

## Spett. Genio Civile Valdarno Centrale e tutela dell'Acqua

### Sede di Pistoia

#### C.a. Ing. Marco Masi

In riferimento alle richieste di approfondimento relative al “Controllo delle indagini geologico-tecniche di supporto alla Variante al Piano Strutturale del Comune di Pescia (PT) ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011 – Deposito n.15/17 del 17/05/2017 a controllo obbligatorio”, con la presente siamo a fornire risposta in merito a quanto indicato nella nota relativamente allo studio idraulico per quanto concerne i punti da 3 a 8 di nostra competenza.

Sotto sono elencate le richieste di chiarimenti della nota (in *corsivo*) con, a seguire, le relative risposte.

*“una carta che mostri la provenienza delle sezioni utilizzate nella modellazione indicando la data del rilievo e distinguendo le sezioni che nella modellazione risultano adeguate da quelle che non lo sono”*

Data l'impossibilità di rappresentare su un carta in modo leggibile la traccia delle sezioni utilizzate con un'etichetta di provenienza, è stato prodotto un apposito file shape con un campo dove sono riportate le provenienze. In riferimento alla richiesta di distinguere le sezioni che risultano adeguate al contenimento delle portate di piena da quelle che non lo sono, riteniamo sia poco significativa e comunque di difficile rappresentazione in quanto gran parte del reticolo idraulico oggetto di studio, ad esclusione della Pescia di Collodi e Pescia di Pescia, “interagisce” con le portate in transito nelle aree a campagna provenienti dalle esondazioni dei corsi d'acqua maggiori che entrano e fuoriescano dall'alveo. Pertanto i livelli visualizzati nelle sezioni dei corsi d'acqua minori dipendono dal fenomeno sopra descritto e non sono pertanto rappresentativi di un evento di piena sul singolo corso d'acqua.

Per quanto sopra indicato in riferimento alle suddette richieste si allega pertanto su supporto informatico:

- File \*.shape delle sezioni idrauliche estratte dal modello con indicazione della provenienza nel campo “PROVENIENZA”;
- Modello idraulico costruito con software Hec-ras versione 5.0.3.

*“di elaborare una carta sintetica dei battenti e velocità tenendo conto dei diversi tempi di pioggia”*

Si trasmette:

- Tavola 15: Carta delle aree allagabili con indicazione dei battenti idraulici – inviluppo Tr 30 anni per durate 1, 3 e 6 ore – Quadro Nord
- Tavola 16: Carta delle aree allagabili con indicazione dei battenti idraulici – inviluppo Tr 30 anni per durate 1, 3 e 6 ore – Quadro Sud

- Tavola 17: Carta delle aree allagabili con indicazione dei battenti idraulici – inviluppo Tr 200 anni per durate 1, 3 e 6 ore – Quadro Nord
- Tavola 18: Carta delle aree allagabili con indicazione dei battenti idraulici – inviluppo Tr 200 anni per durate 1, 3 e 6 ore – Quadro Sud

In riferimento alla carta delle velocità si precisa che nelle carte delle aree allagabili trasmesse sono rappresentate le zone, peraltro di modestissima entità, con velocità di transito superiori a 1 m/s. Per la quasi totalità delle aree allagabili che risultano dallo studio le velocità sono decisamente inferiori a 0.5 m/s. Ad ogni modo all'interno del modello idraulico allegato sono riportati i risultati delle modellazioni in termini di velocità.

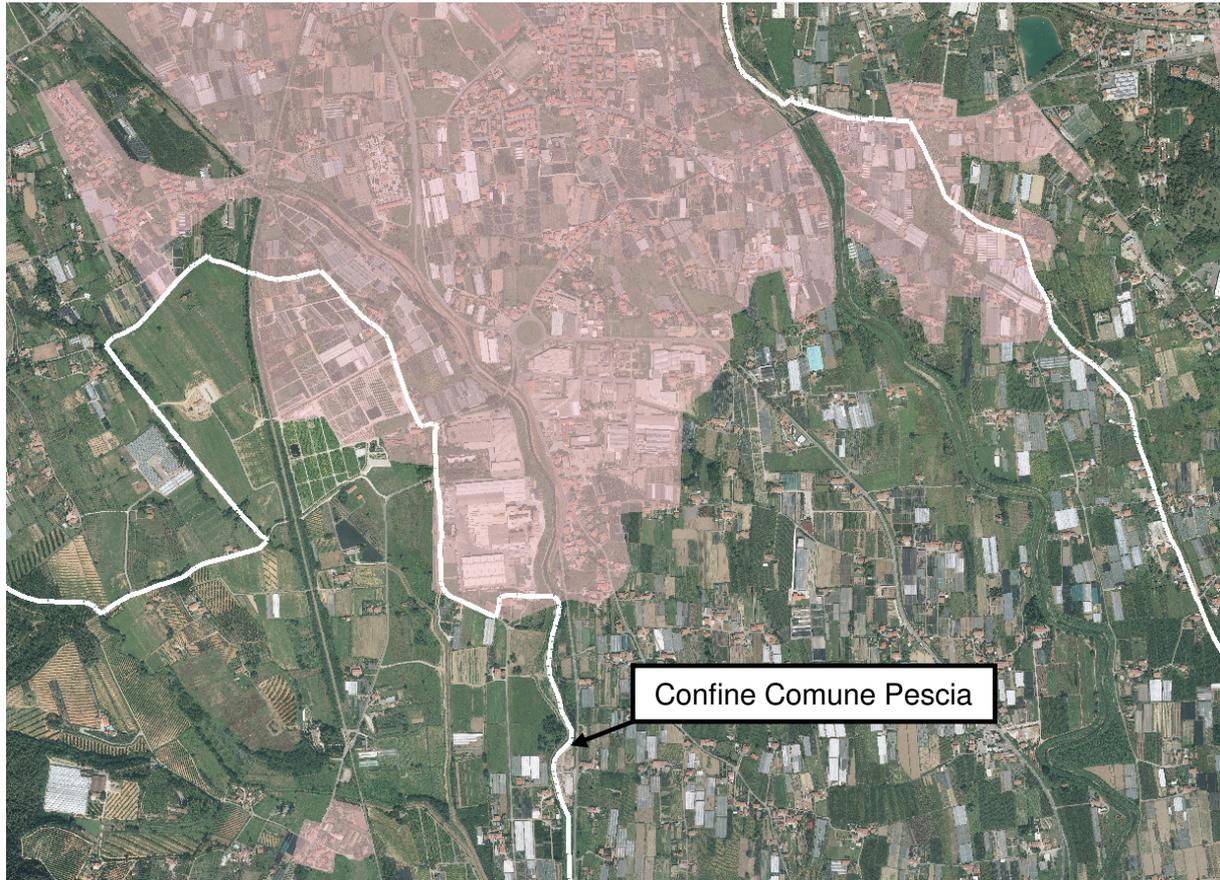
*“con riferimento al paragrafo 4.2 della Relazione idrologico – Idraulica (Modello idrologico), esplicitare le motivazioni che hanno portato alla scelta dei parametri di taratura del modello idrologico (Tabella 15)”*

In riferimento a detta richiesta si trasmette quanto già riportato nelle risposte alle richieste di integrazioni da parte del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa in merito allo studio idraulico nell'ambito dell'istruttoria per la Variante al Piano Strutturale del Comune di Montecarlo (LU) (detto studio è stato condotto infatti con il medesimo modello idrologico-idraulico utilizzato per lo studio a supporto della Variante al Piano Strutturale del Comune di Pescia). A titolo esaustivo in Allegato 1 si riporta quindi un estratto della relazione tecnica redatta dall'Ing. David Settesoldi per lo "Studio di area vasta per l'attuazione delle previsioni del Piano di Bacino del fiume Arno - Stralcio Rischio Idraulico (D.P.C.M. 05/11/1999) sul bacino dell'Usciana e per interventi di salvaguardia del sistema idrico afferente al Padule di Fucecchio", nell'ambito del quale è stato predisposto il modello PIENE, contenente le motivazioni alla scelta dei parametri di taratura.

