

# PROGETTAZIONE

## SOGGETTI

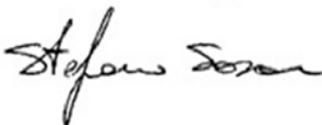
### NORD MILANO CONSULT s.r.l.

Società d'ingegneria  
IL DIRETTORE TECNICO  
(dott. arch. Michela Di Mento)



### STUDIO ASSOCIATO GREENLINE

(dott. arch. Stefano Sozzani)



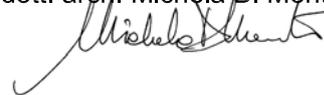
## RESPONSABILI

### PROGETTISTI

(dott. ing. Caterina Aliverti)



(dott. arch. Michela Di Mento)



### COORDINATORE IN MATERIA DI SICUREZZA E DI SALUTE IN FASE DI PROGETTAZIONE

(dott. arch. Stefano Sozzani)



REV.	DATA	DIS.	CONTR.	APPR.	DESCRIZIONI REVISIONI
------	------	------	--------	-------	-----------------------

Stazione appaltante:



**Comune di Carpignano Sesia**  
Provincia di Novara

Oggetto:

LAVORI DI REALIZZAZIONE ARGINE IN SINISTRA DEL FIUME SESIA - 1° LOTTO FUNZIONALE  
RIGUARDANTE LA SISTEMAZIONE E RIPRISTINO DELLE DIFESE SPONDALI  
CON FORMAZIONE DI MICROPELLENTI A PROTEZIONE DEL CORPO ARGINALE

Fase progettuale	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>	Allegato n.	Disegno n.
		<b>2.1</b>	<b>43784</b>
Titolo	Relazione idraulica	Data	MAGGIO 2017
		Scala	//

RTP  
Mandataria

Mandante



NORD  
MILANO  
CONSULT

21052 BUSTO ARSIZIO (VA)  
via Bruno Raimondi, 5  
tel. 0331/636702 - fax. 0331/636713  
e-mail: segreteria@normil.com

28100 NOVARA  
Via Cairoli n°4  
tel. 0321/613030 - fax. 0321/36660  
e-mail: info@studiogreenline.it





**Comune di Carpignano Sesia**

Provincia di Novara

---

LAVORI DI REALIZZAZIONE ARGINE IN SINISTRA DEL FIUME SESIA 1° LOTTO FUNZIONALE  
RIGUARDANTE LA SISTEMAZIONE E RIPRISTINO DELLE DIFESE SPONDALI  
CON FORMAZIONE DI MICROPELLENTI A PROTEZIONE DEL CORPO ARGINALE

---

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione idraulica

Maggio 2017



## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSE .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>IDROLOGIA E IDRAULICA .....</b>	<b>2</b>
2.1	Fiume Sesia .....	2
2.2	Autorità di bacino del Fiume Po.....	2
2.2.1	<i>PAI – Piano stralcio per l’assetto idrogeologico del bacino del fiume Po.....</i>	<i>3</i>
2.2.2	<i>Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Sesia.....</i>	<i>4</i>
2.2.3	<i>Interventi previsti dalla pianificazione di bacino .....</i>	<i>10</i>
<b>3</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO SPONDALE: SCOGLIERA IN MASSI .....</b>	<b>13</b>
3.1	Metodo di analisi .....	14
3.1.1	<i>Teoria di Shields – forze di trascinamento .....</i>	<i>15</i>
3.1.2	<i>Teoria di Stevens – equilibrio limite del masso .....</i>	<i>16</i>
3.2	Risultati del dimensionamento e caratteristiche costruttive .....	17
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE TRASVERSALI DI DIFESA SPONDALE: MICROREPELLENTI .....</b>	<b>20</b>
4.1	Verifica della lunghezza del microrepellente e dell’interasse tra i microrepellenti .....	21
4.2	Dimensionamento dei massi costituenti i microrepellenti .....	22
4.2.1	<i>Verifica allo scorrimento .....</i>	<i>23</i>
4.2.2	<i>Verifica al ribaltamento .....</i>	<i>23</i>
4.3	Verifica globale del dimensionamento del microrepellente.....	24
<b>5</b>	<b>VERIFICA AL SIFONAMENTO E INTERAZIONE CON LE ACQUE SOTTERRANEE .....</b>	<b>26</b>
5.1	Metodo di analisi .....	26
5.1.1	<i>Dominio di analisi e condizioni al contorno idrauliche lato campagna.....</i>	<i>27</i>
5.1.2	<i>Condizioni al contorno idrauliche lato fiume .....</i>	<i>28</i>
5.2	Validazione e risultati ottenuti .....	28
5.3	Considerazioni conclusive .....	58
	<b>ALLEGATO 1: PAI – PIANO STRALCIO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL BACINO DEL FIUME PO .....</b>	<b>60</b>
	<b>ALLEGATO 2: STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL FIUME SESIA .....</b>	<b>61</b>
	<b>ALLEGATO 3: INDAGINE IDRAULICA .....</b>	<b>76</b>



## **1      PREMESSE**

La presente relazione idraulica, redatta ai sensi dell'art.35 del d.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE», riguarda lo studio delle acque superficiali e sotterranee nonché i calcoli di dimensionamento dei manufatti idraulici.

In particolare illustra gli interventi previsti negli strumenti di programmazione e pianificazione sovraordinata e dimensiona puntualmente le opere idrauliche previste in progetto, che nello specifico sono relative agli interventi di protezione spondale con massi e alla creazione di microrepellenti. È stata altresì eseguita una verifica di filtrazione nel rilevato arginale, al fine di verificare il grado di sicurezza dell'opera rispetto a potenziali fenomeni di sifonamento al piede della stessa.

In allegato sono riportate le indagini idrauliche volte alla determinazione della curva granulometrica.



## 2 IDROLOGIA E IDRAULICA

### 2.1 Fiume Sesia

Il Fiume Sesia è uno dei più lunghi fiumi della Regione Piemonte (138 km) e notevole affluente di sinistra del fiume Po.

#### Il corso del fiume

Nasce dal Monte Rosa a circa 2.500 m. di altitudine dal ghiacciaio omonimo e scende rapidissimo lungo la Valsesia, ricevendo in questo tratto le acque di numerosi torrenti: il Mastallone e il Sermenza da sinistra e l'Otro, il Vogna, l' Artogna, il Sorba, il Valmala e il Gavala da destra. Giunto presso Varallo Sesia compie un'ampia curva assumendo direzione sud, raggiungendo in breve la cittadina di Borgosesia dove riceve da destra il Torrente Sesslera. Da qui bagna Serravalle Sesia terminando il suo alto corso e aprendosi la strada verso la pianura. Sfiora Gattinara e Romagnano Sesia fungendo anche da confine tra la Provincia di Vercelli e la Provincia di Novara, allargando notevolmente il suo letto e diramandosi in vari bracci secondari. Dopo il comune di Ghemme segue quasi parallelo un tratto dell'Autostrada Voltri-Gravellona raggiungendo il centro di Oldenico (*tratto oggetto di intervento*) dove riceve da destra l'importante contributo del fiume Cervo, suo principale affluente. Da qui in poi, con portata più costante, lambisce la parte est della città di Vercelli dove è anche pesantemente arginato. Giunto nei pressi del comune di Palestro il fiume prende a scorrere sinuoso sul confine tra Lombardia e Piemonte ricevendo da destra presso Caresana il Torrente Marcova. Infine, dopo essere stato attraversato dal ponte di Terranova confluisce da sinistra nel Po.

#### Regime Idrologico

Il Sesia, pur usufruendo dell'alimentazione nivale del ghiacciaio del Monte Rosa è un fiume dal regime estremamente torrentizio: a fronte di un modulo medio elevato di 76 mc/sec (il 6° per importanza tra gli affluenti del Po), il fiume può subire nelle estati più siccitose magre rilevanti (anche di pochissimi mc/sec) soprattutto a causa dell'intensissimo sfruttamento delle sue acque per l'irrigazione e l'allagamento delle risaie. Al contrario, in caso di precipitazioni eccezionali in alta Valsesia (vedi nel 1968, 1994 o nel 2000) il fiume può raggiungere anche valori di piena impressionanti di 5.500 - 6.000 mc/sec, i più elevati in assoluto tra gli affluenti del Po, tanto da riuscire ad influenzarne pesantemente le piene.

### 2.2 Autorità di bacino del Fiume Po

Il Fiume Sesia è un corso d'acqua di primaria importanza, pertanto è stato oggetto di pianificazione sovraordinata da parte dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.



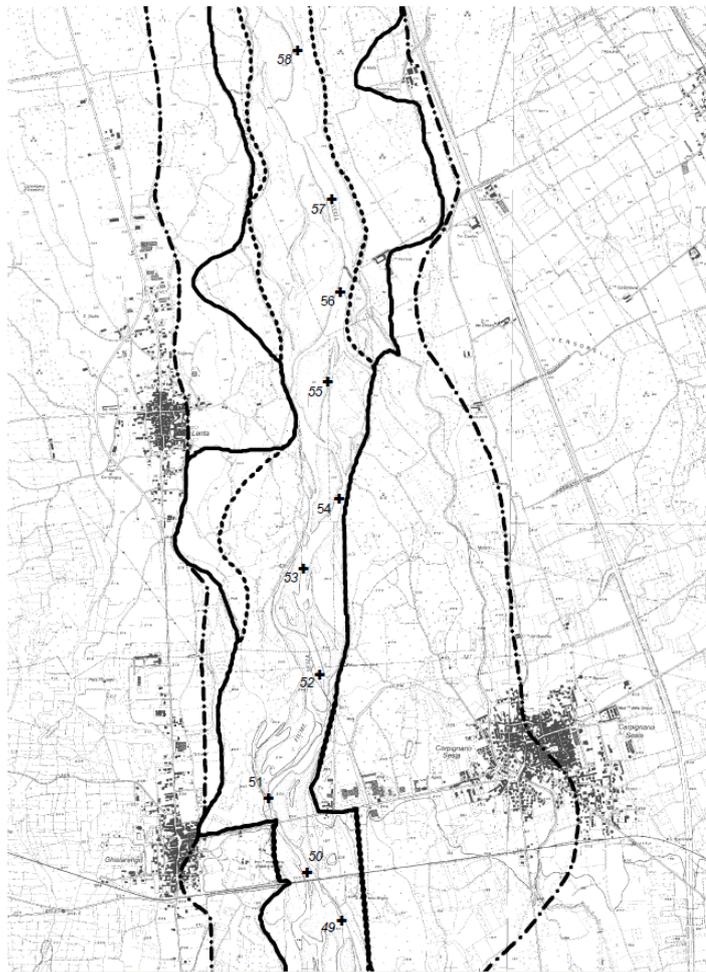
### 2.2.1 PAI – Piano stralcio per l’assetto idrogeologico del bacino del fiume Po

Il Fiume Sesia risulta soggetto a delimitazione delle fasce fluviali dal “Piano Stralcio per l’assetto idrogeologico per il bacino idrografico di rilievo nazionale del Fiume Po”, di seguito denominato PAI, adottato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del Fiume Po con deliberazione 26 aprile 2001, n. 18, ed approvato con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 24 maggio 2001.

Il Piano stralcio, secondo le disposizioni di cui alle relative Norme di Attuazione, definito all’art. 1, comma 3, si prefigge l’obiettivo di garantire al territorio del bacino del Fiume Po un livello di sicurezza appropriato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico ed idrogeologico, anche mediante l’adeguamento degli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica, per questo motivo individua le seguenti fasce di delimitazione delle aree di allagamento, come definite dall’art. 28 delle NTA del PAI:

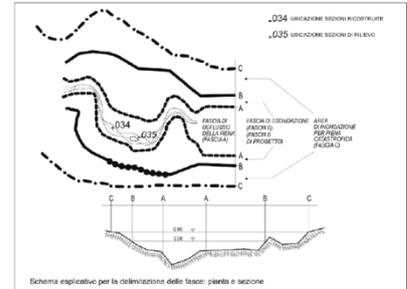
- Fascia di deflusso della piena (Fascia A), costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente del deflusso della corrente per la piena di riferimento;
- Fascia di esondazione (Fascia B), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento;
- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento.

Sulle aree oggetto di intervento sono delimitate le fasce fluviali nella specifica cartografia di piano come riportato nello stralcio di seguito allegato.



LEGENDA

----- (*)	limite (*) tra la Fascia A e la Fascia B
----- (*)	limite (*) tra la Fascia B e la Fascia C
- - - - - (*)	limite (*) esterno della Fascia C
----- (*)	limite (*) di progetto tra la Fascia B e la Fascia C



Elementi conoscitivi  
 area inondabile per eventi della piena di riferimento in assenza dell'intervento di realizzazione del limite dal progetto (solo per i corsi d'acqua per i quali è disponibile lo specifico approfondimento)

Inquadramento  
 rimando ad altra tavola e numero della tavola

(\*) il limite è individuato dal bordo interno del grafismo



Stralcio PAI - Tavole di delimitazione delle fasce fluviali - FOGLIO 116 SEZ. IV - Carpignano Sesia

## 2.2.2 Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Sesia

L'ATI Hydrodata S.p.A. - INTECNO-DHI - Risorse Idriche S.p.A. ha redatto nel 2004 per conto dell'Autorità di Bacino del Fiume Po lo Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Sesia del fiume Sesia, nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po.

Nell'ambito dello stesso è stata svolta un'analisi idrologica ed idraulica con definizione delle portate di piena e delle aree di allagamento per eventi con tempo di ritorno di 2, 20, 200 e 500 anni e individuazione di un piano complessivo di messa in sicurezza del territorio riferito ad eventi con TR 200 anni.

Le attività di cui allo studio sopra citato possono essere classificate come:

- 1) *Indagini di campo e analisi conoscitive*: riguardano le indagini di caratterizzazione in campo del sistema fluviale relative agli aspetti piano – altimetrici, alle opere idrauliche, alle caratteristiche geomorfologiche e alle condizioni di uso del suolo;
- 2) *Analisi idrologica e idraulica*: per la parte idrologica l'attività riguarda gli approfondimenti sulla determinazione delle portate di piena al colmo, delle onde e dei volumi di piena, in relazione alle esigenze legate alla definizione dell'assetto di progetto del sistema fluviale. Per





### Evento di piena storico del 1968

Il modello numerico monodimensionale e quasi-bidimensionale del fiume Sesia è stato validato confrontando i risultati della simulazione con gli effetti dell'evento di piena del 1968.

In quell'occasione si è verificato un allagamento di parte dell'abitato di Carpignano Sesia, dove i maggiori danni si sono avuti per effetto del Canale Brusca e non per contributo diretto del Sesia.

### Analisi idraulica

Dall'esame dei profili idrici e delle aree di esondazione ottenuti dalle simulazioni idrodinamiche, svolte dall'Autorità di Bacino, è emerso che *tra le sezioni SS66 e SS62 l'estensione delle aree golenali interessate da esondazione aumenta notevolmente a partire dall'evento con tempo di ritorno di 20 anni, pur non interessando centri abitati, e appoggiandosi, con l'evento cinquecentennale, al rilevato dell'autostrada A26 presso Ghemme. A valle fino alla sezione SS41 (progressiva 90350) non si rilevano criticità particolari in quanto gli eventi di piena defluiscono all'interno del sistema difensivo articolato sia in sponda destra sia in sponda sinistra, pur presentando franchi ridotti (evento TR200) o locali esondazioni (evento TR500). L'unica struttura che manifesta una criticità al deflusso delle piene è il manufatto SS\_MAN51: la quota di intradosso minima viene superata di circa 30 cm dal pelo libero calcolato per la piena duecentennale e di circa 60 cm dal pelo libero cinquecentennale. (cfr. Elaborato: 3.1.2.2/1/1R Relazione metodologica e di analisi dell'attività: Fiume Sesia – Cap.5).*

Si riporta di seguito stralcio dei risultati delle simulazioni idrodinamiche di interesse, in cui è riportata la quota del Pelo Libero (P.L.) del profilo di corrente.

#### **Evento con tempo di ritorno di 2 anni**

N. Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	y (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fr (-)	V (m/s)	H (m s.m.)
SS55	80540	211.59	216.05	4.46	1643	0.50	1.66	216.19
SS54	81282	208.52	212.02	3.50	1644	0.47	2.03	212.23
SS53	81821	205.75	209.69	3.94	1644	0.66	2.21	209.94
SS52	82613	201.45	205.18	3.73	1644	0.65	1.45	205.29

#### **Evento con tempo di ritorno di 20 anni**

N. Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	y (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fr (-)	V (m/s)	H (m s.m.)
SS55	80540	211.59	216.81	5.23	2997	0.48	2.02	217.02
SS54	81282	208.52	213.03	4.51	2998	0.46	2.58	213.37
SS53	81821	205.75	210.56	4.81	2998	0.69	2.14	210.79
SS52	82613	201.45	206.00	4.55	2999	0.53	1.72	206.15

#### **Evento con tempo di ritorno di 200 anni**

N. Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	y (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fr (-)	V (m/s)	H (m s.m.)
SS55	80540	211.59	217.46	5.87	4462	0.78	2.35	217.74
SS54	81282	208.52	213.84	5.32	4464	0.65	2.61	214.19
SS53	81821	205.75	211.29	5.55	4465	0.77	2.36	211.57
SS52	82613	201.45	206.76	5.31	4465	0.89	1.94	206.95



### Evento con tempo di ritorno di 500 anni

N. Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	y (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Fr (-)	V (m/s)	H (m s.m.)
SS55	80540	211.59	217.67	6.08	4995	0.44	2.45	217.98
SS54	81282	208.52	214.10	5.58	4997	0.53	2.66	214.46
SS53	81821	205.75	211.54	5.79	5000	0.60	2.44	211.84
SS52	82613	201.45	207.03	5.58	5001	0.41	2.00	207.23

STRALCIO - Elaborato 3.1.2.2./1/1K: Cartogrammi e rappresentazioni grafiche e tabellari: Fiume Sesia  
ALLEGATO 3: Risultati delle simulazioni idrodinamiche

#### Assetto di progetto

Per la definizione dell'assetto di progetto lo studio di fattibilità ha assunto come condizione idraulico-ecologico generale di riferimento quella definita nel PAI e nel PSFF, tramite la delimitazione delle fasce fluviali, l'identificazione degli obiettivi e la definizione delle linee generali di intervento.

In particolare è stata delimitata la *Fascia di divagazione massima compatibile* del Fiume Sesia, basata sulla sovrapposizione delle aree dove l'alveo attivo (compresi i rami secondari) è effettivamente stato presente in epoca storica o che saranno prevedibilmente occupate dallo stesso nella futura evoluzione a medio termine, e sui settori per i quali non sussistono condizioni di incompatibilità con lo stato di infrastrutturazione ed uso del territorio. Nel tratto di corso d'acqua compreso tra Romagnano Sesia - ponte ferroviario e Ghislarengo - ponte stradale (SS4) la fascia di divagazione massima compatibile risulta avere una larghezza di circa 650-700 m. Lungo tale tratto sono presenti poche opere di difesa spondale lungo le arginature continue, non adatte a svolgere un ruolo di contenimento dell'evoluzione planimetrica, mentre sono stati ritenuti come "strategici" un tratto di argine rivestito in corrispondenza delle sezioni n. 54 e n.55 e le opere di difesa poste a monte degli attraversamenti stradali e ferroviari all'altezza degli abitati di Carpignano Sesia e Ghislarengo.

Lo studio di fattibilità dell'autorità di bacino nella descrizione del *modello di funzionamento idraulico del corso d'acqua* nel tratto compreso tra Romagnano Sesia e la confluenza del Torrente Cervo evidenzia quanto segue.

*L'alveo è poco incassato ed è affiancato da numerosi paleoalvei riattivabili per piene significative; soprattutto a valle di Gattinara esso presenta caratteristiche di transizione da ramificato-monocursale per progressiva trasformazione di un originario alveotipo marcatamente ramificato: è una configurazione non stabile causata anche dalla presenza di arginature continue in entrambe le sponde che concentrano le portate di piena al loro interno. Il livello di protezione dalle piene non è adeguato localmente, nonostante la scarsa presenza di centri abitati in adiacenza al corso d'acqua: una porzione dell'abitato di Gattinara è interessata da esondazioni per la piena duecentennale così come una porzione degli abitati di Lenta e di Carpignano Sesia nel caso in cui il sistema arginale esistente dovesse collassare a causa della scarsa affidabilità strutturale che lo caratterizza.*

Nello studio di fattibilità vengono quindi definiti 3 diversi possibili scenari di intervento:

- uno scenario che prevede una possibilità di deflusso a tergo delle attuali arginature lungo le due fasce laterali estese fino alla nuova delimitazione proposta per la fascia B (scenario denominato "no argini");



- b) uno scenario che prevede la compartimentazione delle due porzioni di regione fluviale sopraccitate mediante la realizzazione di arginature trasversali con funzione di interruzione del deflusso in piena lungo le fasce laterali. Quest'ultimo scenario è stato ulteriormente esaminato in relazione a due differenti modalità di funzionamento in merito alla laminazione della piena:
- b.1 funzionamento "a cassa", con un sistema di alimentazione costituito da una luce regolata, localizzata lungo la linea arginale esistente e posizionata in modo da ottimizzare la capacità di invaso della singola cassa o comparto golenale;
  - b.2 funzionamento "non regolato" con un sistema di alimentazione da valle attraverso un'apertura arginale e l'eventuale rimodellamento di una porzione di area golenale per incrementarne la potenzialità di invaso.

Sulla base di quanto è risultato dalle simulazioni idrauliche ed in relazione alla necessità di migliorare la sicurezza idraulica del tratto fluviale, riducendo l'attuale grado di vulnerabilità del sistema di difesa dalle piene, privilegia la proposta corrispondente allo scenario "b.2".

#### Fasce fluviali

In relazione alle analisi idrauliche e geo-morfologiche sviluppate lo studio di fattibilità propone il tracciamento delle fasce fluviali per al tratto più a monte del corso d'acqua, attualmente non "fasciato" e la revisione delle fasce fluviali del fiume Sesia definite dal PSFF.

Si riporta quanto previsto per il Tratto Gattinara - Ghislarengo, ponte stradale (SS4).

**Fascia A:** *Questo tratto è il primo, procedendo da monte verso valle, interessato da arginature continue su entrambe le sponde; analogamente al tracciato della Fascia di divagazione massima compatibile, la Fascia A è stata posta lungo i suddetti rilevati ed è quindi caratterizzata da un tracciato piuttosto regolare e rettilineo.*

*Si segnala che, a differenza della già citata Fdmc, posta in avanzamento di almeno 20 m rispetto alle arginature dove queste non si trovano già in frodo alla attuale sponda, la Fascia A è tracciata lungo il piede dei rilevati arginali, congruentemente con le verifiche idrauliche effettuate relative sia alla porzione di alveo comprendente l'80% della portata duecentennale sia al settore interessato da velocità superiori a 0,4 m/s.*

*Il tracciato della Fascia A in vigore, evidentemente influenzato dalla passata posizione dell'alveo inciso, è incompatibile con l'andamento del corso d'acqua e con le opere di contenimento dei livelli di piena attualmente presenti (in particolare si segnala il tratto compreso tra le sezioni n. 54 e 53).*

**Fascia B:** *Questo tratto è caratterizzato dalla presenza di arginature continue su entrambe le sponde e l'attuale tracciato della Fascia B coincide per lo più con esse ad eccezione del settore in destra idrografica in corrispondenza dell'abitato di Lenza, dove la Fascia è arretrata rispetto ai rilevati arginali.*

*La proposta di tracciato della Fascia B prevede un arretramento dell'esistente fino al limite naturale delle aree esondabili valutate per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno duecentennale, prevedendo limiti artificiali come le arginature solo ove strettamente necessario. Il tracciato risultante si sviluppa in sinistra idrografica, per un primo tratto lungo il piede del rilevato autostradale, quindi risvolta verso il fiume per aggirare l'abitato di Carpignano Sesia; in destra esso si attesta lungo il limite del terrazzo, su cui si trovano gli abitati di Lenta e Ghislarengo.*



*Sempre in destra, si segnala la presenza di un tratto di Fascia B di Progetto tra le sezioni di rilievo n.56 e 54, per la messa in sicurezza dei fabbricati più prossimi al corso d'acqua, posti ai piedi del succitato terrazzo.*

*Un secondo tratto di Fascia B di Progetto è posto, in sinistra, tra le sezioni 57 e 51.1, in corrispondenza del già descritto restringimento della Fascia B, all'altezza dell'abitato di Carpignano Sesia; essa si raccorda al rilevato arginale posto immediatamente a monte del doppio attraversamento stradale - ferroviario.*

*Un terzo tratto di fascia B di progetto, sempre presso Carpignano, conferma il tracciato della B di Progetto in vigore tra l'infrastruttura viaria e quella ferroviaria. In questo tratto, rimangono comprese all'interno della Fascia B alcune aree destinate dagli strumenti di pianificazione alla realizzazione di insediamenti produttivi o residenziali.*

**Fascia C:** *In questo tratto, il limite di Fascia C in destra idrografica non ha subito variazioni di rilievo, se non l'affinamento di scala e l'adattamento al piede del terrazzo su cui si appoggia anche la Fascia B.*

*In sinistra idrografica, invece, la Fascia è stata notevolmente arretrata, congruentemente con lo sviluppo delle aree esondabili per un tempo di ritorno cinquecentennale; essa si sviluppa, per la maggior parte dell'estensione del tratto, lungo il piede del rilevato autostradale, quindi, in prossimità dell'abitato di Carpignano Sesia, prima si avvicina all'alveo poi attraversa l'abitato.*

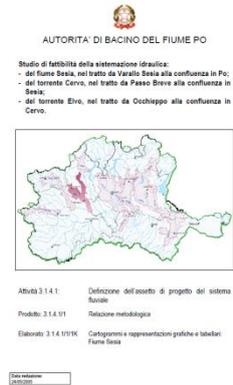
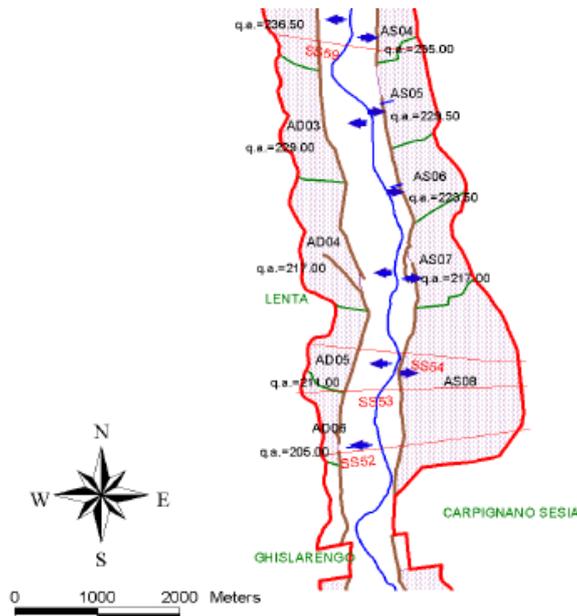
### Interventi previsti

Gli interventi previsti nell'ambito dello studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino sono congruenti con la delimitazione delle fasce fluviali precedentemente descritte.

In particolare nei tratti fluviali per i quali si è proposto l'arretramento della Fascia B dall'attuale sistema arginale (considerato ad elevata vulnerabilità) al limite del terrazzo esistente ovvero ad una linea arginale di più modesta consistenza, si sono individuati alcuni ambiti omogenei che possono favorire un recupero naturalistico e funzionale delle aree fluviali. Tali ambiti risultano compresi tra l'argine a fiume (normalmente in frodo o prossimo alla sponda) e la delimitazione della fascia B di progetto.

All'interno di ciascun ambito (o macroarea omogenea) si sono previsti degli interventi finalizzati, da un lato, ad impedire l'instaurarsi di deflussi verso valle tali da provocare situazioni di dissesto per erosione o l'apertura di canali di scolo preferenziali, dall'altro, a favorire l'eventuale ingresso da valle delle portate di alimentazione. Allo scopo si sono previste delle opere trasversali, funzionali all'invaso ed alla protezione (dove possibile) di case sparse od aree produttive, tali da suddividere gli ambiti sopraccitati in aree invasabili tra loro indipendenti; ciascuna area potrà essere alimentata da valle, per cui l'invaso avverrà per risalita con velocità trascurabili, eventualmente prevedendo opportune aperture lungo il sistema arginale esistente.

Si riporta di seguito dagli elaborati dello studio di fattibilità di interesse.



ALLEGATO 1  
Planimetrie schematiche con la  
compartimentazione degli ambiti di recupero  
naturalistico e funzionale delle aree golenali  
(configurazione di progetto b.1).

TABELLA B  
Quote e parametri di calcolo per la definizione delle fasce corrispondenti all'80% QTR 200 ed a velocità > 0.4 m/s.

Num. Sezione	Progressiva (m)	Quota fondo minimo (m.s.m.)	Quota fondo medio (m.s.m.)	$\Delta$ fmed-fmin (m.s.m.)	Quote p.l. QTR200 (m.s.m.)	Altezza d'acqua sul fondo medio (m)	Progressive di sezione 80% QTR200			Progressive di sezione velocità >0.4m/s		
							iniziale	finale	$\Delta$	iniziale	finale	$\Delta$
SS55	80540.0	211.59	213.80	2.21	217.46	3.66	962	1406	444	749	1406	657
SS54	81282.0	208.52	209.48	0.96	213.84	4.36	1191	1527	336	1164	1700	536
SS53	81821.0	205.75	206.62	0.87	211.29	4.67	682	1212	530	682	1355	673
SS52	82613.0	201.45	203.45	2.00	206.76	3.31	687	1367	680	614	1367	753

TABELLA D.2  
Risultati delle simulazioni idrauliche nella situazione relativa all'assetto di progetto (configurazione b.2.2 – "volumi invasabili")

Configurazione b.2.2 – "volumi invasabili"								
N. Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. attuale (m s.m.)	P.L. progetto (m s.m.)	$\Delta$ (m)	Q attuale (m³/s)	Q progetto (m³/s)	$\Delta$ (m³/s)
SS55	80540	211.59	217.46	217.46	0.00	4462	4457	-5
SS54	81282	208.52	213.84	213.86	0.02	4464	4457	-6
SS53	81821	205.75	211.29	211.26	-0.03	4465	4459	-6
SS52	82613	201.45	206.76	206.76	0.00	4465	4459	-6

STRALCIO - Elaborato: 3.1.4.1/1/1K Cartogrammi e rappresentazioni grafiche e tabellari: Fiume Sesia

### 2.2.3 Interventi previsti dalla pianificazione di bacino

Nell'area oggetto di interesse lo studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino prevede un intervento specifico, identificato con il codice SS SI RA 10 relativo alla sistemazione del rilevato arginale esistente in sponda sinistra del Fiume Sesia a monte dell'abitato di Carpignano Sesia.

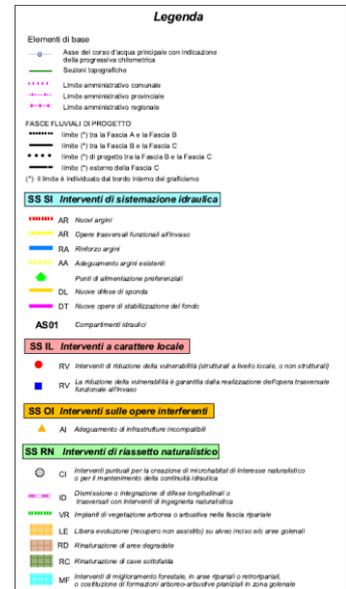
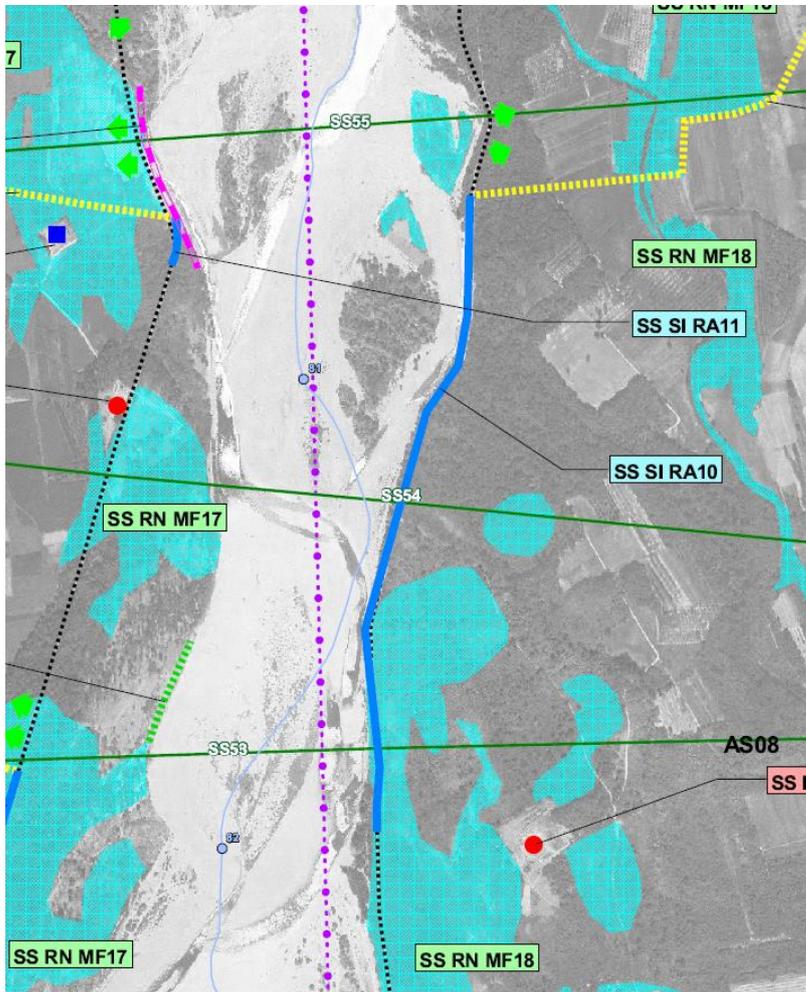
In particolare l'intervento prevede:

*L'intervento si estende per complessivi 1240 m e riguarda l'argine esistente situato a valle di cascina Comunità (opera SSAR0160 – Rif. Catasto delle opere - Att. 3.X.1.5).*

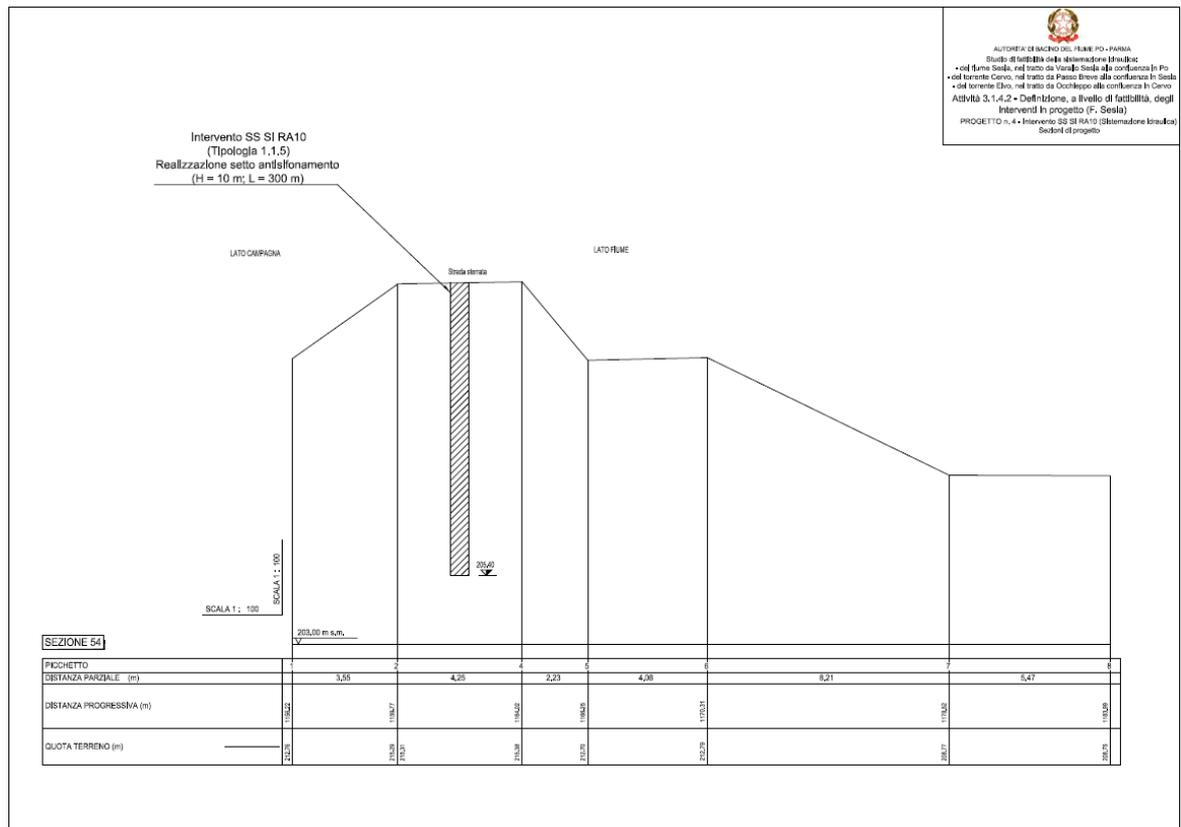
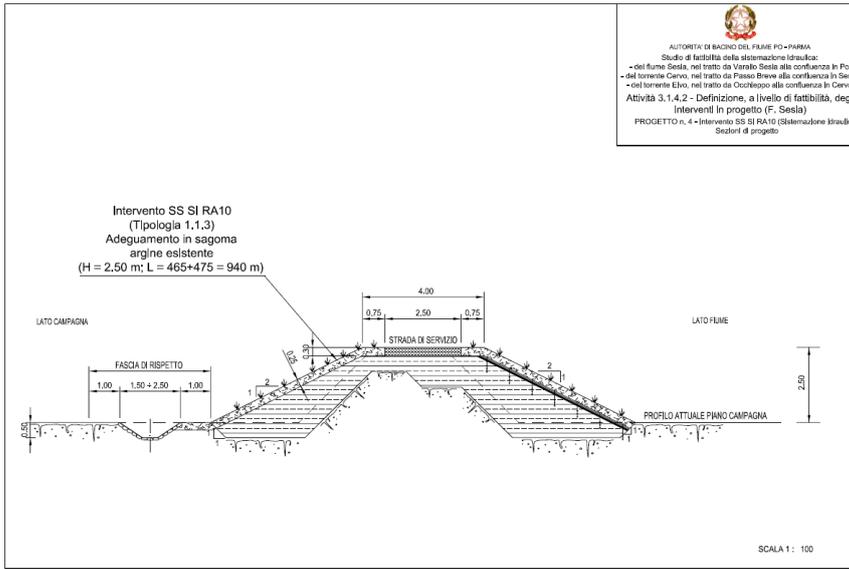
*Esso consisterà nel ringrosso del corpo arginale (Rif. Elaborato 3.1.4.2/5/1R - tipologia 1.1.3) sul lato campagna (in quanto l'opera esistente, sul paramento lato fiume, ha un rivestimento in lastre di cls in buone condizioni) e, nel tratto centrale (per la presenza di un paleoalveo riattivabile, cioè di terreni altamente permeabili), nella realizzazione di un setto antisfonamento in c.a. di spessore minimo di 60*



cm e profondità indicativa di 10 m; tale setto (in alternativa) potrebbe essere costituito da colonne di terreno consolidato con la tecnica del jet-grouting (Rif. Elaborato 3.1.4.2/5/1R - tipologia 1.1.5). La scarpata del lato risagomato avrà pendenza pari a 2/1 e sarà ricoperta di terreno vegetale in cui verrà praticato un adeguato impianto vegetativo, con seminagione di un miscuglio di fiorume o sementi prative, che con l'apparato radicale conferirà un adeguato resistenza per la protezione dall'erosione esercitata dalle acque piovane e dagli agenti meteorici. Il rilevato sarà costruito previo uno scavo di scotico, con gradonature di immersione, per la preparazione del piano di posa e compattazione del nuovo materiale, costituito da terra omogenea e di medio impasto (preferibilmente materiale di fiume), costipata in strati successivi di 30÷50 cm, fino ad un'altezza superiore del 10÷15% rispetto a quella di progetto (ciò per tenere conto del costipamento del terreno e dell'argine stesso). La realizzazione del setto interesserà un tratto lungo 300 mentre i tratti di adeguamento in sagoma a monte e a valle saranno lunghi rispettivamente 465 m e 475 m.



