.243	48.146
65	1635780.469	4861483.496	50.584	250	1635716.832	4862840.480	64.306	435	1635845.429	4861216.615	48.089
66	1635770.230	4861508.069	50.996	251	1635726.013	4862842.396	64.750	436	1635855.764	4861191.069	47.723
67	1635763.110	4861534.246	51.355	252	1635704.510	4862863.849	64.471	437	1635867.515	4861158.870	47.396
68	1635754.827	4861556.614	51.552	253	1635706.553	4862891.952	65.120	438	1635878.053	4861134.668	47.096
69	1635747.263	4861582.674	51.840	254	1635714.361	4862893.945	65.425	439	1635887.553	4861111.777	46.688
70	1635739.891	4861580.477	48.171	255	1635722.914	4862894.398	68.924	440	1635895.699	4861086.764	46.592
71	1635746.923	4861582.596	48.902	256	1635722.273	4862906.752	68.962	441	1635903.019	4861063.727	46.153
72	1635744.278	4861605.975	51.827	257	1635730.940	4862922.699	69.123	442	1635908.169	4861048.239	45.640
73	1635740.036	4861634.054	52.146	258	1635735.900	4862770.705	67.057	443	1635913.283	4861034.047	45.277
74	1635737.208	4861657.769	52.401	259	1635668.603	4862873.381	70.258	444	1635913.534	4861033.459	44.859
75	1635734.422	4861688.112	52.693	260	1635668.496	4862873.376	69.472	445	1635913.598	4861033.411	45.008
76	1635734.175	4861716.358	52.926	261	1635664.990	4862872.835	69.466	446	1635913.742	4861032.713	45.394
77	1635734.001	4861737.720	53.109	262	1635670.017	4862845.964	69.715	447	1635915.198	4861029.262	44.930
78	1635734.120	4861761.264	53.259	263	1635669.931	4862845.885	68.998	448	1635921.906	4861005.388	45.416
79	1635735.819	4861784.590	53.508	264	1635668.034	4862845.892	68.969	449	1635927.947	4860980.964	45.019
80	1635735.511	4861784.578	51.127	265	1635671.364	4862819.780	69.308	450	1635934.116	4860956.679	45.027
81	1635728.453	4861784.860	51.015	266	1635671.264	4862819.762	68.409	451	1635940.699	4860931.917	44.717
82	1635718.939	4861785.017	50.686	267	1635669.159	4862819.692	68.455	452	1635947.406	4860905.581	44.500
83	1635710.316	4861784.726	49.650	268	1635672.464	4862796.567	68.845	453	1635953.433	4860880.542	44.241
84	1635709.750	4861784.931	49.149	269	1635672.363	4862796.614	68.047	454	1635957.460	4860856.984	44.154
85	1635736.470	4861813.979	53.843	270	1635670.290	4862796.352	67.991	455	1635960.779	4860834.011	43.785
86	1635736.151	4861835.137	54.435	271	1635673.378	4862777.195	68.444	456	1635963.402	4860810.921	43.572
87	1635724.226	4861891.218	53.940	272	1635673.302	4862777.302	67.719	457	1635963.328	4860774.390	43.339
88	1635730.436	4861891.280	53.901	273	1635671.199	4862777.252	67.590	458	1635964.604	4860735.883	42.859
89	1635734.668	4861891.061	54.005	274	1635674.509	4862754.532	68.019	459	1635969.782	4860711.710	42.642
90	1635734.753	4861890.951	54.875	275	1635674.463	4862754.463	67.301	460	1635974.127	4860690.196	42.497
91	1635735.051	4861890.985	54.851	276	1635672.240	4862754.371	67.175	461	1635978.702	4860669.671	42.330
92	1635735.252	4861891.110	54.064	277	1635675.526	4862734.900	67.699	462	1635984.284	4860645.300	42.169