*“differenziare i coefficienti di scabrezza nelle aree 2D in funzione dell'uso del suolo e valutare le conseguenze sui risultati del modello (battenti e velocità)”*

In riferimento a detta richiesta, in base a quanto già indicato al punto precedente, si riportano le medesime valutazioni della nota integrativa del 01/09/2017 trasmessa al Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa.

Nel modello idraulico aggiornato (trasmesso insieme alla presente su supporto informatico) è stato differenziato il coefficiente di scabrezza secondo Manning delle celle con cui sono state suddivise le aree a campagna in base alle tipologie di “uso del suolo” riscontrate dalle ortofoto disponibili sul sito della Regione Toscana relative ad un volo dell'anno 2010 (vedi estratto cartografico di seguente figura 1). Si precisa che detta scelta con i relativi coefficienti assegnati è stata già condivisa con i tecnici del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa.



Aree densamente urbanizzate ( $n=0.15 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ )



Aree scarsamente urbanizzate ( $n=0.10 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ )

FIGURA 1: ESTRATTO CARTOGRAFICO CON INDICAZIONE AREE A DIVERSA SCABREZZA SU BASE ORTOFOTOGRAFICA

Nello specifico sono state definite due zone a diversa scabrezza:

- $n = 0.10 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  per le aree agricole con serre utilizzate per il florovivaismo, edifici sparsi e/o piccoli agglomerati e quindi scarsamente urbanizzate (vedi aree a bassa intensità nella tabella riepilogativa dei valori del coefficiente di Manning presente nel manuale del software Hec Ras 5.0 di figura 2)
- $n = 0.15 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  per le aree più densamente urbanizzate come ad esempio la zona degli Alberghi a Pescia (vedi aree ad alta intensità nella tabella riepilogativa dei valori del coefficiente di Manning presente nel manuale del software Hec Ras 5.0 di figura 2)

Land Cover to Manning's n (2D Flow Areas Only)

Set Manning's n to Override Default Land Cover Values

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ...

Land Cover Layer		Geometry Overrides (Blank for Default Values)		
	Name	Default Mann n	Base Mann n (blank for default)	MainChannel
1	nodata		0.06	0.04
2	barren land rock/sand/day	0.04	0.04	0.04
3	cultivated crops	0.06	0.06	0.04
4	deciduous forest	0.1	0.1	0.04
5	developed, high intensity	0.15	0.15	0.04
6	developed, low intensity	0.1	0.1	0.04
7	developed, medium intensity	0.08	0.08	0.04
8	developed, open space	0.04	0.04	0.04
9	emergent herbaceous wetlands	0.08	0.08	0.04
10	evergreen forest	0.12	0.12	0.04
11	grassland/herbaceous	0.045	0.045	0.04
12	mixed forest	0.08	0.08	0.04
13	open water	0.035	0.035	0.04
14	pasture/hay	0.06	0.06	0.04
15	shrub/scrub	0.08	0.08	0.04
16	woody wetlands	0.12	0.12	0.04

Associated Layer: d:\...\Example Data\2D Unsteady Flow Hydraulics\BaldEagleCrkMulti2D\LandCover\LandUse.tif

OK Cancel

FIGURA 2. TABELLA RIEPILOGATIVA DEI VALORI DEL COEFFICIENTE DI SCABREZZA SECONDO MANNING RELATIVO A 2D FLOW AREA

*“considerato che il modello idraulico a disposizione di questo Ufficio, datato Gennaio 2016, è stato realizzato con una versione di HecRas che, rispetto alla versione 5.0.3 rilasciata nel mese di Ottobre 2016, presentava numerosi problemi (cfr. HECRAS Release Notes Version 5.0.3 September 2016), si chiede di fornire i files del modello aggiornato alla versione 5.0.3, già disponibile al momento della consegna del lavoro”*

Si trasmette il modello idraulico aggiornato costruito con software Hec-ras versione 5.0.3.

*“per quanto riguarda le condizioni al contorno di valle (rif. paragrafo 5.1 della Relazione idrologica-idraulica) si chiede di chiarire se le sezioni di chiusura sono situate in corrispondenza dell'attraversamento dell'autostrada A11 e, in caso affermativo, di motivare la scelta della "normal depth" quale condizione al contorno”*

Le sezioni di chiusura dei vari corsi d'acqua studiati nel modello aggiornato allegato alla documentazione trasmessa nell'ambito della presente integrazione e con il quale sono state redatte le carte delle aree allagabili di cui sopra, sono poste ben oltre il confine comunale di Pescia in quanto:

- per il Fiume Pescia Nuova è in corrispondenza dell'Autostrada A11 circa 2.7 km a valle del limite di Pescia;

- per il Torrente Pescia di Pescia è al centro del Comune di Ponte Buggianese circa 5 km a valle del limite di Pescia;
- per il Torrente Montecarlo è all'interno del confine del Comune di Chiesina Uzzanese circa 5 km a valle del limite di Pescia;
- per il Torrente Pescia di Collodi è all'interno del Comune di Chiesina Uzzanese circa 3.7 km a valle del limite di Pescia.

Inoltre si precisa che sono state utilizzate come condizioni al contorno di valle le “normal depth” in quanto dette sezioni di chiusura sono distanti dai tratti in cui si risente del livello nel Padule di Fucecchio.

