

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:

HIRPINIA - ORSARA AV

SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

**ITINERARIO NAPOLI - BARI
RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA
II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA
IDROLOGIA E IDRAULICA**

Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA - ORSARA AV Il Direttore Tecnico Ing. P. M. Gianvecchio 30/09/2022	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Ing. M. Faccioli

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

IF3A 02 E ZZ RI ID0002 004 B -

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	C 08.00 - Emissione 180gg	S. Longhi	08/02/2022	D. Polverelli	08/02/2022	C. Ferrigno	08/02/2022	Ing. R. Zanon
B	C 08.01 - A valle del contraddittorio	M. Angione	08/06/2022	D. Polverelli	08/06/2022	C. Ferrigno	08/06/2022	
C	C 08.03 - A valle del contraddittorio	M. Angione	30/09/2022	D. Polverelli	30/09/2022	C. Ferrigno	30/09/2022	
								30/09/2022

File: IF3A02EZZRIID0002004C.doc

n. Elab.: -

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. C	FOGLIO 2 di 136

Indice

1	INTRODUZIONE	3
1.1	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO.....	3
1.2	OBIETTIVI E CONTENUTI DELLO STUDIO.....	4
1.3	METODOLOGIA DI LAVORO.....	5
1.4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
2	CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO	8
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'INTERVENTO.....	8
2.2	AREE A PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA.....	8
2.3	ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TORRENTE CERVARO.....	9
2.4	APPORTO DI SEDIMENTI AL TRATTO DI STUDIO.....	17
2.5	ANDAMENTO DELLE PORTATE LIQUIDE (DI MEDIO PERIODO).....	18
3	VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO.....	18
3.1	MODELLI MATEMATICI PER IL TRASPORTO SOLIDO.....	18
3.2	MODELLO IDRAULICO A FONDO MOBILE CERVARO - MODELLO 1D - PD.....	29
3.3	MODALITÀ EVOLUTIVE DELL'ALVEO	34
3.4	MODALITÀ EVOLUTIVE SISTEMA ACQUARA - CERVARO MODELLO 2D A FONDO MOBILE - PE.....	36
4	VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'OPERA IN PROGETTO A FENOMENI DI COLATE DETRITICHE	53
4.1	ASSETTO DEI VERSANTI E PROPENSIONE AL DISSESTO.....	53
4.2	SISTEMA "BACINO-CONOIDE" DEL TORRENTE ACQUARA: STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI DAI VERSANTI.....	59
4.3	TORRENTE ACQUARA: SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DI COLATE DETRITICHE – PD: MODELLO R.AVAFLOW (APPLICATIVO GRASS GIS).....	67
4.4	TORRENTE ACQUARA: SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DI COLATE DETRITICHE – PE: MODELLO HEC-RAS 6.1.0 – IPOTESI DI FLUIDO NON NEWTONIANO.....	76
4.5	CONFRONTO RISULTATI MODELO NUMERICO R.AVAFLOW E HEC-RAS 6.1	95
5	CONCLUSIONI	96
5.1	ANALISI DEL RAPPORTO CON L'OPERA IN PROGETTO.....	96
5.2	ANALISI DEI FENOMENI DI EROSIONE E DEPOSITO IN CORRISPONDENZA DEL VIADOTTO VI01.....	97
6	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	99
7	ALLEGATI	109

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PIZZAROTTI						
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA		
M-INGEGNERIA						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 3 di 136

1 INTRODUZIONE

1.1 DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari si inserisce il Raddoppio della Tratta Hirpinia-Orsara che rappresenta il secondo lotto della tratta in variante Apice-Orsara, il cui primo lotto (Apice-Hirpinia) si trova attualmente in fase di esecuzione da parte del Consorzio Hirpinia AV.

La riqualificazione e lo sviluppo dell'itinerario Roma/Napoli – Bari prevede interventi di raddoppio delle tratte ferroviarie a singolo binario e varianti agli attuali scenari perseguendo la scelta delle migliori soluzioni che garantiscano la velocizzazione dei collegamenti e l'aumento dell'offerta generalizzata del servizio ferroviario, elevando l'accessibilità al servizio medesimo nelle aree attraversate.



Figura 1-1. Corografia dell'intera tratta Napoli Bari, con dettaglio della tratta Hirpinia-Orsara

La variante oggetto del presente documento interessa il tratto centrale della direttrice Napoli – Bari e risulta strategica nel riassetto complessivo dei collegamenti metropolitani, regionali e lunga percorrenza previsto con la realizzazione di tutto il potenziamento. Si colloca in territorio campano e pugliese ed i comuni attraversati sono rispettivamente per la provincia di Avellino: Ariano Irpino, Flumeri, Savignano Irpino e Montaguto; per la provincia di Foggia: Panni e Orsara di Puglia.

Il tracciato della Bovino – Orsara - Hirpinia è stato progressivato rispetto all'orientamento della Linea Storica partendo da Bovino con la pk 29+050 (fine tratta Cervaro-Bovino) fino ad Orsara con pk 40+889 (imbocco galleria Orsara) dove inizia la tratta oggetto del presente progetto esecutivo che si estende fino ad Hirpinia con pk 68+955.

La linea AV/AC si sviluppa prevalentemente in galleria con una velocità compresa tra 200 e 250 Km/h ed ha una lunghezza complessiva L=28,06 km.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 4 di 136

Il nuovo tracciato ferroviario ha inizio alla pk 40+889.793 (BP) in corrispondenza dell'inizio del collegamento di 1^a fase della tratta Bovino – Orsara, per il quale in questo progetto è prevista la dismissione.

Il tracciato prosegue come prolungamento della nuova linea a doppio binario inizialmente con l'interasse a 4m per poi divergere fino all'imbocco dalla galleria naturale Hirpinia (lato Bari) per la quale è previsto l'imbocco a canne separate.

Il corpo ferroviario compreso tra l'inizio del progetto e la pk 41+046.85 è già realizzato nell'ambito degli interventi della tratta Bovino – Orsara, come lo sono anche i piazzali tecnologici Nord e Sud, la SSE e il sottopasso di collegamento tra la viabilità di accesso alla stazione e i piazzali suddetti.

Dal km 41+046.85 dopo un breve tratto in rilevato inizia lo scatolare che si collega direttamente al viadotto VI01 sul torrente Cervaro di L=313.65m.

In questo contesto si colloca anche la nuova Stazione di Orsara (pk 40+074.95).

La galleria "Hirpinia" inizia alla pk 41+435.91 a pochi metri dalla spalla del viadotto VI01 (pk 41+428.29) e finisce alla pk 68+537.41. La galleria lato Bari imbocca direttamente con le canne separate e prosegue a doppia canna fino ad Hirpinia dove attraverso un camerone di collegamento in prossimità dell'uscita lato Napoli diventa a singola canna doppio binario per consentire ai binari di avvicinarsi all'interasse di 4m e collegarsi con i binari di corsa della stazione di Hirpinia, già realizzata nella tratta Apice - Hirpinia.

Lo sviluppo complessivo della galleria è di 27 Km circa.

L'interasse delle due canne è prevalentemente di 40 m ad eccezione di un tratto compreso tra le pk 48+000 e pk 57+800 circa all'interno del quale l'interasse è stato allargato a 50 m; per l'intera galleria le canne sono collegate tra di loro da by-pass trasversali a passo 500 m per consentire l'esodo dei passeggeri.

Tra le pk 57+195 e 57+605 è stato inserito un luogo sicuro intermedio dotato di marciapiedi FFP di lunghezza L=410 m. L'esodo all'aperto dei passeggeri avviene attraverso la finestra F1 direttamente collegata con la viabilità locale attraverso un piazzale di sicurezza.

L'uscita della finestra F1 si trova in località Contrada Stratola, in corrispondenza dell'uscita della galleria sono stati ubicati anche i piazzali tecnologici e la nuova SSE di Ariano Irpino.

La linea AV/AC è progettata nel tratto allo scoperto (stazione di Orsara) con una velocità di tracciato di 200 Km/h, con una velocità di 250 Km/h per tutto il restante tracciato in galleria per poi riscendere a 200 Km/h in corrispondenza del camerone di Hirpinia proprio per l'approssimarsi alla stazione di Hirpinia.

Lungo la galleria sono previste alcune finestre costruttive necessarie per la realizzazione con il metodo tradizionale dei tratti di galleria.

Uscito dalla galleria il tracciato termina alla pk 68+953.375 (BP), coincidente con la pk 0+700 della tratta Apice – Hirpinia, in prossimità dei tronchini per l'attestamento dei treni da e per Napoli previsti nella stazione di Hirpinia di 1^a fase.

1.2 OBIETTIVI E CONTENUTI DELLO STUDIO

La presente Relazione riferisce in merito all'analisi di geomorfologia fluviale relativa ai corsi d'acqua minori affluenti del Torrente Cervaro nella zona di Orsara, interessati dal Progetto Esecutivo del raddoppio della tratta ferroviaria Hirpinia - Orsara. Lo studio geomorfologico viene condotto con l'obiettivo di valutare la tendenza evolutiva 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 sotto trave può ridursi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 5 di 136

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, al fine di programmare le conseguenti attività di manutenzione, finalizzate al monitoraggio della dinamica morfologica del corso d'acqua.

Nell'attuale fase di sviluppo del PE della tratta in oggetto, si sono ripercorse, validate e integrate le analisi di trasporto solido già condotte in sede di PD. Tali analisi vengono di seguito riproposte avendone verificato la congruenza rispetto ai valori di picco degli idrogrammi di piena per i diversi bacini interferenti con il tracciato, che sono stati ricalcolati secondo le modalità illustrate nella relazione idrologica di PE (doc. IF3A02EZZRIID0001000A) a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

Si precisa, inoltre, che nel presente studio di PE sono stati condotti approfondimenti e integrazioni riguardanti i seguenti aspetti:

1. Per il Torrente Cervaro, vista l'interferenza con il viadotto VI01 e le criticità riscontrate in termini di pericolosità geomorfologica e propensione al dissesto, è stato implementato un apposito studio idraulico idrodinamico 2D a fondo mobile per un $Tr=200$ anni, ovvero, valori di portata stimate per la verifica di compatibilità delle opere previste. Tale modello, include anche il T. Acquara che rappresenta un affluente minore e quindi risulta opportuno valutare l'interazione tra i due corsi d'acqua anche per quanto concerne la valutazione delle dinamiche di trasporto solido. In questo caso, per la caratterizzazione della granulometria d'alveo del Cervaro, si è fatto riferimento ai prelievi condotti nella fase di PD sul Cervaro e sull'Acquara. Non si è ritenuto necessario integrare o aggiornare i prelievi visto il breve tempo intercorso tra le due fasi progettuali e vista l'assenza di particolari fenomeni di dissesto in corrispondenza del presente tratto di Cervaro.
2. Per quanto riguarda lo studio dei fenomeni di debris flow generati dalle aree in dissesto nella parte di monte del bacino del T. Acquara, viene riportato lo studio condotto in fase PD mediante l'applicativo r.avaflow implementato in Grass GIS. Come integrazione di tale studio, è stato implementato un modello 2D di dettaglio mediante le nuove funzioni del software HEC RAS 6.1.0 che consentono di simulare fenomeni di debris flow considerando il carattere non newtoniano del fluido in funzione di una concentrazione C_v assegnata. Nel caso in esame sono state adottate le stesse condizioni di concentrazione del PD al fine di poter effettuare un confronto esaustivo tra i due modelli numerici nonché valutare possibili effetti sulle opere in progetto.

1.3 METODOLOGIA DI LAVORO

La metodologia da seguire per valutare la tendenza evolutiva di un corso d'acqua si può articolare, come svolto nell'ambito del presente studio, sulla combinazione di analisi quali-quantitative basate sui seguenti approcci:

- Caratterizzazione geomorfologica del bacino idrografico, con particolare attenzione ai processi legati alla dinamica fluviale, in particolare per valutare l'entità (anche qualitativamente) dell'apporto di sedimenti dai versanti e dai tratti di monte;
- Caratterizzazione del corso d'acqua di interesse, in base ai seguenti aspetti:
 - Granulometria del materiale d'alveo, con attenzione ai sedimenti movimentabili dalle piene;
 - Valutazione della portata media di riferimento per le analisi di trasporto solido;
- Individuazione delle caratteristiche di dinamica morfologica, secondo le specifiche della metodologia IDRAIM elaborata da ISPRA (Rinaldi et al., 2015), descritta nel seguito al paragrafo 2.5;

APPALTATORE: Consortio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PIZZAROTTI						
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 6 di 136

- Valutazione del trasporto solido mediante individuazione della formula parametrica di trasporto solido adatta al caso in esame e conseguente implementazione di un modello di calcolo idraulico a fondo mobile (per il presente studio si è adottato HEC-RAS versione 6.1.0, attivando l'opportuno modulo per l'analisi dei sedimenti 2D); in particolare, i risultati del modello idraulico a fondo mobile consentono di verificare le opere di attraversamento secondo il seguente schema concettuale:
 - Tendenza all'erosione: progettazione di opere di protezione dall'erosione, dimensionate con il criterio di impedire lo scalzamento;
 - Tendenza alla deposizione: progettazione dell'opera di attraversamento in modo che sia garantita l'ufficienza idraulica (franco di progetto maggiore del minimo richiesto dalla Normativa), individuazione delle azioni necessarie al mantenimento del franco idraulico di progetto (interventi di manutenzione);
- Definizione del Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata (LAM), sulla base dei risultati ottenuti tramite la metodologia IDRAIM e la modellazione idraulica a fondo mobile.

1.4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Puglia;
- Piano di gestione dei sedimenti;
- Sistema di valutazione geomorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Metodo IDRAIM (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

Piano di gestione dei sedimenti

Allo stato attuale la Regione Puglia non si è dotata, in attuazione alla Direttiva per la gestione dei sedimenti, approvata nell'aprile 2006, di un Piano generale di gestione dei sedimenti per i corsi d'acqua regionali.

Ai fini del presente studio si farà, quindi, riferimento alla normativa di settore in materia di terre e rocce da scavo.

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.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 7 di 136

Uno degli obiettivi di tale metodologia è la definizione dell'Indice di Qualità Morfologica (IQM) e dell'Indice di Dinamica Morfologica (IDM) il 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.

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).

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV Soci WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A Mandanti NET ENGINEERING ELETRI-FER PINI GCF M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B FOGLIO 8 di 136

2 CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'INTERVENTO

La seguente figura mostra uno stralcio della carta geomorfologica per i tratti allo scoperto

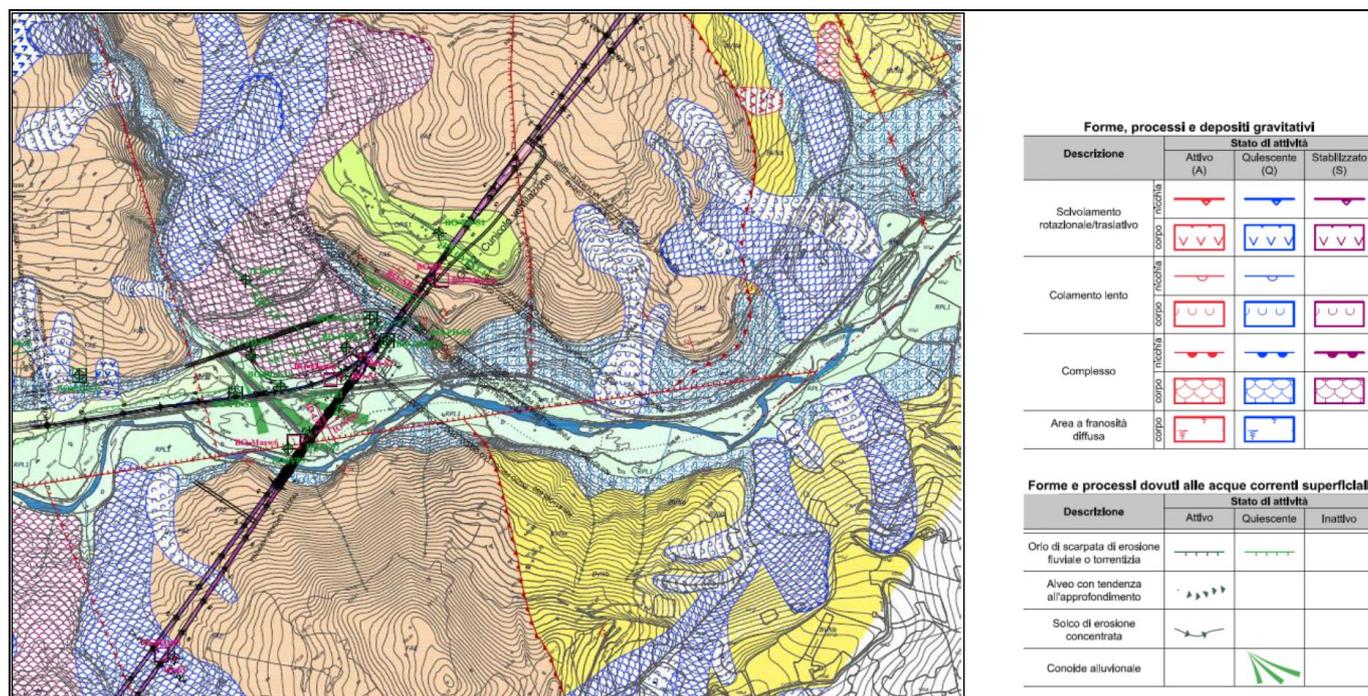


Figura 2-1. Stralcio della carta geomorfologica

2.2 AREE A PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

La seguente Figura 2-2 mostra lo stralcio della carta di Pericolosità geomorfologica del PSAI dell'AdB Puglia, da cui si può vedere in quali classi di pericolosità ricade il tracciato in progetto. Le aree indicate in blu sono quelle in cui la linea in progetto è allo scoperto.

Pericolosità geomorfologica		Descrizione
Classe di pericolosità		
Media e bassa (PG1)		Aree a suscettibilità da frana bassa e media
Elevata (PG2)		Aree a suscettibilità da frana alta
Molto Elevata (PG3)		Aree a suscettibilità da frana molto alta

Figura 2-2. Legenda della cartografia dello PSAI dell'Autorità di Bacino della Puglia

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGGIO B 9 di 136

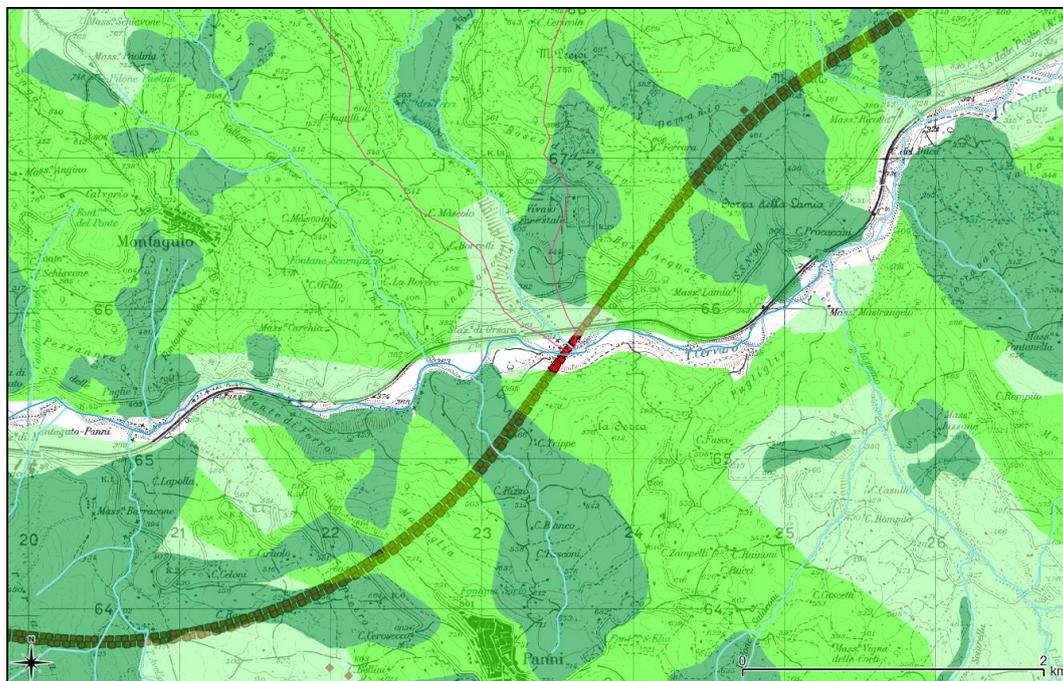


Figura 2-3. Stralcio della cartografia del PSAI Puglia, Pericolosità geomorfologica (in blu le aree in cui la linea in progetto è allo scoperto)

2.3 ASSETTO GEOMORFOLOGICO DEL TORRENTE CERVARO

2.3.1 Assetto del bacino

L'assetto geomorfologico del bacino del Torrente Cervaro è desunto dalla caratterizzazione geomorfologica effettuata per il progetto in esame, riportata negli elaborati: IF3A02EZZRGGE0103001A IF3A02EZZRGGE0103002A.

Il versante in corrispondenza dell'imbocco nord-orientale della galleria "Hirpinia" è essenzialmente privo di fenomeni di dissesto, in quanto caratterizzato dalla presenza dei litotipi calcareo-marnosi del Flysch di Faeto. Poche centinaia di metri a SW dell'imbocco, invece, si rinviene un'estesa area di impluvio caratterizzata dalla presenza di estesi movimenti franosi quiescenti e stabilizzati, essenzialmente riconducibili a colamenti e frane complesse in terra e detrito impostati nei termini litologici del Flysch di Faeto. I fenomeni più estesi presentano spessori dell'ordine di alcune decine di metri, fino ad un massimo di 50 m, ma in relazione alla loro posizione topografica non presentano interferenze dirette con la galleria in progetto.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 10 di 136

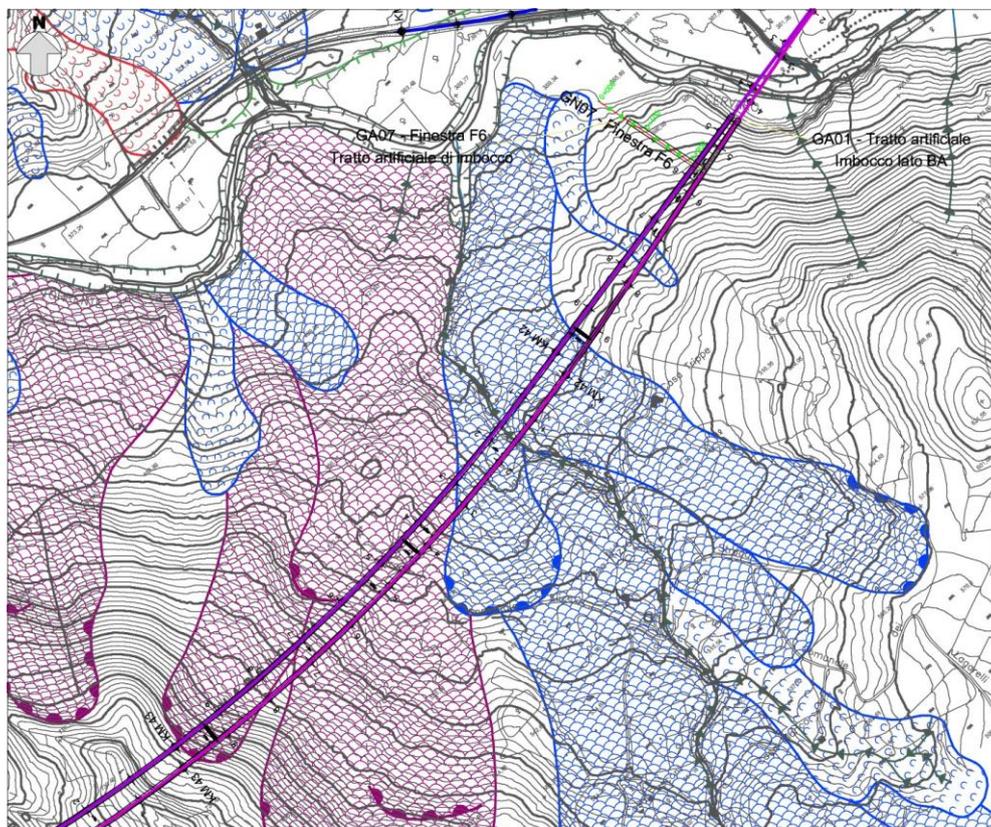


Figura 2-4. Stralcio dei principali elementi geomorfologici a SW dell'imbocco nord-orientale della galleria "Hirpinia" (scala 1:10.000)



Figura 2-5. Vista dei movimenti franosi che interessano l'impiuvio a NE di Panni, a monte dell'imbocco nord-orientale della galleria "Hirpinia"

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 11 di 136

Il versante sud-occidentale su cui sorge il centro abitato di Panni, invece, è caratterizzato dalla presenza di estesi colamenti e frane complesse in terra, con stato quiescente, impostati nei termini argilloso-sabbiosi del Sintema di Orsara. Tali fenomeni presentano spessori variabili tra pochi metri e diverse decine di metri, fino ad un massimo di 40 m, ma in relazione alle notevoli coperture presenti al di sopra della calotta non interferiscono direttamente con le opere in progetto.

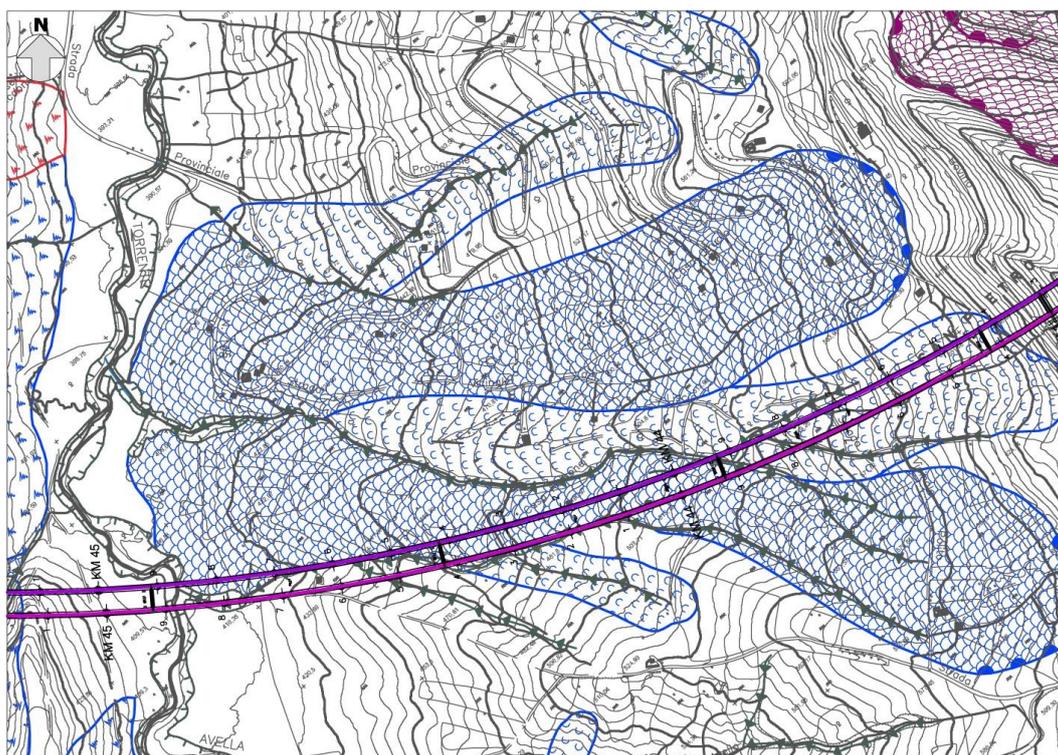


Figura 2-6. Stralcio dei principali elementi geomorfologici lungo il versante sud-occidentale su cui sorge il centro abitato di Panni (scala 1:10.000)

2.3.2 Assetto dei versanti e propensione al dissesto

L'analisi dell'assetto geomorfologico del bacino del Torrente Cervaro mostra che i dissesti, presenti sui versanti e sui bacini delle incisioni affluenti al Cervaro, possono alimentare il trasporto solido del corso d'acqua, nonché essere associati a fenomeni caratterizzati da flussi idrici iperconcentrati e/o debris-flows, che potrebbero a loro volta interessare le opere in progetto.

La valutazione della vulnerabilità della linea FS in progetto può essere condotta con riferimento ai cosiddetti sistemi "bacino-conoide", interferenti con le opere ferroviarie.

Nel caso in esame, in viadotto VI01 in progetto interferisce con il sistema "bacino-conoide" del Torrente Acquara, affluente in sinistra idraulica del T. Cervaro.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PIZZAROTTI						
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA		
M-INGEGNERIA						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 12 di 136

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

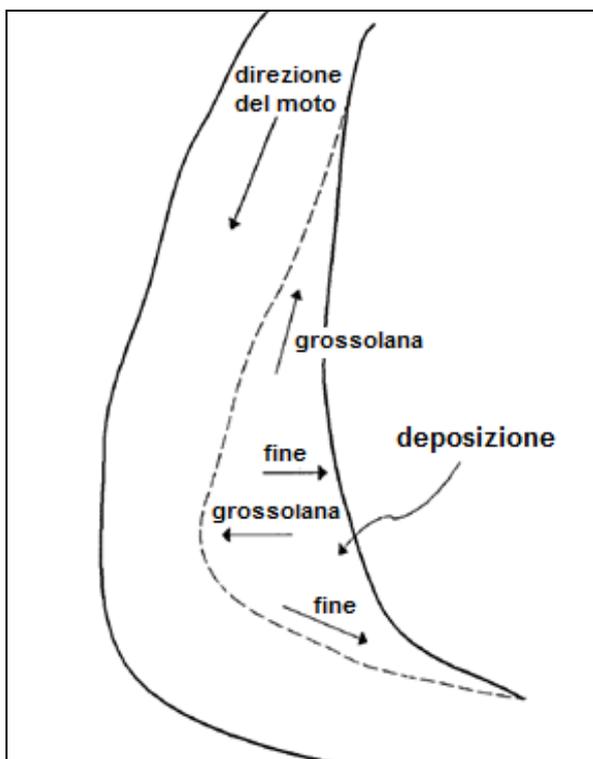


Figura 2-7: distribuzione teorica della granulometria dei sedimenti in una forma di deposito

I fenomeni di trasporto solido presi in considerazione vengono indagati, tra l'altro, con una schematizzazione di calcolo idraulico, descritta nel successivo paragrafo, 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.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PIZZAROTTI							
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 13 di 136

- Esame visivo della sezione:
 - Sedimenti depositi a valle di ostacoli naturali in alveo (es.: grandi massi o vegetazione, oppure strutture)
 - Deposito rappresentativo della variabilità trasversale della sezione
 - 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 2Kg di materiale da collocare in sacchetto da campionamento
 - Classificare il campione in base al codice dell'individuazione del transetto

2.3.4 Caratteristiche granulometriche del Torrente Cervaro

Il campione prelevato secondo la metodologia descritta nel precedente paragrafo 2.3.3 è stato analizzato in laboratorio per la determinazione della curva granulometrica, e sintetizzata nella seguente tabella Tabella 2.3-1, in cui è riportato il diametro caratteristico D_{50} . Il corso d'acqua indagato è caratterizzato da materiale appartenente alla classe granulometrica delle ghiaie medie.

