

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA

TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Studio di geomorfologia fluviale - Relazione

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V 0 I 0 0 D 0 9 R G I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	D. Polverelli	Gen. 2022	C. Cesali	Gen. 2022	G. Fadda	Gen. 2022	A. Vittozzi Gennaio 2022

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili - Sezione delle varianti
Dett. Imp. Ing. A. Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 420783

File: IV0I00D09RGID0002001A.docx

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

INDICE

1	PREMESSA.....	4
1.1	OBIETTIVI E CONTENUTI DELLO STUDIO	4
1.2	METODOLOGIA DI LAVORO	4
1.3	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	6
2	CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO.....	8
2.1	ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEI CORSI D'ACQUA INTERESSATI DAL PROGETTO	10
2.1.1	METODOLOGIA PER L'INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI PRELIEVO DEL MATERIALE D'ALVEO....	22
2.1.2	CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEI CORSI D'ACQUA IN ESAME	24
2.2	INDICE DI DINAMICA MORFOLOGICA (IDM).....	26
2.2.1	METODO IDRAIM.....	26
2.2.2	APPLICAZIONE AI CASI DI STUDIO	30
3	VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO	32
3.1	MODELLI MATEMATICI PER IL TRASPORTO SOLIDO	32
3.1.1	LA TEORIA DI SHIELDS PER IL MOTO INCIPIENTE	32
3.1.2	L'EQUAZIONE DI EXNER	35
3.1.3	ACCOPPIAMENTO ACQUA-SEDIMENTI	37
3.1.4	SCELTA DELLA FORMULA DI TRASPORTO SOLIDO PER I CASI IN ESAME.....	39
3.2	MODELLO DI CALCOLO IDRAULICO A FONDO MOBILE	45
3.2.1	HEC-RAS, MODULO PER IL TRASPORTO DEI SEDIMENTI	45
3.2.2	SCHEMATIZZAZIONE IDRAULICA ADOTTATA	48
3.3	MODALITÀ EVOLUTIVE DELL'ALVEO	56

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV01</td> <td>00</td> <td>D 09 RG</td> <td>ID 0002 001</td> <td>A</td> <td>3 di 106</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	3 di 106
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	3 di 106								

3.3.1	TENDENZA ALL'EROSIONE E ALLA DEPOSIZIONE.....	56
4	CONCLUSIONI	69
4.1	ANALISI DEL RAPPORTO CON L'OPERA IN PROGETTO	69
5	BIBLIOGRAFIA	72
6	ALLEGATO - SCHEDE DI RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO	74

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 4 di 106

1 PREMESSA

1.1 OBIETTIVI E CONTENUTI DELLO STUDIO

La presente Relazione riferisce in merito alle analisi di geomorfologia fluviale, relative ai corsi d'acqua interessati dal Progetto Definitivo di raddoppio della linea esistente Genova – Ventimiglia, nel tratto tra Finale Ligure ed Andora, in Provincia di Savona. Lo studio geomorfologico viene condotto con l'obiettivo di valutare le tendenze evolutive dei corsi d'acqua, in termini di possibili naturali variazioni morfologiche dell'alveo che evidenzino erosioni o deposizioni diffuse con mobilitazione dei sedimenti e conseguente possibile rischio di interrimento delle opere di attraversamento. La deposizione del materiale d'alveo, trasportato dalla corrente idrica, viene infatti presa in considerazione per il dimensionamento delle nuove opere di attraversamento, in quanto la luce libera di sottotrave può ridursi appunto a causa dell'interrimento. Tuttavia, i sedimenti naturalmente depositi dalla corrente idrica possono essere rimobilizzati dalle piene, per cui l'analisi del trasporto solido fluviale ha l'obiettivo di indicare appunto la tendenza evolutiva, secondo adeguati scenari di andamento delle portate di magra e di piena, al fine di programmare le conseguenti attività di manutenzione, finalizzate al monitoraggio della dinamica morfologica del corso d'acqua.

1.2 METODOLOGIA DI LAVORO

La procedura implementata per valutare la tendenza evolutiva di un corso d'acqua si compone operativamente delle seguenti fasi:

- Caratterizzazione geomorfologica del corso d'acqua
 - Valutazione degli apporti di sedimenti per fenomeni gravitativi all'interno del bacino idrografico di interesse mediante sopralluoghi e l'analisi degli studi (se disponibili) condotti dagli enti proposti alla tutela e salvaguardia del territorio (ad es. cartografia P.A.I., Carta dei Dissesti,...), secondo quanto previsto dal manuale di progettazione e dalle linee guida di RFI.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

- Applicazione della metodologia IDRAIM (Ispra, 2016) per la definizione dell'Indice di dinamica morfologica – IDM, sulla base del rilevamento *in situ* delle caratteristiche di erodibilità, artificialità (opere di protezione/difesa sponde/alveo), variabilità morfologica (larghezza alveo, altimetria), nonché delle analisi granulometriche di campioni di materiale prelevati in alveo.

- Caratterizzazione idraulica del corso d'acqua
 - Sviluppo di modelli idraulici «a fondo mobile» (HEC RAS), secondo scenari di andamento delle portate medie mensili, ai fini dell'individuazione dei tratti di alveo soggetti a fenomeni erosione e/o deposizione, nelle situazioni ante-operam e post-operam, in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto.
 - Simulazioni di scenari relativi a portate corrispondenti a tempi di ritorno elevati, laddove necessario (ad es. in presenza di zone soggette a deposizione immediatamente a monte dell'intervento), per una più dettagliata valutazione della possibilità di interrimento delle opere previste.

- Analisi dei risultati ottenuti dalla caratterizzazione geomorfologica e idraulica
 - Verifica e/o dimensionamento delle opere di attraversamento: se soggette ad erosione, si procede alla definizione di opportune opere di sistemazione idraulica; se soggette a deposizione, si procede con la verifica dell'ufficiosità idraulica dell'opera di attraversamento prevista, con riferimento alla normativa vigente in materia di franco idraulico (minimo) di sicurezza.
 - Nuove iterazioni di progettazione per le opere a (forte) rischio di interrimento con conseguente significativa riduzione del franco idraulico, al di sotto del valore minimo previsto dalla normativa vigente.
 - Definizione del '*livello di attenzione per interventi di manutenzione*' (LAm) finalizzato al mantenimento dei franchi idraulici di progetto e programmazione delle

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

attività manutentive (frequenza delle ispezioni,...), sulla base dei risultati IDRAIM e HECRAS.

Di seguito, la “flow chart” riepilogativa della procedura sopra descritta.

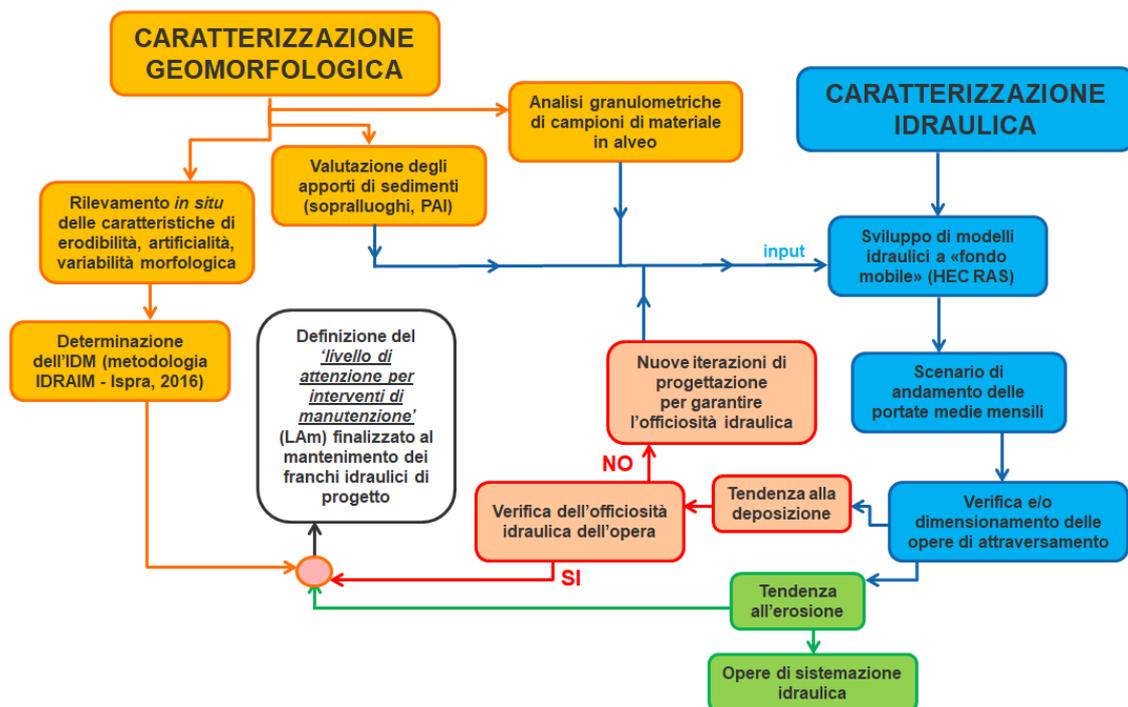


Figura 1: Procedura di analisi: flow chart

1.3 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Ai fini del presente studio sono stati consultati i seguenti piani e documentazione di riferimento:

- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) 2015-2021, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Piani stralcio di assetto idrogeologico, Regione Liguria;

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

- Sistema di valutazione geomorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Metodo IDRAIM (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

Sistema di valutazione geomorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Metodo IDRAIM (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

Il sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua, denominato IDRAIM, è stato realizzato con l'obiettivo di sviluppare una metodologia complessiva di analisi e di supporto alla gestione dei processi geomorfologici nei corsi d'acqua, tenendo conto in maniera integrata di obiettivi di qualità e di sicurezza, ai sensi della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (Water Framework Directive o WFD) e della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE (Floods Directive o FD). Il metodo sviluppato intende costituire una procedura sistematica e strutturata su come affrontare i vari aspetti geomorfologici, a integrazione di altre componenti (quali, ad es., gli aspetti idraulici ed ecologici), per poter giungere a fornire il supporto scientifico e conoscitivo per una gestione integrata dei corsi d'acqua.

Seppure costruito su basi scientifiche solide, è da tener presente che si tratta di una metodologia applicativa, tale da poter essere utilizzabile da parte degli enti responsabili dell'implementazione delle Direttive e dei piani di gestione e della gestione dei corsi d'acqua.

Uno degli obiettivi di tale metodologia è la definizione dell'Indice di Qualità Morfologica (IQM) e dell'Indice di Dinamica Morfologica (IDM) i quali rappresentano uno strumento per valutare lo scostamento rispetto a condizioni indisturbate del corso d'acqua che rappresentano le condizioni di riferimento. Nella definizione delle condizioni di riferimento si tiene conto della traiettoria di evoluzione del corso d'acqua, dei requisiti richiesti dalla WFD e del contesto specifico dei corsi d'acqua italiani, i quali sono stati interessati da fattori antropici per un lungo periodo di tempo. In accordo con la WFD, lo stato di riferimento deve corrispondere a condizioni "indisturbate", caratterizzate da assenza o impatti antropici molto limitati. Conseguentemente, le condizioni di riferimento sono definite in maniera tale da misurare lo scostamento rispetto a condizioni geomorfologiche indisturbate o solo lievemente disturbate.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Le condizioni di riferimento per un dato tratto sono definite considerando tre componenti, vale a dire:

- funzionalità geomorfologica (forme e processi del corso d'acqua);
- artificialità;
- variazioni morfologiche (instabilità).

Riguardo la prima componente, le condizioni di riferimento sono date dalla forma e dai processi che sono attesi per la tipologia morfologica esaminata. Per l'artificialità, la condizione di riferimento è data da assenza o presenza molto ridotta di interventi antropici (regolazione delle portate liquide e solide, strutture idrauliche e attività di gestione). Se esistono elementi antropici, essi dovrebbero produrre effetti trascurabili sulla morfologia dell'alveo e sui processi. Riguardo alla terza componente, un alveo deve essere stabile o in "equilibrio dinamico", vale a dire che non si sono verificate importanti variazioni morfologiche dovute a fattori antropici nel corso del "recente" passato (ovvero negli ultimi 100 anni circa). Riassumendo, le condizioni di riferimento consistono in un tratto di corso d'acqua in equilibrio dinamico, dove il fiume svolge quei processi geomorfologici che sono attesi per una specifica tipologia, e dove l'artificialità è assente o non altera significativamente la dinamica del corso d'acqua a scala di bacino e di tratto.

Nell'ambito del presente studio, è stata applicata, in modo semplificato e in via preliminare, la metodologia per la determinazione dell'IDM (Indice di Dinamica Morfologica).

2 CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO

Come anticipato in premessa, il presente studio idraulico è stato redatto a supporto della progettazione definitiva del raddoppio della linea esistente Genova – Ventimiglia, nel tratto tra Finale Ligure ed Andora. L'area di studio è centrata sulle intersezioni tra la linea ferroviaria e i torrenti Bottassano, Giustenice, Maremola, Casazza, Castellaro, Varatello, Carrenda, Delle Ciope Neva, Arroscia e Merula. La mappa che segue illustra il tratto preso in esame per i corpi idrici in fase di studio, in relazione al tracciato della linea ferroviaria.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

NOTA: il sistema di riferimento adottato per le coordinate indicate nelle mappe presentate nel presente rapporto è Gauss-Boaga Fuso Ovest.



Figura 2: Inquadramento generale dell'area di studio, fiumi a nord-est

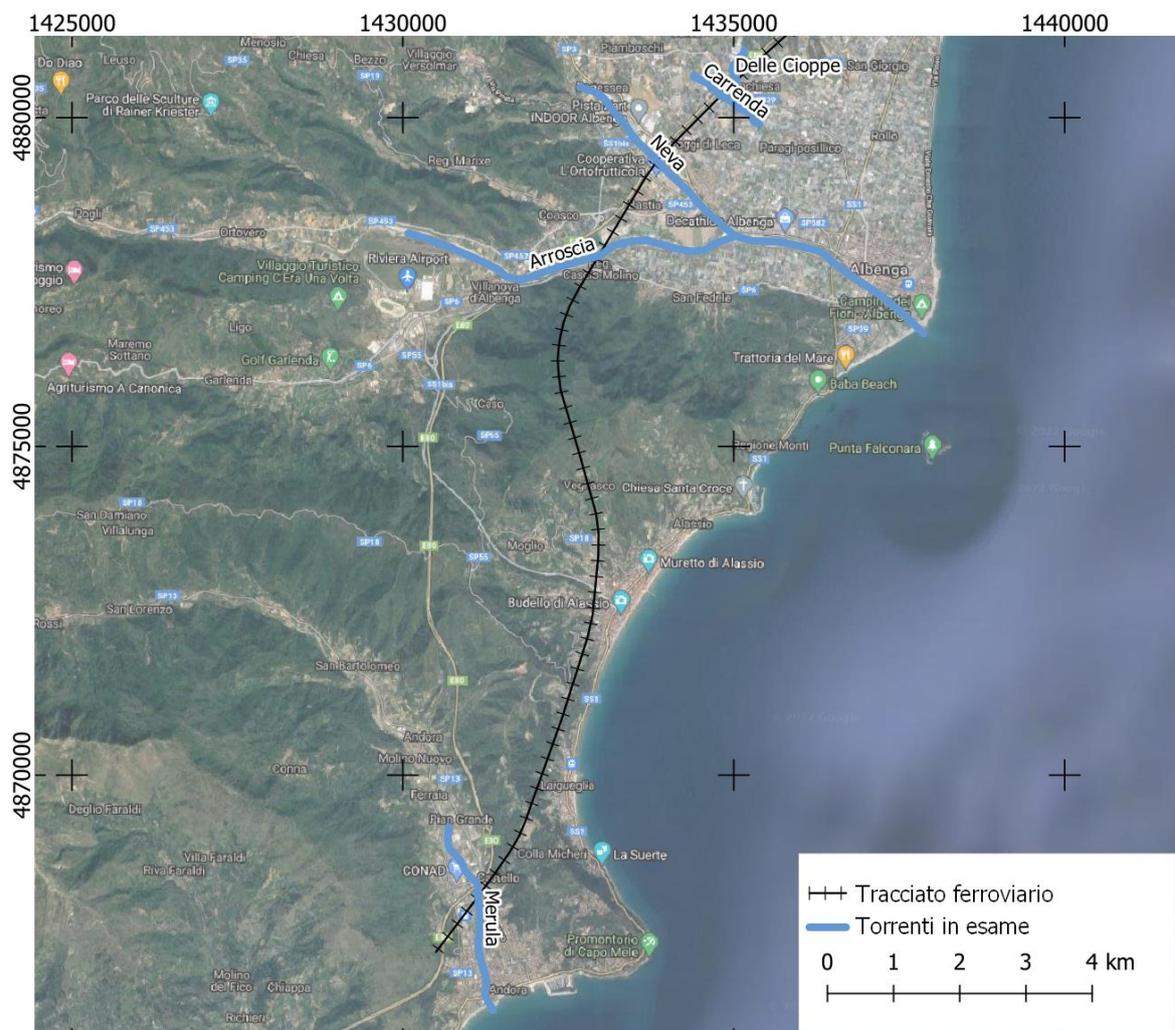


Figura 3: Inquadramento generale dell'area di studio, fiumi a sud

2.1 ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEI CORSI D'ACQUA INTERESSATI DAL PROGETTO

I tratti dei corsi d'acqua a cavallo del tracciato ferroviario presentano le caratteristiche morfologiche tipiche dei corsi d'acqua liguri all'uscita di territori montani-collinari, sfociando poi in mare.

Torrente Bottassano

Il Torrente Bottassano ha un bacino idrografico di 6 km². La zona di interesse è ubicata nel Comune di Borgio Verezzi (SV) e, precisamente, nella Valle del Bottassano, nel tratto compreso tra

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 11 di 106

l'attraversamento in viadotto dell'A10, Autostrada dei Fiori, e lo sbocco in pianura del Torrente Bottassano. Il torrente ha un andamento sinuoso.

La zona nella quale sarà realizzato il nuovo attraversamento (viadotto VI01) si trova al di fuori di centri urbani e sono presenti solo alcuni insediamenti produttivi.

I principali parametri morfologici sono i seguenti:

- Area del bacino: 6 km²
- Quota massima: 605 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 24 m s.l.m.
- Quota media: 207 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 40%
- Lunghezza asta 5.6 km

Le opere di attraversamento che incidono sull'artificialità del tratto sono due ponti di stradali. È prevista inoltre una sistemazione del fondo dell'alveo in prossimità dell'attraversamento ferroviario in progetto.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A



Figura 4: Torrente Bottassano – vista da satellite: a sinistra 02/2010; a destra 07/2020

Torrenti Maremola e Giustenice

Il Torrente Maremola ha un bacino di 33.7 km². La zona di studio è ubicata tra i comuni di Tovo San Giacomo e Pietra Ligure (SV), tra la frazione di Fornaci, poco a monte del viadotto autostradale della A10, e Pietra Ligure, dove il torrente Maremola sfocia in mare.

I principali parametri morfologici sono i seguenti:

- Area del bacino: 33.7 km²
- Quota massima: 1330 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 9 m s.l.m.
- Quota media: 578 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 51.4%
- Lunghezza asta 13.5 km

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 13 di 106

Il torrente Giustenice, con un bacino di 9.9 km², confluisce nel Torrente Maremola 3.5 km a monte dello sbocco in mare.

I principali parametri morfologici sono i seguenti:

- Area del bacino: 9.9 km²
- Quota massima: 1385 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 9 m s.l.m.
- Quota media: 442 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 45%
- Lunghezza asta 9 km

Entrambi i torrenti sono attraversati da vari ponti, tra cui si citano in prossimità dello sbocco in mare un ponte pedonale, l'attraversamento del tracciato ferroviario esistente, il ponte della SS1 e il ponte di via Matteotti.

Sono presenti dei muretti che costeggiano il Torrente Maremola, in destra dalla confluenza con il Giustenice e in sinistra da monte della confluenza; inoltre sono presenti alcune soglie sul Torrente Giustenice.

La figura che segue mostra la sostanziale stabilità dell'alveo nel tratto a cavallo dell'attraversamento ferroviario, fatta salva la tendenza a formare diversi canali all'interno dell'alveo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

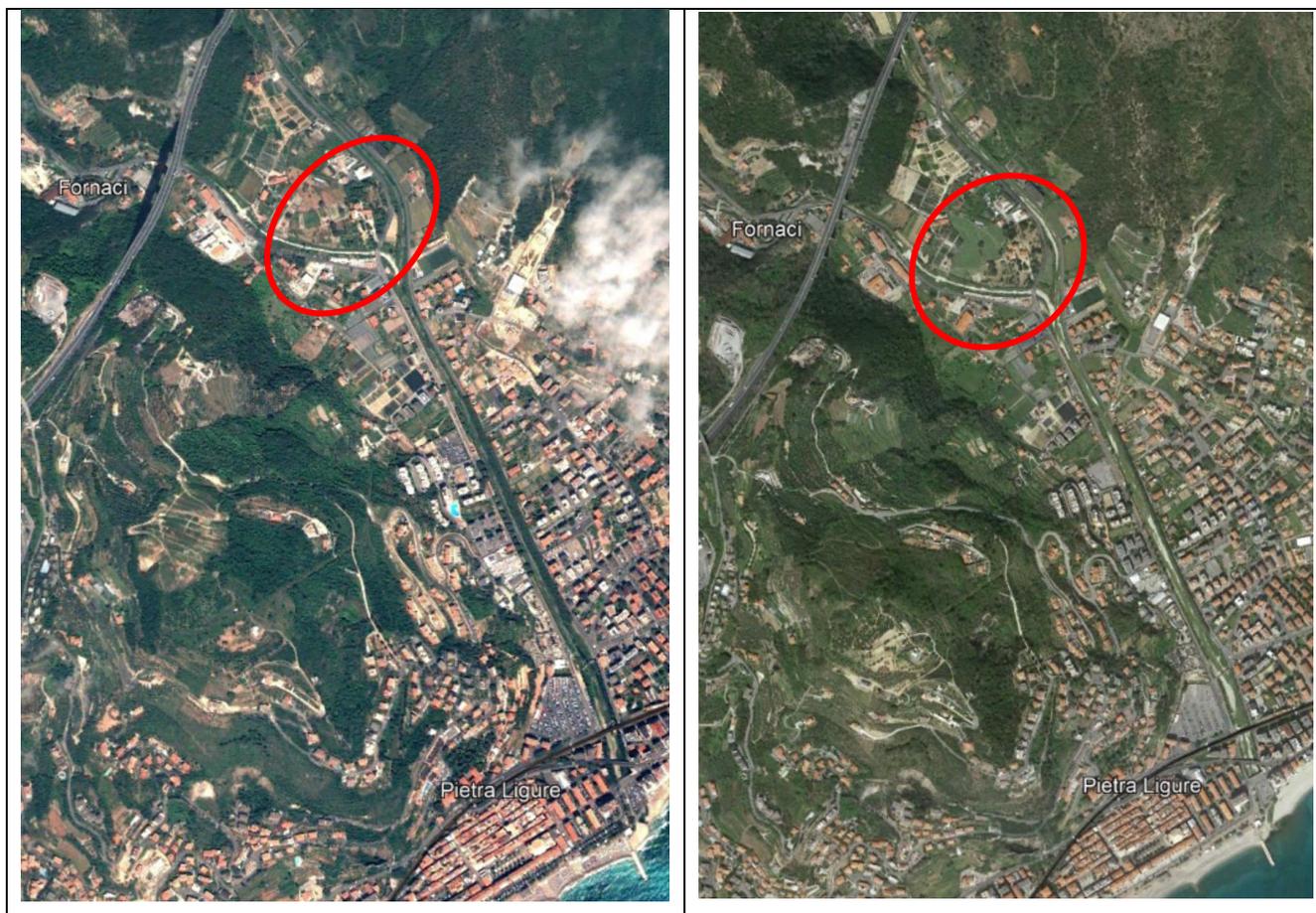


Figura 5: Torrenti Maremola e Giustenice– vista da satellite: a sinistra 02/2010; a destra 07/2020

Rio Casazza

Il Rio Casazza ha un bacino di 1.6 km². La zona di studio è ubicata nel Comune di Borgetto Santo Spirito (SV), al limite con i Comuni di Loano e Boissano, tra l'abitato di Boissano, poco a valle del viadotto autostradale della A10, e il paese di Loano. Immediatamente a monte del tracciato ferroviario in progetto il Rio Castagne si immette nel Rio Casazza. Invece 200 m a valle del tracciato in progetto è presente la confluenza del Rio delle Vigne con il Rio Casazza.

I principali parametri morfologici sono i seguenti:

- Area del bacino: 1.6 km²
- Quota massima: 662 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 21 m s.l.m.
- Quota media: 160 m s.l.m.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

- Pendenza media versanti: 32.3%
- Lunghezza asta 4.1 km

Il Rio Casazza è poi attraversato da alcuni ponti della viabilità minore, tra cui si citano, da monte valle, gli attraversamenti di Via Montello, Via Regione Vigne, Via Magenta e Via dei Prigliani.

È prevista una sistemazione del fondo dell'alveo in prossimità dell'attraversamento ferroviario in progetto.

Trattandosi di corso d'acqua di modesta entità, non presenta particolari caratteristiche geomorfologiche o tendenze evolutive significative.

Rio Castellaro

Il Rio Castellaro è un piccolo canale con un bacino di 0.65 km². La zona di interesse è ubicata tra i comuni di Borghetto Santo Spirito e Loano (SV) poco distante dalla frazione Pineland. La zona nella quale sarà realizzato il nuovo attraversamento si trova al di fuori di centri urbani, circondata da estese aree adibite alla coltivazione, tra le quali risultano numerose le serre

I principali parametri morfologici sono i seguenti:

- Area del bacino: 135 km²
- Quota massima: 151 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 15 m s.l.m.
- Quota media: 65 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 27%
- Lunghezza asta 1.8 km

È prevista una sistemazione del fondo dell'alveo in prossimità dell'attraversamento ferroviario in progetto.

Trattandosi di corso d'acqua di modesta entità, non presenta particolari caratteristiche geomorfologiche o tendenze evolutive significative.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Torrente Varatello

Il Torrente Varatello ha un bacino di 40.9 km². La zona di interesse è ubicata nel Comune di Borghetto Santo Spirito (SV) tra la frazione Canapari Marici e lo sbocco a mare del Torrente Varatello in corrispondenza dell'abitato di Borghetto Santo Spirito.

Il corso d'acqua ha un andamento sinuoso, con discreto sviluppo delle barre, avvicinandosi a una tipologia a barre alternate, o mostrando la tendenza a formare più canali.

I principali parametri morfologici sono i seguenti:

- Area del bacino: 40.9 km²
- Quota massima: 1382 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 15 m s.l.m.
- Quota media: 474 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 49.9%
- Lunghezza asta 10.7 km

In questo tratto del corso d'acqua sono presenti diversi attraversamenti; da monte verso valle si susseguono: il viadotto autostradale della A10, il ponte di Corso Giotto, il ponte di via Leonardo Da Vinci, due ponti pedonali, il ponte della SS, l'attuale ponte ferroviario e il ponte di via Lungomare Matteotti.

La figura che segue mostra la sostanziale stabilità dell'alveo nel tratto a cavallo dell'attraversamento ferroviario, fatta salva la tendenza a formare diversi canali all'interno dell'alveo.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	17 di 106



Figura 6: Torrente Varatello– vista da satellite: a sinistra 02/2010; a destra 07/2020

Rio Carenda e Delle Cioppe

Il Rio Carenda ha un bacino di 3.9 km², mentre il Rio Delle Cioppe ha un bacino di 1.6 km².

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

La zona di interesse è ubicata nel Comune di Albenga (SV) in prossimità della frazione di Campochiesa. Il tratto oggetto di studio interessa due confluenze nel torrente Carenda, il primo, più a nord, del rio dei Ciò e il secondo più a sud del Torrente delle Cioppe.

I principali parametri morfologici del Rio Carenda sono i seguenti:

- Area del bacino: 3.9 km²
- Quota massima: 682 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 20 m s.l.m.
- Quota media: 172 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 28.8%
- Lunghezza asta 4 km

I principali parametri morfologici del Rio Delle Cioppe sono i seguenti:

- Area del bacino: 1.6 km²
- Quota massima: 550 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 27 m s.l.m.
- Quota media: 167 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 35.3%
- Lunghezza asta 3.2 km

I corsi d'acqua oggetto di studio sono interessati da vari attraversamenti con infrastrutture, proseguendo da nord verso sud sono l'autostrada dei Fiori A10 e la strada Regione Carenda Superiore per quanto riguarda il Carenda, l'autostrada dei Fiori A10 e la Strada Provinciale SP3 Cisano-Ceriale per quanto riguarda il Cioppe.

È prevista una sistemazione del fondo dell'alveo in prossimità degli attraversamenti ferroviari in progetto.

Trattandosi di corsi d'acqua di modeste entità, non presentano particolari caratteristiche geomorfologiche o tendenze evolutive significative.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Torrenti Neva e Arroscia

Il Torrente Arroscia ha un bacino di 282.8 km², mentre il Torrente Neva ha un bacino di 135 km². La zona di studio è ubicata nel comune di Albenga e coinvolge diverse frazioni della località savonese: quella di Leca e Poggi, situate in sinistra del Neva, quella di Bastia, collocata poco a monte della confluenza del Neva con l'Arroscia e quella di Molino, sita in destra idraulica dell'Arroscia. Nell'ambito territoriale analizzato il Torrente Neva e il Torrente Arroscia confluiscono in un unico corso d'acqua, denominato Fiume Centa. L'area interessata dal progetto si sviluppa dalla confluenza tra i due Torrenti Neva e Arroscia per circa 2.5 km verso monte lungo entrambi i corsi d'acqua.

I principali parametri morfologici del Torrente Arroscia sono i seguenti:

- Area del bacino: 282.8 km²
- Quota massima: 2148 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 10 m s.l.m.
- Quota media: 625 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 47.9%
- Lunghezza asta 42.6 km

I principali parametri morfologici del Torrente Neva sono i seguenti:

- Area del bacino: 135 km²
- Quota massima: 1741 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 13 m s.l.m.
- Quota media: 678 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 78.1%
- Lunghezza asta 27.5 km

Numerose opere di attraversamento incidono sull'artificialità dei due corsi d'acqua, tra cui il ponte sull'Aurelia, sulla A10, sulla SS1 e il ponte FS esistente. Sulla parte finale del Torrente Neva sono presenti numerose soglie

Entrambi i corsi d'acqua hanno un andamento sinuoso, con discreto sviluppo delle barre, avvicinandosi a una tipologia a barre alternate, o mostrando la tendenza a formare più canali.

Nella parte finale sono presenti vari muretti che fanno rimanere l'alveo in un percorso più rettilineo.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 20 di 106

La figura che segue mostra la sostanziale stabilità dell'alveo nel tratto a cavallo dell'attraversamento ferroviario, fatta salva la tendenza a formare diversi canali all'interno dell'alveo.



Figura 7: Torrenti Neva e Arroscia– vista da satellite: a sinistra 02/2010; a destra 07/2020

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 21 di 106

Torrente Merula

Il Torrente Merula ha un bacino di 45.5 km². La zona di studio è ubicata nel comune di Andora (SV) tra la frazione di Pian Grande e lo sbocco a mare del Torrente Merula in corrispondenza dell'abitato di Andora. Il Torrente ha carattere sinuoso, con ampio alveo su cui tende a formare diversi canali.