Prato, lì 10/11/2017

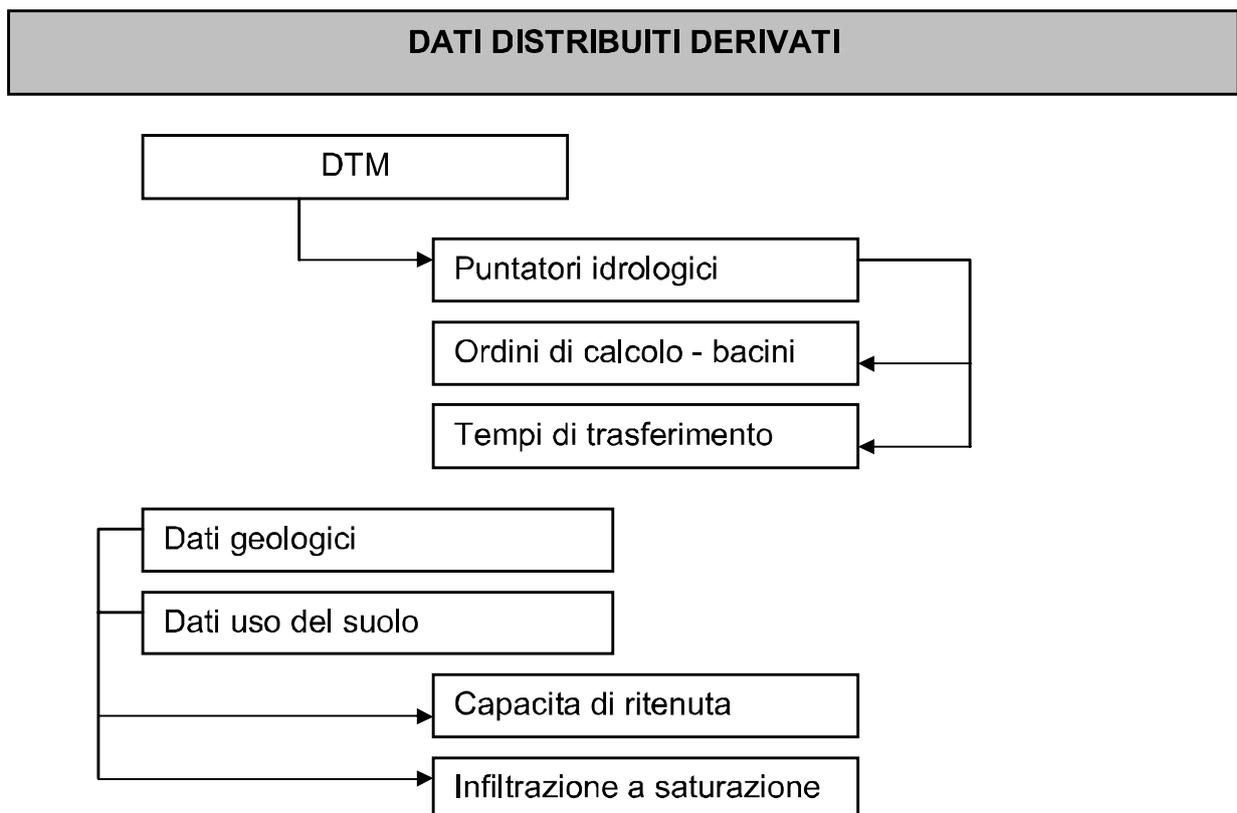
Dott. Ing. Cristiano Cappelli

### 2.2.3 Le caratteristiche geografiche e idrologiche

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

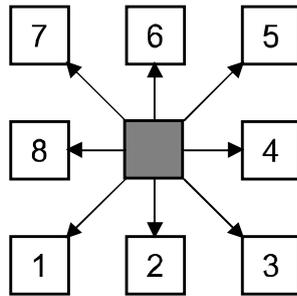
- modello digitale del terreno (DTM) 25x25m finalizzato al calcolo del raster dei puntatori ;
- mappa dell'uso del suolo elaborata a partire dai dati forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno (Carta dell'Uso prodotta secondo la metodologia Corine Land Cover)
- mappa delle formazioni geo-litologiche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

Una volta acquisite tali informazioni sono state derivate le seguenti mappe che forniscono la parametrizzazione dei processi di formazione e trasferimento dei deflussi sul bacino in esame.



Di seguito si riporta una descrizione delle mappe derivate.

- 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. A seconda della direzione individuata viene assegnato alla cella uno degli otto valori:



- 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

$$v = 1,52 A^{0,15} s^{0,2}$$

Dove  $v$  è la velocità di trasferimento in m/s,  $A$  è l'area del bacino sotteso,  $s$  la pendenza dell'asta 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;

Dalle mappe geologica e di uso del suolo vengono stimate le caratteristiche idrauliche del suolo:

- 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 le Tabelle di associazione 5 e 6.
- Mappa della velocità di infiltrazione del suolo:la mappa è stata calcolata in funzione di geolitologia e uso del suolo secondo le Tabelle di associazione 7 e 8. I valori derivati sono stati moltiplicati tra di loro.

N. Progres.	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	traveritini Olocene
6	80	40	alluvioni terrazzate; ove distinte at. a2, 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 "Igre" (aree più settentrionali) Post-Villafranchiano
10	80	40	argille grigie lenticolari, argille sabbiose e sabbie di ambiente lacustre; talora livelli ciottolosi ad elementi di "macigno" e subordinatamente di calcari della serie toscana; livelli torbosi Rusciniانو inf.-Villafranchiano sup.
11	90	45	conglomerato a grossi ciottoli di "macigno" Rusciniانو 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 ciprine 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 in masse sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
18	62	31	("argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre") argilliti varicolori, siltiti e marne erigite 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 quarzose-felspatiche alternate a sottili interstrati di argilliti e siltiti;
21	62	31	calcareniti e calcinudi erigite, gradate Eocene
22	90	45	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silticei grigi, marne rosse e calcareniti, al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori. Cretaacco inf. p.p.-Oligocene
23	32	16	("maiolica") calcari e calcari litografici selciferi bianco latte; nella parte alta calcari erigiti talora selciferi e calcareniti litonici sup.-Neocomiano Barremiano
24	32	16	("diaspri") radiolariti ed argilliti siltose, 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 Postdomva") marne e argilliti, marnose grigio giallastre, talora con strati di calcareniti gradate e con rari livelli di radiolariti; intercalazioni nella parte alta di radiolariti. Luas sup.-Dogger p.p.
27	62	31	("calcari grigi a selci chiare") calcari stratificati di colorata grigio a giallastro, leggermente marnosi, a grana fine, con liste e noduli di selce erigite; localmente sottili strati di argilliti e di marne in lastre Luas medio e superiore

Tabella 5 – Tabella di associazione delle caratteristiche geologiche in relazione alla capacità di ritenuta

N. Progres.	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	Culture 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 6 – Tabella di associazione dell'uso del suolo in relazione alla capacità di ritenuta

N. Progres.	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	traverini Olocene
6	0.5	0.25	alluvioni terrazzate, ove distinte al 1. al 3. 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 lische e leni di ciottoli di "maicino" Pleist. inf.
9	3	1.5	Conglomerati e ciottoli a prevalenti elementi di "verrucano" (zona di Montecatini); di "maicino" e di "ligure" (aree più settentrionali) Post-Villafranchiano
10	1	0.5	argille grigie lisciate, argilla sabbiosa e sabbie di ambiente lacustre; talora livelli ciottolosi ad elementi di "maicino" e subordinatamente di calcari della serie toscana; in essi torbosi Ruscimano inf.-Villafranchiano sup.
11	3	1.5	conglomerato a grossi ciottoli di "maicino" Ruscimano inf.?
12	3	1.5	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al letto 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, leni di calcari detritico-organogeni; a luoghi conglomerati ad elementi di "maicino Plioc. inf.-medio
16	0.5	0.25	("alberese" e "formazione di Lanciaia", calcari a grana fine grigio chiaro, 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, breccie sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari, liozatici
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 scuro con blocchi e frammenti di strato, calcari marnosi, microbreccie calcaree e arenarie Oligocene superiore
20	1.55	0.78	("maicino") arenarie quarzose-felspatiche alternate a sottili interstrati di argilliti e siltiti.
21	4.65	2.33	calcareniti e calciniditi 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 letto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene
23	7.75	3.88	("maioleca") calcari e calcari litografici selciferi bianco latte; nella parte alta calcari grigi talora selciferi e calcareniti Trionico sup. -Neocomiano/Barremiano
24	3.88	1.94	("diaspri") calciniditi ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse, Malin p.p.
25	4.65	2.33	("calcari grigio a selci nere") calcari e calcareniti gradate grigio scuro, gradate, a liste e noduli di selce nera Donger sup.-Malin 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 calciniditi; intercalazioni nella parte alta di calciniditi Lias sup.-Donger 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 lastre Lias medio e superiore

Tabella 7 – Tabella di associazione delle caratteristiche geologiche in relazione alla velocità di infiltrazione

N. Progres.	IN media [mm/h]	IN dev.sta. [mm/h]	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 8 – Tabella di associazione dell'uso del suolo in relazione alla velocità di infiltrazione*

Nelle Tabelle 9 e 10 si riportano le legende di uso del suolo e geologia con i codici relativi. Di seguito si riportano le figure delle diverse carte e mappe utilizzate.