Tabella 2.3-1: Caratteristiche granulometriche dei corsi d'acqua in esame

Corso d'acqua	Codice punto di prelievo	D_{50} (mm)
Cervaro	CER02	10

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PIZZAROTTI							
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 14 di 136

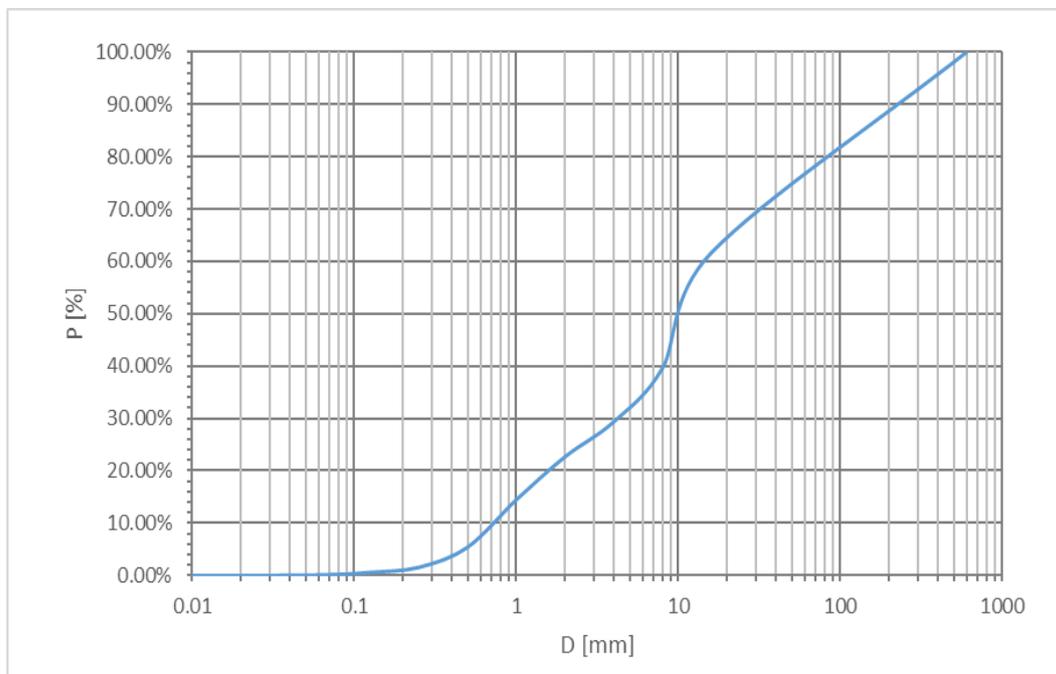


Figura 2-8: Curva granulometrica del campione CER02 del Torrente Cervaro

2.3.5 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 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. 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’analogia 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.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 15 di 136

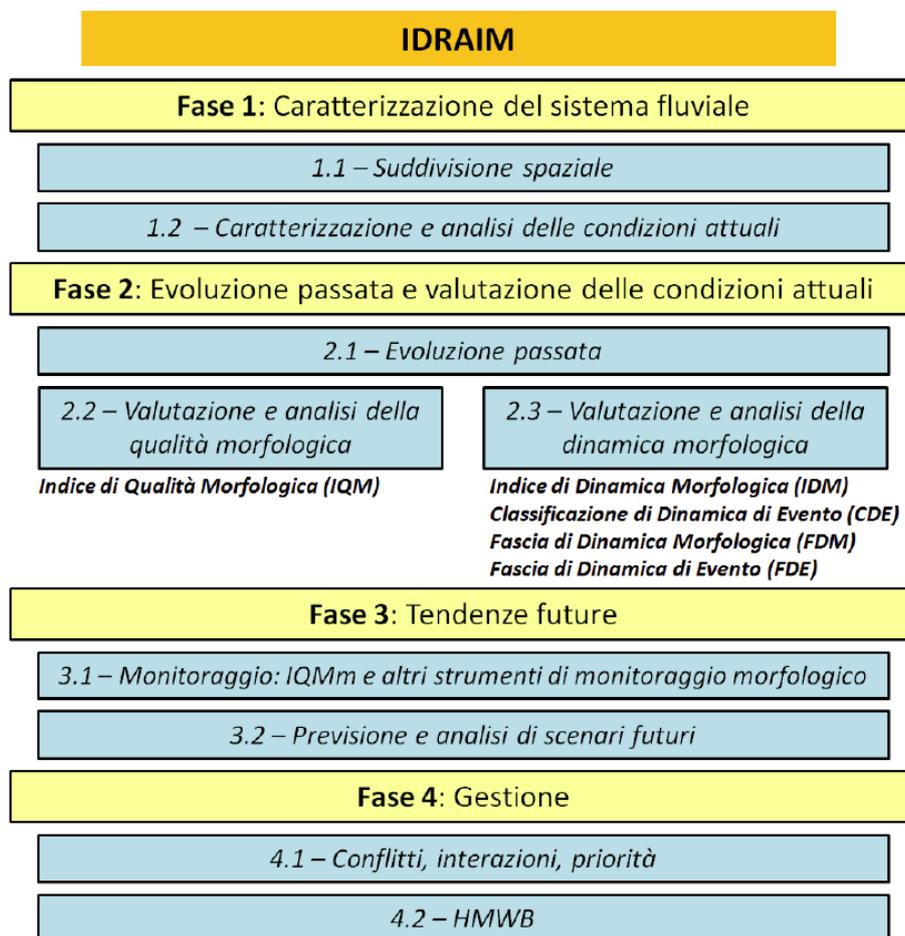


Figura 2-9 – Schema generale della struttura del metodo IDRAIM.

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.

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.

APPALTATORE: Consortio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PIZZAROTTI						
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA		
M-INGEGNERIA						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 16 di 136

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 non sulla base di una analisi storica di dettaglio.**

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.).

2.3.5.1 APPLICAZIONE AL CASO 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

Si precisa che nel caso di studio trattato in questa sede, trattandosi di una applicazione semplificata del metodo, la valutazione degli indicatori della componente "variazioni morfologiche" si è basata su quanto osservato in campo e non sulla base di una analisi storica di dettaglio.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 17 di 136

Tabella 2.3-2 – Lista degli indicatori per la valutazione dell'IDM

SIGLA	INDICATORE
Morfologia e Processi	
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
Artificialità	
A1	Difese di sponda
A2	Opere di rivestimento o consolidamento del fondo
Variazioni morfologiche	
V1	Variazione della configurazione morfologica
V2	Variazioni di larghezza
V3	Variazioni altimetriche

Il risultato dell'applicazione viene riportato in tabella, precisando che l'applicazione effettuata costituisce un primo tentativo di determinare tale indice e non vuole sostituire alcuna altra applicazione ufficiale svolta in Regione Puglia dagli Enti preposti (ARPA). Nell'Allegato 2 alla presente Relazione sono riportate le Schede complete per la valutazione dell'IDM.

Tabella 2.3-3 – 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 Puglia dagli Enti preposti.

Denominazione corso d'acqua	Lunghezza tratto [m]	Indice di Dinamica Morfologica (IDM)	Classe di Dinamica Morfologica				
			Molto bassa	Bassa	Media	Elevata	Molto elevata
Torrente Cervaro	3891	0.64					

2.4 APPORTO DI SEDIMENTI AL TRATTO DI STUDIO

Sulla base delle analisi condotte ed illustrate nei paragrafi precedenti è possibile correlare, seppur in maniera qualitativa, le dinamiche di versante e del corso d'acqua (IDM semplificato) con le litologie presenti nel bacino, al fine di valutare la dinamica di trasporto solido del corso d'acqua oggetto di studio, come meglio descritto nel seguito.

Il Torrente Cervaro è caratterizzato da una dinamica morfologica elevata, dovuta alla presenza di sponde alluvionali e fondo erodibili per buona parte del tratto in esame. Il suo bacino è caratterizzato dalla presenza di dissesti, la cui natura contribuisce all'apporto di materiale solido in alveo.

Si può, quindi, ritenere che vi sia apporto di sedimento al tratto di studio.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 18 di 136

2.5 ANDAMENTO DELLE PORTATE LIQUIDE (DI MEDIO PERIODO)

La valutazione del trasporto solido di un corso d'acqua richiede particolare attenzione anche nella scelta dei valori di portata liquida da studiare, ai quali associare la corrispondente portata solida. Durante gli eventi di piena vi è sempre una fase di formazione dell'idrogramma, in cui la portata cresce abbastanza rapidamente fino al valore al colmo, tuttavia nei modelli a fondo mobile bisogna considerare che vi sarà trasporto di sedimenti già dall'inizio della fase di crescita dell'idrogramma, con conseguente riassortimento della granulometria rispetto alle condizioni in cui i campioni sono stati prelevati (generalmente durante i periodi di magra, per rispettare le condizioni indicate nel precedente paragrafo). Risulta quindi più opportuno, prima di simulare il trasporto solido al passaggio di un'onda di piena, studiare il comportamento del fiume per le basse portate. Nel presente studio si è scelto di determinare la portata media mensile. Allo scopo sono stati consultati gli annali idrologici, di cui di seguito è riportato un estratto, dai quali si è ricavato il valore massimo delle portate medie mensili per il periodo di funzionamento della stazione idrometrica di Incoronata.

10 - CERVARO AD INCORONATA (Mr)

Anno 2012

CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE: a) Bacino di dominio 657 Km² (parte permeabile 24%); altitudine max 1106 m s.m.; media 379 m s.m.; zero idrometrico 50.643 m s.m.; distanza dalla foce 25 Km circa; inizio osservazioni I: 1924; Ir: 1932; inizio misure: 1928 - b) Altezza idrometrica max 6.09 m (19 dicembre 1968); minimo asciutto (vari); portata max 524.00 m³/s (17 gennaio 1957); minima 0.00 m³/s (vari).

ELEMENTI CARATTERISTICI PER L'ANNO 2012													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Q max (m ³ /s)	34.36	-	34.36	14.26	5.84	1.25	0.74	-	-	0.83	0.29	3.08	10.24
Q media (m ³ /s)	1.49	-	5.06	3.72	2.07	0.92	0.11	-	-	0.31	0.29	0.50	4.94
Q minima (m ³ /s)	-	-	-	1.60	1.25	0.74	-	-	-	0.00	0.29	-	1.08
Q media (l/s Km ²)	2.3	-	7.7	5.7	3.1	1.4	0.2	-	-	0.5	0.4	0.8	7.5
Deflusso (mm)	71.3	-	19.3	15.2	8.1	3.7	0.4	-	-	1.2	1.2	2.0	20.1
Affl. Meteor. (mm)	666.8	36.5	81.9	46.9	69.1	32.9	2.2	58.3	9.1	76.8	54.8	121.7	76.6
Coeff. Deflusso	0.11	-	0.24	0.32	0.12	0.11	0.19	-	-	0.02	0.02	0.02	0.26
ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO: 1928÷39; 1941-42; 1946-47; 1949÷85; 1988÷92; 1994; 1996÷02 e 2011													
Q max (m ³ /s)	244.00	244.00	210.00	120.46	173.00	92.70	18.80	18.90	27.70	22.00	92.00	135.00	206.00
Q media (m ³ /s)	2.58	5.91	7.10	5.61	3.70	1.62	0.43	0.14	0.10	0.11	0.56	1.52	4.10
Q minima (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q media (l/s Km ²)	3.9	9.0	10.8	8.5	5.6	2.5	0.6	0.2	0.1	0.2	0.8	2.3	6.2
Deflusso (mm)	122.6	24.1	26.3	22.9	14.6	6.6	1.7	0.6	0.4	0.4	2.3	6.0	16.7
Affl. Meteor. (mm)	669.5	68.9	61.1	59.3	60.7	47.6	35.9	26.9	33.8	47.3	66.7	81.8	79.5
Coeff. Deflusso	0.18	0.35	0.43	0.39	0.24	0.14	0.05	0.02	0.01	0.01	0.03	0.07	0.21

Figura 2-10: estratto degli Annali idrologici per il Torrente Cervaro alla stazione di Incoronata

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

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA			
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETRI-FER				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B
					FOGLIO 19 di 136

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

Con riferimento alla Figura 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 .

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

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

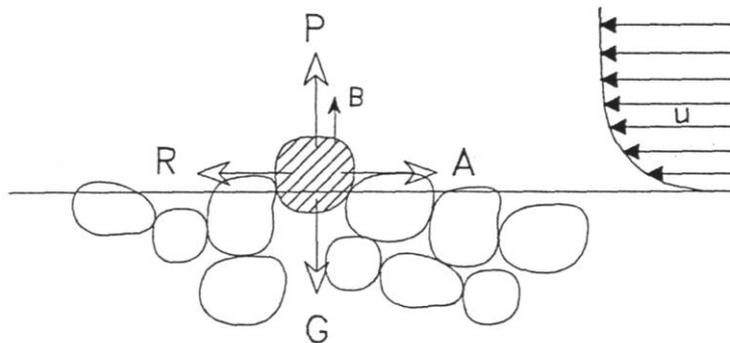


Figura 3-1: Schema delle forze agenti su una particella solida al fondo di un corso d'acqua

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 $u_* = \sqrt{\tau_0 / \rho}$
- 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*

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PIZZAROTTI						
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA		
M-INGEGNERIA						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 20 di 136

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

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*.

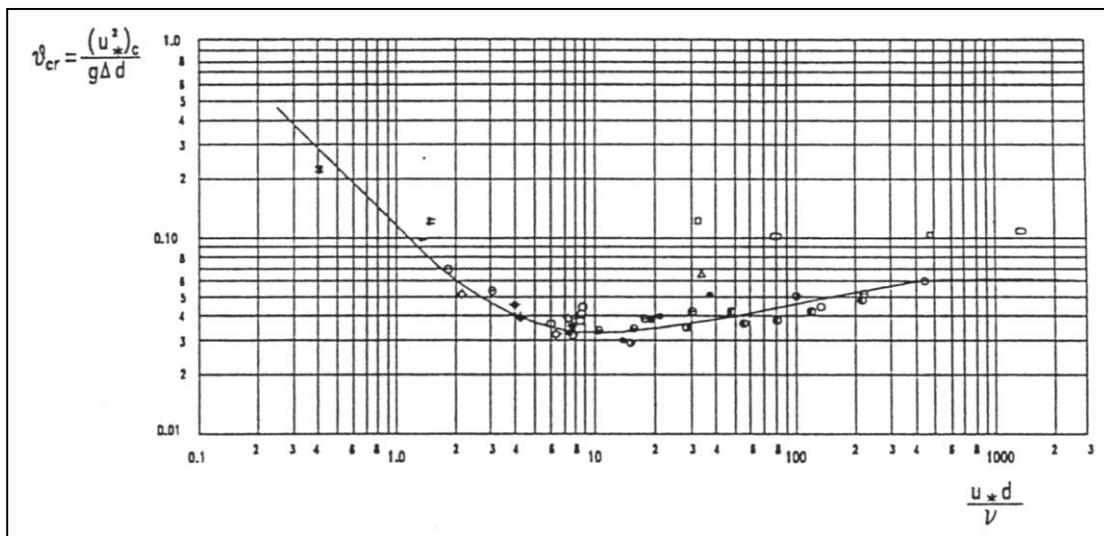


Figura 3-2: Diagramma di Shields

Questa curva separa la zona di mobilità delle particelle da quella 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 ($2 < Re_* < 200$) 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:

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

cioè:

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PIZZAROTTI						
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 21 di 136

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

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 $(\theta_{cr})_{\min} \approx 0.03 \div 0.04$ 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 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.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z R I	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 22 di 136

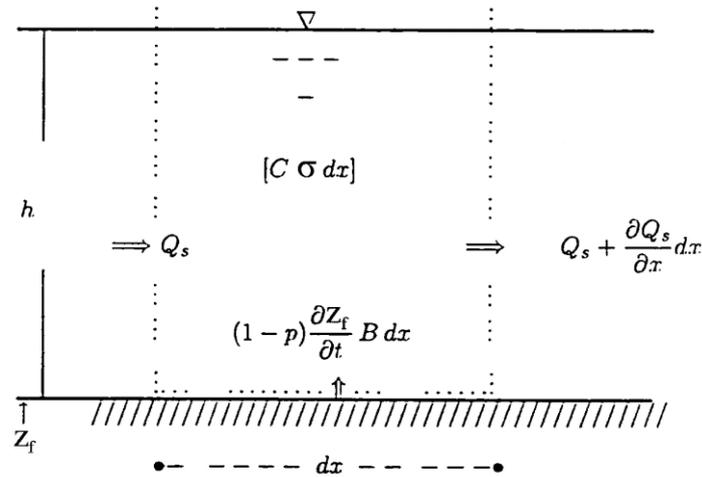


Figura 3-3: Bilancio di massa dei sedimenti nel volume di controllo

Introducendo il *coefficiente di ragguaglio delle concentrazioni* $\left(\alpha_c = \frac{\sigma \int_{\sigma} c u d\sigma}{\int_{\sigma} u d\sigma \int_{\sigma} c d\sigma} \right)$, 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.

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

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

$$\text{quando } \frac{\partial Q_s}{\partial x} > 0 \quad \left| \begin{array}{l} \Rightarrow \text{la portata solida aumenta} \\ \Rightarrow \text{l'alveo è in erosione} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{\partial z_f}{\partial t} < 0$$

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA			
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B
					FOGLIO 23 di 136

$$\text{quando } \frac{\partial Q_s}{\partial x} < 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} \text{la portata solida diminuisce} \\ \text{l'alveo è in deposito} \end{array} \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial z_f}{\partial t} > 0$$

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.

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 e 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:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 24 di 136

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

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

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

- o 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:

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

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

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

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 Formule di Trasporto solido e campo di applicabilità

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 3-1, di conseguenza, noto il diametro caratteristico del corso d'acqua oggetto di studio e le relative grandezze idrodinamiche, è possibile scegliere la formula più adatta. Il diametro caratteristico è ricavabile dalla curva granulometrica, riportate in FIGURA, mentre le grandezze idrodinamiche sono dedotte dal modello idraulico impiegato a fondo fisso.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 25 di 136

Tabella 3-1: 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-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.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 26 di 136

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 cambiata rispetto a quella 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 divide 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:

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

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

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

La distribuzione della concentrazione dei sedimenti è espressa da:

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

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:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 27 di 136

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

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 $260.67 - 0.667 T$ (con T in °F). L'esponente z della distribuzione della concentrazione dei sedimenti nella zona inferiore ed in quella superiore sono, 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.

Formola 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 formola 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 formola 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):

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

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

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

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

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

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 28 di 136

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

$$n=0.0$$

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

$$A=0.170$$

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

$$m=1.50$$

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

$$C=0.025$$

Nella formula d è espresso in metri.

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:

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

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 29 di 136

3.2 MODELLO IDRAULICO A FONDO MOBILE CERVARO - MODELLO 1D - PD

Nel seguito sono riportati i risultati dello studio monodimensionale a fondo mobile, condotto in sede di PD, che saranno utilizzati quali benchmark per le successive analisi 2D sviluppate nell'ambito del PE.

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 5.0.5 del giugno 2018 utilizzata nel presente studio.

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:

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)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 30 di 136

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

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

Questa equazione può essere espressa in termini di differenze finite:

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

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 DEL MODELLO

La geometria del modello di calcolo a fondo mobile è costruita a partire dai rilievi topografici appositamente eseguiti per il Progetto in esame. Ricordiamo che la geometria del modello di calcolo è costituita dalle sezioni trasversali, dalle opere eventualmente presenti e dalle caratteristiche idrauliche delle sezioni stesse

3.2.2.2 SCABREZZA IDRAULICA

I valori di scabrezza adottati sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 3.2-1: valori di scabrezza adottati

Corso d'acqua	golena sinistra	canale principale	golena destra
Cervaro	0,06	0,04	0,06

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 31 di 136

La scabrezza idraulica può anche variare in base alla dinamica del trasporto solido, in quanto i sedimenti in movimento offrono una minore resistenza al moto dell'acqua (USACE-HEC, 1982). È quindi possibile far calcolare al codice di calcolo il valore della cosiddetta "scabrezza di grano", scegliendo tra le formulazioni proposte da Limerinos (1970), Brownlie (1983) e Van Rijn (1984).

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

Le portate simulate per la valutazione delle tendenze evolutive dell'alveo sono quelle medie mensili, ricavate come illustrato nel precedente paragrafo 2.5 e riportate nella seguente Tabella 3.2-2. 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 *1 ora*.

Tabella 3.2-2: valori di portata media mensile simulati

Corso d'acqua	Portata media mensile (m ³ /s)
Cervaro	7,10

Livello idrico di valle

Il livello idrico di valle deve essere assegnato per ogni intervallo temporale con cui viene discretizzato l'idrogramma di calcolo e può essere calcolato dal programma assegnando la scala di deflusso della sezione di valle. Nel caso di portata costante per tutta la durata della simulazione, è sufficiente fornire un unico valore di livello idrico, che è stato posto pari all'altezza di moto uniforme.

Carico solido entrante

La condizione al contorno relativa ai sedimenti riguarda l'apporto di materiale solido al tratto di studio. Nel caso in esame, in base alle informazioni ricavate dalla caratterizzazione geomorfologica del bacino, è stato possibile valutare in via preliminare se il carico entrante da monte nel modello di calcolo è significativo ai fini delle valutazioni sulla tendenza evolutiva. Se la sezione di monte del modello è sufficientemente lontana dal tratto di interesse³, si può anche assumere un carico entrante nullo, in modo che siano proprio le prime sezioni di monte a costituire un serbatoio di sedimenti per il modello a fondo mobile. Qualora, però, ci si trovi in condizioni di forte apporto solido dai versanti (in caso di fenomeni franosi attivi, ad esempio), è necessario stimare tale apporto ed introdurlo come condizione al contorno. In alternativa, è anche possibile estrarre dai risultati del codice di calcolo il carico solido uscente dalla sezione di valle e inserirlo come carico entrante in una successiva simulazione. Questa procedura richiede di simulare più valori di portata.

³ La valutazione della tendenza evolutiva riguarda principalmente, in questa sede, il tratto interessato dall'attraversamento in progetto.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 32 di 136

Il codice di calcolo è anche 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 granulometrica.

In via cautelativa è stata adottata, per il caso in esame, la condizione di carico di equilibrio, in quanto l'analisi di caratterizzazione geomorfologica ha portato a valutare che vi è apporto di sedimenti da monte.

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.

Nel caso 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 10 m.

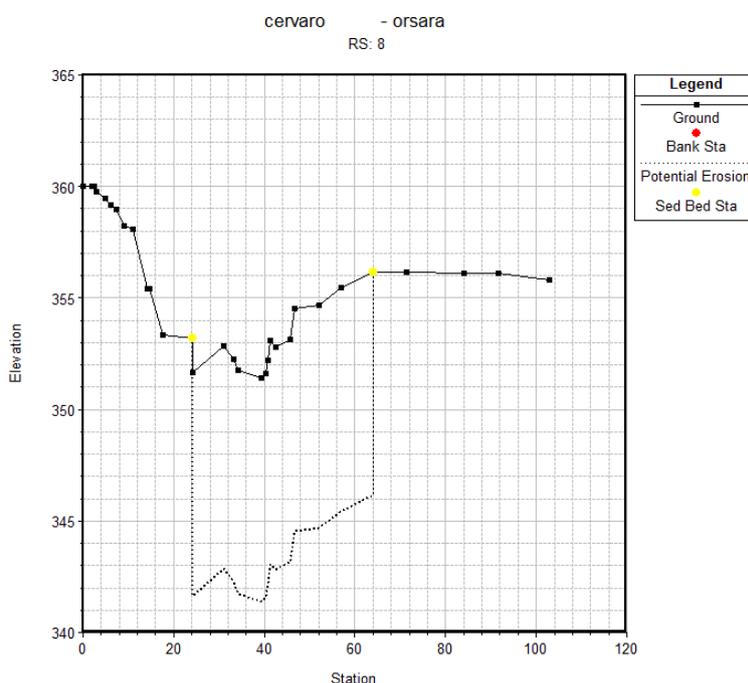


Figura 3-4: esempio dell'inserimento dei limiti del fondo mobile coincidenti con i limiti del canale principale

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 33 di 136

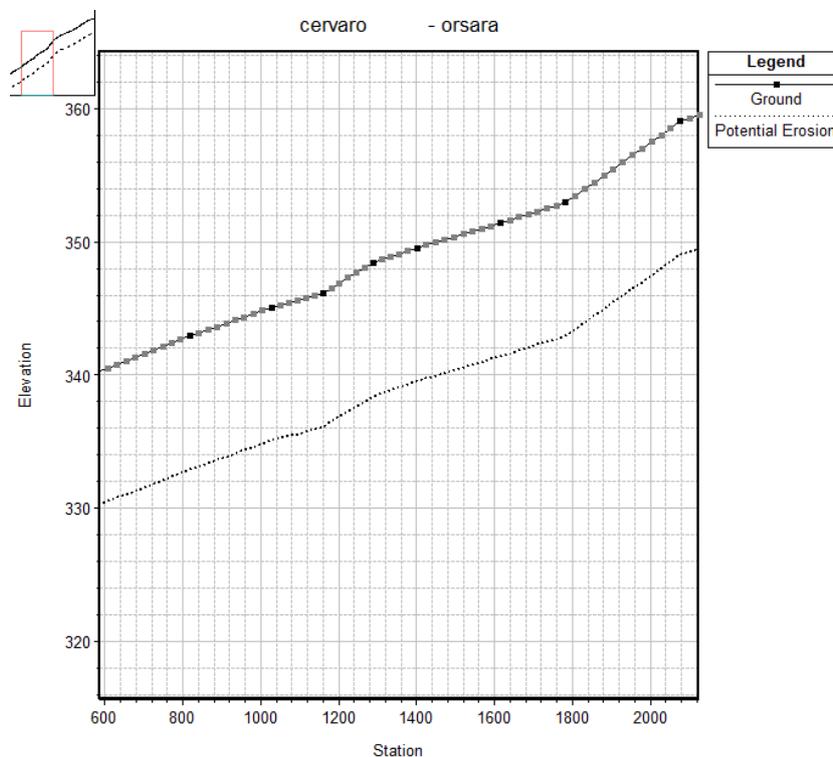


Figura 3-5: esempio dell'inserimento della massima profondità erodibile

3.2.2.5 CARATTERISTICHE DEL CAMBIAMENTO DEL FONDO ALVEO

La morfologia del corso 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 il caso 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 alla granulometria rilevata.

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.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 34 di 136

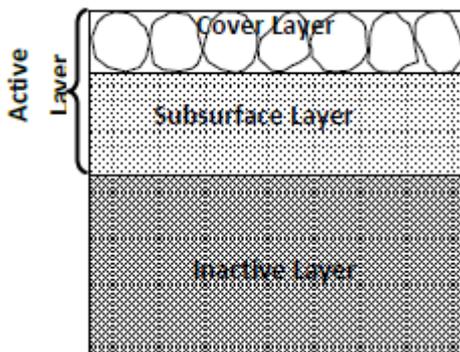


Figura 3-6: schema del metodo di mescolamento del fondo alveo

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 del campione prelevato secondo i criteri riportati nel precedente paragrafo 2.3.3. 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.

La curva granulometrica è stata associata all'intero tratto di studio, in quanto si è osservato che per quel tratto le caratteristiche morfologiche sono uniformi.

3.3 MODALITÀ EVOLUTIVE DELL'ALVEO

3.3.1 Tendenza all'erosione e alla deposizione

Le modalità evolutive dell'alveo del Torrente Cervaro, per il tratto 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 del modello idraulico a fondo mobile descritto nel precedente paragrafo.

Il risultato della simulazione è riportato in figura che rappresenta il profilo del fondo alveo al termine del periodo di simulazione (30 giorni a portata costante, pari alla portata media mensile caratteristica), in confronto con il profilo di fondo alveo ad inizio simulazione. La seguente tabella riporta in sintesi le condizioni di simulazione ed i risultati ottenuti in termini di tendenza all'erosione o alla deposizione. Nel tratto di interesse il Torrente Cervaro presenta una zona con tendenza alla deposizione poco a monte dell'attraversamento in progetto, mentre in corrispondenza di quest'ultimo si ha una tendenza all'erosione.

Tabella 3.3-1: Stima della tendenza evolutiva

Corso d'acqua	Portata media mensile (m ³ /s)	Apporto di sedimenti	Tendenza evolutiva
Cervaro	7	Carico di equilibrio	deposizione/erosione

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 35 di 136

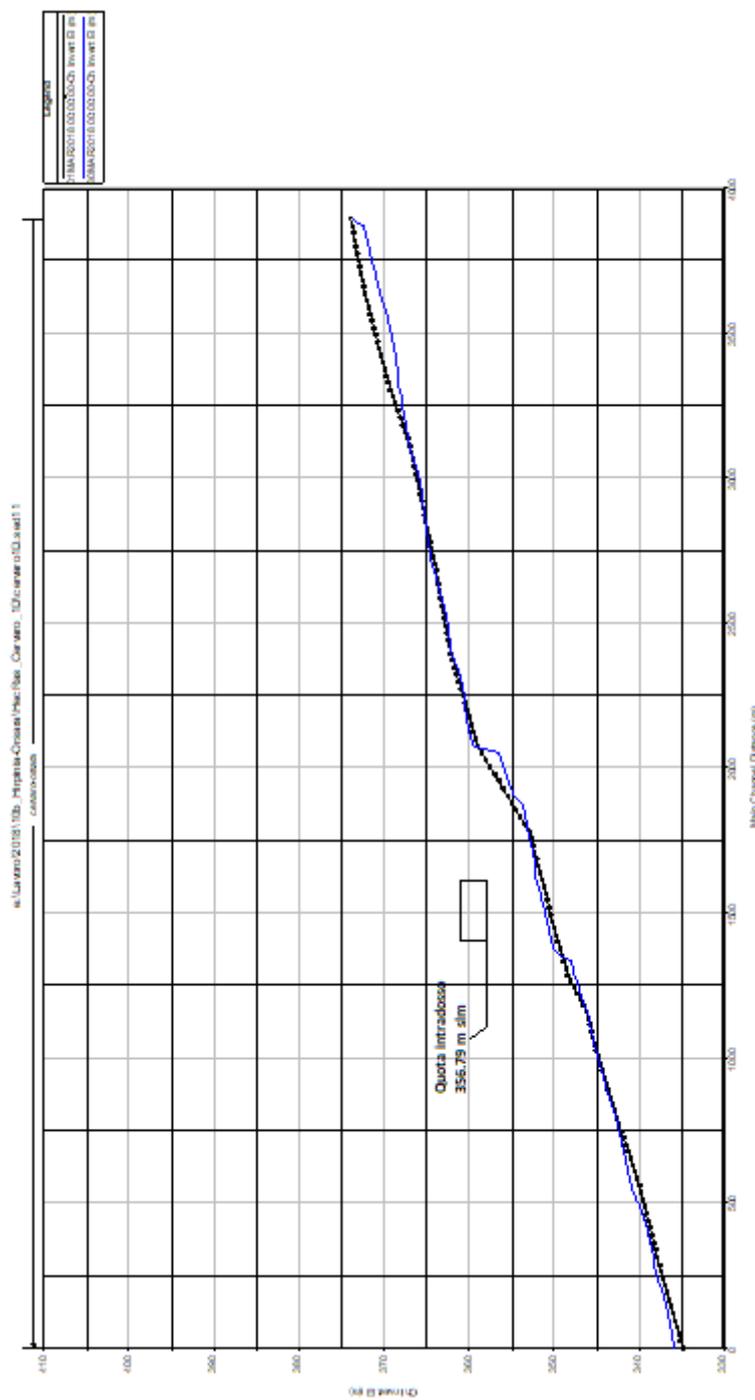


Figura 3-7: Torrente Cervaro, profilo del fondo alveo (in blu il profilo al termine della simulazione a fondo mobile)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 36 di 136

3.4 MODALITÀ EVOLUTIVE SISTEMA ACQUARA - CERVARO MODELLO 2D A FONDO MOBILE - PE

Per il Torrente Cervaro, vista l'interferenza con il viadotto VI01 e le criticità riscontrate in termini di pericolosità geomorfologica e propensione al dissesto, è stato implementato un apposito studio idraulico idrodinamico 2D a fondo mobile per un $Tr=300$ anni, ovvero, valori di portata stimate per la verifica di compatibilità delle opere previste. Tale modello, include anche l'alveo del T. Acquara che rappresenta un affluente minore e quindi risulta opportuno valutare l'interazione tra i due corsi d'acqua anche per quanto concerne la valutazione delle dinamiche di trasporto solido.

Il presente studio, quindi, ha lo scopo di definire, nelle condizioni naturali del torrente Cervaro, la sua tendenza evolutiva al trasporto solido in modo da poter stimare le aree fluviali in cui, il suddetto torrente, mostra una tendenza all'erosione o alla deposizione di materiale solido in modo da ottimizzare il dimensionamento delle opere di fondazione e protezione del viadotto VI01.

A tale scopo è stato utilizzato come codice di calcolo, il software Hec RAS che nell'ultima versione rilasciata, la 6.1.0, consente di implementare modelli di trasporto solido bidimensionali. Questo consente di ricostruire mappe 2d sulla distribuzione del sedimento lungo tutto il corso d'acqua identificando le aree di deposito ed erosione. Di seguito viene descritto il modello adottato.

3.4.1 Metodo di calcolo per la stima del trasporto solido.

Nel caso di modello a fondo mobile bidimensionale, i metodi per la stima del trasporto solido sono i classici metodi adottati anche per il modello a fondo mobile 1D. La differenza di calcolo consta nell'algoritmo di risoluzione delle equazioni dei metodi implementabili in quanto l'elemento geometrico principale è rappresentato dalla mesh di calcolo costituita da una maglia di celle in cui gli elementi principali sono le facce a contatto tra le celle circostanti e i nodi al centro della cella stessa. In questo caso il metodo utilizzato si basa su una discretizzazione dell'equazione mediante metodo ai volumi finiti, mentre nel caso di un classico modello idraulico 2d viene adottato un metodo alle differenze finiti. L'equazione cardine su cui si base il metodo di risoluzione per la stima del trasporto solido in corrispondenza delle facce di ogni cella è il seguente:

$$\frac{\Omega_P^{n+1} C_{tk,P}^{n+1}}{\Delta t \beta_{tk,P}^{n+1}} = \frac{\Omega_P^n C_{tk,P}^n}{\Delta t \beta_{tk,P}^n} + \sum_f \left[\frac{A_f \varepsilon_{tk,f}}{\delta_{PN}} \left(C_{tk,N}^{n+\theta} - C_{tk,P}^{n+\theta} \right) - F_f C_{tk,f}^{n+\theta} \right] + (E_{tk}^{HF} - D_{tk}^{HF} + S_{tk})_P A_P^W$$

Con:

- Ω : Volume della cella,
- P: Indice di cella,
- f: indice faccia tra due celle di indice P e N,
- N: indice di cella successiva,
- n: time step,
- C_{tk} : concentrazione del k-esimo sedimento,
- β_{tk} : fattore di correzione di concentrazione del sedimento,

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 37 di 136

- E_{tk} : coefficiente di diffusione del k-esimo sedimento,
- A_f : area verticale cella,
- F_f : valore di portata in direzione normale alla cella,
- E_{tkHF} : massa solido eroso $[M/T/L^2]$
- D_{tkHF} : massa solido depositato $[M/T/L^2]$,
- S_{tk} : massa solido in ingresso alla cella $[M/T/L^2]$,
- AWP : area bagnata cella proiettata sull'orizzontale,
- δ_{PN} : distanza tra due nodi di calcolo delle celle N e P,
- $n + \theta$: coefficiente di peso temporale.