I principali parametri morfologici sono i seguenti:

- Area del bacino: 135 km²
- Quota massima: 987 m s.l.m.
- Quota all'attraversamento: 6 m s.l.m.
- Quota media: 298 m s.l.m.
- Pendenza media versanti: 42.6%
- Lunghezza asta 16 km

In questo tratto del corso d'acqua sono presenti diversi attraversamenti sul Torrente Merula; da monte verso valle si susseguono: un ponte romano, il ponte di via Santa Caterina, il viadotto autostradale della A10, l'attuale ponte ferroviario, il ponte di via Europa Unita, ponte Italia, e l'attraversamento della Via Aurelia.

La figura che segue mostra la sostanziale stabilità dell'alveo nel tratto a cavallo dell'attraversamento ferroviario, fatta salva la tendenza a formare diversi canali all'interno dell'alveo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

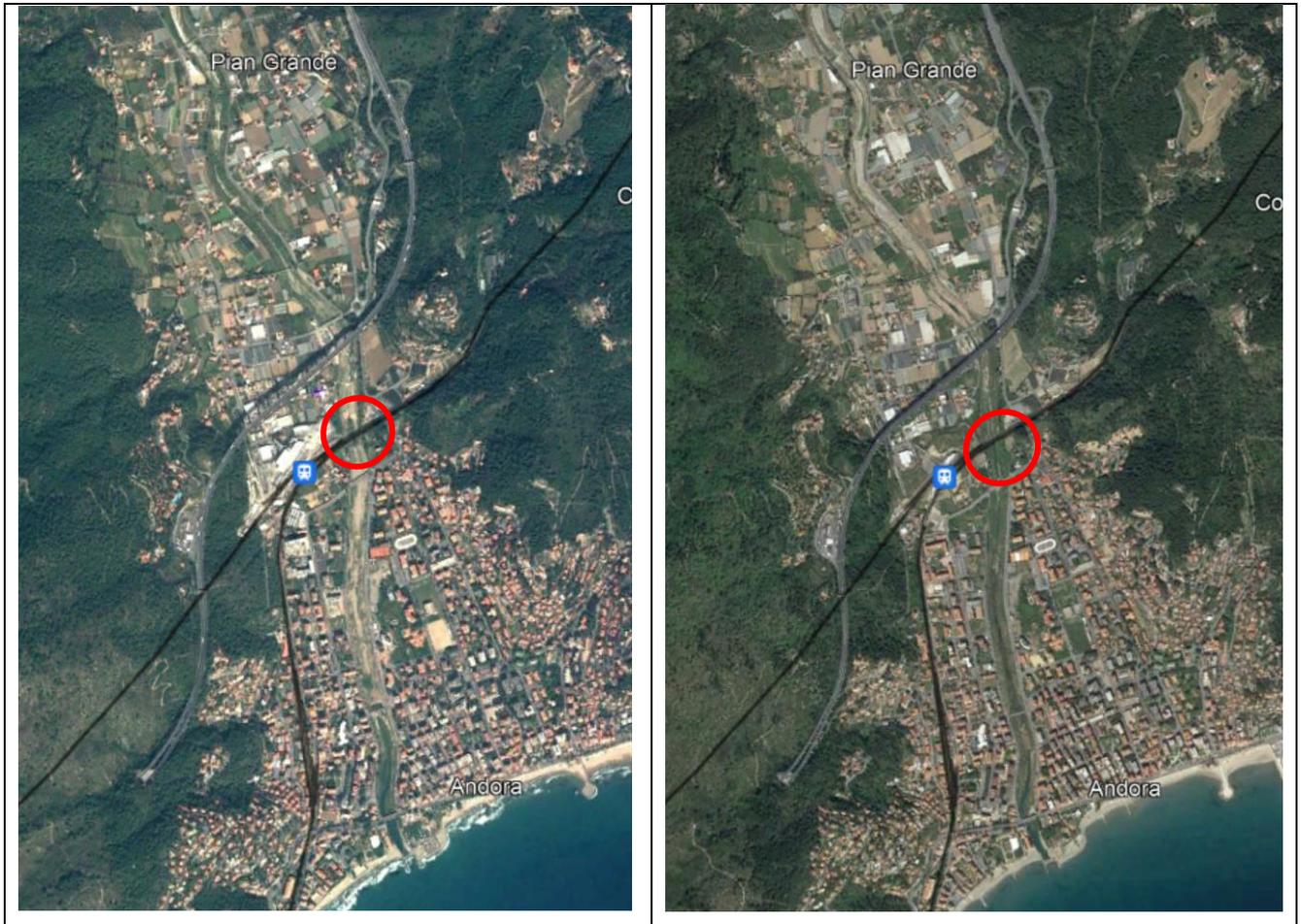


Figura 8: Torrente Merula– vista da satellite: a sinistra 02/2010; a destra 07/2020

2.1.1 Metodologia per l'individuazione dei punti di prelievo del materiale d'alveo

L'individuazione del punto di prelievo del materiale d'alveo rappresenta un'attività di fondamentale importanza per la caratterizzazione dei fenomeni di geomorfologia fluviale che si intende studiare, in quanto la granulometria dei sedimenti presenti nell'alveo e sulle sponde può essere talmente varia e articolata da dover richiedere, per una rappresentazione completa, più punti di prelievo lungo una stessa sezione. Ovviamente le caratteristiche granulometriche cambiano anche lungo lo sviluppo longitudinale del corso d'acqua, per cui devono opportunamente essere scelte le sezioni di indagine, al fine di rappresentare la variabilità longitudinale del materiale d'alveo, che è la caratteristica maggiormente rappresentativa dei fenomeni che si vogliono studiare in questa sede e che viene anche preliminarmente verificata durante i sopralluoghi tecnici propedeutici all'individuazione dei

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

punti di prelievo. La seguente figura rappresenta la distribuzione teorica della granulometria dei sedimenti in una forma di deposito (barra longitudinale).

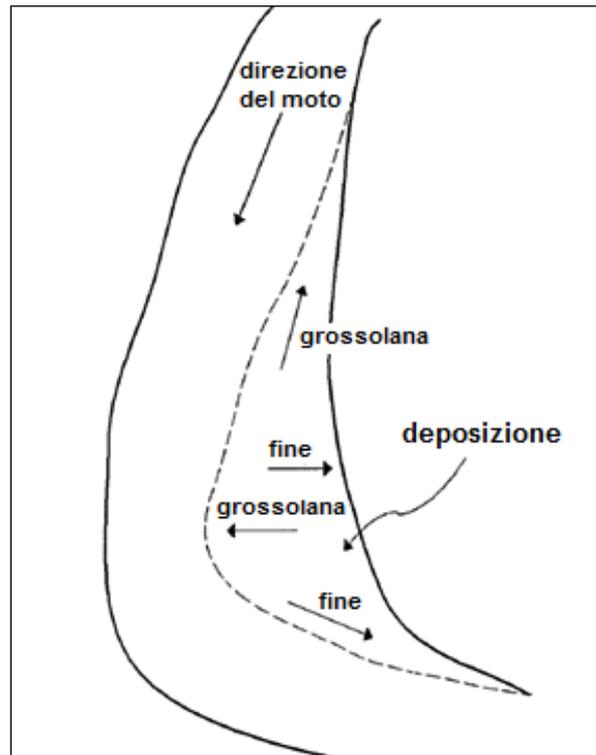


Figura 9: distribuzione teorica della granulometria dei sedimenti in una forma di deposito

I fenomeni di trasporto solido presi in considerazione vengono indagati, tra l'altro, con una schematizzazione di calcolo idraulico, descritta nel successivo capitolo nella quale le sezioni vengono considerate omogenee dal punto di vista granulometrico (nessuna variabilità trasversale della granulometria), di conseguenza, poiché il campione di materiale d'alveo deve essere rappresentativo di ciò che può essere movimentato anche dalle basse portate, si possono individuare le seguenti condizioni per la scelta del punto di prelievo:

- Esame visivo della sezione:
 - Sedimenti deposti a valle di ostacoli naturali in alveo (es.: grandi massi o vegetazione, oppure strutture);
 - Deposito rappresentativo della variabilità trasversale della sezione;

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 24 di 106

- Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con le piene ordinarie;
- Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto;
- Modalità di prelievo:
 - Traguardare il punto con un oggetto riconoscibile (es. picchetto bianco/rosso o simile);
 - Ripresa fotografica del punto di prelievo:
 - Foto dall'alto;
 - Foto del transetto;
 - Foto del punto guardando verso valle;
 - Scartare eventuali ciottoli di dimensioni maggiori di 10 cm:
 - Foto dall'alto;
 - Prelevare con pala a mano almeno 2 kg di materiale da collocare in sacchetto da campionamento;
 - Classificare il campione in base al codice dell'individuazione del transetto.

2.1.2 Caratteristiche granulometriche dei corsi d'acqua in esame

I campioni prelevati secondo la metodologia descritta nel precedente paragrafo 2.1.1 sono stati analizzati in laboratorio per la determinazione delle curve granulometriche, riportate in dettaglio in allegato al presente documento e sintetizzate nella seguente Tabella, in cui è riportata la classificazione granulometrica secondo la scala Udden-Wentworth per ogni punto di prelievo.



Figura 10: posizione dei punti di prelievo del materiale d'alveo

Tabella 1: Caratteristiche granulometriche dei corsi d'acqua in esame (% passante), prima parte

Diametro (mm)	Bottassano		Giustenice	Maremola		Casazza	Varatello	
	PR 1	PR 2	PR 3	PR 4	PR 5	PR 6	PR 7	PR 8
0.004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	4.7
0.008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	6.4
0.016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	8.9
0.032	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	10.6
0.0625	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6	11.5
0.125	2.0	1.2	1.0	5.3	5.0	1.9	11.3	12.4
0.25	2.9	2.0	1.3	6.8	6.5	2.1	13.5	14.3
0.5	5.7	4.1	2.9	12.0	12.7	4.0	18.4	18.8

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Diametro (mm)	Bottassano		Giustenice	Maremola		Casazza	Varatello	
	PR 1	PR 2	PR 3	PR 4	PR 5	PR 6	PR 7	PR 8
1	12.3	10.5	8.8	24.2	25.2	13.3	25.2	20.2
2	35.3	24.0	22.6	44.2	75.8	34.4	36.4	38.1
4	61	52	58	59.3	92.4	70.7	47.3	52.4
8	86.0	70.7	78.9	72.4	97.5	91.8	63.3	66.2
16	98.6	88.9	100.0	92.3	100.0	100.0	83.3	81.6
32	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0	99.6
64	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Tabella 2: Caratteristiche granulometriche dei corsi d'acqua in esame (% passante), seconda parte

Diametro (mm)	Neva	Arroschia	Neva	Merula		Castellaro	Delle Cioffe
	PR 9	PR 10	PR 11	PR 12	PR 13	PR 14	PR 15
0.004	3.5	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0
0.008	5.3	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0
0.016	7.3	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0
0.032	8.1	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0
0.0625	10.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0
0.125	12.5	4.2	5.0	2.2	12.5	0.5	3.4
0.25	14.5	5.8	7.2	2.5	14.1	1.2	4.1
0.5	18.3	8.6	10.4	3.3	16.3	4.4	7.1
1	24.1	16.5	17.0	5.0	20.0	12.9	16.1
2	36.5	38.4	33.6	7.9	26.3	29.5	38.1
4	50.0	52.6	43.1	15.2	36.2	53.1	65.1
8	63.9	67.9	51.2	30.1	53.5	78.2	89.3
16	76.8	83.4	66.2	59.6	79.5	100.0	100.0
32	95.7	97.2	96.4	88.2	99.5	100.0	100.0
64	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

2.2 INDICE DI DINAMICA MORFOLOGICA (IDM)

2.2.1 Metodo IDRAIM

Il “Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua”, denominato IDRAIM, costituisce un quadro metodologico complessivo di analisi, valutazione post-monitoraggio

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 27 di 106

e di definizione delle misure di mitigazione degli impatti ai fini della pianificazione integrata prevista dalle Direttive 2000/60/CE (Acque) e 2007/60/CE (Alluvioni).

La metodologia IDRAIM prende in considerazione i processi legati alle variazioni del fondo alveo, alla mobilità laterale, alla presenza di opere e a tutte quelle componenti che vanno a determinare la dinamica morfologica di un fiume. Tali valutazioni, opportunamente integrate con le metodologie tradizionalmente impiegate per le analisi idrauliche, forniscono un quadro completo e dettagliato degli elementi che caratterizzano un corso d'acqua.

Il metodo IDRAIM tenendo conto in maniera integrata di obiettivi di qualità ambientale e di mitigazione dei rischi legati ai processi di dinamica fluviale, si pone quindi come sistema a supporto della gestione dei corsi d'acqua e dei processi geomorfologici.

La struttura complessiva del metodo IDRAIM si articola in 4 fasi che possono essere riassunte come riportato in Figura 11. Si sottolinea che si tratta di uno strumento metodologico flessibile a seconda delle finalità per le quali viene impiegato, in cui ogni componente può essere affrontata per livelli di approfondimento crescenti, tenendo conto degli obiettivi e delle esigenze specifiche.

I metodi utilizzati per la valutazione della qualità e della dinamica morfologica presentano un'analoga e coerente impostazione. Essi possono essere utilizzati insieme o anche separatamente, secondo l'esigenza di analizzare entrambi gli aspetti o uno solo di essi. Infine, i due aspetti di qualità morfologica e pericolosità da dinamica morfologica sono tenuti concettualmente separati, ma una delle finalità del metodo è di fare emergere le conflittualità e individuare le possibili azioni per tenere conto dei diversi obiettivi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

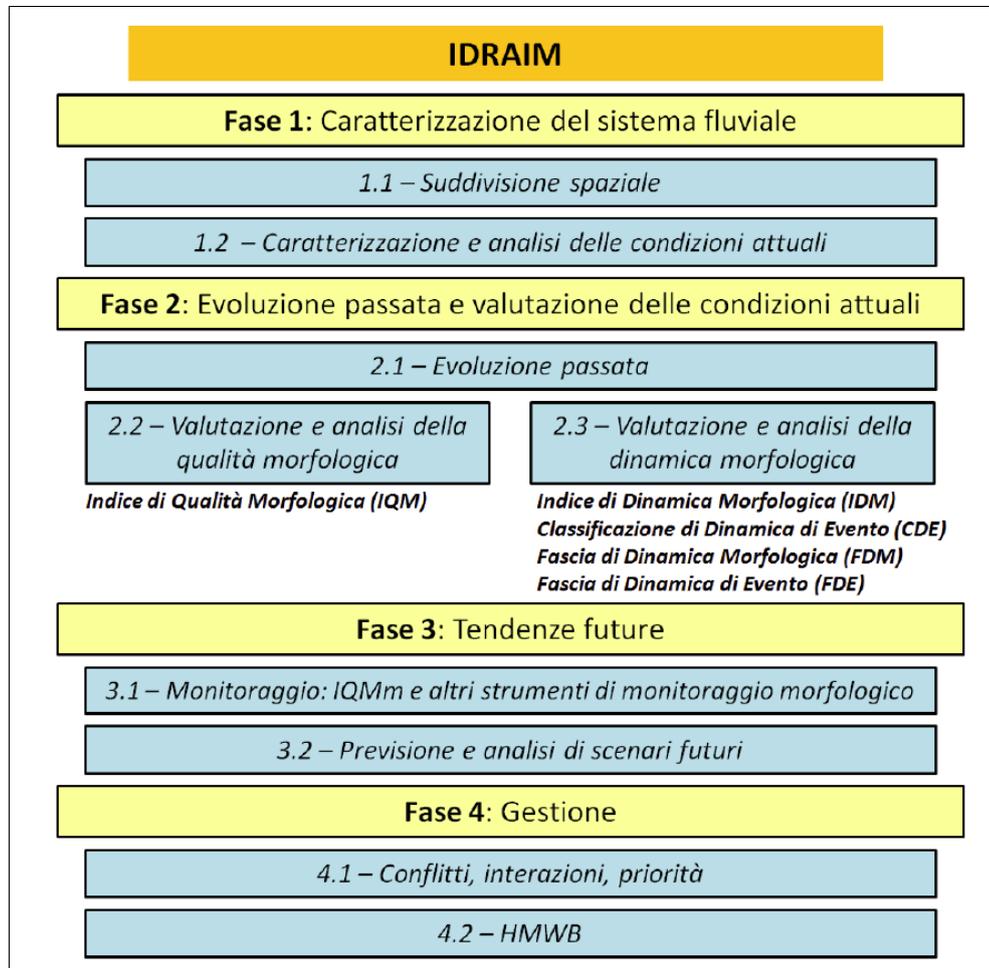


Figura 11: Schema generale della struttura del metodo IDRAIM.

Nell'ambito del presente studio è stata applicata, in via preliminare, la procedura per la valutazione dell'Indice di Dinamica Morfologica (IDM) basata sulle seguenti componenti:

- 1) **Morfologia e processi:** riguarda le caratteristiche dell'alveo, del fondo, delle sponde, i processi e le tendenze attuali (localizzate e distribuite) manifestate ad una scala temporale degli ultimi 10 – 15 anni.
- 2) **Artificialità:** considera nel dettaglio le opere che maggiormente condizionano i processi di dinamica morfologica.
- 3) **Variazioni morfologiche.** si basano sull'analisi delle variazioni avvenute negli ultimi decenni, le quali condizionano la propensione o meno ai vari tipi di pericolosità.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 29 di 106

La valutazione complessiva viene effettuata attraverso l'ausilio di apposite schede di valutazione, per mezzo delle quali si effettua un'analisi attraverso l'impiego integrato di immagini telerilevate e rilevamenti sul terreno. Le schede si basano sull'utilizzo di una serie di indicatori, per ognuno dei quali sono fornite una serie di possibili risposte (in numero variabile). Gli indicatori sono basati su una o più variabili quantitative o qualitative: in genere si tratta della percentuale rispetto alla lunghezza totale del tratto lungo la quale si osservano determinate caratteristiche o processi.

Ogni componente viene valutata attraverso una serie di indicatori, che sono:

Indicatori di morfologia e processi. Essi partono da aspetti di carattere generale (tipologia d'alveo, materiale che costituisce le sponde ed il fondo); successivamente si prendono in esame i processi di arretramento delle sponde; infine si vanno ad esaminare le tendenze (alla scala degli ultimi 10 – 15 anni) di tipo distribuito della larghezza e del fondo. Alcuni indicatori di morfologia e processi includono l'esame degli elementi di artificialità, considerati ad esempio tra i tipi di materiale costituenti il fondo e le sponde.

Indicatori di artificialità. Essi prendono in esame in maniera più specifica gli elementi artificiali, analizzandoli dal punto di vista dei loro potenziali effetti sui processi (es. difese di sponda come impedimento dei processi di arretramento delle sponde). Si precisa che il metodo non prevede una valutazione puntuale sullo stato delle opere: quando esse sono presenti all'interno o nelle immediate vicinanze dell'alveo attuale, in assenza di informazioni a riguardo, esse vengono assunte come interferenti con la dinamica morfologica. Esse vengono invece escluse qualora si accerti che non esplicano più la loro funzione di protezione delle sponde o del fondo.

Indicatori di variazioni morfologiche. Le variazioni morfologiche durante gli ultimi decenni sono valutate come indicatori di instabilità, pertanto di dinamica morfologica. Tale instabilità infatti può ancora manifestarsi, con la possibilità che, durante eventi di piena di una certa intensità, possano verificarsi delle modifiche morfologiche verso precedenti configurazioni (ad es., rimodellamento di superfici abbandonate per restringimento dell'alveo). **Nel caso specifico, trattandosi di una applicazione semplificata del metodo, la valutazione degli indicatori di tale componente si è basata su quanto osservato in campo e tramite immagini satellitari disponibili, non sulla base di una analisi storica di dettaglio.**

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 30 di 106

Ogni indicatore viene attribuito, a seconda dei suoi effetti prevalenti, ad una delle due componenti che costituiscono la dinamica morfologica: (1) dinamica verticale; (2) dinamica laterale. La dinamica verticale riguarda tutti gli aspetti connessi con la dinamica morfologica del fondo (erodibilità del fondo, processi di fondo localizzati, tendenze altimetriche, opere di rivestimento o consolidamento, ecc.). La dinamica laterale è invece relativa a tutti gli aspetti connessi con l'arretramento delle sponde e le variazioni di larghezza (erodibilità delle sponde, tendenze di larghezza, difese di sponda, ecc.).

2.2.2 Applicazione ai casi di studio

Come riportato al paragrafo precedente, la valutazione dell'Indice di Dinamica Morfologica si basa sulla valutazione della morfologia e processi in alveo e nelle sponde, dell'artificialità e delle variazioni morfologiche; ognuna di queste componenti viene valutata attraverso indicatori riportati in Tabella 3.

Il metodo è stato applicato, in via preliminare e semplificata, ai corsi d'acqua interessati dalla realizzazione delle opere di attraversamento della tratta ferroviaria in progetto.

Si precisa che nei casi di studio trattati in questo ambito, trattandosi di una applicazione semplificata del metodo, la valutazione degli indicatori della componente "variazioni morfologiche" si è basata su quanto osservato in campo e tramite immagini satellitari disponibili e non sulla base di una analisi storica di dettaglio.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Tabella 3: Lista degli indicatori per la valutazione dell'IDM

SIGLA	INDICATORE
<i>Morfologia e Processi</i>	
M1	Tipologia d'alveo
M2	Erodibilità delle sponde
M3	Erodibilità del fondo
M4	Processi di arretramento delle sponde
M5	Tendenze di larghezza
M6	Tendenze altimetriche
<i>Artificialità</i>	
A1	Difese di sponda
A2	Opere di rivestimento o consolidamento del fondo
<i>Variazioni morfologiche</i>	
V1	Variazione della configurazione morfologica
V2	Variazioni di larghezza
V3	Variazioni altimetriche

Il risultato dell'applicazione viene riportato nella tabella che segue, precisando che l'applicazione effettuata costituisce un primo tentativo di determinare tale indice e non vuole sostituire alcuna altra applicazione ufficiale svolta in Regione Liguria dagli Enti preposti (ARPA).

Tabella 4: Indice e Classe di Dinamica Morfologica dei corsi d'acqua oggetto di studio. L'applicazione effettuata costituisce un primo tentativo di determinare tale indice e non vuole sostituire alcuna altra applicazione ufficiale svolta in Regione Liguria dagli Enti preposti.

Corso d'acqua	Lunghezza tratto [m]	Indice di dinamica Morfologica	Classe di Dinamica Morfologica				
			Molto Bassa	Bassa	Media	Elevata	Molto elevata
Bottassano	1200	0.33					
Maremola	1200	0.26					
Giustenice	900	0.39					
Casazza	1200	0.39					
Castellaro	1200	0.45					
Varatello	1200	0.41					
Carrenda	1200	0.48					
Delle Cioppe	1000	0.48					

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Corso d'acqua	Lunghezza tratto [m]	Indice di dinamica Morfologica	Classe di Dinamica Morfologica				
			Molto Bassa	Bassa	Media	Elevata	Molto elevata
Neva	1200	0.28					
Arroscia	1200	0.49					
Merula	1200	0.39					

3 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

3.1 MODELLI MATEMATICI PER IL TRASPORTO SOLIDO

3.1.1 La teoria di Shields per il moto incipiente

La prima interpretazione del fenomeno di inizio del trasporto al fondo, comunemente noto come *moto incipiente* o condizione critica per il fondo, si deve a Shields (1936), che individuò la relazione tra il valore della tensione al contorno τ_0 che pone in movimento il materiale di fondo di densità ρ_s e diametro d_s e le proprietà del fluido, μ e ρ . Nella formulazione più semplice tale relazione si deduce come segue.

In alveo rettangolare molto largo il raggio idraulico si confonde con la profondità h e la tensione al fondo τ_0 si può esprimere come

$$\tau_0 = \rho ghj \quad 3.1$$

Con riferimento alla **3.1**, in condizioni critiche la resistenza al moto, R , dei granuli di diametro d_s e peso specifico γ_s uguaglia la forza di trascinamento al fondo all'inizio del trasporto, A .

$$R \propto (\gamma_s - \gamma) d_s^3 \quad 3.2$$

$$A \propto C_R \tau_{cr} d_s^2 \quad 3.3$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

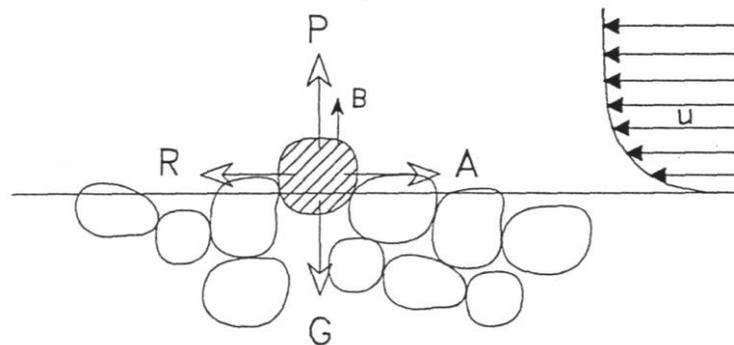


Figura 12: Schema delle forze agenti su una particella solida al fondo di un corso d'acqua

Il coefficiente C_R è funzione, a parità di forma dei sedimenti, del numero di Reynolds del sedimento, costruito con le grandezze caratteristiche del moto attorno al granulo:

- la velocità di attrito $u_* = \sqrt{\tau_o / \rho}$
- il diametro del granulo d_s
- la viscosità cinematica del fluido $\nu = \mu / \rho$

ossia dal numero

$$Re_* = \frac{u_* d_s}{\nu} \quad 3.4$$

Si ha in definitiva

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d_s} = f\left(\frac{u_* d_s}{\nu}\right) \quad 3.5$$

Il primo membro della (3.5), indicato spesso anche come θ_{cr} , prende il nome di *parametro di stabilità* o di *mobilità di Shields*

$$\theta_{cr} = \frac{u_*^2}{g \frac{\rho_s - \rho}{\rho} d} = \frac{u_*^2}{g \Delta d} = \frac{\tau_{cr}}{g(\rho_s - \rho)d} \quad 3.6$$

Avendo indicato con $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$ la densità relativa del grano immerso.

La dipendenza funzionale da Re_* di θ_{cr} è rappresentata dalla *curva di Shields*.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

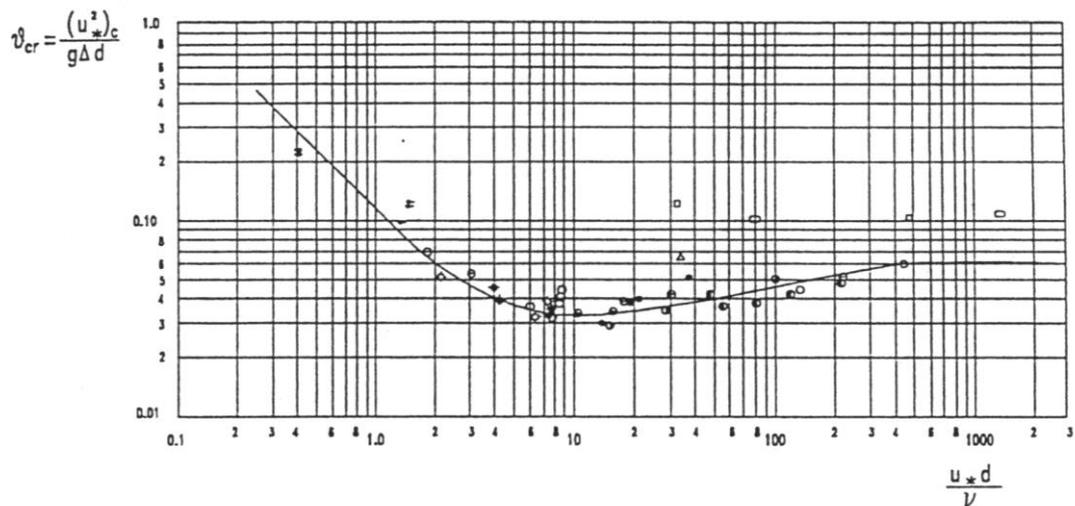


Figura 13: Diagramma di Shields

Questa curva separa la zona di mobilità delle particelle da quelle di immobilità: per i punti che giacciono sotto la curva, il moto dell'acqua non è in grado di provocare il moto delle particelle ($\theta \leq \theta_{cr}$), i punti che giacciono al di sopra della curva rappresentano invece condizioni di movimento dei sedimenti.

La curva che rappresenta il movimento incipiente delle particelle ($\theta = \theta_{cr}$) può essere divisa in tre parti:

- una prima parte che nel diagramma bilogarithmico ($Re_* \leq 2$) è rappresentata da un segmento di retta;
- una seconda parte ($2 \leq Re_* \leq 200$) ad andamento curvilineo con un valore di minimo relativo;
- una terza zona ($Re_* \geq 200$) nuovamente ad andamento rettilineo.

Il primo tratto è descritto da un'equazione del tipo:

$$\frac{(u_*)_{cr}^2}{g \Delta d} \propto \left[\frac{(u_*)_{cr} d}{\nu} \right]^{-1} = \frac{\nu}{(u_*)_{cr} d} \quad 3.7$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

cioè:

$$(u_{*cr})^3 \propto g \Delta \nu \quad 3.8$$

Da questa equazione si vede che, nel primo tratto, la velocità critica delle particelle è indipendente dal diametro delle particelle stesse, mentre dipende dalla viscosità del fluido.

Nel tratto intermedio la condizione di mobilità dipende sia dalla dimensione del grano sia dalla viscosità del fluido. In questo tratto, inoltre, la curva presenta il suo valore minimo

$$(\theta_{cr})_{\min} \approx 0.03 \div 0.04 \text{ per } \frac{u_* d}{\nu} \approx 8 \div 10.$$

Nel terzo tratto, il parametro di mobilità assume valori pressoché costanti:

$$\theta_{cr} = \frac{(u_{*cr})^2}{g \Delta d} \approx 0.047 \quad 3.9$$

con 0.047 valore proposto da Zeller. In questo caso le condizioni di mobilità del grano sono indipendenti dalla viscosità del fluido; il regime è simile a quello del moto turbolento in corrispondenza di una parete idraulicamente scabra.

3.1.2 L'equazione di Exner

L'equazione di bilancio di massa dei sedimenti si ottiene considerando come volume di controllo un tronco infinitesimo di corrente dx largo B ed imponendo che la variazione nel tempo della sua massa di materiale solido sia pari alla differenza tra la portata solida entrante e quella uscente.

Applicando il bilancio della massa dei sedimenti si ottiene:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \frac{\partial C \sigma}{\partial t} = -(1-p) \frac{\partial z_f}{\partial t} B \quad 3.10$$

dove p (compreso tra 0 ed 1) è la porosità del materiale d'alveo, cioè la frazione del volume dei

sedimenti riempita dall'acqua; $C = \frac{\int_A c d\sigma}{\sigma}$ è la concentrazione di volume mediata sulla sezione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

trasversale σ (c è la concentrazione locale); $Q_s = \int_A u c d\sigma$ è la portata solida; z_f è la quota del fondo rispetto ad un piano di riferimento.