**STRALCIO - Elaborato 3.1.4.2/3/1C: Fiume Sesia – Corografia Scala 1:10.000 - PROGETTO 4**  
Tratto da Romagnano Sesia – ponte ferroviario (km 71.5 circa) fino a Ghislarengo – ponte ferroviario (km 84.5 circa)



**STRALCIO - Elaborato 3.1.4.2/4/4R: Descrizione sintetica degli interventi in progetto - PROGETTO 4**  
 Tratto da Romagnano Sesia – ponte ferroviario (km 71.5 circa) fino a Ghislarengo – ponte ferroviario (km 84.5 circa)



### 3 DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI CONSOLIDAMENTO SPONDALE: SCOGLIERA IN MASSI

Nel tratto di interesse, fra le sezioni SS52 e SS54 dello studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino, esteso per complessivi 1240 m a valle di Cascina Comunità, l'argine in sinistra risulta in froldo rispetto al corso del Sesia per 900 m circa. I sopralluoghi effettuati nel 2014 e nel marzo 2015 hanno rivelato una situazione di dissesto delle difese arginali, con massi e prismi in calcestruzzo dislocati, trasportati in alveo dalla forza della corrente, e alcuni tratti in forte erosione.



Difese spondali ammalorate in corrispondenza del tratto di intervento

Tali processi sono andati a diffondersi sull'intero tratto a seguito di modifiche del profilo fluviale e della sua parziale rettificazione conseguente a intensi eventi di piena che hanno coinvolto l'area negli anni passati e che hanno determinato inoltre la scomparsa di un pennello che garantiva l'allontanamento delle acque dalle sponde. Il flusso risulta pertanto parzialmente confinato a ridosso del rilevato arginale, laddove non vi sia la presenza di isole fluviali spondali.

Peraltro i recenti eventi alluvionali del mese di novembre 2016 hanno ulteriormente e sensibilmente accentuato i fenomeni erosivi, in particolare in un tratto della lunghezza di circa mt.100,00 compreso tra le sezioni n°9 e n°11 di cui all'allegato n.5.1 – Progetto: planimetria generale, creando una situazione che richiede un urgente intervento per la sistemazione e messa in sicurezza di detto tratto arginale e che all'atto dell'inizio dei lavori dovrà essere eseguito immediatamente, come si evince dalla seguente documentazione fotografica:



Erosione argine a seguito eventi alluvionale del 21-25 novembre 2016

Appare necessario in questo contesto prevedere la realizzazione di un intervento di consolidamento fluviale consistente nella realizzazione di una scogliera in massi.

Esso contempla la risistemazione di tutta la fondazione sommersa con riposizionamento dei massi e/o prismi in calcestruzzo presenti in alveo e lungo l'esistente difesa spondale, e che risultano smossi o dissestati, o tramite il posizionamento di nuovi massi di idonea pezzatura; e la realizzazione di una protezione in massi estesa fino alla banca intermedia, mediamente collocata ad un'altezza di circa 4 m da fondo alveo, in modo da contenere completamente il livello di piena con TR = 20 anni.



Assetto fluviale del Fiume Sesia in diversi istanti temporali nel tratto di intervento

### 3.1 Metodo di analisi

Il dimensionamento dell'intervento è stato eseguito trascurando, a favore della sicurezza, alcuni fattori dell'opera quali l'irregolarità nella forma dei massi e l'effetto di incastro che ne ostacola il movimento, facendo riferimento a due differenti teorie. La teoria di Shields e quella proposta da Stevens.



### 3.1.1 Teoria di Shields – forze di trascinamento

La teoria di Shields valuta la stabilità di materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente confrontando i valori critici di velocità o di tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) con i valori delle tensioni realmente agenti sulla superficie di interesse.

La condizione di stabilità risulta quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella esercitata dalla corrente sul singolo masso:

$$\tau_{cr} \geq \tau_0$$

La tensione tangenziale sul fondo dell'alveo può essere espressa come:

$$\tau_0 = \gamma R i$$

Dove

- $\gamma$  (kg/m<sup>3</sup>) è il peso specifico dell'acqua,  
 $R$  (m) è il raggio idraulico della sezione  
 $i$  (m/m) è la pendenza del fondo dell'alveo.

L'analisi di stabilità è stata eseguita con riferimento alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields, 1936) attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d} = \Theta (Re^*)$$

- $\tau_{cr}$  (kg/m<sup>2</sup>) la tensione tangenziale critica  
 $\gamma_s$  (kg/m<sup>3</sup>) il peso specifico del materiale  
 $d$  (m) il diametro medio del materiale  
 $\Theta$  parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds di grano ( $Re^*$ ) relativo alla velocità di attrito  $u^*$ .

In particolare alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

- $\Theta = 0.047$  nella espressione di Meyer-Peter, che considera nullo il termine relativo al trasporto solido;
- $\Theta = 0.058 \div 0060$  nella espressione originate di Shields per  $Re^* > 400$ ;
- $\Theta = 0.116$  nella espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo



incastro delle particelle. Risultati del dimensionamento e caratteristiche costruttive

La formulazione della condizione di equilibrio considerata nella presente progettazione è quella sviluppata da Armanini (1990), applicabile quando la dimensione del materiale ( $d$ ) è dello stesso ordine di grandezza del tirante idrico ( $h$ ):

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d} = 0.06 \left[ 1 + 0.67 \left( \frac{d}{h} \right)^{0.5} \right]$$

La formula sperimentale di Armanini è stata ricavata facendo riferimento al movimento di particelle isolate posate sul fondo di un alveo naturale.

Per le verifiche di stabilità delle sponde, la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza della sponda ( $\alpha$ ) rispetto all'orizzontale. Per tali verifiche viene normalmente utilizzata la seguente espressione (Lane 1953):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \left[ \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{tg^2 \alpha}{tg^2 \varphi}} \right]$$

dove  $\tau_{cr}(0)$  è la tensione critica sul fondo,  $\alpha$  la pendenza delle sponde e  $\varphi$  l'angolo di attrito interno del materiale. La stabilità del sistema di protezione può essere giudicata sulla base di un confronto fra la tensione tangenziale ottenuta dal calcolo a quella massima ammissibile caratteristica dell'opera.

La tensione tangenziale agente sulle sponde viceversa si può considerare il 75% di quella sul fondo.

### 3.1.2 Teoria di Stevens – equilibrio limite del masso

La teoria di Stevens (1976) permette di verificare la stabilità di una scogliera ipotizzata una dimensione  $d$  (m) dei massi che la costituiscono, noto l'angolo di inclinazione della scarpata e l'angolo d'attrito del materiale e determinata la velocità della corrente  $u_r$  e la sua direzione.

La teoria considera l'equilibrio e, esprimendo i momenti delle forze agenti su un generico elemento solido, calcola il coefficiente di sicurezza FS. Se questo risulta maggiore di 1 significa che la scogliera è stabile. In fase progettuale è consigliabile prevedere coefficienti di sicurezza adeguatamente elevati (maggiori di 1.3).

$\sigma'$  e  $\sigma$  sono i numeri di stabilità del masso rispettivamente su sponda inclinata e fondo piatto

$\lambda$  (°) è l'angolo diedro esistente tra il piano orizzontale ed il piano inclinato costituente il fondo del corso d'acqua. La tangente di detto angolo non è altro che la pendenza del fondo dell'alveo:



$$i = tg\lambda$$

- $\alpha$  (°) è l'angolo di inclinazione adottato per la scarpata,  
 $\varphi$  (°) è l'angolo d'attrito del materiale in acqua,  
 $d_m$  (m) è il diametro medio del masso,  
 $\tau$  (Pa) è l'azione di trascinamento esercitata dalla corrente sul masso,  
 $u_r$  (m/s) è la velocità della corrente in corrispondenza del masso considerato,

In condizioni di bassa sommersenza ( $\gamma_0/d_m < 6$ ), quando la turbolenza e l'areazione della corrente sono molto elevate, in via pratica si può assumere che la velocità in corrispondenza del singolo elemento sia corrispondente alla velocità media della corrente:

$$u_r = V$$

- $\beta$  [°] è l'angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata:

$$\beta = \arctan\left(\frac{\cos\lambda}{\frac{2\sin\alpha}{\sigma \tan\varphi}} + \sin\lambda\right)$$

A partire dai numeri di stabilità è possibile determinare il fattore di sicurezza, sulla base dei momenti delle forze agenti e quindi verificare l'opera.

$$\sigma = \frac{21 \tau}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) \gamma d} = \frac{0.3 u_r^2}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) g d}$$

$$\sigma' = \sigma \frac{1 + \sin(\lambda + \beta)}{2}$$

$$FS = \frac{\cos\alpha \tan\varphi}{\sigma' \tan\varphi + \sin\alpha \cos\beta}$$

### 3.2 Risultati del dimensionamento e caratteristiche costruttive

La scogliera è stata inizialmente progettata facendo riferimento all'espressione di Shields nella formulazione di Armanini. Per tenere conto dell'inclinazione del paramento si è utilizzata quindi l'espressione di Lane (1953) precedentemente riportata [SARA1].

Il materiale è stato infine verificato secondo la teoria dell'equilibrio limite di Stevens, basata sull'analisi delle forze agenti sull'elemento solido in condizioni di equilibrio limite, con la correzione per la stabilità su sponda inclinata.



La pezzatura del materiale che verrà posizionato sulle sponde è stata valutata con riferimento ad una pendenza del paramento esterno di 3/2, corrispondente ad un angolo sull'orizzontale di 34° ( $\alpha$ ).

Le sezioni considerate sono quelle presso cui è a disposizione una stima della velocità media della corrente, ottenuta mediante le simulazioni idrodinamiche svolte nell'ambito dello Studio di Fattibilità (*Paragrafo 2.2.2*). La velocità della corrente e il tirante idrico presso le sezioni SS53 e SS54 sono riportate nella successiva tabella. Esse sono riferite ad un evento con tempo di ritorno TR=200 anni.

River Station n°	Vel m/s	Flow Area m <sup>2</sup>	tirante m	i
SS54	2.61	1710	5.32	0.005
SS53	2.36	1892	5.55	0.005

L'angolo di attrito interno del materiale da scogliera  $\varphi$  è stato assunto pari a 60° e il peso specifico pari a 2600 kg/m<sup>3</sup>.

I risultati delle verifiche (riportati nelle tabelle seguenti) portano a definire le seguenti considerazioni progettuali:

- La tipologia costruttiva adottata prevede il posizionamento di massi a secco. Si garantisce così un'opera di notevole resistenza che ben si inserisce sia dal punto di vista ambientale sia da quello paesaggistico.
- La scogliera verrà realizzata tramite un rivestimento costituito da una massicciata in pietrame con dimensioni tali da resistere all'azione di trascinarsi della corrente e comunque di pezzatura media non inferiore a 0.4 m<sup>3</sup> per la sponda e 0.8 m<sup>3</sup> per la fondazione, secondo le prescrizioni dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. In sponda i massi dovranno avere diametro non inferiore a  $d = 0.80$  m, con un volume caratteristico e un peso superiori rispettivamente a  $V = 0.8$  d<sup>3</sup> = 0.4 m<sup>3</sup> e  $P = 1065$  kg. I massi posizionati sul fondo dovranno avere diametro medio minimo pari a 1 m e  $P \geq 2080$  kg.

Il coefficiente di sicurezza risulta abbondantemente superiore a 1.4 sia per i massi disposti sul fondo sia per quelli del paramento inclinato.

- La scogliera dovrà avere un piede sufficientemente robusto per evitare lo scalzamento: la fondazione verrà quindi approfondita di 2 m rispetto alla quota del talweg (punto più depresso in una sezione di un corso d'acqua - il fondo). L'estensione a fiume del piede sarà pari a 2.5 m in sommità e ad almeno 3 metri nella parte più profonda.
- L'utilizzo di prismi in calcestruzzo sarà limitato ai soli casi di reimpiego di elementi già presenti in zona, sotto forma di vecchie difese dismesse, e alla sola parte di fondazione sommersa.
- La pendenza della sponda sarà pari a 34° (3/2)



- La sommità dell'opera sarà posta ad una quota pari a circa 4 m dal fondo alveo (si confrontino le sezioni di progetto, *All.5.5 – Progetto: sezioni trasversali e tabelle movimenti terra*) in modo da contenere eventi con TR=20 anni, e sarà immersata per una lunghezza minima di 1.5 m e spessore minimo di 0.80 m.
- La banca avrà pendenza 1/20 in modo da garantire un ottimale deflusso superficiale.

La sistemazione risulta essere in questo modo un'opera flessibile e permeabile che non va ad interferire con i flussi di falda.

L'intervento sarà esteso lungo il tratto compreso tra la sezione 3 e la sezione 17, per una lunghezza di circa 750 m.



**DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA IN MASSI teoria di SHIELDS - forze di trascinamento**

River Sta	Vel	Flow Area	tirante	i	B	2P	R	d massa	FONDO			SPONDA			V massa	P massa
									$\tau_0$	$\tau_{cr}$	FS	$\tau_0(\alpha)$	$\tau_{cr}(\alpha)$	FS		
n	m/s	m <sup>2</sup>	m		m	m	m	m	> 1.4			> 1.4			m <sup>3</sup>	kg
SS54	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	0.50	11.47	57.86	5.04	9.06	44.18	4.88	0.10	260
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	0.60	11.47	70.56	6.15	9.06	53.88	5.95	0.17	449
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	0.70	11.47	83.53	7.28	9.06	63.78	7.04	0.27	713
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	0.80	11.47	96.75	8.43	9.06	73.88	8.16	0.41	1065
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	0.90	11.47	110.21	9.61	9.06	84.16	9.29	0.58	1516
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	1.00	11.47	123.89	10.80	9.06	94.60	10.44	0.80	2080
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	1.10	11.47	137.77	12.01	9.06	105.20	11.62	1.06	2768
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	1.20	11.47	151.86	13.24	9.06	115.96	12.80	1.38	3594
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	1.30	11.47	166.13	14.48	9.06	126.86	14.01	1.76	4570
	2.61	1710	5.32	0.005	672.35	691.38	2.47	1.40	11.47	180.59	15.74	9.06	137.90	15.23	2.20	5708

River Sta	Vel	Flow Area	tirante	i	B	2P	R	d massa	FONDO			SPONDA			V massa	P massa
									$\tau_0$	$\tau_{cr}$	FS	$\tau_0(\alpha)$	$\tau_{cr}(\alpha)$	FS		
n	m/s	m <sup>2</sup>	m		m	m	m	m	> 1.4			> 1.4			m <sup>3</sup>	kg
SS53	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	0.50	14.55	57.65	3.96	11.49	44.02	3.83	0.10	260
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	0.60	14.55	70.29	4.83	11.49	53.67	4.67	0.17	449
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	0.70	14.55	83.19	5.72	11.49	63.52	5.53	0.27	713
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	0.80	14.55	96.34	6.62	11.49	73.56	6.40	0.41	1065
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	0.90	14.55	109.71	7.54	11.49	83.77	7.29	0.58	1516
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	1.00	14.55	123.30	8.47	11.49	94.15	8.19	0.80	2080
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	1.10	14.55	137.10	9.42	11.49	104.69	9.11	1.06	2768
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	1.20	14.55	151.09	10.38	11.49	115.37	10.04	1.38	3594
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	1.30	14.55	165.27	11.36	11.49	126.20	10.98	1.76	4570
	2.36	1892	5.55	0.005	667.09	686.94	2.75	1.40	14.55	179.63	12.34	11.49	137.16	11.94	2.20	5708

**DIMENSIONAMENTO SCOGLIERA IN MASSI teoria di STEVENS - equilibrio limite**

**VALUTA LA STABILITA' DEL MASSO SU SPONDA INCLINATA**

g	9,81	m/s <sup>2</sup>
d massi	0,80	m

<b>SS54</b>	Vel	2,61	m/s
	i	0,006	
	$\lambda$	0,006	
	CL	1	
	ur	2,01	m/s
	$\sigma$	0,16275086	
	$\beta$	0,252539343	rad
	$\sigma\alpha$	0,102180576	
	FS	1,9986909	> 1.3

<b>SS53</b>	Vel	2,360	m
	i	0,005	
	$\lambda$	0,005	
	CL	1	
	ur	1,80	m/s
	$\sigma$	0,13306575	
	$\beta$	0,20829534	rad
	$\sigma\alpha$	0,08063515	
	FS	2,090853	> 1.3

velocità media della corrente  
 inclinazione del fondo  
 angolo diedro esistente tra il piano orizzontale e il piano inclinato costituente il fondo del corso d'acqua. La tangente di questo è la pendenza del corso d'acqua  
 non esistono collegamenti fra i massi  
 numero di stabilità del masso - fondo  
 angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della sponda  
 numero di stabilità del masso - sponda  
 coeff di sicurezza al ribaltamento del masso

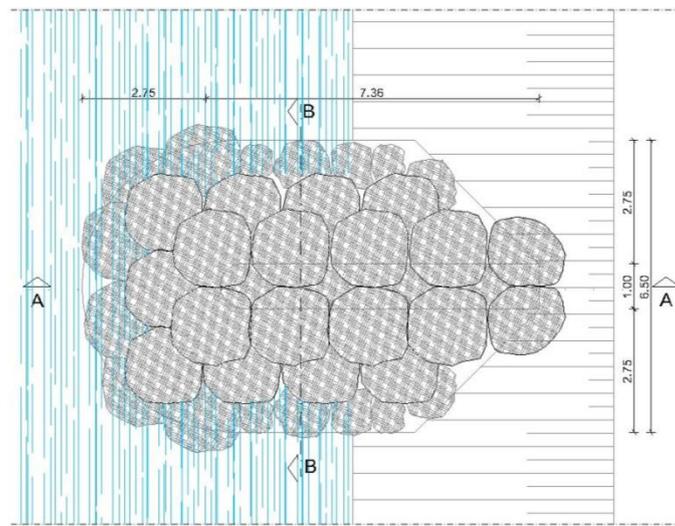
#### 4 DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE TRASVERSALI DI DIFESA SPONDALE: MICROREPELLENTI

Il sistema di opere di difesa trasversale atto ad allontanare la corrente di magra/morbida dalla sponda sinistra attualmente in erosione è costituito da 7 microrepellenti, ubicati tra le sezioni 4 e 16, aventi una lunghezza verso fiume di 6.0 m (Lp) e distanziati l'uno dall'altro di 100 m circa (Ls), come mostrato nella figura seguente:

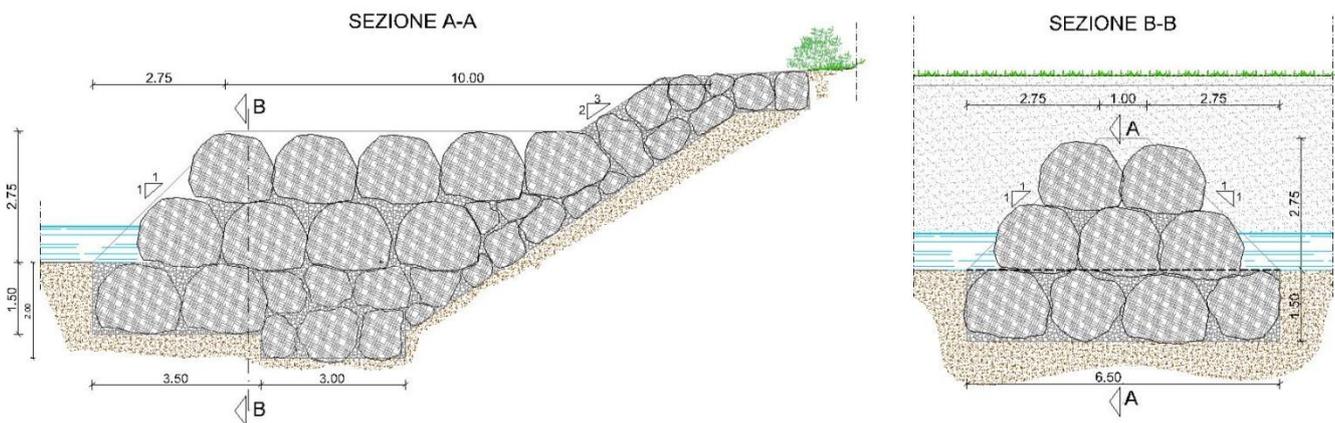


Stralcio planimetrico con ubicazione dei microrepellenti di progetto

Ogni microrepellente ha un'altezza fuori terra di 2.75 m, e pertanto risulta sormontabile per valori di portata superiori a 1640 mc/s (corrispondenti a un tempo di ritorno di 2 anni); la fondazione di base, di larghezza pari a 6.50 m, è immorsata nel terreno per un'altezza di 1.50 m, e si raccorda in sommità con pareti inclinate a 45°. Trasversalmente ogni microrepellente è immorsato nella sponda sinistra, la cui parete ha inclinazione 2/3, per uno spessore minimo di 1.50 m mentre la parete terminale lato acqua ha inclinazione 1/1 (come le pareti laterali), come mostrato nelle figure seguenti.



Vista planimetrica tipo di un microrepellente in massi di progetto



Sezione trasversale e longitudinale tipo di un microrepellente in massi in progetto

#### 4.1 Verifica della lunghezza del microrepellente e dell'interasse tra i microrepellenti

La lunghezza ( $L_p$ ) di ciascun microrepellente, misurata dal piede dell'argine verso fiume, e l'interasse tra i microrepellenti sono legate dalla seguente relazione:



$$L_S \leq \frac{18 * \beta (L_P * h)^{4/3}}{d_{50}^{1/3} (L_P + 2h)}$$

Dove:

$\beta$  è un fattore correttivo = 0.6

$d_{50}$  è il diametro caratteristico del materiale presente in alveo, assunto pari a 0.05 m (come da prove granulometriche eseguite sui campioni prelevati<sup>1</sup>);

$h$  è il tirante idrico per  $Q = 1643$  mc/s ( $Tr = 2$  anni) = 2.75 m, valore desunto dalla relazione idraulica dello studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino del fiume Po (2004)

$L_P$  è la lunghezza del microrepellente = 6.0 m

Sostituendo i valori di progetto nell'equazione precedente si ottiene  $L_S \leq 107$  m, e dunque il valore adottato di 100 m risulta essere corretto.

Tale valore può essere verificato utilizzando anche la seguente relazione:

$$\frac{L_S}{L_P} = 3.2 + 24.8F_r$$

Dove:

$F_r$  è il valore del numero di Froude, che per il tratto in esame assume i seguenti valori:  
sez.SS54 = 0.47, sez.SS53 = 0.66

Sostituendo i valori di progetto, per  $L_S = 100$  m, si ottiene:

$L_P = 6.73$  m, per la sezione SS54

$L_P = 5.11$  m, per la sezione SS53

Il valore adottato di 6.0 m risulta pertanto compreso tra i due valori così stimati.

## 4.2 Dimensionamento dei massi costituenti i microrepellenti

Il dimensionamento dei massi costituenti i microrepellenti di progetto è stato effettuato operando le verifiche al ribaltamento e allo scorrimento.

Si assume di impiegare massi ciclopici del volume minimo di 1.2 mc (~ 3.0 ton).

---

<sup>1</sup> Si veda relazione di accompagnamento alle prove granulometriche eseguite in alveo



#### 4.2.1 Verifica allo scorrimento

La verifica viene effettuata considerando, ai fini della sicurezza, i massi sommitali costituenti il microrepellente, sui quali non grava il peso stabilizzante di altri massi, e si trascura il peso dell'acqua soprastante presente in condizioni di piena eccezionale.

La forza instabilizzante è data dalla spinta dinamica dell'acqua, valutata in condizioni di piena eccezionale con tempo di ritorno di 200 anni ( $Q = 5000 \text{ mc/s}$ ):

$$S = \frac{1}{2} C_d \rho v^2 A$$

Dove:

$C_d$  coefficiente di drag, assunto pari a 2.1

$\rho$  densità dell'acqua = 1000 kg/mc

$v$  velocità della corrente = 2.66 m/s (sezione SS54) valore desunto dalla relazione idraulica dello studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino del fiume Po (2004)

$A$  area sulla quale agisce la spinta, assimilando il volume di un masso a quello di una sfera, essendo  $Vol = 1.15 \text{ mc}$ ,  $A = 1.32 \text{ mq}$  ( $d = 1.3 \text{ m}$ )

Sostituendo i valori di progetto si ottiene  $S = 9856 \text{ N}$

La forza resistente è data dall'attrito che si sviluppa al contatto tra i massi e che vale:

$$N = P' \tan \varphi$$

Dove:

$P'$  è il peso immerso del masso =  $V(\gamma - \gamma_w) = 20'790 - 18046 \text{ N}$ , con  $\gamma = 26000 \text{ N/mc}$ , e  $\gamma_w = 10000 \text{ N/mc}$ ;

$\varphi$  è l'angolo di attrito =  $40^\circ$

Pertanto si ottiene  $N = 15143 \text{ N}$

Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento risulta quindi:  $N/S = 1.53$ , la verifica risulta quindi soddisfatta essendo  $F_s > 1.3$

#### 4.2.2 Verifica al ribaltamento

La verifica al ribaltamento viene effettuata calcolando i momenti delle forze agenti (spinta dinamica dell'acqua e peso immerso del masso) rispetto a un punto A distante 0.75 m (raggio della sfera assimilabile al masso) dal punto di appoggio del masso e giacente sullo stesso piano. Rispetto a tale punto il braccio delle forze è il medesimo, e pertanto la condizione da verificare è la seguente:  $P' > 1.5 S$

Essendo  $P' = 18046$  N e  $S = 9856$  N, si ottiene  $P'/S = 1.83$ , e quindi la verifica risulta soddisfatta.

#### 4.3 Verifica globale del dimensionamento del microrepellente

Le verifiche allo scorrimento e al ribaltamento sono state applicate anche globalmente al singolo microrepellente, al fine di stabilire il minimo numero di massi costituenti ciascun microrepellente.

La sezione di progetto adottata, mostrata nelle figure precedenti, è costituita da circa 40 massi.

Per la verifica allo scorrimento globale dev'essere:

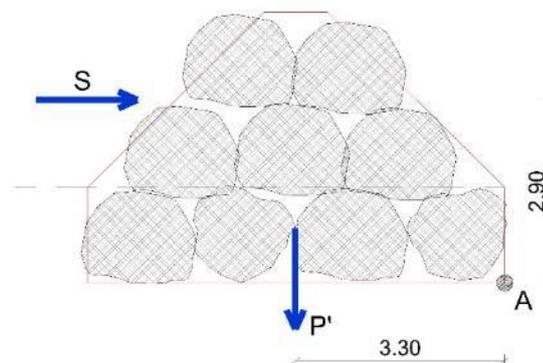
$$P' \tan \varphi > 1.3 S$$

E quindi

$$P' > \frac{1.3 S}{\tan \varphi}$$

Assumendo  $\varphi = 15^\circ$  al contatto terreno-struttura, si ottiene  $P' > 4.85 S$

Per la verifica al ribaltamento globale rispetto al punto A si considera lo schema riportato nella figura seguente:



Schema di calcolo adottato per la verifica globale al ribaltamento di un microrepellente di progetto

-Risulta:

$$\frac{Ms}{Mr} = \frac{3.3 P'}{2.90 S} > 1.5$$

E pertanto dev'essere  $P' > 1.32 S$ .

Ai fini della verifica risulta quindi più restrittiva la verifica allo scorrimento.

Riprendendo la condizione precedentemente valutata si ha:  $P' > 4.85 S$



Considerando la spinta dinamica dell'acqua applicata alla superficie del microrepellente esposta alla corrente, pari a 18.5 mq, si ottiene  $S = 0.5 \cdot 2.1 \cdot 1000 \cdot 2.66 \cdot 2.66 \cdot 18.5 = 137500 \text{ N}$

Pertanto  $P' > 666875 \text{ N}$

Il volume minimo complessivo di massi da impiegare risulta quindi pari a:

$$V = \frac{P'}{\gamma - \gamma_w} = \frac{666875}{26000 - 10000} = 41.67 \text{ mc}$$

Poiché ogni masso ha un volume di circa 1.15 mc occorrono  $41.67/1.15 = 36$  massi per garantire la stabilità dell'intera struttura. La sezione adottata, costituita da circa 40 massi, risulta pertanto verificata con ampio margine.



## 5 VERIFICA AL SIFONAMENTO E INTERAZIONE CON LE ACQUE SOTTERRANEE

Nel tratto di interesse, compreso fra le sezioni topografiche SS55 e SS52 definite nello studio di fattibilità si è riscontrato, nel corso di sopralluoghi effettuati nel luglio 2014 e nel marzo 2015, che l'attuale tracciato di dell'alveo di magra del fiume Sesia porta il flusso di corrente a sbattere, in direzione ortogonale, contro il rilevato arginale, in prossimità dell'ubicazione della Fontana della Cavalla. La Fontana e il canale Busca, riattivatisi in occasione dell'evento di piena storico del 1968, determinando ingenti danni all'abitato di Carpignano Sesia, evidenziano una risposta della falda lato campagna a decise variazioni del livello idrometrico in alveo. Risulta quindi importante, nell'ambito di intervento, valutare la risposta del sistema da un punto di vista idraulico in termini di filtrazione.

Il problema di filtrazione all'interno del corpo arginale costituisce un problema di filtrazione a frontiera libera. Il suolo è costituito da materiale permeabile e l'acqua è libera di scorrere all'interno dei pori fra le particelle solide; il livello di falda varia nel tempo in accordo con le condizioni climatiche e, più in generale, con le condizioni al contorno. La verifica relativa a fenomeni di filtrazione che possano coinvolgere il sistema costituito dal corpo arginale e dagli strati sottostanti, è necessaria per valutare la stabilità dello stesso e deriva da una stima delle grandezze idrauliche che si determinano a seguito del verificarsi di un fenomeno di piena.

Un criterio empirico di prima approssimazione, frequentemente usato nella pratica, è quello di ipotizzare che la linea freatica abbia andamento rettilineo a partire dal livello di massima piena, con pendenza compresa tra  $1/5$  e  $1/7$ . La verifica risulta soddisfatta qualora la superficie libera di filtrazione rimanga interna al rilevato stesso, ricoperta da uno spessore di terreno non inferiore di 0.8 m, senza intersecare il paramento lato campagna.

La presenza di materiali a permeabilità diversa e condizioni al contorno idrauliche note consentono e richiedono l'esecuzione analisi più approfondite del meccanismo che siano in grado di andare a simulare al meglio il reale comportamento di filtrazione all'interno del rilevato. I vantaggi di un'analisi in regime transitorio si scontrano con l'indeterminatezza di alcuni parametri richiesti, ricavabili solo tramite prove geotecniche specifiche. D'altra parte risultati attendibili e sicuramente cautelativi si ottengono in condizioni stazionarie, corrispondenti al massimo livello di piena.

### 5.1 Metodo di analisi

L'analisi è stata eseguita attraverso l'impiego di un software di calcolo basato sulla teoria degli elementi finiti (FEM). Si è quindi utilizzato il modulo SEEP/W della GEOSLOPE, che consente di calcolare il moto di filtrazione (in condizioni stazionarie o in regime transitorio) dell'acqua in un generico dominio di analisi, assegnata la geometria, parametri di natura idraulica dei materiali e le condizioni al contorno.



### 5.1.1 Dominio di analisi e condizioni al contorno idrauliche lato campagna

Il sistema è stato rappresentato grazie alla creazione di un dominio che raffigura una sezione trasversale rispetto all'asse arginale. Il dominio rappresenta l'argine nelle reali dimensioni e si estende lato campagna di una lunghezza adeguata in modo tale che l'effetto della piena non possa andare idealmente ad influenzare le condizioni al contorno idrauliche assegnate al limite esterno. Tali condizioni coincidono con la linea piezometrica evidenziata dall'attuale falda freatica, riscontrata nel sito in esame ad una quota media di circa 208.3 m s.l.m. nei pressi della Fontana della Cavalla e di circa 205 m s.l.m. nei pressi della sez.7, in entrambi i casi a circa 7 metri di profondità dalla testa dell'argine.

Le caratteristiche dei terreni sono state desunte dalle analisi geotecniche e dalle nozioni reperibili in bibliografia in funzione del tipo di materiale considerato. Le funzioni che legano la permeabilità ed il contenuto volumetrico di acqua in funzione della suzione di matrice del terreno per i vari strati sono state definite basandosi sui risultati delle indagini geologiche e tramite correlazioni con i numerosi dati disponibili in letteratura.

Vengono individuati tre strati con caratteristiche differenti entro una profondità di circa 15 metri dalla testa dell'argine. Il primo layer è costituito da ghiaia e sabbia con ciottoli, la cui permeabilità  $k = 1 \cdot 10^{-4} m/s$  è stata stimata sulla base dei risultati delle prove Lefranc (*All.2.2 – Relazione geologica e geotecnica*). Esso si estende fino ad una profondità di circa 10 /11 m dalla cresta dell'argine.

A circa 11 / 12 metri di profondità è stato individuato un livello di spessore massimo 3 metri circa caratterizzato da ciottoli e ghiaie a matrice sabbiosa. La variabilità di tale layer non è quantificabile con precisione in quanto si possiedono dati solamente in corrispondenza dei due sondaggi S1 (corrispondente alla sez.7) e S2 (fra le sez.22 e 23) e delle misure sismiche. Questo livello piuttosto permeabile è stato chiaramente individuato in corrispondenza del sondaggio S2. In corrispondenza del sondaggio S1, il diametro medio del materiale è comparabile con quello del materiale rinvenuto in S2 ad una profondità di circa 11 m dalla testa dell'argine. Il profilo di velocità ottenuto dall'indagine sismica evidenzia la presenza di un livello caratterizzato da  $V_s$  molto elevate, comprese fra 700 e 1200 m/s, consistente in depositi ghiaioso-ciottolosi ad una profondità fra gli 8 e i 10 m da piano campagna. Il risultato della tomografia invece non restituisce chiaramente la presenza di questo livello. [SARA2]

E' possibile in definitiva assumere una discreta persistenza di tale layer piuttosto permeabile lungo il tratto di interesse. La sua presenza influenza il regime di filtrazione e per questo motivo è stato opportunamente rappresentato nella geometria di analisi.