La variazione del fondo, in erosione e/o deposito si basa su un approccio di tipo sub-grid, ovvero, in ogni cella di calcolo, si hanno due curve, una per l'area e una per il volume.

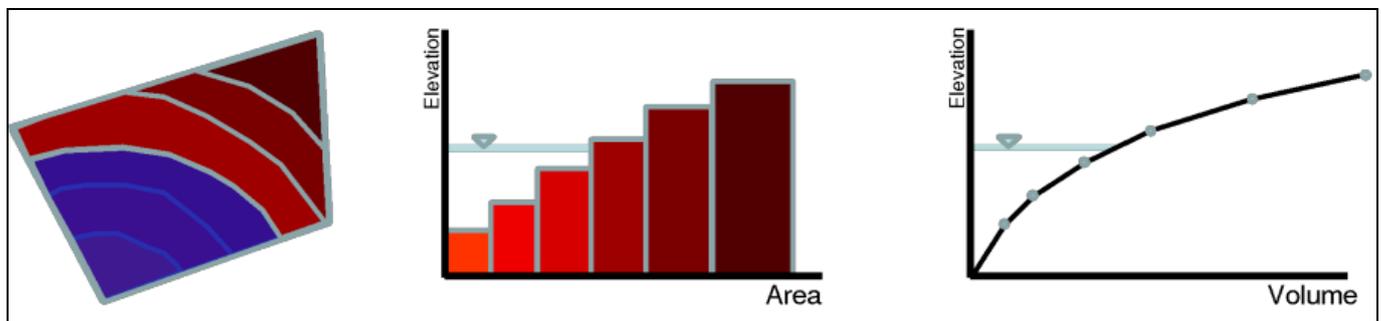


Figura 3-8: schema sub grid

Per i metodi che non prevedono una soglia massima di trasporto solido, come ad esempio le equazioni di Engelund-Hansen (1967), Kilinc and Richardson (1973), In questo caso il codice di calcolo prevede la stima di un potenziale trasporto solido massimo mediante un coefficiente moltiplicativo espresso come:

$$f_T = \max[\min(2\tau_b/\tau_{crk} - 1, 1), 0]$$

τ_b : tensione tangenziale sul fondo,

τ_{crk} : tensione tangenziale limite di trascinamento.

3.4.2 Geometria del modello Stato Attuale

Per quanto la definizione della geometria di calcolo, questa è equivalente a quanto previsto in un classico modello 2d. per maggiori dettagli sulla modella idraulica bidimensionale si rimanda alla relazione specifica IF3A02EZZRIID0002001B. In questo caso si è ricostruita una maglia di calcolo

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 38 di 136

comprendente sia il Cervaro che l'Acquara. Nello specifico, per l'Acquara è stato considerato tutto il tratto a monte delle opere in progetto fino al piede dell'area in frana presente nella parte di monte del bacino e oggetto di studio della debris flow affrontato nei paragrafi successivi. Questo ha permesso di valutare anche l'apporto di sedimento, oltre che dal fondo alveo anche delle sponde. Alla mesh di calcolo è stata attribuita, cautelativamente una scabrezza di Manning omogenea e pari a $0.06 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Si è adottata una maglia con risoluzione 5m per le aree esterne, mentre, Il fondo alveo e le sponde, sono state ottimizzate prevedendo opportune breakline con una risoluzione di cella pari a 1m.

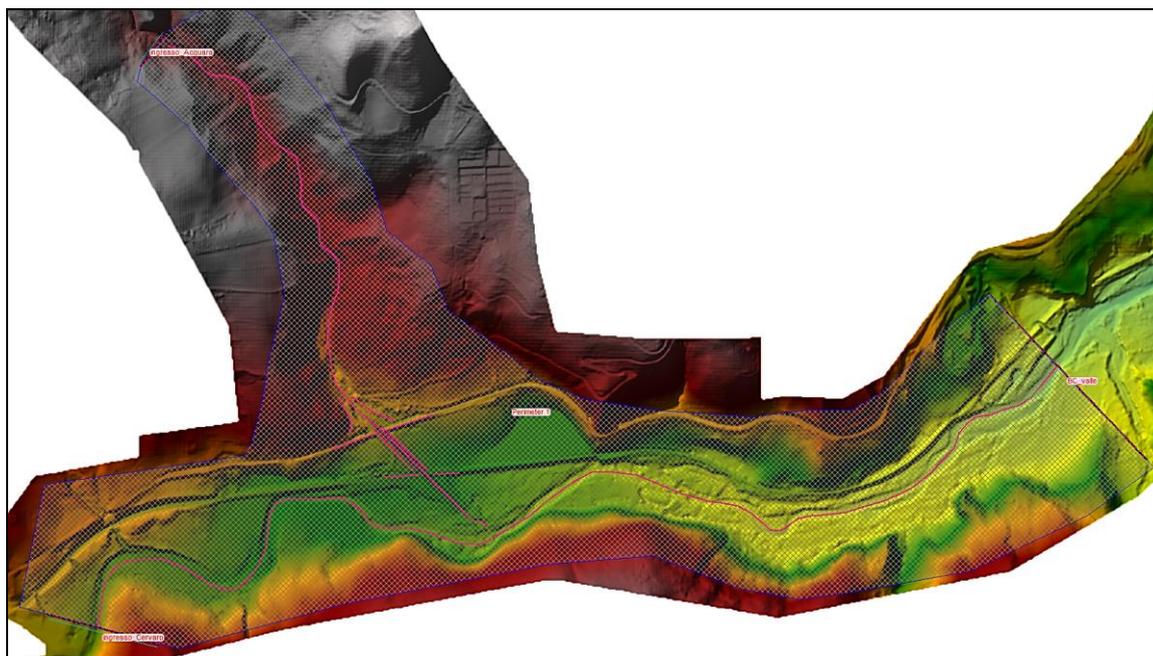


Figura 3-9: mesh di calcolo

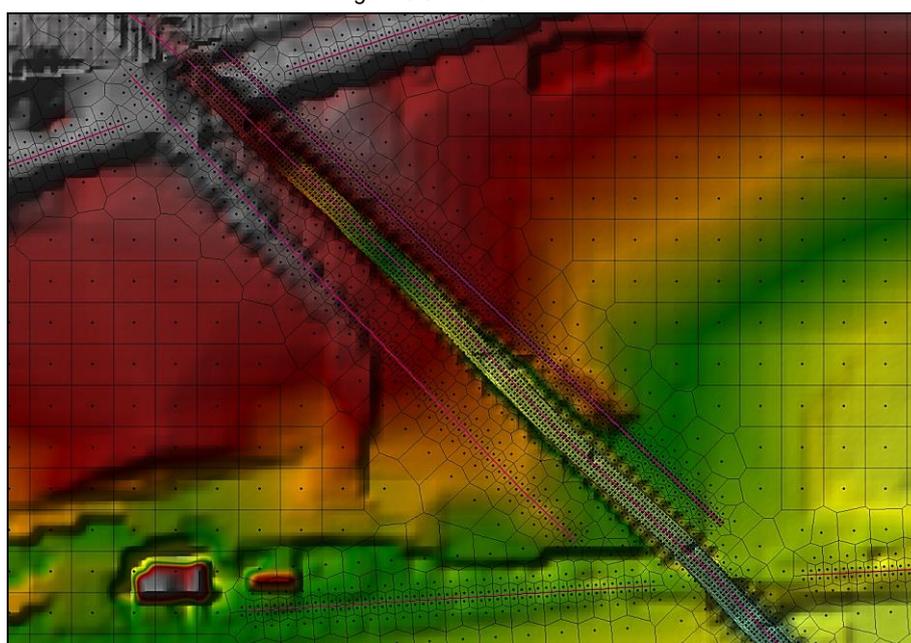


Figura 3-10: dettaglio affinamento della mesh in corrispondenza dell'alveo.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 39 di 136

3.4.3 Geometria del modello Stato Progetto

A partire dalla geometria del modello Stato Attuale, al fine di implementare e verificare le opere di sistemazione del viadotto in progetto nei confronti dell'azione erosiva dei deflussi di piena, quest'ultima è stata integrata inserendo le pile del viadotto e la nuova configurazione d'alveo del T. Cervaro in corrispondenza dell'opera VI01. Per l'inserimento delle pile si è fatto uso dell'apposito strumento di editing del Terrain previsto nella versione di HEC-RAS adottata. Tale strumento consente di definire la tipologia, le dimensioni e l'orientamento delle pile rispetto all'orizzontale, dove associata la quota di intradosso per ciascuna pila si procede alla modifica del Terrain. Inoltre, in corrispondenza di ciascuna pila è stata ottimizzata la mesh di calcolo.

In merito all'inserimento della nuova configurazione d'alveo del Cervaro e dell'intera sistemazione in massi legati, dal modello BIM si sono estratte le rispettive superfici in formato dtm in modo da generare un nuovo terrain che ingloba tale superficie di progetto. Anche in questo caso si è proceduto all'ottimizzazione della mesh di calcolo mediante l'uso delle breakline.

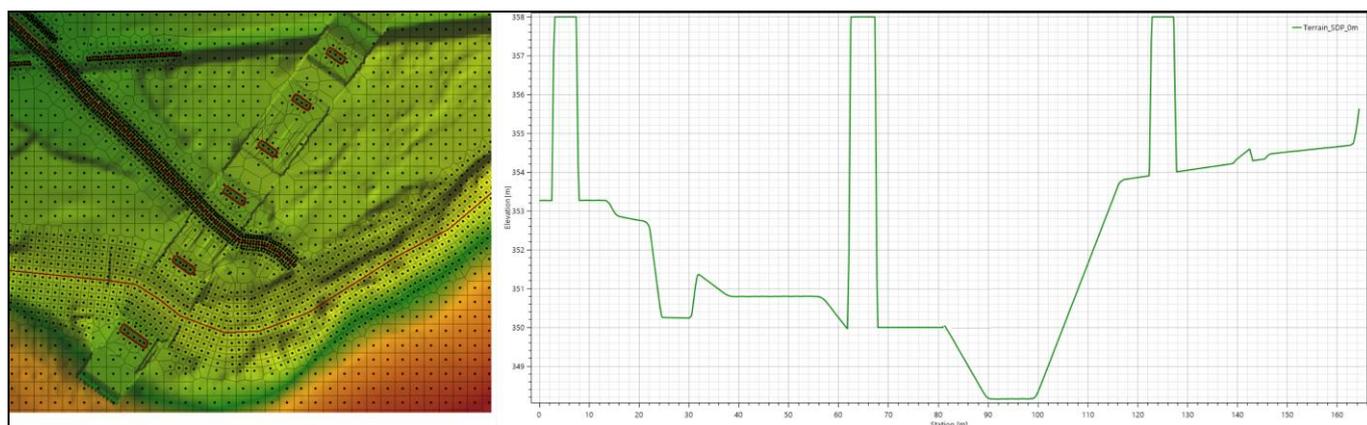


Figura 3-11: geometria Stato Progetto

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z R I	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 40 di 136

3.4.4 Condizioni al contorno del modello

Come condizioni al contorno, oltre a quelle che definiscono la parte puramente idraulica, vanno aggiunte le condizioni al contorno che definiscono gli input del trasporto solido.

Per quanto riguarda la parte idraulica sono stati inseriti i due idrogrammi stimati mediante modello idrologico in HEC-HMS e per $Tr=300$ anni, per maggiori dettagli sul modello idrologico si rimanda alla specifica relazione IF3A02EZZRIID0001000B.

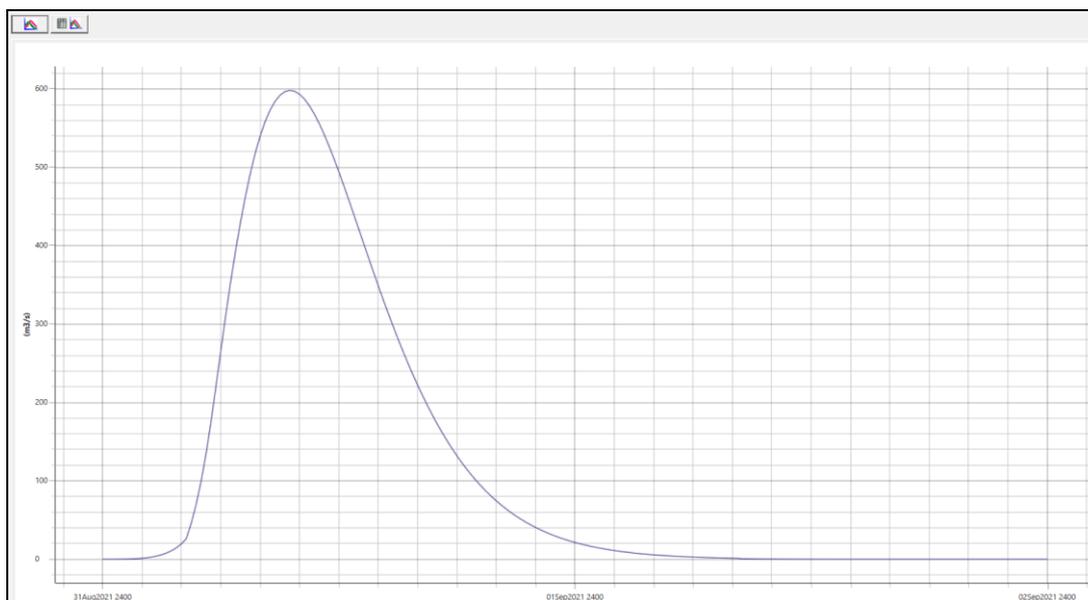


Figura 3-12: idrogramma Cervaro

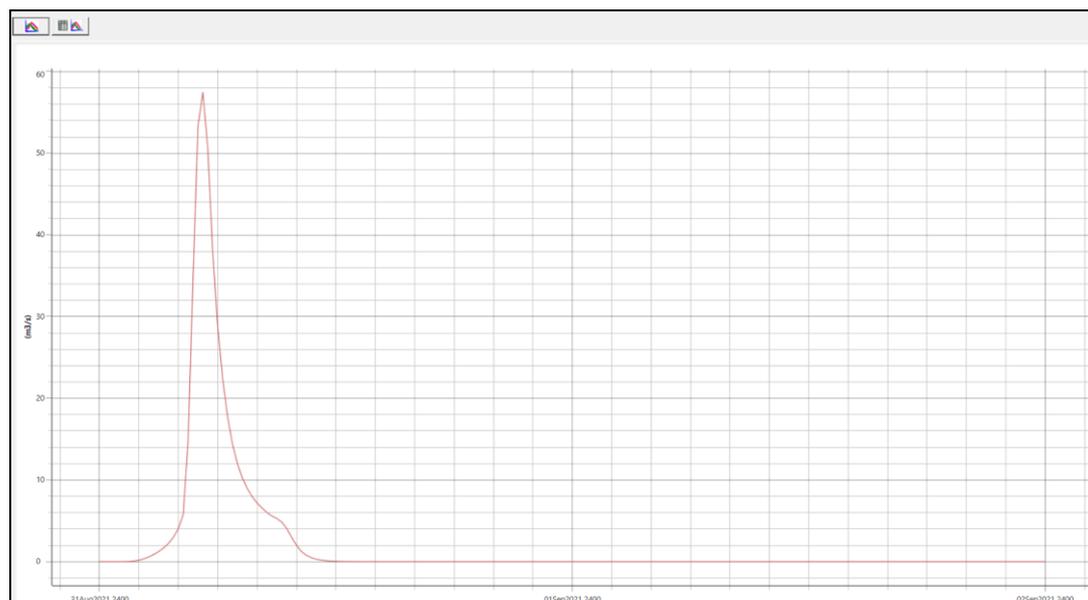


Figura 3-13: idrogramma Acquara

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA			
PIZZAROTTI					
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF		
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 41 di 136

Per quanto riguarda le condizioni al contorno per il modulo del trasporto solido, oltre alle curve granulometriche che permettono di definire la granulometria d'alveo, nel caso di un modello 2d a fondo mobile bisogna definire la distribuzione di tali sedimenti. Il software consente di definire tale distribuzione mediante shapefile. In questo caso la funzione dello shapefile è esclusivamente di definire le aree a cui poi associare le curve granulometriche.

Nel caso in esame, avendo a disposizione due curve granulometriche, si sono definite due aree principali, una per il Cervaro e una per l'Acquara. Per il tratto del T. Acquara, che presenta una sezione rettangolare rivestita in calcestruzzo, è stata definita un'area di materiale non erodibile.

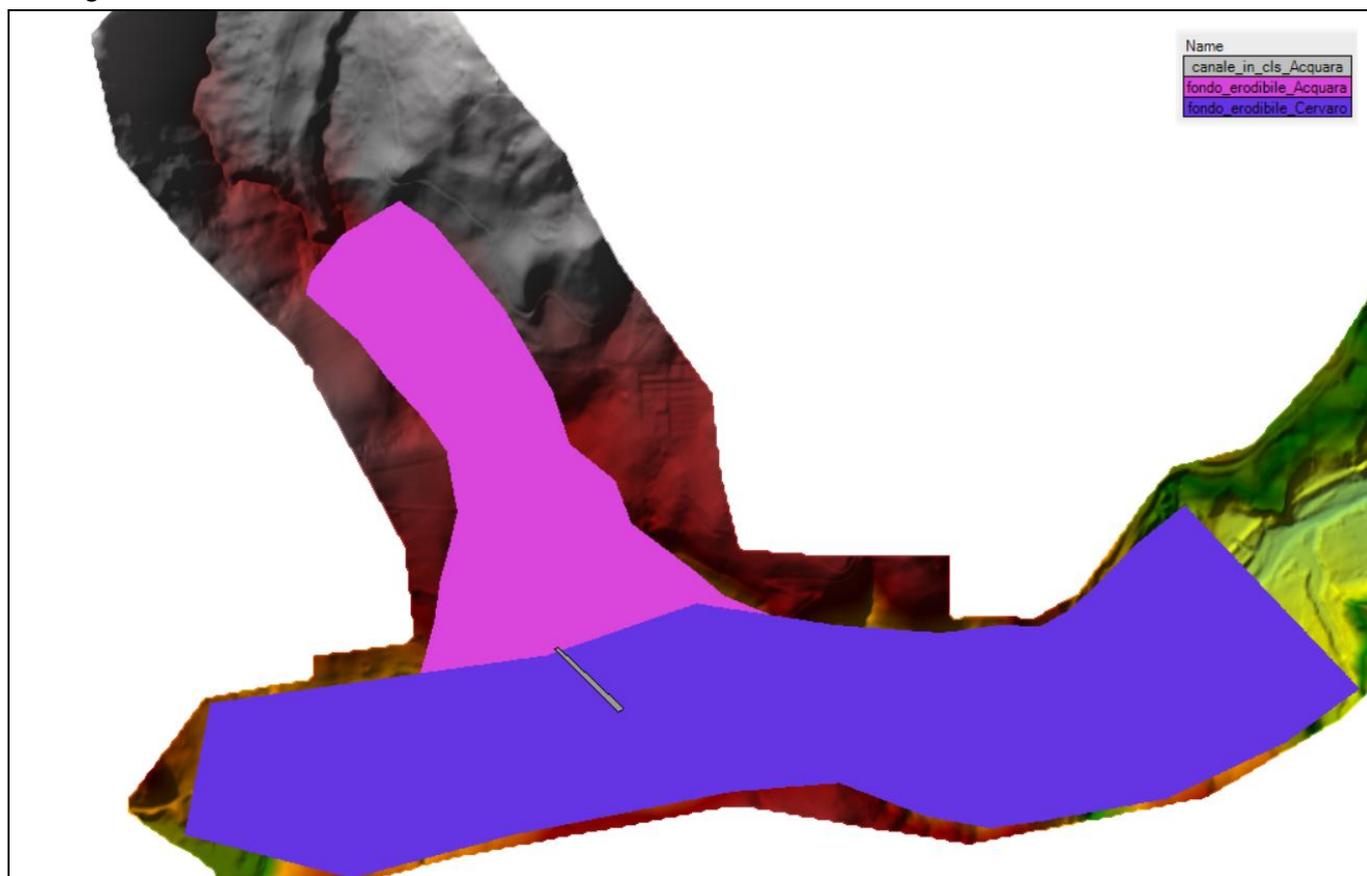


Figura 3-14: aree di distribuzione sedimenti modello Stato Attuale

Al fine di completare la procedura di definizione delle condizioni di trasporto solido sono state inserite le curve granulometriche così come previsto anche nel modello 1D e come condizioni al contorno sono state definite, sia per l'Acquara che per il Cervaro, la condizione di equilibrio.

Per il modello dello Stato di Progetto, oltre a quanto appena descritto, ai fini di una corretta modellazione e verifica dei rivestimenti d'alveo, è stato necessario definire le aree coperte dal rivestimento assegnato con la rispettiva granulometria, ovvero, un $D=1.75m$ e un $D=0.80m$. A completare le condizioni al contorno per lo Stato di Progetto sono stati implementati anche i due taglioni che hanno il compito di confinare e raccordare il rivestimento. Per il taglione è prevista una profondità di 2.5m in corrispondenza del rivestimento del T. Acquara e della parte di rivestimento con massi di diametro 1.75m. Nella zona di rivestimento con massi da 0.80m è prevista una profondità di 1.m. I valori di tali profondità saranno meglio chiarite nei paragrafo 3.4.6. In quest'ultimo caso sono stati definiti come superfici inerodibili.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 42 di 136

Per quanto riguarda le pile, anch'esse sono state definite all'interno della geometria come aree inerodibili.



Figura 3-15: aree di distribuzione sedimenti modello Stato Progetto

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 43 di 136

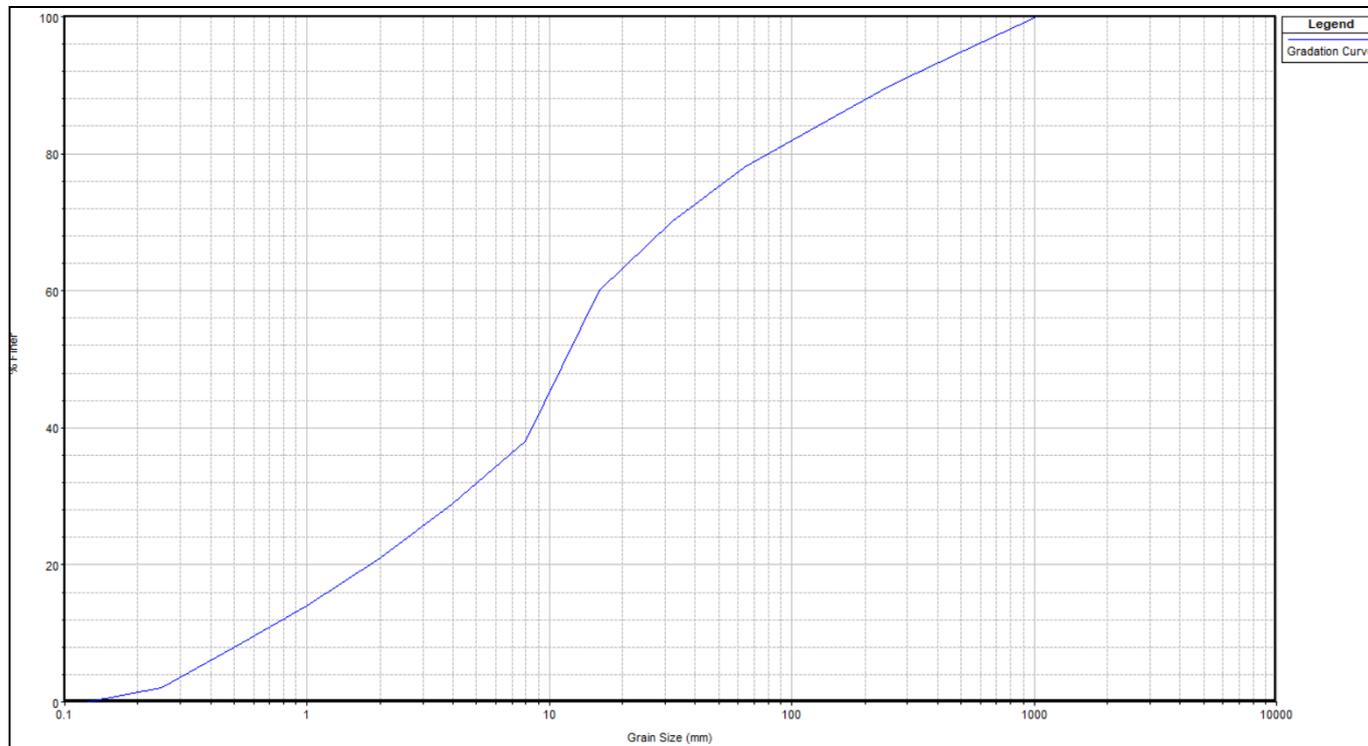


Figura 3-16: curva granulometrica T. Cervaro

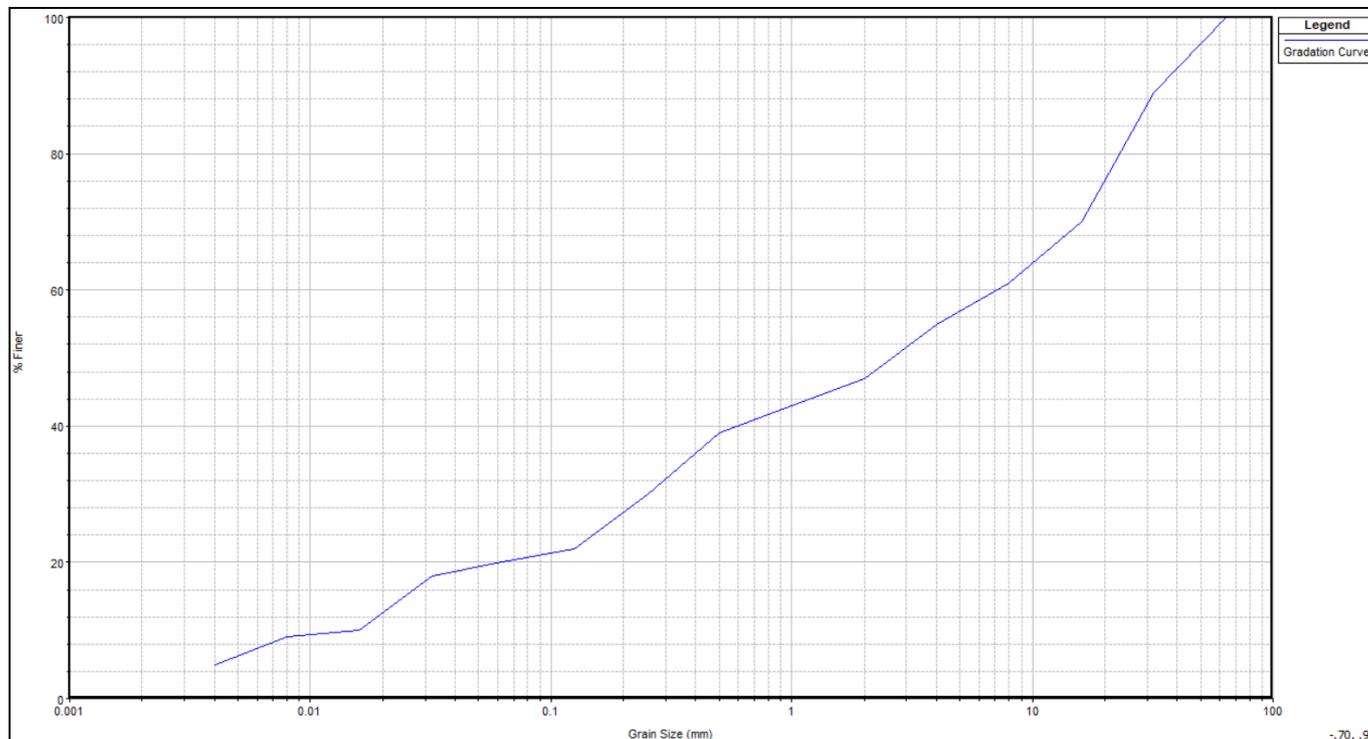


Figura 3-17: curva granulometrica T. Acquara

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 44 di 136

3.4.5 Risultati modello 2D a fondo mobile Stato Attuale

Sulla base della geometria e delle condizioni al contorno appena descritte si sono ottenuti dei risultati in termini di mappe 2d dell'evoluzione del materiale d'alveo che ha permesso di valutare le zone di erosione e deposito.

Di seguito si riporta quanto ottenuto. La seguente immagine rappresenta la distribuzione delle aree di scavo ed erosione. La legenda quindi mostra, in metri, le altezze di erosione (valori positivi) e le profondità di scavo (valori negativi).

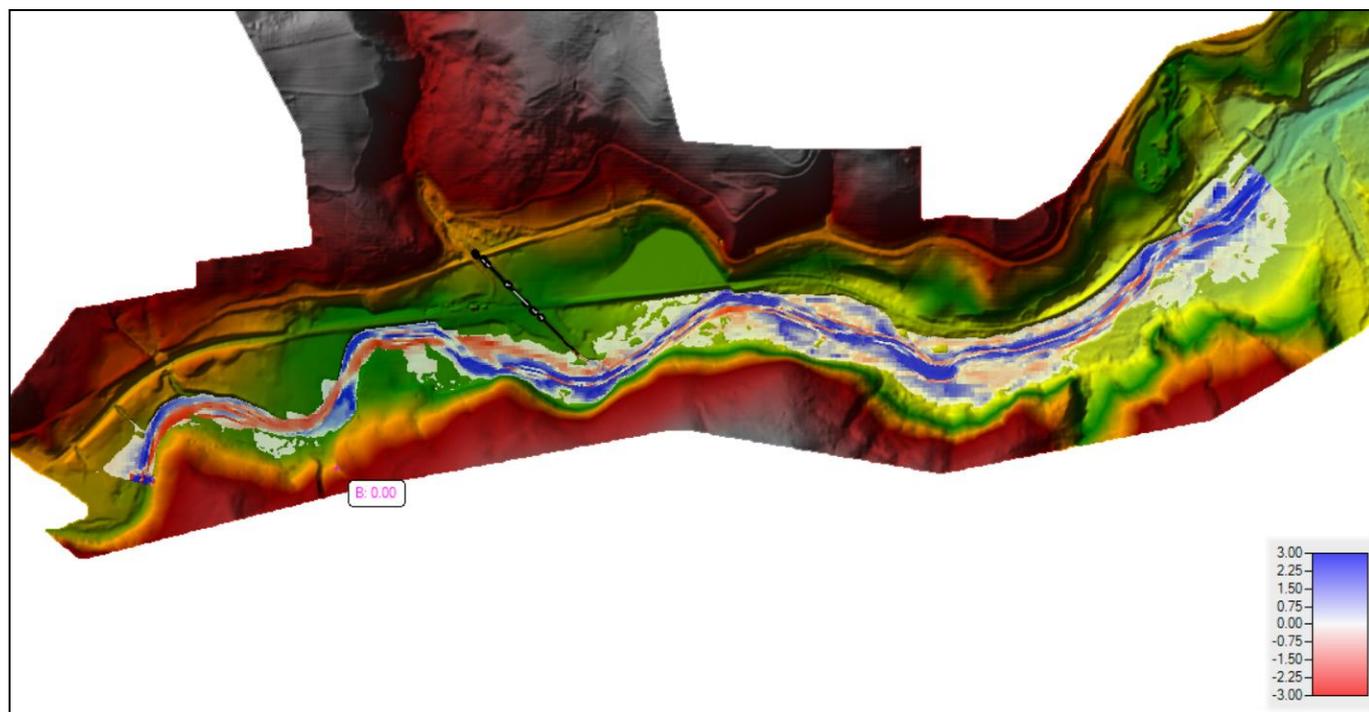


Figura 3-18: mappa evoluzione del fondo sistema Cervaro – Acquara – Stato Attuale

Dall'analisi dei risultati, il torrente Cervaro, nel tratto simulato di monte mostra una tendenza all'erosione nella zona dell'alveo inciso; al contrario - nella zona in cui è previsto l'inserimento del viadotto VI01 - mostra una tendenza all'erosione della sponda sinistra e una tendenza al deposito in corrispondenza della sponda destra. Nel tratto a valle mostra un'alternanza di deposito ed erosione in destra e sinistra idraulica.