93	1635735.685	4861891.109	54.070	278	1635675.403	4862735.021	66.914	463	1635991.520	4860622.286	42.139
94	1635735.694	4861868.957	54.949	279	1635673.216	4862734.905	66.900	464	1636006.592	4860556.492	41.280
95	1635737.514	4861910.376	54.168	280	1635676.800	4862710.792	67.618	465	1635998.231	4860554.775	41.836
96	1635737.031	4861910.530	54.235	281	1635676.632	4862710.712	66.706	466	1636003.844	4860533.194	41.653
97	1635736.981	4861910.551	55.074	282	1635674.420	4862710.401	66.595	467	1636011.640	4860510.818	41.220
98	1635736.556	4861910.505	55.042	283	1635677.591	4862694.928	67.011	468	1636026.258	4860488.002	40.955
99	1635736.482	4861910.732	54.191	284	1635677.451	4862694.916	66.326	469	1636034.602	4860466.055	40.776
100	1635730.890	4861910.698	54.075	285	1635675.236	4862694.929	66.291	470	1636041.921	4860446.827	40.579
101	1635724.594	4861910.668	54.102	286	1635677.982	4862683.241	66.867	471	1636046.974	4860428.917	40.529
102	1635721.735	4861910.865	53.729	287	1635678.035	4862683.236	66.119	472	1636052.031	4860429.839	38.707
103	1635719.138	4861911.170	52.338	288	1635675.861	4862683.166	66.047	473	1636044.876	4860449.045	38.773

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
104	1635714.802	4861911.236	52.194	289	1635676.745	4862661.736	65.657	474	1636037.353	4860468.834	38.859
105	1635717.595	4861937.946	53.230	290	1635679.139	4862661.695	65.710	475	1636029.837	4860488.631	38.943
106	1635723.220	4861937.786	53.573	291	1635679.119	4862661.689	66.503	476	1636022.065	4860508.303	38.990
107	1635725.436	4861937.705	54.260	292	1635680.222	4862641.454	66.130	477	1636014.749	4860528.081	39.085
108	1635728.932	4861937.428	54.421	293	1635680.081	4862641.469	65.375	478	1636008.846	4860547.374	39.221
109	1635734.805	4861934.801	54.317	294	1635677.936	4862641.620	65.327	479	1636004.060	4860567.416	39.378
110	1635738.690	4861934.806	54.410	295	1635681.203	4862620.315	65.825	480	1635995.166	4860619.194	39.821
111	1635738.864	4861934.732	55.360	296	1635681.126	4862620.369	65.081	481	1635991.381	4860640.374	39.954
112	1635739.559	4861940.574	55.392	297	1635688.666	4862470.511	63.700	482	1635985.976	4860639.454	40.035
113	1635739.704	4861940.772	54.484	298	1635688.642	4862470.455	62.895	483	1635979.288	4860667.547	40.335
114	1635739.813	4861943.400	54.555	299	1635686.214	4862470.258	62.887	484	1635986.395	4860669.458	40.233
115	1635739.931	4861943.341	55.414	300	1635689.667	4862449.500	63.933	485	1635982.419	4860691.674	40.434
116	1635740.759	4861953.133	55.508	301	1635689.592	4862449.542	63.157	486	1635970.720	4860739.252	40.347
117	1635741.002	4861953.070	55.591	302	1635687.349	4862449.425	63.085	487	1635964.455	4860737.152	40.878
118	1635741.115	4861953.097	54.488	303	1635685.118	4862210.090	59.271	488	1635972.713	4860765.221	40.277
119	1635730.447	4861954.904	54.605	304	1635685.189	4862210.098	58.544	489	1635968.750	4860765.590	40.152