N. Progres.	Codice	Descrizione
1	111	Tessuto urbano continuo
2	112	Tessuto urbano discontinuo
3	121	Aree industriali o commerciali
4	122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori
5	131	Aree estrattive
6	141	Aree verdi urbane
7	142	Aree sportive e ricreative
8	211	Seminativi in aree non irrigue
9	221	Vigneti
10	223	Oliveti
11	231	Prati stabili
12	241	Colture annuali associate a colture permanenti
13	242	Sistemi colturali e particellari complessi
14	243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali
15	311	Boschi di latifoglie
16	312	Boschi di conifere
17	313	Boschi misti
18	321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota
19	322	Brughiere e cespuglieti
20	324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione
21	334	Aree percorse da incendio
22	411	Paludi interne
23	511	Corsi d'acqua, canali e idrovie

*Tabella 9 – Legenda Carta dell'Uso del Suolo*

N. Progres.	Codice UNI	Descrizione
1	dt	detriti
2	all	alluvioni recenti e attuali Olocene
3	p	terreno palustre Olocene
4	cd	Conoidi Olocene
5	lv2	traverlini Olocene
6	at	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.
7	fa-C	sabbie arrossate, conglomerati e depositi ciottolosi a stratificazione incrociata e a prevalenti elementi di "verrucano"; Pleist. Medio
8	VVB	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.
9	cm	Conglomerati e ciottoli a prevalenti elementi di "verrucano" (zona di Montecatini); di "macigno" e di "ligure" (aree più settentrionali) Post-Villafranchiano
10	atr	argille grigie lignifere, argille sabbiose e sabbie di ambiente lacustre; talora livelli ciottolosi ad elementi di "macigno" e subordinatamente di calcari della serie toscana; livelli torbosi Ruscimano inf.-Villafranchiano sup.
11	cg/mg	conglomerato a grossi ciottoli di "macigno" Ruscimano inf.?
12	Pcg	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio
13	Ps	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio
14	Pag	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio
15	Pcg1	conglomerati, sabbie, lenti di calcari calcareo-organogeni; a luoghi conglomerati ad elementi di "macigno Plioc. inf.-medio
16	alb	("alberese" e "formazione di Lanciata") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi, scuri e arenarie calcaree gradate Palcoocene-Eocene medio
17	cb	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora breccie sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici
18	fp1	("argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre") argilliti variocolori, siltiti e marne grigie Oligocene superiore
19	ol	("olistostoma basale") argilliti grigio scuro con blocchi e frammenti di strato, calcari marnosi, microbreccie calcaree e arenarie Oligocene superiore
20	mq	("macigno") arenarie quarzoso-felspathiche alternate a siltiti interstrati di argilliti e siltiti;
21	Nu	calcareniti e calcitruditi grigie, gradate Eocene
22	sc	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti, al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaoco inf. p.p.-Oligocene
23	mac	("maioleca") calcari e calcari litografici scelfori bianco latte; nella parte alta calcari grigi talora scelferi e calcareniti Tortonico sup.-Nocemiano/Barroniano
24	di	("diaspri") radiolariti ed argilliti silicee, sottilmente stratificate, prevalentemente rosse, Malm p.p.
25	cs2	("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	mp	("marne a Posidomiva") 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	cs1	("calcari grigi a selci chiare") calcari stratificati di colorata grigio a giallastro, leggermente marnosi, a grana fine, con liste e noduli di selce grigia, localmente sottili strati di argilliti e di marne in lastre Lias medio e superiore