Nello specifico, nella zona della pila 2 (in sinistra idraulica del Cervaro) si registra un'erosione massima di circa 1.50m, mentre, nella zona della pila 1 (in destra idraulica del Cervaro) si registra un deposito massimo di circa 3m.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV Soci WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER		PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B FOGLIO 45 di 136

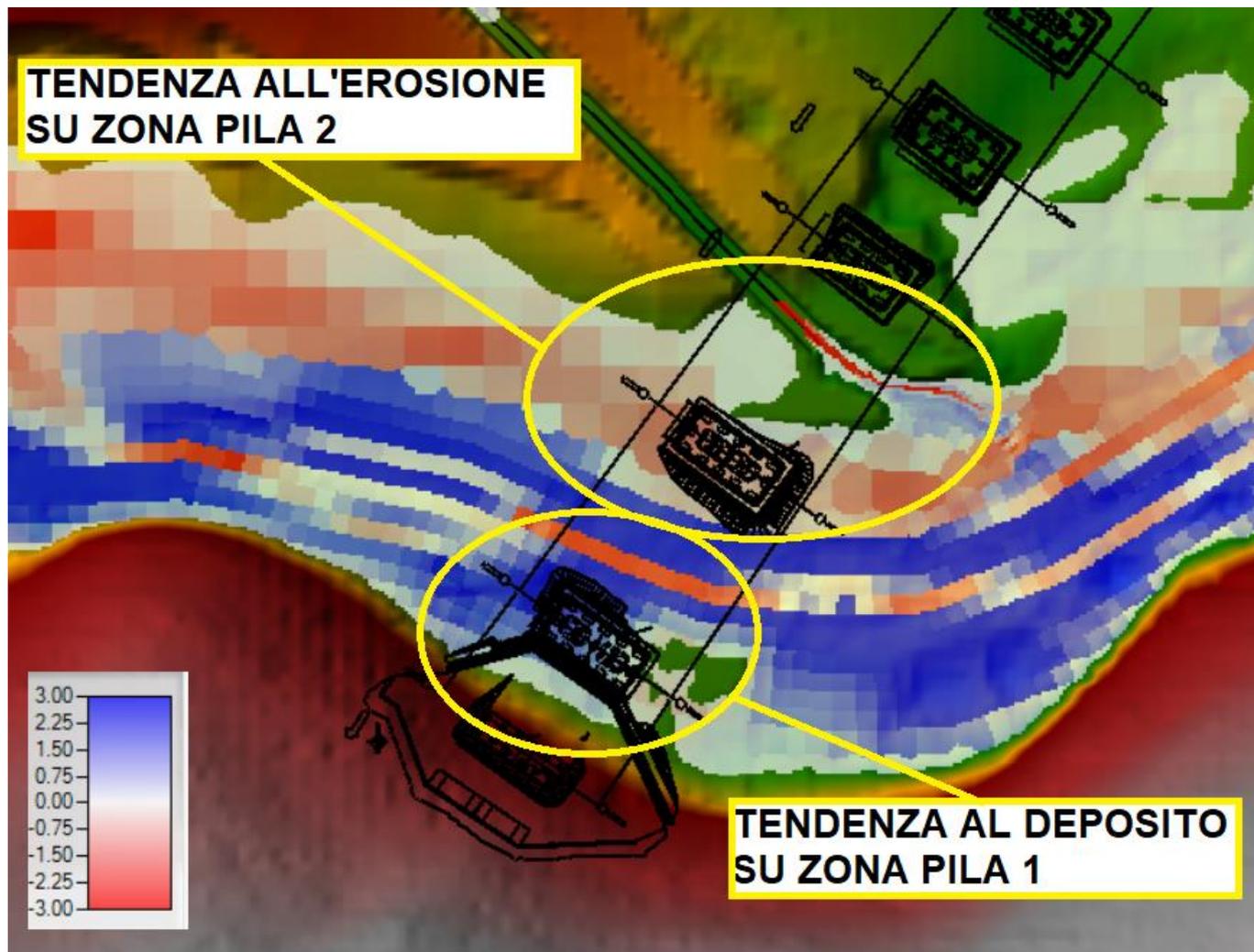


Figura 3-19: dettaglio mappa evoluzione del fondo sistema Cervaro – Acquara – Stato Attuale

Di seguito si riporta, inoltre, la mappa delle concentrazioni totali (Total Load Concentration) espressa come mg/L.

Tale modello consente di ricavare ulteriori parametri per la valutazione del trasporto solido ovvero consente, in corrispondenza di una sezione, di valutare una serie di parametri. Nel caso in esame si è ritenuto riportare i seguenti valori in corrispondenza della sezione del viadotto di progetto VI01.

Tabella 3-2: valori caratteristici indice di trasporto solido totale – Stato Attuale – sezione asse viadotto VI01

indice di trasporto solido totale MEDIO	52.07	kg/m/s
indice di trasporto solido totale CUMULATO	235.31	kg/m/s

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 46 di 136

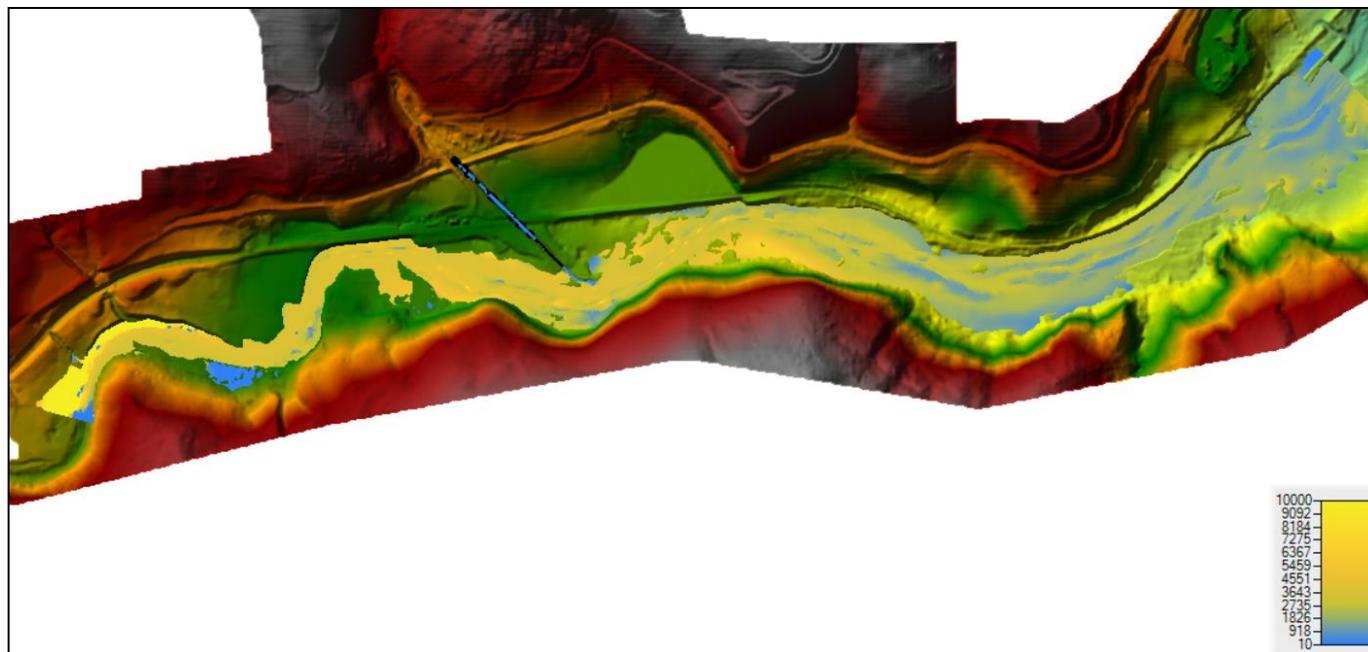


Figura 3-20: mappa delle concentrazioni dei sedimenti sistema Cervaro – Acquara – Stato attuale

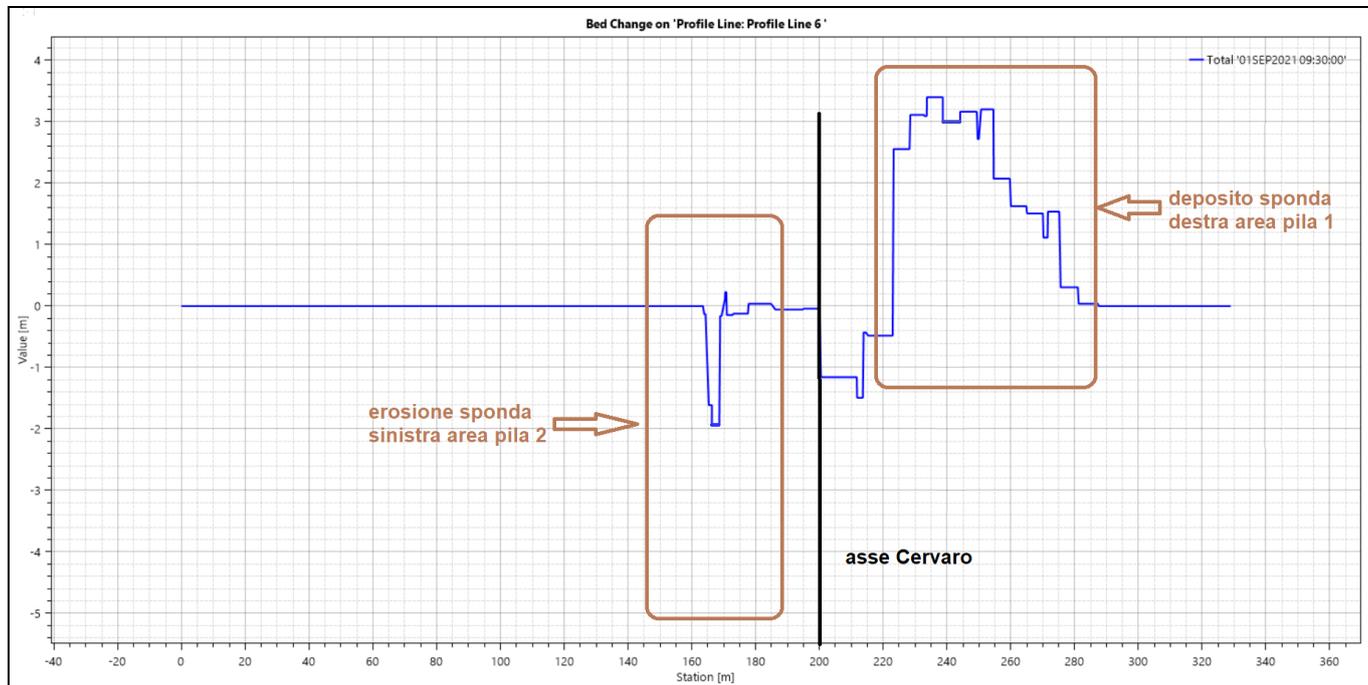


Figura 3-21: variazione del fondo in asse VI01 – Stato attuale

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 47 di 136

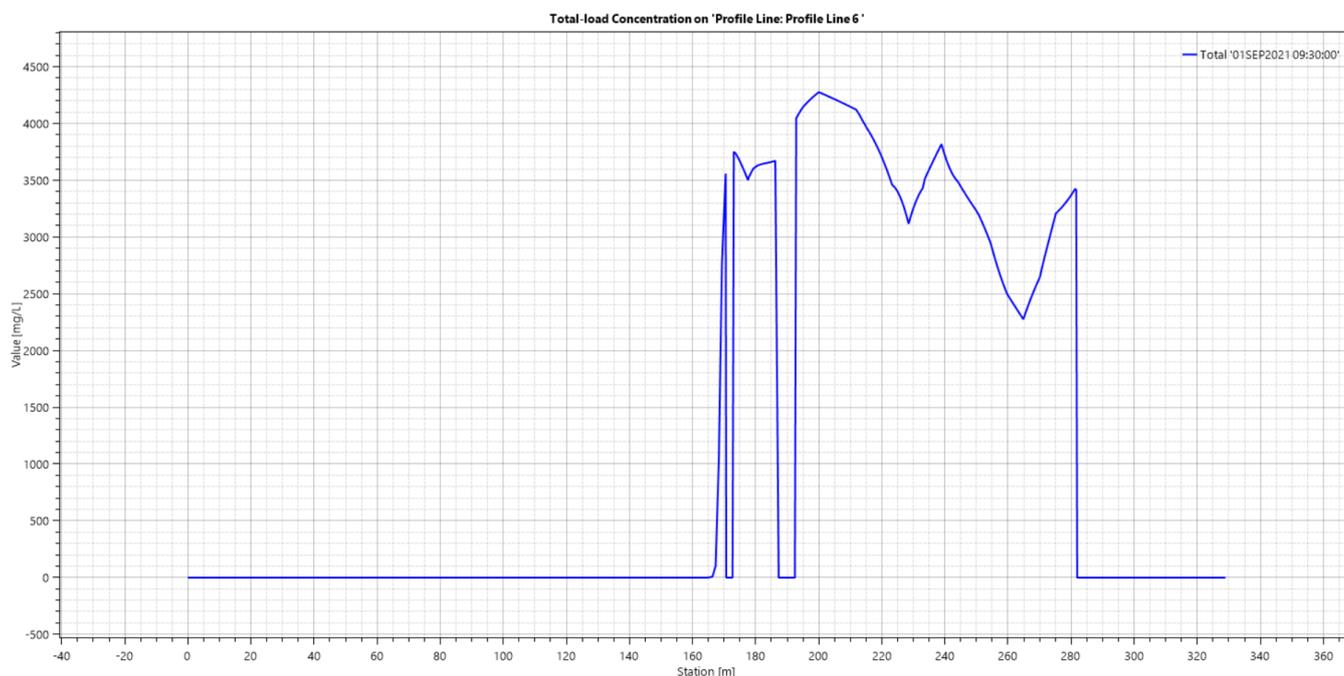


Figura 3-22: variazione della concentrazione del solido in corrispondenza del VI01 – Stato attuale

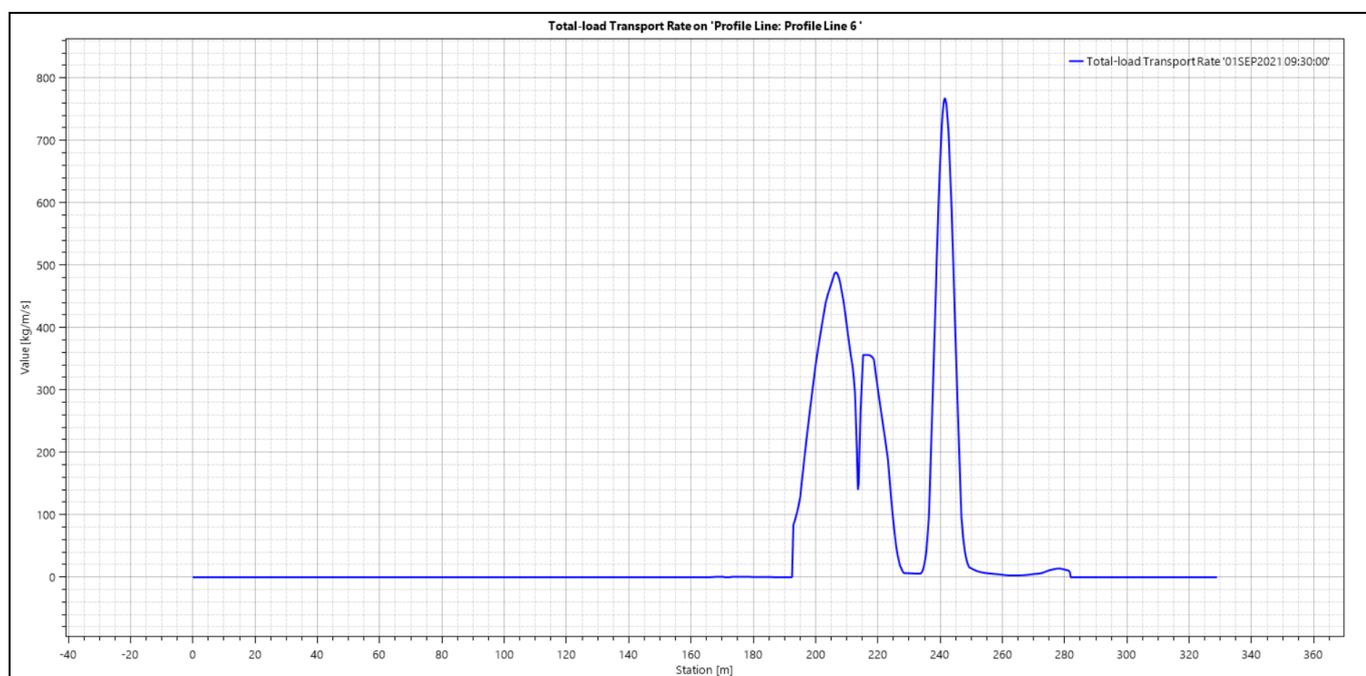


Figura 3-23: variazione dell'indice di trasporto solido totale – sezione asse viadotto VI01 – Stato attuale

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 48 di 136

3.4.6 Risultati modello 2D a fondo mobile Stato Progetto

Sulla base della geometria e delle condizioni al contorno appena descritte si sono ottenuti dei risultati in termini di mappe 2d dell'evoluzione del materiale d'alveo che ha permesso di valutare le zone di erosione e deposito e capacità del rivestimento previsto in corrispondenza del viadotto VI01 in progetto.

Di seguito si riporta quanto ottenuto. La seguente immagine rappresenta la distribuzione delle aree di scavo ed erosione. La legenda quindi mostra, in metri, le altezze di erosione (valori positivi) e le profondità di scavo (valori negativi).

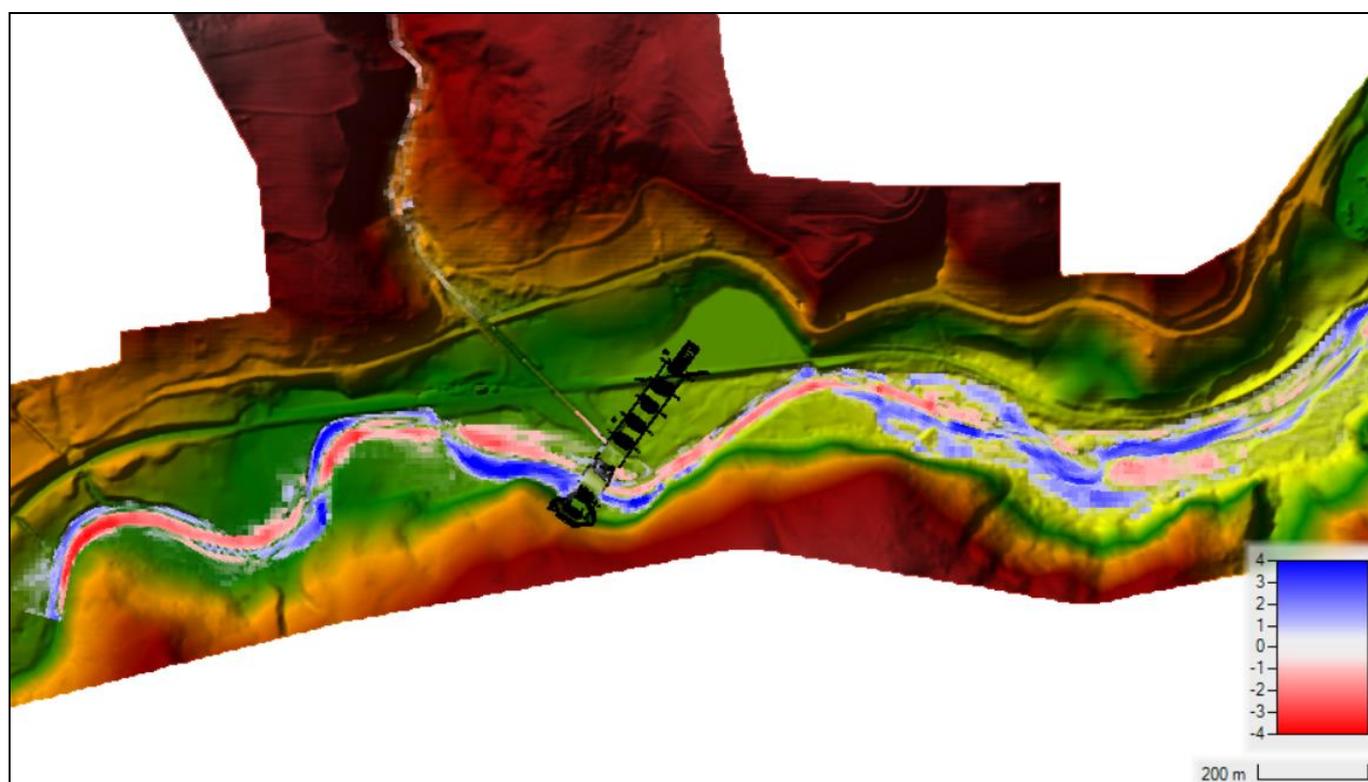


Figura 3-24: mappa evoluzione del fondo sistema Cervaro – Acquara – Stato Progetto

Dall'analisi dei risultati, il torrente Cervaro, nel tratto simulato di monte mostra una tendenza all'erosione nella zona dell'alveo inciso; mentre nel tratto più a valle si registrano zone di deposito e zone di erosione confermando l'attuale configurazione d'alveo che presenta piazze di deposito e parti incise nella zona d'alveo.

Nella zona in cui è presente la sistemazione d'alveo a difesa delle opere del viadotto VI01, l'adeguamento e riprofilatura del T. Cervaro consente di regolarizzare la corrente riducendo la sua azione erosiva e aumentando le zone in cui si manifesta deposito piuttosto che scavo. Il rivestimento in massi, quindi, non registra criticità soddisfacendo le verifiche al trascinamento.

In dettaglio si registra un deposito subito a monte della spalla in destra idraulica e della pila 1 con un'altezza massima di circa 3m. In corrispondenza del fondo alveo un leggero deposito di 0.45m. questo dato inoltre va ad attestare come la nuova sezione d'alveo non va ad ostacolare il regime di trasporto di materiale solido che va ad alimentare la parte valliva del Cervaro. In sinistra idraulica, sempre in

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 49 di 136

corrispondenza del rivestimento, non si registrano fenomeno di scalzamento del rivestimento ma un transito del materiale trasportato.

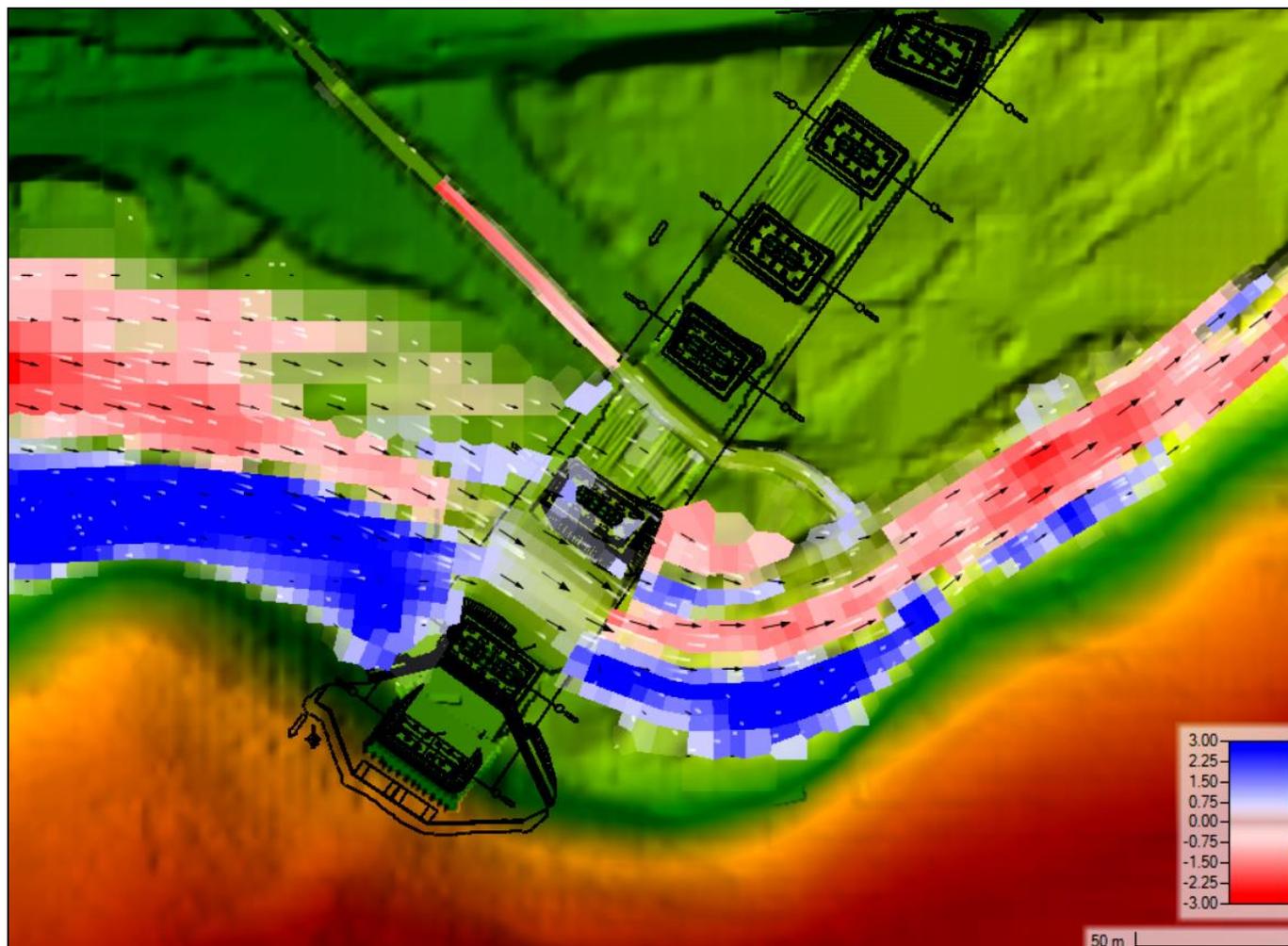


Figura 3-25: dettaglio mappa evoluzione del fondo sistema Cervaro – Acquara – Stato Progetto

Per quanto riguarda il torrente Acquara, si registra uno scavo massimo pari a 2.19m subito a valle del tratto rivestito in calcestruzzo e materiale di deposito in transito sul rivestimento di progetto come rappresentato in figura. Al fine di proteggere il rivestimento e quindi di aumentarne la vita utile, si è previsto, per il taglio di collegamento, una profondità di 2.5m al fine di colmare l'altezza di scavo a monte di quest'ultimo.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 50 di 136

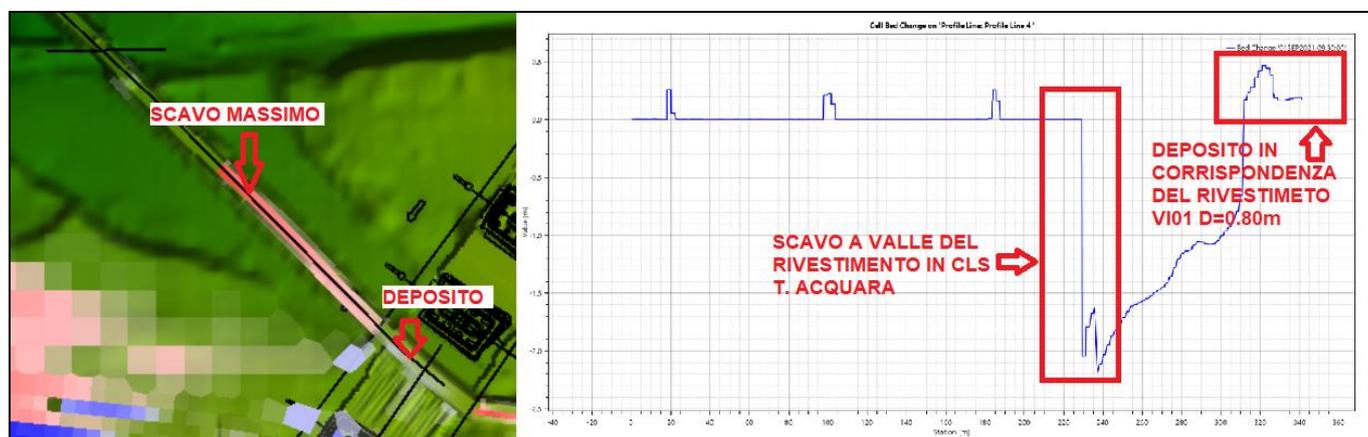


Figura 3-26: andamento del profilo lungo il T. Acquara

Di seguito si riporta, inoltre, la mappa delle concentrazioni totali (Total Load Concentration) espressa come mg/L.

Tale modello consente di ricavare ulteriori parametri per la valutazione del trasporto solido ovvero consente, in corrispondenza di una sezione, di valutare una serie di parametri. Nel caso in esame si è ritenuto riportare i seguenti valori in corrispondenza della sezione del viadotto di progetto VI01.

Tabella 3-3: valori caratteristici indice di trasporto solido totale – Stato Progetto – sezione asse viadotto VI01

indice di trasporto solido totale MEDIO	92.89	kg/m/s
indice di trasporto solido totale CUMULATO	230.17	kg/m/s

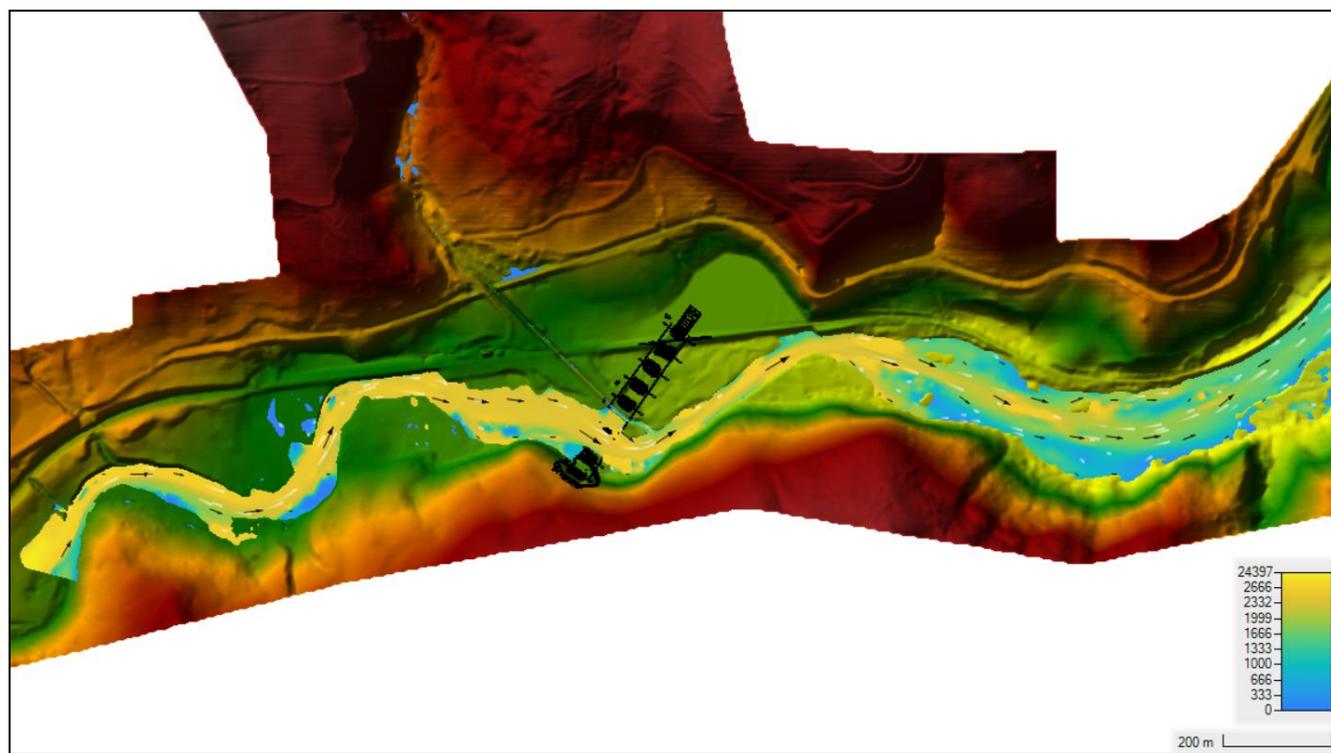


Figura 3-27: mappa delle concentrazioni dei sedimenti sistema Cervaro – Acquara – Stato Progetto