120	1635741.933	4861963.843	55.632	305	1635681.197	4862209.847	58.531	490	1635964.214	4860765.250	40.657
121	1635741.856	4861964.101	54.677	306	1635684.203	4862189.567	58.869	491	1635968.089	4860798.402	40.790
122	1635742.481	4861969.978	54.718	307	1635684.166	4862189.505	58.036	492	1635963.112	4860798.464	41.005
123	1635742.618	4861970.148	55.741	308	1635681.072	4862189.744	58.079	493	1635965.815	4860828.466	41.249
124	1635727.676	4861954.776	54.573	309	1635683.497	4862174.944	58.569	494	1635961.466	4860828.917	41.450
125	1635724.454	4861954.612	53.806	310	1635683.539	4862175.072	57.681	495	1635961.147	4860861.502	41.477
126	1635718.321	4861954.721	53.461	311	1635681.591	4862174.985	57.801	496	1635957.306	4860860.938	41.612
127	1635718.565	4861978.885	53.564	312	1635682.010	4862143.029	57.981	497	1635954.785	4860892.657	41.914
128	1635722.665	4861979.459	53.754	313	1635681.953	4862143.047	57.115	498	1635951.032	4860892.355	42.061
129	1635726.282	4861979.792	53.849	314	1635679.915	4862142.872	57.115	499	1635951.537	4860902.684	41.962
130	1635728.212	4861979.752	54.710	315	1635677.838	4862120.767	56.799	500	1635948.426	4860901.882	42.086
131	1635732.564	4861979.196	54.869	316	1635680.959	4862121.182	56.728	501	1635945.440	4860933.696	41.986
132	1635739.136	4861977.259	54.776	317	1635680.996	4862121.103	57.703	502	1635940.665	4860933.061	42.222
133	1635742.842	4861976.881	54.892	318	1635679.823	4862096.161	57.341	503	1635935.707	4860964.446	42.285
134	1635743.026	4861976.866	55.849	319	1635679.809	4862096.185	56.358	504	1635932.662	4860963.801	42.612
135	1635743.404	4861976.797	55.805	320	1635678.108	4862096.120	56.411	505	1635928.222	4860993.594	42.390
136	1635743.414	4861976.769	54.600	321	1635679.124	4862080.590	57.155	506	1635925.459	4860993.457	42.688
137	1635745.522	4861999.391	54.841	322	1635679.008	4862080.603	56.219	507	1635921.493	4861024.051	42.630
138	1635745.475	4861999.396	56.174	323	1635676.865	4862080.809	56.228	508	1635917.346	4861024.034	42.924
139	1635745.180	4861999.424	56.175	324	1635678.316	4862061.075	56.926	509	1635912.969	4861054.742	42.672
140	1635745.009	4861999.365	55.156	325	1635678.207	4862061.027	56.070	510	1635907.128	4861052.554	43.222
141	1635739.276	4862000.010	55.025	326	1635675.941	4862061.172	56.103	511	1635909.799	4861053.473	42.744
142	1635730.080	4862001.766	55.015	327	1635677.349	4862042.638	56.765	512	1635907.737	4861083.618	42.786
143	1635727.426	4862002.339	53.853	328	1635677.186	4862042.752	55.919	513	1635897.765	4861080.704	43.561
144	1635729.053	4862023.626	53.983	329	1635673.929	4862042.867	55.971	514	1635900.623	4861114.061	43.078
145	1635732.307	4862023.094	55.301	330	1635676.163	4862019.646	56.548	515	1635895.022	4861112.742	43.328
146	1635740.627	4862023.095	55.254	331	1635676.132	4862019.646	55.625	516	1635887.903	4861111.590	44.113
147	1635746.916	4862022.989	55.444	332	1635674.739	4862019.642	55.633	517	1635893.984	4861138.824	43.284