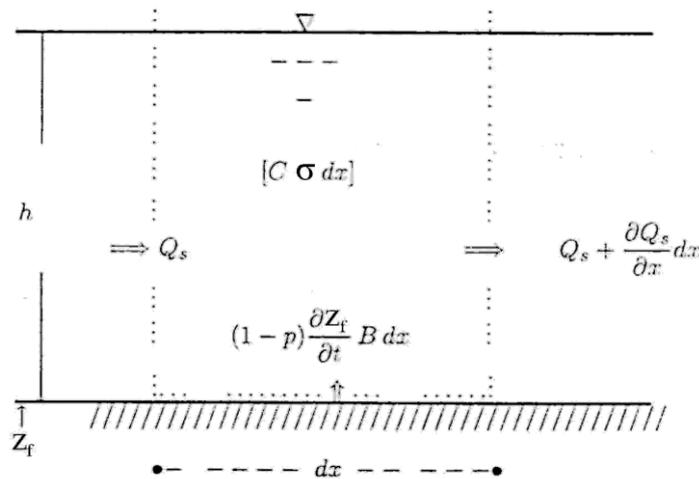


Figura 14: Bilancio di massa dei sedimenti nel volume di controllo

Introducendo il *coefficiente di ragguaglio delle concentrazioni* $\left(\alpha_c = \frac{\sigma \int c u d\sigma}{\int u d\sigma \int c d\sigma} \right)$, la portata solida può essere espressa in funzione della concentrazione dei sedimenti:

$$Q_s = \alpha_c U \sigma C \quad 3.11$$

Inoltre il termine $1-p$, relativo alla porosità del materiale, viene spesso inglobato nella portata solida. L'equazione 3.10 diventa:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q_s}{\alpha_c U} \right) = - \frac{\partial z_f}{\partial t} B \quad 3.12$$

Il secondo termine a primo membro solitamente è trascurabile rispetto al primo: questa ipotesi è tanto più vera quanto maggiore è la portata solida di fondo rispetto a quella in sospensione.

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} = - \frac{\partial z_f}{\partial t} B \quad 3.13$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

La 3.13 è nota come *equazione di Exner*. Essa è di facile interpretazione fisica:

quando	$\frac{\partial Q_s}{\partial x} > 0$	\Rightarrow	la portata solida aumenta	\Rightarrow	$\frac{\partial z_f}{\partial t} < 0$
		\Rightarrow	l'alveo è in erosione	\Rightarrow	
quando	$\frac{\partial Q_s}{\partial x} < 0$	\Rightarrow	la portata solida diminuisce	\Rightarrow	$\frac{\partial z_f}{\partial t} > 0$
		\Rightarrow	l'alveo è in deposito	\Rightarrow	

3.1.3 Accoppiamento acqua-sedimenti

In condizioni di moto vario la portata solida Q_s varia nello spazio e nel tempo; quindi, nello stesso alveo si possono avere sia zone di sedimentazione sia di erosione.

Utilizzando uno schema monodimensionale, ipotizzando che i grani siano tutti della stessa grandezza e supponendo che le variazioni spaziali delle grandezze considerate siano gradualmente, si può ottenere un modello che descrive l'evoluzione della corrente e del fondo.

Le variabili dipendenti da considerare sono tre:

- la velocità o la portata;
- il tirante idrico;
- la quota del fondo.

Quindi si ha bisogno di tre equazioni:

- conservazione della massa;
- bilancio della quantità di moto;
- bilancio della portata di materiale solido trasportata sul fondo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Le equazioni da considerare sono quindi la 3.13 e le equazioni del moto dell'acqua (equazioni di de Saint Venant):

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad 3.14$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\sigma} \right) + g \sigma \frac{\partial}{\partial x} (h + z_f) = -g \sigma j \quad 3.15$$

dove Q è la portata liquida, h il tirante idrico ed j la cadente della linea dell'energia.

Tenendo conto che l'area σ e la larghezza B possono essere espresse in funzione del tirante idrico, il sistema delle tre equazioni contiene ancora le seguenti variabili indipendenti: Q_s, C, Q, h, z_f, j .

Per poter essere risolto, il sistema necessita quindi, oltre che delle condizioni iniziali e al contorno, di altre tre equazioni che sono fornite dall'ipotesi di condizioni di equilibrio locale:

- La cadente della linea dell'energia viene calcolata come se localmente valesse la formula di Chezy per il moto uniforme:

$$j = \frac{U^2}{\chi^2 \mathcal{R}} \quad 3.16$$

- La portata solida viene calcolata come se localmente essa fosse pari alla capacità di trasporto e quindi attraverso un'opportuna formula di trasporto solido:

$$Q_s = f_s(U, h, u_*, d, \dots) \quad 3.17$$

- La stessa ipotesi viene fatta per quanto riguarda la concentrazione C del materiale:

$$C = f_s(U, h, u_*, d, \dots) \quad 3.18$$

Nell'ipotesi semplificativa che la sezione sia di forma rettangolare larga, le equazioni (trascurando il secondo termine nell'equazione 3.15) divengono:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial U h}{\partial x} = 0 \quad 3.19$$

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial z_f}{\partial x} = -g j \quad 3.20$$

$$\frac{\partial q_s}{\partial x} + \frac{\partial z_f}{\partial t} = 0 \quad 3.21$$

dove $q_s = Q_s/B$ è la portata solida per unità di larghezza.

Questo modello è valido per sedimenti omogenei. Se il sedimento è assortito si può sempre utilizzare la 3.21 ponendo però $q_s = \sum_{i=1}^{N_d} f_i q_i$, dove f_i rappresenta la frazione, di diametro d_i , della quantità totale di portata solida in volume trasportata, e le q_i sono espresse da un'equazione di trasporto solido per materiale uniforme.

3.1.4 Scelta della Formula di Trasporto solido per i casi in esame

Il trasporto solido viene valutato in base alla portata solida, espressa ad esempio in kg/s, in termini di quantità di sedimenti movimentati in funzione della corrispondente portata liquida. Le formule che forniscono il valore di portata solida sono di tipo parametrico e, a partire dalla teoria di Shields sul moto incipiente, mettono in relazione le caratteristiche granulometriche con quelle idrodinamiche. Le varie formule disponibili in letteratura sono state sviluppate a partire da esperienze in laboratorio ed in situ; quindi, hanno dei limiti di applicabilità in dipendenza dei risultati ricavati dai vari autori. Il codice di calcolo a fondo mobile utilizzato in questa sede, il cui impiego è descritto nel successivo paragrafo, consente di scegliere tra alcune delle più note formule, che vengono di seguito presentate. I limiti di applicabilità di ciascuna formula sono sintetizzati nella Tabella 5, di conseguenza, noti i diametri caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio e le relative grandezze idrodinamiche, è possibile scegliere la formula più adatta per ognuno di essi. I diametri caratteristici sono ricavabili dalle curve granulometriche, riportate in allegato, mentre le grandezze idrodinamiche sono dedotte degli stessi modelli idraulici impiegati a fondo fisso.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Tabella 5: limiti di applicabilità delle formule di trasporto solido

Autore	d ₅₀ [mm]	pendenza fondo	Froude	Rapporto tra larghezza e tirante B / h	Tirante idrico h [m]
Meyer-Peter e Muller trasporto di fondo	0.4 ÷ 30	4·10 ⁻⁴ ÷ 2·10 ⁻²			0.01 ÷ 1.2
Toffaletti trasporto totale	0.062 ÷ 16				> 3
Ackers-White trasporto totale	0.04 ÷ 4.9		< 0.8		<0.4
	0.1 ÷ 68		< 0.8	9 ÷ 60	
Yang trasporto di fondo	0.137 ÷ 1.35				0.022 ÷ 0.86

Formula di Meyer-Peter e Müller (1948)

La formula trovata da Meyer-Peter e Müller nel 1948 è la seguente:

$$q_s = \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \left\{ \frac{(Q_B/Q)(K_B/K_G)^{3/2} h j - 0.047[(\gamma_s - \gamma)/\gamma]d}{(0.25/\gamma)(\gamma/g)^{1/3}} \right\} \frac{1}{\rho_s}$$

con:

$$K_B = \frac{u}{h^{2/3} \sqrt{j}} \quad \text{e} \quad K_G = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

Nel caso di sedimenti ben assortiti, Meyer-Peter e Müller suggerirono di utilizzare un singolo diametro per caratterizzare il campione: $\sum_i d_i P_i / 100 \approx d_{50}$ con P_i frazione in peso della i-esima classe granulometrica d_i .

Nell'equazione sono presenti due fattori di riduzione, Q_B/Q e K_B/K_G ; il primo serve per tenere conto del fatto che solo una parte (Q_B) della portata totale (Q) agisce sul fondo ed è quindi responsabile del movimento del trasporto di fondo; il secondo per tenere conto della presenza della resistenza di formiche riduce lo sforzo di taglio che è disponibile per il trasporto di fondo. Meyer-

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Peter e Müller assunsero che $Q_B/Q=1$ per i letti dei fiumi piatti e che $K_B/K_G=1$ per i canali larghi. Nel caso di dati di laboratorio, si può porre $Q_B/Q=1-h/B$ con B larghezza del canale. Il diametro nella formula è in m.

Formula di Toffaleti (1968)

Il metodo di Toffaleti è basato sui concetti di Einstein con tre differenze:

- la distribuzione della velocità sulla verticale è ottenuta da un'espressione diversa da quella usata da Einstein;
- alcuni dei fattori correttivi di Einstein sono modificati e combinati;
- lo spessore della zona di trasporto di fondo è cambiato rispetto a quello di Einstein (due diametri).

Questa formula calcola il trasporto totale.

Toffaleti espresse il parametro di Einstein Ψ (intensità della corrente) come:

$$\Psi = \frac{T A}{U^2} 10^4 d$$

con T (dimensioni $[L/T^2]$) parametro che include le costanti e quelle componenti della forza di taglio che sono funzioni della temperatura dell'acqua, A fattore di correzione adimensionale per sostituire i fattori di correzione di Einstein per i sedimenti non omogenei, U $[L/T]$ è la velocità media della corrente e d $[L]$ è il diametro dei granuli.

Egli divise l'altezza della corrente in tre zone:

- la zona inferiore dove la profondità della corrente è minore di $\Re/11.24$ (con \Re raggio idraulico);
- la zona intermedia con profondità compresa tra $\Re/2.5$ e $\Re/11.25$;
- la zona superiore dove la profondità è inferiore a $\Re/2.5$.

Toffaleti inoltre stabilì che L_F o trasporto del nucleo espresso in U.S. tons/giorno per 1 piede di larghezza nella zona inferiore (assumendo che il fondo sia composto interamente da una sola granulometria di sabbia), può essere rappresentato da:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

$$L_F = \frac{0.06}{\left(\frac{TA}{U^2}\right)^{5/3} \left(\frac{d}{0.00058}\right)^{5/3}}$$

che per la sabbia molto fine ($d < 1$ mm) diventa:

$$L_F = \frac{1.905}{\left(\frac{TA}{U^2}\right)^{5/3}}$$

La distribuzione della concentrazione dei sedimenti è espressa da:

$$C_y = C_a \left(\frac{y}{\mathfrak{R}}\right)^z$$

nella quale C_y è la concentrazione dei sedimenti alla quota y dal fondo e C_a è la concentrazione alla quota a .

Per la zona centrale:

$$z = \frac{U w_s}{C_z j \mathfrak{R}}$$

nella quale w_s è la velocità di sedimentazione della particella in piedi/s e C_z è un fattore correttivo per la temperatura che vale $260.67 - 0.667T$ (con T in °F). L'esponente z della distribuzione della concentrazione dei sedimenti nella zona inferiore ed in quella superiore è, rispettivamente, 0.756 e 1.5 volte quello della zona centrale.

Dopo aver determinato L_F e la distribuzione della concentrazione dei sedimenti nella zona inferiore, si può procedere col determinare la concentrazione al bordo superiore di questa zona, poi calcolare la distribuzione ed il trasporto totale dei sedimenti nella zona centrale ed infine ottenere il trasporto totale di sedimenti nella zona superiore. La somma del trasporto totale di sedimenti nelle tre zone è il trasporto totale riferito all'intera altezza della sezione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Formula di Ackers-White (1973)

Ackers e White postularono che solo una parte dello sforzo di taglio agente sul letto del fiume causa il movimento dei sedimenti grossolani, mentre nel caso di quelli fini predomina il trasporto in sospensione per il quale l'intero sforzo di taglio causa il movimento.

Questa formula valuta il trasporto totale, considerato come la somma del trasporto di fondo e di quello in sospensione. La portata solida in volume q_s ha come unità di misura il $m^3/(m\ s)$, ed esprime il volume del sedimento trasportato per ogni secondo per l'unità di larghezza dell'alveo.

La formula è la seguente:

$$q_s = G_{gr} g u \left(\frac{u}{u_*} \right)^n d_{gr}$$

con $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{g h i}$ velocità di attrito e con i parametri adimensionali G_{gr} (trasporto dei sedimenti), F_{gr} (mobilità delle particelle) e d_{gr} (granulometria):

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m$$

$$F_{gr} = \frac{u_*^n}{[g d (\gamma_s - 1)]^{1/2}} \left[\frac{u}{5.66 \log(10 D/d)} \right]^{(1-n)}$$

$$d_{gr} = d [g (\gamma_s - 1) / v^2]^{1/3}$$

I quattro parametri n , A , m e C sono stati ricavati in base agli esperimenti:

$$\text{per } 1 \leq d_{gr} \leq 60$$

$$n = 1 - 0.5 \log d_{gr}$$

$$A = \left(\frac{0.23}{d_{gr}^{1/2}} \right) + 0.14$$

$$m = \left(\frac{9.66}{d_{gr}} \right) + 1.34$$

$$C = 10^{[2.86 \log d_{gr} - (\log d_{gr})^2 - 3.53]}$$

$$\text{per } d_{gr} > 60$$

$$n = 0.0$$

$$A = 0.170$$

$$m = 1.50$$

$$C = 0.025$$

Nella formula d è espresso in metri.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Formula di Yang (1973)

Questa formula considera il fiume come una macchina: il lavoro necessario per mantenere il trasporto dei sedimenti è pari al prodotto della forza per la velocità.

Il trasporto di fondo è dato da:

$$\rho_s \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) q_f \tan \alpha = \omega e_f$$

con $\tan \alpha$ coefficiente di attrito dinamico, q_f trasporto di fondo pari alla massa per la velocità della particella sul fondo, e_f efficienza della potenza (approssimativamente 0.15) e $\omega = \tau_0 u$ potenza della corrente.

Il trasporto in sospensione è dato da:

$$\rho_s \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) q_{ss} \frac{w_s}{u_s} = \omega e_s (1 - e_f)$$

con q_s trasporto in sospensione pari alla massa per la velocità della particella in sospensione, che può approssimarsi con quella della corrente u , w_s velocità di sedimentazione, e_s efficienza della potenza pari a 0.015 ed il rapporto w_s/u_s equivalente al coefficiente di attrito dinamico.

Il trasporto totale in $[m^3/(m s)]$ è dato dalla somma dei due termini precedenti:

$$q_s = q_f + q_{ss} = \omega \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \left(\frac{e_f}{\tan \alpha} + 0.01 \frac{u_s}{w_s} \right) \frac{1}{\rho_s}$$

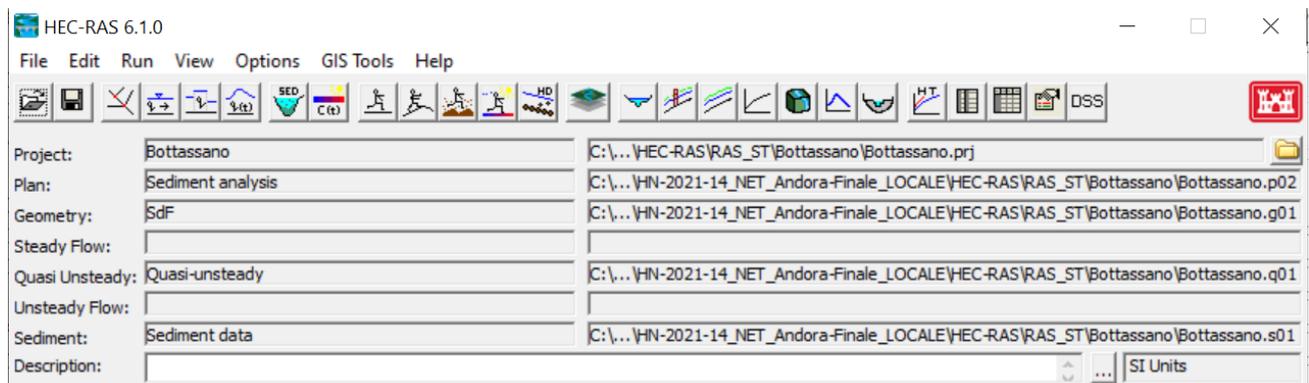
 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV01</td> <td>00</td> <td>D 09 RG</td> <td>ID 0002 001</td> <td>A</td> <td>45 di 106</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	45 di 106
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	45 di 106								

3.2 MODELLO DI CALCOLO IDRAULICO A FONDO MOBILE

3.2.1 HEC-RAS, modulo per il trasporto dei sedimenti

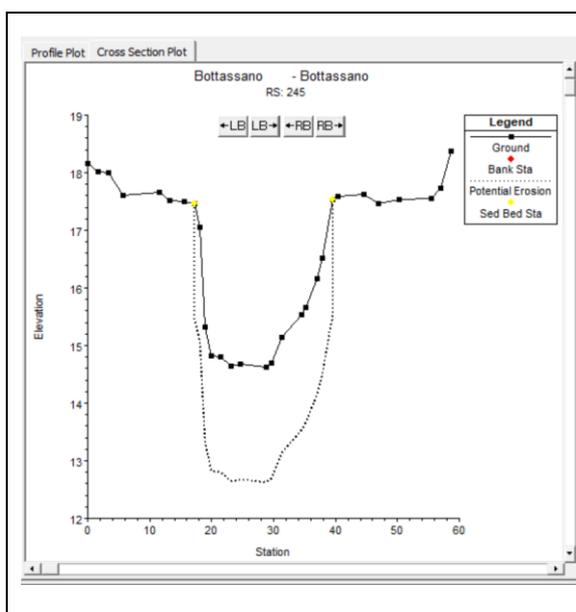
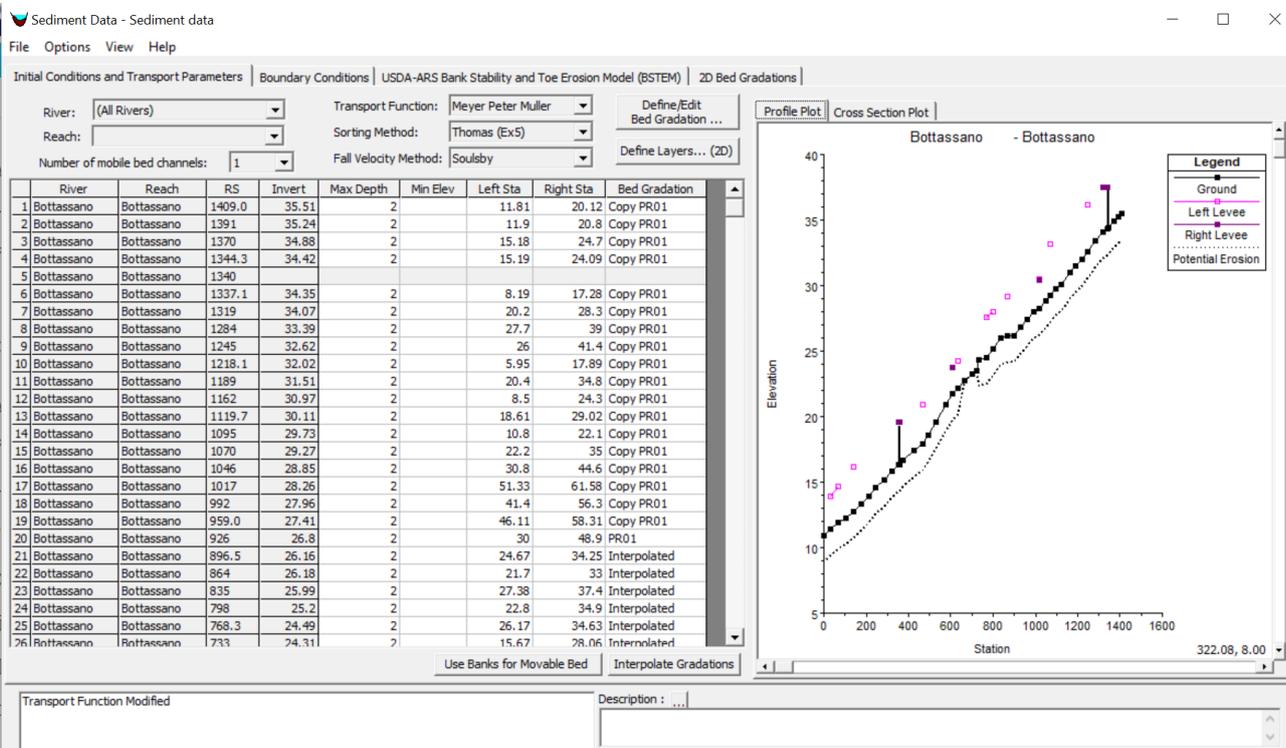
3.2.1.1 Cenni generali

HEC-RAS¹ è un noto codice di calcolo per il moto di correnti idriche in simulazione monodimensionale di una rete di canali naturali e/o artificiali, messo a punto dal Corpo degli Ingegneri dell'Esercito Americano. La versione 4.0.x del codice ha incluso la possibilità di svolgere analisi sul trasporto di sedimenti, basate sulla metodologia già in uso nel vecchio codice HEC-6² e disponibili anche nella versione 6.1, utilizzata nel presente studio.



¹ HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, US Army Corps of Engineers

² HEC-6 “Scour and deposition in Rivers and Reservoirs” (HEC 1991)



Sediment Transport Analysis

File Options Help

Plan : Sediment analysis Short ID Sediment analysi

Geometry File : SdF

Quasi-Unsteady Flow Quasi-unsteady

Sediment Data : Sediment data

Simulation Time Window

Starting Date: 01jan2022 Starting Time: 0000

Ending Date: 30jan2022 Ending Time: 2400

Plan Description :

Compute

Enter/Edit short identifier for plan (used in plan comparisons)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

3.2.1.2 Funzionamento del programma

Il modulo per il trasporto dei sedimenti è stato creato per simulare e predire i cambiamenti nei profili dei fiumi derivanti dall'erosione e/o dalla deposizione.

L'idrogramma viene suddiviso in una serie di moti stazionari di portate e durate variabili. Per ogni passo è calcolato il profilo della superficie dell'acqua e da questo si ricava la pendenza piezometrica, la velocità, la profondità in ogni sezione. Da questi viene poi calcolato, per ogni sezione e per ogni classe granulometrica, il trasporto potenziale di sedimenti, che combinato con la durata della corrente, permette di ricavare il trasporto dei sedimenti associato ad ogni portata.

Il trasporto dei sedimenti è calcolato per ogni portata e per ogni classe granulometrica in questo modo:

- calcolo del trasporto potenziale per ogni classe granulometrica presente nel letto del fiume come se essa costituisse la totalità dei sedimenti presenti;
- il trasporto potenziale così ottenuto viene poi moltiplicato per la frazione di quella stessa classe realmente presente in quel passo temporale; in questo modo si determina la capacità di trasporto per questa granulometria.

Le percentuali delle diverse classi granulometriche presenti sul fondo possono cambiare significativamente durante il passo temporale; quindi si utilizzano delle iterazioni per poter prendere in considerazione questi cambiamenti; il numero delle iterazioni all'interno del passo temporale può essere fissato dall'utilizzatore.

L'equazione di continuità dei sedimenti deve essere applicata su un volume di controllo, che va da metà della distanza fra la sezione a monte di quella attuale a metà della distanza da quella a valle. La larghezza di questo volume di controllo generalmente coincide con quella del letto mobile, e la sua profondità va dalla superficie libera fino al terreno non erodibile (strato di roccia).

Il programma utilizza come equazione di continuità quella di Exner:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + B_0 \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 0 \quad 3.1$$

con Q_s portata media dei sedimenti (in m^3/s) durante l'intervallo Δt .

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Questa equazione può essere espressa in termini di differenze finite:

$$\frac{Q_{sd} - Q_{su}}{0.5(L_u - L_d)} + \frac{B_{0p}(Y'_{sp} - Y_{sp})}{\Delta t} = 0 \quad 3.2$$

con:

B_{0p}	larghezza del letto mobile al punto P;
Q_{su}	carichi di sedimenti alla sezione di monte;
Q_{sd}	carichi di sedimenti alla sezione di valle;
L_u	lunghezza del tratto di monte tra le sezioni;
L_d	lunghezza del tratto di valle tra le sezioni;
Y_{sp}	profondità dei sedimenti all'inizio dello step nel punto P;
Y'_{sp}	profondità dei sedimenti alla fine dello step nel punto P;
Δt	Passo temporale

Si rimanda al manuale ed alla documentazione di riferimento di HEC-RAS per una trattazione completa delle assunzioni teoriche circa il calcolo numerico del trasporto di sedimenti.

3.2.2 Schematizzazione idraulica adottata

3.2.2.1 Geometria dei modelli

Per i corsi d'acqua Bottassano, Castellaro, e Carrenda e Delle Cioppe, la geometria dei modelli di calcolo a fondo mobile è la stessa di quelli monodimensionali a fondo a fisso, che sono stati costruiti a partire dai rilievi topografici appositamente eseguiti per il Progetto in esame, i cui dettagli sono riportati negli elaborati: IV0I00D09RHID0002001A Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (modello monodimensionale), e IV0I00D26RIID0402001A Studio idraulico bidimensionale dei Torrenti Cioppe e Carenda. Per gli altri corsi d'acqua interessati dagli attraversamenti ferroviari in progetto, di cui la modellazione a fondo fisso invece è stata fatta con modelli bidimensionali, è stato costruito un apposito modello monodimensionale estraendo le sezioni dal DTM realizzato per i modelli bidimensionali. Ricordiamo che la geometria del modello di calcolo è costituita dalle sezioni trasversali, dalle opere eventualmente presenti e dalle caratteristiche idrauliche delle sezioni stesse.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

3.2.2.2 Scabrezza idraulica

I valori di scabrezza adottati per i vari corsi d'acqua sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 6: valori di scabrezza adottati per i corsi d'acqua di studio

Corso d'acqua	golena sinistra	canale principale	golena destra
Bottassano	0.04<n<0.08	0.05	0.04<n<0.08
Maremola	0.08	0.045	0.08
Giustenice	0.08	0.05	0.08
Casazza	0.08	0.05	0.08
Castellaro	0.03<n<0.08	0.03<n<0.07	0.03<n<0.08
Varatello	0.08	0.04	0.08
Carrenda	0.04	0.04	0.04
Delle Cioppe	0.03<n<0.04	0.03<n<0.04	0.03<n<0.04
Neva	0.08	0.04	0.08
Arroscia	0.08	0.04	0.08
Merula	0.08	0.045	0.08

3.2.2.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno nel modello a fondo mobile riguardano sia la componente acqua, sia quella sedimenti e sono sinteticamente descritte di seguito.

Portate simulate

Per i Torrenti Varatello, Neva e Arroscia sono stati considerati i dati di portate medie mensili (massime annuali) registrati nelle stazioni idrometriche di Salto del Lupo sul Varatello (periodo 1951-1959), Cisano sul Neva e Pogli d'Ortovero sull'Arroscia (1932-2011), da cui si sono ottenuti dei valori medi di portate specifiche ($m^3/s/kmq$) e quindi le portate medie all'intersezione con la ferrovia.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Per gli altri corsi d'acqua è stata stimata una portata media mensile a partire dalla portata specifica media tra quelle dei Torrenti Varatello, Neva e Arroscia (173.9 l/s km²). Moltiplicando questo valore per l'area degli altri bacini si è ottenuta la portata media mensile utilizzata come condizione al contorno, la tabella successiva riporta i valori di portata utilizzati.

Tabella 7: valori di portata media mensile simulati

Corso d'acqua	Portata media mensile (m³/s)
Bottassano	1.04
Maremola	5.86
Giustenice	1.72
Casazza	0.21
Castagne (confluisce in Casazza)	0.07
Castellaro	0.11
Varatello	9.47
Carrenda	0.43
Dei Ciò (confluisce in Carrenda)	0.25
Delle Cioffe	0.28
Neva	17.31
Arroscia	45.78
Merula	7.91

Nel codice di calcolo il valore di portata costante della durata complessiva di *30 giorni (720 ore)* è stato suddiviso in *720* intervalli di durata pari a *24 ore* ognuno, suddivisi a loro volta in incrementi computazionali di durata pari a *0.5 ore*. Per il solo Torrente Varatello è stato invece utilizzato un incremento computazionale di durata pari a *0.1 ore*.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Livello idrico di valle

Per la definizione del livello a valle sono state valutate due condizioni diverse a seconda del modello utilizzato.

Ovvero, quando il modello del corso d'acqua arriva al mare (è il caso dei torrenti Maremola, Varatello, Arroscia e Merula) è stato imposto un livello idrico di 0,5 m.

Per i corsi d'acqua Bottassano, Casazza, Castellaro e Carrenda, il cui modello non arriva al mare, è stata utilizzata la condizione di pendenza dell'energia costante, pari alla pendenza del fondo nell'ultimo tratto. Le pendenze utilizzate sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 8: Pendenze utilizzate come condizione al contorno di valle

Corso d'acqua	Pendenza (m/m)
Bottassano	0.015
Casazza	0.018
Castellaro	0.009
Carrenda	0.00775

Per i corsi d'acqua Giustenice, Neva e Delle Cioppe non è stato imposto un livello idrico di valle, in quanto confluiscono in altri Torrenti, rispettivamente Maremola, Arroscia e Carrenda.

Carico solido entrante

La condizione al contorno di monte per quanto concerne i sedimenti deve definire, per ogni granulometria considerata, l'apporto in kg/s per l'intero periodo di simulazione. Tale apporto dipende dalle caratteristiche morfologiche del bacino di monte e dagli eventi meteorici che lo investono. Usualmente si definisce una relazione univoca tra portata liquida e portata solida, trascurando quello che può essere il diverso impatto di un evento meteorico sul bacino. Se si assume che la sezione in cui è imposta la condizione al contorno sia mediamente stabile, questa relazione può essere direttamente definita mediante la formula di trasporto definita.

Il codice di calcolo è in grado di determinare automaticamente il carico di equilibrio, che corrisponde alla capacità di trasporto per quella sezione in ogni passo temporale e per ogni classe

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 52 di 106

granulometrica. In via cautelativa è stata adottata, per i casi in esame, la condizione di carico di equilibrio.

Da sottolineare che essendo i tratti di interesse dell'analisi quelli a cavallo dell'attraversamento della linea ferroviaria e che questi si trovano ad una certa distanza dalla sezione in cui è definita la condizione al contorno, l'imprecisione legata alla definizione di tale condizione è attenuata dal fatto che il modello riadatta la sua capacità di trasporto sulla base delle caratteristiche dell'alveo schematizzato, perdendo quindi l'informazione iniziale definita con la condizione al contorno.