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 51 di 136

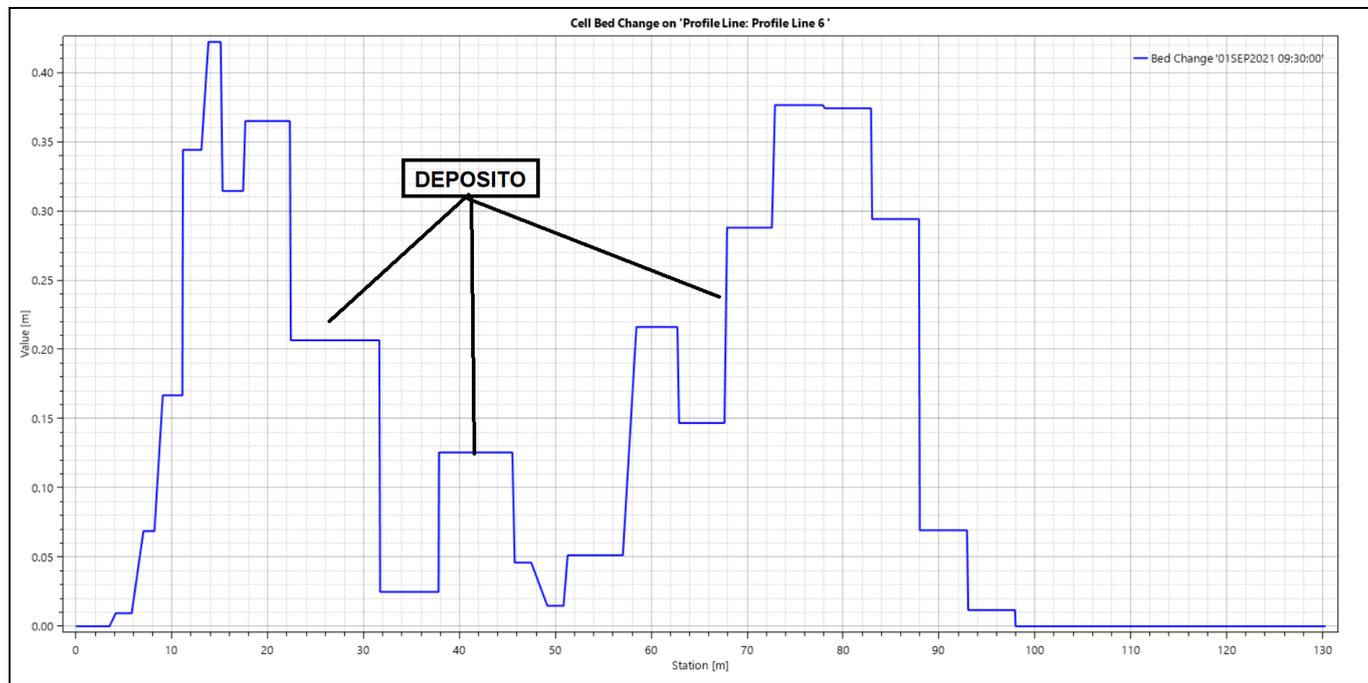


Figura 3-28: variazione del fondo in asse VI01 – Stato Progetto

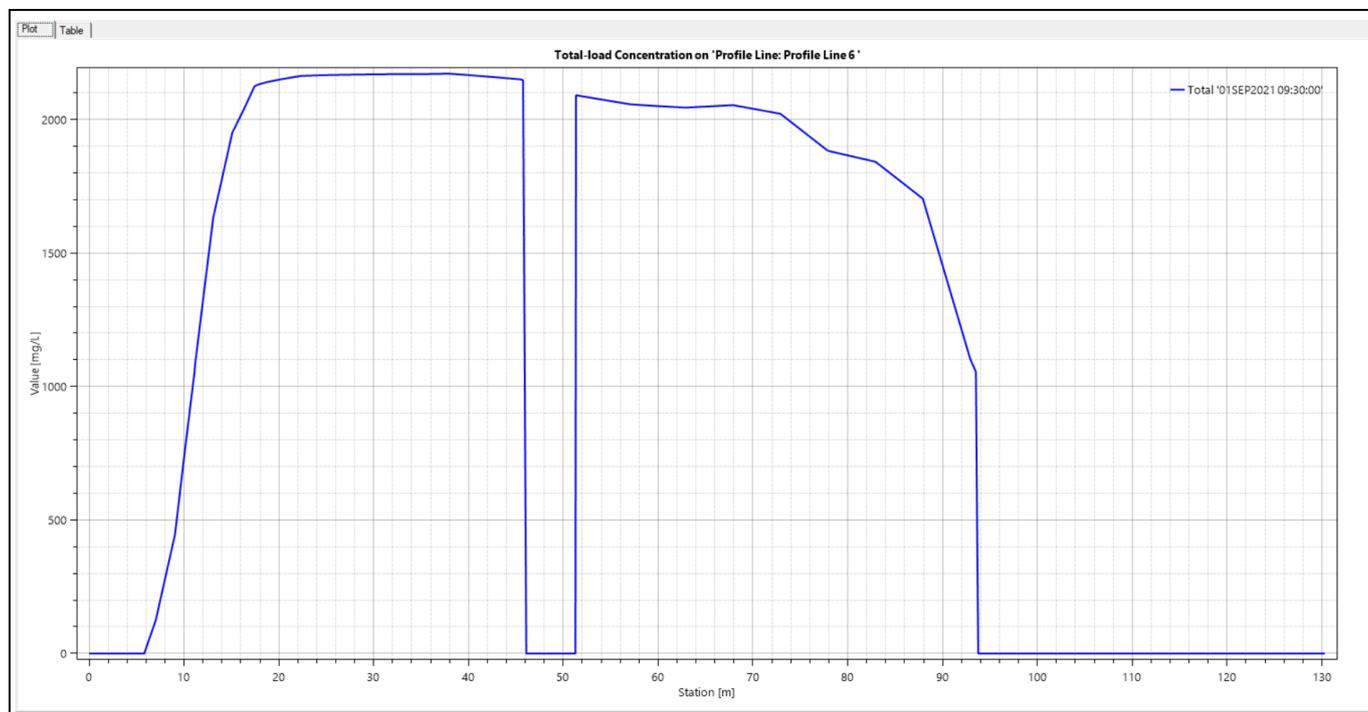


Figura 3-29: variazione della concentrazione del solido in corrispondenza del VI01 – Stato Progetto

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%;">LOTTO</td> <td style="width: 15%;">CODIFICA</td> <td style="width: 15%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 15%;">REV.</td> <td style="width: 15%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF3A</td> <td style="text-align: center;">02</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RI</td> <td style="text-align: center;">ID0002 004</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">52 di 136</td> </tr> </table>					COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 004	B	52 di 136
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO												
IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 004	B	52 di 136												
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro																	

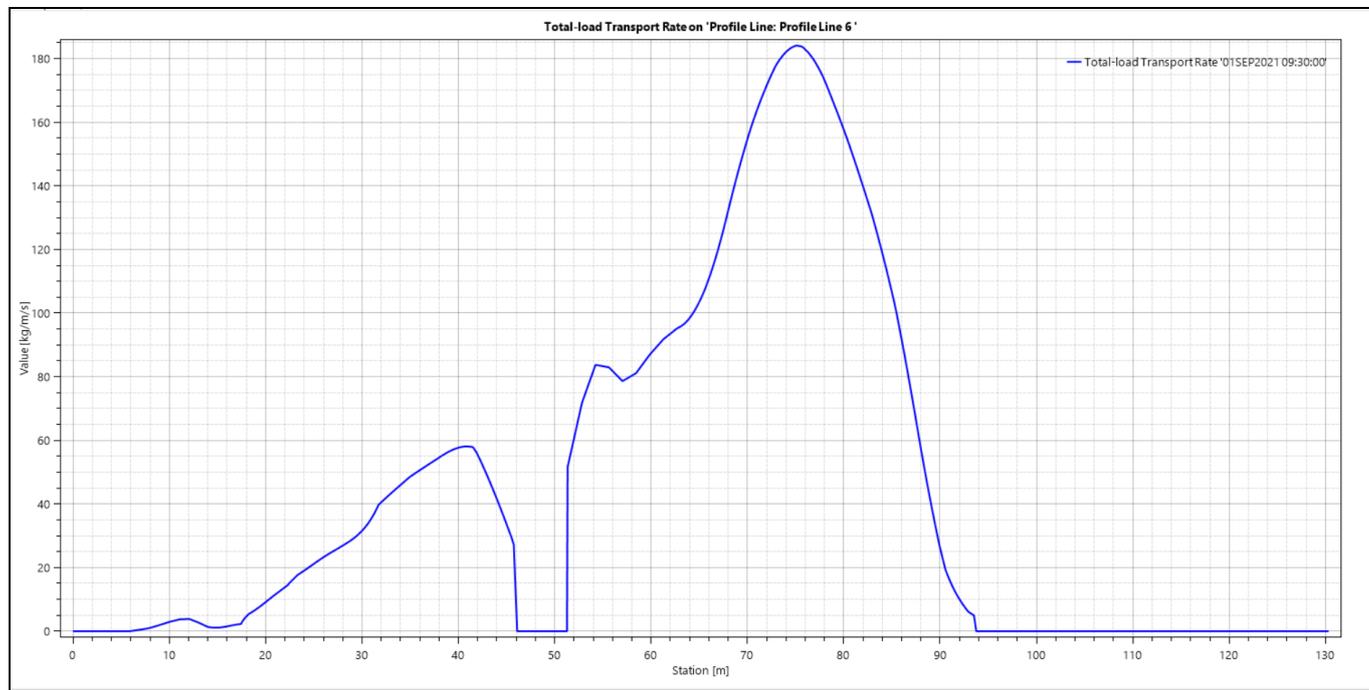


Figura 3-30: variazione dell'indice di trasporto solido totale – sezione asse viadotto VI01 – Stato Progetto

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B FOGLIO 53 di 136

4 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'OPERA IN PROGETTO A FENOMENI DI COLATE DETRITICHE

L'analisi della vulnerabilità delle opere in progetto a fenomeni di colate detritiche è stata condotta rivolgendo particolare attenzione ai cosiddetti sistemi "bacino-conoide" interferenti con l'infrastruttura ferroviaria. La metodologia adottata per l'individuazione delle zone di intervento "critiche" si articola in generale nelle seguenti fasi:

- Consultazione delle mappe di pericolosità geomorfologica e dei dissesti, sviluppate nell'ambito della redazione di Piani di Assetto Idrogeologico (PAI)
- Analisi delle caratteristiche morfometriche dei sistemi "bacino-conoide" interferenti con le opere in progetto, sulla base di formulazioni e abachi riportati in letteratura
- Sopralluoghi, indagini in sito
- Individuazione dei sistemi "bacino-conoide" potenzialmente suscettibili a fenomeni di colate detritiche
- Valutazione dei volumi mobilabili
- Analisi della propagazione di colate detritiche e valutazione dell'interferenza con le opere in progetto, finalizzate alla definizione di eventuali interventi di difesa



Figura 4-1: Vulnerabilità a fenomeni di colate detritiche - Flow chart

4.1 ASSETTO DEI VERSANTI E PROPENSIONE AL DISSESTO

L'analisi dell'assetto geomorfologico dei bacini dei corsi d'acqua oggetto di studio mostra che, per alcuni di essi, i dissesti presenti sui versanti possono essere associati a fenomeni caratterizzati da flussi idrici iperconcentrati e/o *debris-flows*, che potrebbero a loro volta interessare le opere in progetto. In generale, anche laddove non si siano già verificati eventi in passato, la valutazione del possibile innesco di flussi detritici può essere condotta, in via speditiva, in base agli approcci disponibili nella letteratura tecnica che prevedono l'applicazione di opportune relazioni tra alcuni parametri morfometrici, che caratterizzano i sistemi "bacino-conoide" interferenti con le zone di intervento. A partire dalle informazioni riportate riscontrate nei sopralluoghi, nonché nelle mappe di pericolosità geomorfologica redatte dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia (AdBP) nell'ambito del P.A.I. (Piano di Assetto idrogeologico), sono state

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 54 di 136

individuare le zone di intervento in cui è necessario procedere con approfondimenti ed analisi della propensione al dissesto.

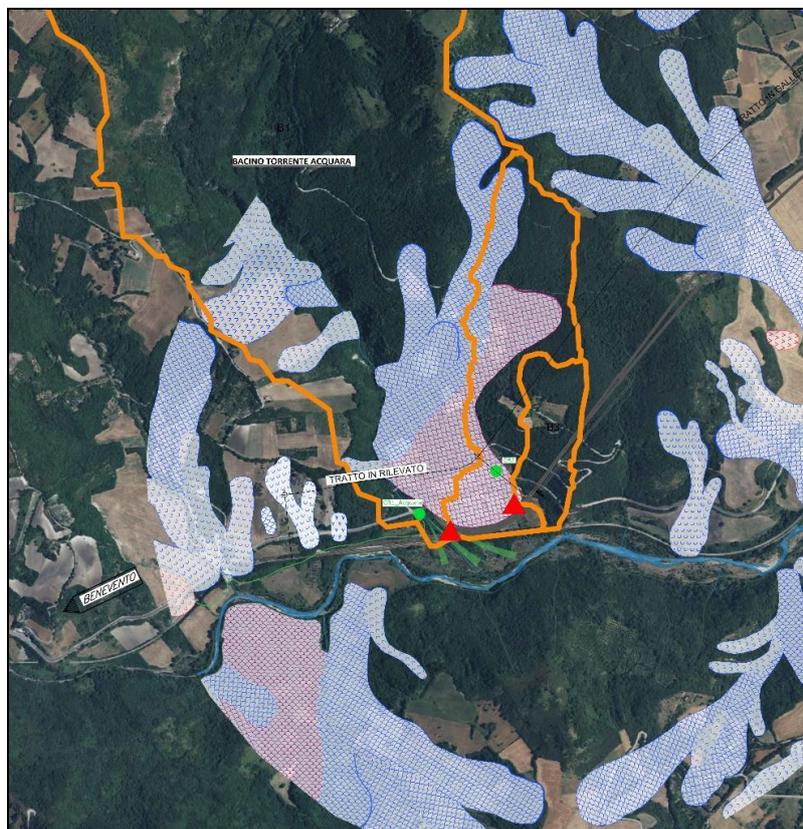


Figura 4-2: Torrente Acquara: conoide alluvionale

Il sistema “bacino-conoide” del Torrente Acquara risulta caratterizzato da aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3), corrispondenti a frane e/o fenomeni di instabilità pregressi identificati nello studio di fotointerpretazione condotto dall’AdBP (fonte: <http://webgis.adb.puglia.it>).

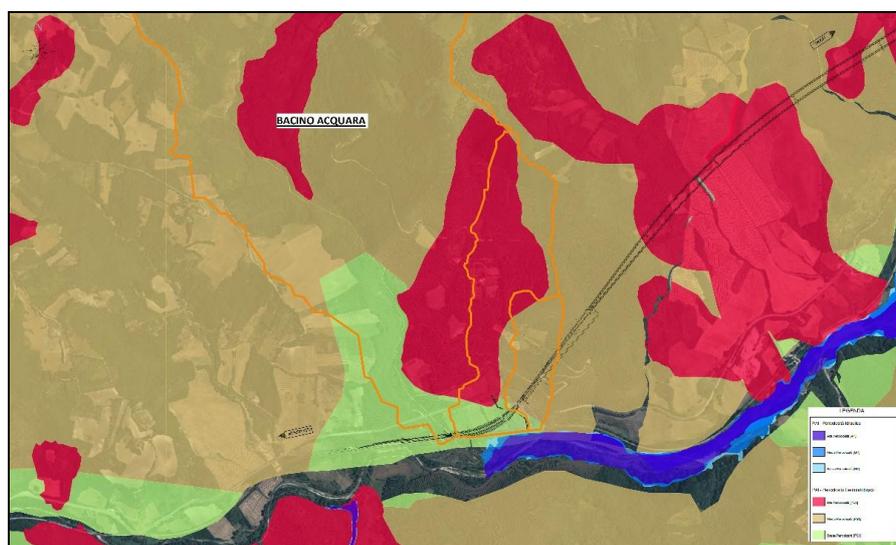


Figura 4-3: Torrente Acquara: bacino idrografico e pericolosità geomorfologica.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 55 di 136

I parametri morfometrici di tali sistemi, valutati mediante elaborazioni geostatistiche in ambiente GIS del rilievo Lidar (risoluzione 1x1 m) fornito dal Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 4-1: Caratteristiche morfometriche del sistema "bacino-conoide" del T. Acquara

Superficie bacino (km²)	4.7
Quota massima (m slm)	847.6
Quota minima (m slm)	350.5
Quota media (m slm)	637.2
Area conoide (kmq)	0.15
Pendenza media conoide (°)	8.5
Quota apice conoide (m slm)	372.7
Quota unghia conoide (m slm)	349.0
Lunghezza canale in conoide (km)	0.463
Pendenza canale in conoide (%)	5.1

Lo studio morfometrico dei sistemi "bacino-conoide" in esame (Torrente Acquara) può essere condotto analizzando innanzitutto la correlazione tra i parametri "area del conoide" e "area del bacino", "pendenza del conoide" e "area del bacino". Quella maggiormente diffusa in letteratura è la correlazione di Bull (1964), il quale propose l'equazione:

$$Af = c \cdot Ab^k \quad (4.1)$$

in cui Af è l'area del conoide (km²), Ab quella del bacino (km²), c e k sono coefficienti empirici.

Il coefficiente c varia tra 0,1 e 2,2 (Harvey, 1997) e tiene conto dell'ubicazione geografica; dipende da fattori locali come l'erodibilità della roccia, l'attività tettonica, la quantità di detrito immagazzinato nel bacino, la velocità di subsidenza e l'entità delle precipitazioni. Il coefficiente k indica la variazione dell'area del conoide al variare di quella del bacino. Esso varia mediamente tra 0,7 e 1,1 (Harvey, 1997) e dipende dal contesto morfoclimatico in cui si evolve il sistema bacino-conoide (valori inferiori a 0,60 nei climi umidi; superiori a 0,88 nei climi aridi e intermedi nei climi sub-umidi o polari, Guzzetti et al., 1997).

Nella figura seguente, sulla base del range di variabilità dei coefficienti empirici c e k , è evidenziato il campo dei valori di Af e Ab caratteristici di sistemi *bacino-conoide* interessati da fenomeni di trasporto di materiale detritico verso valle. Si riportano su tale grafico (Figura 4-4) i valori di Af e Ab relativi ai sistemi *bacino-conoide* in esame: il punto (Af ; Ab) relativo al T. Acquara ricade all'esterno del campo dei valori sopra definito.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 56 di 136

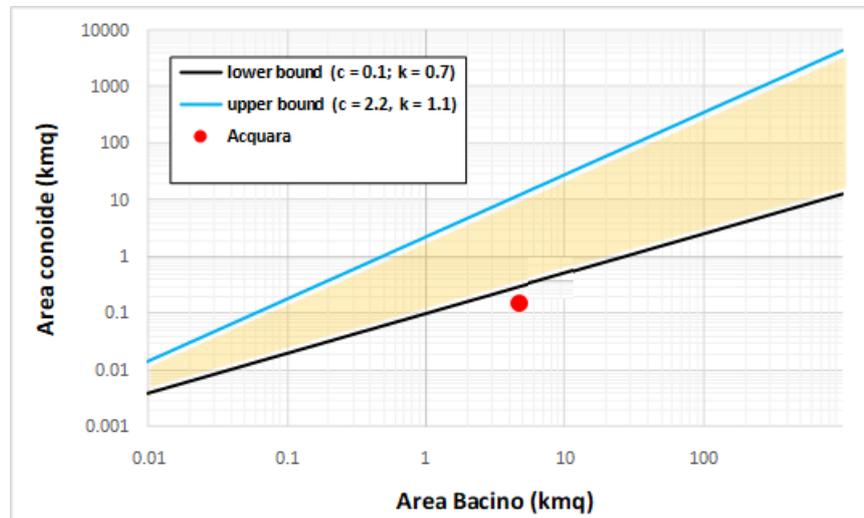


Figura 4-4: Area conoide vs area bacino: valori caratteristici di sistemi bacino-conoide interessati da fenomeni di trasporto di materiale detritico

La seconda relazione morfometrica ampiamente investigata in letteratura è quella tra la pendenza del conoide e l'area del bacino (Drew, 1873; Melton, 1965; Hooke, 1968). Nel 1873, Drew fu il primo a osservare che i conoidi che presentano pendenze minori sono alimentati da un bacino più ampio di quelli con pendenza maggiore; nel 1962 Bull propose la relazione:

$$Sf = a \cdot Ab^m \quad (4.2)$$

in cui Sf è la pendenza del conoide (in gradi), Ab l'area del bacino (km^2); a è un coefficiente sperimentale che assume valori compresi tra 0,03 e 0,17 (Harvey, 1997); m rappresenta la variazione della pendenza del conoide con l'aumento dell'area del bacino; in genere varia tra -0,35 e -0,15 (Harvey, 1997). La relazione riflette la maggiore capacità di immagazzinare sedimenti da parte dei bacini più grandi. Inoltre, con l'aumento del rapporto (Ab/Sf) diminuisce il valore della pendenza in quanto la deposizione si verifica in punti più distali. Anche per questa relazione, sulla base del range di variabilità dei coefficienti empirici a e m , è stato ricavato il campo dei valori di Sf e Ab caratteristici di sistemi *bacino-conoide* interessati da fenomeni di trasporto di materiale detritico (Figura 4-5). Riportando su tale grafico i valori di Sf e Ab relativi ai sistemi "*bacino-conoide*" in esame si osserva che relativamente al T. Acquara il punto (Sf, Ab) ricade appena fuori dal campo dei valori caratteristici.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 57 di 136

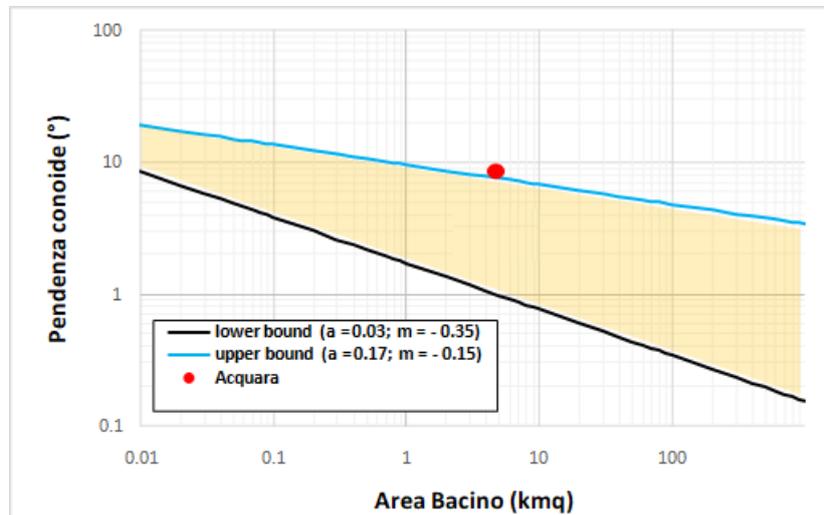


Figura 4-5: Pendenza conoide vs area bacino: valori caratteristici di sistemi bacino-conoide interessati da trasporto di materiale detritico

Per meglio definire la tipologia di trasporto che caratterizza un sistema *bacino-conoide*, è possibile ricorrere all'indice di Melton, valutabile tramite la seguente formulazione (Melton, 1965):

$$R = Ab^{-0.5} \cdot (Q_{b,max} - Q_{b,min}) \quad (4.3)$$

in cui $Q_{b,max}$ e $Q_{b,min}$, rappresentano rispettivamente la quota massima e minima del bacino. Tale indice è correlato alla pendenza Sf del conoide tramite la relazione:

$$S = q \cdot R^n \quad (4.4)$$

dove q e n sono parametri dimensionali determinati sperimentalmente.

In letteratura (Marchi *et al.*, 1993; De Scally & Owens, 2004; Santangelo, 2006) sono disponibili anche grafici/abachi che mettono in relazione l'indice di Melton con la pendenza del conoide, i quali vengono costruiti per determinare i valori soglia delle due variabili per le diverse tipologie di trasporto.

Con riferimento all'area di studio, per i sistemi campani si può ricorrere all'abaco di Figura 4-6 (Scorpio, 2011); in particolare sono evidenziati diversi settori, di cui il primo, caratterizzato da pendenze medie del conoide minore di 5° e valori dell'indice di Melton minori di 0,9, è costituito solo da sistemi con trasporto prevalente da "water flow" (Wf); il secondo presenta invece un trasporto da "debris flow" (Df) con valori della pendenza del conoide maggiori di 7° indipendentemente da quello assunto dall'indice di Melton. Per pendenze inferiori occorrono indici di Melton maggiori di 0,95 affinché si possa prevedere un trasporto da Df ; nel settore centrale, caratterizzato da valori dell'indice di Melton compresi tra 0,35 e 0,65 e della pendenza del conoide compresi tra 5° e 7° , si rinvia una zona di coesistenza delle due tipologie all'interno del quale risulta abbastanza incerta la definizione del trasporto.

Per il sistema "bacino-conoide" del T. Acquara, l'indice di Melton (R) assume i seguenti valori: 0.23 e 0.11, rispettivamente.

Riportando i valori di R e Sf sull'abaco, il punto corrispondente relativo al sistema del T. Acquara, seppure discostandosi dal trend (e quindi dalla relazione esponenziale 2.4) che caratterizza gli eventi verificatesi nella Regione Campania, ricade in un settore che identifica la presenza di fenomeni di trasporto da **debris flow**.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B FOGLIO 58 di 136

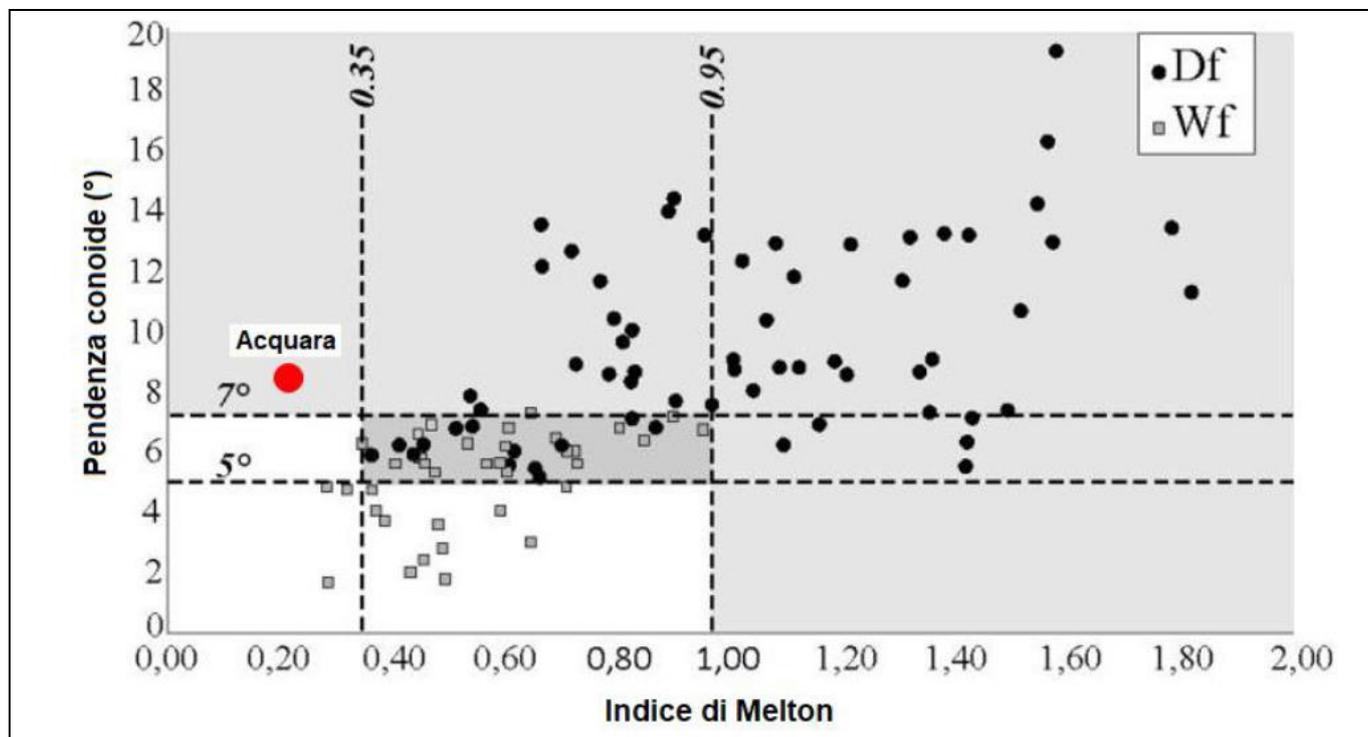


Figura 4-6: Pendenza conoide vs indice di Melton per i sistemi "bacino-conoide" campani (Scorpio, 2011).

Riepilogando, le analisi sopra condotte hanno evidenziato quanto segue.

- Il bacino sotteso è caratterizzato da aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3) e risulta essere soggetto a fenomeni di frane e/o di instabilità di versante come da studio di fotointerpretazione condotto dall'AdBP (fonte: <http://webgis.adb.puglia.it>), che possono alimentare/innescare fenomeni di debris flows.
- Relativamente alla correlazione tra "area del conoide" e "area del bacino", e tra "pendenza del conoide" e "area del bacino", il sistema bacino-conoide del T. Acquara non risulta suscettibile a fenomeni di debris flows.
- Con riferimento ad eventi verificatesi nella Regione Campania, le cui caratteristiche di trasporto sono sintetizzate nel grafico di Figura 4-6, il sistema bacino-conoide del T. Acquara risulta suscettibile a fenomeni di debris flows.

In conclusione, sulla base delle valutazioni sopra illustrate e delle risultanze dello studio di compatibilità geomorfologica, si ritiene che il sistema bacino-conoide del T. Acquara possa essere caratterizzato da meccanismi di trasporto di materiale detritico proveniente da versanti instabili (i.e. debris flows), tali da poter interessare le opere in progetto. Per tale motivo nei successivi paragrafi, si è proceduto ad uno studio di maggiore dettaglio.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 59 di 136

4.2 SISTEMA “BACINO-CONOIDE” DEL TORRENTE ACQUARA: STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI DAI VERSANTI

4.2.1 Metodologia generale

Il volume di materiale potenzialmente mobilitabile dai versanti può essere stimato tramite analisi e valutazione riguardanti gli spessori della coltre detritica sui versanti, supportate da indagini in sito e analisi delle loro caratteristiche meccaniche/geotecniche.

In generale, per i sistemi “*bacino-conoide*” suscettibili a fenomeni di “*debris flows*”, il volume di materiale potenzialmente mobilitabile può essere stimato anche tramite formulazioni empiriche disponibili in letteratura, che si basano su alcuni parametri morfometrici relativi alle caratteristiche sia del bacino sia del conoide, ossia indice di Melton, pendenza, area, lunghezza, così come determinati nel precedente paragrafo. Per bacini di modesta estensione (come quello in esame), è possibile ricorrere alle relazioni proposte da Marchi e Tecca (1996) e da Ceriani et al. (2000).

- Marchi & Tecca (1996)

$$V = 70000 \cdot S$$

con V = volume di materiale solido (m^3); S = superficie del bacino (km^2)

- Ceriani et al. (2000)

$$V = k \cdot (Ab)^a \cdot (R)^b \cdot (Scl_c)^c (IF)^{-d}$$

con V = volume di materiale solido ($10^3 m^3$); k = coefficiente empirico e [3; 5.4]; Ab = superficie del bacino (km^2); R = Numero di Melton; Scl_c = pendenza media del canale in conoide (%); IF = indice di frana pari a 1 se sono presenti frane rilevanti che interagiscono con il reticolo idrografico, 2 se sono presenti frane ma in collegamento diretto con il reticolo idrografico e 3 se non sono presenti frane significative nel bacino; a, b, c , e d = costanti ($a = 1$; $b = 0.8$; $c = 1$; $d = 2$).

La pendenza media del canale in conoide è valutabile come $\Delta Hc/Lcl_c$ dove ΔHc è l'energia di rilievo del conoide, data dalla differenza di quota tra apice e unghia, e Lcl_c è la lunghezza del canale in canale.

Per quantificare i singoli volumi “*solido*” e “*liquido*”, si può procedere con la determinazione del cosiddetto “*debrisgramma*” o onda di colata detritica, mediante il metodo volumetrico (D'Agostino, 2013). In generale, tale metodo prevede il calcolo della portata di picco della colata ricorrendo a formule empiriche (Tabella 4-2), in funzione del volume totale dell'evento (V).

Formula	Autore
$Q_d = 0.0188 \cdot V^{0.79}$	Mizuyama et al (1992)
$Q_d = 0.00558 \cdot V^{0.831}$	Jitousono et al (1996)
$Q_d = 0.0163 \cdot V^{0.64}$	Costa (1988)

Tabella 4-2: formule empiriche per la stima della portata al colmo di una colata detritica.

Successivamente dalla portata al picco del *debris flow* viene derivata la portata liquida. In questo modo è possibile costruire un idrogramma semplificato in cui si assume che l'onda di piena abbia una forma triangolare.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PIZZAROTTI							
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
Mandanti NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA							
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 60 di 136

La concentrazione volumetrica C_v viene fatta variare, secondo intervalli temporali costanti, da un valore minimo di 0.2 (soglia in cui si passa da trasporto solido di fondo a trasporto iperconcentrato) ad un valore massimo rappresentativo della colata detritica (0.5 – 0.65).

Si ottiene quindi un debrisgramma semplificato che però a differenza dell'idrogramma non ha una forma triangolare; è quindi necessario inserire un fattore di non linearità k , derivante dalla relazione tra C_v e $1/(1-C_v)$ che appunto non è lineare (D'Agostino, 2013).

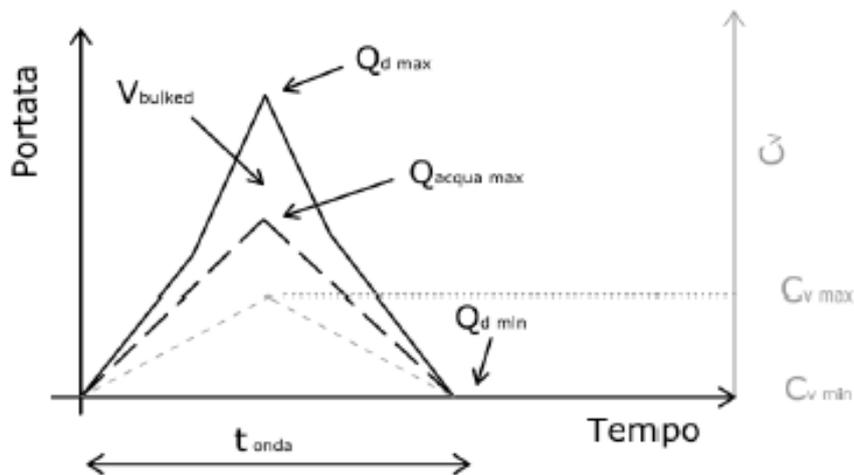


Figura 4-7 – Metodo volumetrico: determinazione dell'ond di colata detritica (debrisgramma).