Più in profondità i sondaggi hanno rilevato la presenza di ghiaia e noduli argillosi in matrice fine (da sabbiosa ad argillosa) meno permeabili.

La permeabilità di entrambi i depositi è stata valutata grazie a dati disponibili in letteratura, in quanto nessuna prova di permeabilità è stata effettuata in corrispondenza di questi.



### 5.1.2 Condizioni al contorno idrauliche lato fiume

Le condizioni al contorno idrauliche assegnate al dominio in corrispondenza della superficie arginale lato fiume coincidono con i valori del livello idrico del Fiume Sesia calcolati per un evento avente tempo di ritorno di 200 anni.

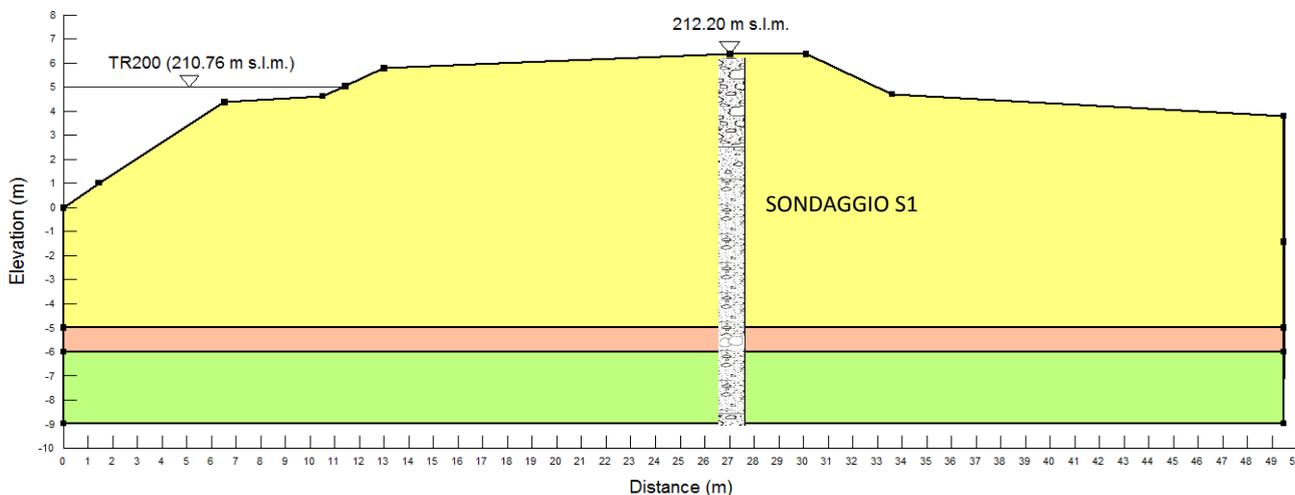
Tali valori sono stati determinati per ogni sezione di progetto a partire dai valori risultanti dalle simulazioni idrodinamiche svolte per conto dell'Autorità di Bacino nell'ambito dello Studio di Fattibilità (Paragrafo 2.2.2), mediante interpolazione lineare.

tr 200 anni													
sez.	$\Delta L$	$\Delta h$	pl		sez.	$\Delta L$	$\Delta h$	pl		sez.	$\Delta L$	$\Delta h$	pl
			m slm					m slm					m slm
ss53			211.30		ss53			211.30		18/ss54			213.84
9	14.54	0.08	211.22		10	37.05	-0.17	211.47		19	49.76	0.24	214.08
8	42.93	0.25	210.97		11	50.69	-0.24	211.71		20	45.37	0.22	214.30
7	36.73	0.21	210.76		12	48.42	-0.23	211.94		21	40.8	0.20	214.50
6	77.8	0.45	210.31		13	77.98	-0.37	212.31		22	51	0.25	214.75
5	47.43	0.27	210.04		14	53.61	-0.25	212.56		23	60.09	0.29	215.05
4	63.04	0.36	209.68		15	46.44	-0.22	212.78		24	32.49	0.16	215.20
3	60.71	0.35	209.33		16	41.87	-0.20	212.98		25	46.83	0.23	215.43
2	57.83	0.33	209.00		17	44.93	-0.21	213.19		26	39.44	0.19	215.62
					18/ss54	51.66	-0.24	213.84		27	112.85	0.55	216.18
										28	59.08	0.29	216.46

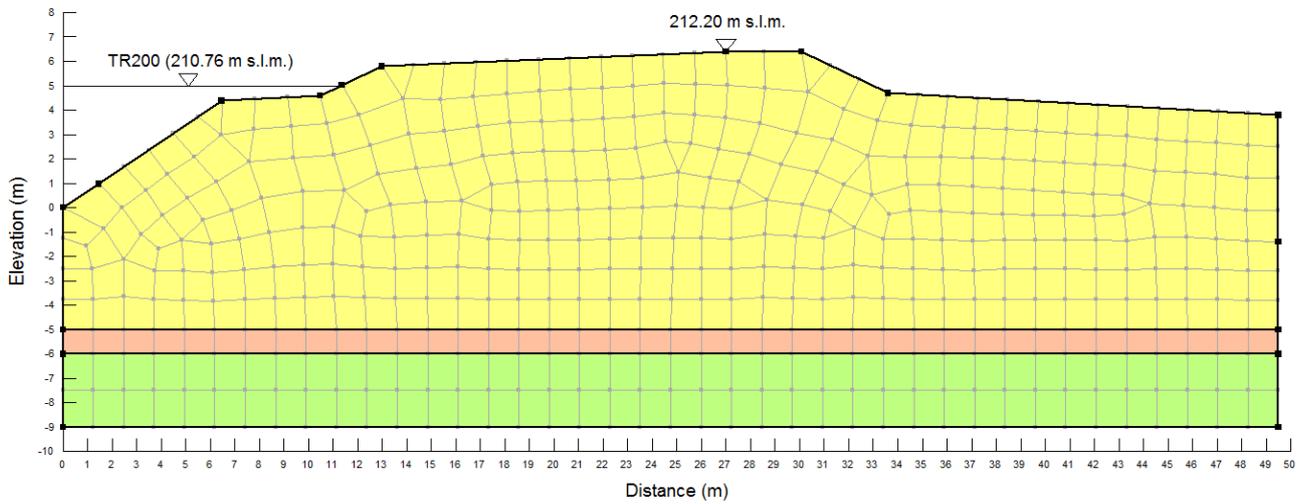
Quota del pelo libero (TR200) calcolata per ogni sezione di progetto a partire dai dati alle sez. SS53 e SS54 dello studio di fattibilità

### 5.2 Validazione e risultati ottenuti

L'analisi del problema di filtrazione è stata effettuata discretizzando il dominio di analisi mediante una mesh di calcolo bidimensionale costituita da elementi di forma quadrangolare o triangolare. Nell'immagine seguente si riporta la schematizzazione di una delle sezioni analizzate: la sezione 7, presso cui è stato effettuato il sondaggio S1, è qui rappresentata. Si osservano la geometria implementata, corrispondente a quanto emerso dallo studio geologico e geotecnico e la sua discretizzazione in elementi ai cui nodi verrà determinata la soluzione del problema FEM.



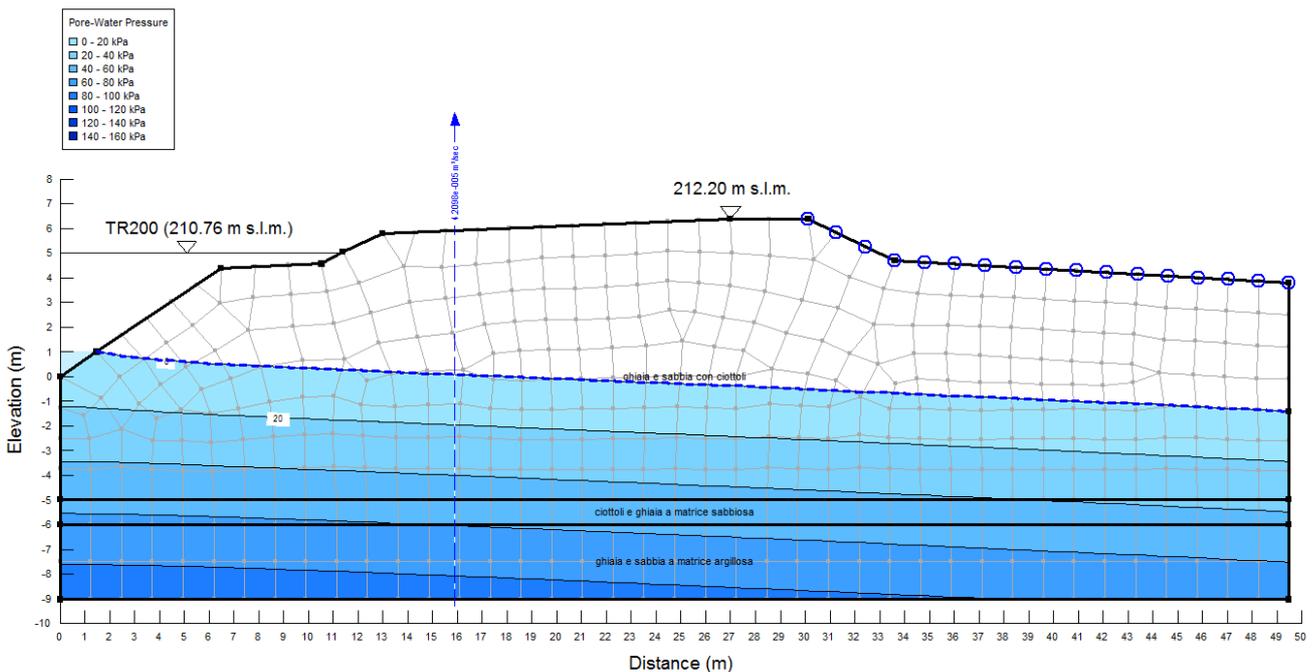
Dominio di analisi e identificazione della stratigrafia (sez.7)



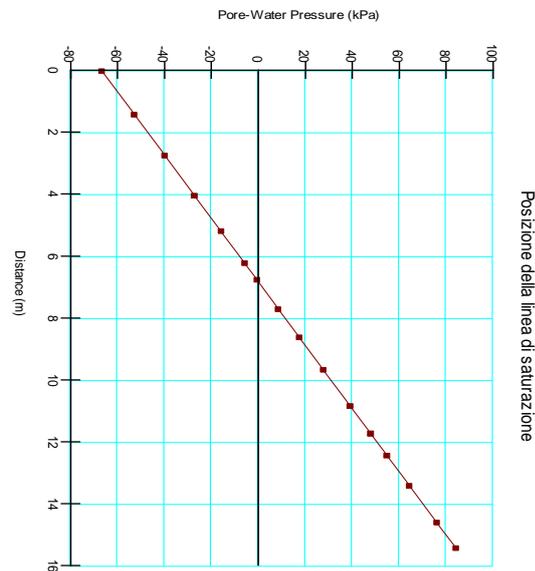
Mesh di calcolo (sez.7)

Prima di procedere con la verifica, l'analisi è stata opportunamente validata considerando lato fiume un carico idraulico pari a quello presente in alveo in data 09/10 marzo 2015, al momento dell'esecuzione della misura piezometrica. Tale livello si assestava ad una quota di +1 m circa rispetto al fondo dell'alveo.

L'analisi in condizione di magra ha individuato l'altezza della linea di saturazione ad una profondità di circa 7 metri al di sotto della testa dell'argine, coincidente con quanto misurato mediante il piezometro.



Validazione dell'analisi per un livello pari a circa +1 m rispetto al fondo alveo (sez.7)

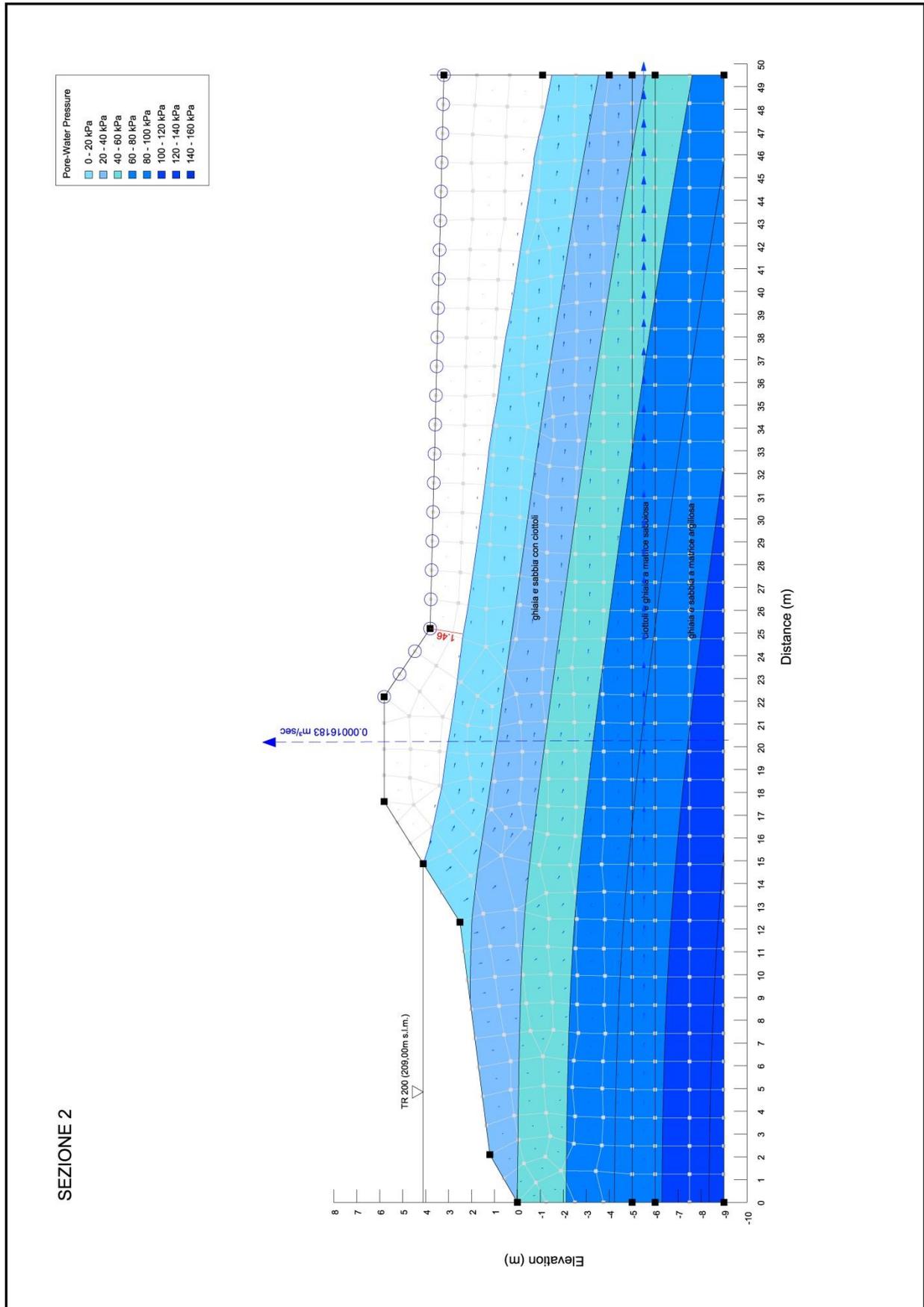


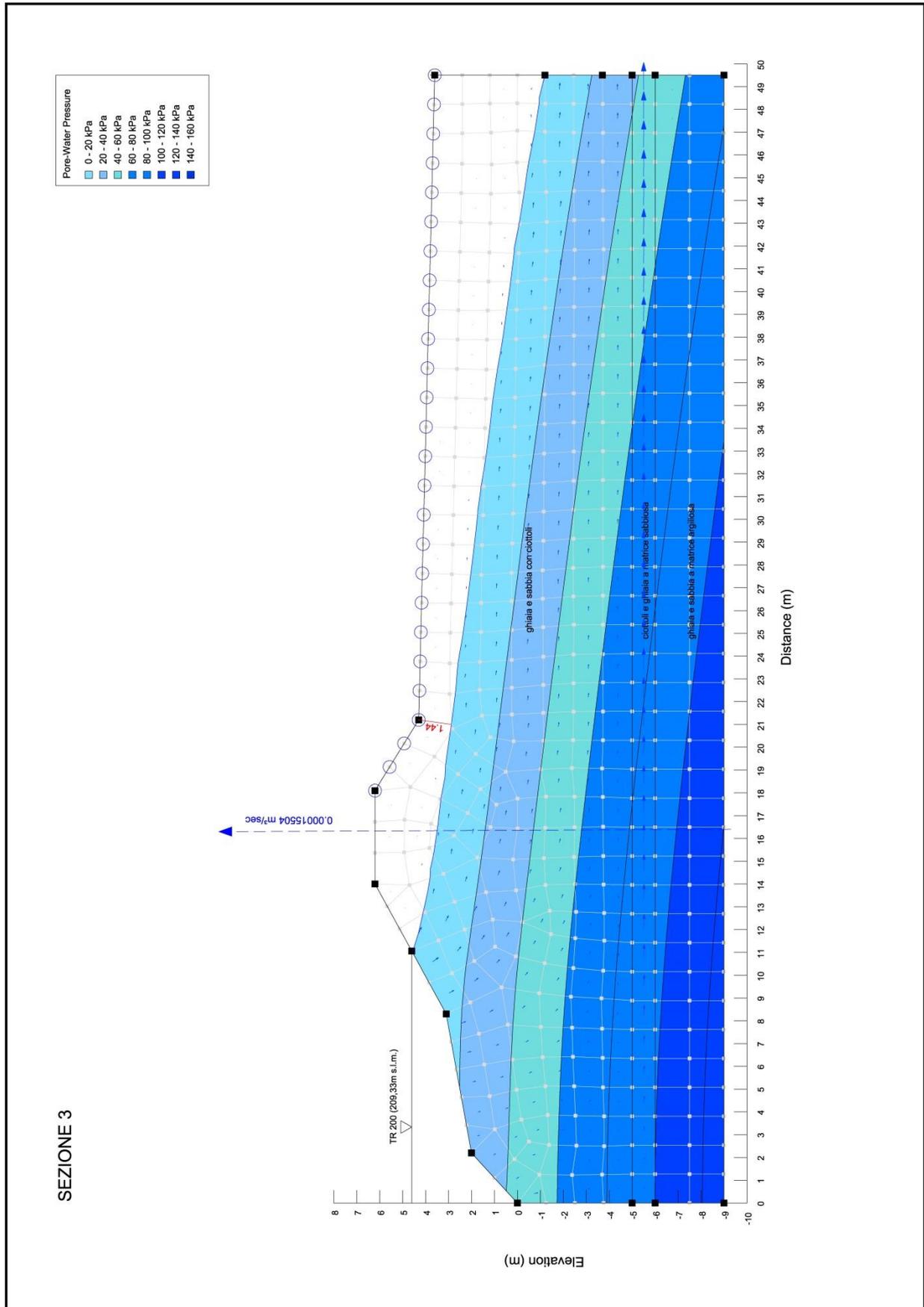
Andamento della pressione interstiziale rispetto alla testa dell'argine (sez.7)

Ogni sezione è stata verificata impostando il livello di piena duecentennale lato fiume e si è ricavata la posizione della linea di saturazione.

I risultati ottenuti possono essere visualizzati nelle pagine successive, dove si rappresenta anche il valore di portata filtrante attraverso il corpo arginale in una sezione di interesse e il flusso espresso in termini di vettori velocità di filtrazione.

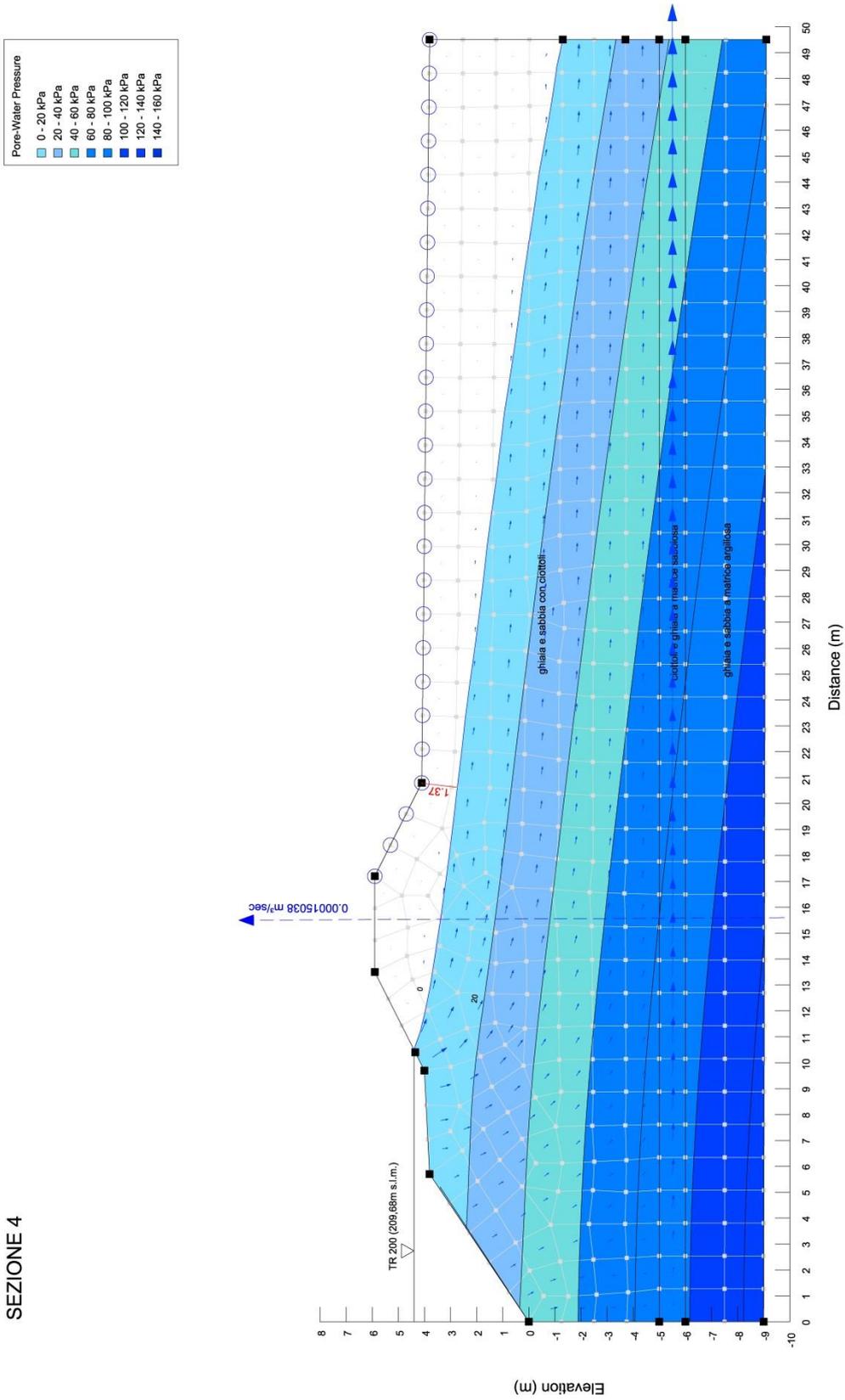
Nelle immagini [SARA3] sono rappresentati anche i Potential Seepage Face Review nodes ovvero i nodi di potenziale drenaggio superficiale. I nodi caratterizzati da un cerchio rosso sono quelli presso cui avviene flusso, viceversa quelli blu rappresentano punti di non-flusso.