Tabella 10 – Legenda Carta Geologica

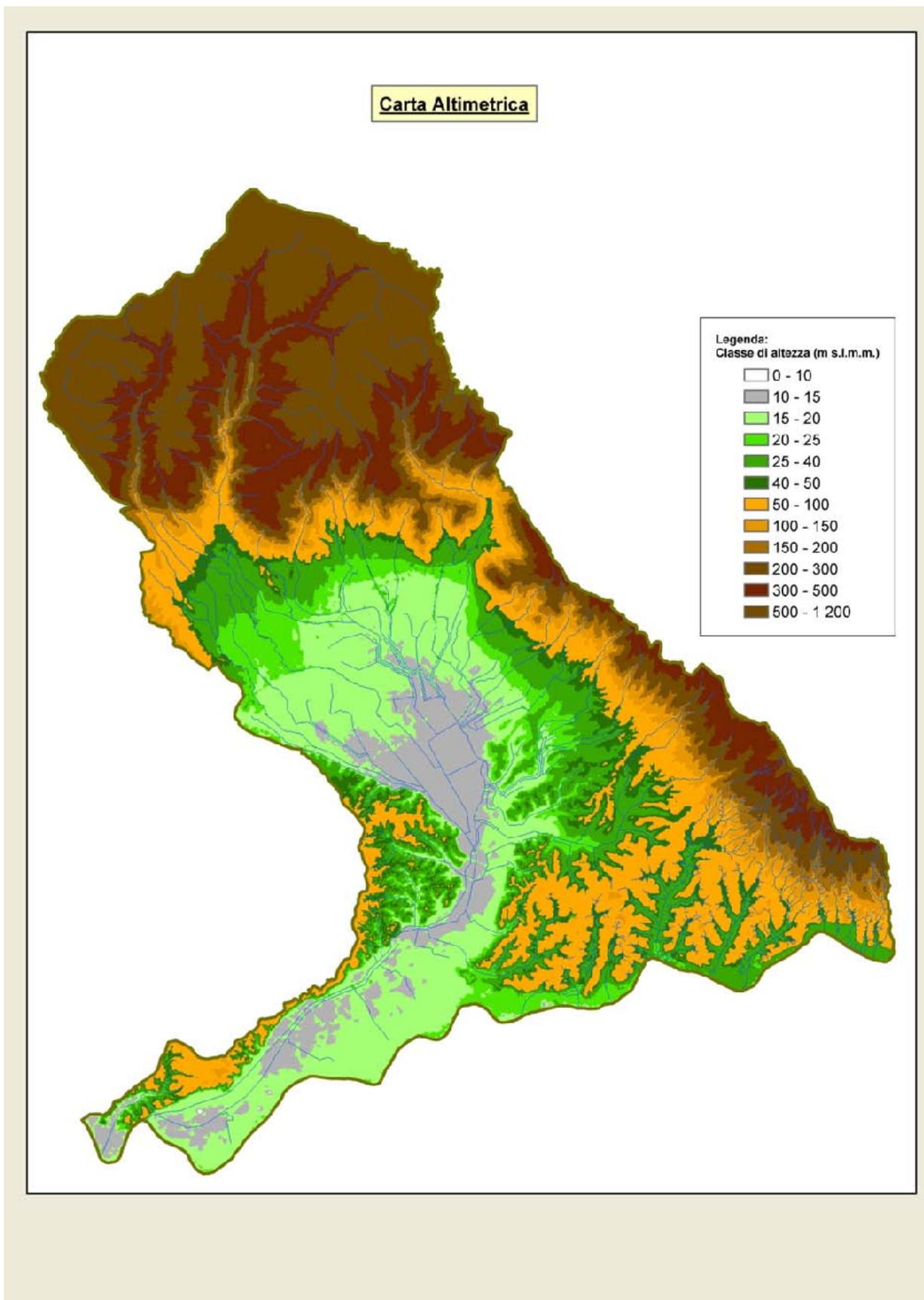


Figura 2 – Carta Altimetrica

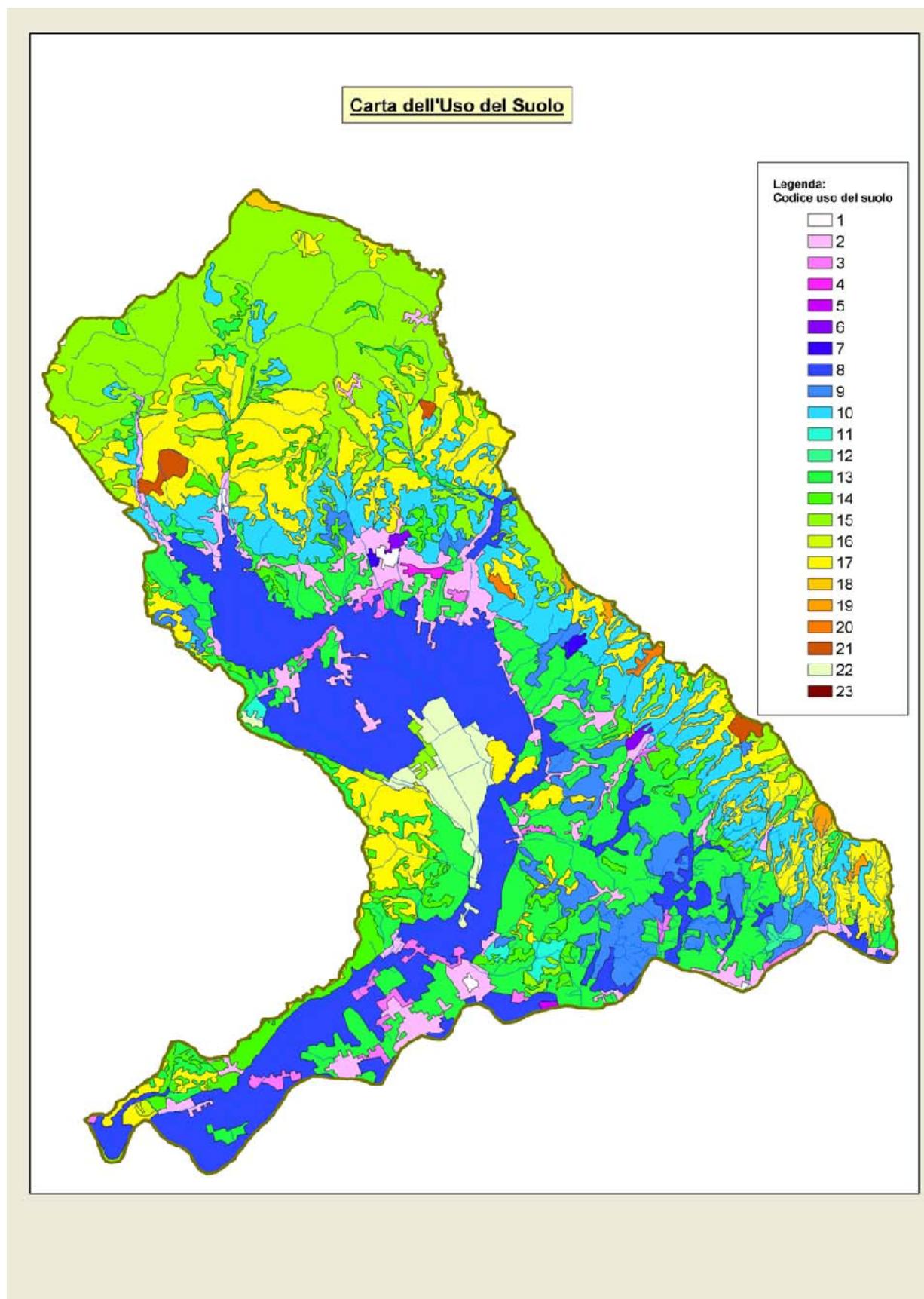


Figura 3 – Carta dell'Uso del Suolo

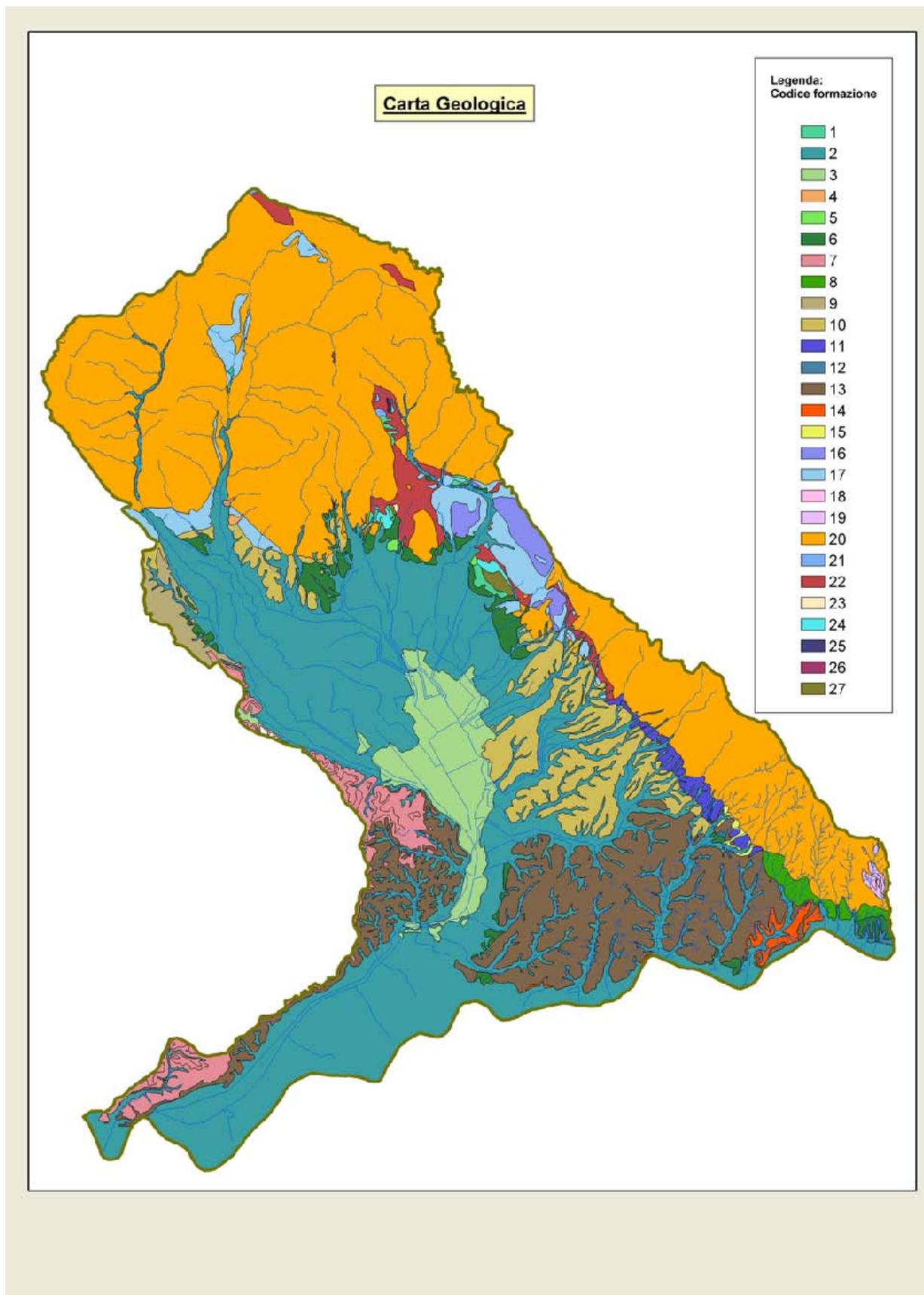


Figura 4 – Carta Geologica