Con riferimento allo schema di Figura 4-7, integrando l'area sottesa dal debrisgramma non lineare si ottiene l' equazione:

$$V_{bulked} = \frac{(Q_{d\ max} - Q_{d\ min})}{k} t_{onda} = \left[\frac{Q_{acqua\ max}}{(1 - C_{v\ max})} - \frac{Q_{acqua\ min}}{(1 - C_{v\ min})} \right] \frac{t_{onda}}{k}$$

con

$$V_{bulked} = (1.2 \div 1.3) V_{debris}$$

V_{bulked} = volume solido-liquido complessivo (generalmente incrementato di un fattore 1,2 – 1,3 rispetto al valore V ottenuto tramite l'applicazione di formule empiriche); $V_{debris} = V$; $Q_{d,max}$ = portata massima del debris flow, espressa in m^3/s ; $Q_{d,min}$ = portata minima del debris, espressa in m^3/s ; $Q_{acqua,max}$ = portata massima di acqua per l'evento di piena, espressa in m^3/s ; $Q_{acqua,min}$ = portata minima di acqua; k = coefficiente di forma dell'onda "Bulked"; t_{onda} = tempo che assume l'evento (i.e. tempo di corruzione), espresso in secondi; $C_{v,max}$ = concentrazione massima della colata (0.5-0.65); $C_{v,min}$ = concentrazione minima della colata, generalmente assunta pari a 0.2.

Gli unici dati conosciuti di questa equazione sono il volume dell'evento, la portata liquida massima e la portata liquida minima (che si assume pari a $0.1\ m^3/s$). Quindi dall'equazione precedente si ricava il tempo di durata dell'onda e successivamente si può calcolare la portata al picco del debris flow mediante la seguente equazione:

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PIZZAROTTI						
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF			
M-INGEGNERIA						
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 61 di 136

$$Q_{d\ max} = \frac{V_{bulked} k}{t_{onda}}$$

4.2.2 Indagini in sito

Ai fini della valutazione dello spessore delle coltri detritiche sui versanti del bacino del T. Acquara, sono stati effettuati due sondaggi geognostici. Tali indagini sono state ubicate all'interno dell'area classificata come "a pericolosità geomorfologica elevata PG3" (come da P.A.I. della Regione Puglia), che è stata interessata in passato anche da eventi franosi, come riportato nello studio di fotointerpretazione condotto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia (Figura 4-8).

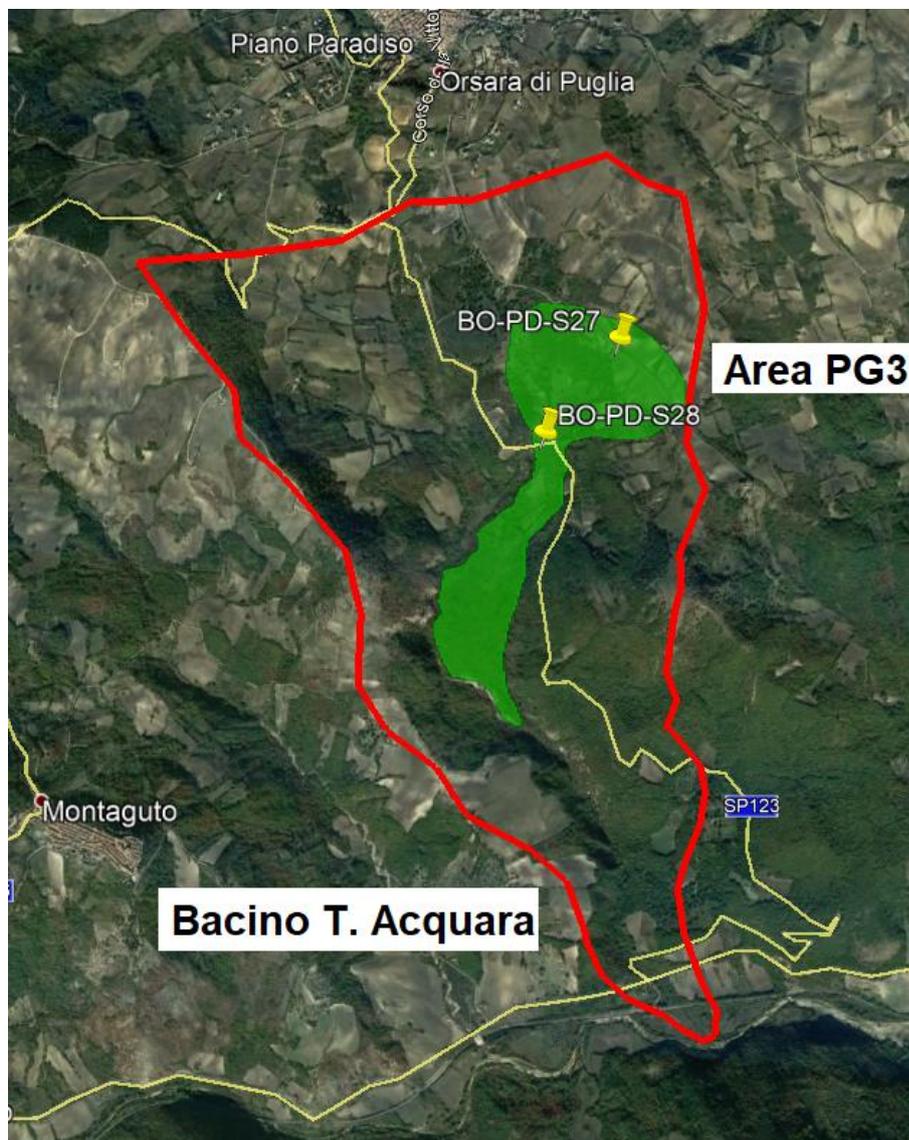


Figura 4-8 – Sistema "bacino-conoide" del T. Acquara: ubicazione delle indagini.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA									
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro				COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 62 di 136

Di seguito, si riportano le stratigrafie e le “cassette” contenenti i primi 5 metri di materiale relativi ai due sondaggi. Per quanto concerne il sondaggio BO-PD-S27, il materiale costituente la coltre detritica superficiale (spessore 1,5 m), in potenziale scorrimento sul substrato di “argilla limosa a luoghi con intercalazioni sabbiose millimetriche, umida, da consistente a dura”, è classificato come “terreno vegetale costituito di argilla limosa, umida, di colore marrone scuro nerastro, con resti vegetali e grossi clasti di origine calcarea, (diametro massimo 7 cm)”; mentre, per quanto riguarda il sondaggio BO-PD-S28, la coltre detritica superficiale (spessore 2,3 m), in potenziale scorrimento sul substrato di “limo argilloso debolmente ghiaioso fine, umido, molto consistente”, è costituita di i) “terreno vegetale con da limo argilloso sabbioso fine-medio, umido, brunastro” (profondità 0-0.3 m); ii) “limo sabbioso fine-medio, debolmente umido, avana-biancastro con clasti di origine calcarea” (profondità 0.3-2,0 m); iii) “ghiaia debolmente sabbiosa, eterometrica, debolmente umida, avana-biancastra” (profondità 2 – 2,3 m).

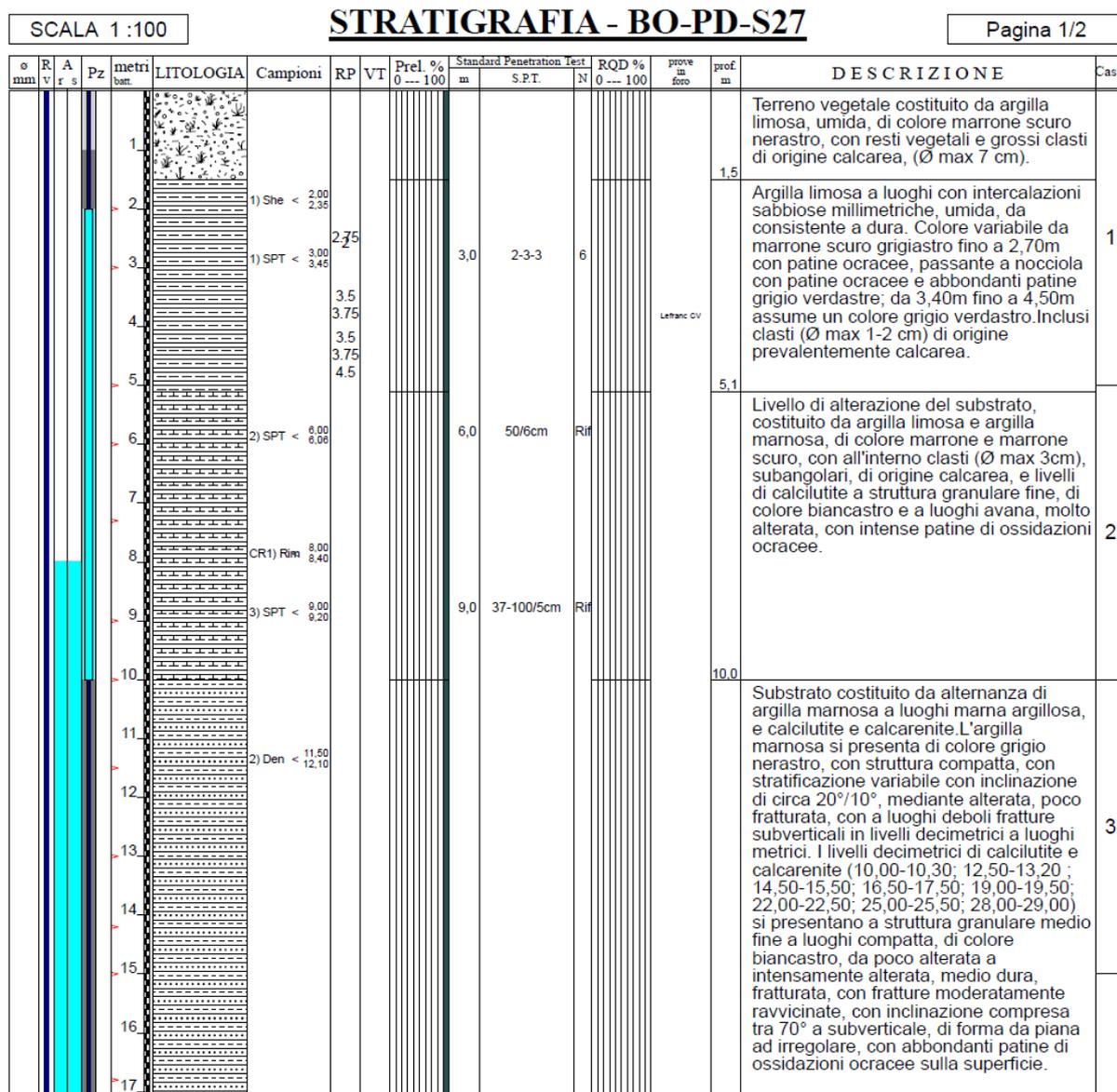


Figura 4-9 – Sondaggio BO-PD-S27: stratigrafia.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B FOGLIO 63 di 136

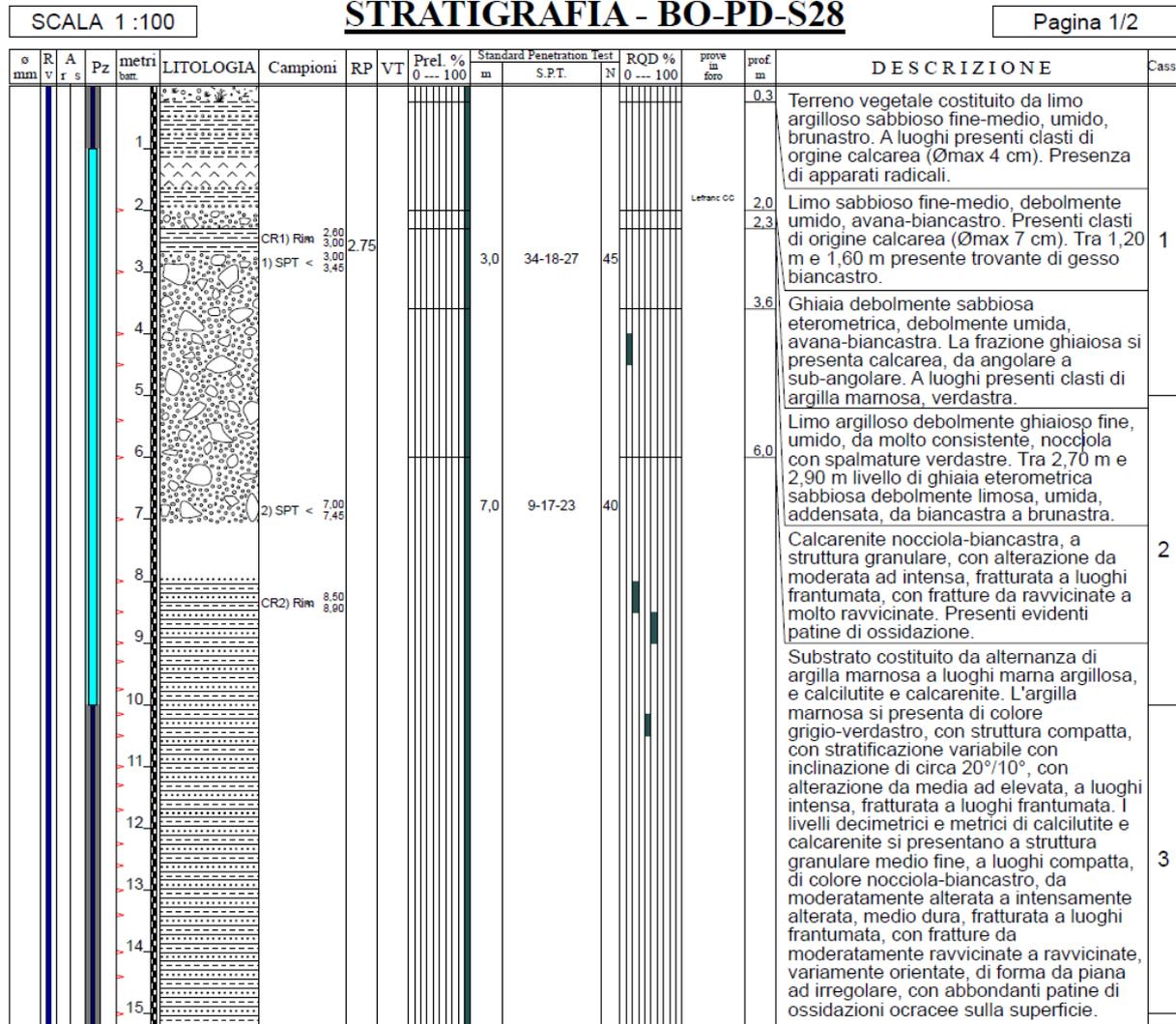


Figura 4-10 – Sondaggio BO-PD-S28: stratigrafia.



Figura 4-11 – Materiale alla profondità 0 - 5 m: a) Sondaggio BO-PD-S27, b) Sondaggio BO-PD-S28.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B FOGLIO 64 di 136

Nel corso della campagna di indagini sono stati prelevati alcuni campioni indisturbati di materiale, da sottoporre a prove di laboratorio ai fini della determinazione dei relativi parametri fisico-meccanici. In particolare, il materiale costituente la coltre detritica superficiale è caratterizzato dai parametri: $\delta = 27^\circ$ (angolo di attrito interno); $\varphi = 17^\circ$ (angolo di resistenza al taglio all'interfaccia "coltre-substrato").

4.2.3 Calcolo dei volumi solido e liquido

Sulla base dei risultati delle indagini in sito precedentemente illustrate, lo spessore medio della coltre detritica superficiale (relativamente all'area indagata) si attesta a circa 2 metri. I sopralluoghi effettuati, unitamente alle analisi delle foto aeree, hanno evidenziato nell'area indagata (classificata come a "pericolosità geomorfologica elevata PG3") la presenza di zone (o nicchie) di distacco pregresse.

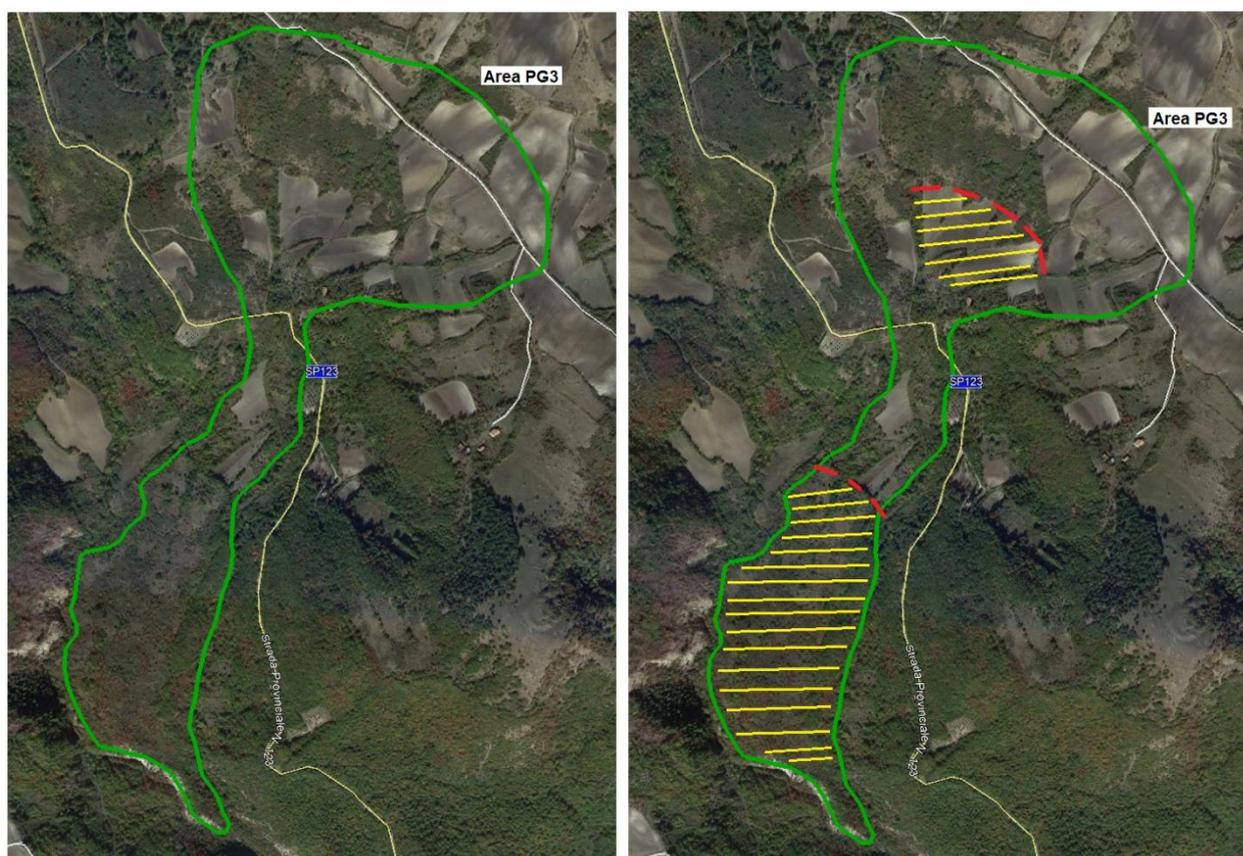


Figura 4-12 – Sistema "bacino-conoide" del T. Acquara: individuazione di aree potenzialmente instabili.

Sono state quindi individuate due aree potenzialmente instabili (Figura 4-12), che sottendono un'area complessiva di circa 150000 m². Pertanto, come anzidetto, assumendo uno spessore medio della coltre detritica superficiale di 2 metri, il volume solido potenzialmente mobilitabile si attesterebbe a circa 300000 m³.

Si è proceduto quindi all'applicazione del metodo del "debrisgramma" ai fini della determinazione del volume liquido. In particolare, si è fatto riferimento alla portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni, pari a 55.2 m³/s (=Q_{acqua,max})

Applicando l'equazione

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 65 di 136

$$V_{bulk} = \frac{(Q_{d,max} - Q_{d,min})}{k} t_{onda} = \left[\frac{Q_{acqua,max}}{(1 - C_{v,max})} - \frac{Q_{acqua,min}}{(1 - C_{v,min})} \right] \frac{t_{onda}}{k}$$

da cui (imponendo $Q_{d,min} = 0$, $Q_{acqua,min} = 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, $C_{v,min} = 0.2$)

$$Q_{d,max} = \frac{Q_{acqua,max}}{1 - C_{v,max}} - \frac{Q_{acqua,min}}{1 - C_{v,min}}$$

e assegnando alla concentrazione volumetrica massima ($C_{v,max}$) i valori 0.5 e 0.65 (minimo e massimo ammissibili per la tipologia di fenomeni esaminati), è stata quindi valutata la portata al colmo del "debrisgramma" ($Q_{d,max} = Q_d$); nello specifico, $Q_d = 110,3 \text{ m}^3/\text{s}$ per $C_{v,max} = 0.5$; $Q_d = 157.6 \text{ m}^3/\text{s}$ per $C_{v,max} = 0.65$.

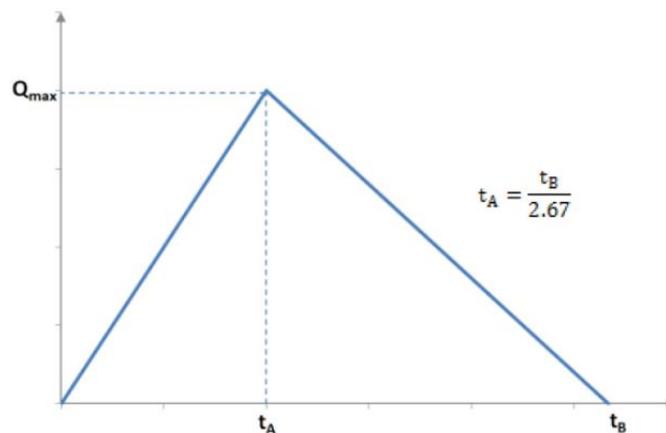


Figura 4-13 – Torrente Acquara: tipologia di idrogramma di piena (fonte: Studio AdBP).

Nota la portata $Q_{d,max}$ e il volume solido potenzialmente mobilitabile ($V_s = 300000 \text{ m}^3$), considerando un idrogramma di piena di tipo triangolare con fase ascendente di durata pari a t_A e durata complessiva pari a t_B (con $t_B = t_{onda} = 2.67 \cdot t_A$, da cui $V_f = Q_{acqua,max} \cdot t_B / 2$, con $V_f =$ volume liquido), come riportato nello studio idrologico-idraulico del bacino del T. Cervaro redatto dall'Autorità di bacino della Regione Puglia (P.O. FESR 2007-2013), e imponendo che l'area sottesa dal debrisgramma sia pari alla somma $V_s + V_f$, è stato possibile determinare la durata complessiva dell'evento (t_{onda}) ed il corrispondente coefficiente di non linearità (k).

Di seguito, si riportano i "debrisgramma", unitamente ai volumi solido e liquido, relativi ai due valori di $C_{v,max}$ assegnati.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI			ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA			RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 66 di 136

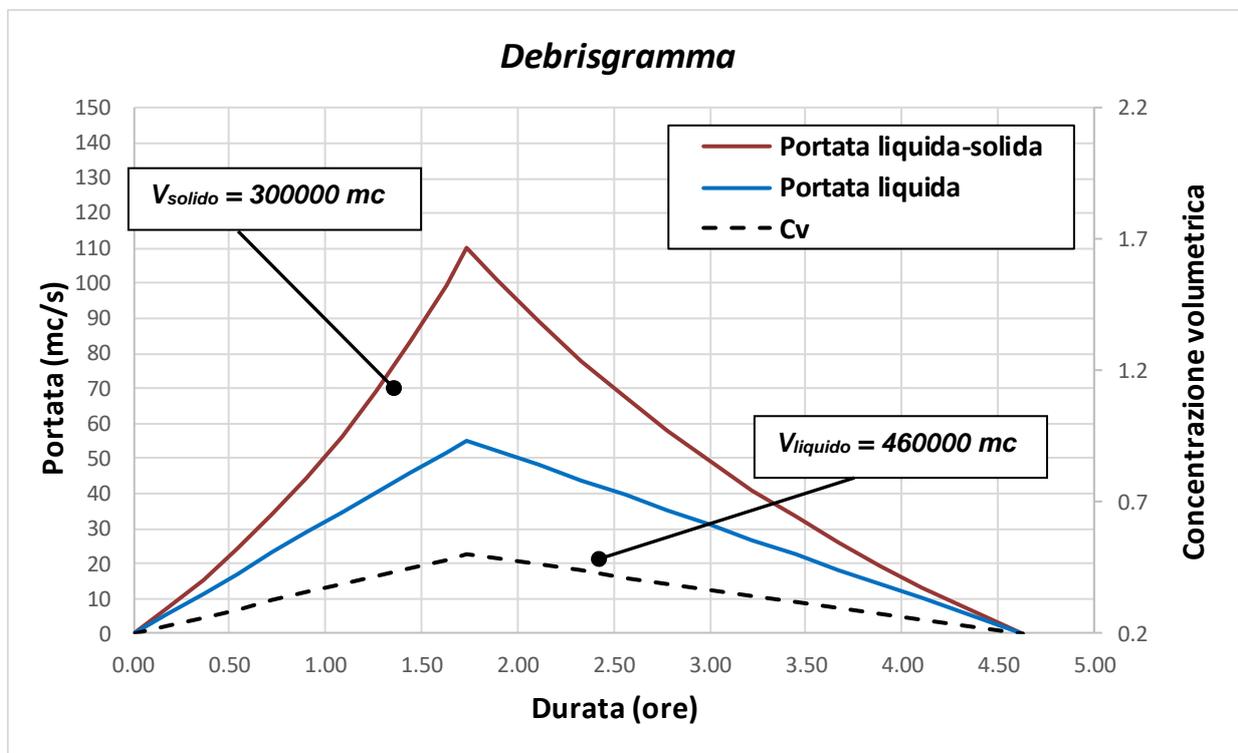


Figura 4-14 – Sistema bacino-conoide del T. Acquara: debrisgramma per $C_{v,max} = 0.5$.

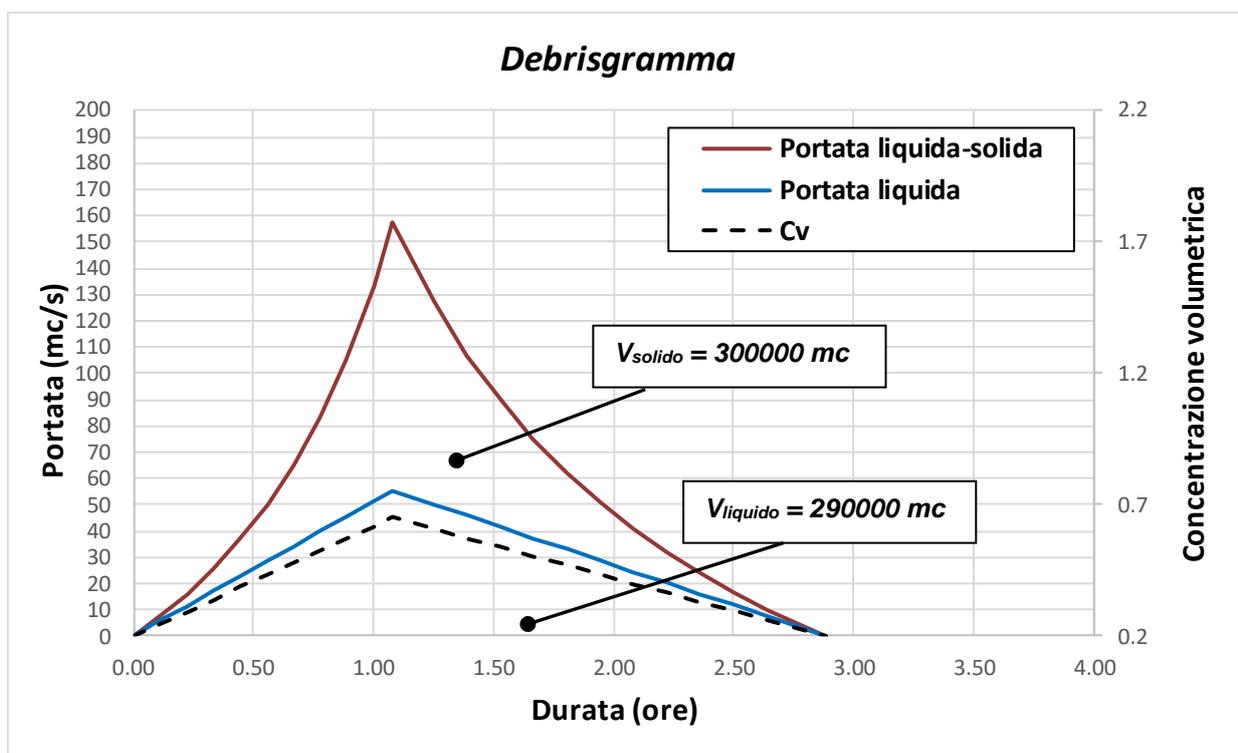


Figura 4-15 – Sistema bacino-conoide del T. Acquara: debrisgramma per $C_{v,max} = 0.65$.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 67 di 136

4.3 TORRENTE ACQUARA: SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DI COLATE DETRITICHE – PD: MODELLO R.AVAFLOW (APPLICATIVO GRASS GIS)

4.3.1 Modello matematico

Per la valutazione della vulnerabilità delle opere in progetto è stato sviluppato in sede di PD un modello bidimensionale di propagazione di potenziali colate detritiche nel sistema “*bacino-conoide*” del T. Acquara, teso alla determinazione delle aree di deposizione.

In particolare, è stato impiegato il software *r.avafLOW*, sviluppato da Mergili et al. (2012). Tale codice di calcolo numerico simula la propagazione di flussi di masse granulari/detritiche da una o più aree di distacco individuate su una topografia di base fino a quando (i) tutto il materiale si è depositato; (ii) tutto il materiale ha lasciato l'area di interesse; (iii) non viene raggiunto il tempo massimo di simulazione stabilito dall'utente.

I principali parametri di input di *r.avafLOW* sono riepilogati nella tabella seguente.

Parameter	Symbol	Unit	Format
Input			
Initial elevation of basal surface	Z_0	m	Raster map
s, f release heights	$H_{0,s}, H_{0,f}$	m, m	Raster maps
Total release height, s concentration of release mass	H_0, α_{s0}	m, –	Raster map, value
s, f entrainable heights	$H_{E_{max},s}, H_{E_{max},f}$	m,m	Raster maps
Entrainable total height, s concentration of entrainable mass	$H_{E_{max}}, \alpha_{s,E_{max}}$	m, –	Raster map, value
n_C hydrograph tables: s and f flow heights and velocities at defined points of time (see Fig. 2)	$H_{p,s}, v_{p,s}, H_{p,f}, v_{p,f}$	m, ms^{-1} , m, ms^{-1}	Tables
n_D sets of centre coordinates, length, and aspect of hydrograph	–	m, degree	Sets of 4 values
Flow parameters (see Table 2)	–	–	Set of 14 values
Entrainment coefficient (see Table 2)	C_E	kg^{-1}	Value
Time interval for output, max. time after which simulation terminates	$\Delta t_{out}, t_{term}$	s, s	Set of 2 values
Threshold flow height for visualization and validation	H_t	m	Value
Observed impact area, observed deposition area	OIA, ODA	–, –	Raster maps
Vertex coordinates of flow path	–	m	Even number of ≥ 4 values

Tabella 4-3: *r.avafLOW* - principali parametri di input.

In sostanza, *r.avafLOW* richiede come input (i) un modello digitale del terreno che rappresenta l'elevazione della superficie di base (nelle aree di distacco la superficie del terreno al di sotto della massa instabile) nella configurazione *ante operam*, ovvero prima dell'evento; (ii) mappe raster della distribuzione spaziale delle altezze o degli spessori dei volumi solido e liquido o degli idrogrammi e (iii) un set di parametri computazionali, fisico-meccanici e legati a possibili fenomeni di erosione/deposito (Tabella 4-4) durante la propagazione (coefficienti empirici i cui valori possono essere assegnati direttamente oppure sottoforma di mappe raster di distribuzione).

Invece degli spessori o delle altezze rappresentanti i volumi solido e liquido, è possibile anche definire le altezze (o gli spessori) totali, unitamente alla concentrazione solida. Ciò dipende dal modello reologico, di propagazione, scelto dall'utente.

In *r.avafLOW* vi è la possibilità di scegliere tra i seguenti due modelli: *Voellmy-Salm* e *Pudasaini*. Il primo si basa sulla legge reologica di *Voellmy*, secondo il quale la resistenza al taglio in corrispondenza della

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 68 di 136

superficie di scorrimento è dipendente dal quadrato della velocità di propagazione, attraverso un parametro/coefficiente detto “*di turbolenza*”. Sviluppato per lo studio della propagazione di valanghe di neve, trova applicazione anche nella simulazione di colate detritiche, a condizione che il parametro di *turbolenza* assuma certi valori.

Symbol	Parameter	Unit
ρ_S	Solid material density (grain density)	kg m^{-3}
ρ_F	Fluid material density	kg m^{-3}
φ	Internal friction angle	Degree
δ	Basal friction angle ^a	Degree
C_{VM}	Virtual mass	–
v_T	Terminal velocity	m s^{-1}
P	Parameter for combination of solid- and fluid-like contributions to drag resistance	–
Re_p	Particle Reynolds number	–
J	Exponent for drag (1 = linear, 2 = quadratic)	–
N_R	Quasi-Reynolds number	–
N_{RA}	Mobility number	–
χ	Viscous shearing coefficient for fluid	–
ξ	Solid concentration distribution with depth	–
C_{AD}	Ambient drag coefficient ^b	–
C_E	Entrainment coefficient ^a	kg^{-1}

Tabella 4-4: *r.avaf*flow - parametri fisico-meccanici e reologici.