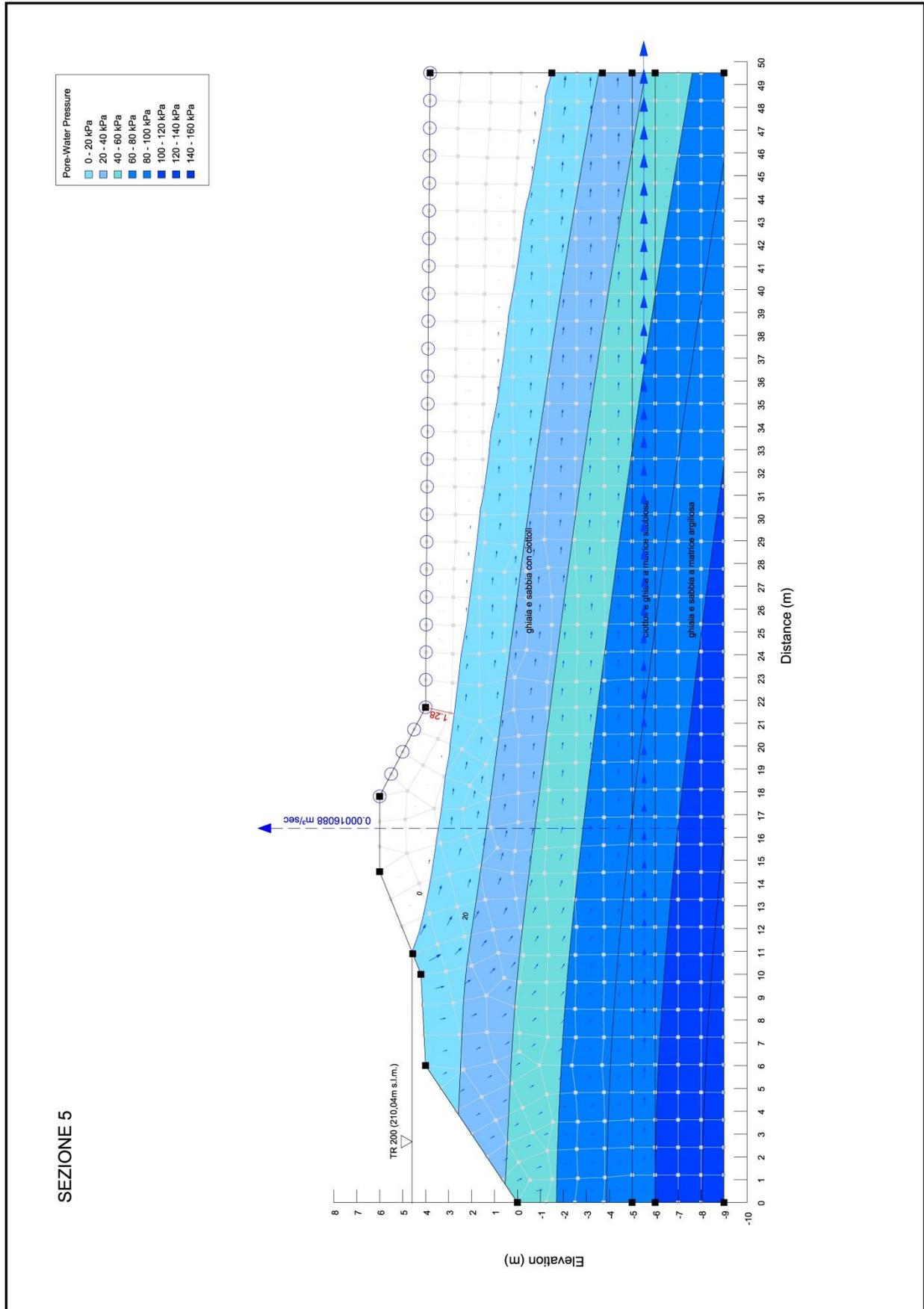


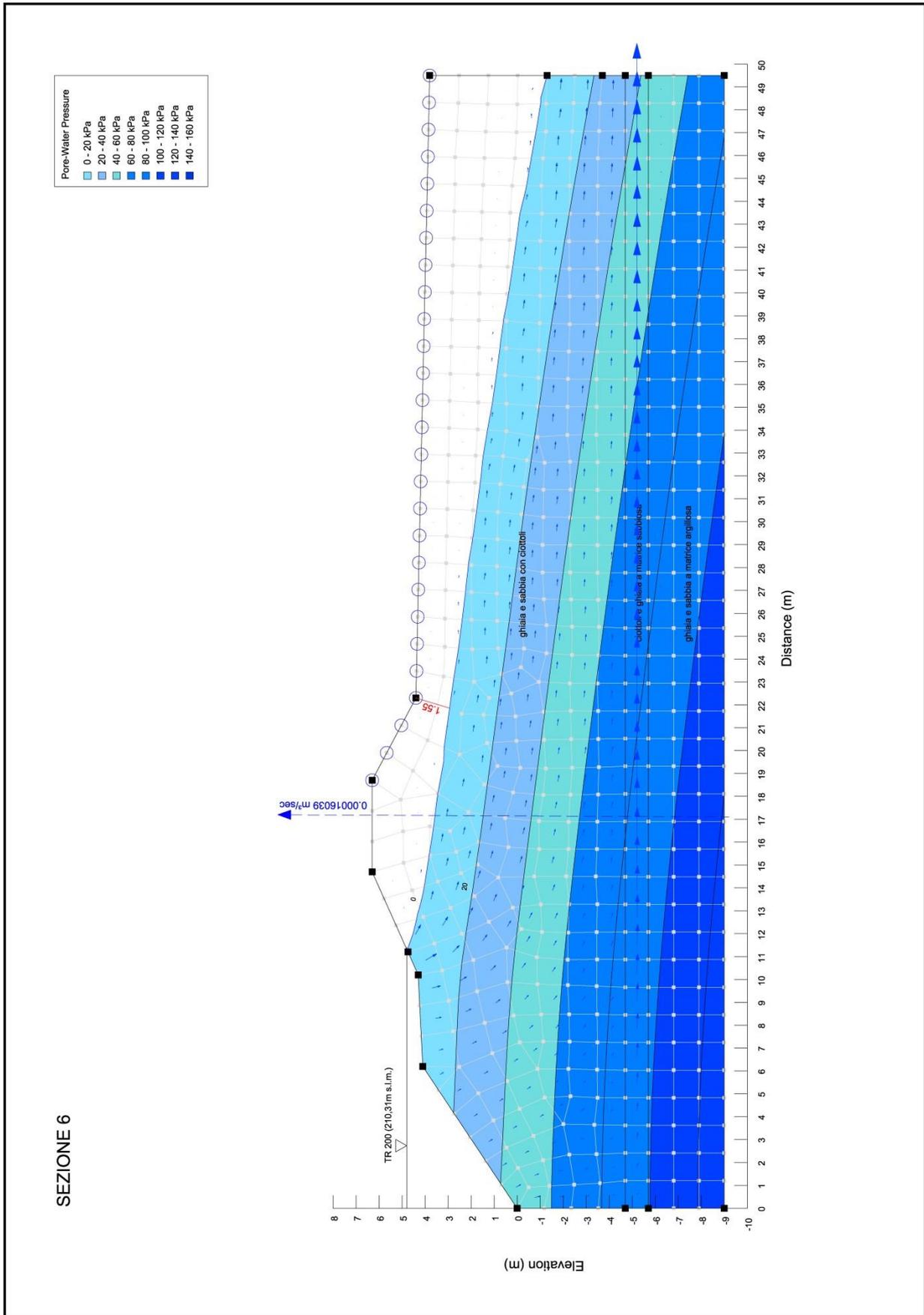




SEZIONE 4

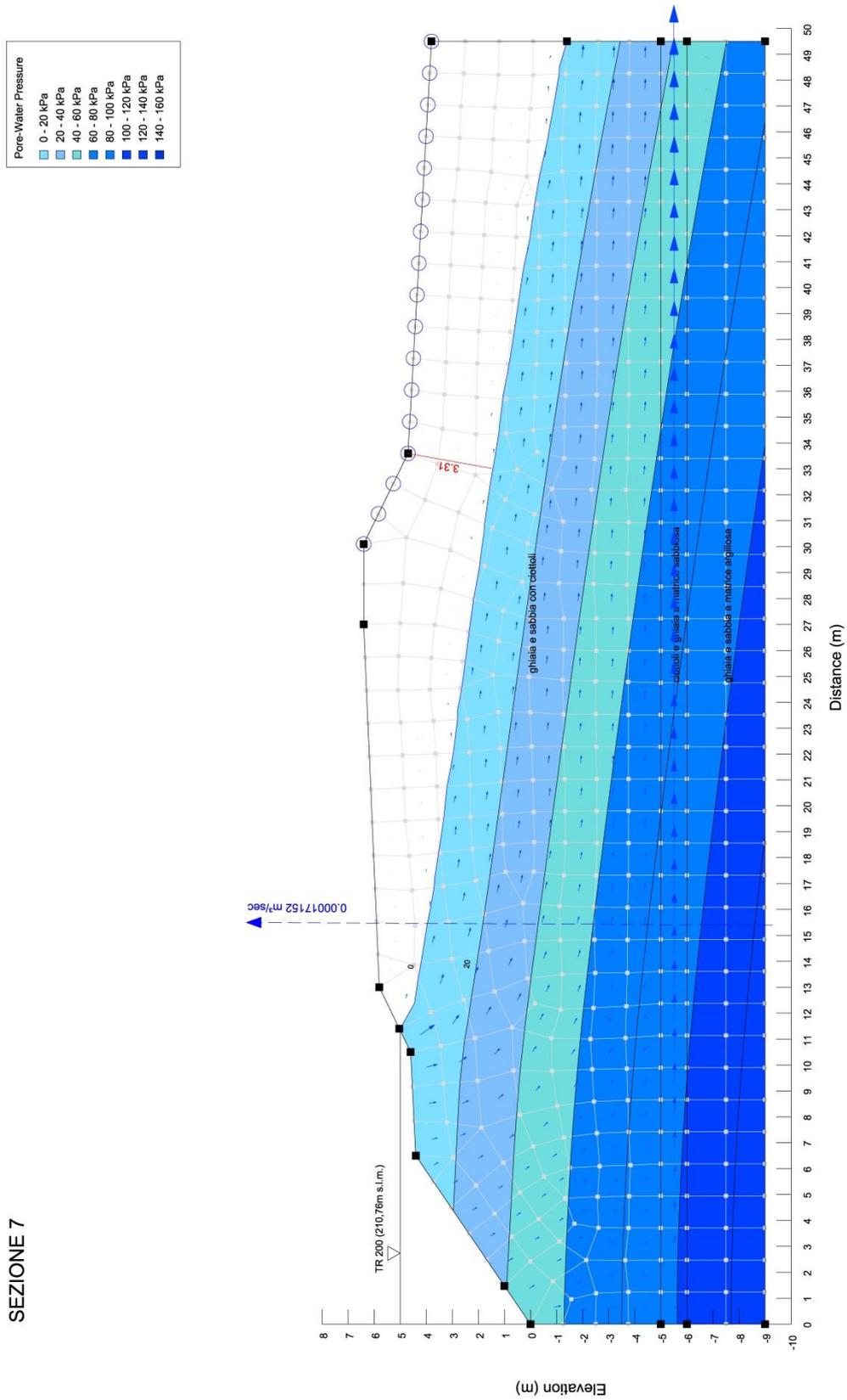






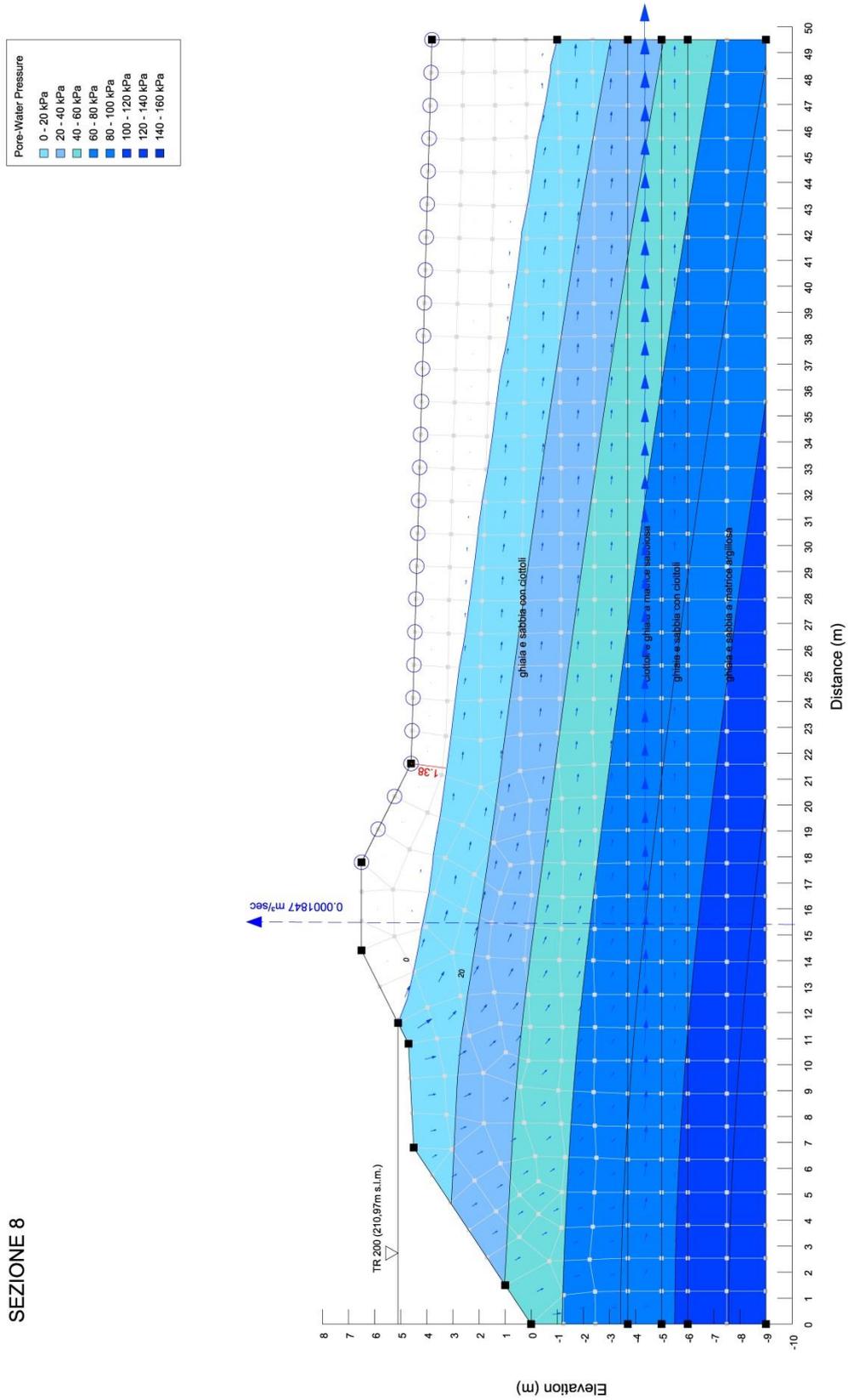


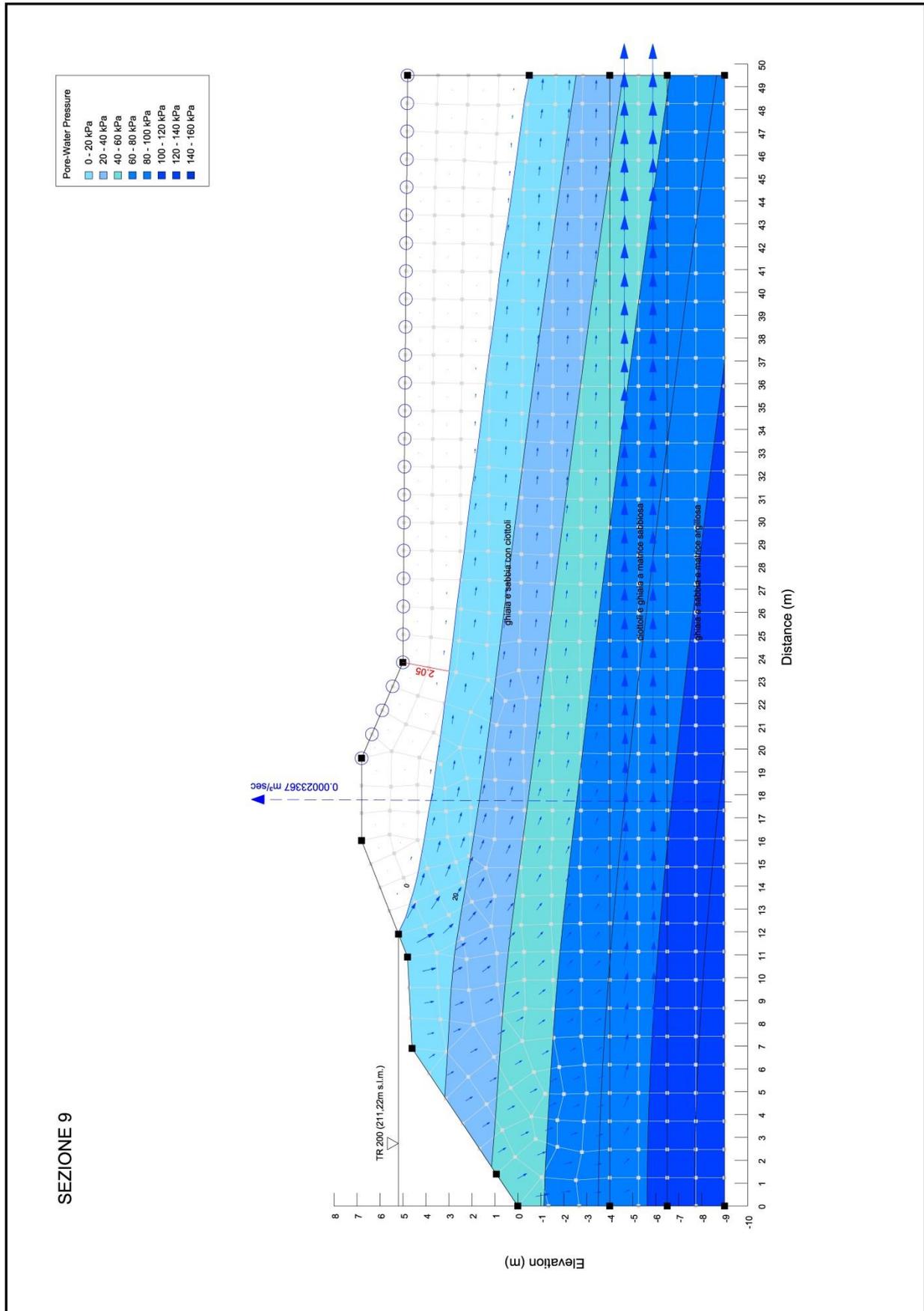
SEZIONE 7

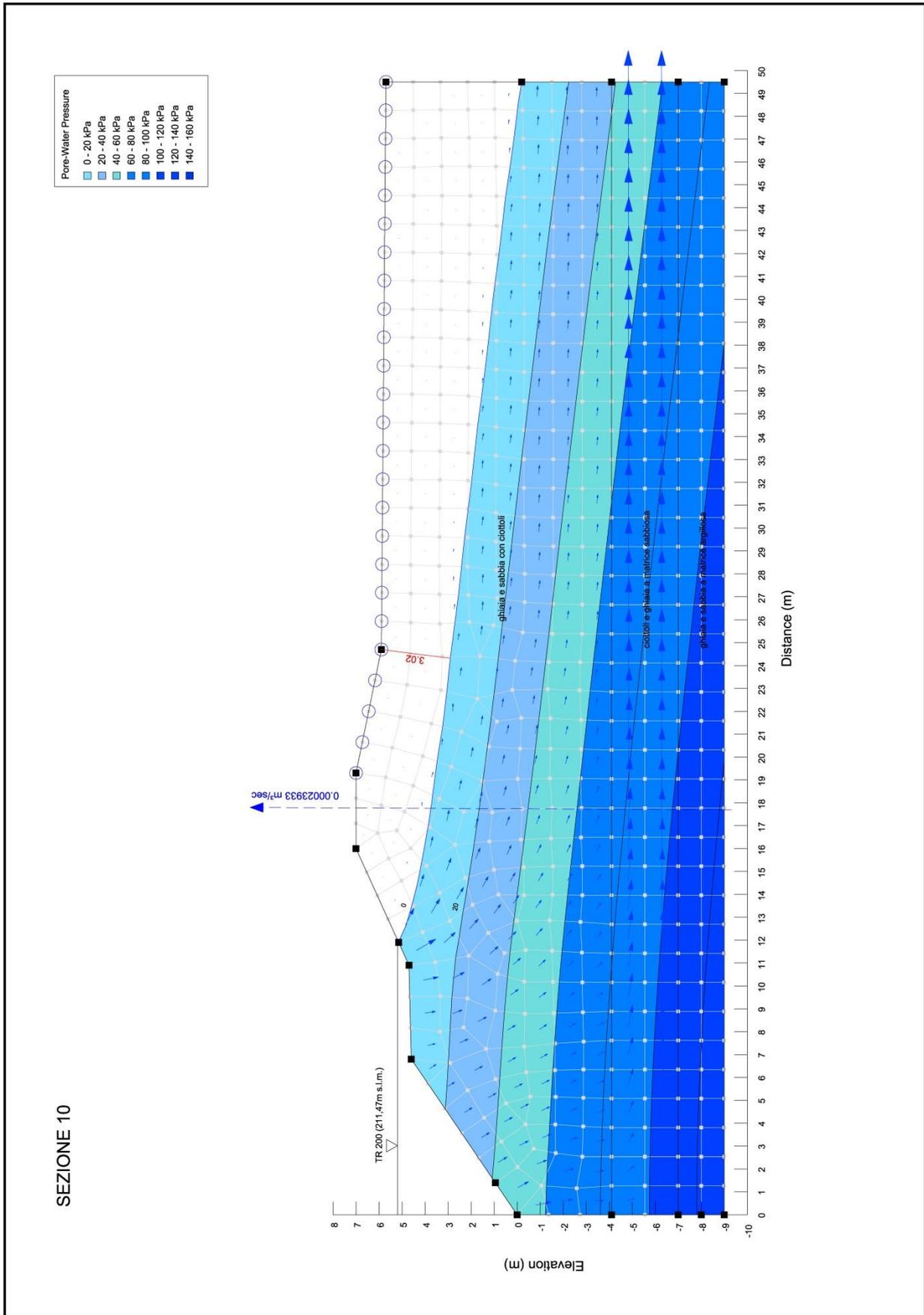


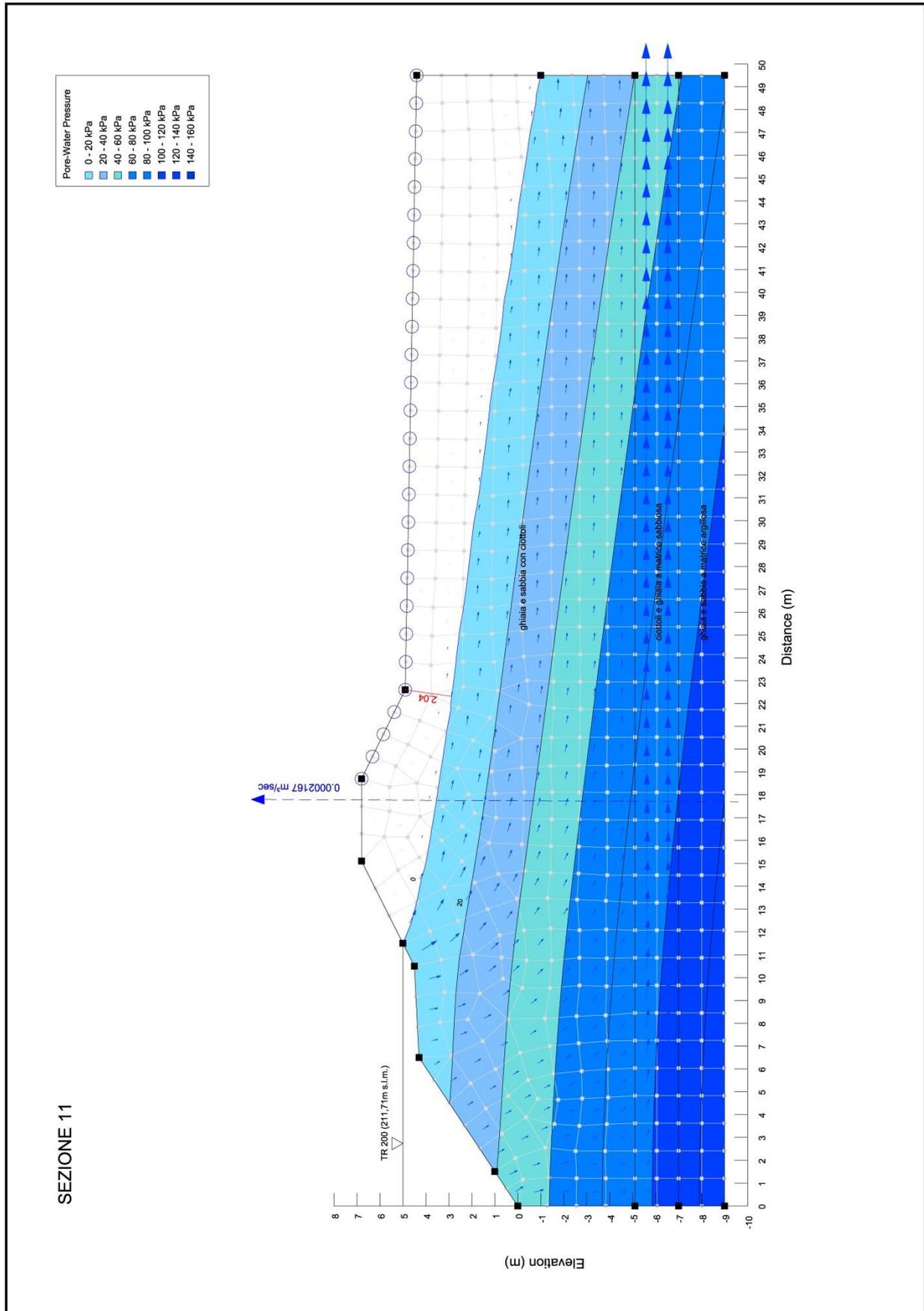


SEZIONE 8







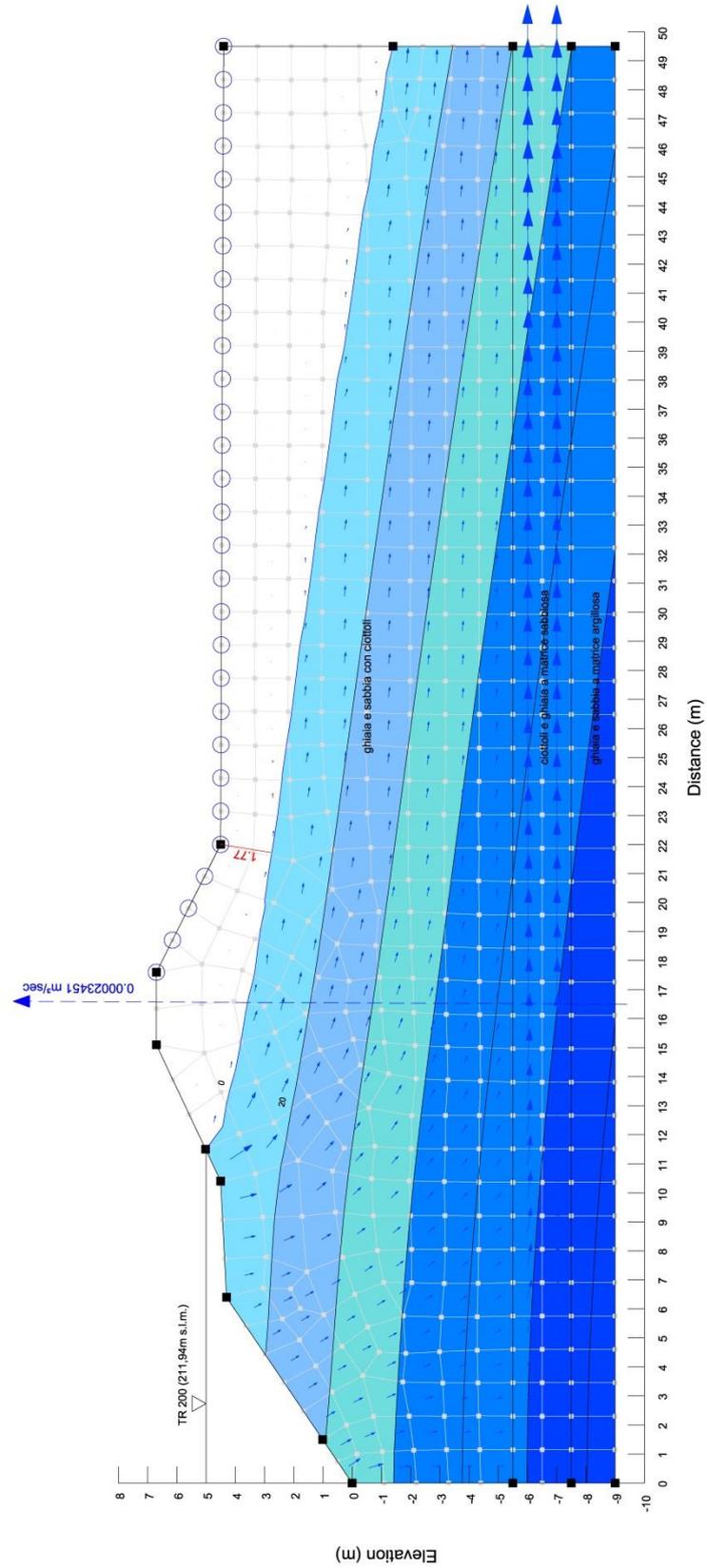


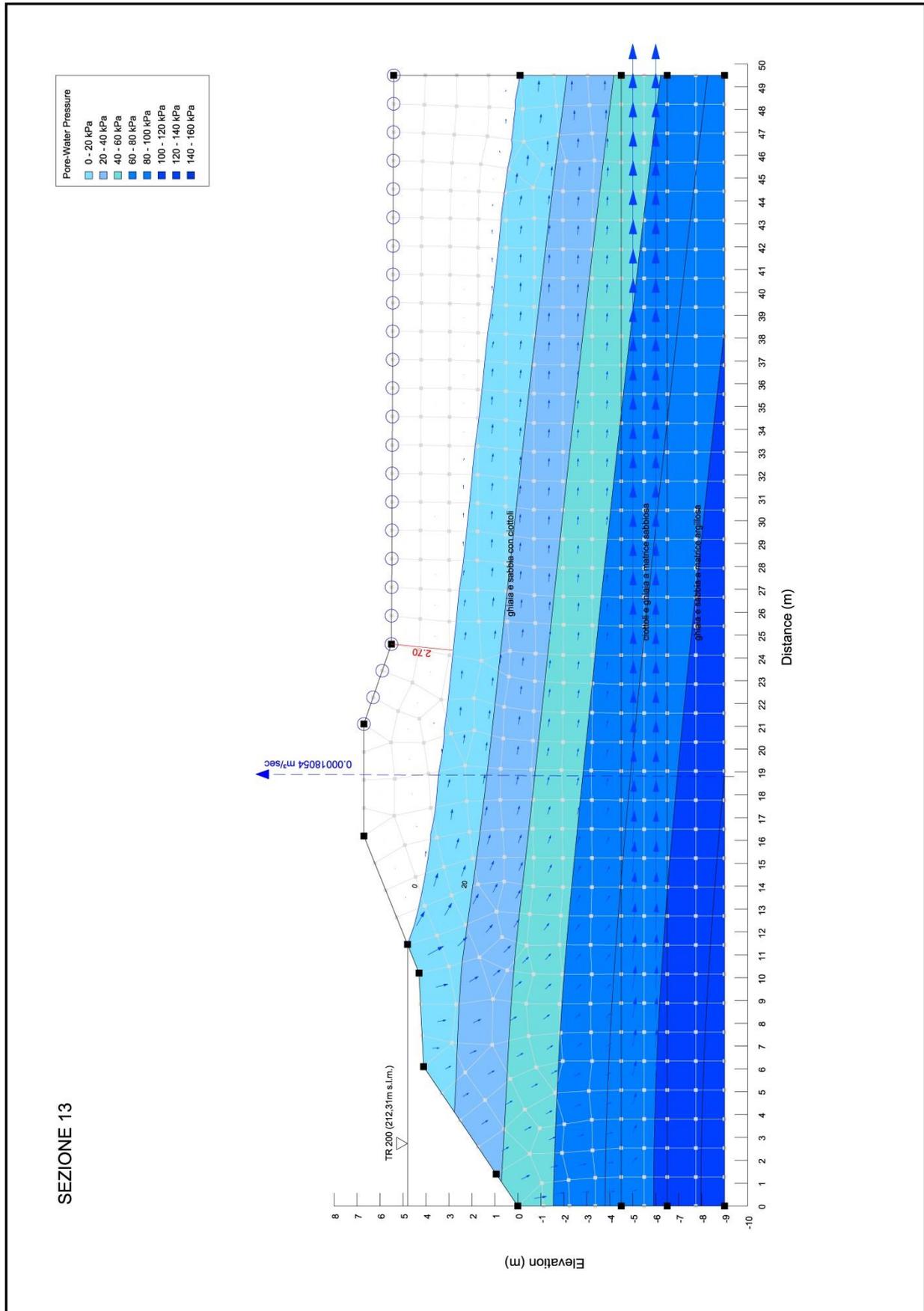


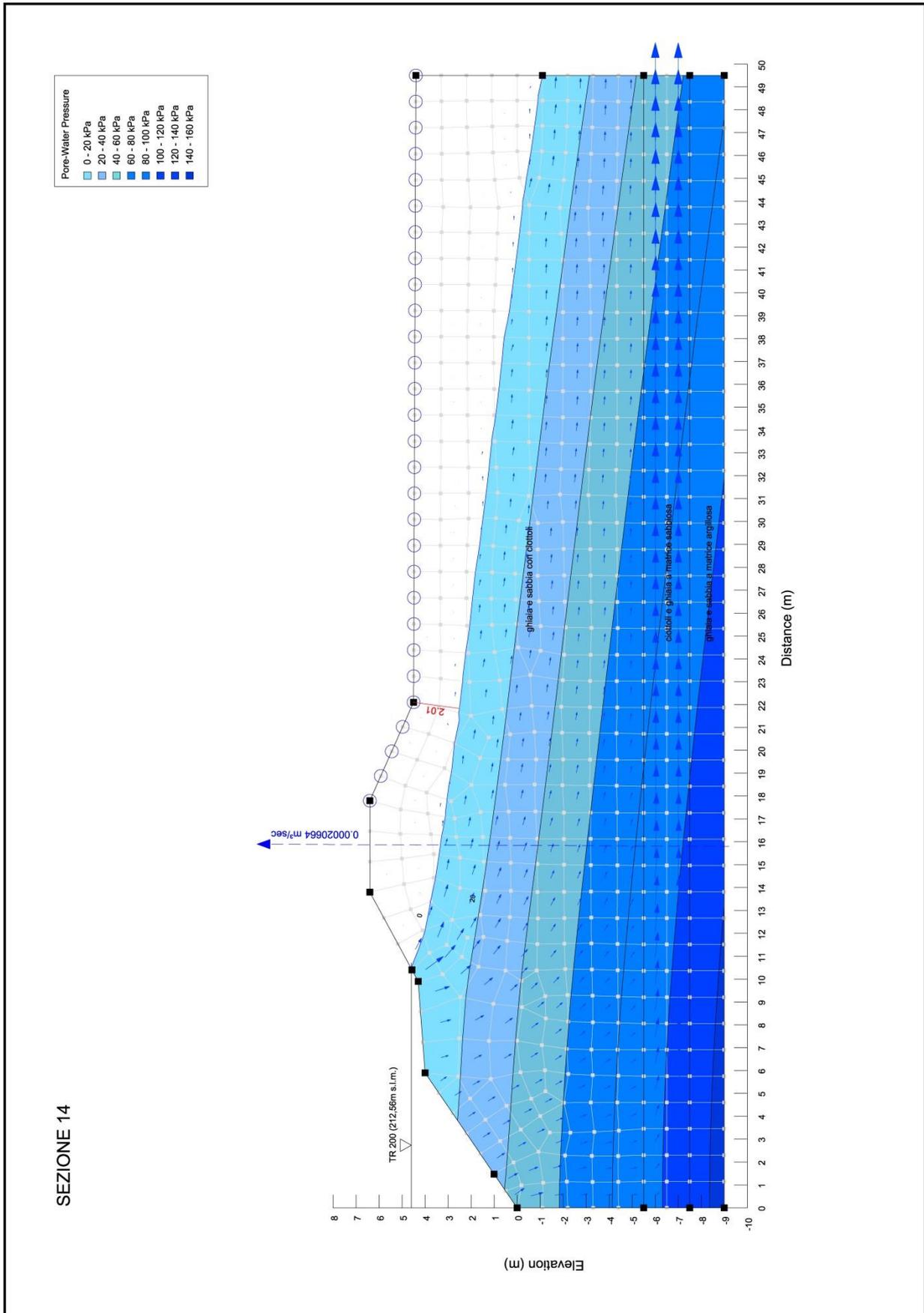
SEZIONE 12

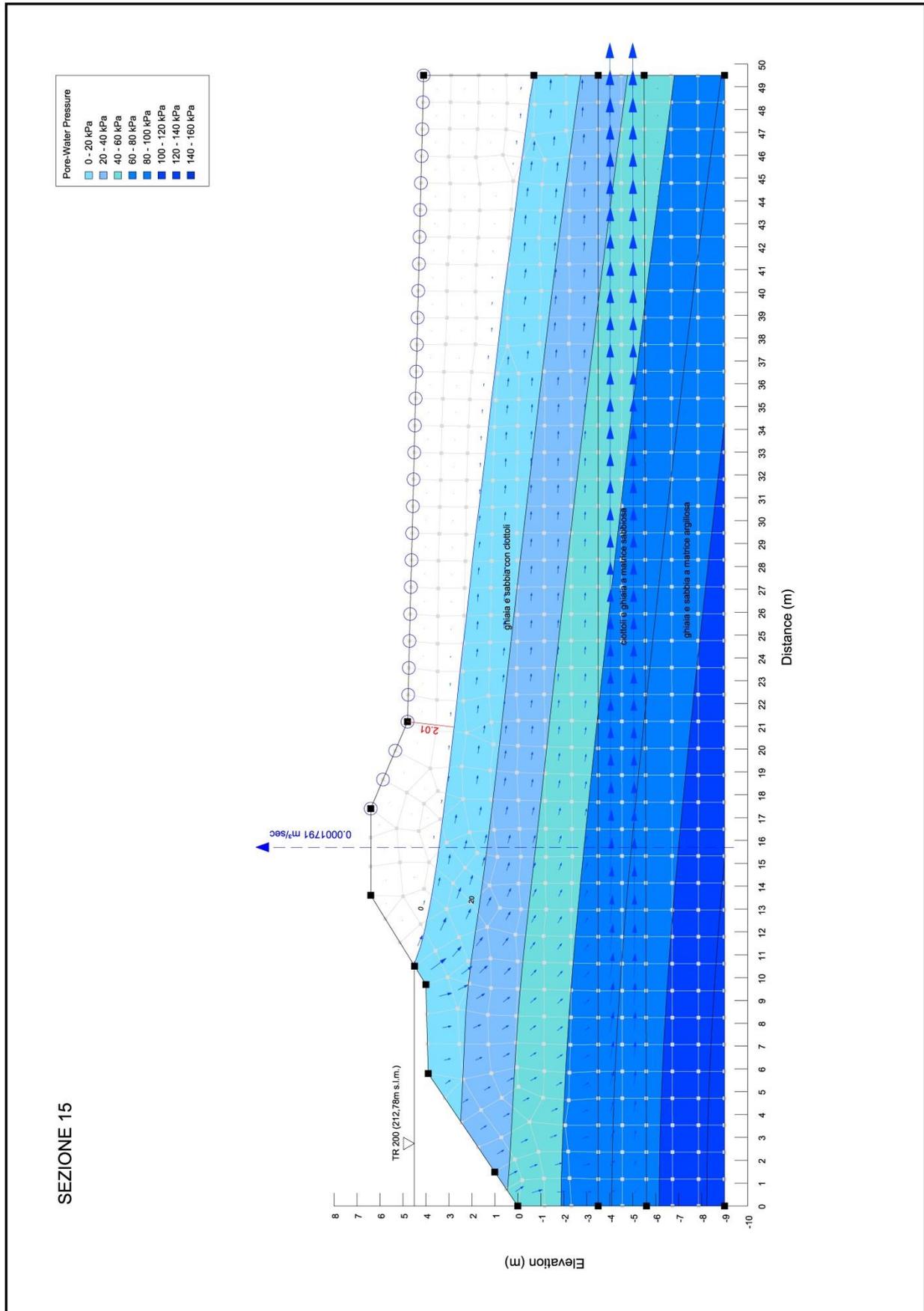
Pore-Water Pressure

0 - 20 kPa
20 - 40 kPa
40 - 60 kPa
60 - 80 kPa
80 - 100 kPa
100 - 120 kPa
120 - 140 kPa
140 - 160 kPa