3.2.2.4 Limiti del fondo erodibile

La caratteristica principale del modello a fondo mobile è proprio rappresentata dai limiti della porzione erodibile delle sezioni. È possibile indicare le coordinate dei nodi di ogni sezione che possono essere alzati o abbassati in funzione dell'erosione o della deposizione calcolata, nonché la massima profondità di erosione.

Nei casi in esame sono state individuate in via preliminare le seguenti condizioni:

- limiti del fondo mobile in ogni sezione coincidenti con i limiti del canale principale;
- massima profondità di erosione pari a 2 m.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	53 di 106

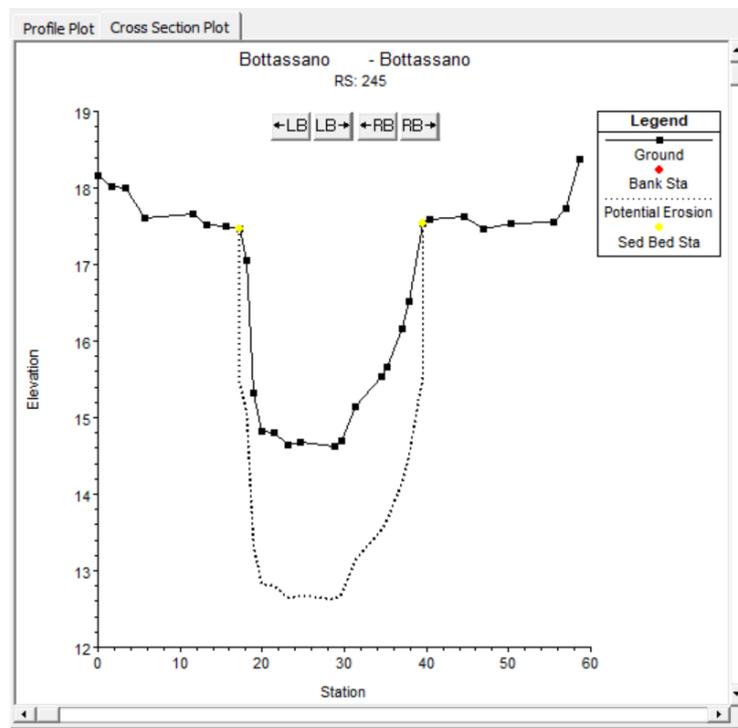


Figura 15: esempio dell'inserimento dei limiti del fondo mobile coincidenti con i limiti del canale principale

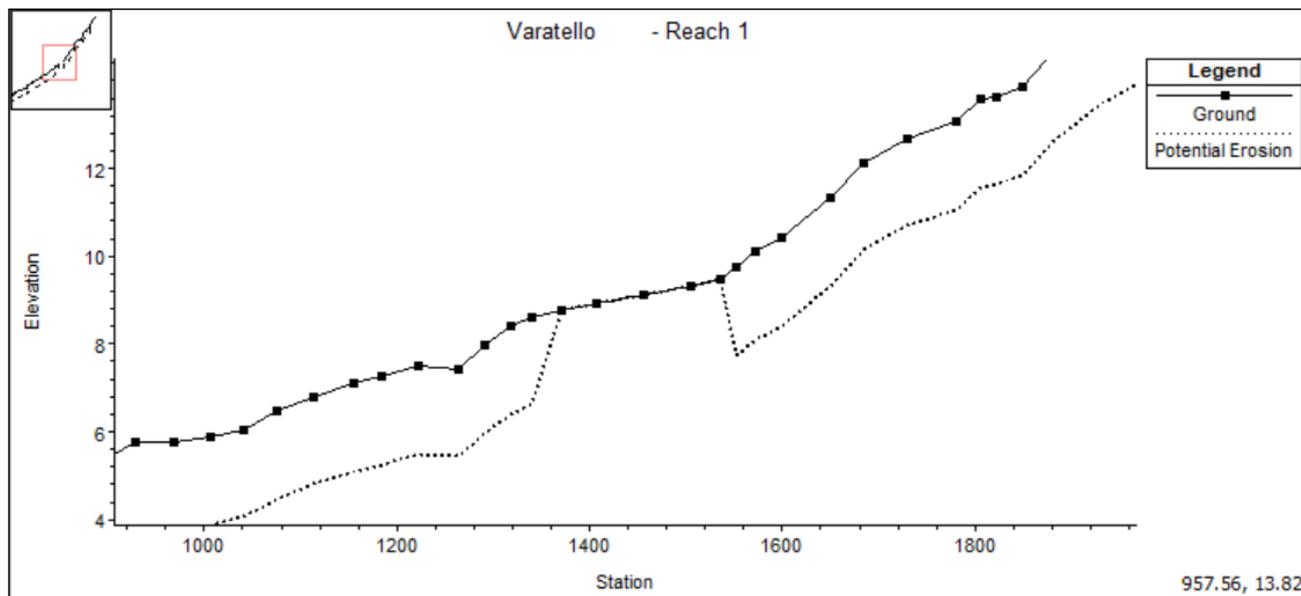


Figura 16: esempio dell'inserimento della massima profondità erodibile (si noti il tratto con protezione di fondo considerato inerodibile)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

3.2.2.5 Caratteristiche del cambiamento del fondo alveo

La morfologia dei corsi d'acqua in esame può essere tale da giustificare una mobilità del fondo alveo uniforme lungo la verticale, il che corrisponde all'opzione di default del codice di calcolo che non prevede erosione né deposizione al di fuori dei limiti del fondo mobile. Tuttavia è possibile selezionare l'opzione corrispondente alla *deposizione al di fuori del fondo mobile*, qualora siano da attendersi livelli idrici superiori alla quota dei limiti del fondo erodibile.

3.2.2.6 Formula di trasporto solido

La scelta della formula di trasporto solido da adottare per i casi in esame, condotta secondo quanto indicato nel precedente paragrafo 3.1.4, ha portato ad individuare quella di Meyer-Peter e Muller come la più adatta in base alle granulometrie rilevate. Per Varatello, Neva e Merula, dove sono presenti rilevanti frazioni coesive ($d < 0.0625$ mm), il calcolo per queste componenti è fatto con la formulazione di Krone/Partheniades che considera la particolarità delle componenti coesive.

È stata poi fatta una calibrazione della funzione di trasporto, tarando i valori di “*Transport function scaling factor*” e di “*Critical mobility scaling factor*” in ogni modello affinché il fondo risultasse in uno stato di equilibrio nel tratto iniziale.

Per il Torrente Varatello e i corsi d'acqua Casazza e Delle Vigne sono stati utilizzati i seguenti valori:

Tabella 9: Valori dei parametri di calibrazione della funzione di trasporto per alcuni corsi d'acqua

Corso d'acqua	Transport function scaling factor	Critical mobility scaling factor
Varatello	3	2
Casazza e Delle Vigne	2	3

Per tutti gli altri corsi d'acqua, sono invece sempre stato considerati valori unitari per entrambi i parametri sopra citati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

3.2.2.7 Caratterizzazione del mescolamento del fondo alveo

Le formule di trasporto solido calcolano il trasporto potenziale senza considerare la reale disponibilità di materiale solido movimentabile, la quale dipende dalle caratteristiche granulometriche che influenzano il fenomeno del rimescolamento del fondo con conseguente possibile corazzamento dello stesso (*armoring*).

Il codice di calcolo consente quindi di selezionare l'opzione più adatta per rappresentare questo fenomeno e nei casi in esame è stata adottata in prima approssimazione quella di default, che corrisponde al cosiddetto metodo "Exner 5" in cui si considera un modello di fondo alveo a tre strati in cui si forma uno strato corazzato che limita lo scambio di materiale dagli altri due strati.

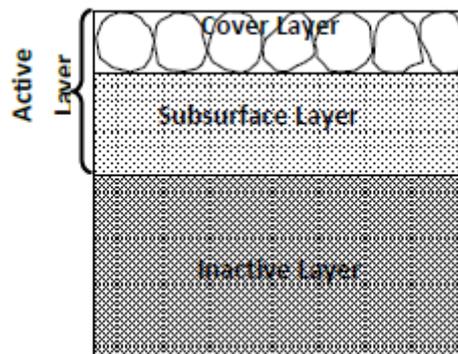


Figura 17: schema del metodo di mescolamento del fondo alveo

3.2.2.8 Granulometria del fondo alveo

La granulometria dei sedimenti di cui è costituito il fondo alveo viene rappresentata con la curva granulometrica dei campioni prelevati secondo i criteri riportati nel precedente paragrafo 2.1.1. Poiché nel codice di calcolo è possibile associare una sola curva granulometrica per ogni sezione, la scelta del punto di prelievo è di fondamentale importanza affinché esso sia rappresentativo dell'intera variabilità granulometrica osservata, tenendo anche conto che lo studio condotto in questa sede volge l'attenzione ai fenomeni di medio periodo, quindi i campioni devono essere rappresentativi di ciò che si può mobilitare durante tali eventi.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>ID 0002 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>56 di 106</p>

Le relative curve granulometriche relative a ogni punto di prelievo sono state associate alle corrispondenti sezioni; il codice di calcolo determina poi un andamento lineare della granulometria tra una sezione e l'altra. Nei tratti a monte e a valle dei punti di prelievo sono state considerate granulometrie uguali a quelle definite dal campione più a monte e più a valle.

3.3 MODALITÀ EVOLUTIVE DELL'ALVEO

3.3.1 Tendenza all'erosione e alla deposizione

Le modalità evolutive dell'alveo, per i corsi d'acqua in esame in questa sede, vengono sinteticamente valutate in base alla possibile tendenza all'erosione o alla deposizione, stimata a sua volta mediante l'applicazione dei modelli idraulici a fondo mobile implementati per i corsi d'acqua in esame in questa sede. Nel caso di Bottassano, Varatello, Casazza, Castellaro, Carrenda e Delle Cioppe, si riportano i risultati riferiti alla configurazione di progetto, in cui sono presenti protezioni di fondo in corrispondenza degli attraversamenti.

Le figure seguenti riportano il profilo di fondo iniziale e finale dei corsi d'acqua, per l'intero tratto simulato (rappresentazione del post-processor di RAS) e uno zoom in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	57 di 106

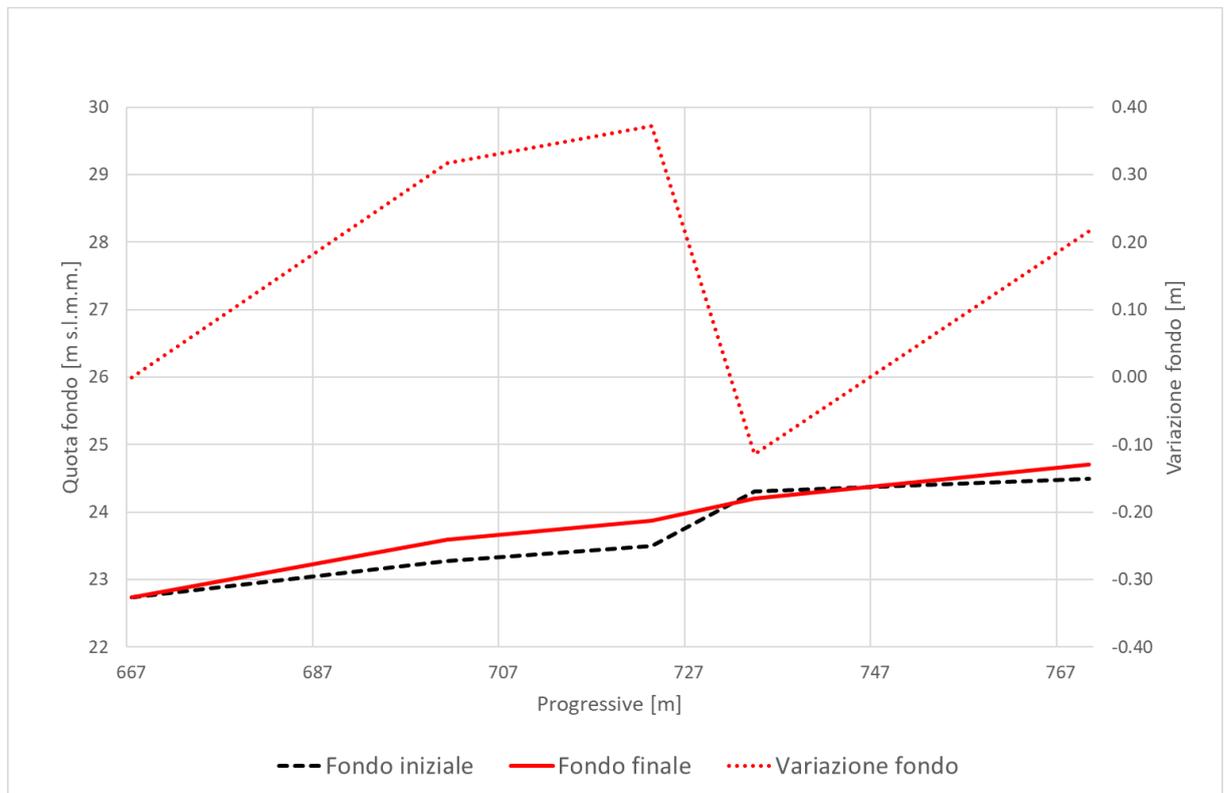
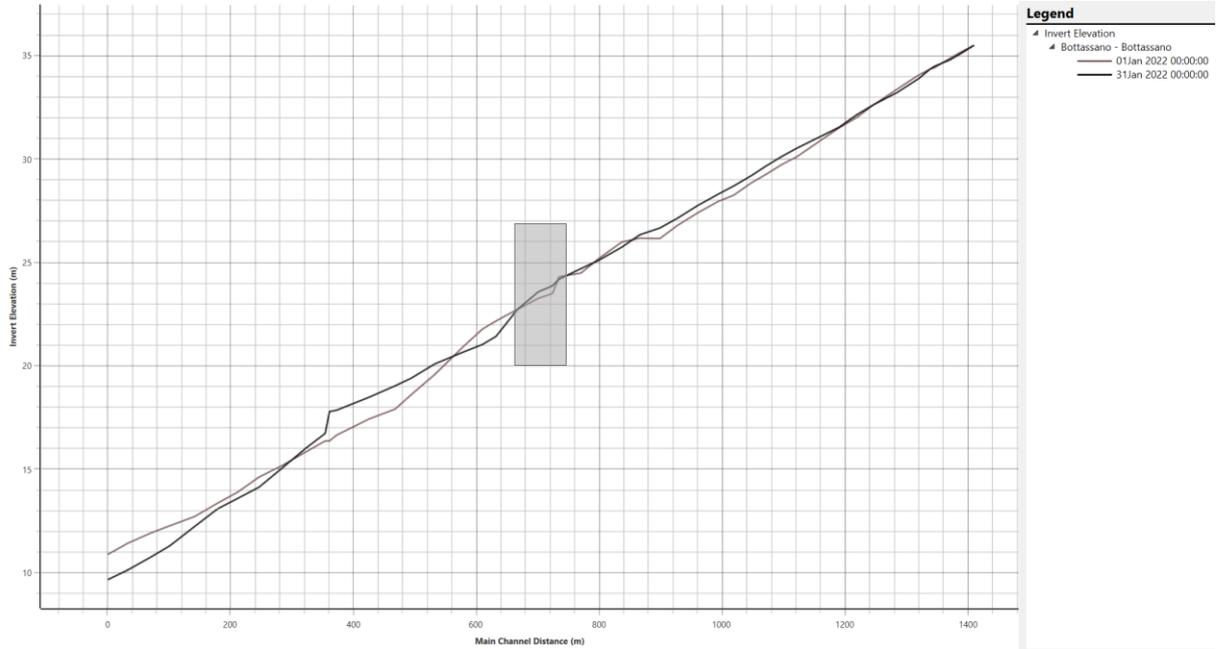


Figura 18: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Torrente Bottassano, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	58 di 106

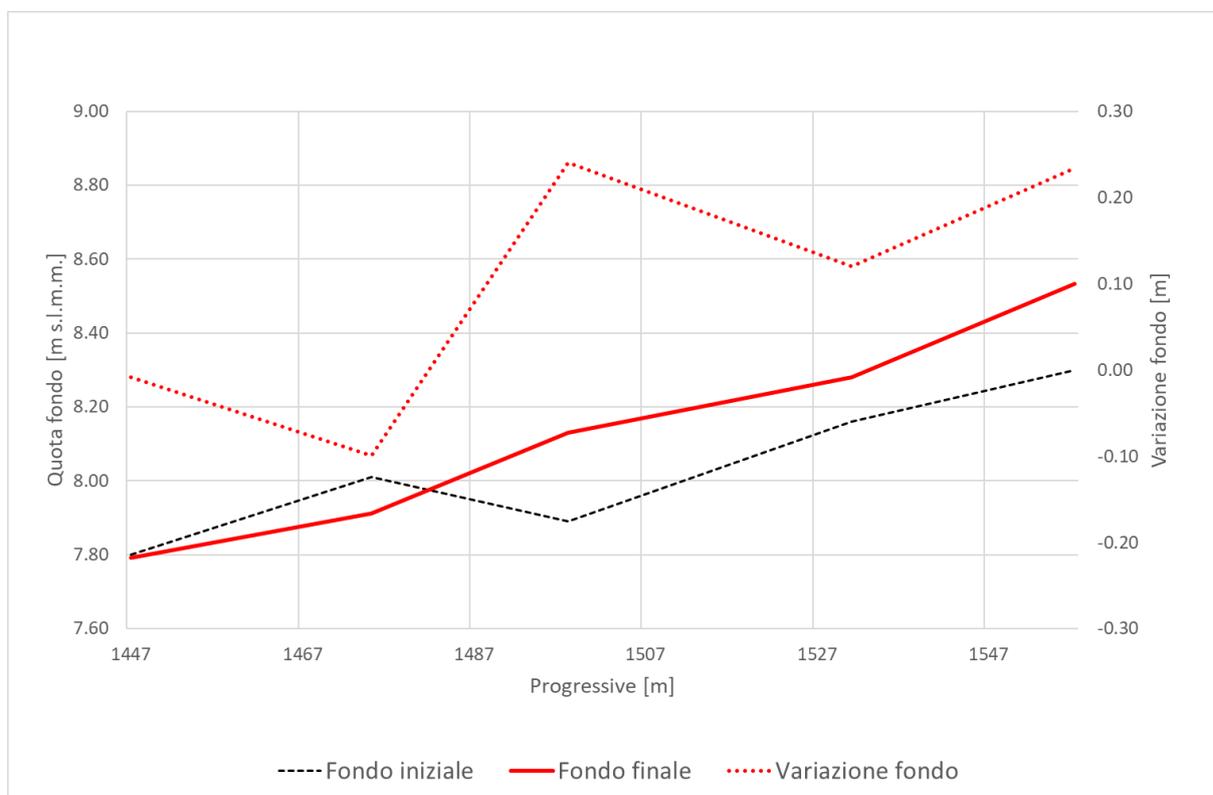
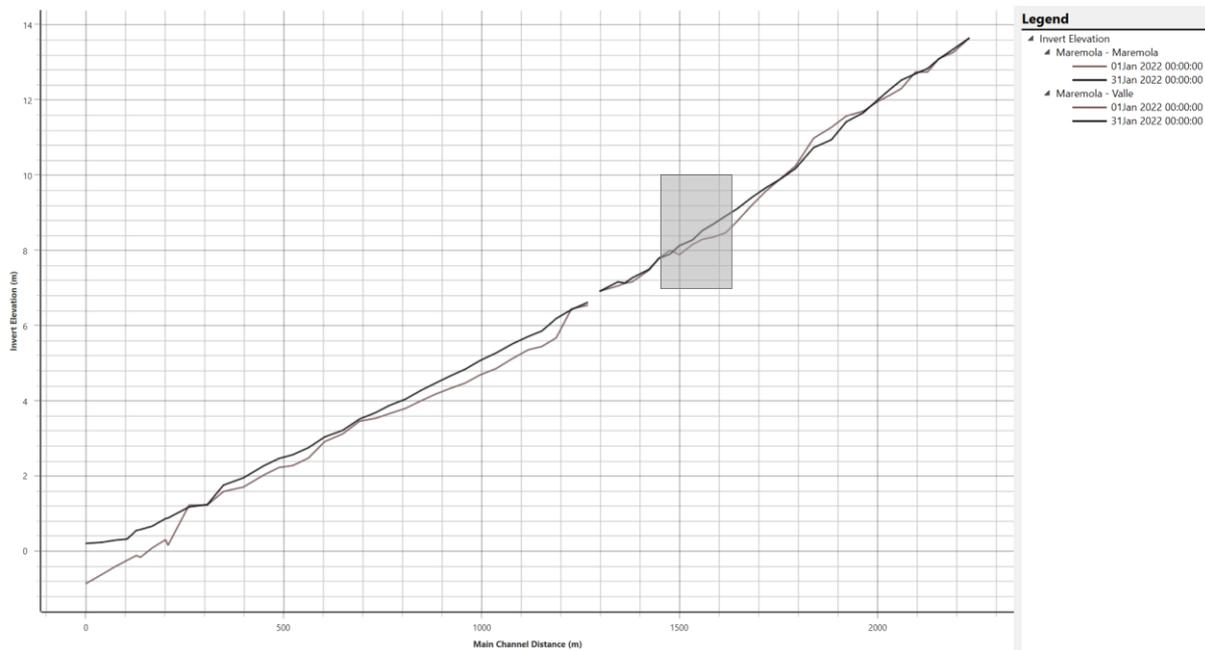


Figura 19: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Torrente Maremola, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	59 di 106

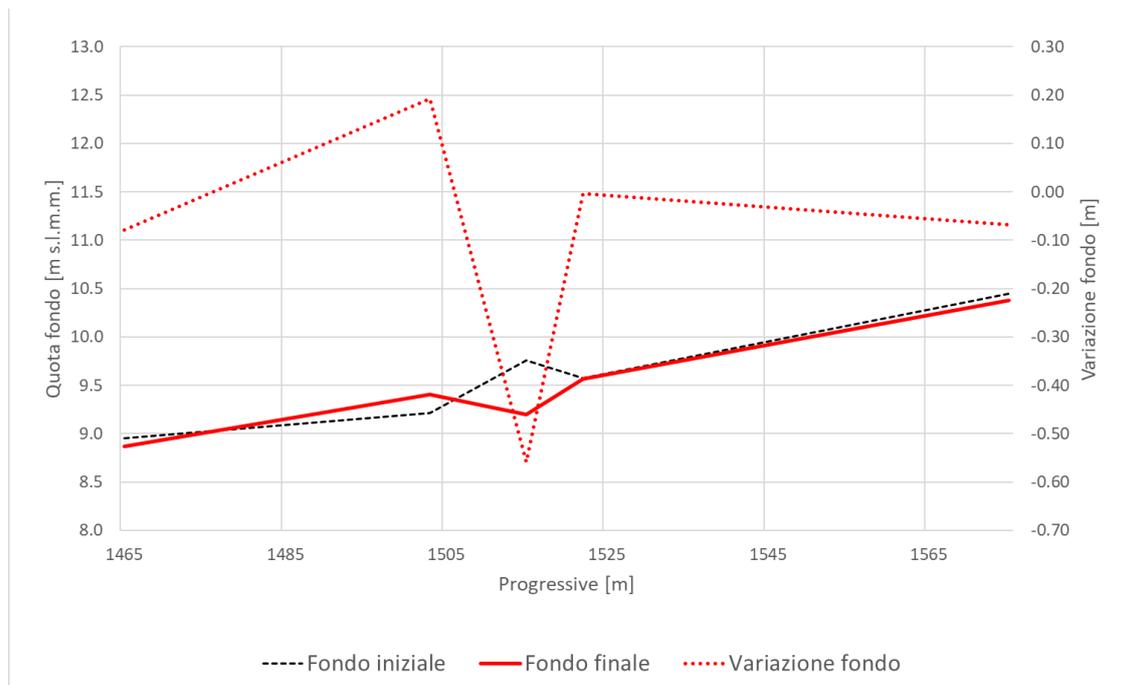
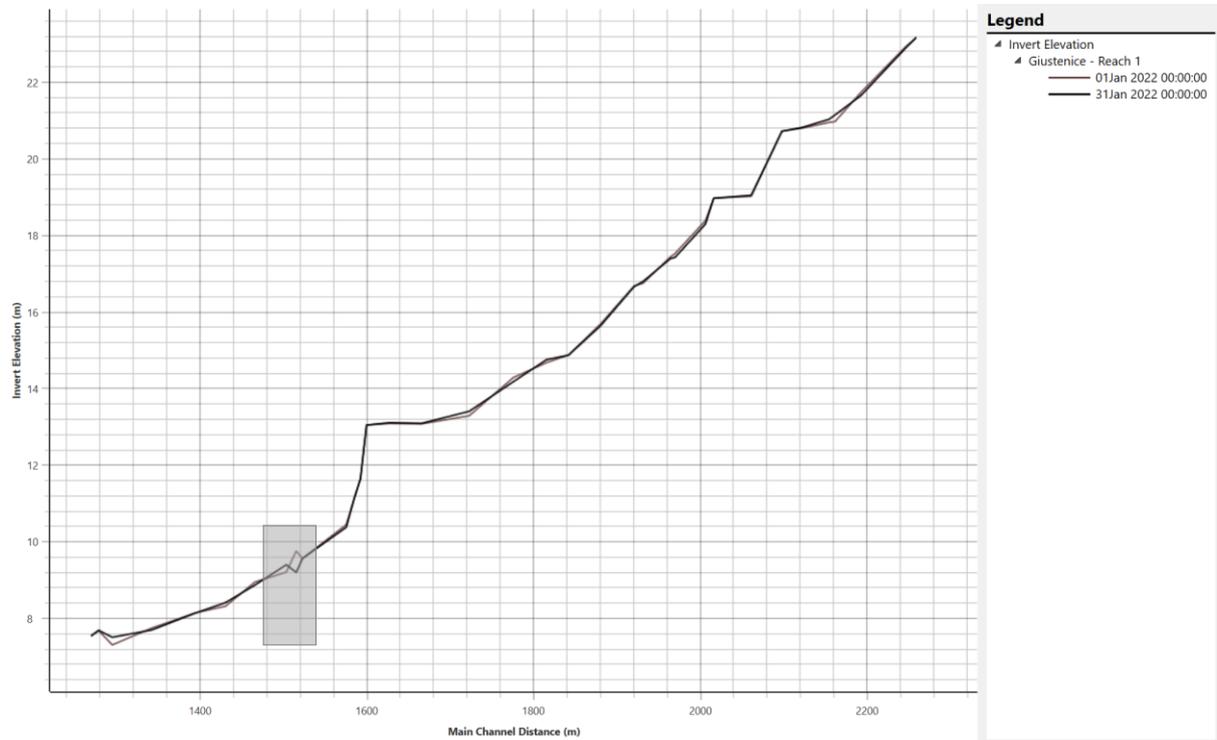


Figura 20: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Torrente Giustenice, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	60 di 106

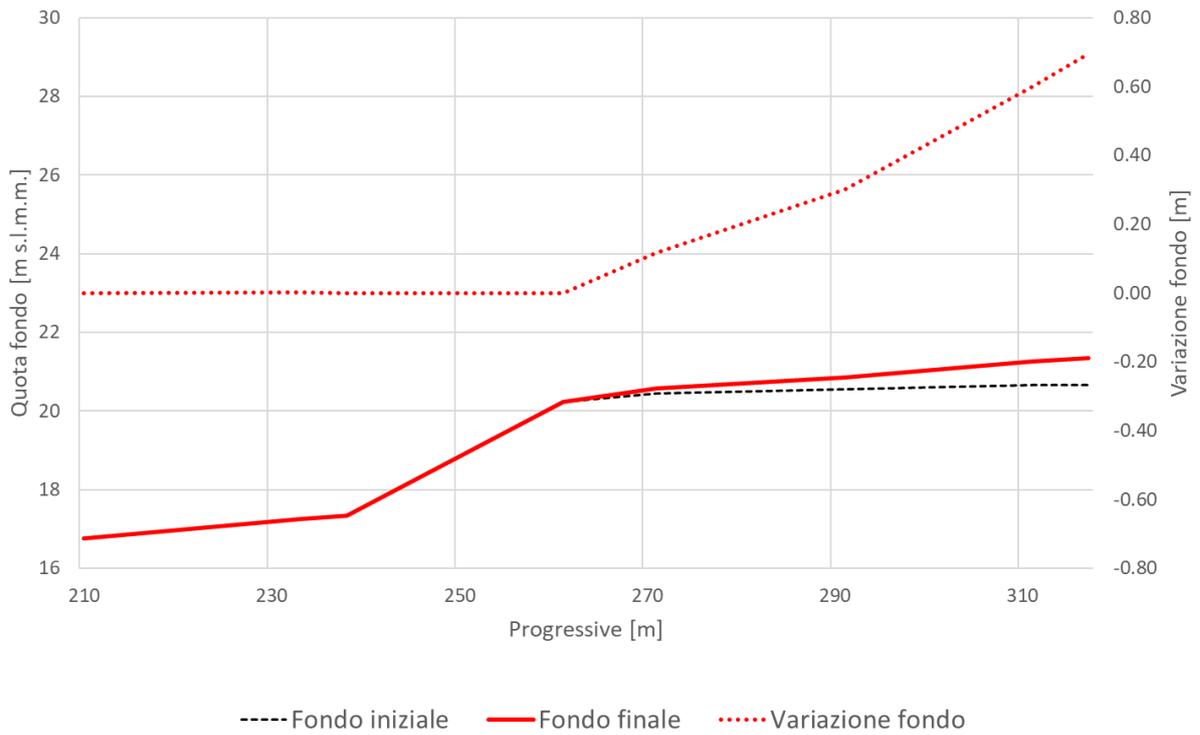
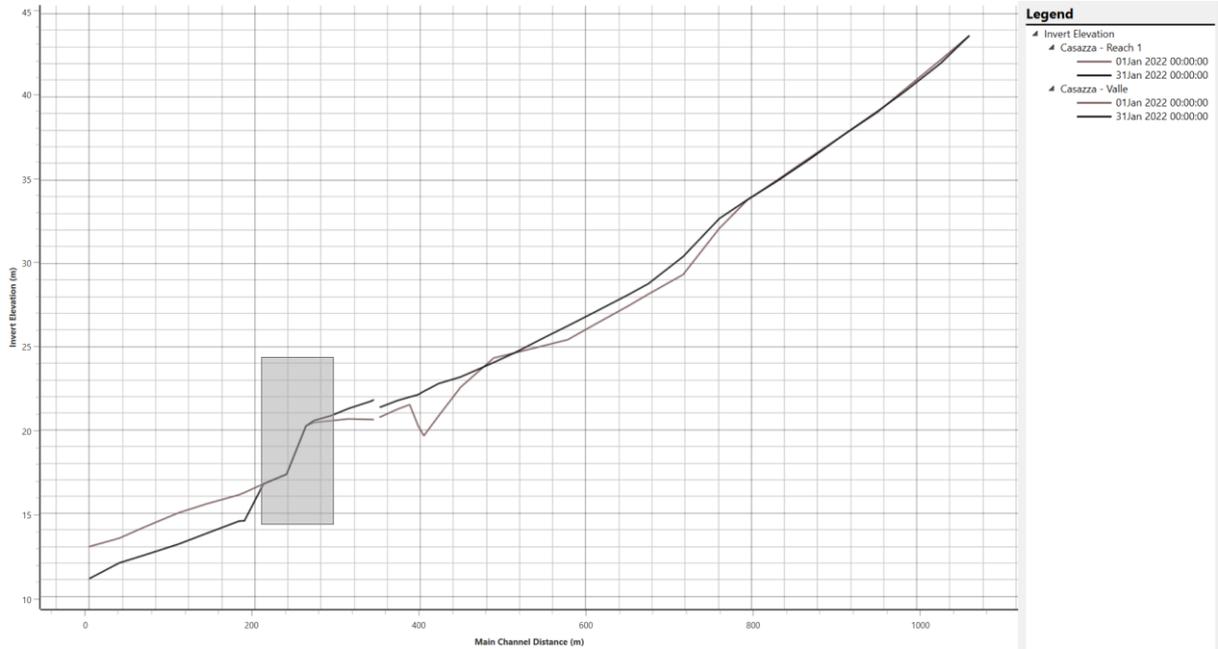