Il modello di Pudasaini prevede, per il materiale solido, l’implementazione del modello costitutivo di Mohr-Coulomb (*rigido-plastico*); il fluido è invece modellato come un fluido viscoso Non-Newtoniano. Il trasferimento della quantità di moto all’interfaccia include la resistenza viscosa, l’eventuale “*galleggiamento*” e la massa virtuale indotta dalla relativa accelerazione tra le fasi solida e fluida.

Il codice di calcolo si basa sulla risoluzione delle classiche equazioni della meccanica del “*continuo*”:

- Conservazione delle masse solida e fluida

$$\frac{\partial \alpha_s}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_s \mathbf{u}_s) = 0,$$

$$\frac{\partial \alpha_f}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_f \mathbf{u}_f) = 0.$$

con $\mathbf{u}_s = (u_s, v_s, w_s)$ e $\mathbf{u}_f = (u_f, v_f, w_f)$ vettori velocità delle fasi solida e fluida, rispettivamente, e $\alpha_s = (\alpha_s, \alpha_s, \alpha_s)$ frazione solida

- Conservazione della quantità di moto per le fasi solida e fluida

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_s \rho_s \mathbf{u}_s) + \nabla \cdot (\alpha_s \rho_s \mathbf{u}_s \otimes \mathbf{u}_s) = \alpha_s \rho_s \mathbf{f} - \nabla \cdot \alpha_s \mathbf{T}_s + p \nabla \alpha_s + \mathbf{M}_s$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_f \rho_f \mathbf{u}_f) + \nabla \cdot (\alpha_f \rho_f \mathbf{u}_f \otimes \mathbf{u}_f) = \alpha_f \rho_f \mathbf{f} - \alpha_f \nabla p + \nabla \cdot \alpha_f \boldsymbol{\tau}_f + \mathbf{M}_f$$

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 69 di 136

con f = forza peso; $-T_s$ = tensori degli sforzi (Cauchy) della fase solida; $T_f = -pI + \tau_f$ = tensore degli sforzi (Cauchy) della fase fluida; M = azione di contatto all'interfaccia "solido-fluido" ($M = M_s + M_f = 0$); $p\Delta\alpha_s$ = termine che tiene conto della forza di galleggiamento; p = pressione del fluido (Pudasaini, 2012).

I principali outputs di *r.avafLOW* consistono in mappe raster riportanti gli spessori o le altezze del materiale solido, del fluido e totali del flusso granulare, pressione ed energia cinetica, e le modifiche della topografia di base (rilevante nel caso di modellazione di fenomeni di erosione e deposizione).

Tutte le mappe raster sono prodotte per ogni passo temporale (definito dall'utente) e per il valore massimo di ogni grandezza del tempo di uscita per tutti i passaggi temporali.

Parameter	Symbol	Unit	Format
Maximum flow height, kinetic energy, and pressure (each for s, f, t)	$H_{Max}, T_{Max}, P_{Max}$	m, J, Pa	Raster maps
Flow height, flow kinetic energy, and flow pressure at each output time step t_{out} (each for s, f, t)	$H_{tout}, T_{tout}, P_{tout}$	m, J, Pa	Raster maps
Flow velocities in x and y direction, and in absolute values (each for s, f)	v_x, v_y, v	$m s^{-1}$	Raster maps
Change of basal topography (s, f, t)	H_C	m	Raster maps
Impact indicator index, deposition indicator index	III, DII	-, -	Raster maps
n_D-n_C output hydrograph tables: flow heights, velocities, and discharges at defined points of time (s, f)	H_p, v_p, Q	m, $m s^{-1}$, $m^3 s^{-1}$	Tables

Tabella 4-5: *r.avafLOW* – principali outputs.

4.3.2 Parametri geometrici e fisico-meccanici ed implementazione del modello di calcolo

Si riportano sinteticamente i valori dei volumi "solido" e "fluido" (principali dati di input di *r.avafLOW*) per il sistema "bacino-conoide" del T. Acquara, relativamente agli scenari simulati.

Scenario	$C_{v,max}$	Volume solido (mc)	Volume liquido (mc)	Volume totale (mc)
1	0.65	300000	290000	590000
2	0.50	300000	460000	760000

Per confronto si riportano anche i valori del volume (totale) dell'evento (V) stimati tramite le formulazioni empiriche descritte in precedenza:

- $V = 329000 m^3$, secondo Marchi & Tecca (1996)
- $V = 775000 m^3$, secondo Ceriani et al. (2000) (assumendo $k = 4.2$ e $IF = 2$)

Per il sistema "bacino-conoide" in esame, la formulazione di Ceriani et al. (2000) risulta essere più attendibile.

L'estensione delle aree di distacco è stata ricavata in relazione alle considerazioni espone in precedenza (Figura 4-12, Figura 4-16). Come topografia di base è stato utilizzato il rilievo LiDar, con risoluzione 1x1 m, fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Le opere di attraversamento lungo il Torrente Acquara sono state implementate nel software *r.avafLOW* modificando opportunamente il modello digitale del terreno in ambiente GIS.

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PIZZAROTTI						
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 70 di 136

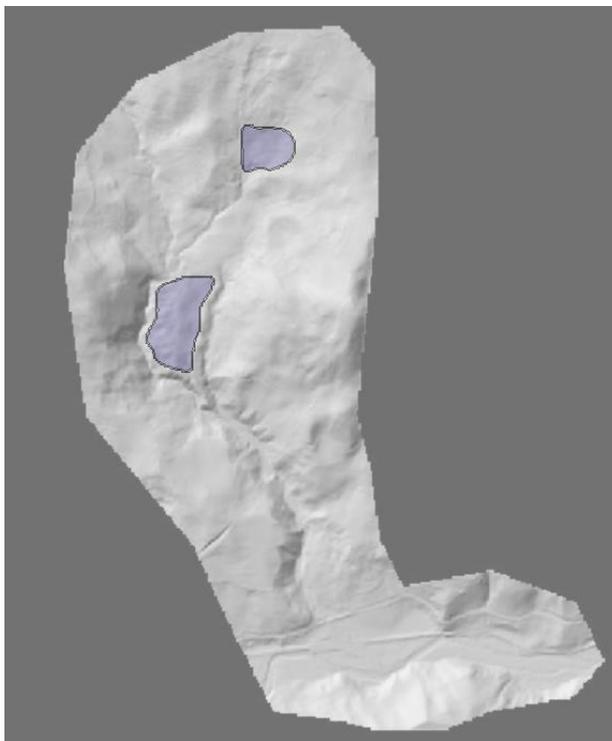


Figura 4-16: Sistema bacino-conoide del T. Acquara: aree di distacco simulate.

Noti i volumi e gli spessori “solido” e “liquido” è stato quindi possibile costruire le mappe raster riportanti la distribuzione delle relative altezze, “solid release height” e “liquid release height”. Possibili fenomeni di erosione dei canali di scorrimento durante la propagazione non sono stati simulati.

Per quanto concerne i parametri meccanici “angolo di attrito interno, δ ” e “angolo di attrito alla base, φ ”, con riferimento ai risultati delle prove di laboratorio effettuate sui campioni estratti durante la campagna di indagini, sono stati considerati i seguenti valori: $\delta = 27^\circ$; $\varphi = 15^\circ$.

Inoltre, sono stati assunti i seguenti parametri: ρ_s (peso dell’unità di volume della fase solida) = 2600 kg/m³ e ρ_w (peso dell’unità di volume della fase liquida) = 1000 kg/m³, da cui un peso specifico della colata $\rho_c = 1800 - 2100$ kg/mc (con riferimento ai valori di $C_{v,max}$ considerati).

Definito ρ_c e noto il volume solido potenzialmente mobilitabile dai versanti (V_s), è stato possibile stimare il carico solido entrante (CS) da imporre come input nel modello idraulico a fondo mobile, descritto nel precedente capitolo (CS = 540 tonnellate).

Valutati i principali parametri di input, si è proceduto alle simulazioni numeriche in *r.avaflow*; è stato applicato il modello di Pudasaini (2012) e ai parametri computazionali sono stati assegnati i seguenti valori: *minimum flow depth* = 0.001 m; *terminal velocity* = 1 m/s; *maximum time step length* = 0.01; *CFL criterion* = 0.25; *time at which to stop simulation* = dedotto dalla durata del debrisgramma corrispondente allo scenario simulato.

4.3.3 Risultati delle simulazioni numeriche

Di seguito, i risultati in termini di aree di deposizione finali (totali, solido + liquido) e di “*involuppo*” delle altezze (totali) massime (fluido + solido), per entrambi gli scenari simulati.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 71 di 136

SCENARIO 1

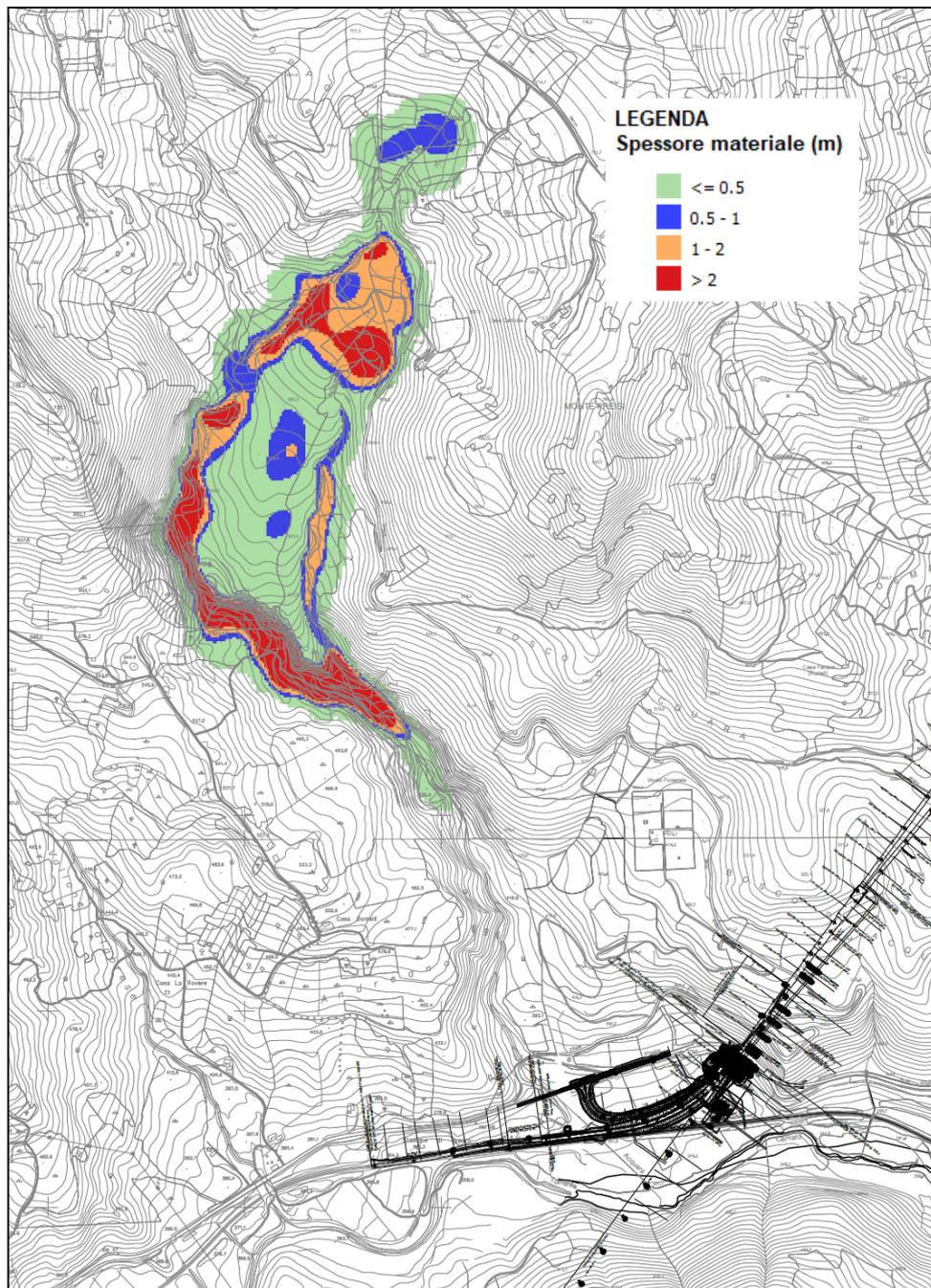


Figura 4-17: Scenario 1: aree di deposizione finali (solido + liquido).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 72 di 136

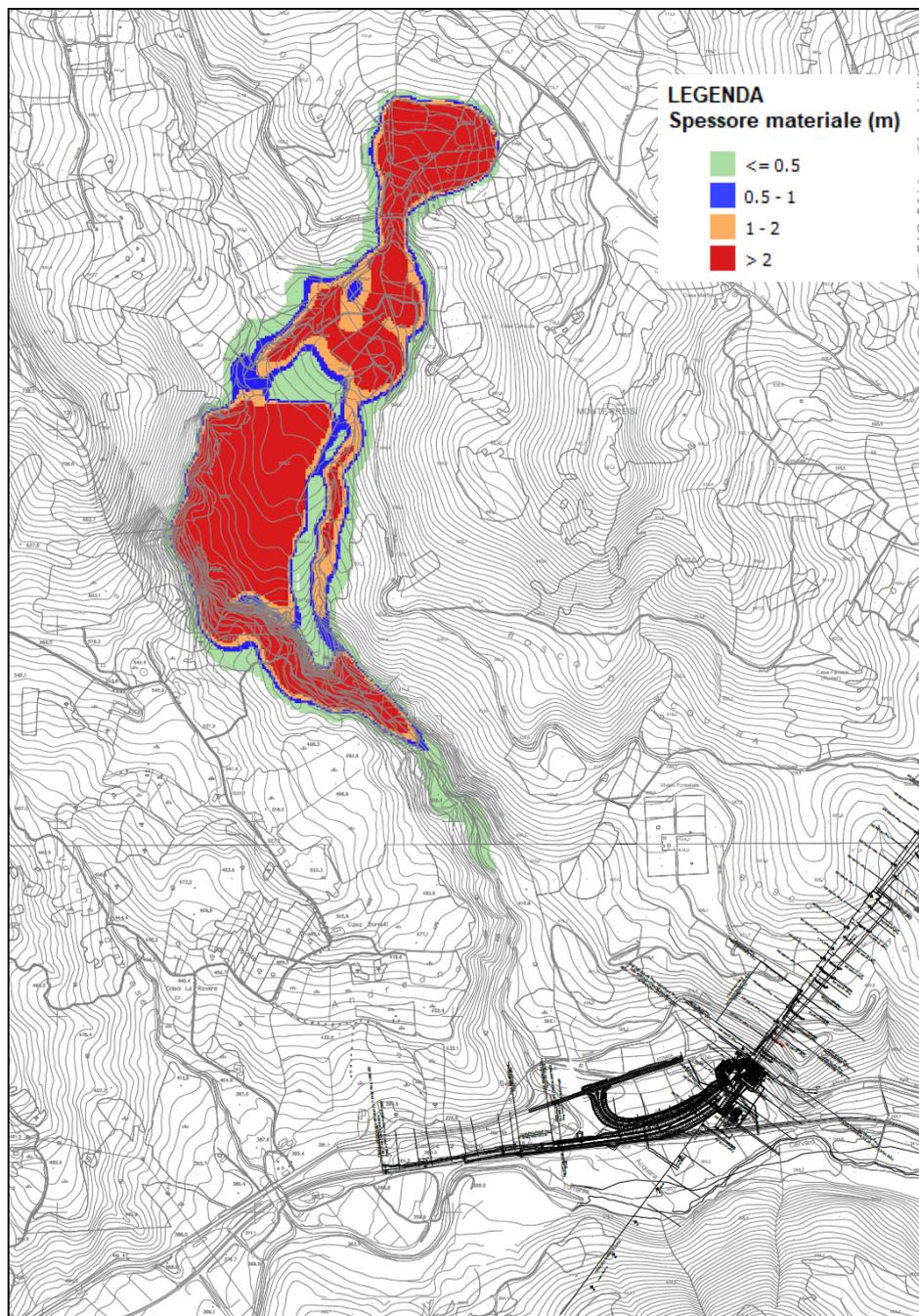


Figura 4-18: Scenario 1: involuppo delle altezze massime (solido + liquido).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 73 di 136

SCENARIO 2

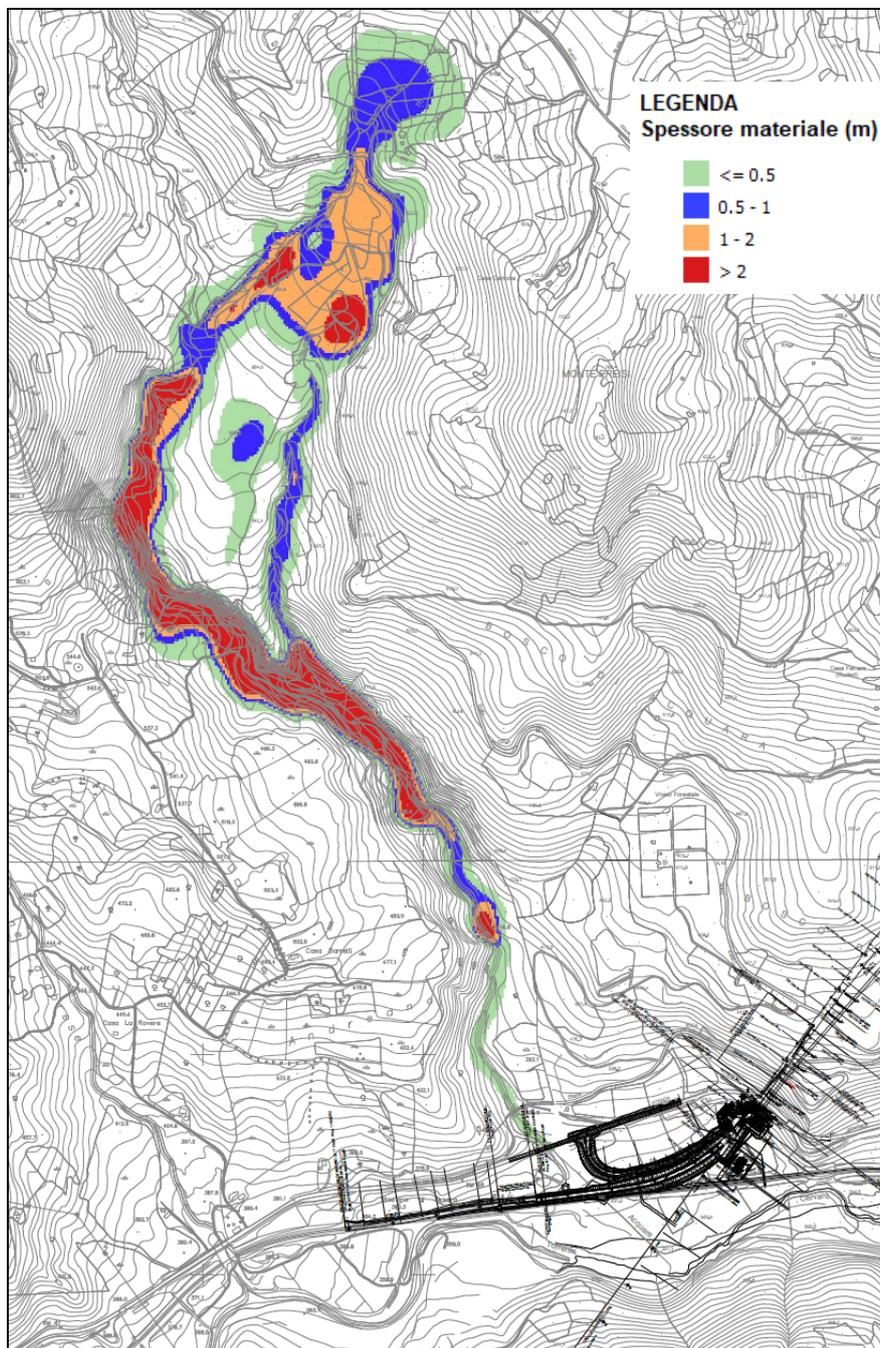


Figura 4-19: Scenario 2: aree di deposizione finali (solido + liquido).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 74 di 136

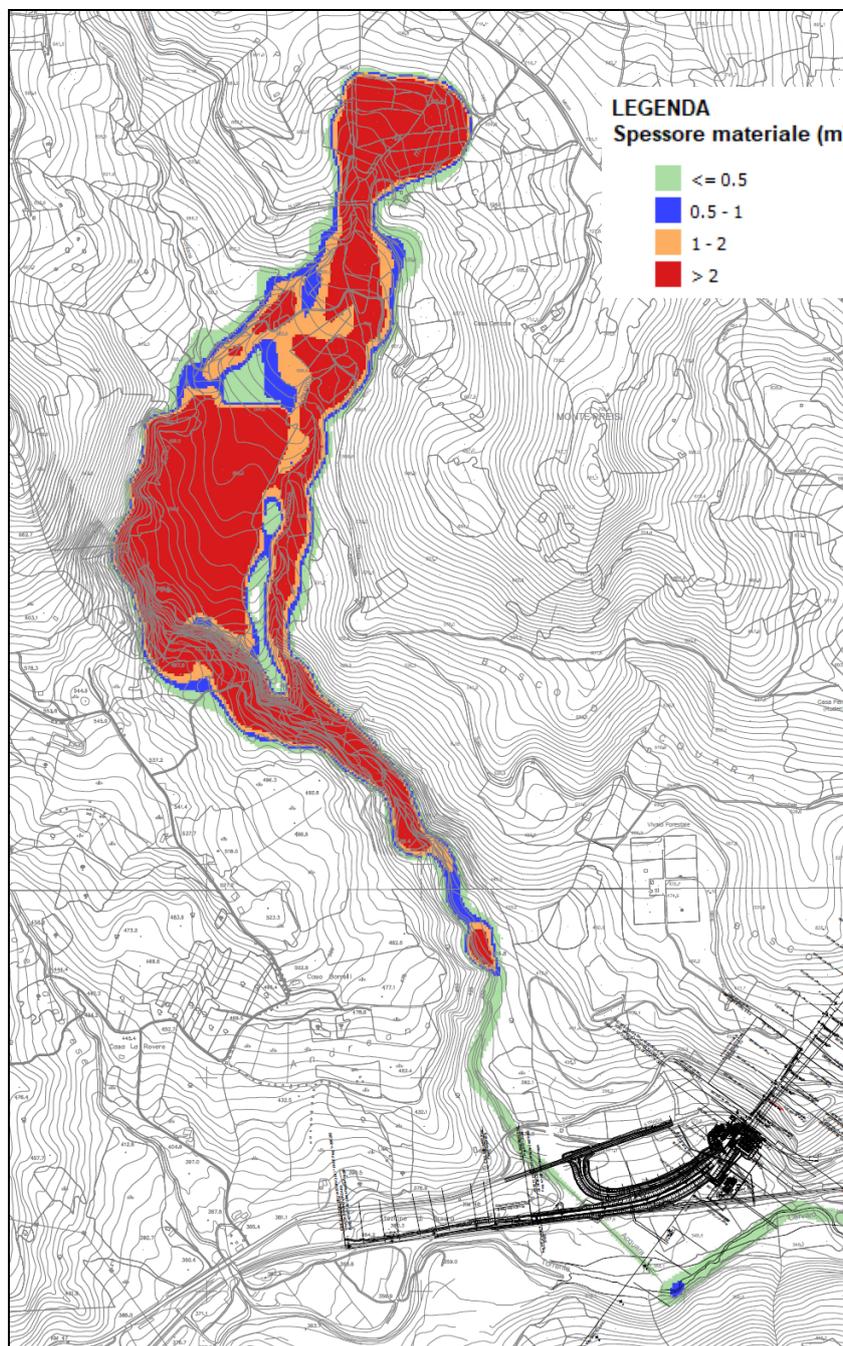


Figura 4-20: Scenario 2: involuppo delle altezze massime (solido + liquido).

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 004</td> <td>B</td> <td>75 di 136</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 004	B	75 di 136
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 004	B	75 di 136													
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro																		

I risultati ottenuti riproducono le aree di pericolosità geomorfologica censite nel P.A.I.. Nello specifico, per quanto concerne lo scenario 1 ($C_{v,max} = 0.65$), il potenziale flusso detritico si arresta a monte dell'area di intervento, ad una distanza di circa 1 km dalle opere in progetto (i.e. tratto di raccordo con la linea storica e attraversamento del T. Acquara).

Nello scenario 2 ($C_{v,max} = 0.50$), il potenziale flusso detritico percorre invece una distanza tale da giungere, sebbene con tiranti modesti (< 0.20 m), al Torrente Cervaro passando attraverso il ponte in progetto, sul tratto di raccordo con la linea esistente. Non si rilevano criticità per le strutture ferroviarie.

Possibili fenomeni di interrimento in corrispondenza dell'opera in progetto, dovuti al trasporto, all'erosione e alla deposizione di materiale solido, sono valutati tramite appositi modelli idraulici a fondo mobile, illustrati nel capitolo precedente.

La conformazione e la morfologia del sistema "bacino-conoide" del T. Acquara, come anche dimostrato dagli abachi impiegati inizialmente in via speditiva, limitano/sfavoriscono la propagazione verso valle di possibili fenomeni di colate detritiche.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 76 di 136

4.4 TORRENTE ACQUARA: SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DI COLATE DETRITICHE – PE: MODELLO HEC-RAS 6.1.0 – IPOTESI DI FLUIDO NON NEWTONIANO

Nel presente studio si è prevista un'integrazione dello studio dei fenomeni di colate detritiche (debris flow) mediante l'implementazione di un modello di propagazione 2D della debris flow mediante il software HEC-RAS che propone nella sua versione, la 6.1.0, un codice di calcolo bidimensionale per stimare la propagazione di fenomeni di debris flow a partire da un idrogramma di piena e un certo valore di concentrazione Cv. Proprio in funzione del valore della concentrazione, nel modello di calcolo si possono assumere ipotesi di comportamento del fluido come fluido Newtoniano iper-concentrato o come fluido Non Newtoniano nel caso di debris flow che superano certi valori di concentrazione. Da un punto di vista dei metodi di calcolo in funzione a quanto appena descritto possiamo suddividere i vari metodi implementabili in due famiglie, ovvero, quelli che stimano il comportamento del fluido con equazioni di tipo lineare (Newtoniano iper-concentrato) e quelli che stimano il comportamento del fluido secondo leggi non lineari (Non Newtoniani). Per maggiori dettagli sulla validazione del modello Hec RAS per la modellazione di debris flow si rimanda al documento di verifica e validazione ([documento ufficiale di verifica e validazione](#)).

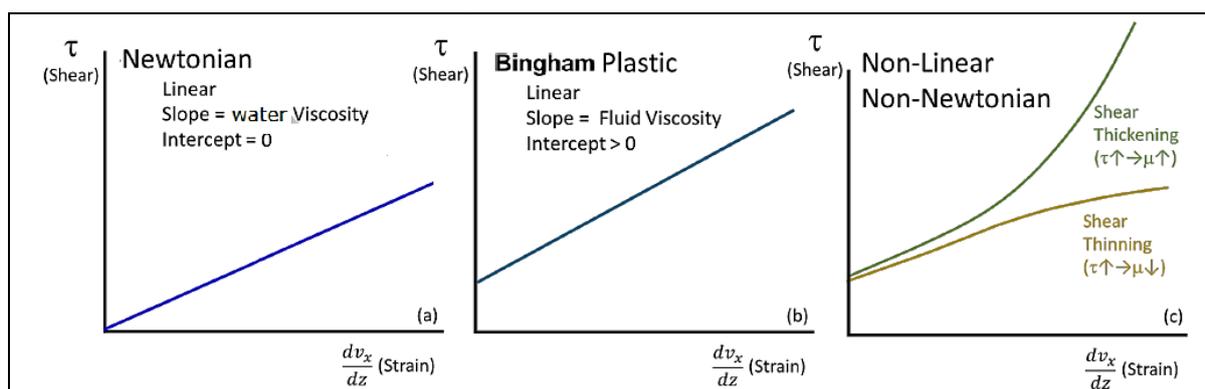


Figura 4-21: modelli teorici

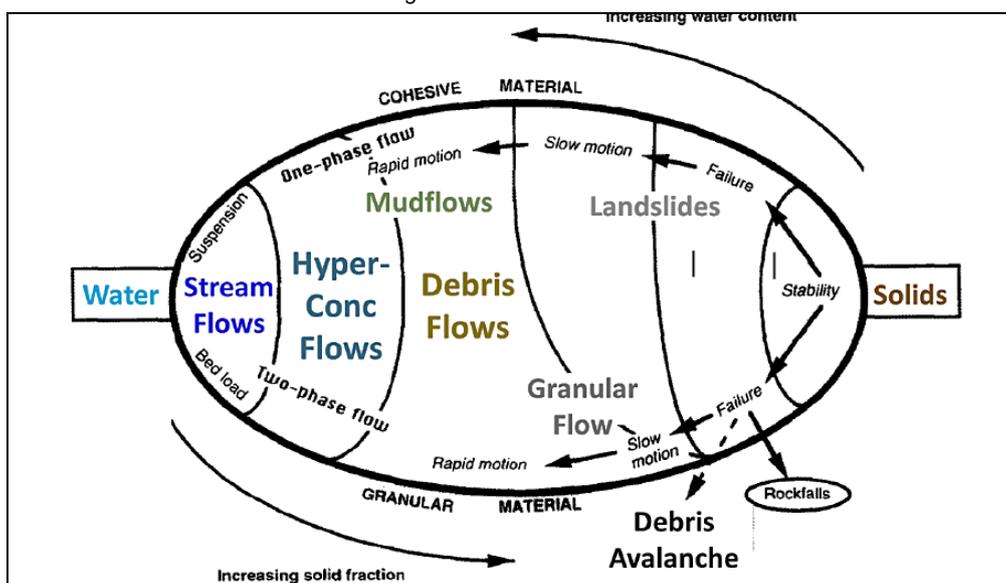


Figura 4-22: classificazione del comportamento dei fluidi concentrati secondo Coussot and Meunier's (1986) taxonomy of Geologic flows.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 77 di 136

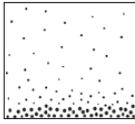
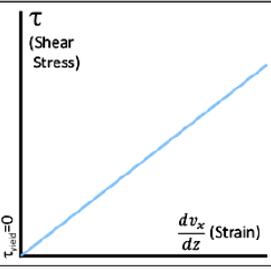
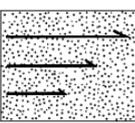
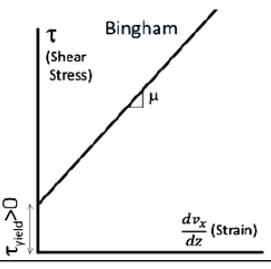
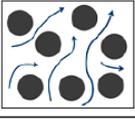
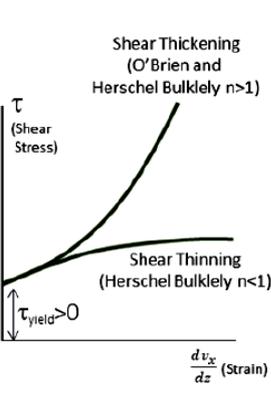
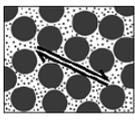
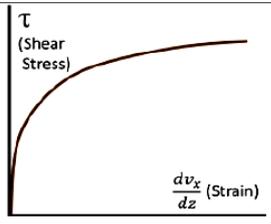
Flow Classification	Process	Threshold	O'Brien et al. (1993) Shear Component	Hershel Bulkeley Shear Component	Rheological/ Geotechnical Model	
Sediment Transport	Bedload and Suspended Load 	$C_v < 5\%$	None	None		Finer Sediment Lower Concentration
Hyper-concentrated Flow	Yield Stress & Viscous Losses 	$C_v > 5\%$	Bingham $\tau_y + \mu(\dot{\gamma})$	Linear $\tau_y + K(\dot{\gamma})^{n=1}$		
Mudflow	Inter-Particle Turbulence 		$\rho_m l_m^2 (\dot{\gamma})^2$	$K(\dot{\gamma})^{n \neq 1}$		Higher Concentration Coarser Sediment
Debris Flow	Grain Collision 	Bagnold # $N_{BAG} > 40$	$\frac{0.01 \rho_s d_s^2 (\dot{\gamma})^2}{\left(\left(\frac{0.615}{C_v}\right)^{1/3} - 1\right)^2}$			
Clastic Flow	Matrix Strength 	Friction # $N_{fri} > 100^*$	Replaces the yield stress (τ_y) in either model with a Coulomb (geotechnical) model: $\tau_y = \tau_c + \sigma \tan \phi$			

Figura 4-23: modelli teorici in base a dimensione e concentrazione della matrice solida

APPALTATORE: Consortio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	PIZZAROTTI				ITINERARIO NAPOLI – BARI							
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A			Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER			PINI	GCF	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro			COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 78 di 136					

Sulla base di quanto appena descritto e sulla base dei sondaggi effettuati che hanno definito la stratigrafia e la granulometria dei volumi mobilizzabili, si è adottato come tipologia di fluido da simulare quello di tipo Non Newtoniano sia per valori di $C_v=50\%$ e sia per valori di $C_v=65\%$.