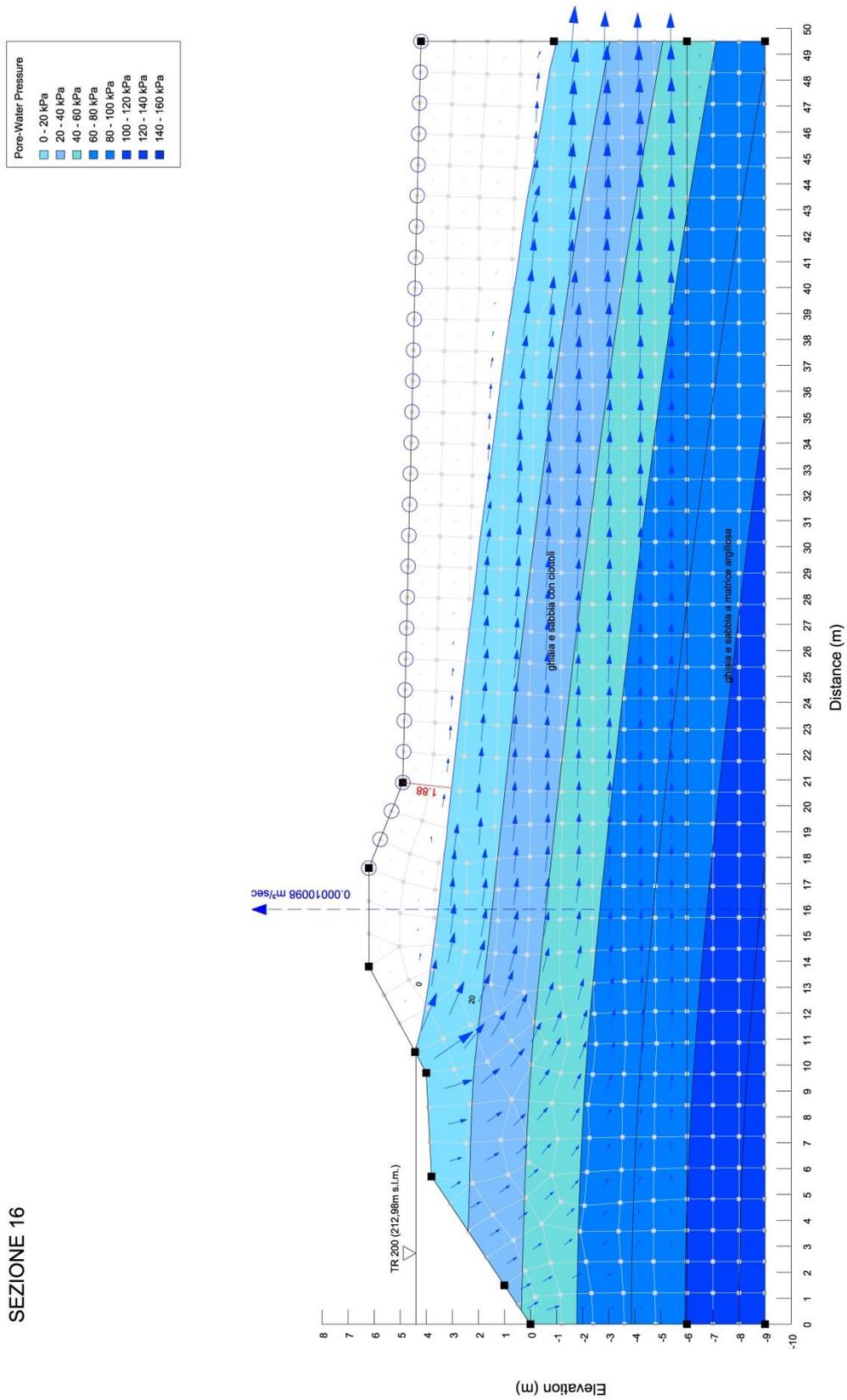






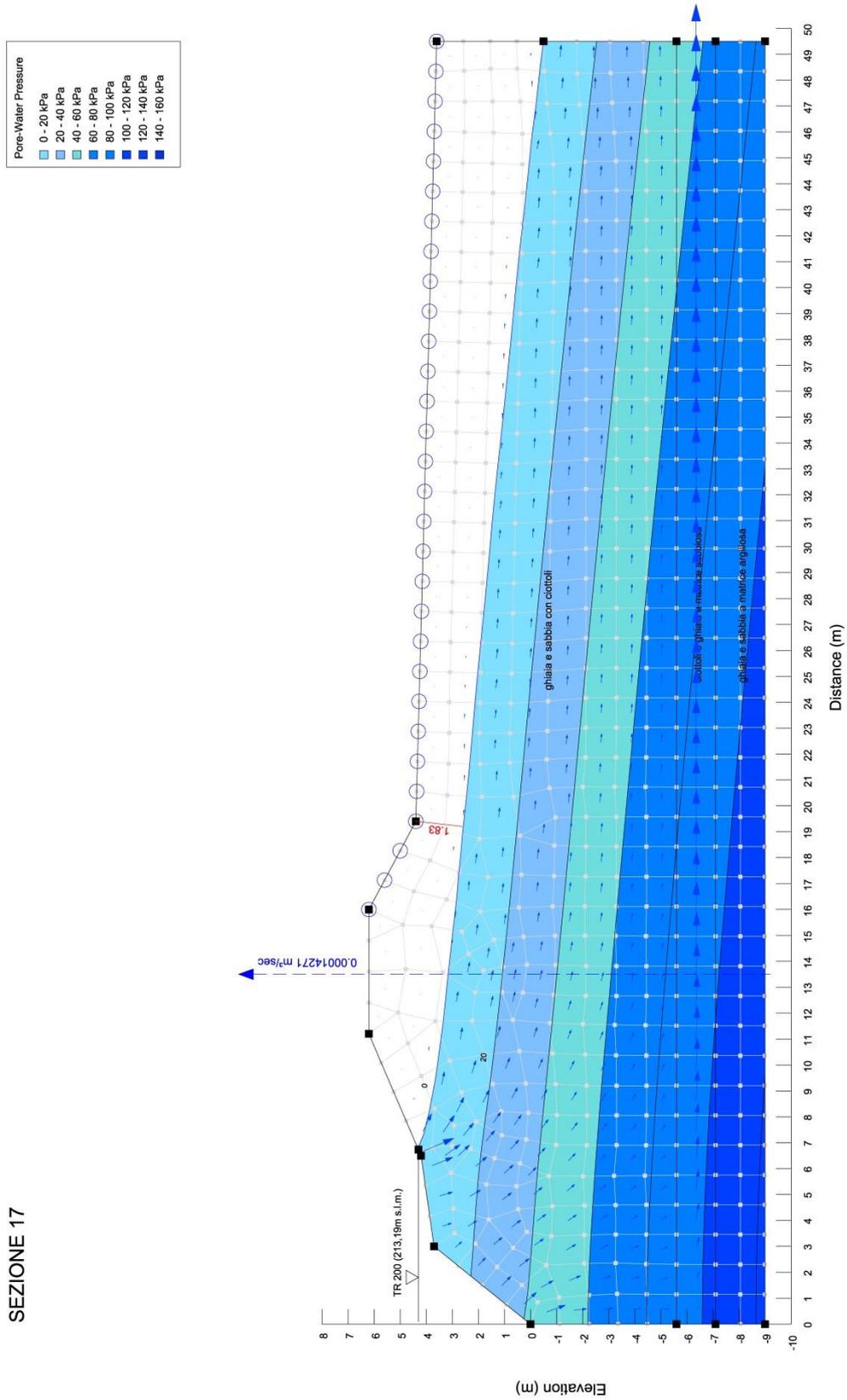


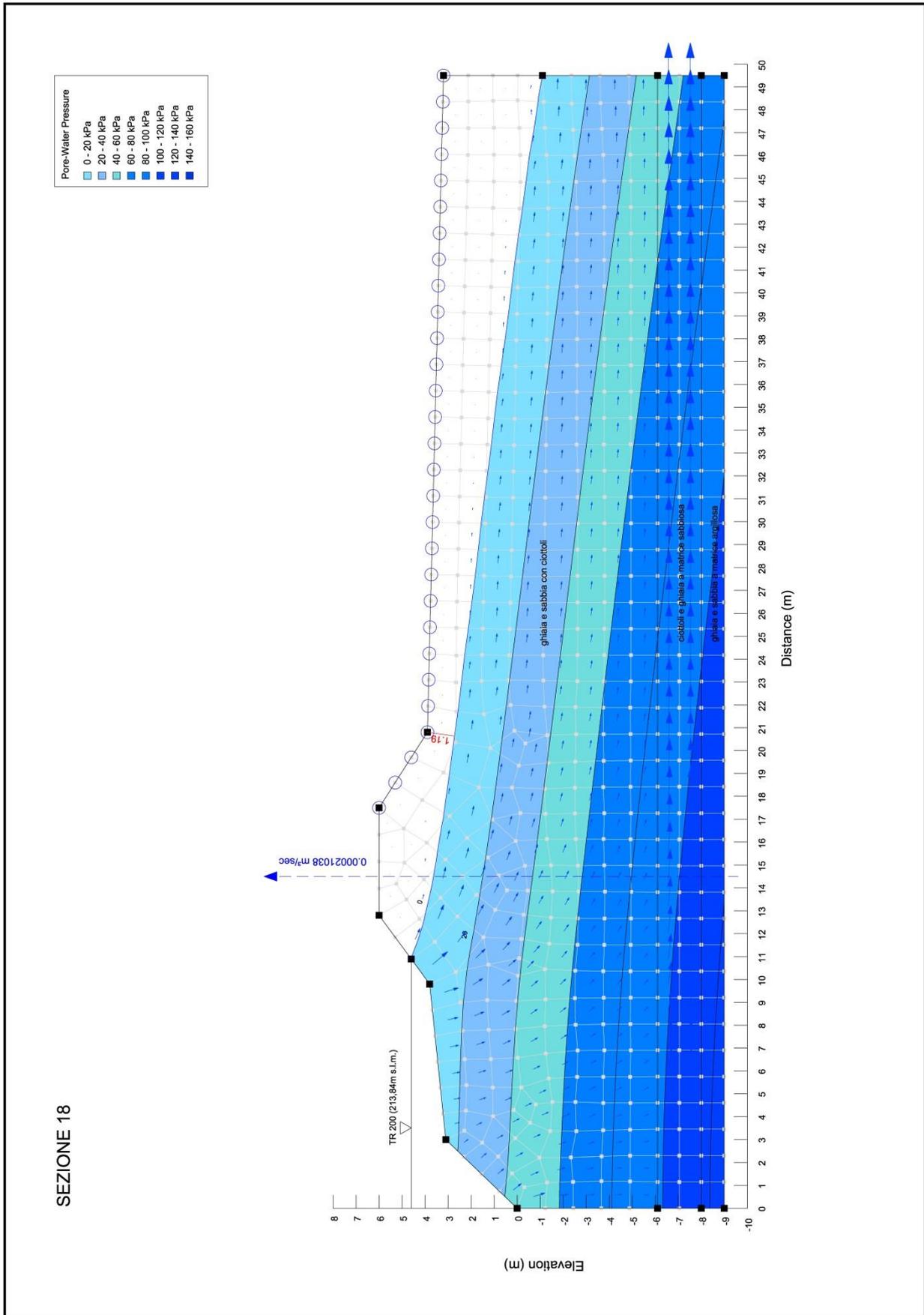
SEZIONE 16

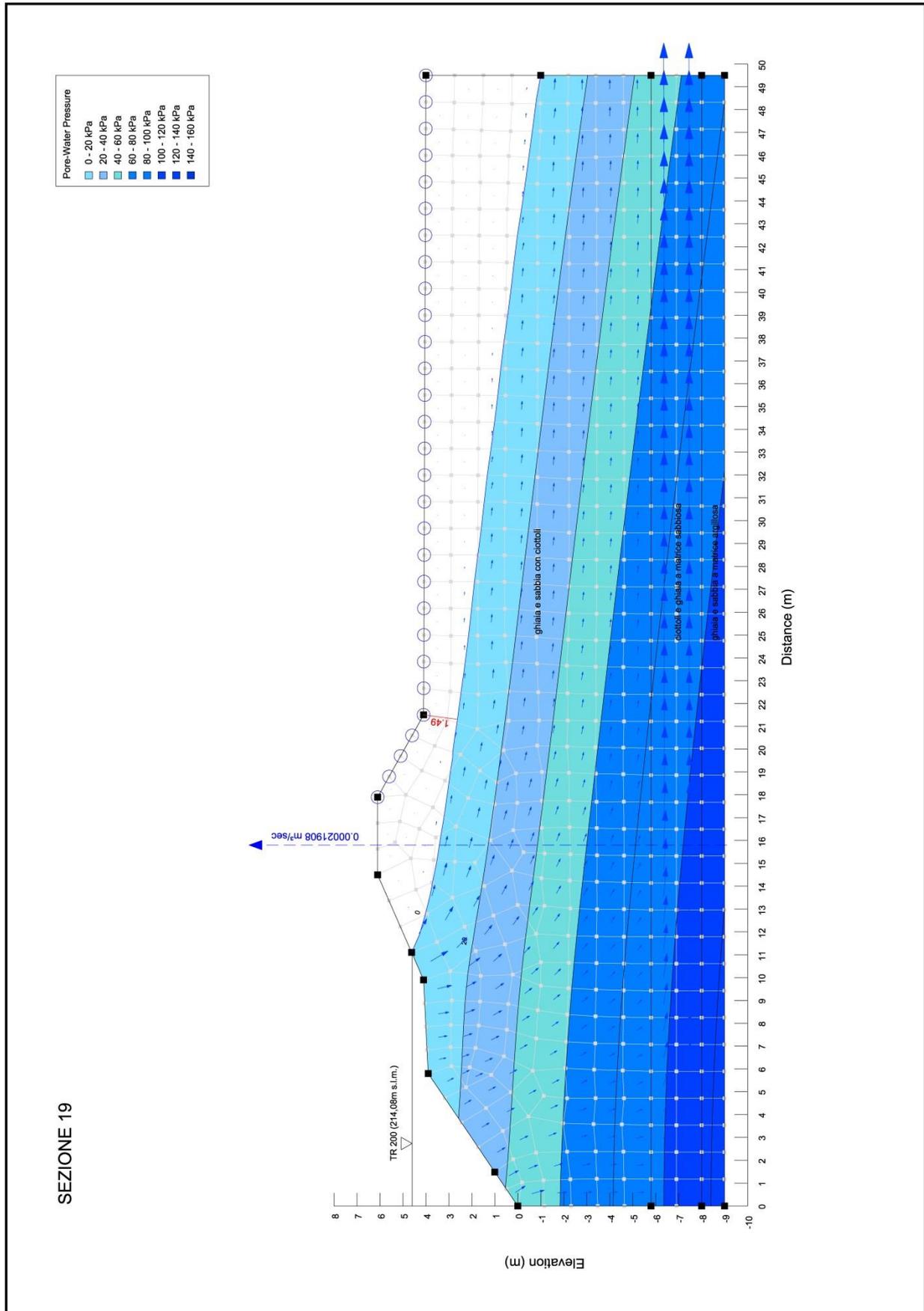


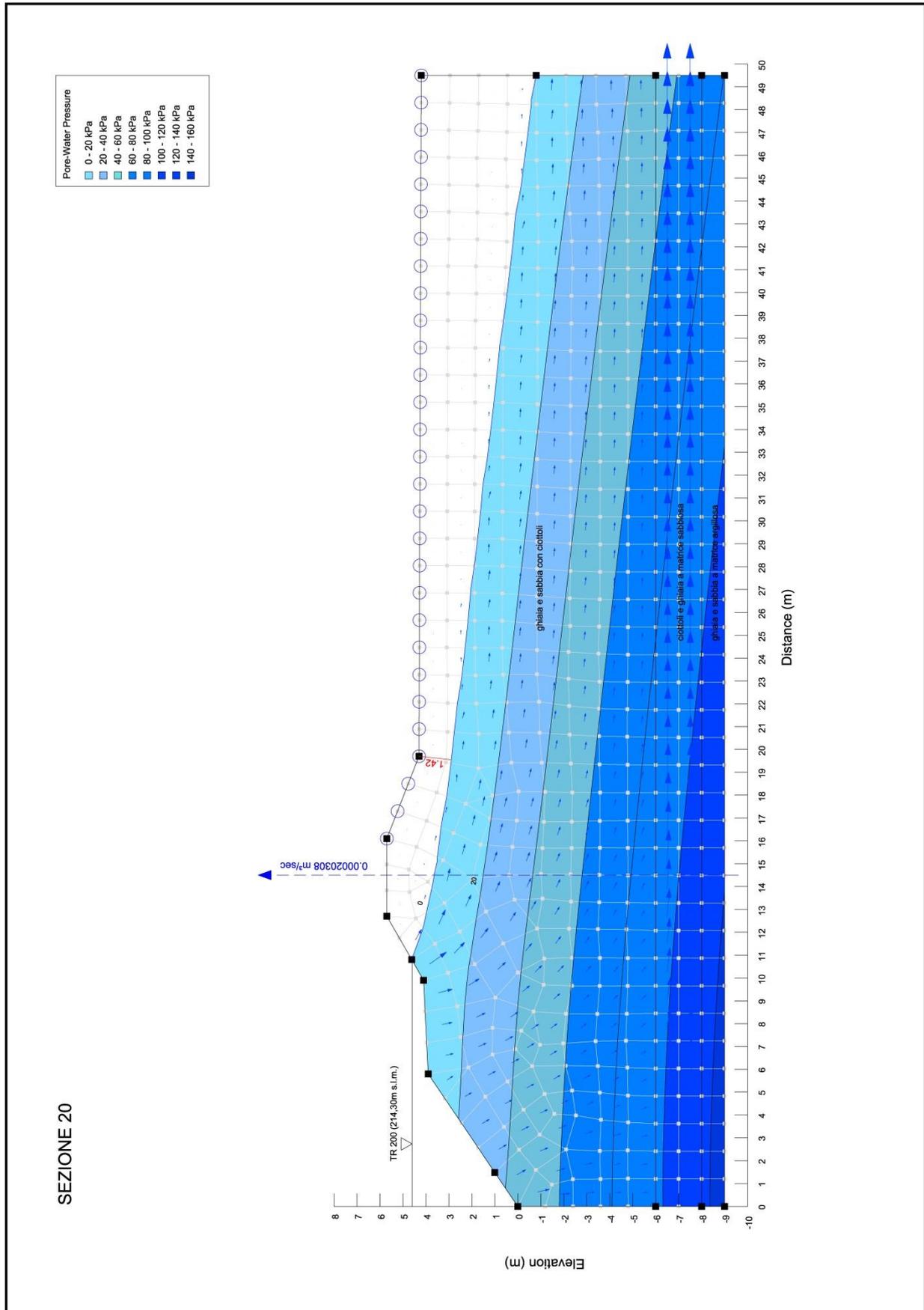


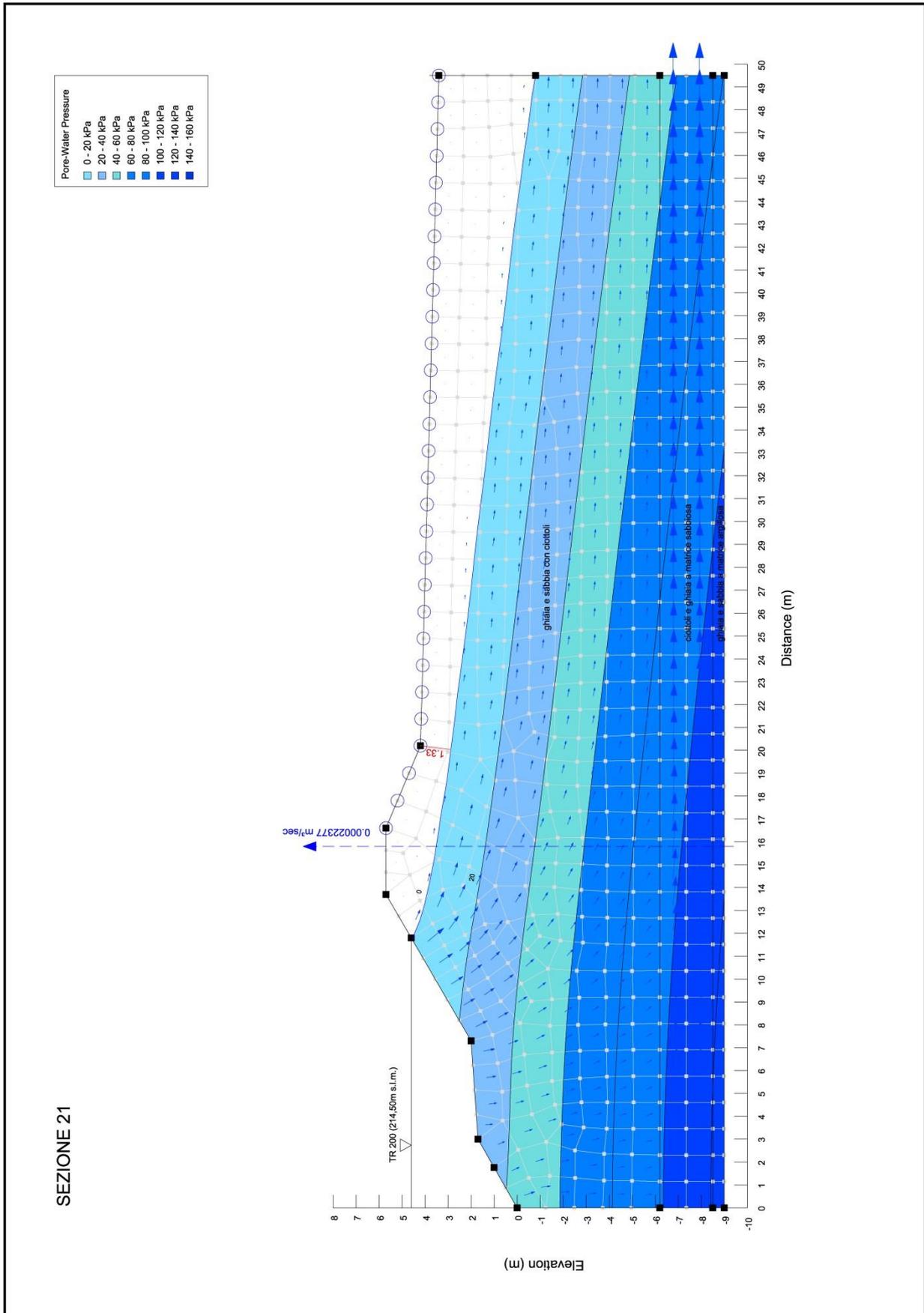
SEZIONE 17









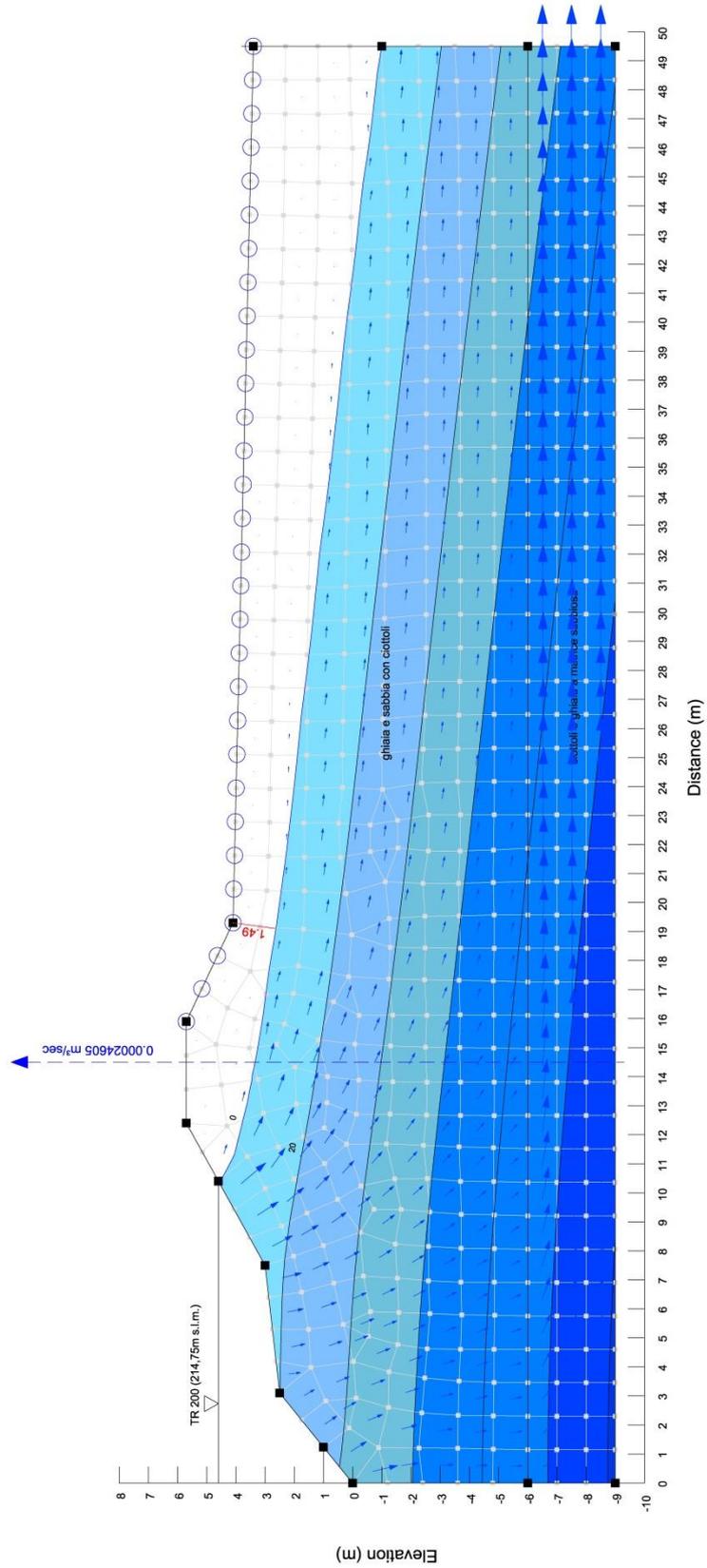




SEZIONE 22

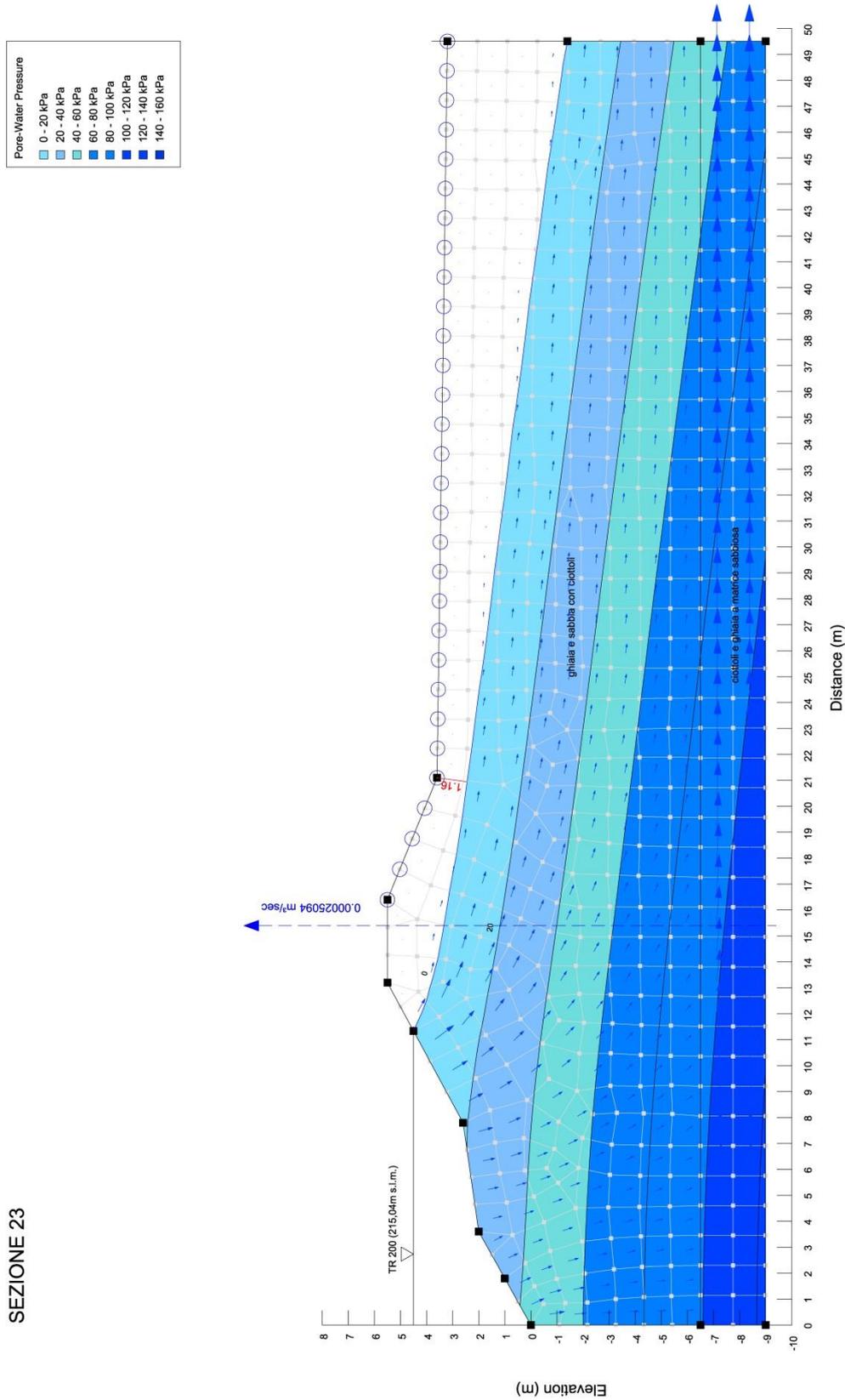
Pore-Water Pressure

0 - 20 kPa
20 - 40 kPa
40 - 60 kPa
60 - 80 kPa
80 - 100 kPa
100 - 120 kPa
120 - 140 kPa
140 - 160 kPa



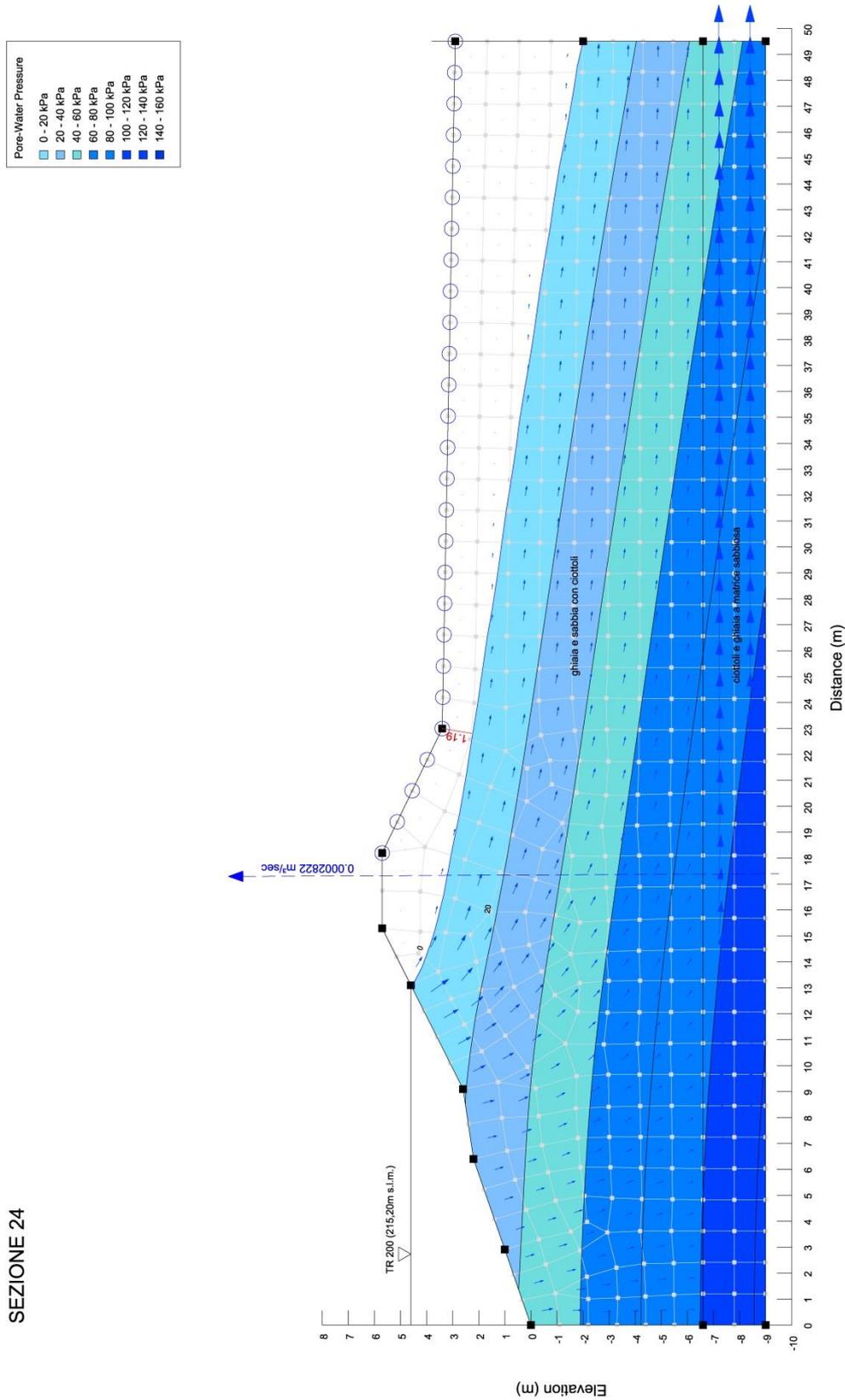


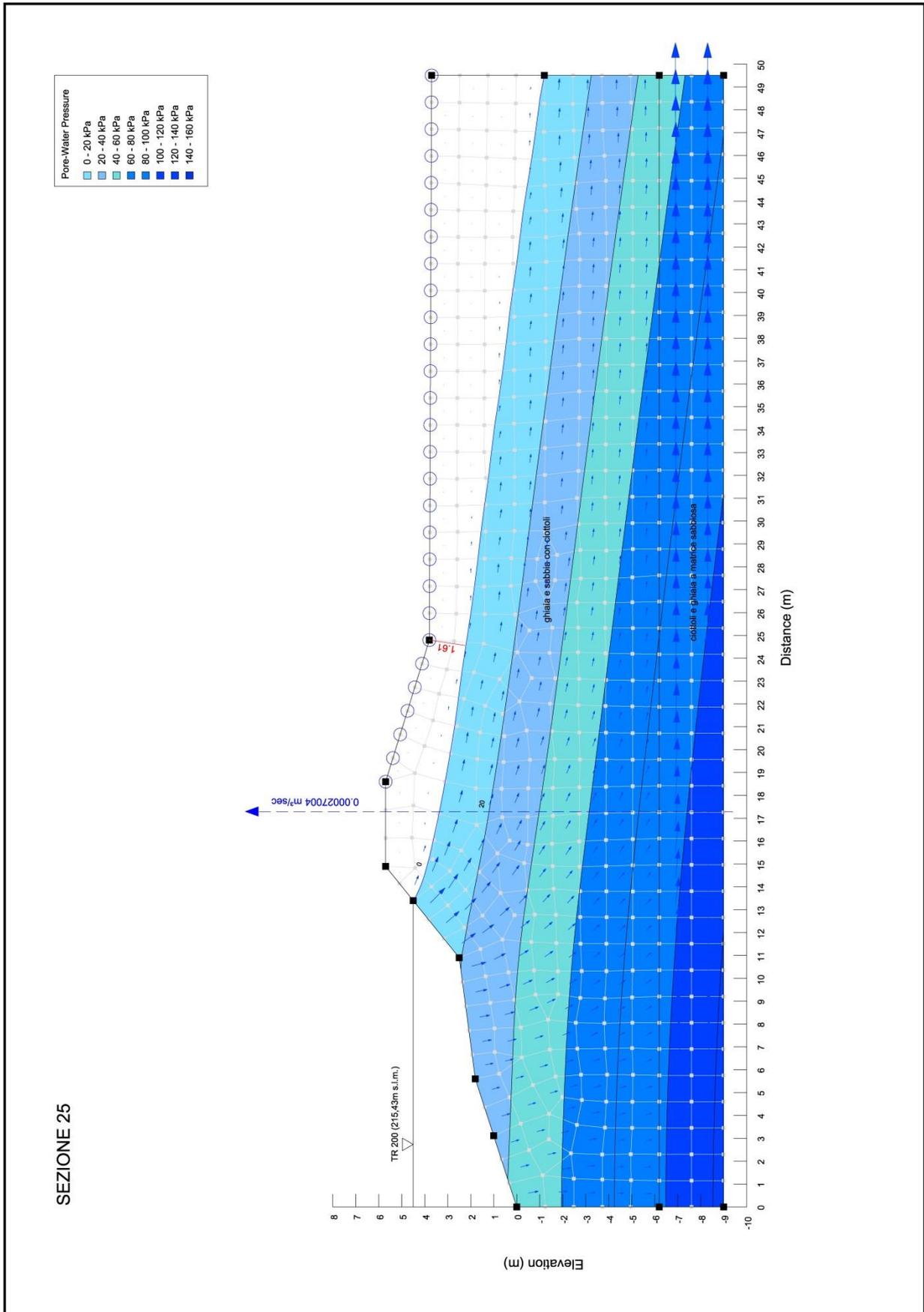
SEZIONE 23

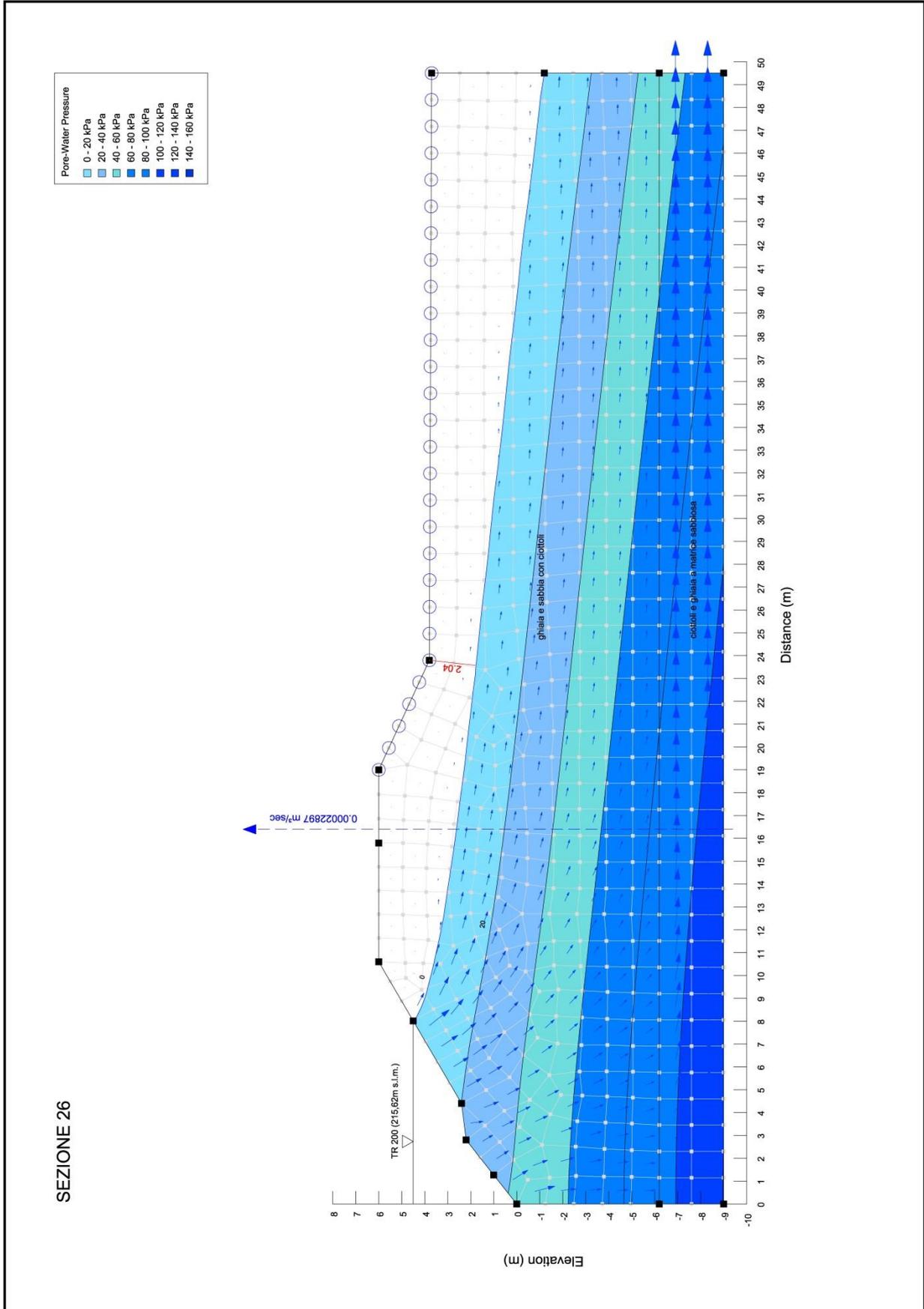




SEZIONE 24

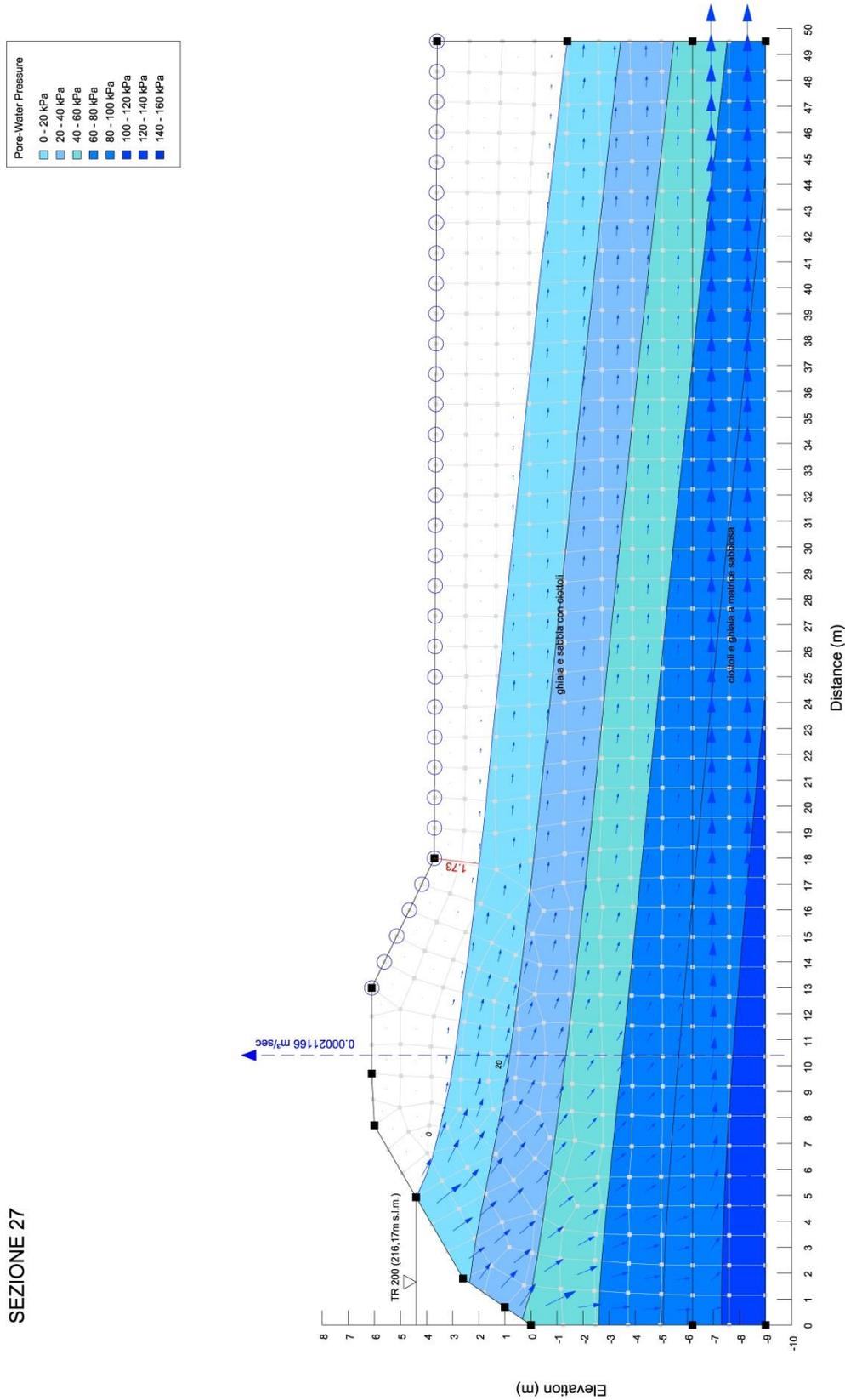






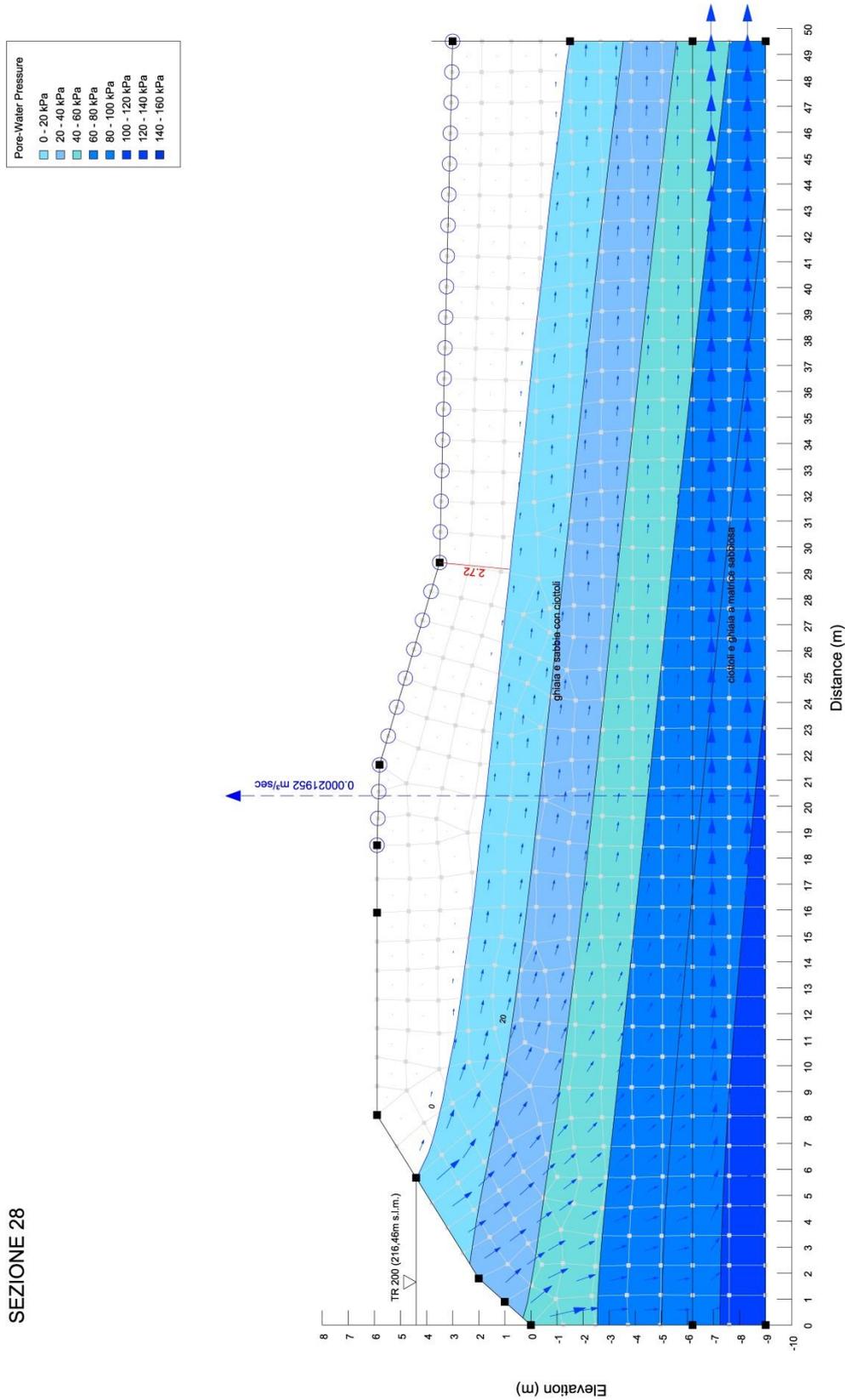


SEZIONE 27





SEZIONE 28





### 5.3 Considerazioni conclusive

Fenomeni di sifonamento sono legati all'erosione e al trasporto di materiale costituente il sistema che avviene in taluni punti interni all'argine o al terreno di fondazione dove il gradiente idraulico e la velocità di filtrazione assumono valori critici causando spostamenti di intere porzioni di terreno che si possono tradurre in inclinazioni, cedimenti differenziali od anche lesioni delle strutture idrauliche con perdita della loro funzionalità.