Figura 21: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Rio Casazza, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	61 di 106

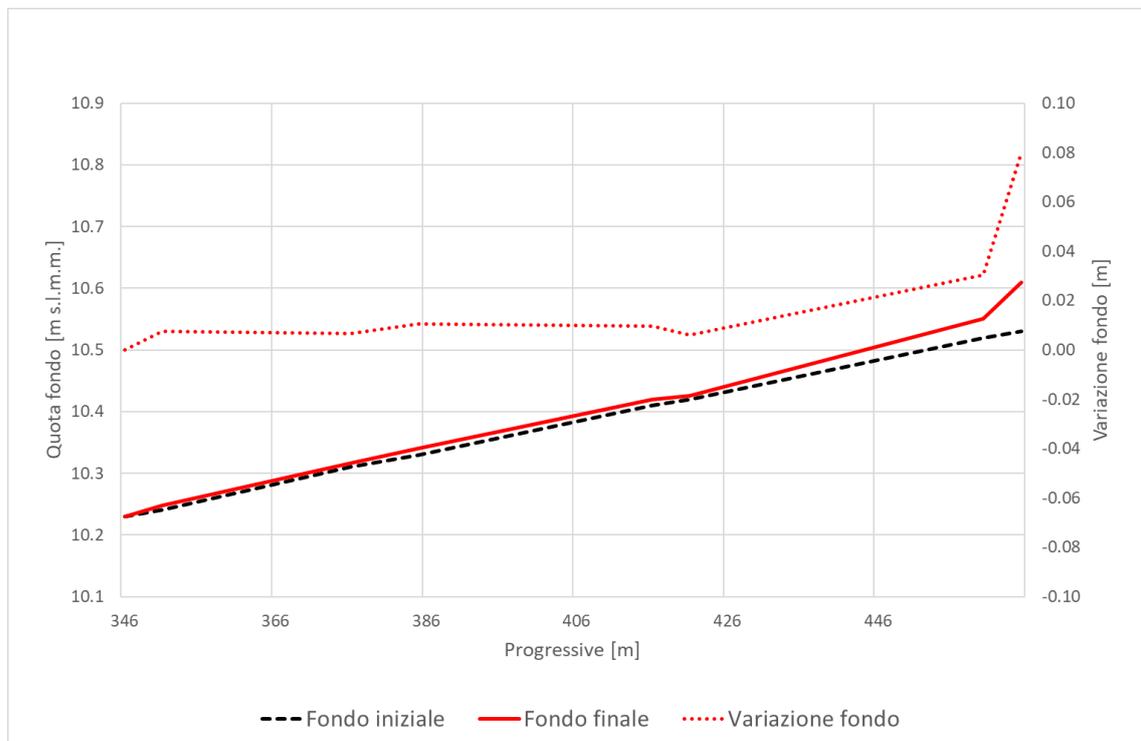
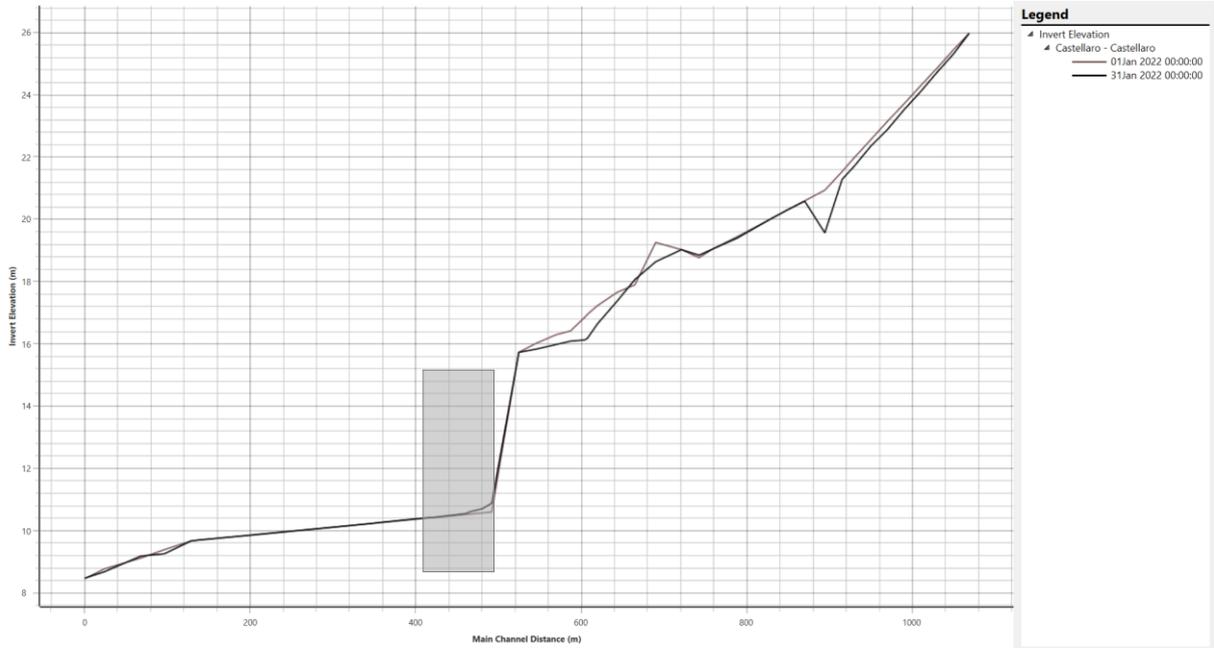


Figura 22: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Rio Castellaro, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

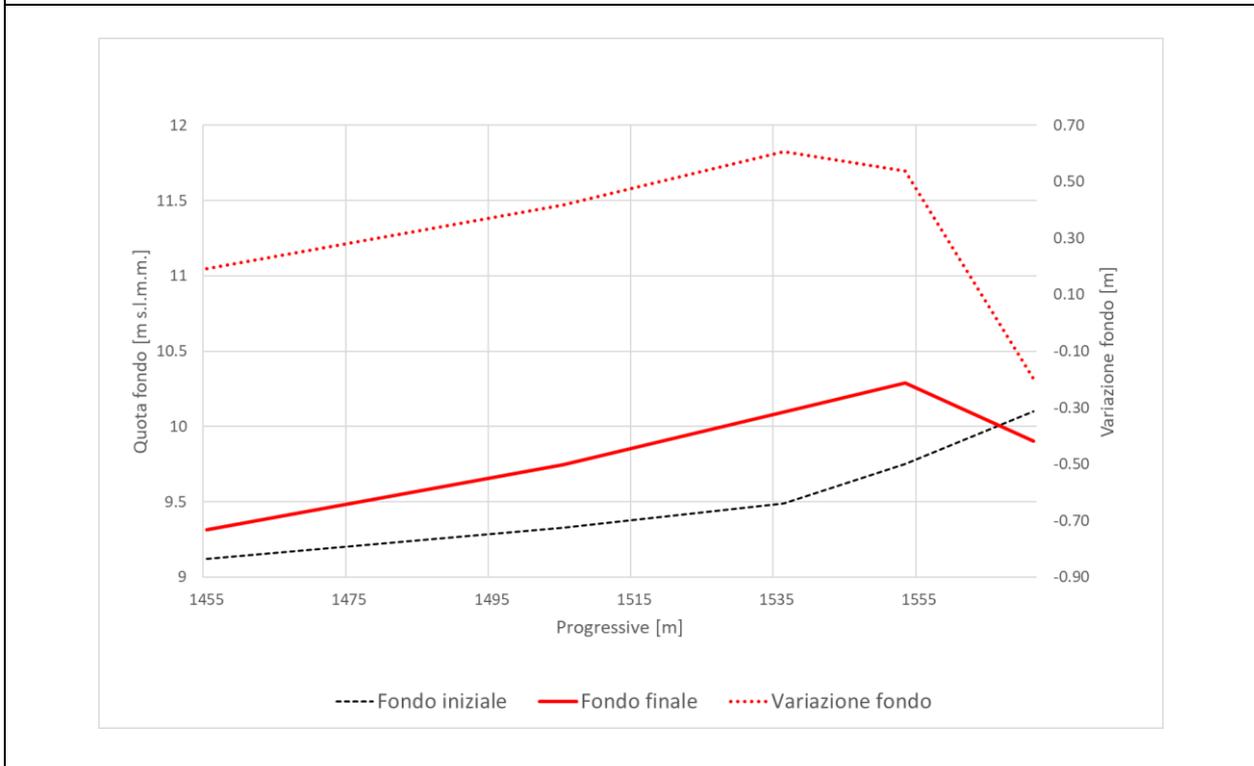
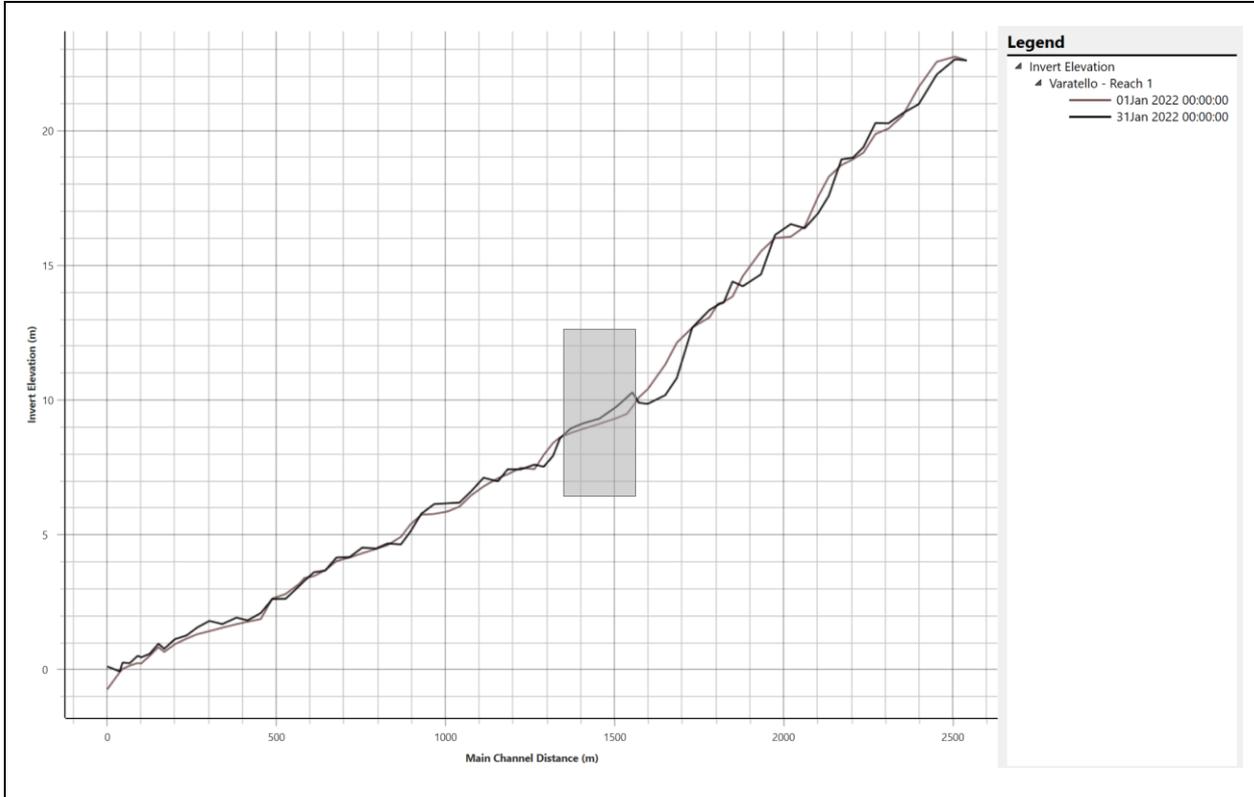


Figura 23: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Rio Varatello, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	63 di 106

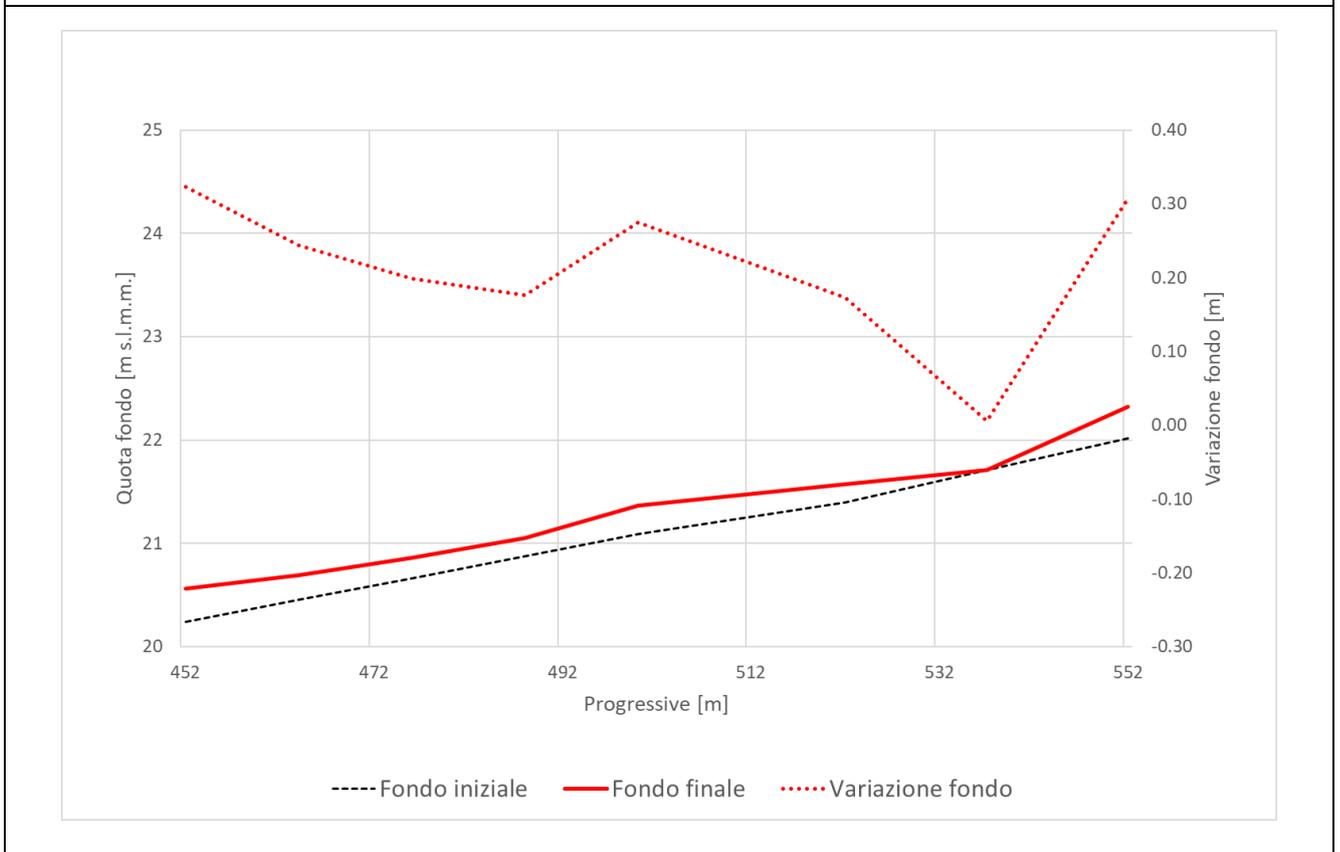
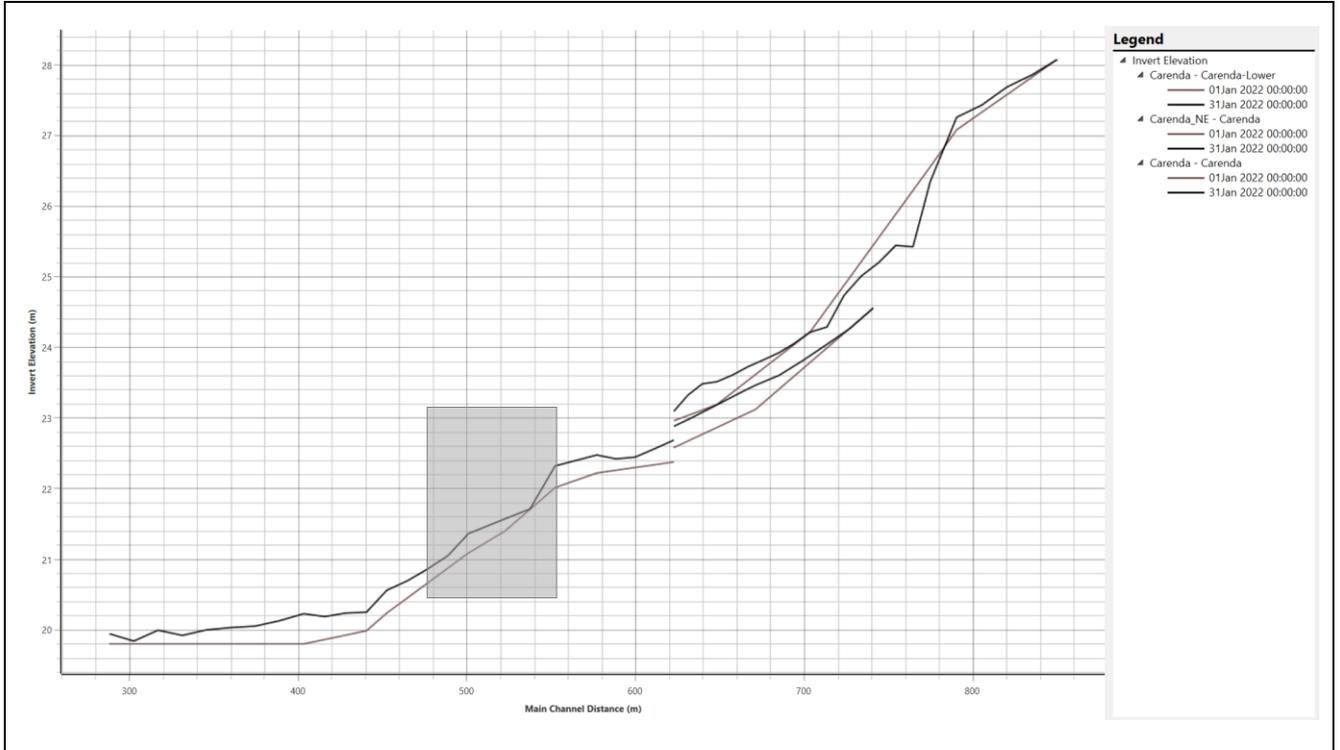


Figura 24: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Rio Carrenda, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	64 di 106

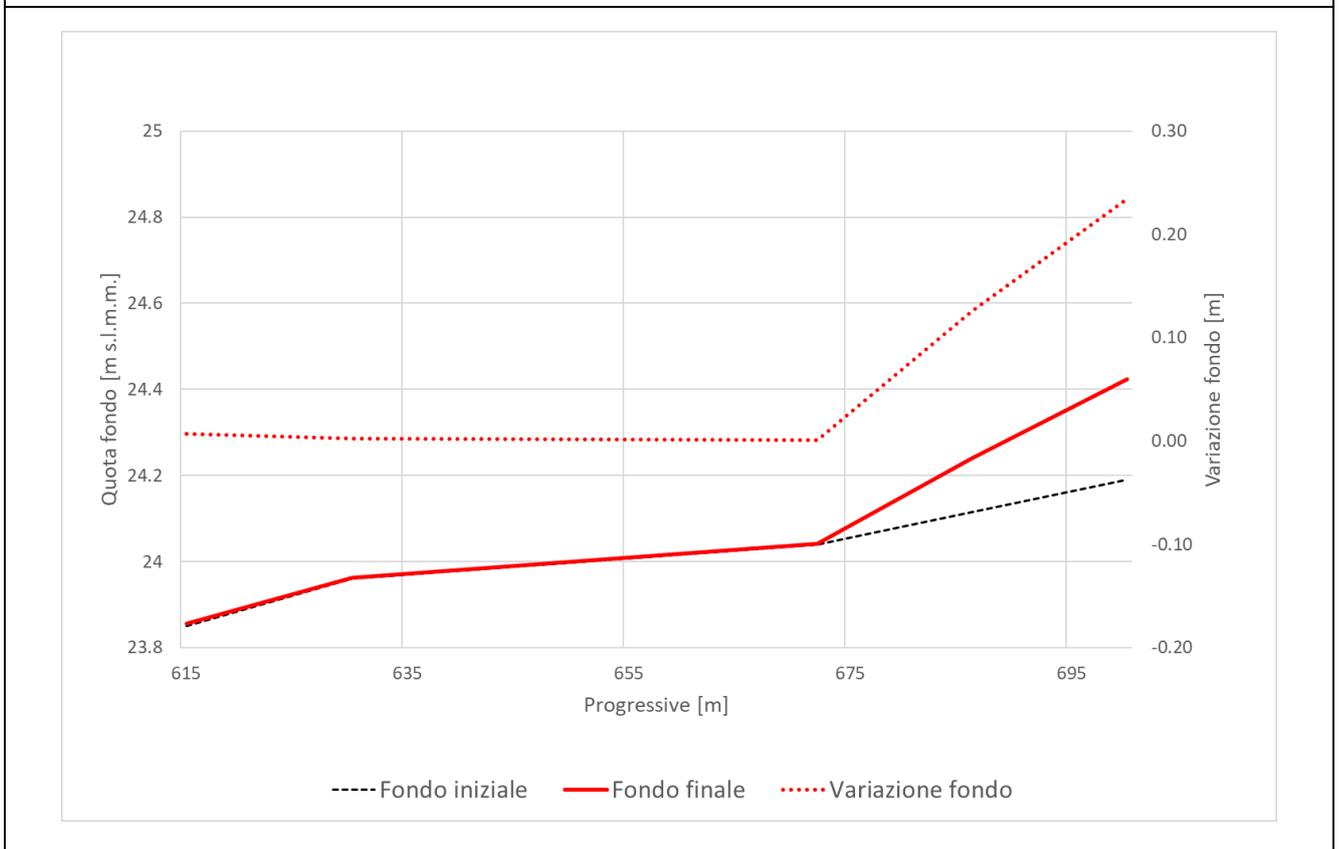
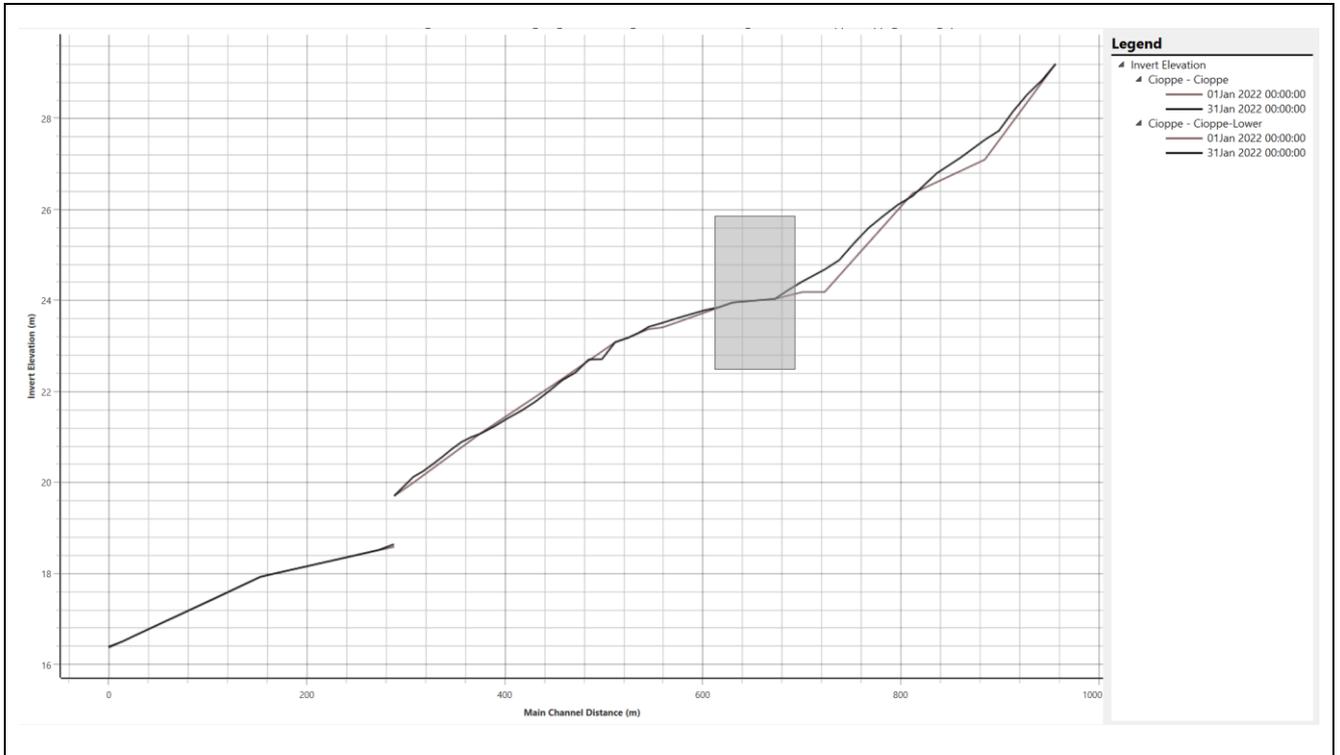


Figura 25: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Rio Delle Cioppe, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

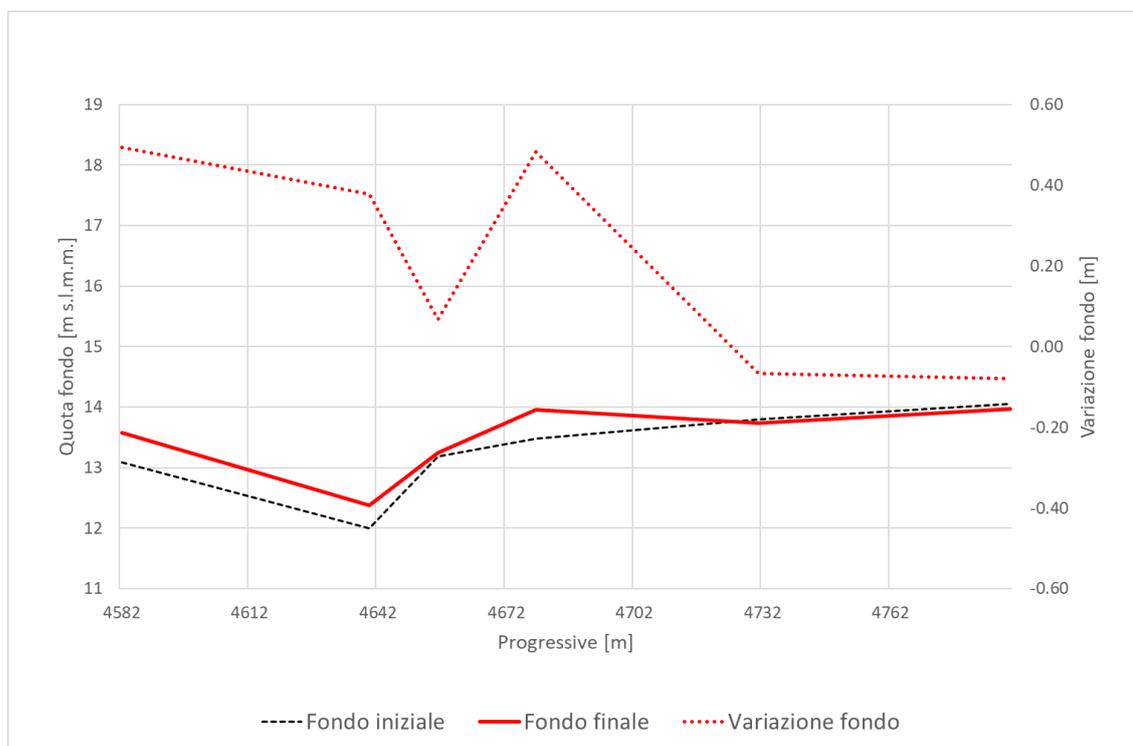
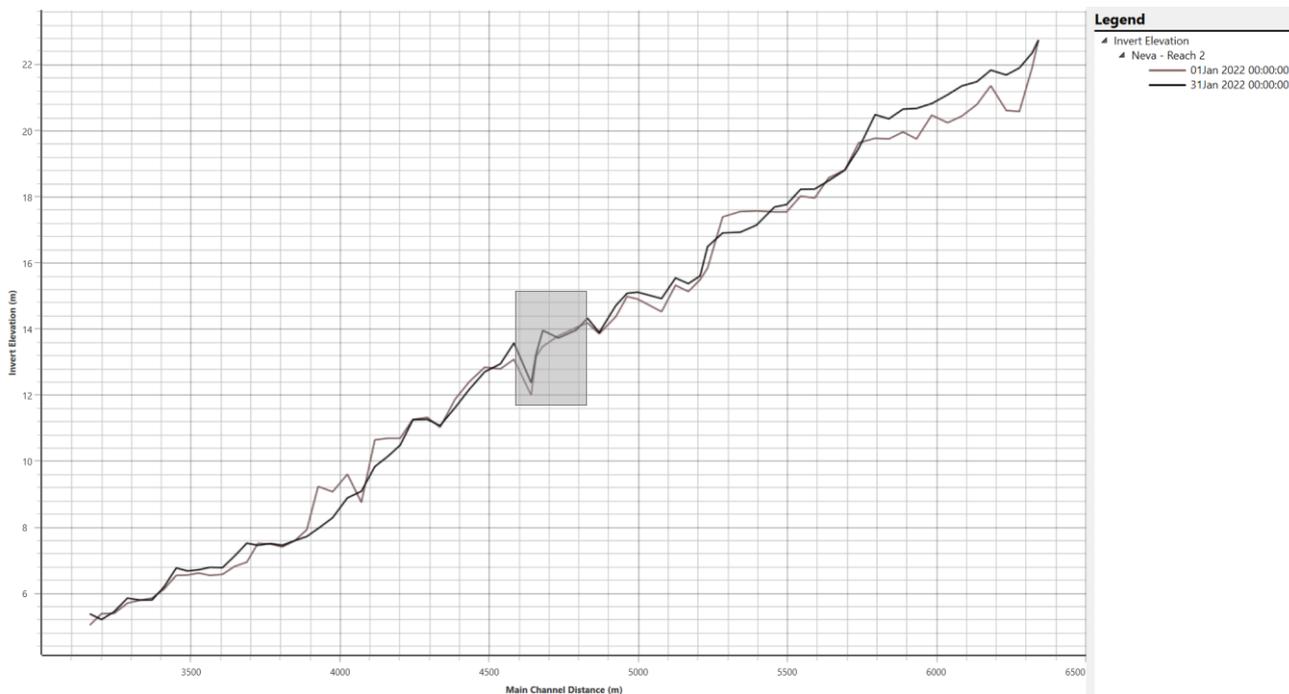