148	1635747.100	4862022.838	56.414	333	1635675.395	4862005.361	56.389	518	1635885.154	4861136.714	43.666
149	1635747.344	4862022.815	56.407	334	1635675.407	4862005.423	55.472	519	1635878.506	4861133.930	44.834
150	1635747.485	4862022.908	54.989	335	1635673.935	4862005.476	55.463	520	1635877.946	4861169.547	43.940
151	1635748.034	4862022.805	54.998	336	1635674.538	4861986.898	56.208	521	1635884.719	4861172.346	43.834
152	1635749.493	4862054.901	56.953	337	1635675.090	4861986.764	56.190	522	1635875.050	4861202.295	43.950
153	1635749.733	4862053.406	56.905	338	1635674.508	4861986.743	55.279	523	1635856.654	4861202.227	44.766
154	1635736.653	4862056.086	55.711	339	1635672.670	4861987.014	55.326	524	1635852.232	4861200.275	45.641

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
155	1635734.089	4862056.114	55.582	340	1635672.615	4861949.215	55.853	525	1635860.371	4861239.062	44.415
156	1635730.908	4862056.793	54.280	341	1635672.503	4861949.219	55.062	526	1635839.238	4861233.255	46.086
157	1635721.892	4862056.534	54.079	342	1635670.063	4861949.675	55.017	527	1635834.011	4861272.376	45.502
158	1635722.711	4862082.722	54.440	343	1635671.781	4861928.968	55.608	528	1635824.819	4861268.351	46.678
159	1635732.187	4862083.817	54.658	344	1635671.554	4861929.041	54.889	529	1635825.325	4861287.791	46.087
160	1635736.105	4862083.990	55.886	345	1635668.646	4861929.796	54.753	530	1635818.710	4861285.023	46.495
161	1635744.206	4862084.347	55.976	346	1635670.804	4861911.031	55.433	531	1635810.000	4861314.374	46.202
162	1635736.361	4862085.656	55.906	347	1635670.651	4861910.990	54.693	532	1635805.839	4861312.311	46.357
163	1635731.840	4862085.928	54.627	348	1635667.084	4861910.698	54.486	533	1635793.051	4861339.051	46.239
164	1635724.080	4862117.360	54.965	349	1635670.205	4861899.184	55.258	534	1635789.464	4861337.190	46.387
165	1635737.343	4862118.391	55.127	350	1635669.985	4861899.146	54.551	535	1635777.561	4861363.778	46.862
166	1635738.532	4862117.437	56.104	351	1635666.906	4861899.496	54.479	536	1635773.165	4861361.213	46.989
167	1635741.806	4862117.680	56.153	352	1635669.479	4861879.548	55.026	537	1635732.658	4861427.336	49.915
168	1635728.133	4862143.324	55.180	353	1635669.384	4861879.534	54.228	538	1635732.028	4861416.730	49.827
169	1635738.741	4862144.415	55.211	354	1635669.508	4861879.468	55.019	539	1635730.937	4861440.310	50.087
170	1635740.078	4862144.112	56.440	355	1635667.300	4861879.497	54.133	540	1635773.722	4861452.405	46.868
171	1635725.410	4862169.996	55.336	356	1635668.637	4861844.640	54.661	541	1635773.228	4861454.831	46.875
172	1635733.487	4862170.519	55.386	357	1635668.592	4861844.778	53.911	542	1635771.626	4861468.200	47.482
173	1635741.778	4862171.812	56.796	358	1635666.704	4861844.792	53.861	543	1635717.184	4861877.687	51.459
174	1635727.731	4862197.264	55.260	359	1635668.330	4861824.382	54.444	544	1635718.677	4861886.878	51.168
175	1635741.896	4862198.118	55.668	360	1635668.182	4861824.435	53.706	545	1635718.247	4861895.802	51.392