Dai risultati si osserva che la linea di saturazione rimane sempre confinata all'interno del corpo arginale con un franco maggiore di 0.8 m. Il moto filtrante nel presente caso resta quindi confinato all'interno della stratigrafia e non si verificano convergenze delle linee di flusso al piede dell'argine con elevati gradienti piezometrici. Il rilevato arginale risulta quindi essere in sicurezza rispetto a potenziali fenomeni di sifonamento al piede dello stesso.

#### PROGETTAZIONE

##### SOGGETTI

**NORD MILANO CONSULT s.r.l.**  
Società d'ingegneria  
IL DIRETTORE TECNICO  
(dott. arch. Michela Di Mento)

**STUDIO ASSOCIATO GREENLINE**  
(dott. arch. Stefano Sozzani)

##### RESPONSABILI

PROGETTISTI  
(dott. ing. Caterina Aliverti)

(dott. arch. Michela Di Mento)

COORDINATORE IN MATERIA DI SICUREZZA  
E DI SALUTE IN FASE DI PROGETTAZIONE  
(dott. arch. Stefano Sozzani)

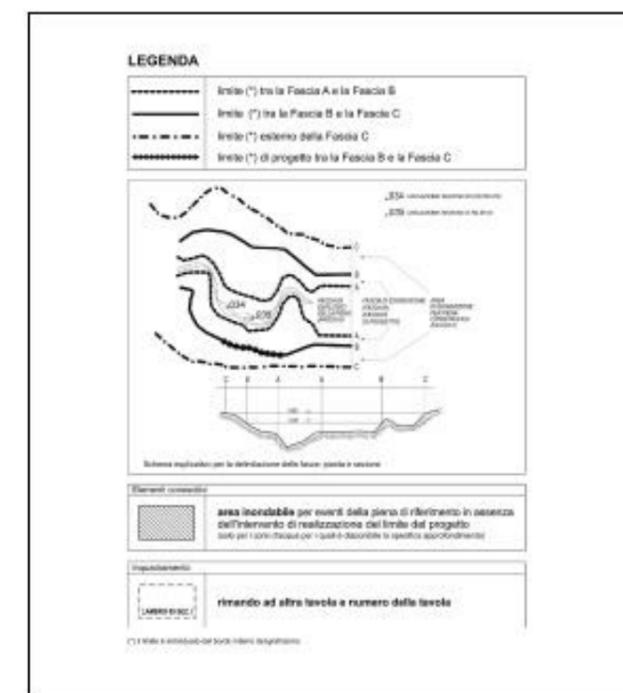
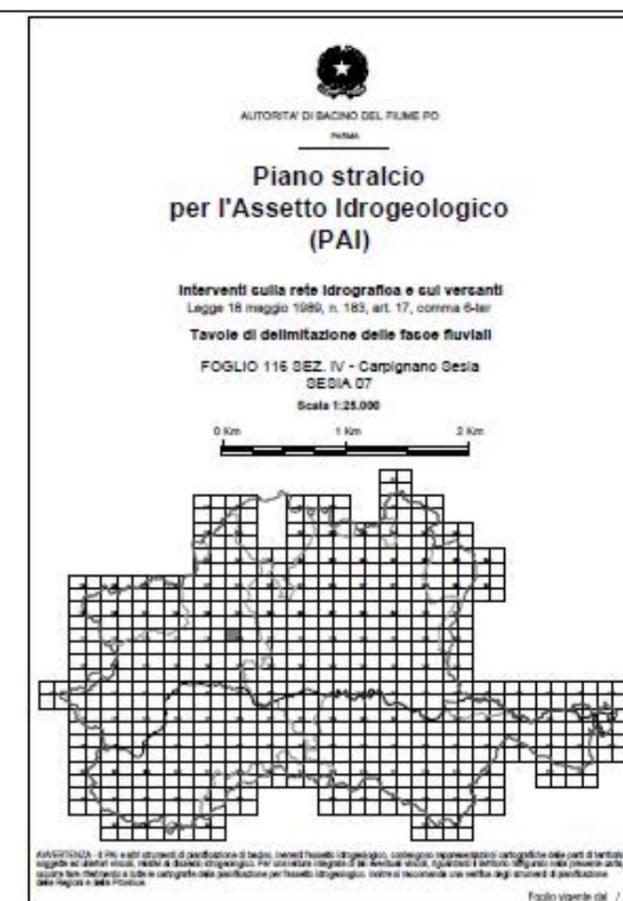
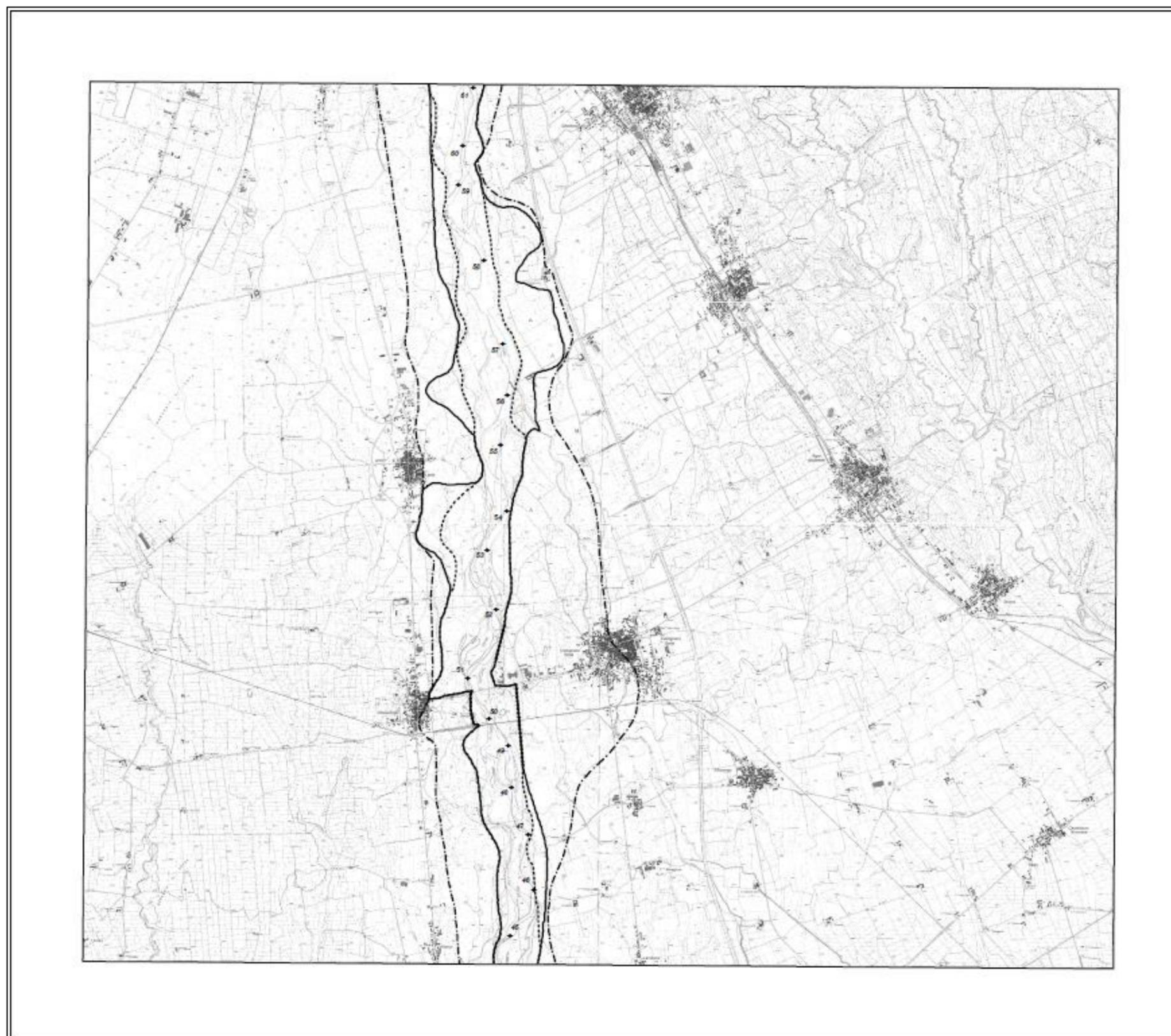


**Comune di Carpignano Sesia**  
Provincia di Novara

LAVORI DI REALIZZAZIONE ARGINE IN SINISTRA DEL FIUME SESIA 1° LOTTO FUNZIONALE  
RIGUARDANTE LA SISTEMAZIONE E RIPRISTINO DELLE DIFESE SPONDALI CON  
FORMAZIONE DI MICROREPELLENTI A PROTEZIONE DEL CORPO ARGINALE  
Progetto Esecutivo

*Relazione idraulica*

**ALLEGATO 1: PAI – Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po**





**ALLEGATO 2: Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Sesia**

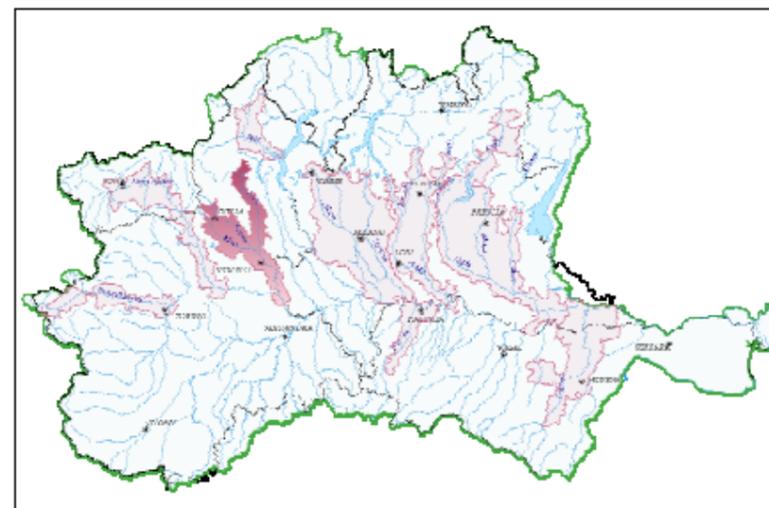
Elaborato: 3.X.1.2/2/1C: Atlante cartografico dell'attività "Sezioni trasversali di corsi d'acqua"



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

**Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:**

- del fiume Sesia, nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po
- del torrente Cervo, nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia
- del torrente Elvo, nel tratto da Occhieppo alla confluenza in Cervo



**Attività 3.X.1.2.: Sezioni trasversali di corsi d'acqua**

Prodotto 3.X.1.2/2: Cartografia "Atlante delle sezioni"

Elaborato 3.X.1.2/2/1C: Atlante cartografico dell'attività "Sezioni trasversali di corsi d'acqua"

Data redazione:  
22/04/2005



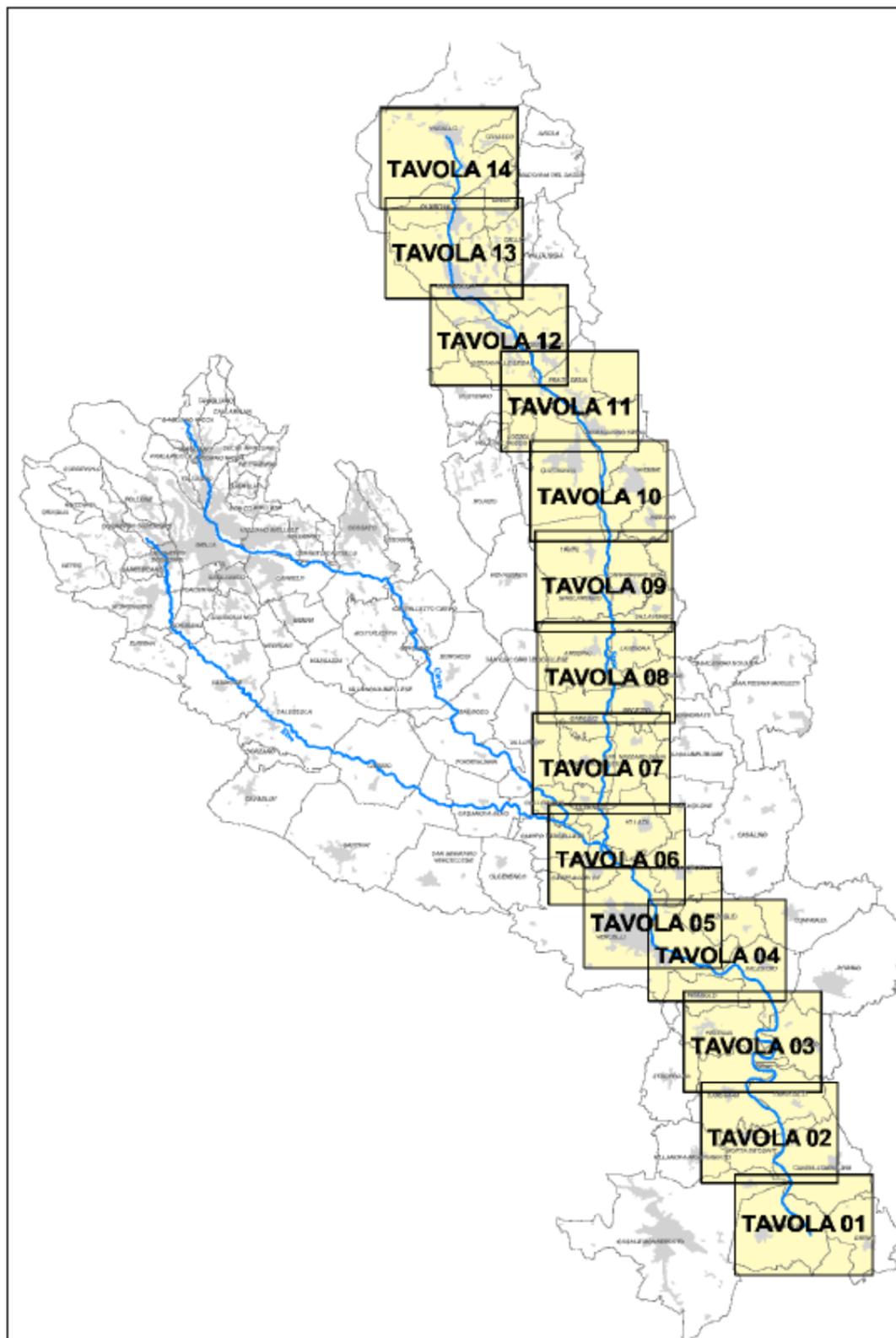
### Legenda

- Capiisaldi Igm 95
- Capiisaldi rete di raffittamento
- Idrometri esistenti
- Capiisaldi di sezione
- Capiisaldi dei manufatti
- Estremità sezioni trasversali
- Sezioni trasversali d'alveo
- Manufatti di attraversamento

#### Elementi di base

- Asse del corso d'acqua principale con indicazione della progressiva chilometrica
- Limite amministrativo comunale
- Limite amministrativo provinciale
- Limite amministrativo regionale
- Limite (\*) tra la fascia A e la fascia B
- Limite (\*) tra la fascia B e la fascia C
- Limite (\*) di progetto tra la fascia B e la fascia C
- Limite (\*) esterno della fascia C

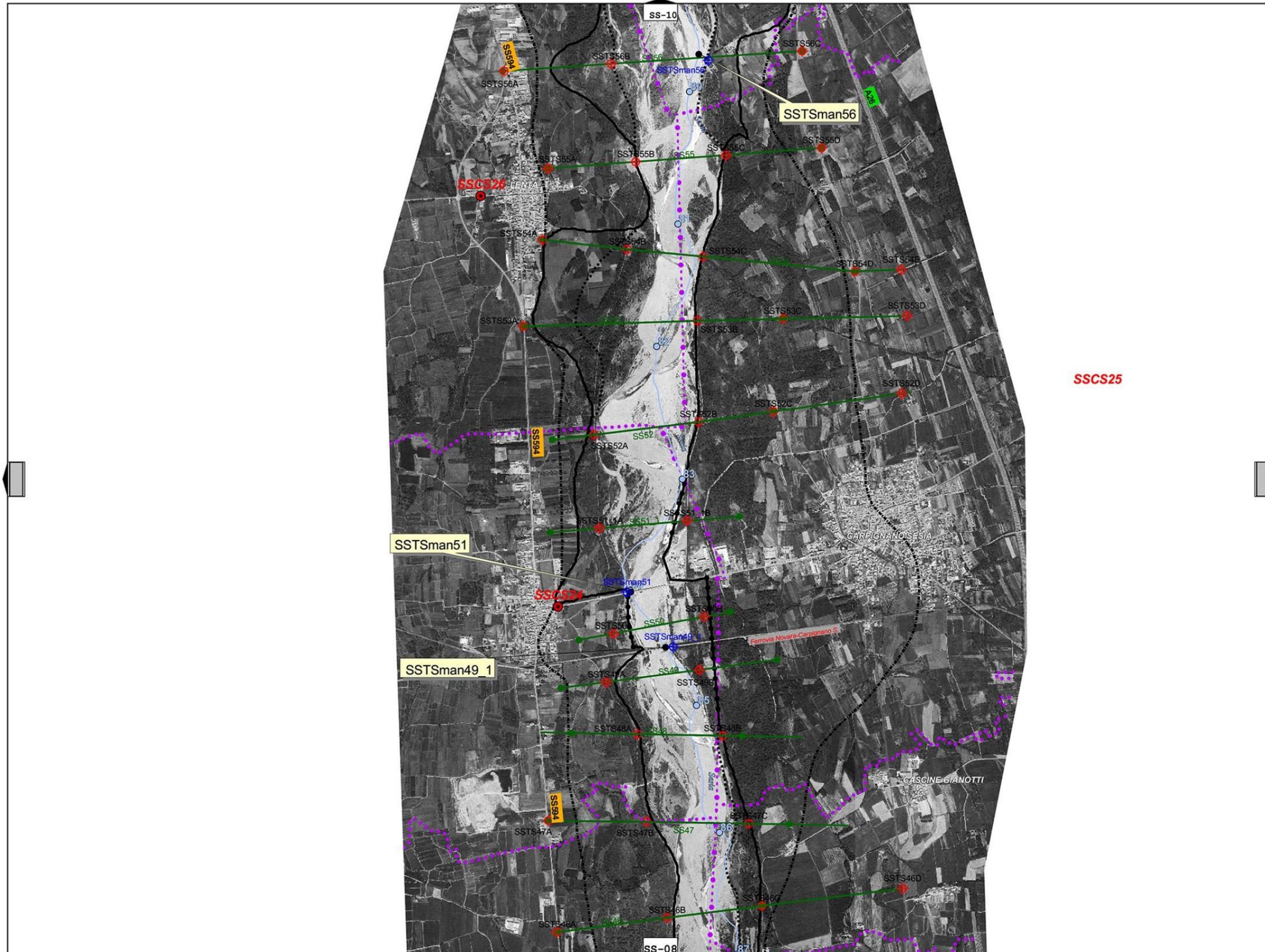
(\*) Il graficismo risulta coerente con la cartografia di Piano dell'Autorità di bacino del fiume Po, prodotta alla scala 1:25.000 su base CTR regionale. Eventuali incoerenze presenti sono riconducibili alla variazione di base cartografica e/o di scala. Le correzioni necessarie saranno approfondite alla conclusione dello Studio tenendo conto dei risultati dello stesso.



Scala: 1:25.000  
Aprile 2005

STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL FIUME SESIA, DEL TORRENTE CERVO E DEL TORRENTE ELVO  
3.1.1.2/2/1C - ATLANTE CARTOGRAFICO DELL'ATTIVITÀ "SEZIONI TRASVERSALI DI CORSI DACQUA"  
LEGENDA E QUADRO DI UNIONE DEL FIUME SESIA





SS-09  
Scala: 1:25.000  
Aprile 2005

STUDIO DI FATTIBILITA' DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL FIUME SESIA, DEL TORRENTE CERVO E DEL TORRENTE ELVO  
ATTIVITA' 3.1.1.2: Sezioni trasversali di corsi d'acqua  
ELABORATO 3.1.1.2/1/C - Atlante cartografico dell'attività - Sezioni trasversali di corsi d'acqua\*



SS-09



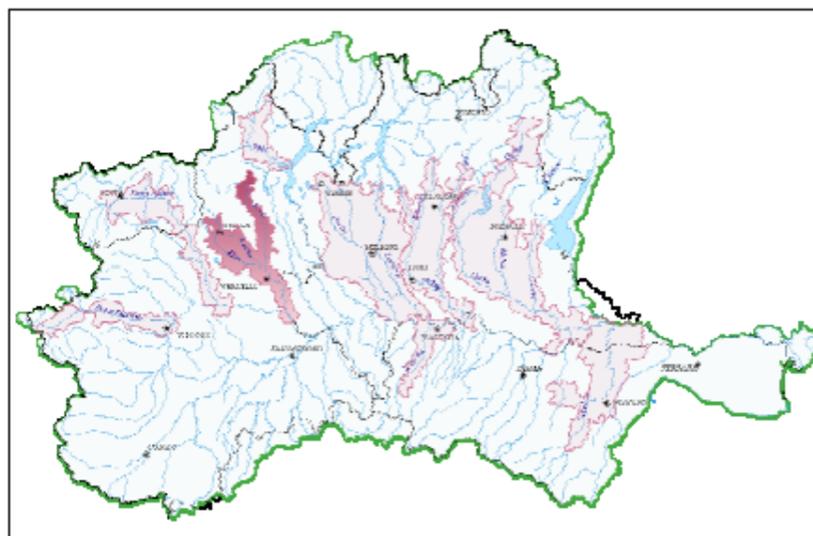
Elaborato: 3.1.4.1/1/1K Cartogrammi e rappresentazioni grafiche e tabellari: Fiume Sesia



## AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

### Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:

- del fiume Sesia, nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po;
- del torrente Cervo, nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia;
- del torrente Elvo, nel tratto da Occhieppo alla confluenza in Cervo.



Attività 3.1.4.1: Definizione dell'assetto di progetto del sistema  
fluviale

Prodotto: 3.1.4.1/1 Relazione metodologica

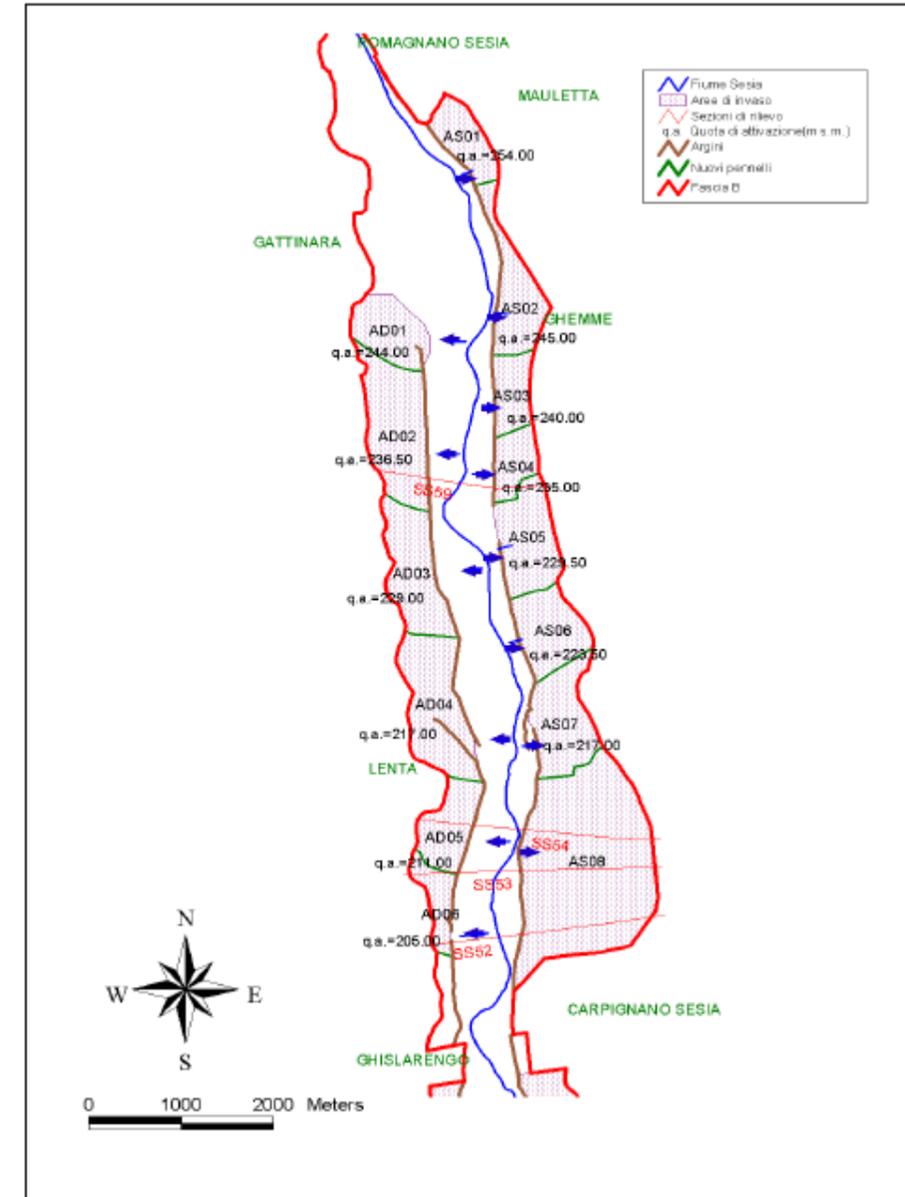
Elaborato: 3.1.4.1/1/1K Cartogrammi e rappresentazioni grafiche e tabellari:  
Fiume Sesia

Data redazione:  
24/05/2005



**ALLEGATO 1**

Planimetrie schematiche con la compartimentazione degli ambiti di recupero naturalistico e funzionale delle aree golenali (configurazione di progetto b.1).





**TABELLA B**

**Quote e parametri di calcolo per la definizione delle fasce corrispondenti all'80% QTR 200 ed a velocità > 0.4 m/s.**

Num. Sezione	Progressiva (m)	Quota fondo minimo	Quota fondo medio	$\Delta$ fmed-fmin (m.s.m.)	Quote p.l. QTR200 (m.s.m.)	Altezza d'acqua sul fondo medio (m)	Progressive di sezione 80% QTR200			Progressive di sezione velocità >0.4m/s		
		(m.s.m.)	(m.s.m.)				iniziale	finale	$\Delta$	iniziale	finale	$\Delta$
SS87	60514.0	318.91	320.42	1.51	326.02	5.60	52	622	570	52	782	730
SS86	61087.0	315.63	317.27	1.64	322.89	5.62	210	670	460	90	670	580
SS85	61488.0	314.66	315.61	0.95	321.07	5.46	107	541	434	58	532	474
SS84	62296.0	309.35	310.60	1.25	316.96	6.36	56	314	258	57	461	404
SS83m	62501.5	308.63	309.91	1.28	315.82	5.91	-	-	-	-	-	-
SS83v	62516.5	308.63	309.86	1.23	315.72	5.86	-	-	-	-	-	-
SS82	62832.0	306.97	308.80	1.83	314.06	5.26	179	367	188	93	367	274
SS81m	63285.0	305.77	305.77	0.00	311.35	5.58	-	-	-	-	-	-
SS81v	63316.0	303.97	305.77	1.80	309.62	3.85	-	-	-	-	-	-
SS80	63457.0	300.57	303.41	2.84	308.74	5.33	205	501	296	54	668	614
SS79	64142.0	300.47	301.34	0.87	305.2	3.86	206	570	364	98	890	792
SS78	64647.0	296.61	297.80	1.19	302.46	4.66	356	852	496	356	852	496
SS77m	64753.5	294.53	296.58	2.05	301.64	5.06	-	-	-	-	-	-
SS77v	64766.5	294.53	296.43	1.90	301.54	5.11	-	-	-	-	-	-
SS76	65365.0	287.69	289.56	1.87	297.34	7.78	276	504	228	198	560	362
SS75	65685.0	287.99	290.20	2.21	295.6	5.40	540	704	164	482	704	222
SS74	66368.0	281.95	286.28	4.33	291.37	5.09	823	1101	278	823	1209	386
SS73	67327.0	279.91	281.41	1.50	286.59	5.18	581	1007	426	411	1007	596
SS72	67996.0	276.43	277.99	1.56	284.12	6.13	519	777	258	231	777	546
SS71	68753.0	273.82	274.40	0.58	281.61	7.21	514	678	164	395	678	283
SS70	69526.0	272.27	273.67	1.40	278.3	4.63	366	634	268	59	633	574
SS69m	69783.0	273.00	273.00	0.00	277.03	4.03	-	-	-	-	-	-
SS69v	69807.0	269.99	273.00	3.01	275.38	2.38	-	-	-	-	-	-
SS68	70315.0	266.15	266.12	-0.03	274.25	8.13	212	490	278	49	490	441
SS67m	70739.0	264.78	264.78	0.00	273.89	9.11	-	-	-	-	-	-
SS67v	70761.0	264.78	264.78	0.00	271.61	6.83	-	-	-	-	-	-
SS66.3	70840.0	261.35	262.43	1.08	269.88	7.45	171	307	136	119	317	198
SS66.2	71290.0	257.31	258.95	1.64	267.19	8.24	96	176	80	70	530	460
SS66.1m	71580.0	256.45	258.18	1.73	265.71	7.53	-	-	-	-	-	-
SS66.1v	71614.0	256.45	258.18	1.73	265.53	7.35	-	-	-	-	-	-
SS66	72153.0	255.04	256.86	1.82	261.88	5.02	449	641	192	417	679	262
SS65	72645.0	251.21	253.27	2.06	259.19	5.92	509	683	174	509	1044	535
SS64	73696.0	246.58	248.39	1.81	253.7	5.31	184	396	212	152	582	430
SS63	74277.0	243.65	245.72	2.07	250.31	4.59	303	573	270	303	677	374
SS62	74881.0	240.00	241.48	1.48	247.38	5.90	453	881	428	453	1120	667
SS61	75510.0	238.55	239.38	0.83	243.97	4.59	513	1073	560	513	1236	723
SS60	76228.0	231.38	233.56	2.18	240.19	6.63	350	813	463	350	1038	688
SS59	76911.0	230.52	232.47	1.95	236.37	3.90	180	706	526	47	706	659
SS58	77952.0	226.09	227.50	1.41	231.46	3.96	774	1310	536	677	1403	726
SS57	79031.0	219.57	221.04	1.47	225.33	4.29	860	1268	408	809	1489	680
SS56	79769.0	215.44	216.94	1.50	221.37	4.43	723	1283	560	723	1444	721
SS55	80540.0	211.59	213.80	2.21	217.46	3.66	962	1406	444	749	1406	657
SS54	81282.0	208.52	209.48	0.96	213.84	4.36	1191	1527	336	1164	1700	536
SS53	81821.0	205.75	206.62	0.87	211.29	4.67	682	1212	530	682	1355	673
SS52	82613.0	201.45	203.45	2.00	206.76	3.31	687	1367	680	614	1367	753
SS51.1	83373.0	196.02	197.31	1.29	203.93	6.62	443	901	458	443	1047	604



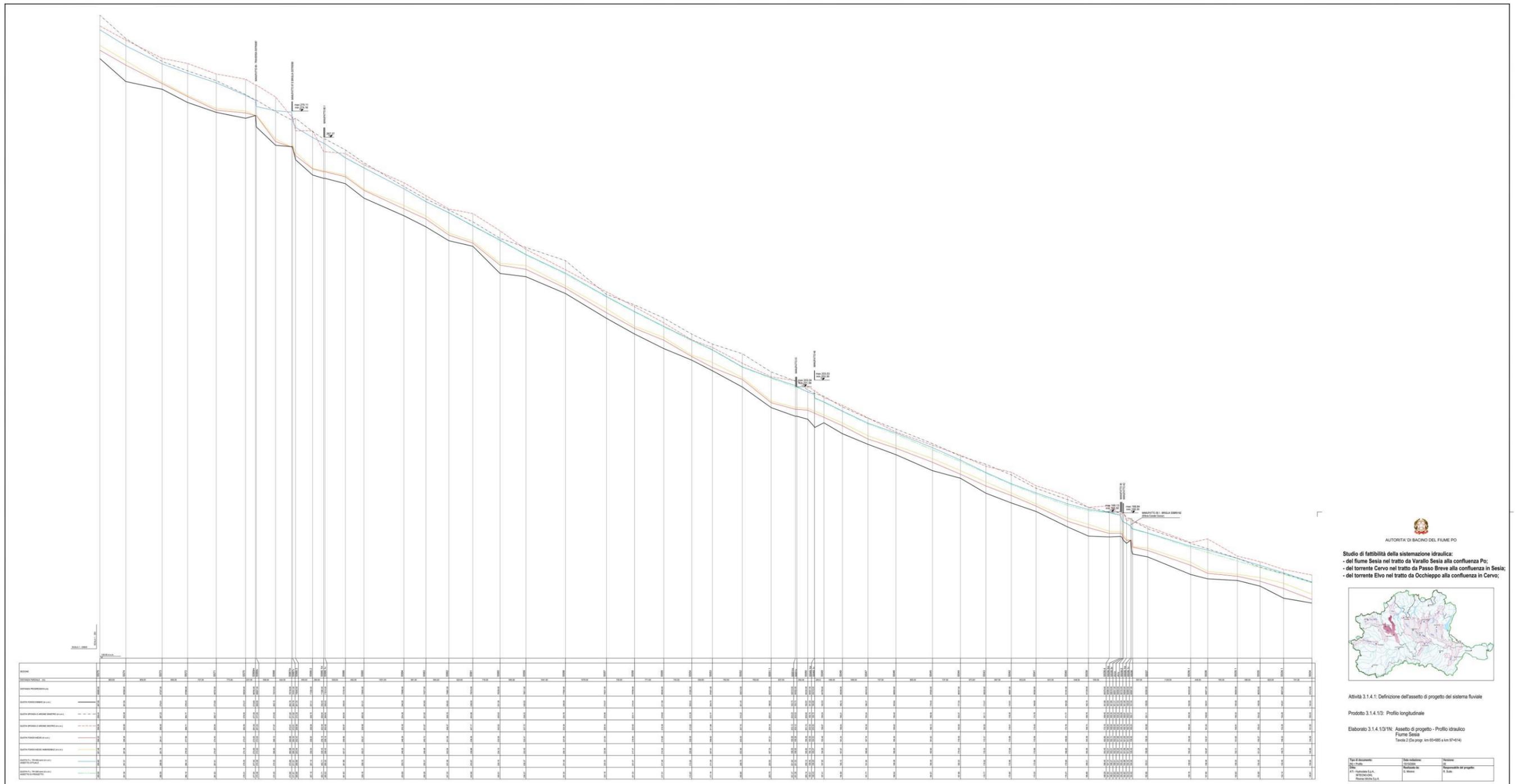
**TABELLA D.2**

**Risultati delle simulazioni idrauliche nella situazione relativa all'assetto di progetto (configurazione b.2.2 – "volumi invasabili").**