Figura 26: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Torrente Neva, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	66 di 106

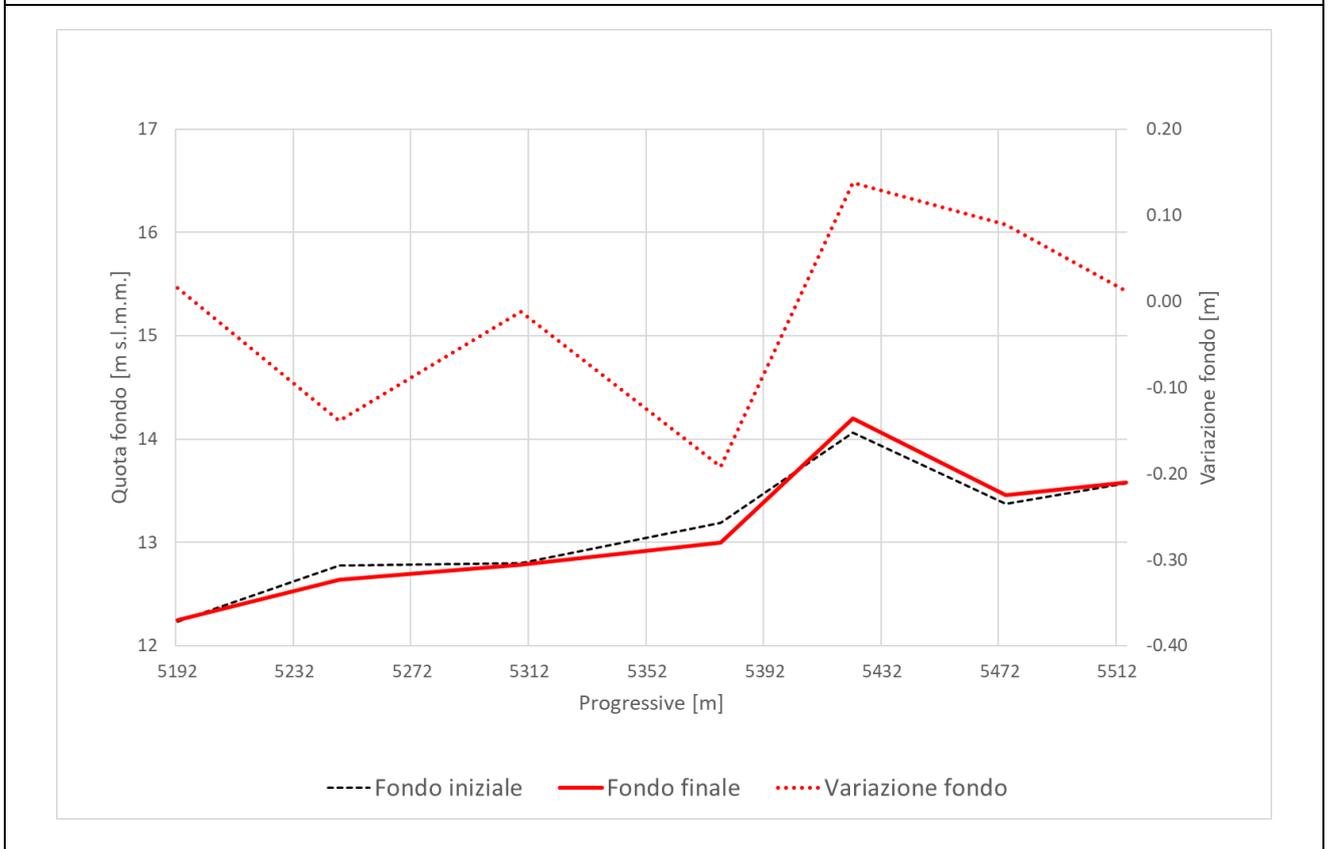
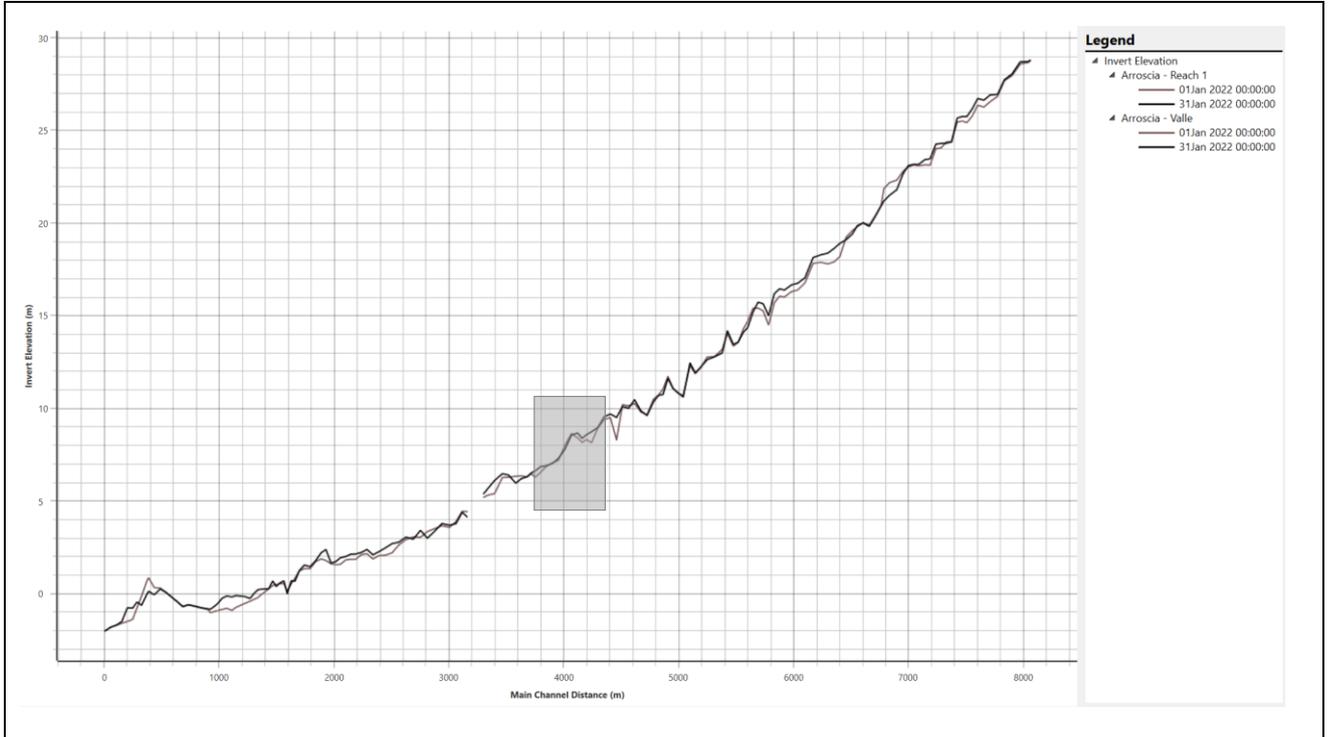


Figura 27: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Torrente Arroschia, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

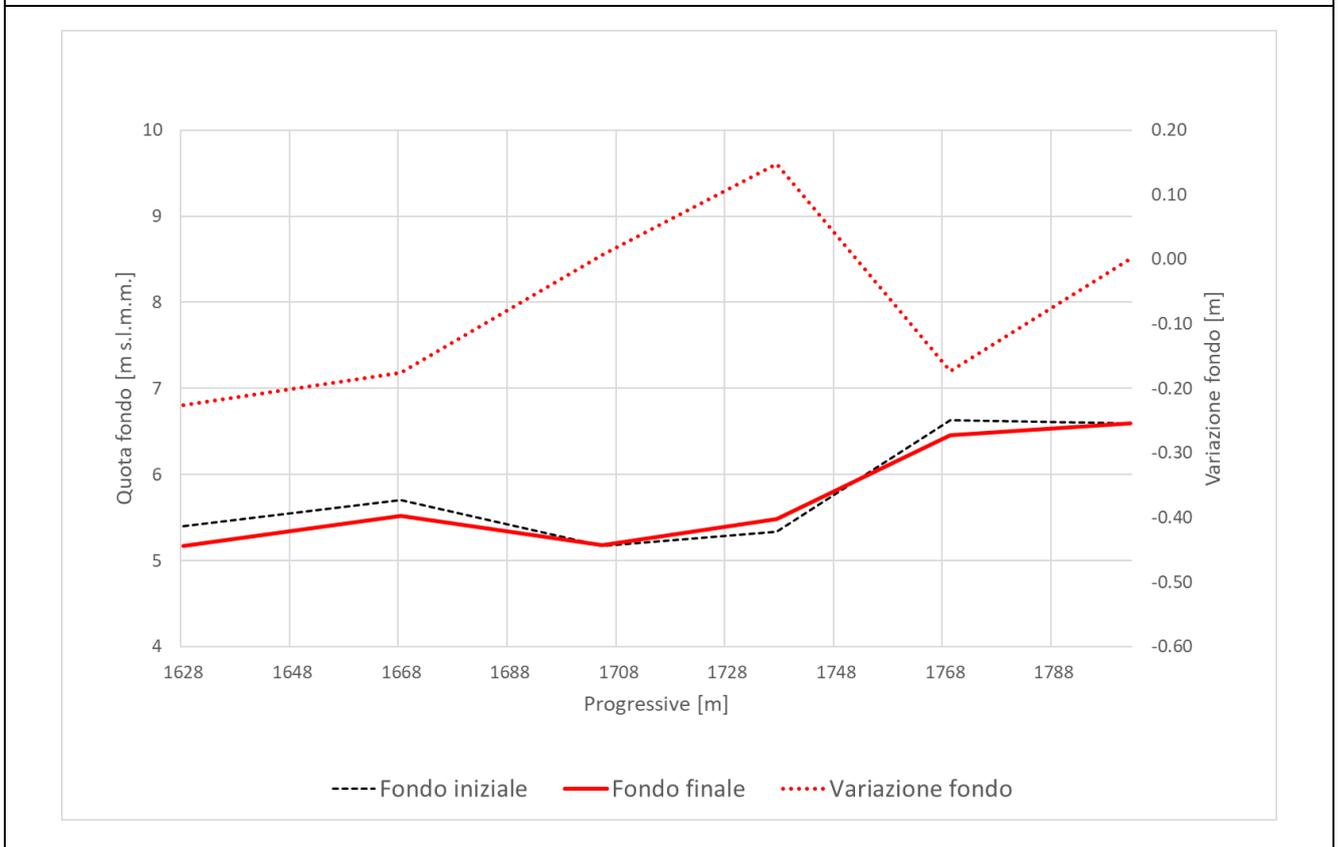
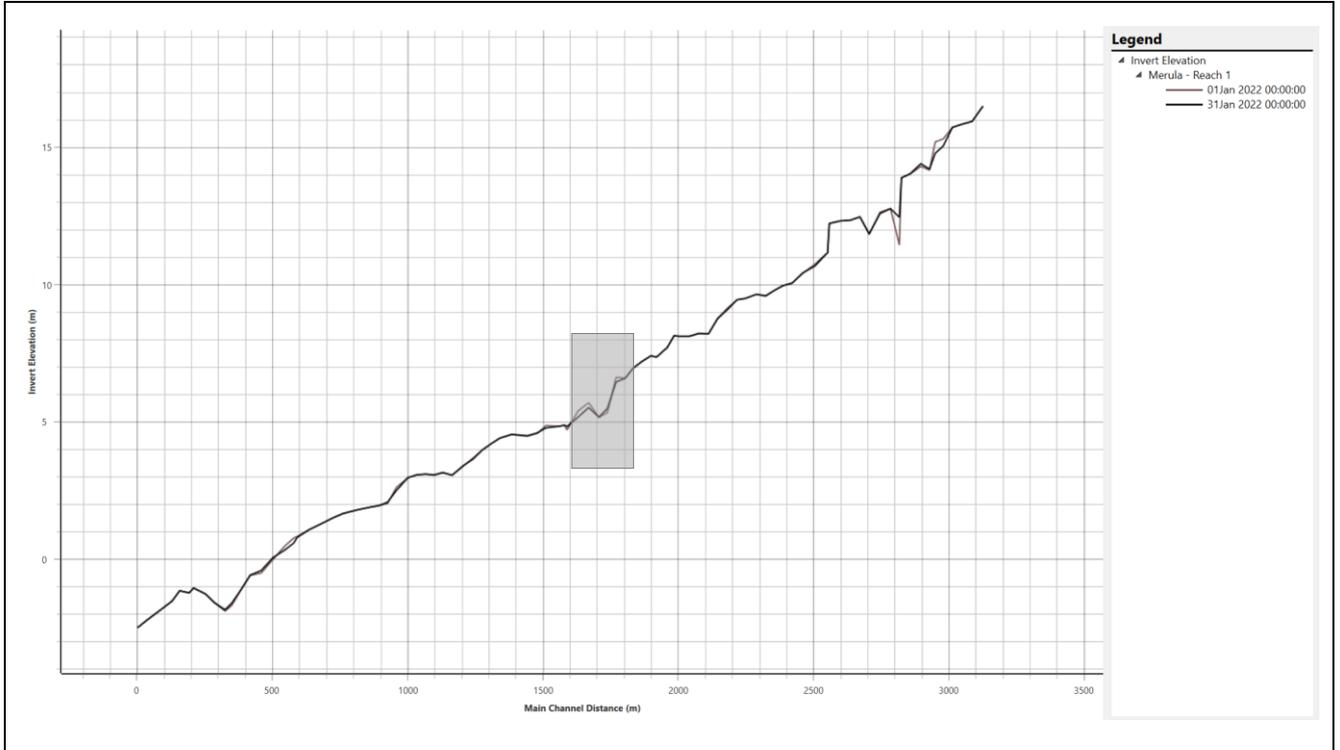


Figura 28: Evoluzione del profilo di fondo alveo del Torrente Merula, intero tratto simulato (sopra) particolare in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari (sotto)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

La seguente tabella riporta in sintesi le condizioni di simulazione ed i risultati ottenuti in termini di tendenza all'erosione o alla deposizione.

Tabella 10: Stima della tendenza evolutiva

Corso d'acqua	Portata media mensile (m³/s)	Apporto di sedimenti	Tendenza evolutiva
Bottassano	1.04	Carico di equilibrio	Deposito (variazione max +40 cm)
Maremola	5.86	Carico di equilibrio	Deposito (variazione max +20 cm)
Giustenice	1.72	Carico di equilibrio	Deposito (variazione max +20 cm)
Casazza	0.21	Carico di equilibrio	Deposito (variazione max +70 cm)
Castellaro	0.11	Carico di equilibrio	stabile
Varatello	9.47	Carico di equilibrio	Deposito (variazione max +60 cm)
Carrenda	0.43	Carico di equilibrio	Deposito (variazione max +30 cm)
Delle Cioppe	0.28	Carico di equilibrio	stabile
Neva	17.31	Carico di equilibrio	Deposito (variazione max +40 cm)
Arroscia	45.78	Carico di equilibrio	Erosione (variazione max -10 cm)
Merula	7.91	Carico di equilibrio	Deposito (variazione max +15 cm)

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

4 CONCLUSIONI

4.1 ANALISI DEL RAPPORTO CON L'OPERA IN PROGETTO

La valutazione della tendenza all'erosione o alla deposizione, oppure la condizione di stabilità dell'alveo, consente di analizzare il rapporto delle opere di attraversamento in progetto con le dinamiche fluviali studiate in questa sede.

Le simulazioni di calcolo idraulico a fondo mobile hanno consentito di simulare anche gli interventi di sistemazione idraulica connessi alle opere in progetto, rendendo possibile il confronto con la condizione ante operam, fornendo di conseguenza un'utilissima indicazione per verificare che le modalità evolutive dei corsi d'acqua di interesse non interferiscano con la sicurezza dell'opera e, al contempo, che gli interventi in progetto non alterino significativamente tali modalità, in modo da non causare problemi al territorio connessi con le dinamiche morfologiche.

L'insieme delle valutazioni effettuate sulla dinamica morfologica dei corsi d'acqua (IDM) e le applicazioni modellistiche (HEC-RAS) hanno quindi avuto come obiettivo principale quello di fornire una prima indicazione sul livello di attenzione che si dovrebbe applicare ai fini della manutenzione delle opere di attraversamento in progetto.

Incrociando i dati relativi all'Indice di Dinamica Morfologica con i risultati sulla tendenza evolutiva del corso d'acqua ricavata dalle applicazioni modellistiche è possibile definire **un probabile Livello di Attenzione per manutenzione programmata (LAm)**, così come riportato in Tabella 11.

Ad ogni valore di LAm è possibile associare una indicazione di "frequenza suggerita" per ispezioni manutentive (Tabella 12), finalizzate a:

- verifica del mantenimento della luce libera di progetto
- contestuale esame del bilancio di sedimenti, con gestione da concordare con gli Enti preposti (Regione, ARPA, Provincia, Comune e Genio Civile).

La frequenza suggerita per le ispezioni manutentive è basata sulla stagionalità delle portate simulate e sulla periodicità del ciclo idrologico da cui sono stati ricavati i valori medi mensili.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

La sintesi di queste valutazioni è riportata negli elaborati che costituiscono la “Carta di sintesi dello studio geomorfologico” del presente progetto.

Tabella 11: Valori dell'indice LAm = Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata

IDM	Tendenza evolutiva (risultati modellazione HecRas)		
	<i>stabilità</i>	<i>erosione</i>	<i>deposizione</i>
<i>bassa</i>	LAm basso	LAm basso	LAm medio
<i>media</i>	LAm basso	LAm medio	LAm alto
<i>alta</i>	LAm medio	LAm alto	LAm alto

Tabella 12: Valori dell'indice LAm = Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata

	<i>frequenza suggerita per le ispezioni manutentive</i>
LAm basso	ogni 2-3 anni
LAm medio	ogni 1,5-2 anni
LAm alto	ogni 6-9 mesi

Sulla base delle risultanze del presente studio, tutte le opere di attraversamento analizzate sono risultate idraulicamente verificate; in particolare, per i corsi d'acqua soggetti ad erosione, sono state dimensionate opportune opere di sistemazione idraulica per contrastare l'erosione, mentre per quelli soggetti a deposizione è stata verificata l'ufficienza idraulica dell'opera, in relazione al rispetto dei franchi idraulici come da normativa vigente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

Tabella 13: Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata per i corsi d'acqua in esame

Corso d'acqua	Portata media mensile (m ³ /s)	Apporto di sedimenti	Tendenza evolutiva	Indice di Dinamica Morfologica IDM	Livello di attenzione per manutenzione LAm
Bottassano	1.04	Carico di equilibrio	deposito	bassa	medio
Maremola	5.86	Carico di equilibrio	deposito	bassa	medio
Giustenice	1.72	Carico di equilibrio	deposito	bassa	medio
Casazza	0.21	Carico di equilibrio	deposito	bassa	medio
Castellaro	0.11	Carico di equilibrio	stabile	media	basso
Varatello	9.47	Carico di equilibrio	deposito	media	alto
Carrenda	0.43	Carico di equilibrio	deposito	media	alto
Delle Cioppe	0.28	Carico di equilibrio	stabile	media	basso
Neva	17.31	Carico di equilibrio	deposito	bassa	medio
Arroscia	45.78	Carico di equilibrio	erosione	media	medio
Merula	7.91	Carico di equilibrio	deposito	bassa	medio

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A

5 BIBLIOGRAFIA

Armanini A. – *Sistemazione dei bacini idrografici*, Università degli Studi di Trento

Armanini A. – *Principi di Idraulica fluviale*, ed. BIOS

Brunner, Gary W. (2016), HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual

Brunner, Gary W. (2016), HEC-RAS, River Analysis System User's Manual

Bull W.B. (1964a). *Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California*. United States Geological Professional Paper 352E,128.

Castiglioni G. B. – *Geomorfologia*, ed. UTET

Garde R. J. – Ranga Raju K. G. – *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*, ed. WILEY EASTERN LTD

Graf W. H. – *Fluvial Hydraulics* – LRH Lausanne

Graf W. H. – *Hydraulics of Sediment Transport*, ed. MCGRAW-HILL

Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P. (1999). *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy*. *Geomorphology* **31**, 181-216.

Harvey AM. (1997). *The role of alluvial fans in arid zone fluvial-systems*. In: Thomas D.S.G. (ed), *Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Drylands*. Wiley & Sons: Chichester, 231–259.

HEC– *River Hydraulics*, USACE

HEC – *Sediment Transport Mechanics*, USACE

Hooke R. LeB. (1968). *Steady-state relationships of arid-region alluvial fans in closed basins*. *American Journal of Science*, **266**, 609-629.

Ricci Lucchi F. – *Sedimentologia*, ed. CLUEB

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 73 di 106

Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussettini M. (2016): IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – ISPRA – Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma

Ferrara V. (1993) – *Modificazioni indotte dallo sfruttamento delle acque sotterranee nell'equilibrio idrodinamico e idrochimico dell'acquifero vulcanico dell'Etna*. Memorie della Società Geologica Italiana, **47**, 619-630.

Marchi E. – Rubatta A. – *Meccanica dei fluidi*, ed. UTET

Marchi L., Pasuto A., Tecca P.R. (1993). *Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps*. Z. Geomorph. **4**, 447-458.

Melton M.A.(1965). *The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona*. *Journal of Geology*, **73**,1-38.

Mergili, M., Schratz, K., Ostermann, A., and Fellin, W. (2012). *Physically based modelling of granular flows with Open Source GIS*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., **12**, 187–200, doi:10.5194/nhess-12-187-2012, 2012.

Moisello U. – *Idrologia tecnica*, ed. LA GOLIARDICA PAVESE

Pudasaini, S. P. (2012). *A general two-phase debris flow model*, J. Geophys. Res., **117**, F03010, doi:10.1029/2011JF002186, 2012.

Varnes D.J. (1978) – *Slope movement types and processes*. Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington.

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 74 di 106

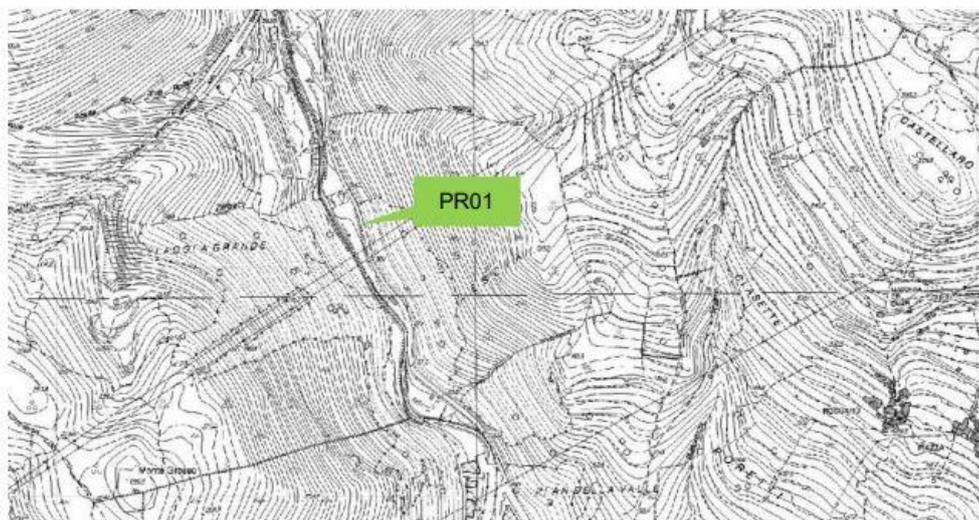
6 ALLEGATO - SCHEDE DI RILEVAMENTO GEOMORFOLOGICO

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	75 di 106

PROGETTO	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA			
CODICE COMMESSA	IV0100D69SGGE0001005A			
CORSO D'ACQUA	T. BOTTASSANO			
CODICE TRANSETTO	PR01			
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	FINALE LIGURE	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (RDN2008 UTM 32N – EPSG 7791)	443736.25	4891078.01

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	76 di 106

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)



FOTO RIPRESA DA

SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	77 di 106

PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

 Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO
QUANTITÀ _____ **Kg**
 SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

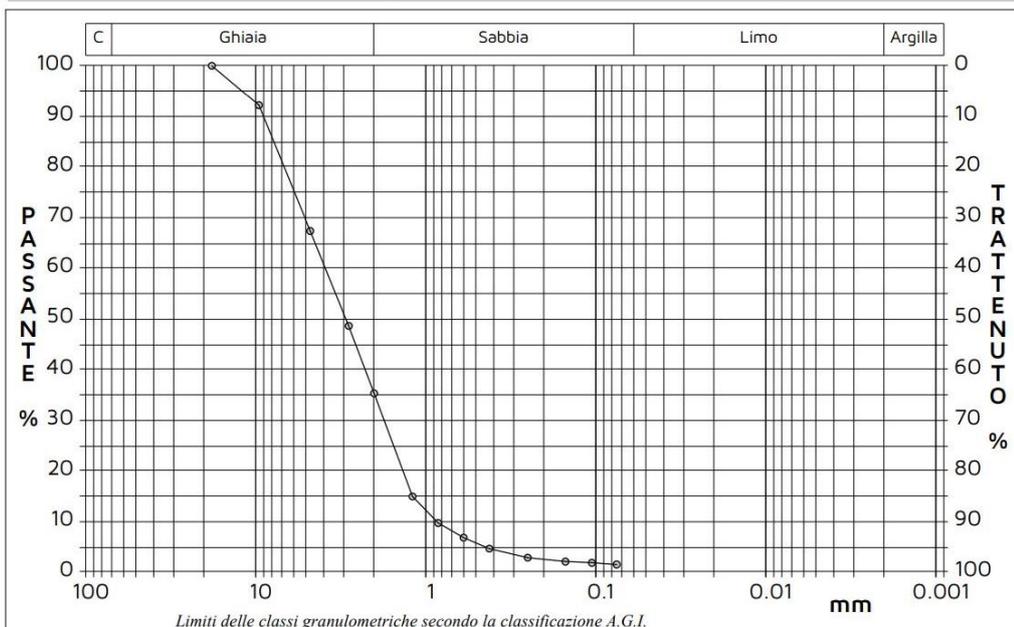
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

 altro: _____

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	64.7 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	35.3 %	D10	0.85762 mm
Sabbia	34.0 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	4.7 %	D30	1.74719 mm
Limo-Argilla	1.3 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	1.5 %	D50	2.93033 mm
				D60	3.87013 mm
				D90	8.95948 mm
Coefficiente di uniformità		4.51	Coefficiente di curvatura		0.92



Diametro mm	Passante %								
18.0000	100.00	1.1900	14.94	0.1500	2.09				
9.5200	92.16	0.8410	9.71	0.1050	1.86				
4.7500	67.36	0.5950	6.80	0.0750	1.52				
2.8200	48.62	0.4200	4.66						
2.0000	35.30	0.2500	2.85						

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	78 di 106

PROGETTO	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA			
CODICE COMMESSA	IV0100D69SGGE0001005A			
CORSO D'ACQUA	T. BOTTASSANO			
CODICE TRANSETTO	PR02			
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	BORGO VEREZZI	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (RDN2008 UTM 32N – EPSG 7791)	443736.46	4891078.06

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR

STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA


IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	79 di 106

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO
FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)

FOTO RIPRESA DA
SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)
VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO


IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	80 di 106

PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

 Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO
QUANTITÀ Kg 2.0

 SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

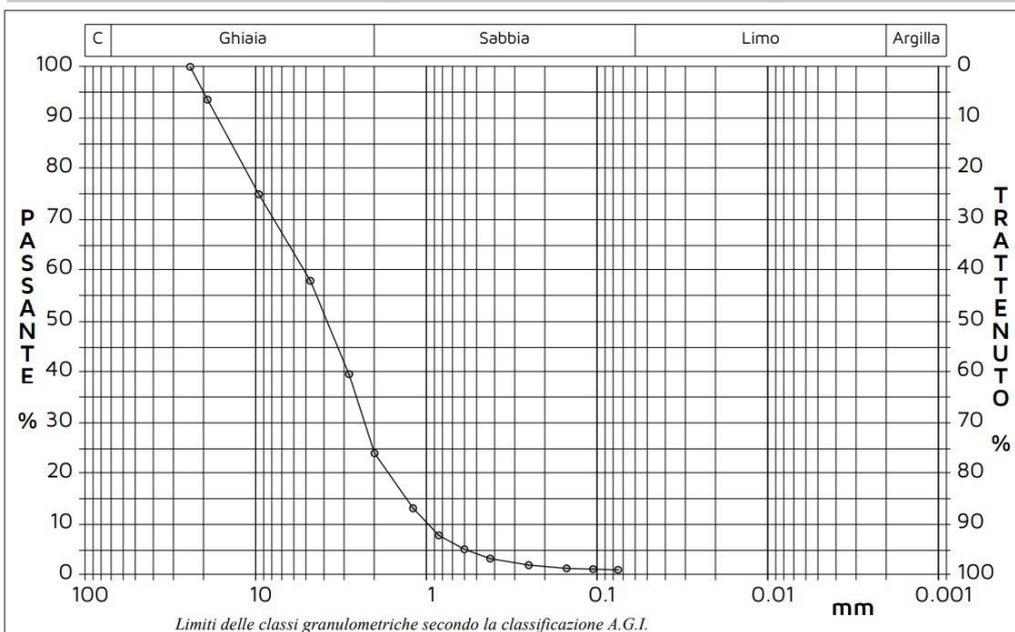
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

 altro: _____

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	76.0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	24.0 %	D10	0.96978 mm
Sabbia	23.0 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	3.2 %	D30	2.28302 mm
Limo-Argilla	1.0 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	1.0 %	D50	3.79325 mm
				D60	5.17707 mm
				D90	16.65950 mm
Coefficiente di uniformità		5.34	Coefficiente di curvatura		1.04



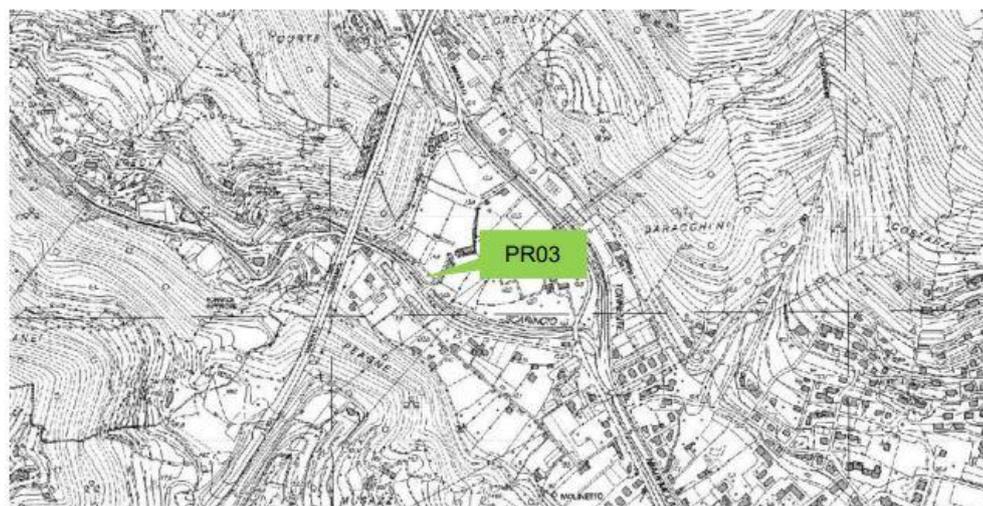
Diametro mm	Passante %								
24.0000	100.00	2.0000	23.98	0.2500	1.95				
19.0000	93.54	1.1900	13.15	0.1500	1.31				
9.5200	74.94	0.8410	7.81	0.1050	1.16				
4.7500	57.89	0.5950	5.06	0.0750	1.04				
2.8200	39.60	0.4200	3.23						