176	1635743.074	4862194.892	57.155	361	1635665.762	4861824.373	53.574	546	1635708.761	4862215.874	58.487
177	1635743.846	4862205.273	57.270	362	1635668.114	4861805.837	54.262	547	1635720.554	4862215.245	58.470
178	1635754.403	4862206.202	57.640	363	1635667.858	4861805.896	53.513	548	1635736.047	4862383.232	65.547
179	1635754.558	4862206.267	58.172	364	1635665.129	4861806.060	53.501	549	1635723.300	4862383.122	66.066
180	1635754.546	4862206.310	58.240	365	1635668.799	4861785.414	53.371	550	1635710.950	4862383.212	65.579
181	1635756.640	4862206.053	58.225	366	1635668.028	4861785.454	53.472	551	1635689.241	4862460.594	63.746
182	1635756.852	4862205.724	57.783	367	1635668.118	4861785.518	53.976	552	1635689.093	4862460.504	62.978
183	1635740.938	4862222.486	57.254	368	1635667.807	4861785.487	53.972	553	1635686.853	4862460.696	62.863
184	1635740.526	4862228.237	57.090	369	1635667.661	4861785.524	53.184	554	1635702.181	4862725.284	66.940
185	1635744.628	4862229.204	57.318	370	1635666.403	4861785.575	53.194	555	1635685.037	4862723.443	66.908
186	1635744.921	4862229.213	57.535	371	1635669.817	4861757.344	52.909	556	1635685.176	4862722.328	66.773
187	1635745.208	4862234.475	57.621	372	1635669.201	4861757.332	53.011	557	1635702.168	4862724.080	66.838

Punti Stazione Totale

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
14	1636050.53	4860546.93	39.1410	34	1635775.59	4861433.31	49.8618	32	1635705.58	4862216.31	58.4114
2	1636054.28	4860549.46	39.2721	35	1635782.38	4861437.69	48.3442	33	1635700.69	4862216.61	58.4704
3	1636049.61	4860560.63	42.0389	36	1635783.25	4861438.32	48.2283	34	1635700.30	4862216.81	58.3419
4	1636049.70	4860560.57	39.3182	37	1635788.68	4861441.71	49.6764	35	1635700.01	4862216.83	58.4113
5	1636049.80	4860560.63	41.4582	38	1635793.45	4861444.79	49.2819	36	1635691.18	4862216.47	58.1687
6	1636045.36	4860559.33	39.2379	39	1635788.16	4861442.74	50.2485	37	1635686.28	4862216.95	58.4287
7	1636044.79	4860559.18	38.6940	40	1635775.24	4861434.40	50.3252	38	1635686.39	4862217.38	58.7330
8	1636044.56	4860559.74	40.4371	41	1635773.21	4861454.96	46.8315	39	1635699.88	4862216.84	59.6741
9	1636044.55	4860559.77	41.9665	42	1635771.63	4861468.20	47.4820	40	1635708.76	4862215.87	58.4800
10	1636039.86	4860564.59	38.7233	544	1635718.68	4861886.88	51.1680	41	1635720.55	4862215.25	58.4700
11	1636039.09	4860564.63	38.4012	2	1635718.25	4861895.76	51.3790	1	1635736.03	4862383.23	65.5434
12	1636039.97	4860563.79	41.5622	3	1635734.88	4861863.08	51.4438	2	1635723.30	4862383.12	66.0660
13	1636039.15	4860564.11	41.5148	4	1635728.34	4861862.82	51.3843	3	1635710.96	4862383.18	65.5611
14	1636037.92	4860563.47	37.8444	5	1635727.02	4861862.97	51.0548	4	1635722.86	4862383.73	66.8752
15	1636037.48	4860563.43	37.7083	6	1635725.64	4861862.83	50.9641	5	1635694.19	4862386.40	57.7315
16	1636031.63	4860565.07	37.4290	7	1635724.63	4861862.85	50.6696	6	1635696.18	4862384.16	57.5193