Configurazione b.2.2 – "volumi invasabili"								
N. Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. attuale (m s.m.)	P.L. progetto (m s.m.)	Δ (m)	Q attuale (m³/s)	Q progetto (m³/s)	Δ (m/s)
SS77v	64766.5	294.53	301.54	301.54	0.00	4272	4272	0
SS76	65365	287.69	297.34	297.34	0.00	4272	4272	0
SS75	65685	287.99	295.60	295.60	0.00	4271	4271	0
SS74	66368	281.95	291.37	291.37	0.00	4269	4269	0
SS73	67327	279.91	286.59	286.59	0.00	4263	4263	0
SS72	67996	276.43	284.12	284.12	0.00	4319	4319	0
SS71	68753	273.82	281.61	281.61	0.00	4434	4434	0
SS70	69526	272.27	278.30	278.30	0.00			
SS69m	69783	273.00	277.03	277.03	0.00			
SS69v	69807	269.99	275.38	275.38	0.00			
SS68	70315	268.06	274.25	274.25	0.00			
SS67m	70739	264.78	273.89	273.89	0.00			
SS67v	70761	264.78	271.61	271.61	0.00	4433	4433	0
SS66.3	70840	261.35	269.88	269.88	0.00	4433	4433	0
SS66.2	71290	257.31	267.19	267.19	0.00	4435	4435	0
SS66.1m	71580	256.45	265.71	265.71	0.00	4436	4436	0
SS66.1v	71614	256.45	265.53	265.54	0.01	4436	4436	0
SS66	72153	255.04	261.88	261.89	0.01	4438	4439	0
SS65	72645	251.21	259.19	259.22	0.03	4439	4439	0
SS64	73696	246.58	253.70	253.70	0.00	4443	4443	0
SS63	74277	243.65	250.31	250.30	-0.01	4446	4446	0
SS62	74881	240.00	247.38	247.30	-0.08	4447	4447	0
SS61	75510	238.55	243.97	243.99	0.02	4449	4449	0
SS60	76228	231.38	240.19	240.18	-0.01	4450	4450	-1
SS59	76911	230.52	236.37	236.37	0.00	4452	4450	-2
SS58	77952	226.09	231.46	231.44	-0.02	4455	4451	-4
SS57	79031	219.57	225.33	225.36	0.03	4458	4454	-3
SS56	79769	215.44	221.37	221.36	-0.01	4460	4457	-3
SS55	80540	211.59	217.46	217.46	0.00	4462	4457	-5
SS54	81282	208.52	213.84	213.86	0.02	4464	4457	-6
SS53	81821	205.75	211.29	211.26	-0.03	4465	4459	-6
SS52	82613	201.45	206.76	206.76	0.00	4465	4459	-6
SS51.1	83373	196.02	203.93	203.93	0.00	4464	4457	-7
SS51m	84010	193.75	201.84	201.83	-0.01	4465	4457	-8
SS51v	84052	193.75	201.52	201.51	-0.01	4466	4459	-7
SS50	84334	192.97	200.13	200.12	-0.01	4466	4459	-8
SS49.1m	84507	191.02	199.56	199.55	-0.01	4466	4458	-8
SS49.1v	84519	190.80	198.59	198.58	-0.01	4466	4460	-7
SS49	84759	192.03	197.55	197.53	-0.02	4467	4460	-8
SS48	85249	189.15	195.12	195.04	-0.08	4469	4461	-8
SS47	85918	186.37	191.95	191.96	0.01	4469	4461	-9
SS46	86655	183.64	189.38	189.38	0.00	4470	4460	-10
SS45	87620	179.42	185.49	185.49	0.00	4472	4460	-12
SS44	88357	177.42	182.22	182.21	-0.01	4473	4458	-15
SS43	89030	173.47	178.92	178.89	-0.03	4474	4457	-17
SS42	89697	170.91	175.98	175.95	-0.03	4475	4457	-18
SS41	90350	168.66	173.56	173.49	-0.07	4475	4456	-19
SS40	91181	164.59	170.69	170.68	-0.01	4475	4453	-22
SS39	91729	162.18	169.21	169.20	-0.01	4475	4451	-24
SS38.4	92279	161.96	168.40	168.38	-0.02	4473	4448	-25
SS38.3m	92566	162.09	167.72	167.70	-0.02	4473	4447	-26
SS38.3v	92616	161.89	166.27	166.26	-0.01	4473	4447	-26
AVm	92641	161.21	166.01	165.99	-0.02	4473	4447	-26
AVv	92656	161.03	165.91	165.90	-0.01	4473	4447	-26
SS38.2	92733	160.28	165.52	165.50	-0.02	4473	4447	-26
SS38.1m	92840	161.06	164.88	164.87	-0.01	4473	4447	-26
SS38.1v	92866	158.26	164.30	164.29	-0.01	4473	4448	-26
SS38	92997	157.46	164.09	164.08	-0.01	4473	4448	-26



Elaborato 3.1.4.1/3/1N: Assetto di progetto – Profilo idraulico Fiume Sesia – Tavola 2 (Da progr. Km 65+685 a km 97+614)



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:  
 - del fiume Sesia nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza Po;  
 - del torrente Cervo nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia;  
 - del torrente Elvo nel tratto da Occhieppo alla confluenza in Cervo;

Attività 3.1.4.1: Definizione dell'assetto di progetto del sistema fluviale

Prodotto 3.1.4.1/3: Profilo longitudinale

Elaborato 3.1.4.1/3/1N: Assetto di progetto - Profilo idraulico  
 Fiume Sesia  
 Tavola 2 (Da progr. km 65+685 a km 97+614)

Tipi di documenti	Stato redazione	Revisione
Relazione	Definitiva	10
Disegni	Definitiva	10
Relazione di progetto	Definitiva	10

P.I. Ing. Roberto C.A. - Ing. Riccardo C.A. - Ing. Roberto C.A.  
 P.I. Ing. Roberto C.A. - Ing. Riccardo C.A. - Ing. Roberto C.A.



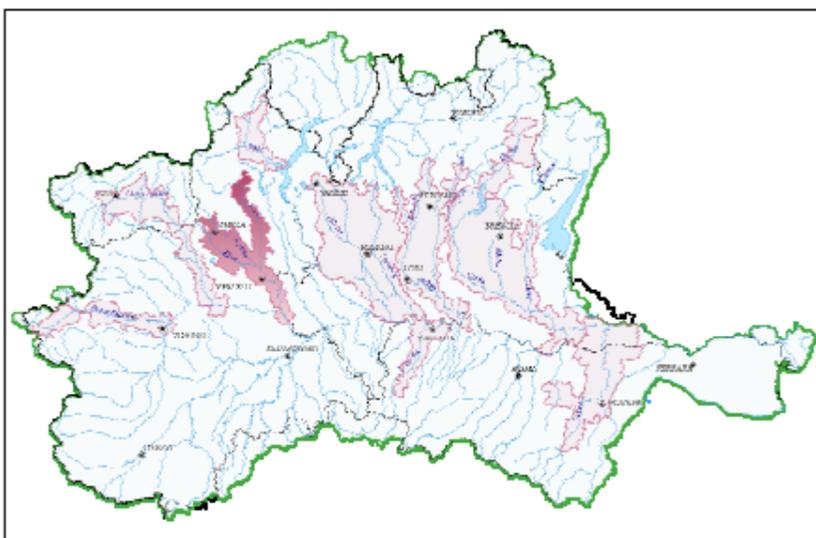
Elaborato: 3.1.4.2/1/1K Cartogramma: Fiume Sesia



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:

- del fiume Sesia, nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po;
- del torrente Cervo, nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia;
- del torrente Elvo, nel tratto da Occhieppo alla confluenza in Cervo.



Attività 3.1.4.2: Definizione, a livello di fattibilità, degli interventi in progetto

Prodotto: 3.1.4.2/1 Relazione metodologica e descrittiva

Elaborato: 3.1.4.2/1/1K Cartogramma: Fiume Sesia

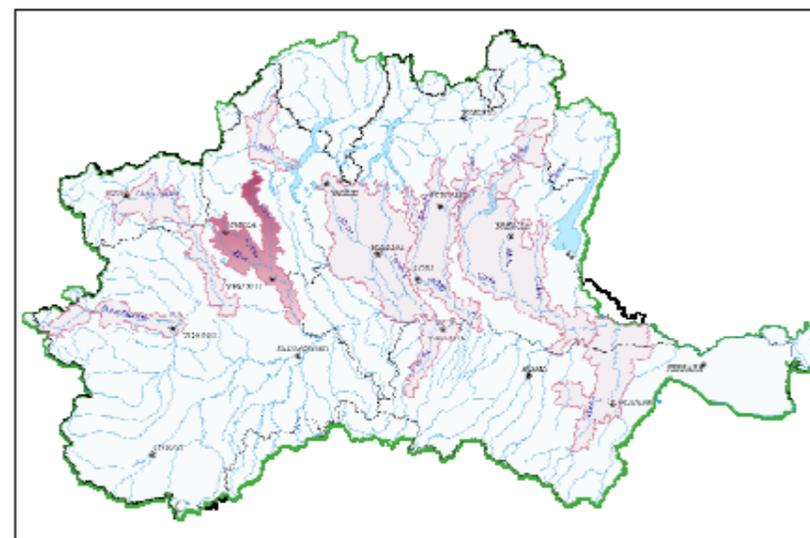
Data redazione:  
05/06/2005



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:

- del fiume Sesia, nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po;
- del torrente Cervo, nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia;
- del torrente Elvo, nel tratto da Occhieppo alla confluenza in Cervo.



Attività 3.1.4.2: Definizione, a livello di fattibilità, degli interventi in progetto

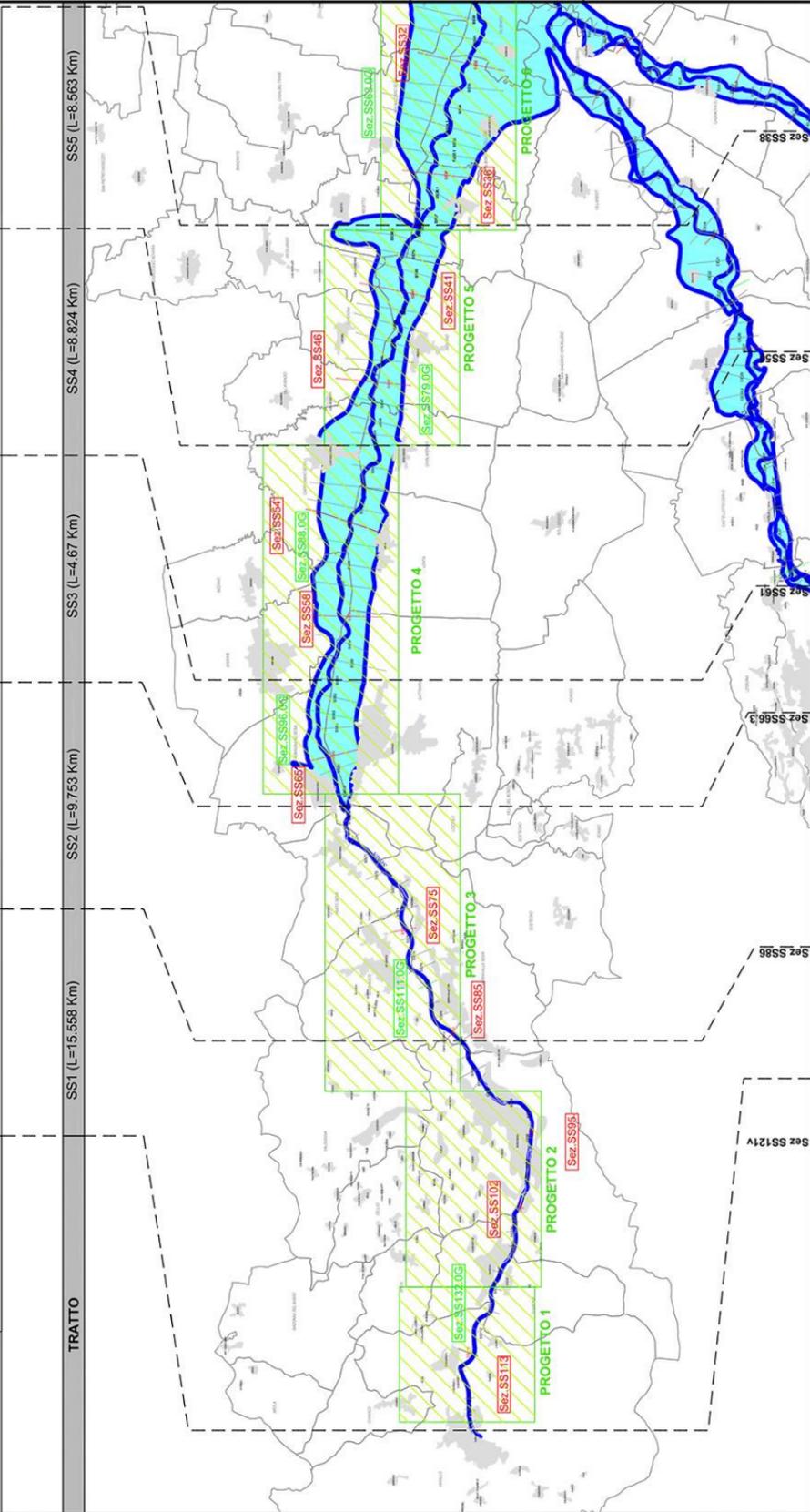
Prodotto: 3.1.4.2/1 Relazione metodologica e descrittiva

Elaborato: 3.1.4.2/1/1K Cartogramma: Fiume Sesia

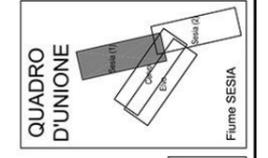
Tipo di documento: [R] + Relazione	Data redazione: 05/06/2005	Versione: 00
Ditta: Hydrodata S.p.A.	Realizzata da: G.Mininni	Responsabile del progetto: R.Dutto



MORFOLOGIA	Sezioni di controllo della rete principale				Sez. SS113 - Sez. SS102 - Sez. SS95	Sez. SS85	Sez. SS58 - Sez. SS54	Sez. SS46 - Sez. SS41
	Sezione caratteristica di riferimento	LARGHEZZA MEDIA (Corrispondente alla quota orizzontale di riferimento)	PROFONDITA' MEDIA (Riferita al fondo medio attuale)	AREA MEDIA DEFLUSSO ALVEO INCISO (Sotostante la quota orizzontale di riferimento)				
Limiti ammissibili di variabilità geometrica	AREA MEDIA DEFLUSSO ALVEO INCISO	4.40 m	5.05 m	625.0 m²	5.00 m	3.40 m	3.50 m	1280.0 m²
	INNALZAMENTO QUOTA FONDO MEDIO / % DI VARIAZIONE MAX RISPETTO AL FONDO MEDIO	0.30 m / 20.5 %	0.23 m / 4.6 %	0.90 m / 20.5 %	0.24 m / 4.8 %	0.51 m / 15.0 %	0.81 m / 17.4 %	767.29 m² / 25.18 %
Variazione di volume complessiva	AREA MINIMA DI DEFLUSSO ALVEO INCISO / % DI VARIAZIONE MAX AREA MEDIA DI DEFLUSSO NELL'ALVEO INCISO	270.34 m² / 32.80 %	435.58 m² / 12.20 %	749.11 m² / 12.62 %	692.79 m² / 20.85 %	1190.0 m²	1100.0 m²	1280.0 m²
	TOTALE (m³)							
BILANCIO DEL TRASPORTO SOLIDO	UNITARIA (m³/m)							
	Massimo campo di variazione locale dei volumi di trasporto (m³)							
FUSO GRANULOMETRICO	CURVA GRANULOMETRICA RAPPRESENTATIVA DEL TRATTO OMOGENEO, CON L'INDICAZIONE DEI LIMITI INFERIORI E SUPERIORI DI VARIAABILITA' DEI DIAMETRI CARATTERISTICI							
	TABELLA CON L'INDICAZIONE DEI LIMITI INFERIORI E SUPERIORI DEI DIAMETRI CARATTERISTICI							
RETE DI MONITORAGGIO	SEZIONI DI CONTROLLO GRANULOMETRIA ALVEO	Sez. SS112.0G	Sez. SS111.0G	Sez. SS96.0G	Sez. SS98.0G	Sez. SS79.0G	Sez. SS79.0G	Sez. SS79.0G
	STAZIONI IDROMETRICHE Esistenti / In progetto	Località Borgosesia / Manufatto SS92V	Località Romagnano Sesia / Stazione SS67	Località Romagnano Sesia / Stazione SS67	Località Recetto / Manufatto SS38.1 / Località Canale Carovè / Manufatto SS38.1m			



- ELENCO DEI PROGETTI**
- Progetto 1: Da Varallo - confluenza T. Mastallone A Quarona - Ponte SS 299 di Alagna Da Sez. SS119 A Sez. SS109
  - Progetto 2: Da Quarona - Ponte SS 299 di Alagna A Borgosesia - traversa a valle del ponte di Corso Vercelli Da Sez. SS109 A Sez. SS90
  - Progetto 3: Da Borgosesia - traversa a valle del ponte di Corso Vercelli A Romagnano Sesia - ponte ferroviario Da Sez. SS90 A Sez. SS66.2
  - Progetto 4: Da Romagnano Sesia - ponte ferroviario A Ghislarengo - ponte ferroviario Da Sez. SS66.2 A Sez. SS50
  - Progetto 5: Da Ghislarengo - ponte ferroviario A autostrada A4 Da Sez. SS50 a Sez. SS38.2
  - Progetto 6: Da autostrada A4 A confluenza Cervo Da SS38.2 A SS28
  - Progetto 7: Da confluenza Cervo A autostrada A26 Da Sez. SS28 A Sez. SS19.1
  - Progetto 8: Da Pont Saint Martin - confluenza T. Lys A Ponte SP 87 Caresana-Langosco Da Sez. SS19.1 A Sez. SS5.1
  - Progetto 9: Da Ponte SP 87 Caresana-Langosco A confluenza in Po Da Sez. SS5.1 A Sez. SS0



**CARTOGRAMMA**  
DEFINIZIONE A LIVELLO DI FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO  
MONITORAGGIO IDROLOGICO E SEZIONI DI CONTROLLO DEL TRASPORTO SOLIDO

3 | 1 | 4 | 2 | - | 1 | - | 1 | K | \_ | 1 | 7 | 0 | 4 | 0 | 0 | D | W | G



Elaborato 3.1.4.2/4/4R: Descrizione sintetica degli interventi in progetto e documentazione fotografica dei siti di intervento

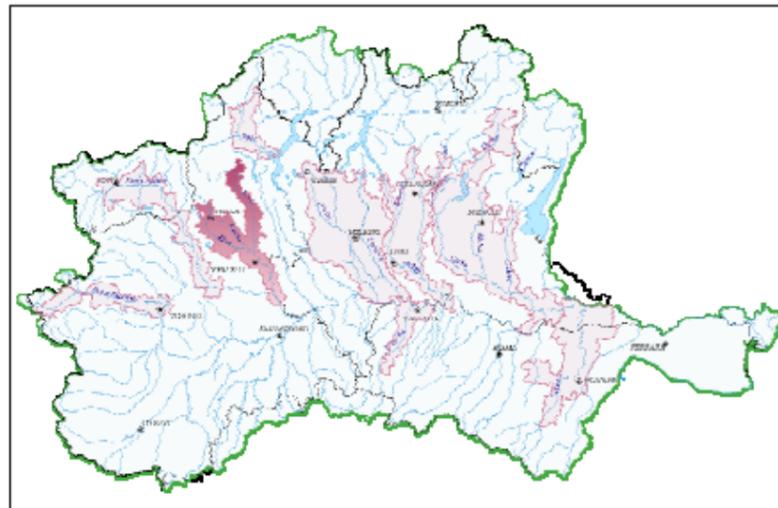
PROGETTO N.4 - Tratto da Romagnano Sesia – ponte ferroviario (km 71.5 circa) fino a Ghislarengo – ponte ferroviario (km 84.5 circa)



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:

- del fiume Sesia, nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po;
- del torrente Cervo, nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia;
- del torrente Elvo, nel tratto da Occhieppo alla confluenza in Cervo.



Attività 3.1.4.2: Definizione, a livello di fattibilità, degli interventi in progetto

Prodotto 3.1.4.2/4: Schede di progetto

Elaborato 3.1.4.2/4/4R: Descrizione sintetica degli interventi in progetto e documentazione fotografica dei siti di intervento

3.1.4.2/4/1C: Stralci planimetrici - Scala 1:5.000

3.1.4.2/4/1N: Profili longitudinali di progetto

3.1.4.2/4/2N: Sezioni trasversali di progetto

PROGETTO N.4 - Tratto da Romagnano Sesia – ponte ferroviario (km 71.5 circa) fino a Ghislarengo – ponte ferroviario (km 84.5 circa)

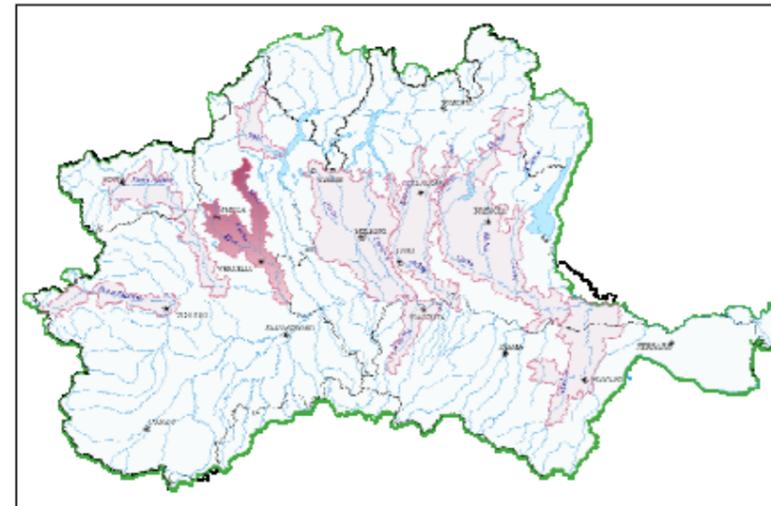
Data redazione:  
05/06/2005



AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:

- del fiume Sesia, nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po;
- del torrente Cervo, nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia;
- del torrente Elvo, nel tratto da Occhieppo alla confluenza in Cervo.



Attività 3.1.4.2: Definizione, a livello di fattibilità, degli interventi in progetto

Prodotto 3.1.4.2/4: Schede di progetto

Elaborato 3.1.4.2/4/4R: Descrizione sintetica degli interventi in progetto e documentazione fotografica dei siti di intervento

3.1.4.2/4/1C: Stralci planimetrici - Scala 1:5.000

3.1.4.2/4/1N: Profili longitudinali di progetto

3.1.4.2/4/2N: Sezioni trasversali di progetto

PROGETTO N.4 - Tratto da Romagnano Sesia – ponte ferroviario (km 71.5 circa) fino a Ghislarengo – ponte ferroviario (km 84.5 circa)

Tipo di documento: [R] + Relazione	Data redazione: 05/06/2005	Versione: 00
Ditta: ATI - Hydrodata S.p.A., INTECNO-DHI, Risorse Idriche S.p.A.	Realizzata da: G.Mininni	Responsabile del progetto: R.Dutto

#### PROGETTO N. 4 – INTERVENTO SS SI RA10 (Compartimento AS07)

##### Tipologia 1.1: Realizzazione argini o muri arginali

###### Descrizione dell'intervento

L'intervento si estende per complessivi 1240 m e riguarda l'argine esistente situato a valle di cascina Comunità (opera SSAR0160 – Rif. Catasto delle opere - Att. 3.X.1.5).

Esso consisterà nel ringrosso del corpo arginale (Rif. Elaborato 3.1.4.2/5/1R - tipologia 1.1.3) sul lato campagna (in quanto l'opera esistente, sul paramento lato fiume, ha un rivestimento in lastre di cls in buone condizioni) e, nel tratto centrale (per la presenza di un paleoalveo riattivabile, cioè di terreni altamente permeabili), nella realizzazione di un setto antisifonamento in c.a di spessore minimo di 60 cm e profondità indicativa di 10 m; tale setto (in alternativa) potrebbe essere costituito da colonne di terreno consolidato con la tecnica del jet-grouting (Rif. Elaborato 3.1.4.2/5/1R - tipologia 1.1.5).

La scarpata del lato risagomato avrà pendenza pari a 2/1 e sarà ricoperta di terreno vegetale in cui verrà praticato un adeguato impianto vegetativo, con seminazione di un miscuglio di fiorume o sementi prative, che con l'apparato radicale conferirà un adeguato resistenza per la protezione dall'erosione esercitata dalle acque piovane e dagli agenti meteorici.

Il rilevato sarà costruito previo uno scavo di scotico, con gradonature di immorsamento, per la preparazione del piano di posa e compattazione del nuovo materiale, costituito da terra omogenea e di medio impasto (preferibilmente materiale di fiume), costipata in strati successivi di 30÷50 cm, fino ad un'altezza superiore del 10÷15% rispetto a quella di progetto (ciò per tenere conto del costipamento del terreno e dell'argine stesso).

La realizzazione del setto interesserà un tratto lungo 300 mentre i tratti di adeguamento in sagoma a monte e a valle saranno lunghi rispettivamente 465 m e 475 m.

###### Stima sommaria dei costi (Rif. Elaborato 3.1.4.2/5/1R)

Descrizione Lavori	Quantità	Unità di misura	Costo unitario (€)	Importo (€)
Adeguamento in sagome e/o quota argine esistente (Tipologia 1.1.3)	465	m	297.50	138'337.50
Realizzazione setto anti-sifonamento (Tipologia 1.1.5)	475	m	297.50	141'312.50
Realizzazione setto anti-sifonamento (Tipologia 1.1.5)	3000	m <sup>2</sup>	180.00	540'000.00

Totale costi analitici € 819'650.00  
Stima totale intervento € 820'000.00

Si allega la sezione di progetto e documentazione fotografica dei siti di intervento. Per lo stralcio planimetrico con l'ubicazione dell'intervento ed il profilo di progetto si veda la scheda SS SI AR24

3142-4-48\_17-02700.000/M&E/EX/01

#### Progetto n. 4 - Intervento SS SI RA10 (sistemazioni idrauliche)

##### Documentazione fotografica siti di intervento

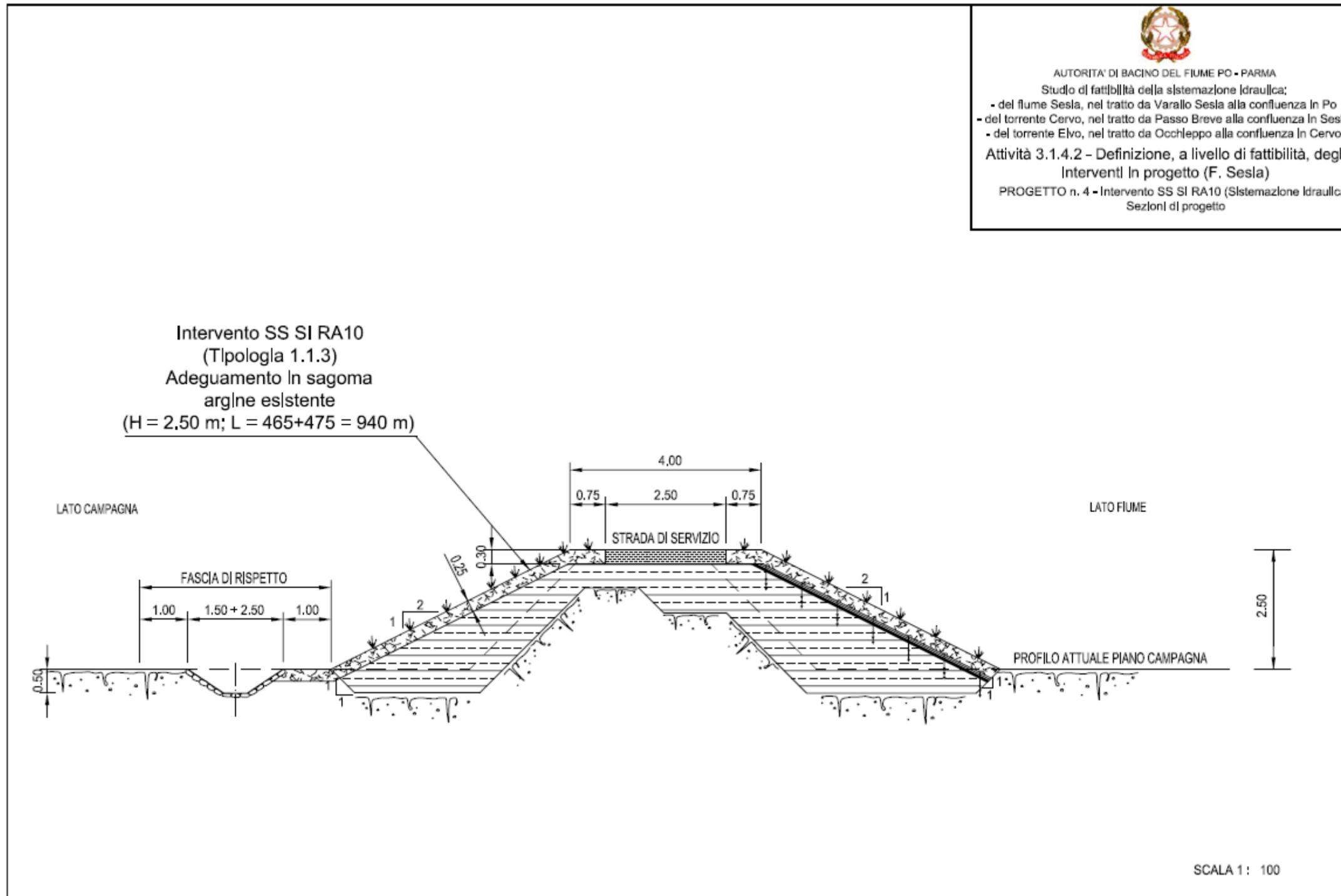


Foto 9 – Vista verso monte dell'argine esistente oggetto di intervento (opera SSAR0160 – Rif. Catasto delle opere idrauliche - Att. 3.X.1.5).

3142-4-48\_17-02700.000/M&E/EX/01



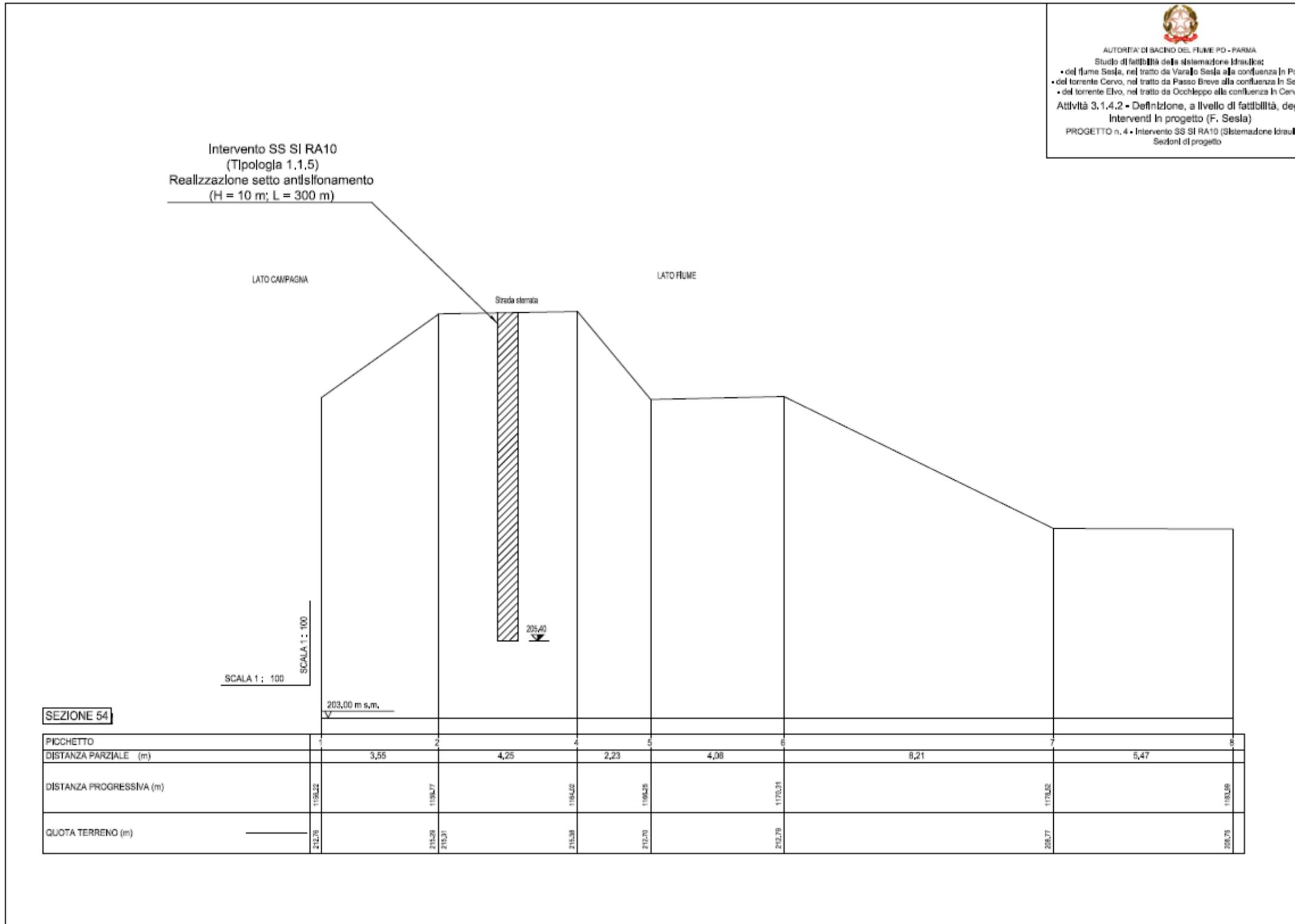
AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO - PARMA  
Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:  
- del fiume Sesia, nel tratto da Varallo Sesia alla confluenza in Po  
- del torrente Cervo, nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia  
- del torrente Elvo, nel tratto da Occhleppo alla confluenza in Cervo  
Attività 3.1.4.2 - Definizione, a livello di fattibilità, degli  
Interventi in progetto (F. Sesia)  
PROGETTO n. 4 - Intervento SS SI RA10 (Sistemazione idraulica)  
Sezioni di progetto





AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO - PARMA  
Studio di fattibilità della sistemazione idraulica:  
• del fiume Sesia, nel tratto da Varajo Sesia alla confluenza in Po  
• del torrente Cervo, nel tratto da Passo Breve alla confluenza in Sesia  
• del torrente Elvo, nel tratto da Occhieppo alla confluenza in Cervo  
Attività 3.1.4.2 - Definizione, a livello di fattibilità, degli  
Interventi in progetto (F. Sesia)  
PROGETTO n. 4 - Intervento SS SI RA10 (Sistemazione Idraulica)  
Sezioni di progetto

Intervento SS SI RA10  
(Tipologia 1.1.5)  
Realizzazione setto antisifonamento  
(H = 10 m; L = 300 m)





**ALLEGATO 3: Indagine idraulica**

## **INTRODUZIONE**

Il presente documento costituisce rapporto delle indagini idrauliche condotte in situ, a supporto della successiva progettazione definitiva degli interventi di sistemazione dell'argine in sinistra del Fiume Sesia, giusta Determinazione Ufficio Tecnico – Lavori Pubblici dell'Unione “Bassa Sesia” 02/03/2015 n.25.

## 1- SOPRALLUOGO E PRELIEVO DEL MATERIALE

Il prelievo degli 8 campioni di materiali sottoposti ad analisi granulometrica è stato effettuato il giorno 06/03/2015.