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

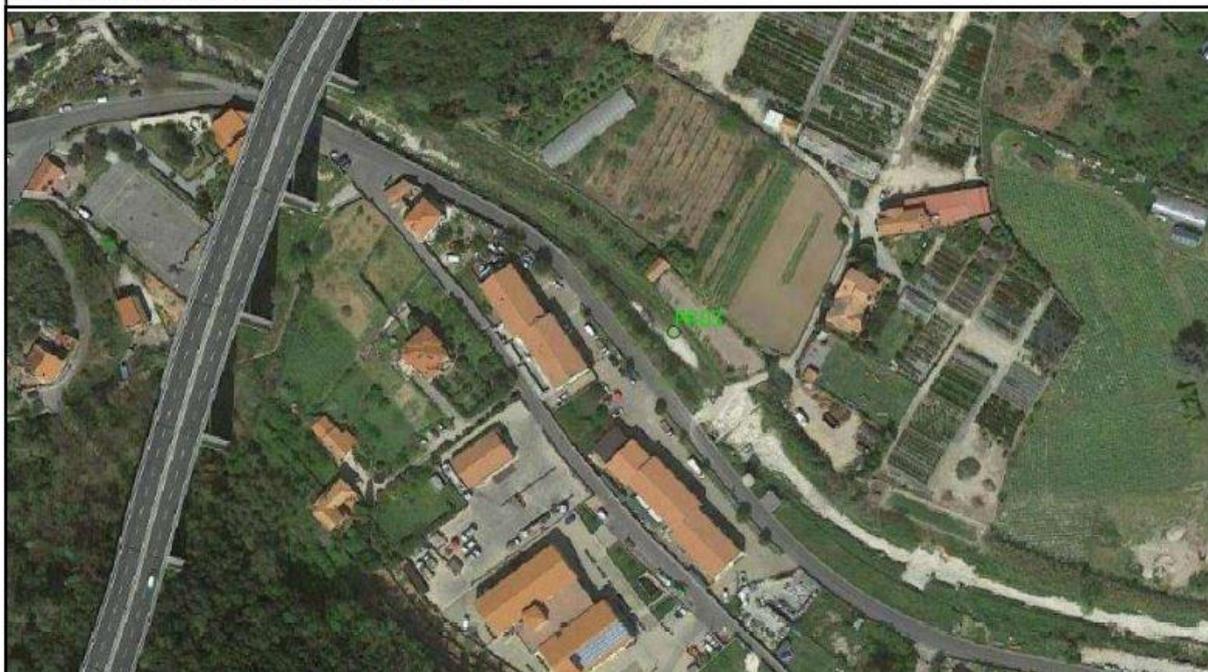
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	81 di 106

PROGETTO	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA			
CODICE COMMESSA	IV0100D69SGGE0001005A			
CORSO D'ACQUA				
CODICE TRANSETTO	PR03			
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO		COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (RDN2008 UTM 32N – EPSG 7791)	442138.726,	4890061.535

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	82 di 106

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO
FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)

FOTO RIPRESA DA
NOTE (eventuali)
SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO


IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	83 di 106

PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

 Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO
QUANTITÀ Kg 2.0

 SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

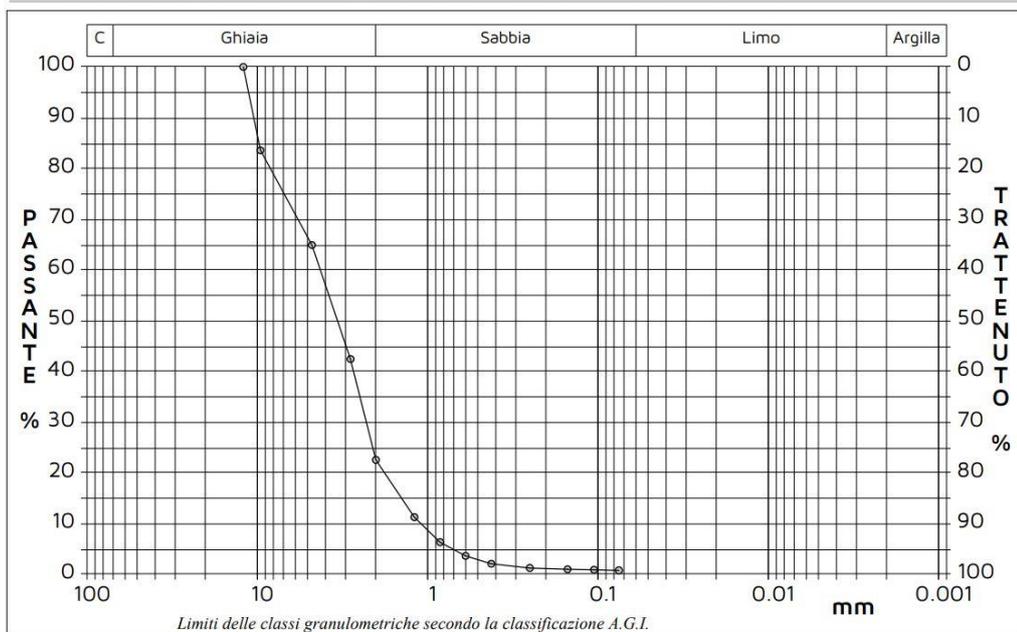
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

 altro: _____

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	77.4 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	22.6 %	D10	1.08636 mm
Sabbia	21.8 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	2.1 %	D30	2.27357 mm
Limo-Argilla	0.8 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	0.8 %	D50	3.35929 mm
				D60	4.23603 mm
				D90	10.41935 mm
Coefficiente di uniformità		3.90	Coefficiente di curvatura		1.12



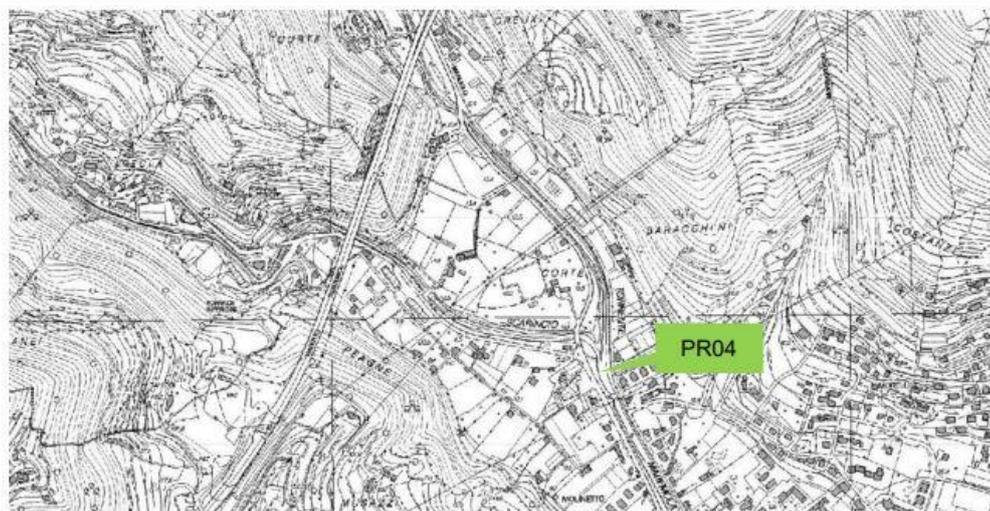
Diametro mm	Passante %								
12.0000	100.00	1.1900	11.29	0.1500	1.03				
9.5200	83.61	0.8410	6.37	0.1050	0.92				
4.7500	64.94	0.5950	3.64	0.0750	0.82				
2.8200	42.45	0.4200	2.10						
2.0000	22.59	0.2500	1.28						

IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	84 di 106

PROGETTO	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA			
CODICE COMMESSA	IV0100D69SGGE0001005A			
CORSO D'ACQUA	T. MAREMOLA			
CODICE TRANSETTO	PR04			
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	PIETRA LIGURE	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (RDN2008 UTM 32N – EPSG 7791)	442494.353	4889873.586

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	85 di 106

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)



FOTO RIPRESA DA

SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	86 di 106

PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

 Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO
QUANTITÀ Kg 2.0

 SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

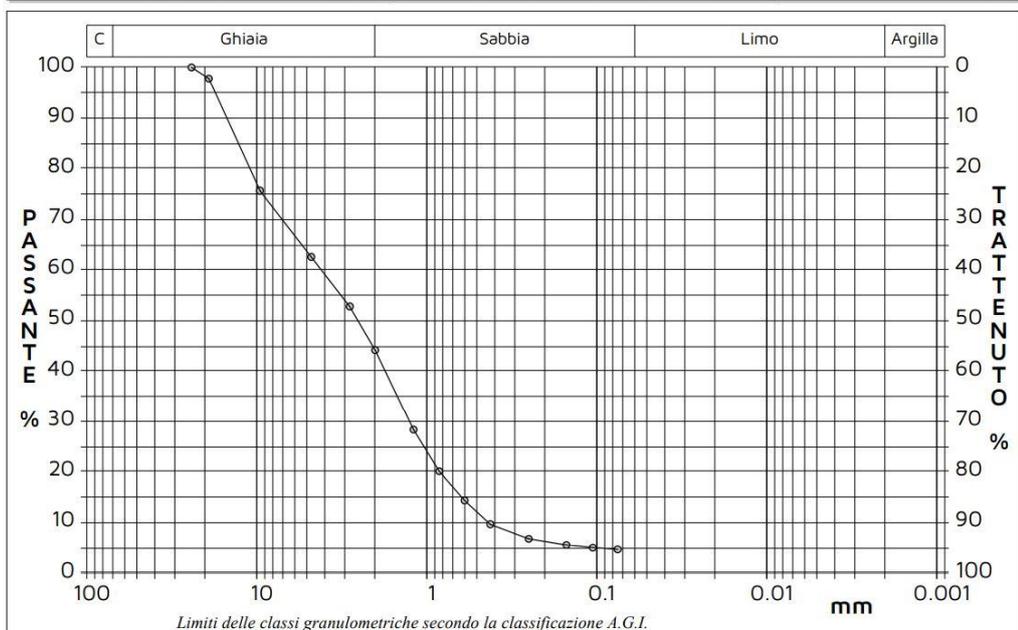
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

 altro: _____

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	55.8 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	44.2 %	D10	0.43078 mm
Sabbia	39.8 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	9.7 %	D30	1.25785 mm
Limo-Argilla	4.4 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	4.7 %	D50	2.52306 mm
				D60	4.14129 mm
				D90	14.91133 mm
Coefficiente di uniformità		9.61	Coefficiente di curvatura		0.89



Diametro mm	Passante %								
24.0000	100.00	2.0000	44.17	0.2500	6.76				
19.0000	97.76	1.1900	28.31	0.1500	5.53				
9.5200	75.63	0.8410	20.07	0.1050	5.00				
4.7500	62.57	0.5950	14.36	0.0750	4.65				
2.8200	52.79	0.4200	9.66						

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

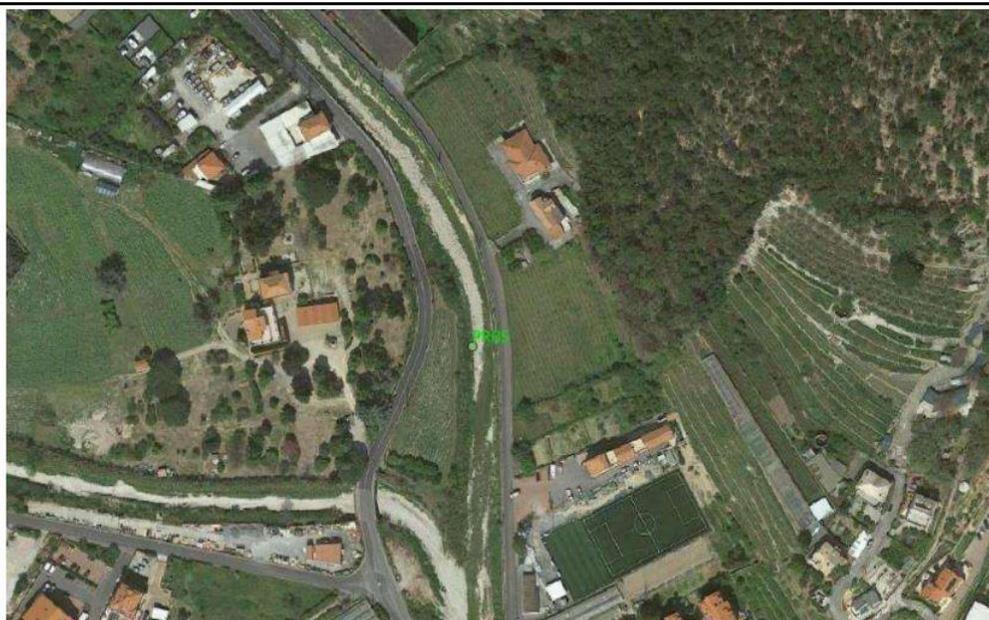
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	87 di 106

PROGETTO	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA			
CODICE COMMESSA	IV0100D69SGGE0001005A			
CORSO D'ACQUA	T. MAREMOLA			
CODICE TRANSETTO	PR05			
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	PIETRA LIGURE	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (RDN2008 UTM 32N – EPSG 7791)	442496.656	4890020.997

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	88 di 106

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)

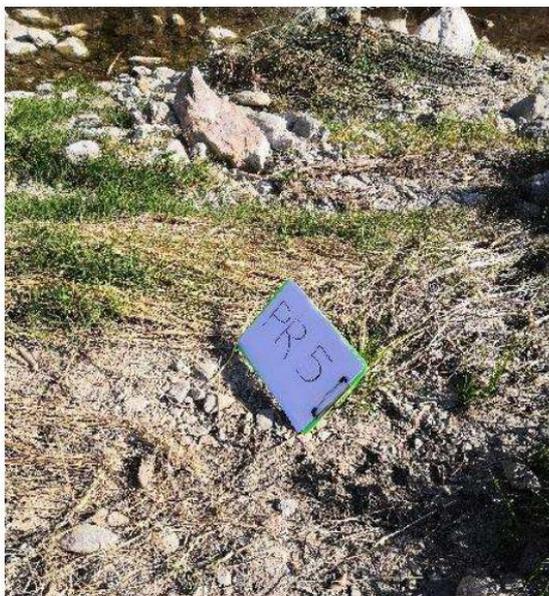


FOTO RIPRESA DA

SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	89 di 106

PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

 Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO
QUANTITÀ Kg 2.0

 SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

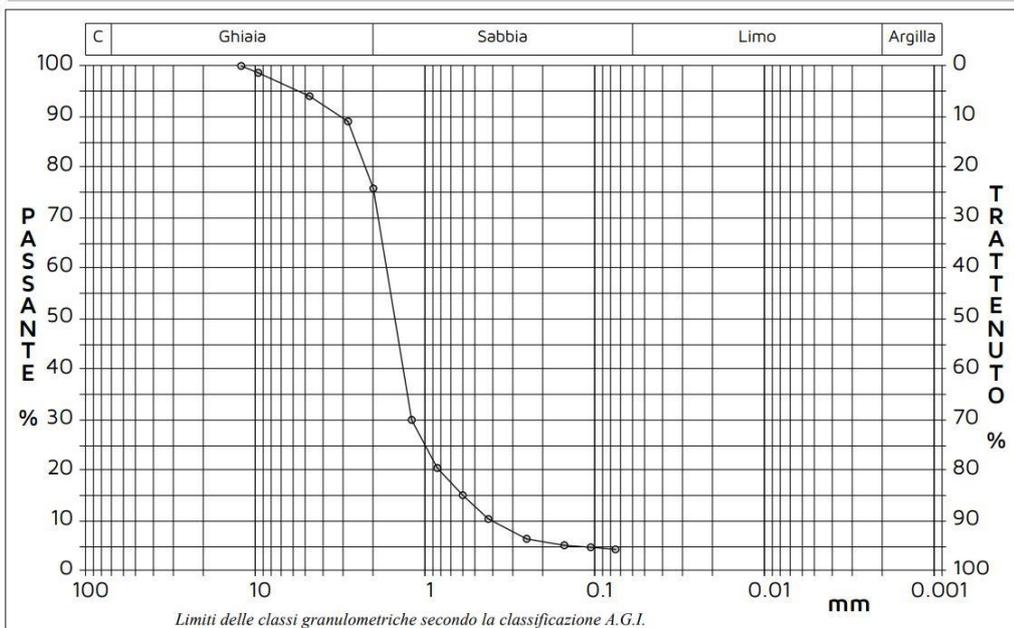
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

 altro: _____

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	24.2 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	75.8 %	D10	0.39984 mm
Sabbia	71.7 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	10.4 %	D30	1.19045 mm
Limo-Argilla	4.1 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	4.4 %	D50	1.49342 mm
				D60	1.67269 mm
				D90	3.11980 mm
Coefficiente di uniformità		4.18	Coefficiente di curvatura		2.12



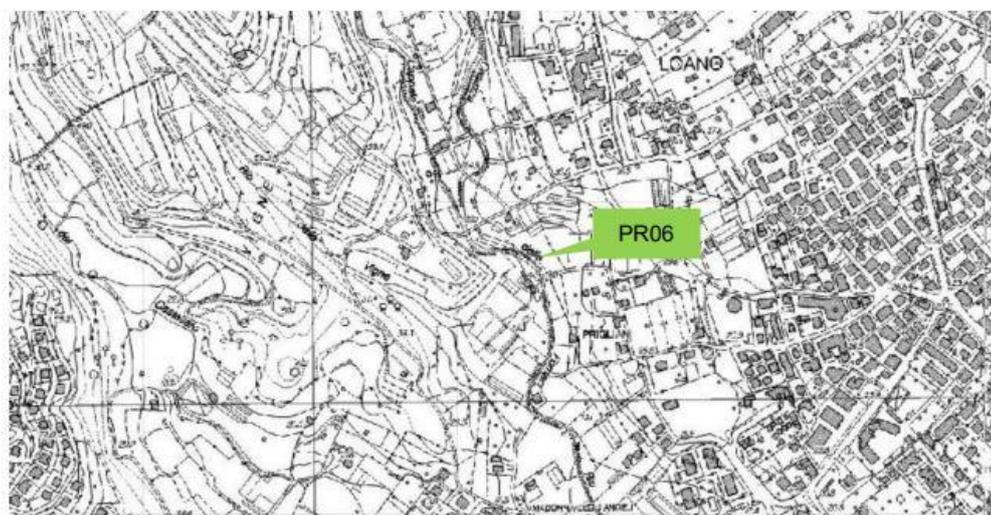
Diametro mm	Passante %								
12.0000	100.00	1.1900	29.97	0.1500	5.19				
9.5200	98.65	0.8410	20.47	0.1050	4.78				
4.7500	94.01	0.5950	15.08	0.0750	4.38				
2.8200	89.04	0.4200	10.37						
2.0000	75.76	0.2500	6.46						

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	90 di 106

PROGETTO	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA			
CODICE COMMESSA	IV0I00D69SGGE0001005A			
CORSO D'ACQUA	RIO DELLE FORNACI			
CODICE TRANSETTO	PR06			
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	BORGHETTO SANTO SPIRITO- LOANO	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (RDN2008 UTM 32N – EPSG 7791)	439282.420	4886177.502

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	91 di 106

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)



FOTO RIPRESA DA

SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	92 di 106

PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

 Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO
QUANTITÀ Kg 2.0

 SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

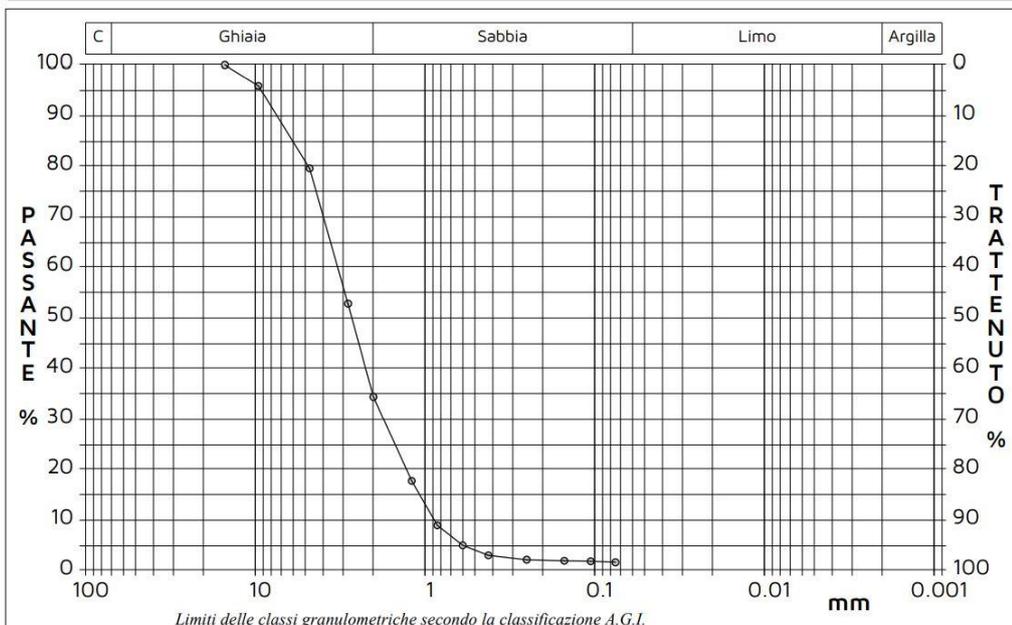
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

 altro: _____

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	65.6 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	34.4 %	D10	0.87728 mm
Sabbia	32.9 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	3.0 %	D30	1.74379 mm
Limo-Argilla	1.5 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	1.6 %	D50	2.67706 mm
				D60	3.24628 mm
				D90	7.41425 mm
Coefficiente di uniformità		3.70	Coefficiente di curvatura		1.07



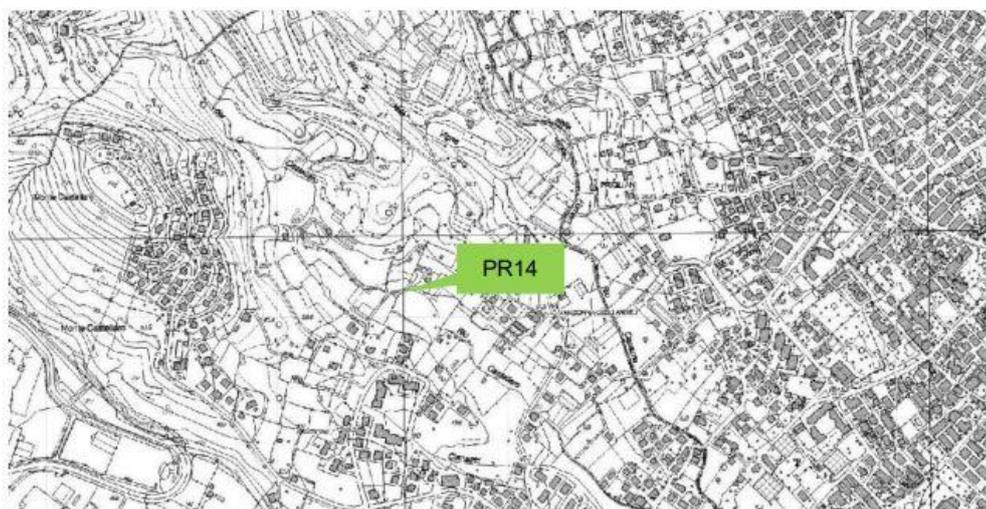
Diametro mm	Passante %								
15.0000	100.00	1.1900	17.72	0.1500	1.90				
9.5200	95.89	0.8410	8.93	0.1050	1.83				
4.7500	79.52	0.5950	4.98	0.0750	1.61				
2.8200	52.78	0.4200	3.00						
2.0000	34.41	0.2500	2.12						

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0I	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	93 di 106

PROGETTO	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA			
CODICE COMMESSA	IV0I00D69SGGE0001005A			
CORSO D'ACQUA	RIO CASTELLARO			
CODICE TRANSETTO	PR14			
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	BORGHETRTO SANTO SPIRITO	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (RDN2008 UTM 32N – EPSG 7791)	438958.117	4885870.934

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	94 di 106

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)



FOTO RIPRESA DA

SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	95 di 106

PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

 Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO
QUANTITÀ Kg 2.0

 SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

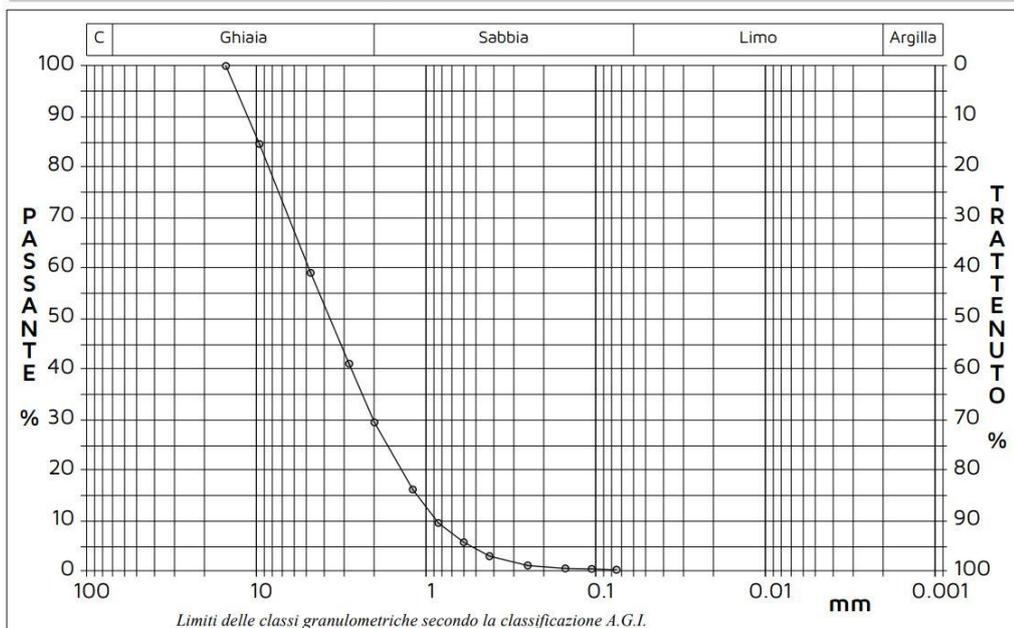
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

 altro: _____

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	70.5 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	29.5 %	D10	0.85892 mm
Sabbia	29.3 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	3.0 %	D30	2.03097 mm
Limo-Argilla	0.2 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	0.3 %	D50	3.65213 mm
				D60	4.87323 mm
				D90	11.16888 mm
Coefficiente di uniformità		5.67	Coefficiente di curvatura		0.99

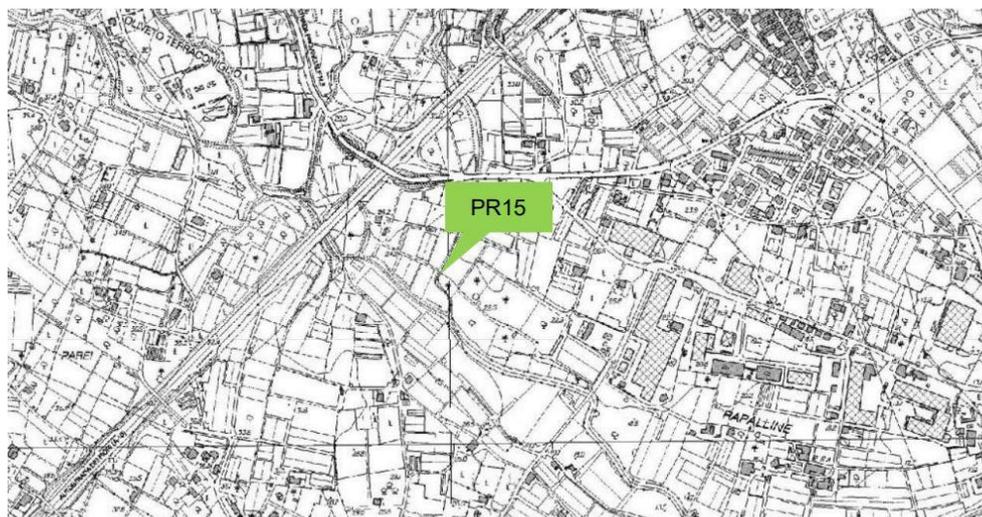


Diametro mm	Passante %								
15.0000	100.00	1.1900	16.21	0.1500	0.59				
9.5200	84.58	0.8410	9.60	0.1050	0.49				
4.7500	59.06	0.5950	5.78	0.0750	0.34				
2.8200	41.09	0.4200	3.04						
2.0000	29.48	0.2500	1.18						

IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	96 di 106

PROGETTO	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA			
CODICE COMMESSA	IV0100D69SGGE0001005A			
CORSO D'ACQUA	RIO CARENDA			
CODICE TRANSETTO	PR15			
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	ALBENGA	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (RDN2008 UTM 32N – EPSG 7791)	4880291.452	4880291.452

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR

STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA


IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	97 di 106

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)



FOTO RIPRESA DA

SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



IDROLOGIA E IDRAULICA
Studio di geomorfologia fluviale -
Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	98 di 106

PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

 Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO
QUANTITÀ Kg 2.0

 SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

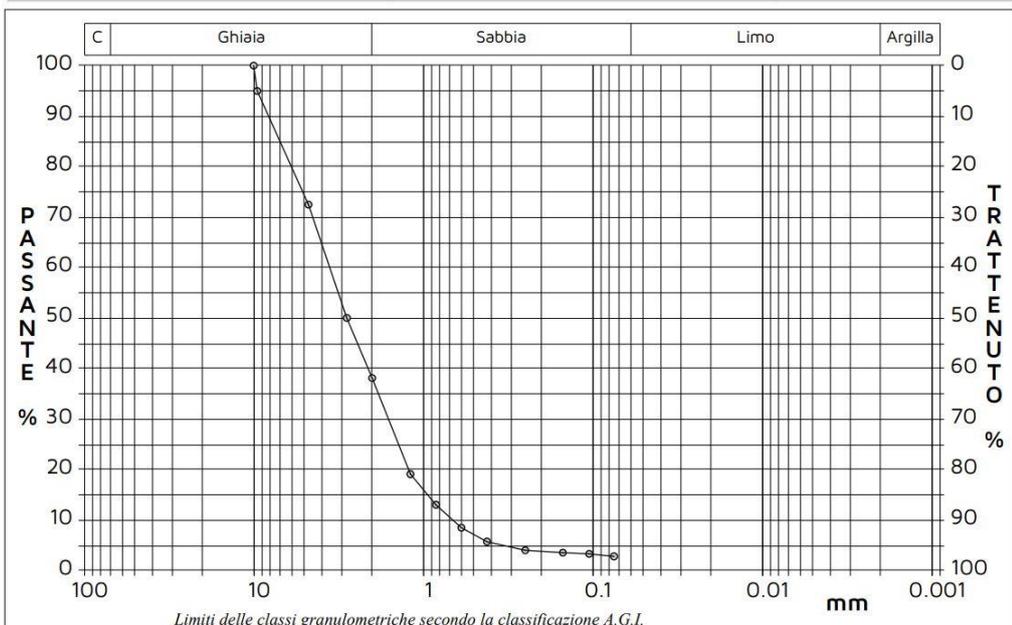
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

 altro: _____

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	61.9 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	38.1 %	D10	0.66706 mm
Sabbia	35.6 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	5.7 %	D30	1.60177 mm
Limo-Argilla	2.5 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	2.8 %	D50	2.81671 mm
				D60	3.55408 mm
				D90	8.16670 mm
Coefficiente di uniformità		5.33	Coefficiente di curvatura		1.08



Diametro mm	Passante %								
10.0000	100.00	1.1900	19.11	0.1500	3.56				
9.5200	94.96	0.8410	13.04	0.1050	3.32				
4.7500	72.49	0.5950	8.50	0.0750	2.83				
2.8200	50.04	0.4200	5.75						
2.0000	38.14	0.2500	4.05						

	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA-VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE- ANDORA PROGETTO DEFINITIVO					
IDROLOGIA E IDRAULICA Studio di geomorfologia fluviale - Relazione	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. A	FOGLIO 99 di 106

Per i campionamenti da PR07 a PR13 inclusi non sono presenti le schede di campionamento come quelle sopra riportate. Si riportano quindi in seguito solamente le curve granulometriche relative a tali punti di prelievo.