17	1636029.75	4860564.68	37.4572	8	1635721.92	4861862.93	50.6151	7	1635696.37	4862383.63	57.5226
18	1636029.56	4860564.52	37.6230	9	1635720.64	4861862.96	50.8720	8	1635702.10	4862383.61	63.6347
19	1636027.08	4860564.00	37.7029	10	1635719.01	4861864.76	51.1208	9	1635708.24	4862383.68	57.5216
20	1636026.82	4860566.12	40.0021	11	1635718.70	4861864.77	51.0697	10	1635713.48	4862383.74	57.5257
21	1636026.82	4860566.12	42.0023	12	1635717.09	4861862.92	50.8527	11	1635715.39	4862383.03	57.3870
22	1636035.19	4860563.98	41.9739	13	1635712.90	4861862.60	50.5149	12	1635715.33	4862382.75	55.7086
23	1636023.95	4860570.91	38.1604	14	1635711.08	4861862.96	49.6893	13	1635715.84	4862382.65	55.6390
24	1636023.55	4860570.85	37.3227	15	1635696.50	4861858.94	48.7745	14	1635716.03	4862382.61	54.8797
25	1636018.93	4860571.27	37.5744	16	1635689.53	4861862.55	49.4850	15	1635733.49	4862383.80	57.5155
26	1636016.09	4860571.02	37.4903	17	1635686.57	4861864.87	50.2289	16	1635731.72	4862382.61	57.3321
27	1636016.04	4860573.31	42.0538	18	1635686.40	4861864.81	50.2489	17	1635731.19	4862382.39	54.4841
28	1636014.59	4860574.02	37.4148	19	1635684.64	4861863.93	50.4205	19	1635735.66	4862387.34	57.3418
29	1636012.25	4860574.79	37.1138	20	1635679.72	4861863.23	50.7381	20	1635737.53	4862387.12	58.2301
30	1636011.18	4860574.86	37.7285	21	1635678.12	4861863.39	51.0464	21	1635738.66	4862383.85	58.1109
31	1636011.14	4860575.29	41.5632	22	1635670.13	4861863.10	51.4879	22	1635750.49	4862383.93	58.4822
32	1636010.12	4860576.42	37.6789	23	1635669.97	4861863.94	53.0141	23	1635750.93	4862384.38	58.5385
33	1636010.20	4860576.57	37.7332	24	1635677.98	4861863.27	52.8905	24	1635752.45	4862386.48	58.9924
34	1636008.81	4860576.24	37.7590	25	1635687.58	4861862.88	52.9330	25	1635744.92	4862383.85	63.5898
35	1636007.93	4860576.29	37.8120	26	1635694.67	4861862.74	53.9568	26	1635723.29	4862383.70	64.5926
36	1636006.43	4860575.92	37.6340	27	1635687.12	4861862.69	52.5830	554	1635702.18	4862725.28	66.9400
37	1636003.90	4860577.75	37.8124	28	1635702.82	4861862.74	53.7196	2	1635685.04	4862723.44	66.9181
38	1636002.52	4860575.96	39.4270	29	1635710.87	4861862.72	53.9524	3	1635676.60	4862722.59	67.8511
39	1636000.45	4860578.90	39.4745	30	1635717.85	4861863.26	52.9478	4	1635677.46	4862722.26	62.5607
40	1636000.88	4860579.42	42.1345	31	1635718.36	4861863.04	52.5526	5	1635683.18	4862722.86	61.9785
41	1636037.91	4860565.07	44.0108	32	1635719.38	4861863.07	52.5400	6	1635683.92	4862722.68	61.5530
42	1636012.67	4860575.12	43.9551	33	1635719.85	4861863.31	52.8196	7	1635685.06	4862722.67	61.3765
43	1636030.25	4860607.80	39.6688	34	1635734.82	4861863.63	53.1126	8	1635687.16	4862723.38	61.7306
1	1635796.86	4861448.42	50.4776	35	1635719.15	4861866.06	54.7188	9	1635688.35	4862723.47	61.9024
2	1635795.78	4861447.69	49.8734	36	1635719.35	4861866.94	55.2606	10	1635695.62	4862722.95	61.4014
3	1635792.45	4861445.92	49.2559	1	1635686.71	4862216.94	56.1654	11	1635699.16	4862724.69	61.8731