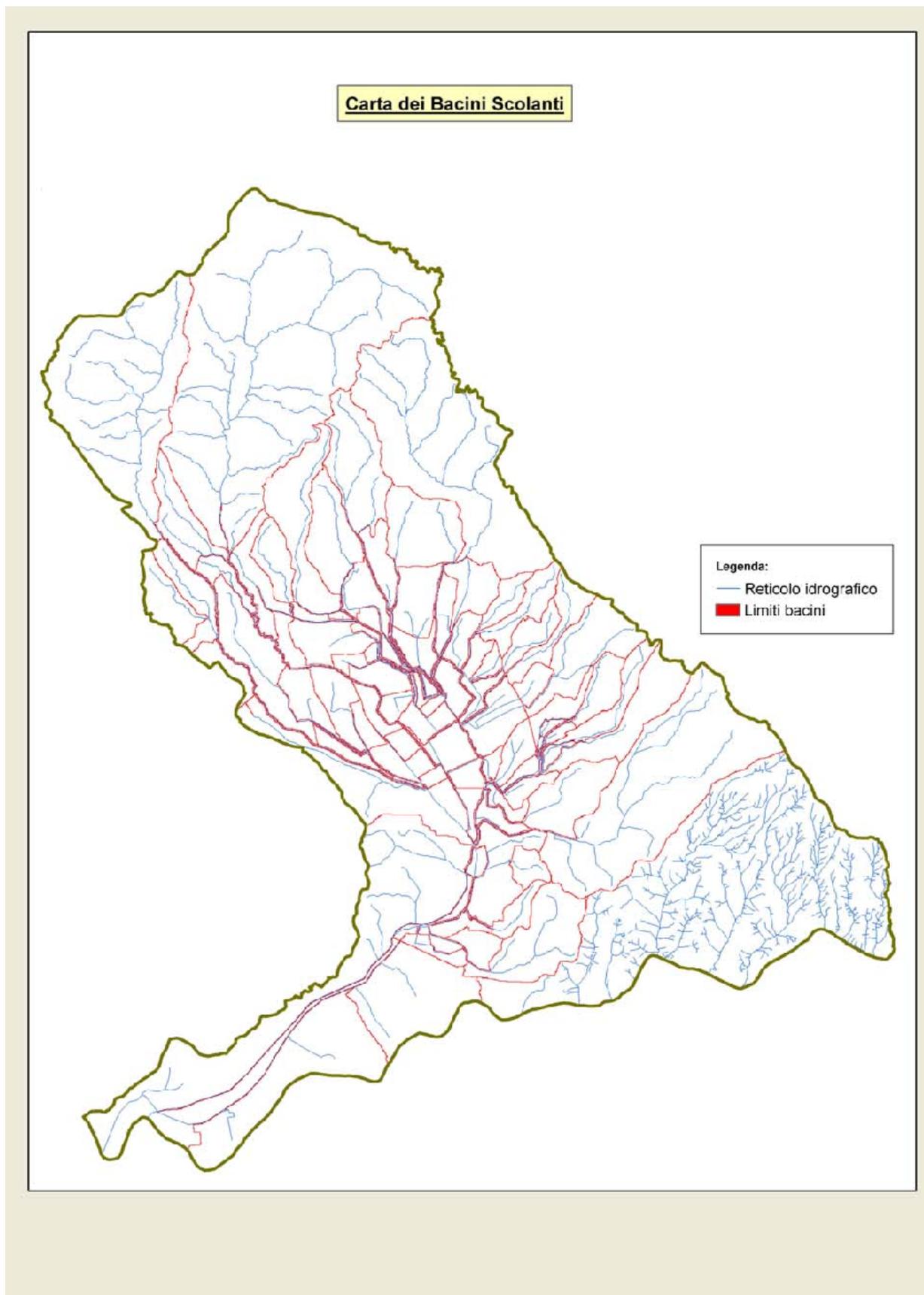


Figura 5 – Carta dei Bacini Scolanti

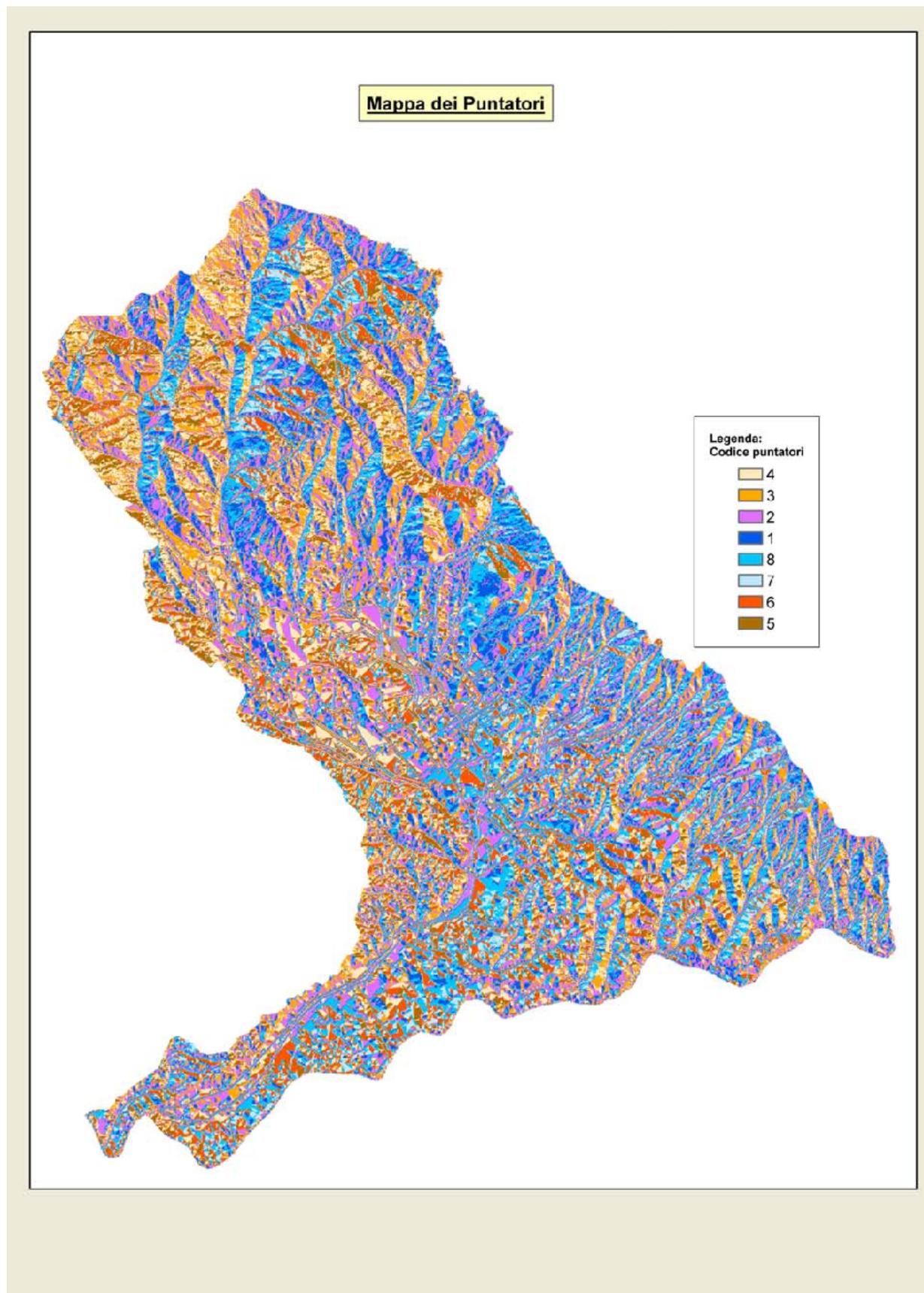


Figura 6 – Mappa dei Puntatori

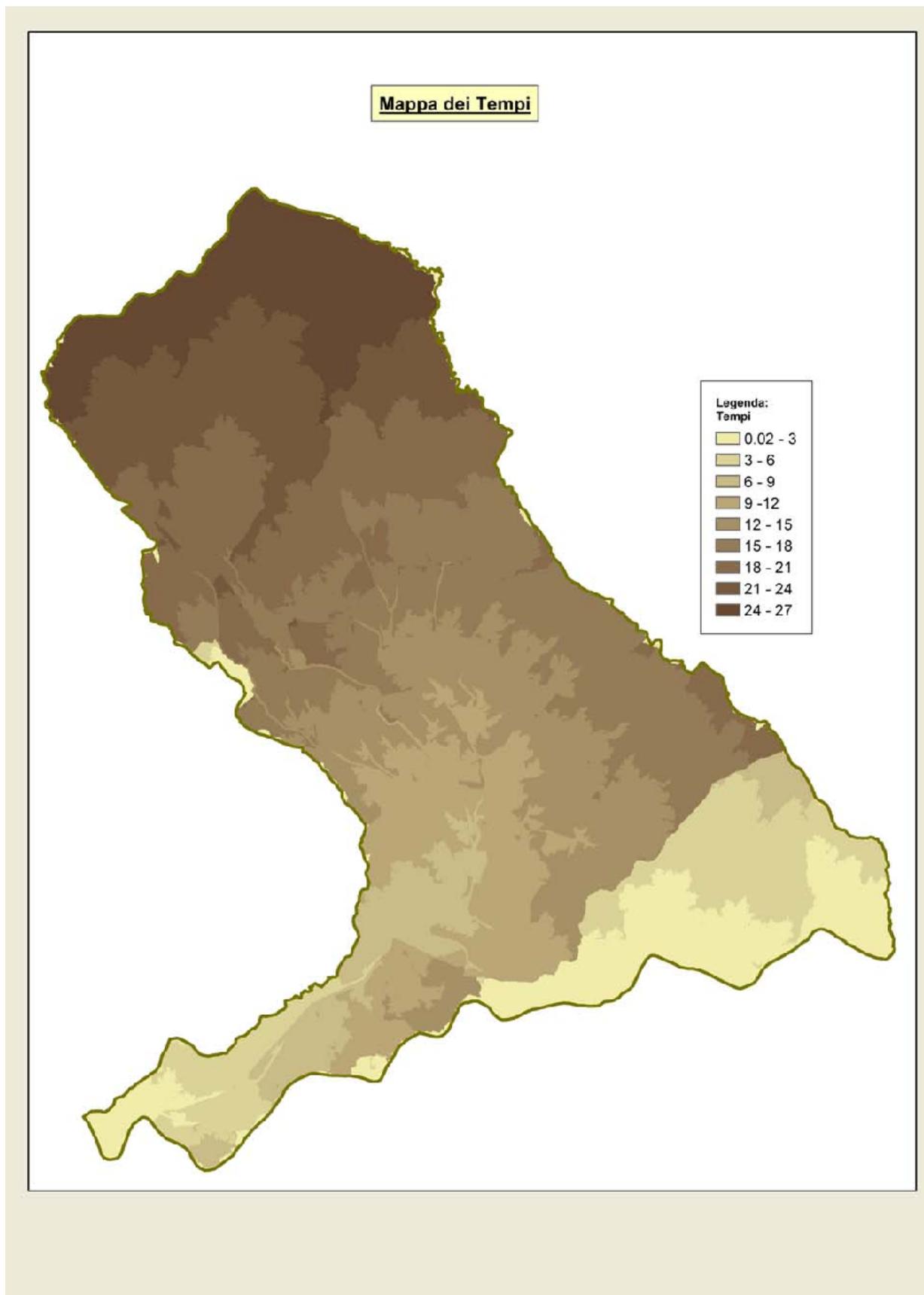


Figura 7 – Mappa dei Tempi di trasferimento [h] a meno dei parametri di taratura