L'ubicazione dei punti di prelievo del materiale è rappresentato nella figura seguente:

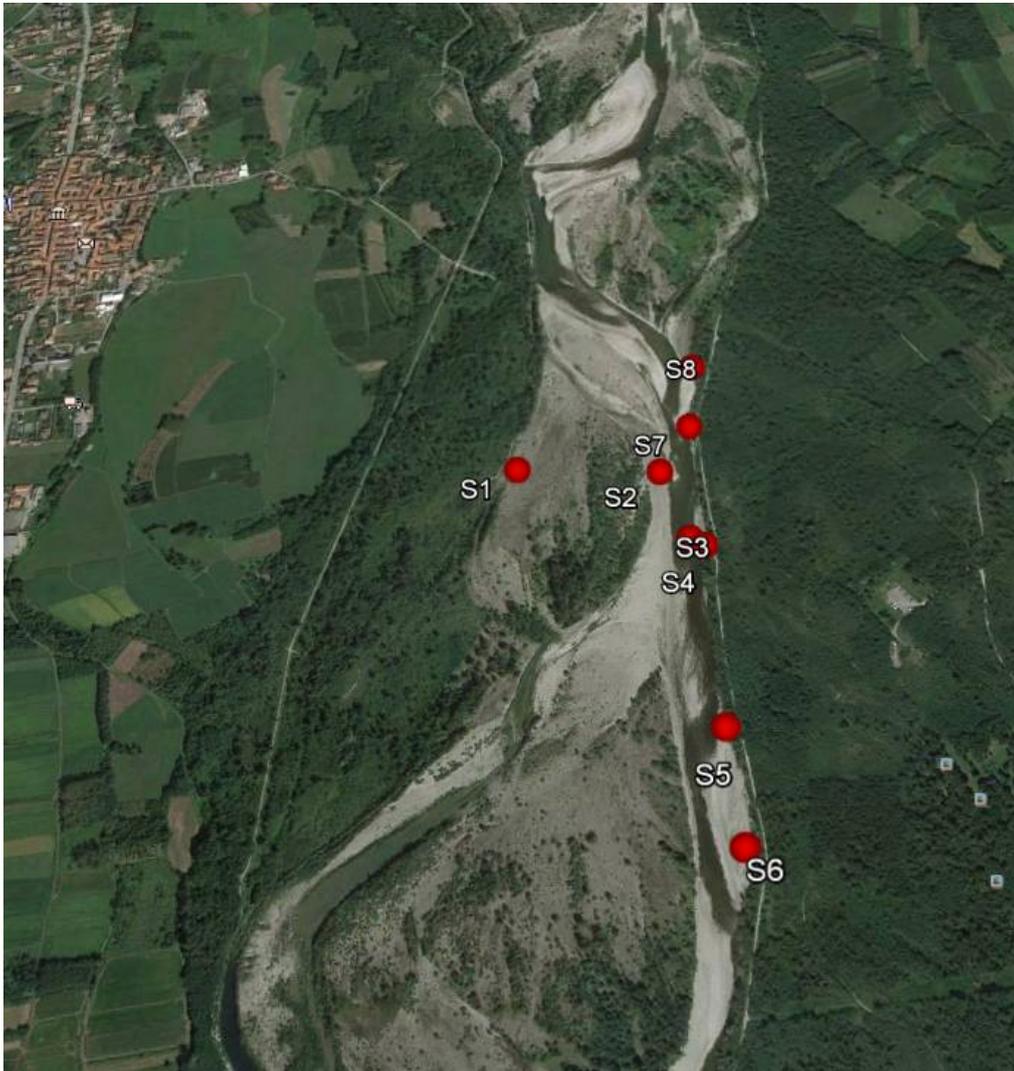


Figura 1 - Ubicazione planimetrica dei prelievi eseguiti (fotoaerea da Googlearth)

I campioni S1, S2, S3 e S4 sono stati prelevati, per quanto possibile, lungo la sezione trasversale AIPO SS53; tuttavia, come mostrato in planimetria, i campioni S3 e S4 sono stati prelevati poco più a sud rispetto all'allineamento S1-S2, poiché non è stato possibile accedere al corso d'acqua più a nord.

I campioni S1 e S3 sono stati prelevati in corrispondenza delle sponde, il campione S4 all'interno dell'alveo di magra, e il campione S2 nella zona compresa tra il talweg e la sponda destra.

Gli altri campioni (S5, S6, S7 e S8) sono stati prelevati lungo la sponda sinistra alla base dell'alveo esistente, ad una distanza di 200 m circa l'uno dall'altro, due verso monte (S7 e S8) e due verso valle (S5 e S6) rispetto alla sezione trasversale SS53.

Per tutti i punti di campionamento sono stati prelevati più di 2kg di materiale, come da specifiche tecniche.

## 2 - CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEI CAMPIONI

Tutti i campioni prelevati sono stati successivamente analizzati granulometricamente, ricostruendo per ciascuno la relativa curva granulometrica.

L'analisi granulometrica è stata eseguita per setacciatura, con una serie di setacci standard aventi maglie ad apertura differente. Si sono impiegati, in particolare, 12 setacci (Tabella 1).

Il materiale più grossolano è stato invece classificato misurando il diametro caratteristico del singolo granulo tramite l'uso di un metro.

Setaccio	Apertura [mm]
1	37.5
2	25.0
3	19.0
4	12.5
5	9.5
6	4.75
7	2.0
8	1.0
9	0.5
10	0.212
11	0.180
12	0.075

Tabella 1 – Setacci utilizzati per la caratterizzazione granulometrica

L'operazione di setacciatura è stata svolta sul materiale di ciascun campione avente diametro inferiore a 37.5 mm. L'analisi delle granulometrie è stata eseguita sul materiale perfettamente asciutto, dopo l'essiccazione in forno a 110°C degli 8 campioni per una durata di circa 15 ore.



Figura 2 - Forno utilizzato per l'essiccazione dei campioni

Una quantità nota di ciascun campione ( $P_{tot}$ ) è stata versata progressivamente nei vari setacci posti in ordine decrescente di apertura e, dopo aver sottoposto ogni setaccio a vibrazione, sono stati pesati i trattenuti parziali  $P_j$ . Sono stati poi calcolati i trattenuti cumulativi relativi all' $i$ -esimo setaccio ( $TC_i$ ), espressi in percentuale rispetto al peso totale di ciascun campione  $P_{tot}$ :

$$TC_i = 100 \cdot \frac{\sum_{j=1}^i P_j}{P_{tot}} \quad (1)$$

Infine, i passanti cumulativi ( $PC_i$ ) necessari alla ricostruzione delle curve granulometriche, espressi in percentuale sempre rispetto al peso totale di ciascun campione, sono stati calcolati come il complemento a 100 dei trattenuti cumulativi:

$$PC_i = 100 - TC_i \quad (2)$$

Nel seguito vengono riportati, per ciascuno degli 8 campioni, le fotografie del punto di prelievo, della porzione di campione grossolana e del campione effettivamente setacciato. Seguono inoltre le curve granulometriche di ciascun campione e la corrispondente classificazione granulometrica.



Figura 2 – Punto di prelievo del campione S1



Figura 3 – Campione S1 grossolano



Figura 4 – Campione S1 sottoposto a setacciatura

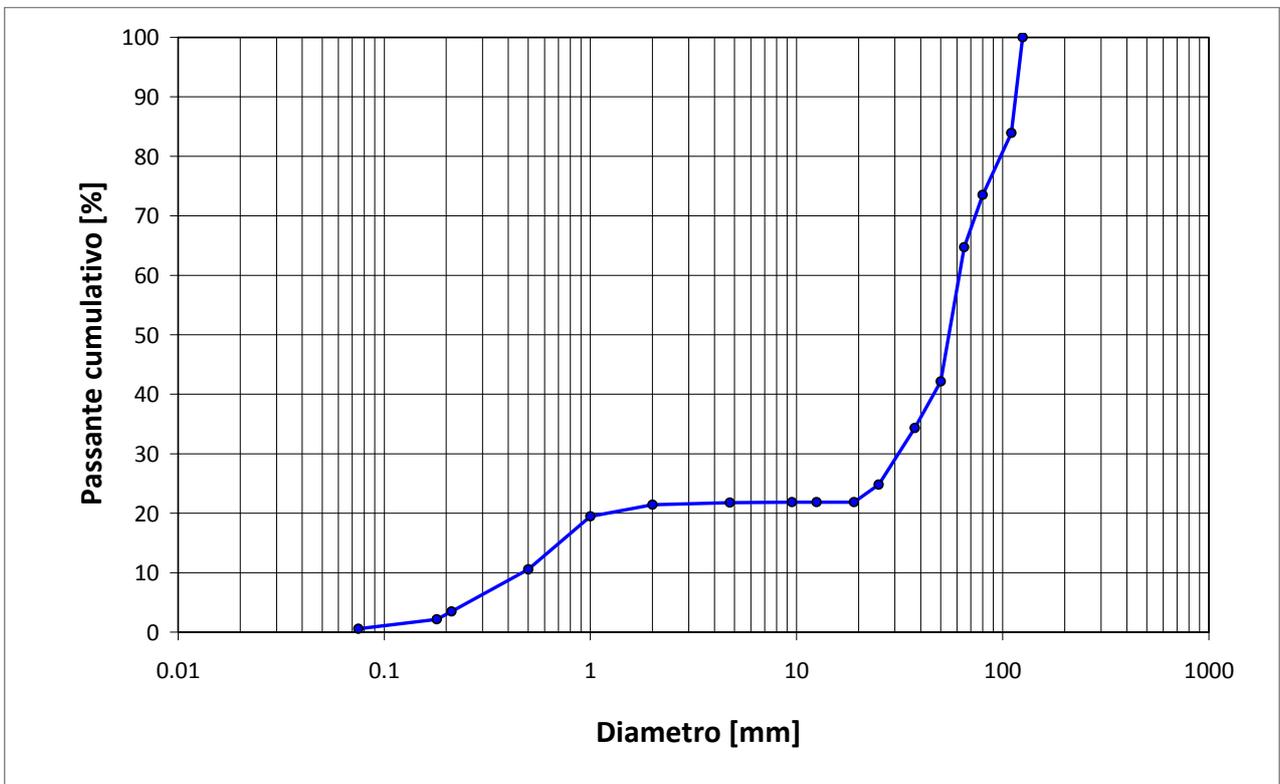


Grafico 1 – Curva granulometrica campione S1



Figura 5 - Punto di prelievo del campione S2



Figura 6 - Campione S2 grossolano



Figura 7 - Campione S2 sottoposto a setacciatura

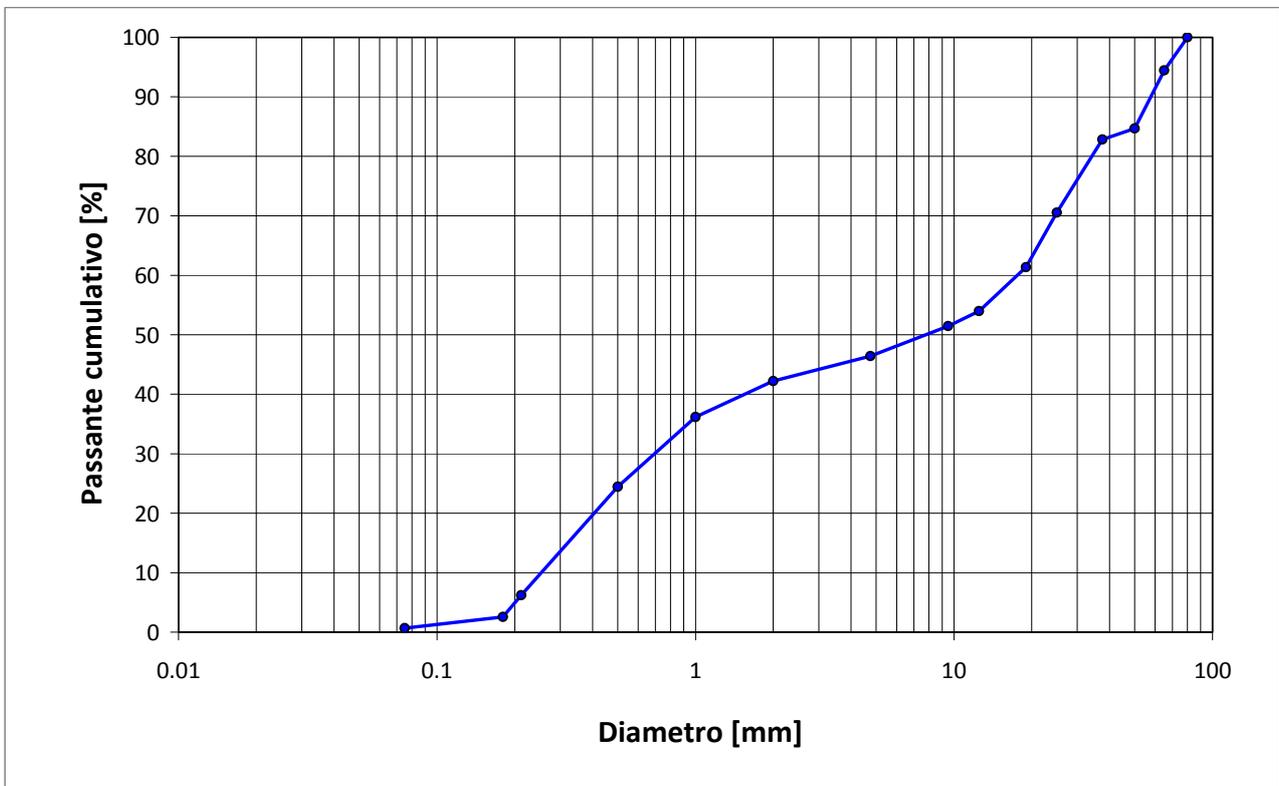


Grafico 2 - Curva granulometrica campione S2



Figura 8 – Punto di prelievo del campione S3



Figura 9 - Campione S3 grossolano



Figura 10 - Campione S3 sottoposto a setacciatura

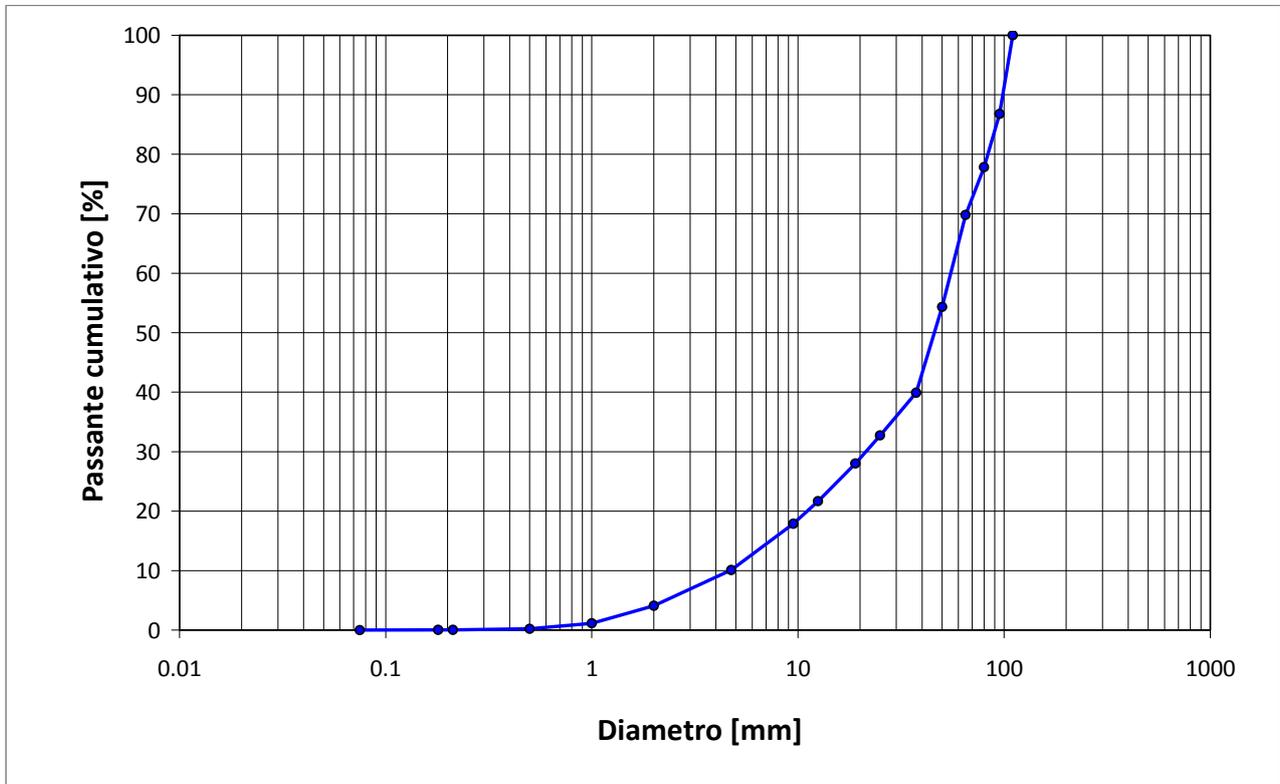


Grafico 3 – Curva granulometrica campione S3



Figura 11 – Punto di prelievo del campione S4



Figura 12 - Campione S4 grossolano



Figura 13 - Campione S4 sottoposto a setacciatura

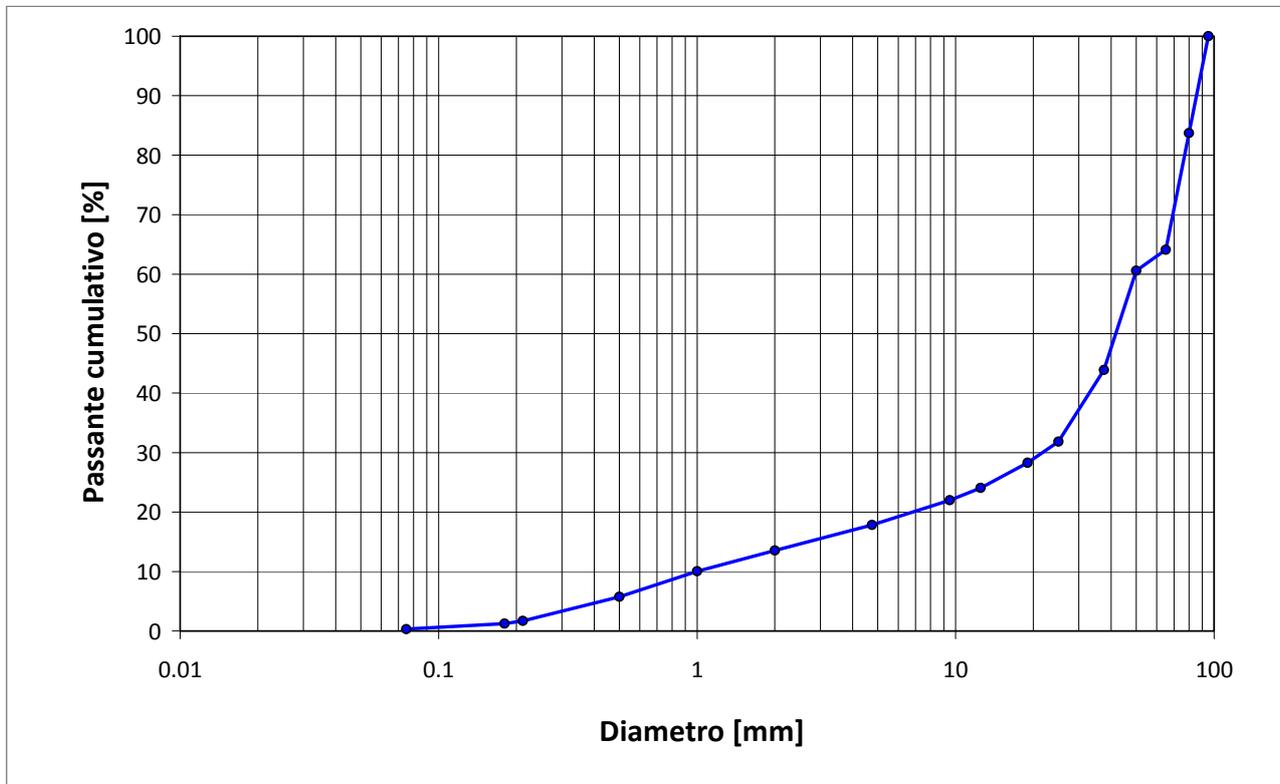


Grafico 4 – Curva granulometrica campione S4



Figura 14 - Campione S5 grossolano



Figura 15 - Campione S5 sottoposto a setacciatura

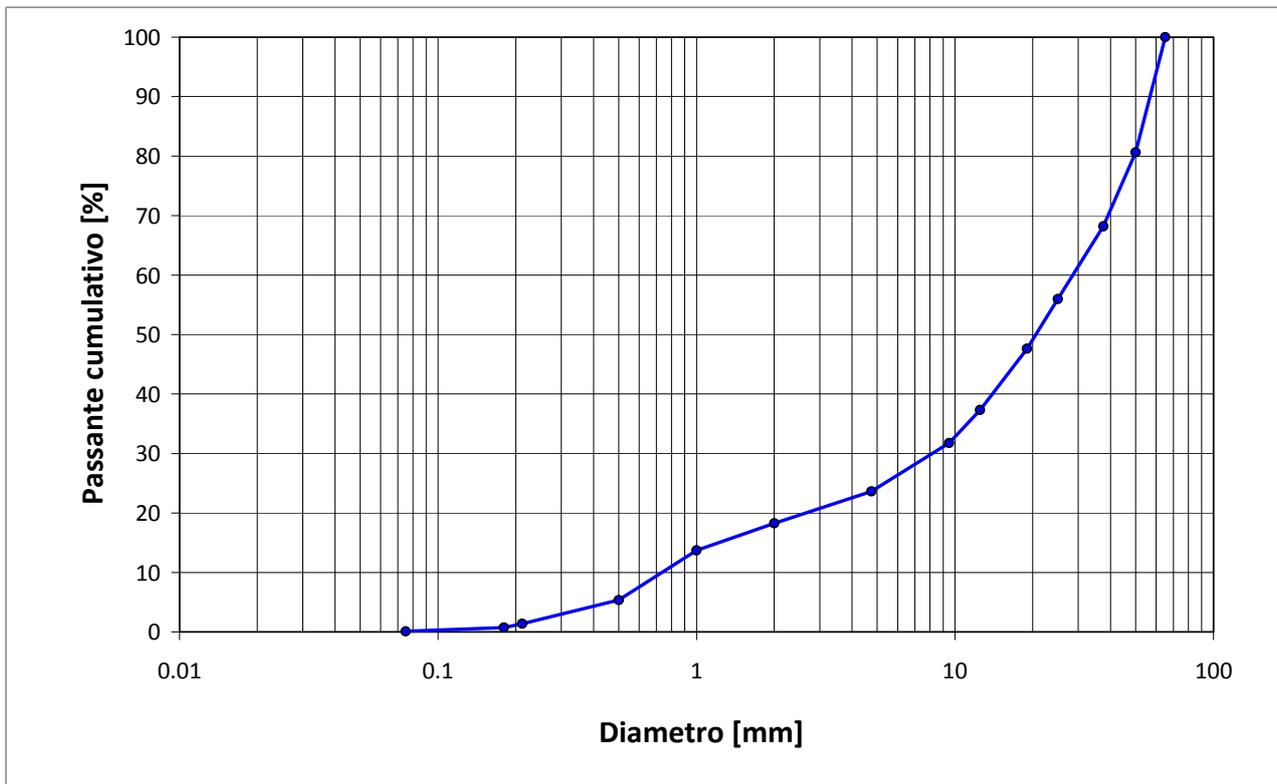


Grafico 5 – Curva granulometrica campione S5



Figura 16 – Punto di prelievo del campione S6



Figura 17 - Campione S6 grossolano



Figura 18 - Campione S6 sottoposto a setacciatura

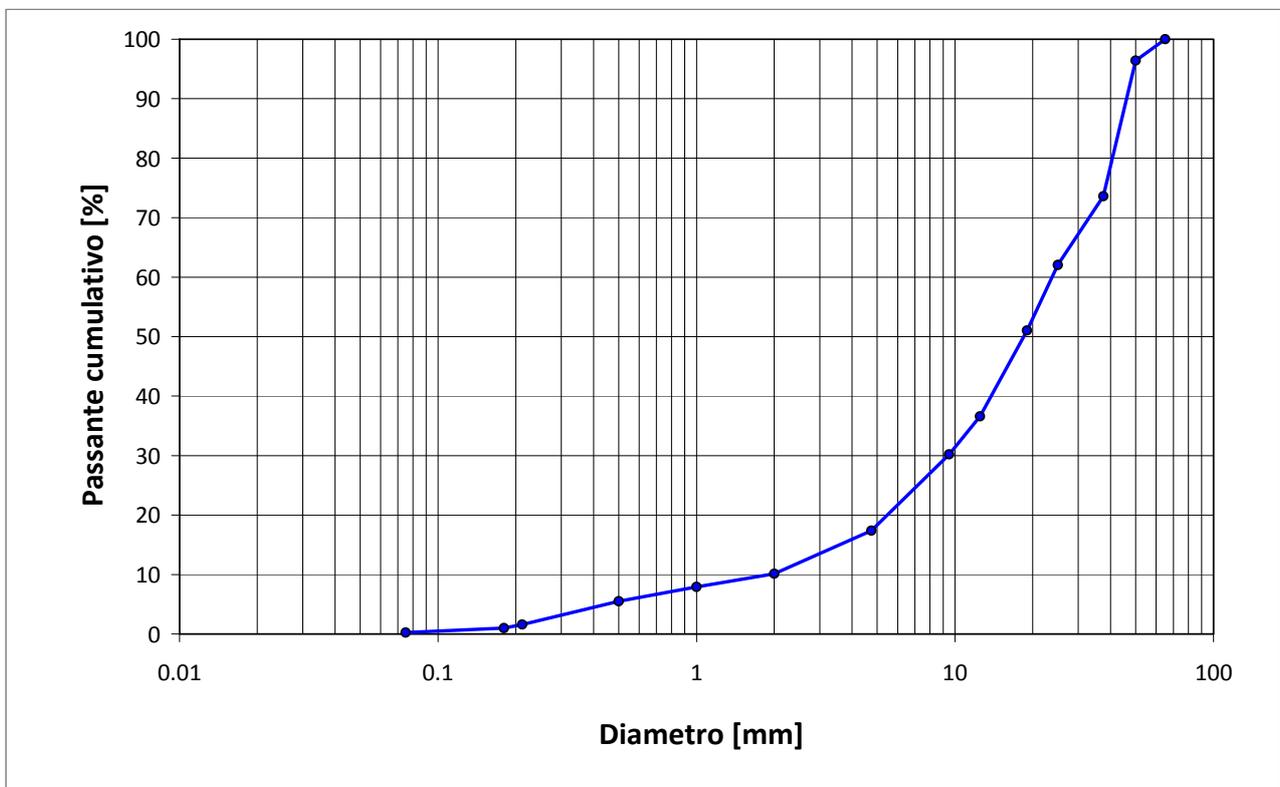


Grafico 6 – Curva granulometrica campione S6



Figura 19 – Punto di prelievo del campione S7



Figura 20 - Campione S7 grossolano



Figura 21 - Campione S7 sottoposto a setacciatura

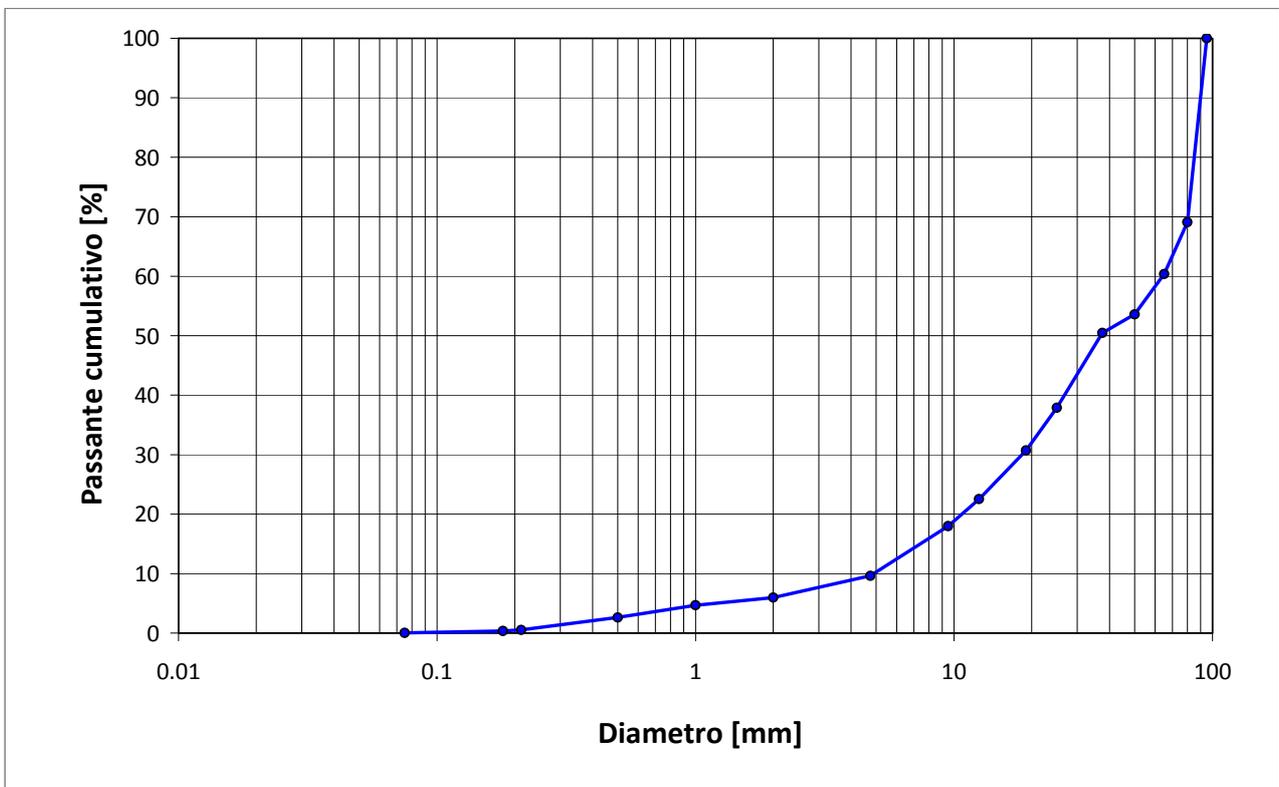


Grafico 7 – Curva granulometrica campione S7



Figura 22 – Punto di prelievo del campione S8



Figura 23 - Campione S8 grossolano



Figura 24 - Campione S8 sottoposto a setacciatura

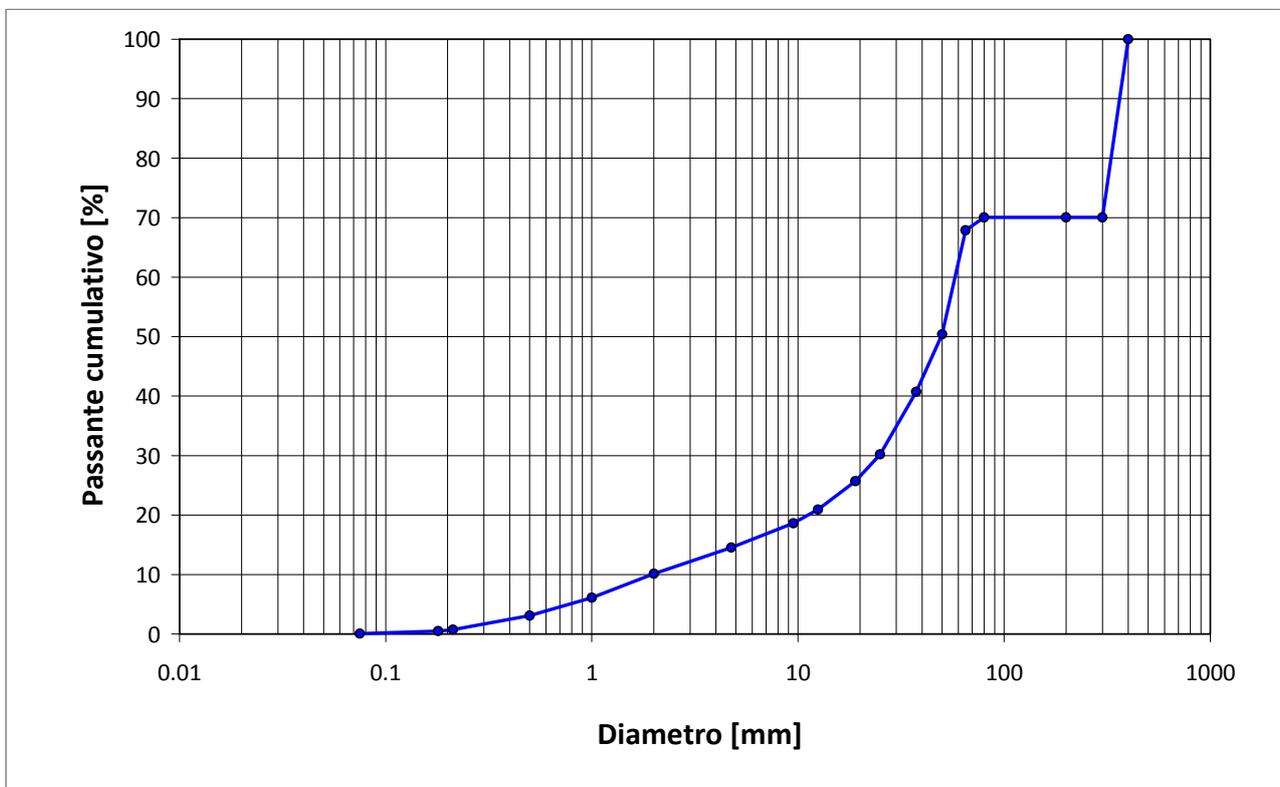


Grafico 8 – Curva granulometrica campione S8

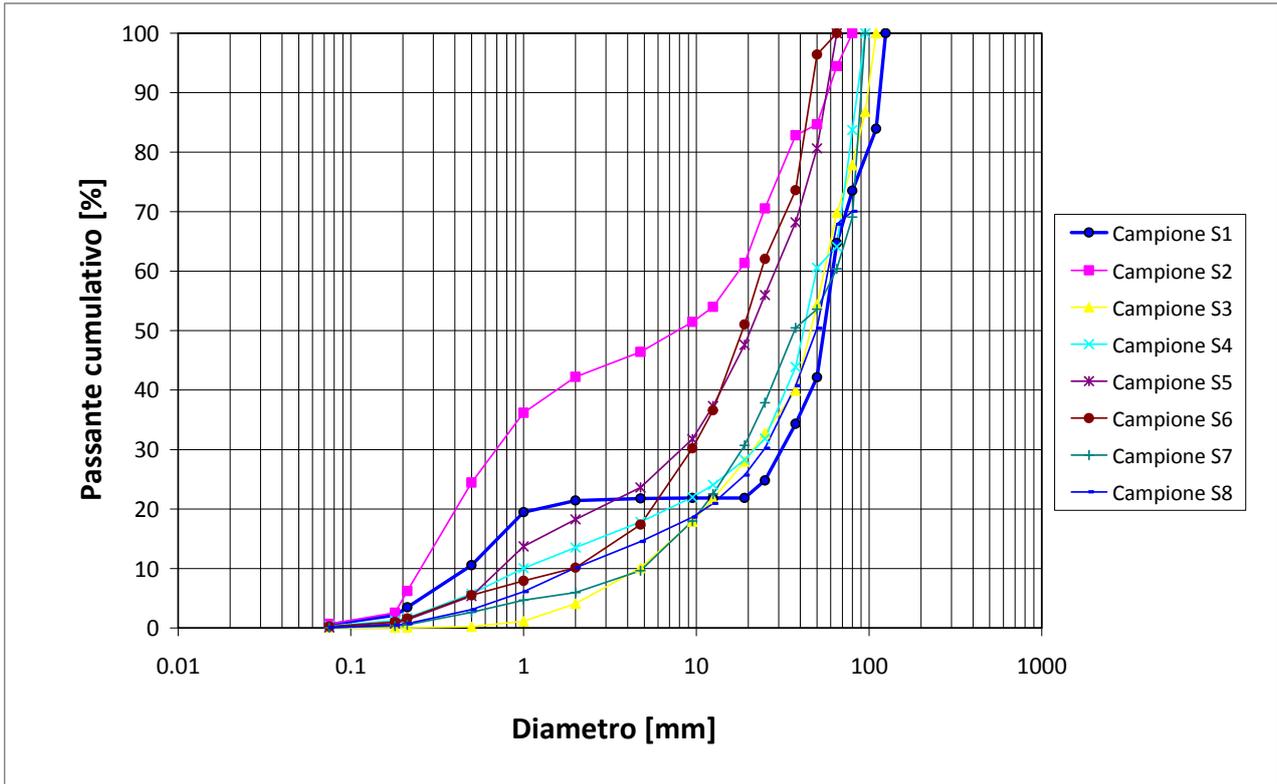


Grafico 9 –Sovrapposizione delle curve granulometriche degli 8 campioni

Dall'interpretazione delle curve granulometriche è stato ricavato il diametro caratteristico  $D_{50}$  e da esso è stata determinata la classe granulometrica di appartenenza di ciascun campione di terreno (Tabella 2).

Campione	$D_{50}$ [mm]	Tipo sedimento
S1	55	Ghiaia
S2	7.8	Ghiaia
S3	46	Ghiaia
S4	41	Ghiaia
S5	21	Ghiaia
S6	18.5	Ghiaia
S7	37	Ghiaia
S8	50	Ghiaia

Tabella 2 – Classificazione granulometrica dei campioni

Il materiale esaminato risulta essere prevalentemente omogeneo di granulometria grossolana, classificato come ghiaia.

L'ESTENSORE

(dott. ing. Stefania Meucci)