4	1635791.07	4861444.85	48.7512	2	1635693.16	4862216.75	55.4791	12	1635700.02	4862725.24	62.1700
5	1635788.26	4861442.83	47.8734	3	1635699.30	4862216.50	55.5727	13	1635705.51	4862725.60	61.5625
6	1635786.62	4861441.98	47.4649	4	1635699.94	4862216.32	55.1830	14	1635710.90	4862725.97	61.9626
7	1635784.90	4861440.40	47.4651	5	1635700.54	4862216.63	55.1875	15	1635712.00	4862726.15	61.4955

N	X	Y	Z	N	X	Y	Z	N	X	Y	Z
8	1635782.99	4861439.17	47.6960	6	1635700.91	4862216.37	55.2235	16	1635717.17	4862726.55	61.9704
9	1635782.04	4861438.58	46.9769	7	1635701.09	4862216.17	55.2138	17	1635722.66	4862727.13	63.0246
10	1635779.39	4861436.86	46.7558	8	1635701.64	4862215.89	54.5540	18	1635723.70	4862727.32	62.9957
11	1635778.70	4861436.61	46.2100	9	1635705.36	4862216.23	54.0340	19	1635734.28	4862728.68	63.2836
12	1635776.30	4861435.19	45.7980	10	1635714.39	4862215.72	54.6265	20	1635734.21	4862728.86	66.9045
13	1635771.98	4861432.22	45.2825	11	1635720.96	4862215.23	54.9566	21	1635734.48	4862728.49	65.5535
14	1635768.74	4861430.25	45.2752	12	1635728.01	4862215.09	54.8096	22	1635729.27	4862727.90	65.7821
15	1635767.49	4861429.60	44.8531	13	1635729.15	4862215.04	55.5090	23	1635723.59	4862727.30	65.5171
16	1635762.56	4861426.53	45.0741	14	1635729.71	4862215.21	55.4715	24	1635722.77	4862727.22	65.5261
17	1635757.93	4861423.35	45.3221	15	1635730.83	4862214.99	54.6170	25	1635716.32	4862726.52	65.8149
18	1635756.51	4861422.21	45.5964	16	1635734.31	4862214.59	55.0828	26	1635711.83	4862726.04	65.5088
19	1635756.28	4861422.09	45.9050	17	1635737.13	4862214.10	55.5218	27	1635711.10	4862725.98	65.4910
20	1635754.32	4861420.76	45.9347	18	1635742.66	4862213.73	55.7829	28	1635704.91	4862725.29	65.8599
21	1635753.20	4861420.23	45.9897	19	1635743.89	4862214.41	57.0169	29	1635700.07	4862724.76	65.4841
22	1635752.31	4861419.54	45.7981	20	1635744.03	4862214.40	57.0099	30	1635699.18	4862724.67	65.4944
23	1635751.08	4861418.98	46.1008	21	1635743.93	4862213.91	57.8719	31	1635693.71	4862724.06	65.8621
24	1635747.43	4861415.92	46.1665	22	1635743.24	4862214.01	58.2852	32	1635688.28	4862723.50	65.4825
25	1635743.42	4861416.56	47.5115	23	1635739.05	4862214.05	58.1226	33	1635687.35	4862723.38	65.4561
26	1635736.92	4861410.13	47.2573	24	1635742.55	4862214.53	58.8005	34	1635681.88	4862722.80	65.8188
27	1635735.87	4861409.59	49.9560	25	1635729.71	4862215.34	58.3239	35	1635676.86	4862722.24	65.5942
28	1635739.57	4861411.93	46.9696	26	1635729.36	4862215.14	58.4767	36	1635677.12	4862722.71	66.9032
29	1635746.69	4861414.98	48.3187	27	1635729.11	4862215.38	59.6899	37	1635692.15	4862717.11	61.9533
30	1635753.74	4861419.45	47.1473	28	1635724.46	4862214.06	58.3308	38	1635692.96	4862715.53	59.9151
31	1635754.62	4861420.02	47.2448	29	1635721.44	4862215.93	58.4097				
32	1635762.54	4861425.04	49.1833	30	1635714.88	4862215.92	57.6221				
33	1635769.07	4861429.19	47.8636	31	1635708.52	4862216.60	58.4595				