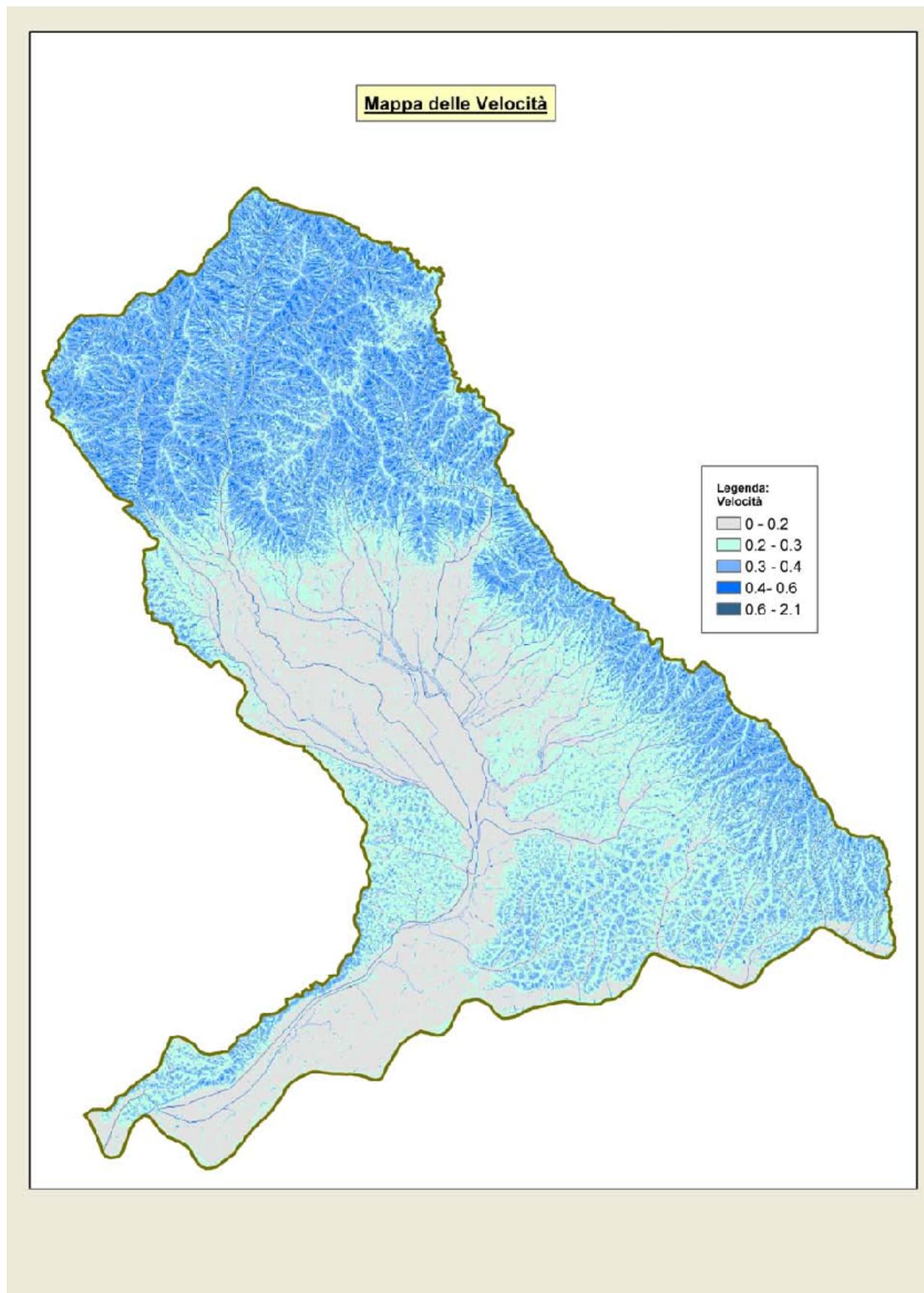


Figura 8 – Mappa delle Velocità [m/s]

## 2.2.4 Le fasi computazionali

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 9 si riporta uno schema del modello idrologico adottato.