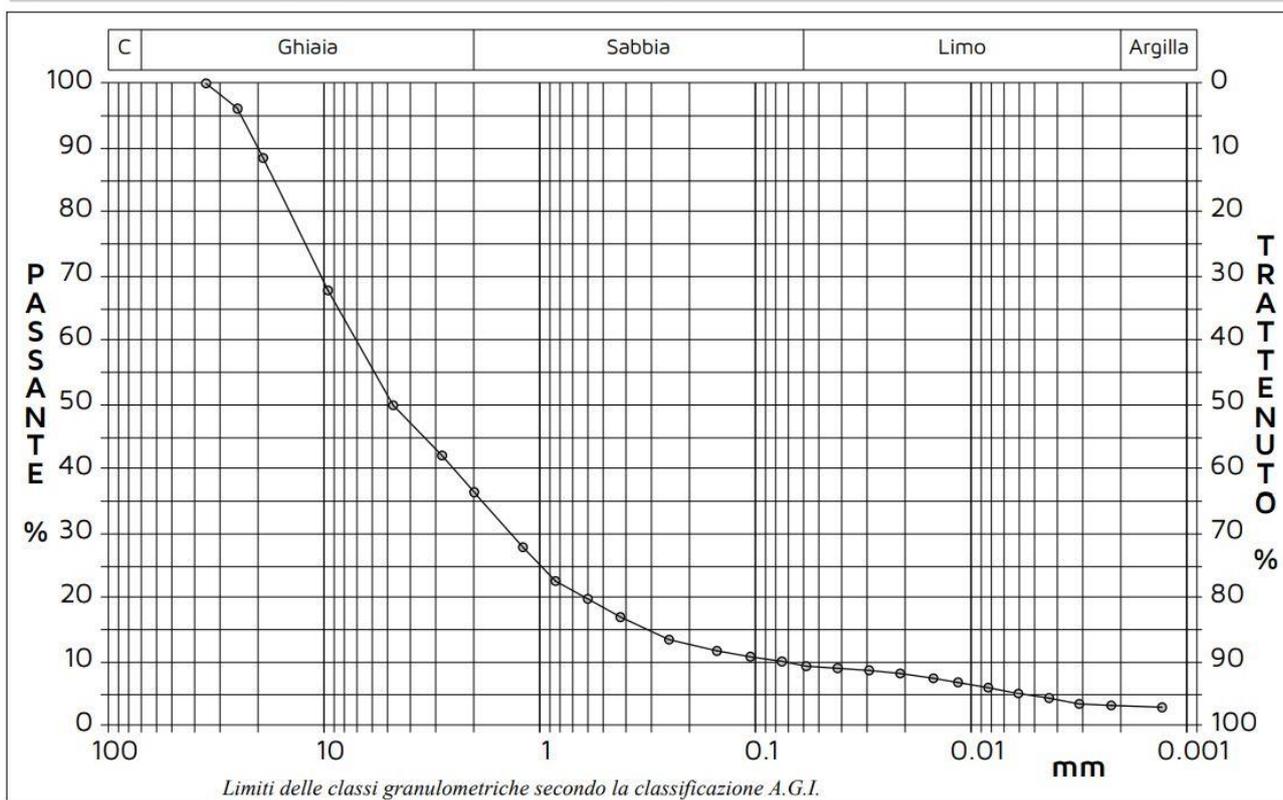
IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	100 di 106

CORSO D'ACQUA: TORRENTE VARATELLO
CODICE TRANSETTO: PR07
ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	63.6 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	36.4 %	D10	0.07269 mm
Sabbia	26.9 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	17.0 %	D30	1.35416 mm
Limo	6.4 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	10.1 %	D50	4.77161 mm
Argilla	3.1 %			D60	7.03807 mm
				D90	20.07675 mm
Coefficiente di uniformità		96.83	Coefficiente di curvatura		3.58



Diametro mm	Passante %								
35.0000	100.00	2.8200	42.08	0.4200	17.00	0.0579	9.35	0.0115	6.82
25.0000	96.08	2.0000	36.38	0.2500	13.50	0.0414	9.03	0.0083	6.01
19.0000	88.47	1.1900	27.88	0.1500	11.72	0.0296	8.71	0.0060	5.07
9.5200	67.77	0.8410	22.61	0.1050	10.84	0.0212	8.22	0.0043	4.33
4.7500	49.88	0.5950	19.85	0.0750	10.09	0.0149	7.48	0.0031	3.42

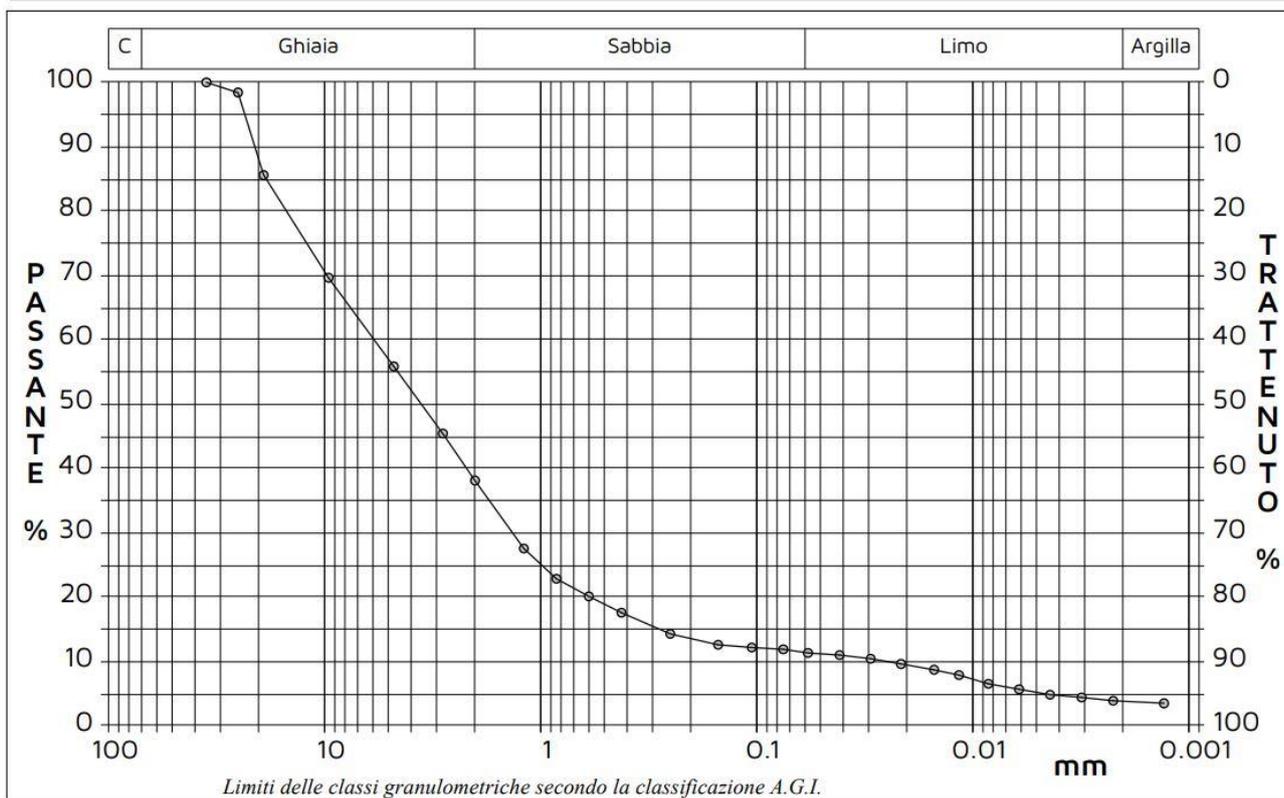
IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	101 di 106

CORSO D'ACQUA: TORRENTE VARATELLO
CODICE TRANSETTO: PR08
ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	61.9 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	38.1 %	D10	0.02497 mm
Sabbia	26.7 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	17.6 %	D30	1.34167 mm
Limo	7.6 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	11.9 %	D50	3.54493 mm
Argilla	3.8 %			D60	5.85665 mm
				D90	20.88436 mm
Coefficiente di uniformità		234.50	Coefficiente di curvatura		12.31



Diametro mm	Passante %								
35.0000	100.00	2.8200	45.43	0.4200	17.57	0.0577	11.31	0.0115	7.91
25.0000	98.41	2.0000	38.11	0.2500	14.29	0.0412	10.99	0.0084	6.53
19.0000	85.58	1.1900	27.56	0.1500	12.59	0.0296	10.43	0.0061	5.69
9.5200	69.63	0.8410	22.84	0.1050	12.17	0.0214	9.61	0.0044	4.84
4.7500	55.85	0.5950	20.12	0.0750	11.91	0.0150	8.70	0.0031	4.43

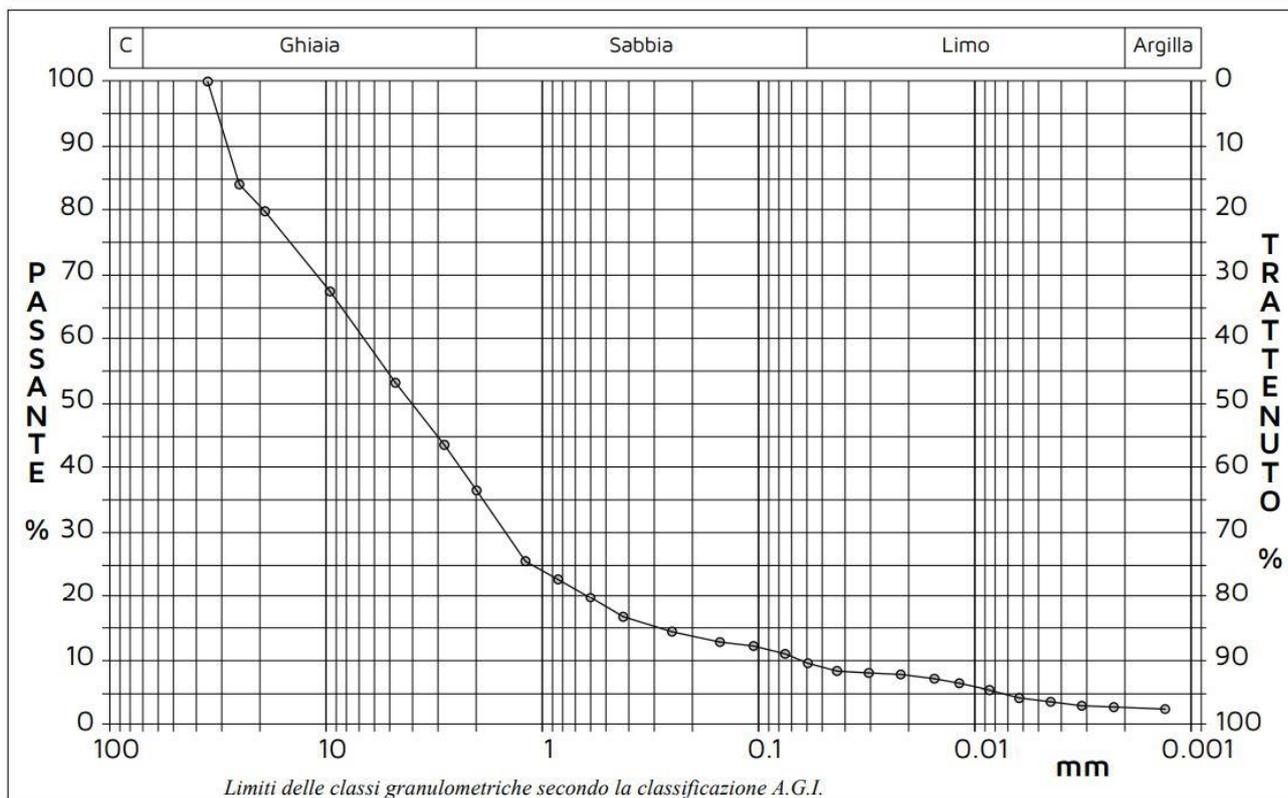
IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	102 di 106

CORSO D'ACQUA: TORRENTE NEVA
CODICE TRANSETTO: PR09
ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	63.5 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	36.5 %	D10	0.06339 mm
Sabbia	26.8 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	16.8 %	D30	1.47083 mm
Limo	7.0 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	11.0 %	D50	3.99220 mm
Argilla	2.7 %			D60	6.62198 mm
				D90	28.35851 mm
Coefficiente di uniformità		104.46	Coefficiente di curvatura		5.15



Diametro mm	Passante %								
35.0000	100.00	2.8200	43.58	0.4200	16.77	0.0589	9.56	0.0117	6.44
25.0000	84.01	2.0000	36.51	0.2500	14.45	0.0432	8.33	0.0085	5.40
19.0000	79.84	1.1900	25.51	0.1500	12.84	0.0308	8.04	0.0062	4.20
9.5200	67.42	0.8410	22.68	0.1050	12.23	0.0219	7.80	0.0045	3.61
4.7500	53.21	0.5950	19.77	0.0750	11.00	0.0153	7.13	0.0032	3.00

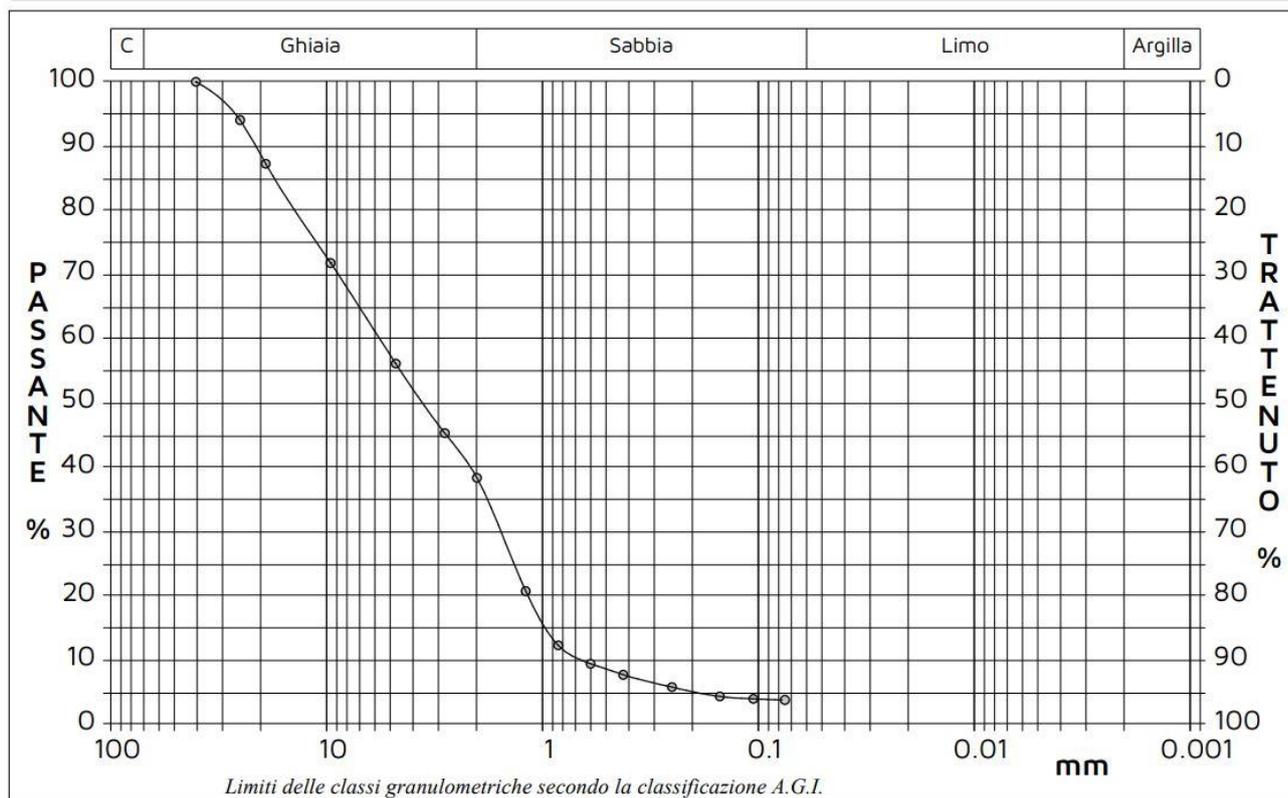
IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	103 di 106

CORSO D'ACQUA: TORRENTE ARROSCIA
CODICE TRANSETTO: PR10
ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	61.6 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	38.4 %	D10	0.63524 mm
Sabbia	34.7 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	7.7 %	D30	1.56255 mm
Limo-Argilla	3.7 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	3.8 %	D50	3.52990 mm
				D60	5.63465 mm
				D90	21.23802 mm
Coefficiente di uniformità		8.87	Coefficiente di curvatura		0.68



Diametro mm	Passante %								
40.0000	100.00	2.8200	45.34	0.4200	7.73				
25.0000	94.04	2.0000	38.37	0.2500	5.81				
19.0000	87.24	1.1900	20.76	0.1500	4.36				
9.5200	71.79	0.8410	12.32	0.1050	3.99				
4.7500	56.16	0.5950	9.46	0.0750	3.82				

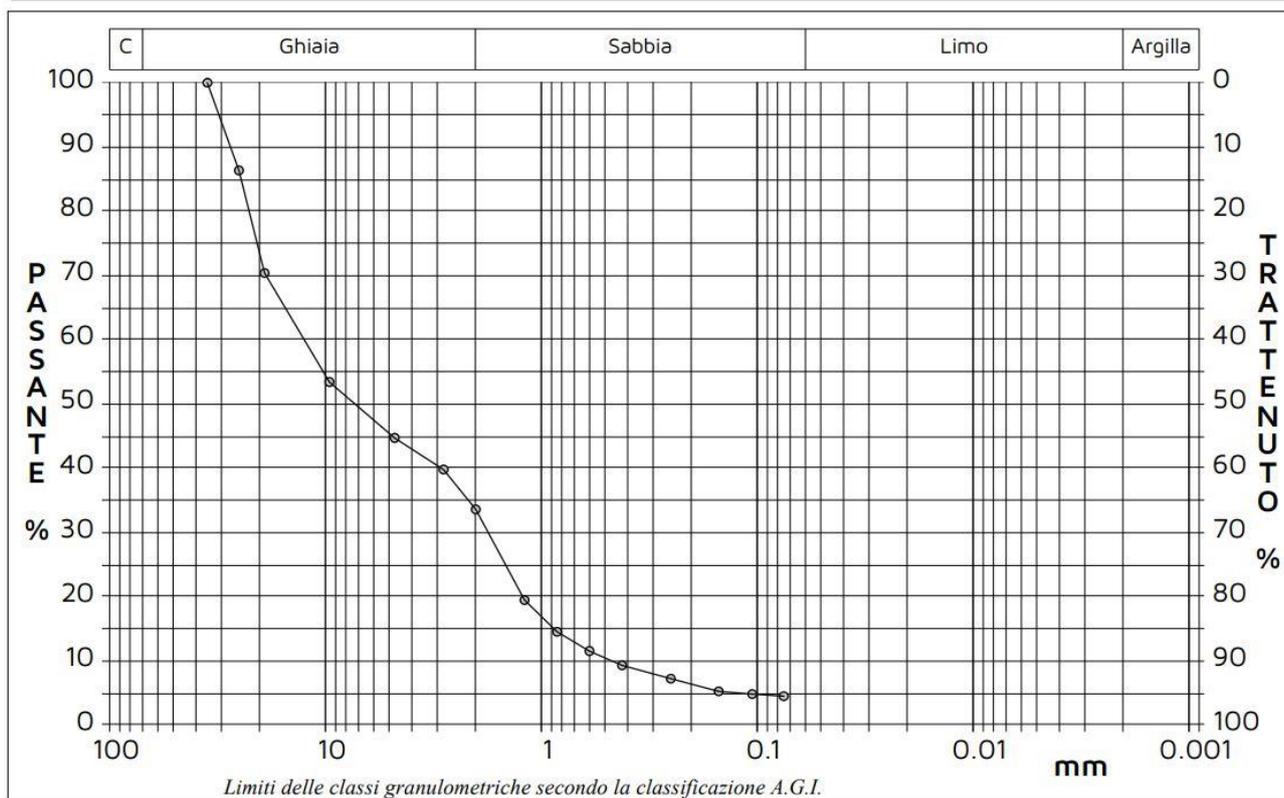
IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	104 di 106

CORSO D'ACQUA: TORRENTE NEVA
CODICE TRANSETTO: PR11
ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	66.4 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	33.6 %	D10	0.46855 mm
Sabbia	29.3 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	9.3 %	D30	1.75379 mm
Limo-Argilla	4.3 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	4.5 %	D50	7.26160 mm
				D60	12.45817 mm
				D90	27.36737 mm
Coefficiente di uniformità		26.59	Coefficiente di curvatura		0.53



Diametro mm	Passante %								
35.0000	100.00	2.8200	39.77	0.4200	9.30				
25.0000	86.32	2.0000	33.56	0.2500	7.22				
19.0000	70.38	1.1900	19.48	0.1500	5.26				
9.5200	53.39	0.8410	14.53	0.1050	4.82				
4.7500	44.69	0.5950	11.53	0.0750	4.51				

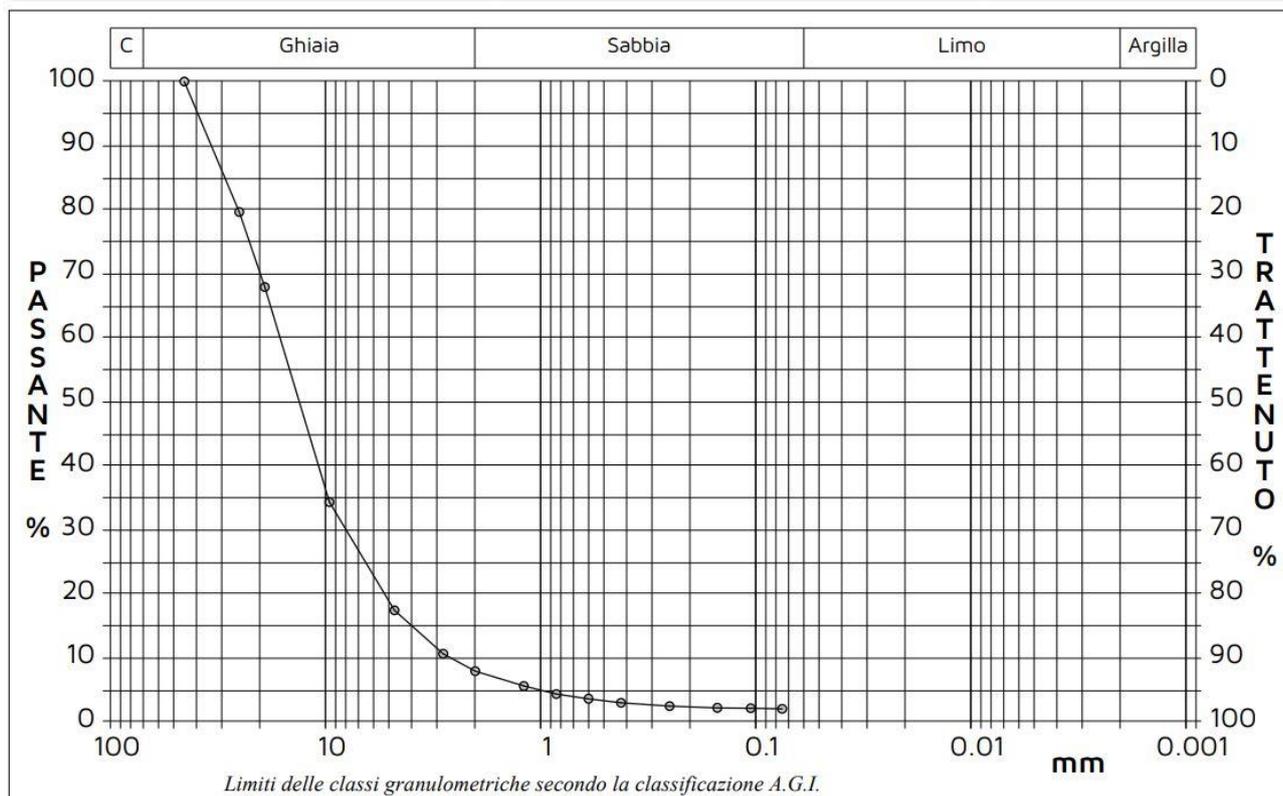
IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	105 di 106

CORSO D'ACQUA: TORRENTE MERULA
CODICE TRANSETTO: PR12
ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	92.1 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	7.9 %	D10	2.59413 mm
Sabbia	5.9 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	3.0 %	D30	7.96898 mm
Limo-Argilla	2.0 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	2.1 %	D50	13.14269 mm
				D60	16.14341 mm
				D90	33.73064 mm
Coefficiente di uniformità		6.22	Coefficiente di curvatura		1.52



Diametro mm	Passante %								
45.0000	100.00	2.8200	10.66	0.4200	3.01				
25.0000	79.61	2.0000	7.94	0.2500	2.48				
19.0000	67.92	1.1900	5.60	0.1500	2.22				
9.5200	34.32	0.8410	4.36	0.1050	2.15				
4.7500	17.43	0.5950	3.63	0.0750	2.05				

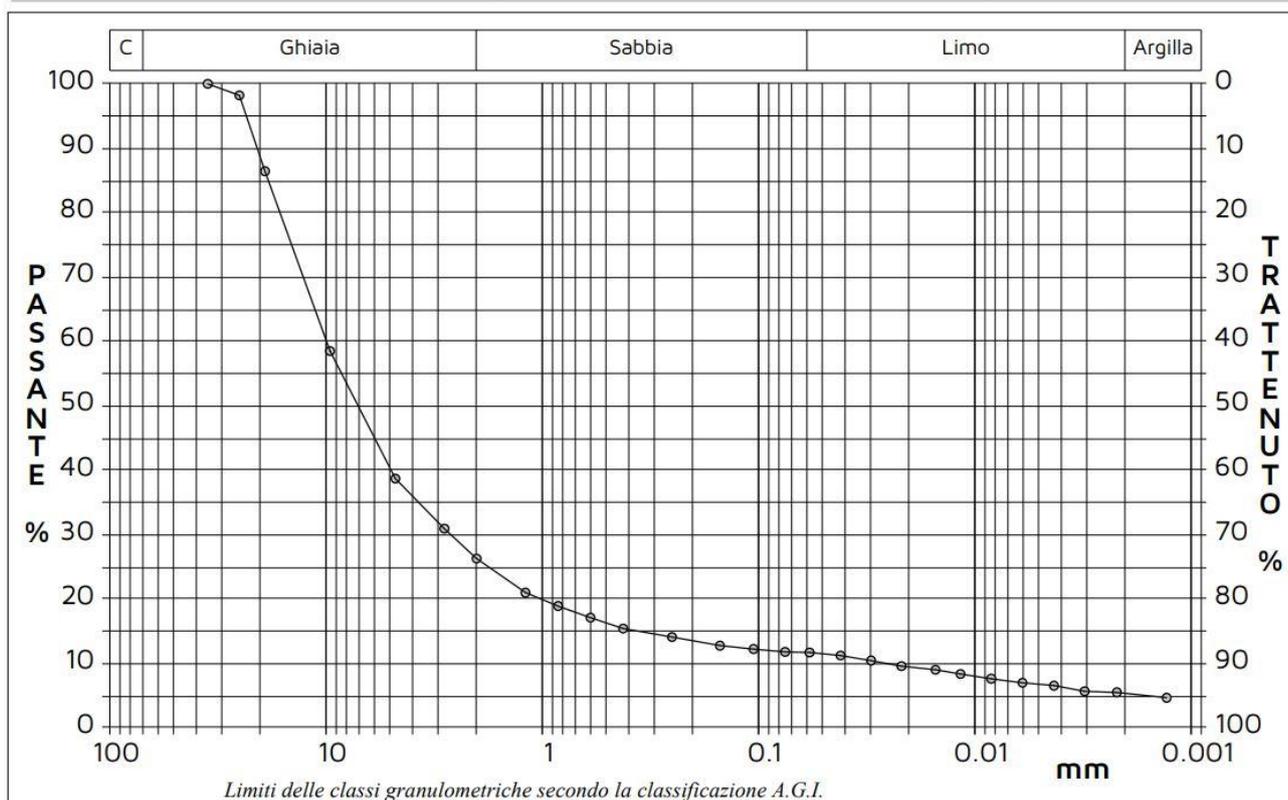
IDROLOGIA E IDRAULICA
 Studio di geomorfologia fluviale -
 Relazione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 RG	ID 0002 001	A	106 di 106

CORSO D'ACQUA: TORRENTE MERULA
CODICE TRANSETTO: PR13
ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D422

Ghiaia	73.7 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	26.3 %	D10	0.02539 mm
Sabbia	14.6 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	15.4 %	D30	2.62925 mm
Limo	6.3 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	11.8 %	D50	7.06252 mm
Argilla	5.4 %			D60	9.88077 mm
				D90	20.65109 mm
Coefficiente di uniformità		389.14	Coefficiente di curvatura		27.55



Diametro mm	Passante %								
35.0000	100.00	2.8200	30.95	0.4200	15.42	0.0579	11.70	0.0116	8.36
25.0000	98.22	2.0000	26.30	0.2500	14.10	0.0415	11.21	0.0084	7.64
19.0000	86.42	1.1900	21.00	0.1500	12.77	0.0300	10.45	0.0060	7.00
9.5200	58.50	0.8410	18.93	0.1050	12.24	0.0218	9.58	0.0043	6.56
4.7500	38.71	0.5950	17.10	0.0750	11.81	0.0152	9.03	0.0031	5.69