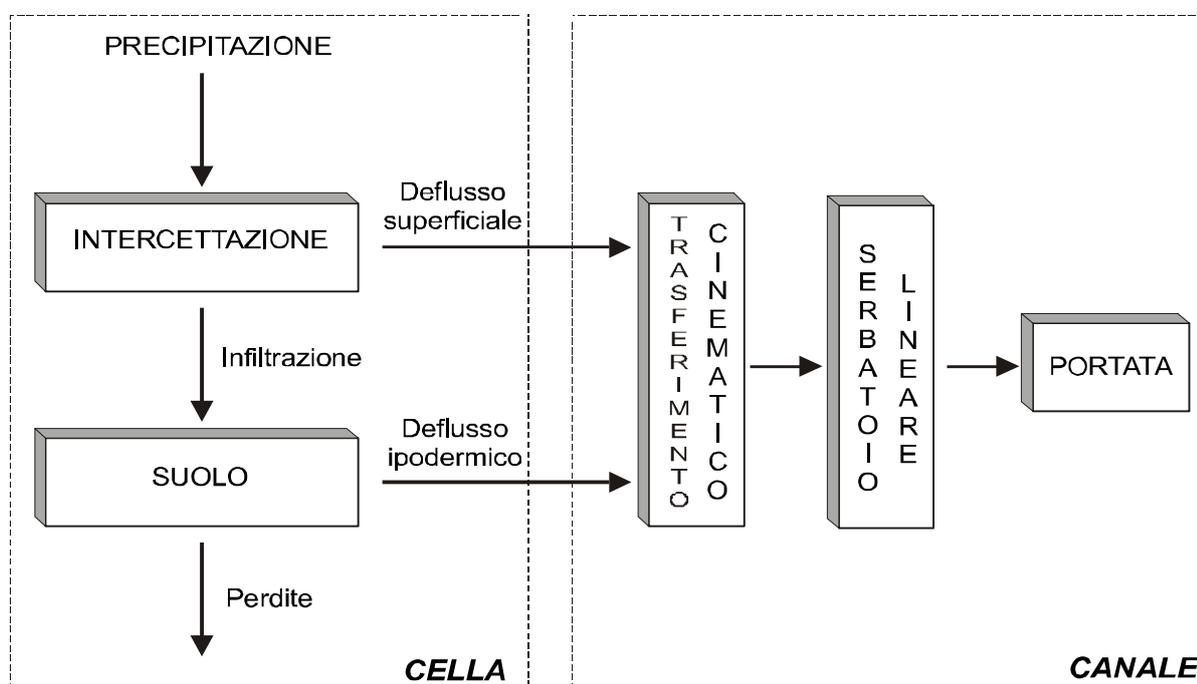


Figura 9 - Schema del modello afflussi-deflussi

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

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

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

### 2.2.5 Algoritmi di calcolo

Con riferimento alle variabili elencate nella Tabella 11 si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino:

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

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

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

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

Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio  $\theta_0$  [mm] è uguale a  $\alpha_0 \theta_{max}$  dove  $\alpha_0$  è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e  $\theta_{max}$ , pertanto si possono distinguere tre casi:

- essiccamento del suolo:

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

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

$$I_{eff} = K_s$$

- saturazione del suolo:

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

$$Q_{1k} = 0$$

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

- caso intermedio:

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

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

$$I_{eff} = K_s$$

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

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

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

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

**5-** La componente cinematica trasla nel tempo il contributo  $Q_k$  di un fattore pari a  $\tau_c$ .

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

<b>Simbolo</b>	<b>Significato</b>	<b>unità di misura</b>
$P_{i_k}$	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
$\Delta t$	passo temporale	[h]
$SC$	valore del raster della capacità di ritenuta del suolo ( <i>storage capacity</i> )	[mm]
$RI$	coefficiente moltiplicativo del raster della capacità di ritenuta del suolo	[/]
$\theta_{max}=RI SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$KL$	valore del raster della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
$IN$	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione	[/]
$K_s=IN KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
$IP$	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
$K=IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
$TL$	valore del raster dei tempi di trasferimento	[h]
$MT$	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
$CI$	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\tau_c= CI TL$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]

$\tau_i=(1-CI) TL/MT$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invaso	[h]
$C_s=1/\tau_i$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
$\alpha_o$	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
$\theta_o$	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
$dx$	Dimensioni della cella del raster	[m]
$\theta_k$	contenuto di acqua nel suolo al passo $k$ -esimo	[mm]
$I_{eff}$	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
$Q_{1k}$	Contributo verso il reticolo al passo $k$ -esimo	[mm/h]
$\varphi_k$	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
$Q_k$	Contributo alla foce passo $k$ -esimo	[mm/h]

Tabella 11 - Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi

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

- $\alpha_o$  = 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 [/]

## 2.2.6 Taratura dei parametri

Le tarature sono state condotte su 6 eventi, i parametri ricavati sono riportati in Tabella 12.

Nella fase di taratura i coefficienti CI e MT riportati in Tabella 12 sono stati fissati riferendosi in analogia con la parametrizzazione adottata nel sistema ALTO dell’Autorità di Bacino del Fiume Arno. In particolare per CI è stato assunto il valore adottato mediamente per gli affluenti del fiume Arno nello studio condotto per il Provveditorato alle Opere Pubbliche della Toscana, per il parametro MT si è proceduto a un confronto tra il tempo di trasferimento medio del modello a parametri distribuiti e il TI del modello ALTO (Figura 10).

	Data inizio	Data fine	Saturazione	Infiltrazione	Ritenuta	Ipodermico	Trasferimen to	Cinem/Inv
Nievole 1966	03/11/1966 00:00	06/11/1966 00:00	0	0.4	1.5	2	1.52	0.45
Nievole 1967	07/03/1967 12:00	10/03/1967 12:00	0	0.5	1.52	2	1.52	0.45
Nievole 1968	21/02/1968 00:00	25/02/1968 00:00	0	0.1	1.94	1.2	1.52	0.45
Pescia 1952	18/11/1952 09:00	21/11/1952 09:00	0	2	2	1.1	1.52	0.45
Pescia 1955_02	15/02/1955 09:00	21/02/1955 09:00	0	0	1.77	1.2	1.52	0.45
Pescia 1955_11	30/11/1955 00:00	03/12/1955 00:00	0	0	2	1.6	1.52	0.45

*Tabella 12 – Parametri di taratura per i diversi eventi*

La taratura eseguita con i parametri riportati in Tabella 12 ha permesso di ricostruire i 6 eventi presi a riferimento ottenendo gli scarti tra il deflusso calcolato e quello misurato riportati in Tabella 13.

EVENTO	Dv (mm)
Nievole 1966	1.332
Nievole 1967	-1,705
Nievole 1968	-0,271
Pescia 1952	0,56
Pescia 1955_02	-9,843
Pescia 1955_11	0,753

Tabella 13 – Scarto tra il deflusso calcolato e quello misurato ( $Dv = D_{calc} - D_{mis}$ )

Nelle Figure dalla 11 alla 16 riportano i diagrammi delle tarature con l'afflusso meteorico, la pioggia netta, l'idrogramma delle portate calcolate e quello delle portate misurate.

Dalla osservazione dei diagrammi di taratura si possono fare le seguenti osservazioni:

- Si evidenzia una disomogeneità tra i tempi di picco registrati e i tempi di picco ricostruiti dal modello. Si ritiene che ciò sia dovuto alla scarsa informazione disponibile riguardo alle precipitazioni soprattutto per quanto riguarda il Fiume Pescia di Pescia.
- Non è stato pertanto possibile tarare i parametri che regolano il trasferimento dell'onda di piena CI e MT che come visto in precedenza sono stati ricavati in analogia con il modello ALTO.
- Risulta invece evidente una spiccata componente di deflusso ipodermico che porta ad avere deflussi sostenuti anche dopo la cessazione delle precipitazioni.
- I parametri per i quali è stato possibile condurre la taratura sono pertanto IN, RI e IP (per la generazione degli idrogrammi è stata fatta una media dei parametri sui diversi eventi).

Le portate di piena sono fortemente condizionate dal grado di saturazione iniziale. Nel caso specifico il grado di saturazione adottato nella fase di generazione degli idrogrammi per i diversi tempi di ritorno è stato valutato in modo da avere risultati confrontabili con quelli del modello ALTO adottato dalla Autorità di Bacino per la perimetrazione della aree a rischio idraulico.

Nelle Figure dalla 16 alla 18 si riporta il confronto tra le portate calcolate con il modello idrologico a parametri distribuiti e quelle dedotte dal modello ALTO (opportunamente corrette per tenere conto della diversa estensione dei bacini idrografici dovuta alla maggiore accuratezza della presente perimetrazione) adottando il grado di saturazione di 0.85.

Nella Tabella 14 si riportano i parametri che sono stati adottati nella generazione degli eventi per i diversi tempi di ritorno.

<b>Saturazione</b> $\alpha_o$	<b>Infiltrazione</b> <b>IN</b>	<b>Ritenuta</b> <b>RI</b>	<b>Ipodermico</b> <b>IP</b>	<b>Rapporto</b> <b>cinematico</b> <b>/invaso</b> <b>CI</b>	<b>Velocità di</b> <b>trasferimento</b> <b>MT</b>
0,85	0,50	1,79	1,52	0,45	1,52

*Tabella 14 - Parametri della taratura del modello idrologico*