Nello specifico si sono adottati come modelli teorici quello di Hershel-Bulkley per la simulazione della colata come funzione di Yield Stress si è adottato il metodo esponenziale definiti rispettivamente dalle seguenti equazioni.

Hershel-Bulkley: $\tau_{MD} = \tau_y + \tau_v$

$$\tau_v = K\dot{\gamma}^n$$

Con:

- K: coefficiente di consistenza del fluido
- n: esponente che può assumere valori minori o maggiori a uno definendo due comportamenti diversi:
 - $n < 1$: definisce un comportamento con assottigliamento a taglio, ovvero, la viscosità diminuisce all'aumentare della resistenza a taglio (Non Newtoniano pseudoplastico)
 - $n > 1$: definisce un fluido in cui la sua viscosità tende ad aumentare definendo quindi fluidi con un comportamento dilatante.

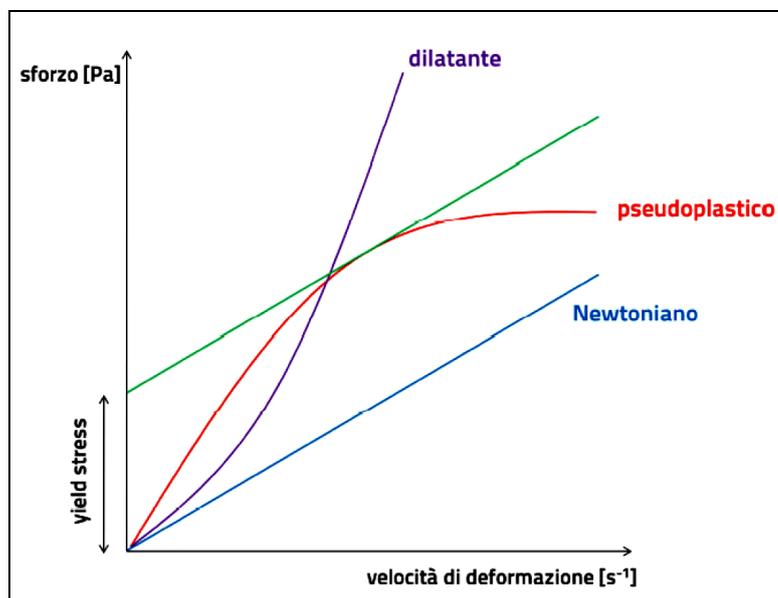


Figura 4-24: funzioni in base al valore di n

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGGIO B 80 di 136

4.4.1 Confronto con modello r.avaflow

La differenza tra il modello r.avaflow utilizzato nel PD, rispetto al modello numerico predisposto nel software HECRAS nella versione 6.1.0, consta principalmente nel set di equazioni. Il codice r.avaflow si basa principalmente sullo schema numerico NOC-TVD associato ad un modello di tipo Voellmy dove si considera un fluido multifase di tipo granulometrico la cui propagazione, o meglio distacco, dipende dalla topografia del terreno. Nel caso di Hec Ras tutto il fluido è trattato come fluido non newtoniano e di conseguenza è governato da equazioni di propagazione diverse come descritto nel precedente paragrafo.

4.4.2 Geometria del modello

Come per il modello 2D a fondo mobile, anche in questo caso è necessario definire una geometria 2d mediante la definizione di una mesh di calcolo. Nello specifico è stata adottata la stessa geometria utilizzata per il modello idraulico bidimensionale descritto nel dettaglio nella relazione IF3A02EZZRIID0002001B.

4.4.3 Condizioni al contorno

Come condizioni al contorno, oltre a quelle che definiscono la parte puramente idraulica, vanno aggiunte le condizioni al contorno che definiscono gli input dei metodi adottati per la stima della propagazione dei fenomeni di debris flow, che nel caso in esame è stata trattata come fluido Non Newtoniano.

Per quanto riguarda gli idrogrammi, si sono adottati quello derivanti dal modello Hec Hms e descritti nel paragrafo 3.4.4.

Per quanto riguarda i parametri per la definizione del comportamento del fluido Non Newtoniano, nella medesima finestra di inserimento degli idrogrammi (finestra unsteady flow) si vanno a specificare i parametri scelti in funzione del metodo teorico come precedentemente descritto. Di seguito si riportano i parametri adottati

Figura 4-25: parametri fluidi Non Newtoniani adottati

Come si evince dall'immagine della finestra di inserimento dei parametri, il software consente di poter scegliere il cosiddetto metodo del Bulking factor espresso come:

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 81 di 136

$$BF = \frac{1}{1 - C_v}$$

Se si sceglie come metodo, come nel caso in esame, Bulk Fluid Volume, il software andrà a calcolare durante la simulazione le portate complessive del debrisgramma (Qw+Qsolido).

Fissate le condizioni al contorno, si è proceduto all'implementazione degli scenari descritti in precedenza. Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

4.4.4 SCENARIO DFlow01: Debris Flow con idrogramma Tr200 ricavato dal modello idrologico HEC-HMS e per Cv=65%,

Sulla base di quanto appena descritto si è proceduto all'implementazione del modello focalizzato a definire la propagazione della colata lungo il T. Acquara in modo da verificare la compatibilità delle opere interferenti anche nei confronti di questo fenomeno.

Di seguito viene riportato un inquadramento generale della colata dove la legenda riporta lo spessore della debris flow.

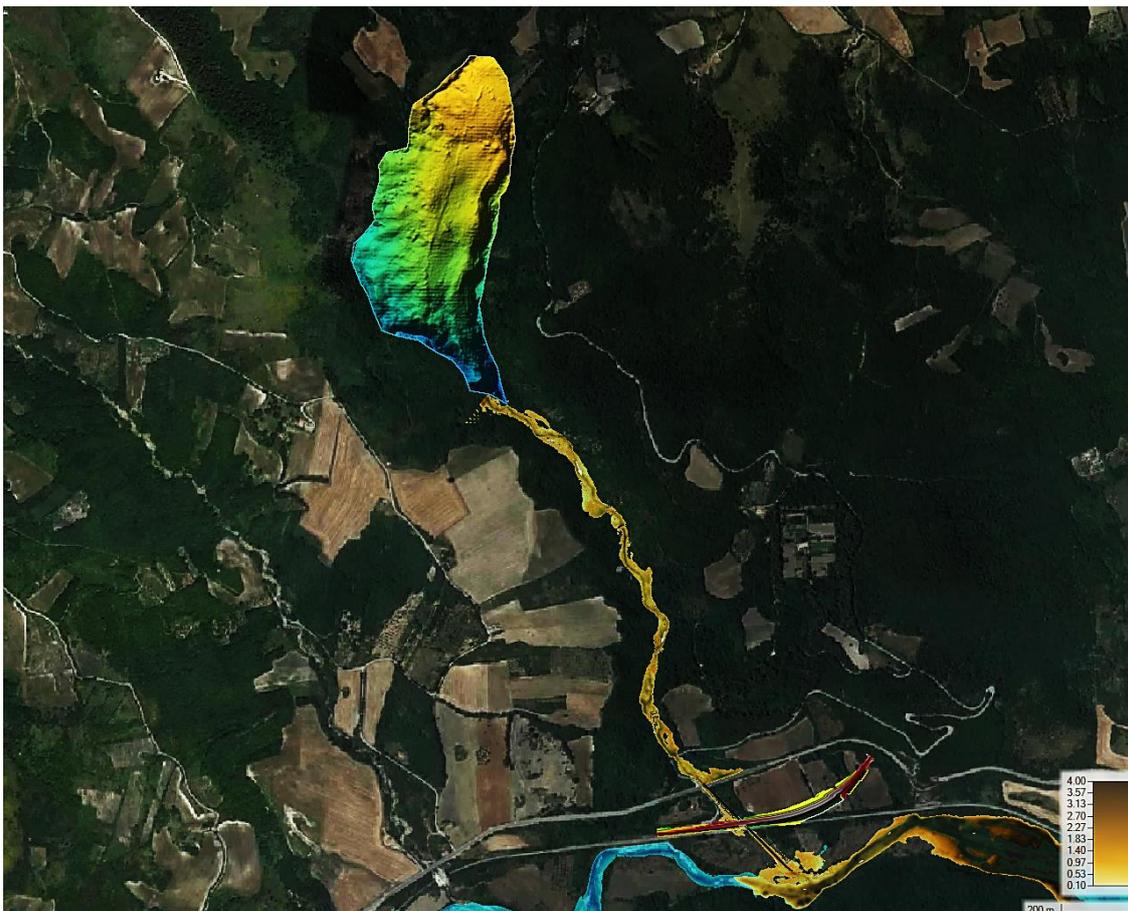


Figura 4-26: Inquadramento generale della colata – SCENARIO DFlow01

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 82 di 136

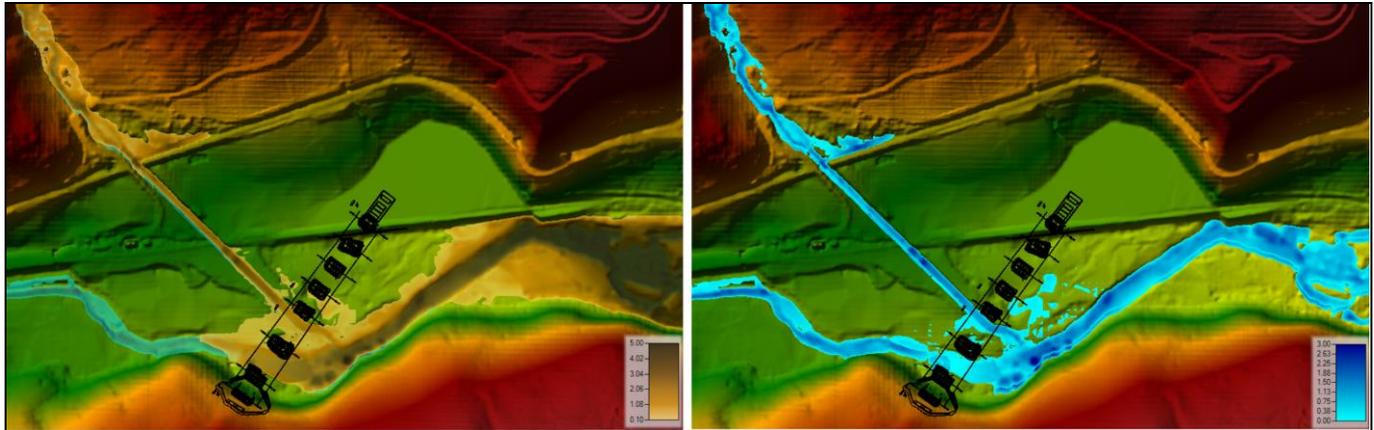


Figura 4-27: confronto allagamento portata liquida (figura dx) - espansione della colata (immagine sx) – SCENARIO DFlow01. (La legenda esprime in metri i tiranti della colata e dei deflussi liquidi)

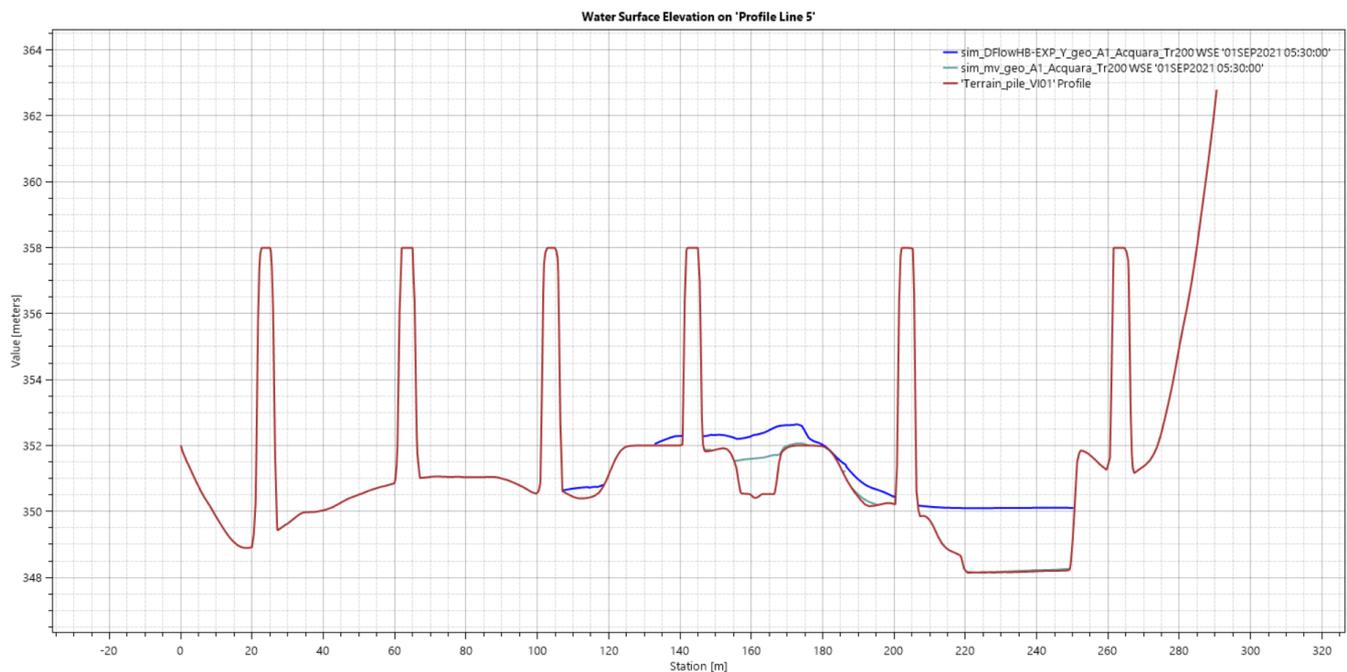


Figura 4-28: confronto livelli portata liquida e livelli della colata in corrispondenza della sezione in asse VI01 – SCENARIO DFlow01 (linea blu debris flow, linea azzurra deflussi di piena)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 83 di 136

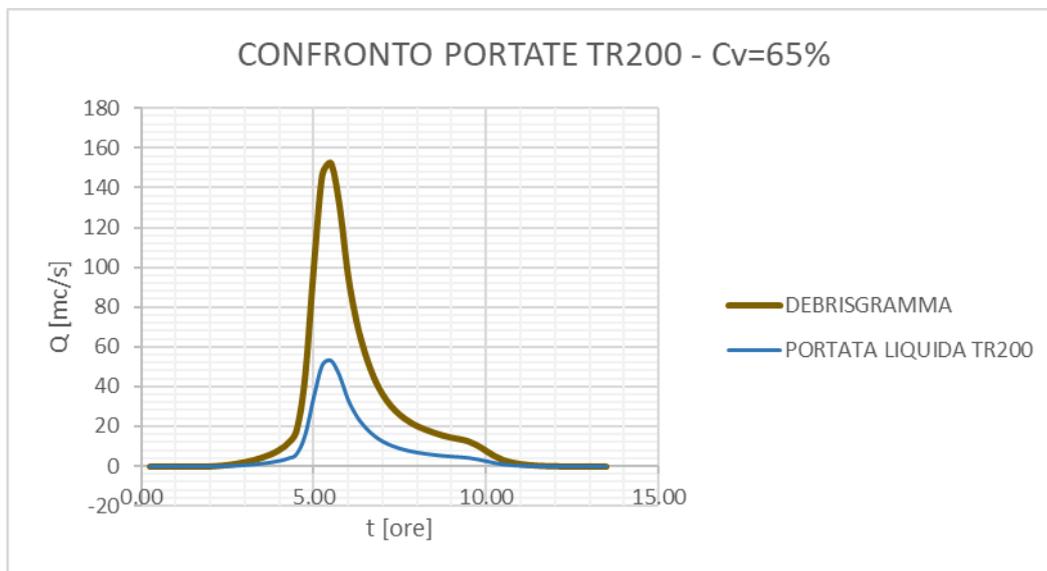


Figura 4-29: debrisgramma calcolato mediante Bulking Method – SCENARIO DFlow01

Tabella 4-7: valori di portata Cv65%

Tipo	Portata max [mc/s]
Debrisgramma	152.173
Portata liquida	53.256

Tabella 4-8: valori volumi Cv65%

Tipo	Volume max [1000 mc]
Debris Flow	1044.531
Portata liquida	365.263

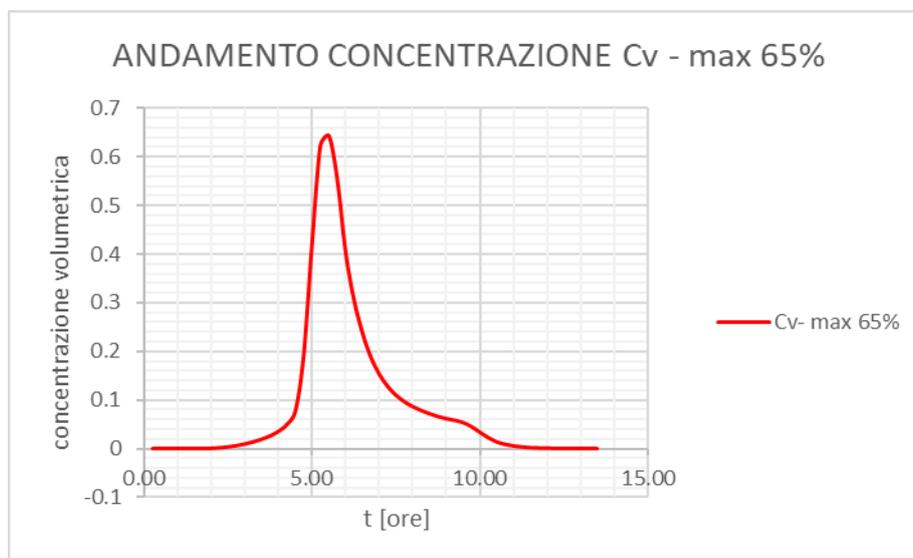


Figura 4-30: andamento della concentrazione Cv mediante Bulking Method – SCENARIO DFlow01

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 84 di 136

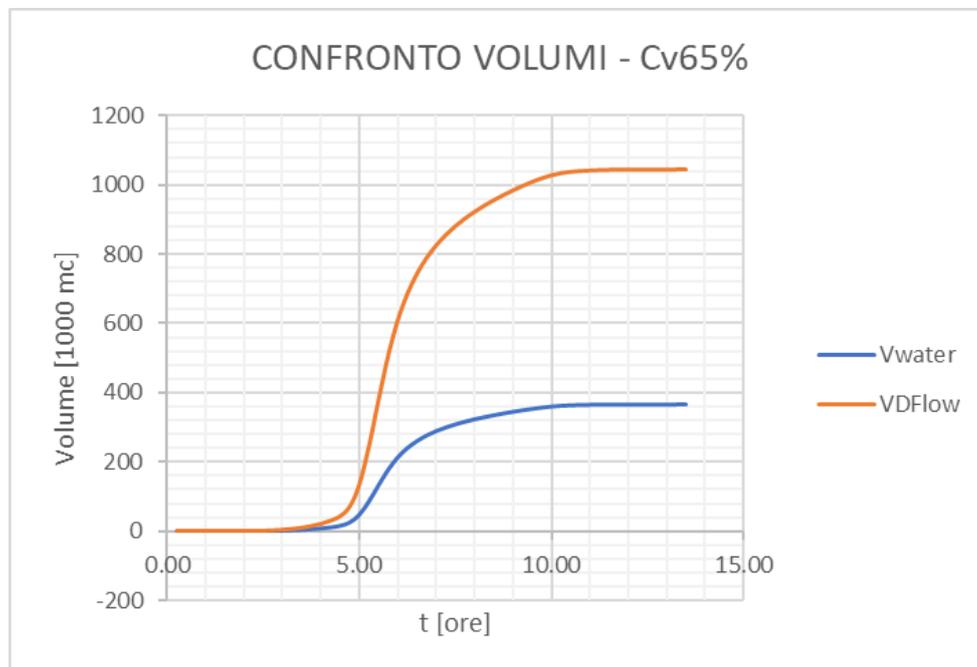


Figura 4-31: confronto volumi – SCENARIO DFlow01

Il diverso comportamento della colata (fluido non newtoniano) rispetto a quella del solo liquido (fluido Newtoniano) è ben colto dal modello di calcolo e le differenze di approccio numerico si riescono a valutare facendo un confronto tra le velocità di propagazione della colata detritica e del solo fluido newtoniano, come mostrato nella seguente Figura 4-32.

Nella figura vengono messi a confronto i due tipi di fluidi in termini mappe di velocità. Da tale confronto emerge come allo stesso time step, nonostante la colata abbia un valore di portata superiore, si sia propagata fino ad una sezione posta più a monte rispetto a quella raggiunta dal solo liquido. Questo naturalmente è dovuto alle proprietà di non linearità della viscosità nei confronti delle tensioni tangenziali.

Dall'analisi complessiva dei risultati ottenuti nello SCENARIO DFlow01, emerge come la colata detritica si propaghi con tiranti superiori di circa 1m rispetto a quelli del modello idraulico 2d che prevede esclusivamente la portata liquida.

Lo studio effettuato mette in evidenza come, l'apporto di materiale solido, in questo caso stimato con una $Cv=65\%$, vada ad aumentare complessivamente i picchi e quindi i volumi coinvolti, come mostrato dai grafici riportati.

Tuttavia, nei confronti del viadotto VI01 si registra un franco, rispetto ai valori di piena dell'Acquara, nel punto più critico di circa 5m, valore ampiamente in sicurezza rispetto all'intradosso del viadotto stesso.

Giova evidenziare, come riportato nella relazione idraulica IF3A02EZZRIID0002001, che il valore di picco determinato dall'Acquara non si sovrappone con quello del Cervaro. Infatti, i due torrenti sono caratterizzati a causa della diversa dimensione dei bacini, da uno sfalsamento dei picchi di portata. Come illustrato nel modello idrologico di dettaglio, gli idrogrammi sono stati calcolati secondo i propri tempi caratteristici, di conseguenza, per il bacino B1 del torrente Acquara – caratterizzato da dimensioni più ridotte e quindi tempi di riposta più brevi - il picco di portata transita in corrispondenza del viadotto circa 5 ore prima del picco del bacino del torrente Cervaro.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 85 di 136

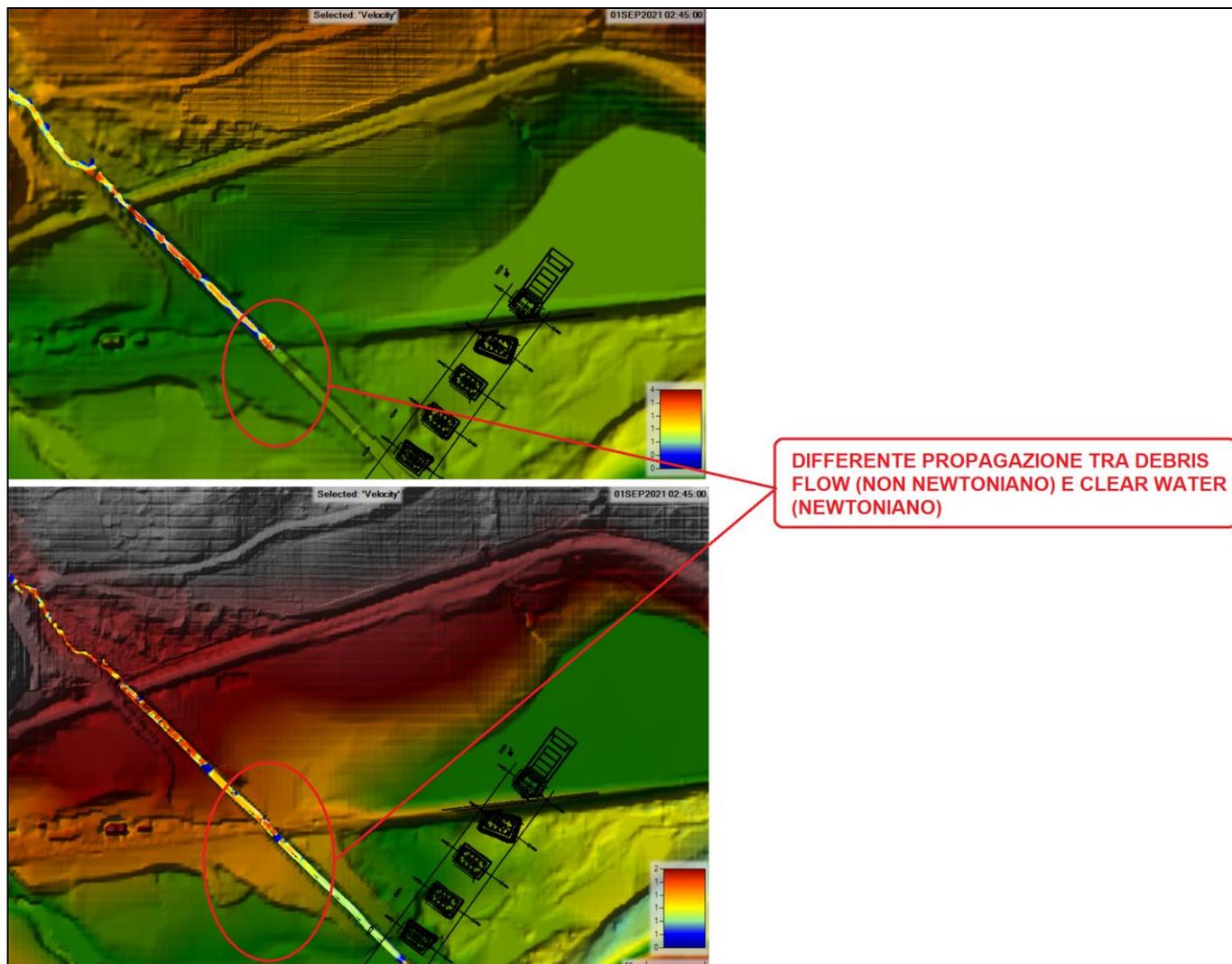


Figura 4-32: confronto comportamento fluido Newtoniano e fluido non Newtoniano

APPALTATORE: Consorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 86 di 136

4.4.5 SCENARIO DFlow02: Debris Flow con idrogramma Tr200 ricavato dal modello idrologico HEC-HMS e per Cv=50%

Sulla base di quanto appena descritto si è proceduto all'implementazione del modello per definire la propagazione della colata lungo il T. Acquara anche con ipotesi Cv=50%, che corrisponde al limite di concentrazione del solido per le colate detritiche. I risultati non mostrano significative criticità rispetto a quanto indagato per il precedente scenario con CV= 65%.

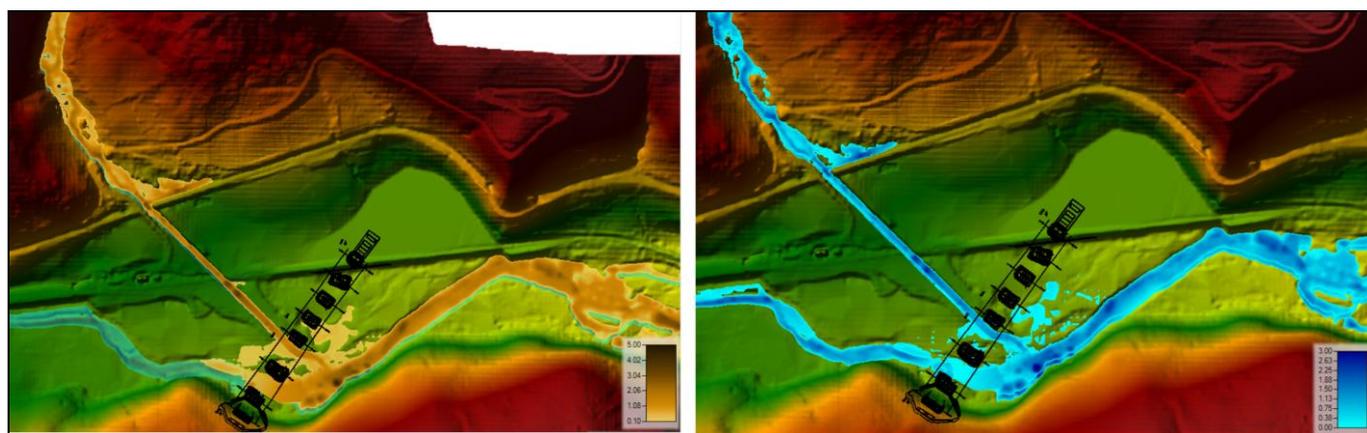


Figura 4-33: confronto allagamento portata liquida espansione della colata – SCENARIO DFlow02. (La legenda esprime in metri i tiranti della colata e dei deflussi liquid)

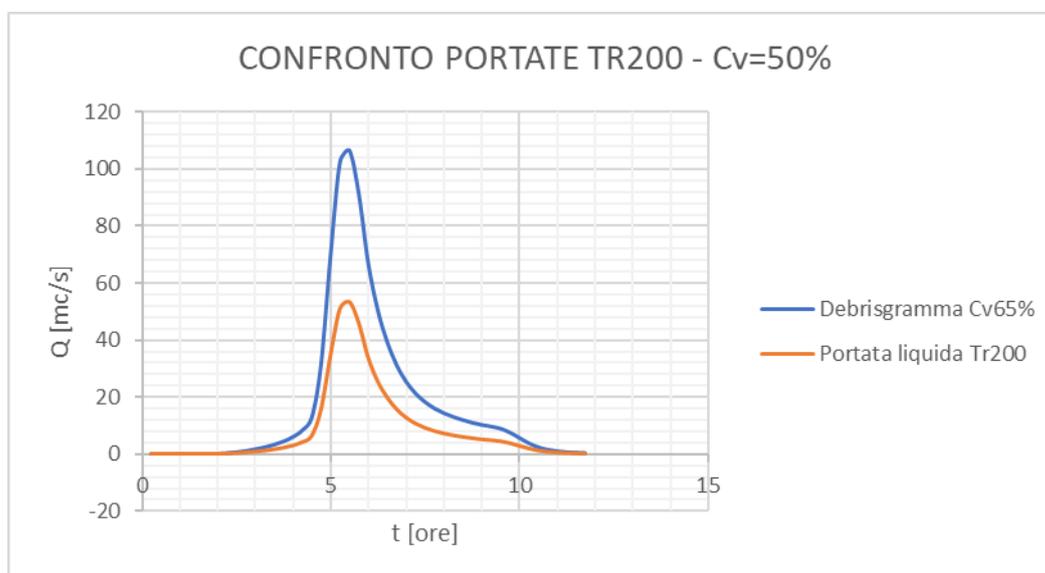


Figura 4-34: debrisgramma calcolato mediante Bulking Method – SCENARIO DFlow01

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 87 di 136

Tabella 4-9: valori di portata Cv50%

Tipo	Portata max [mc/s]
Debrisgramma	106.511
Portata liquida	53.256

Tabella 4-10: valori volume Cv50%

Tipo	Volume max [1000 mc]
Debris Flow	729.626
Portata Liquida	365.263

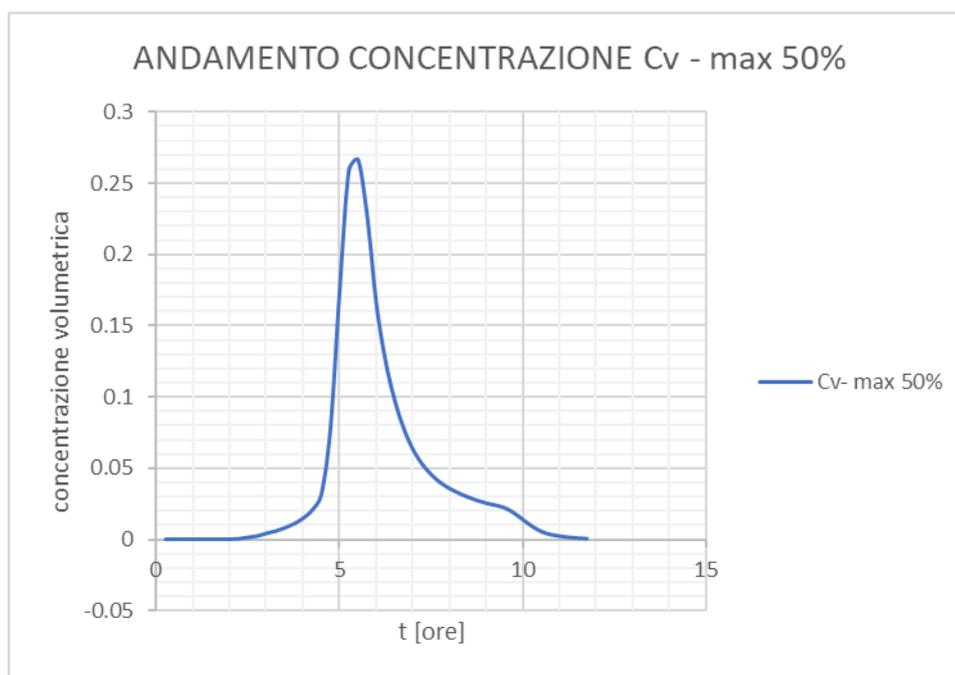


Figura 4-35: andamento della concentrazione Cv mediante Bulking Method – SCENARIO DFlow02

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV	Soci WEBUILD ITALIA	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PIZZAROTTI							
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	Mandanti NET ENGINEERING ELETTRI-FER	PINI	GCF				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 88 di 136

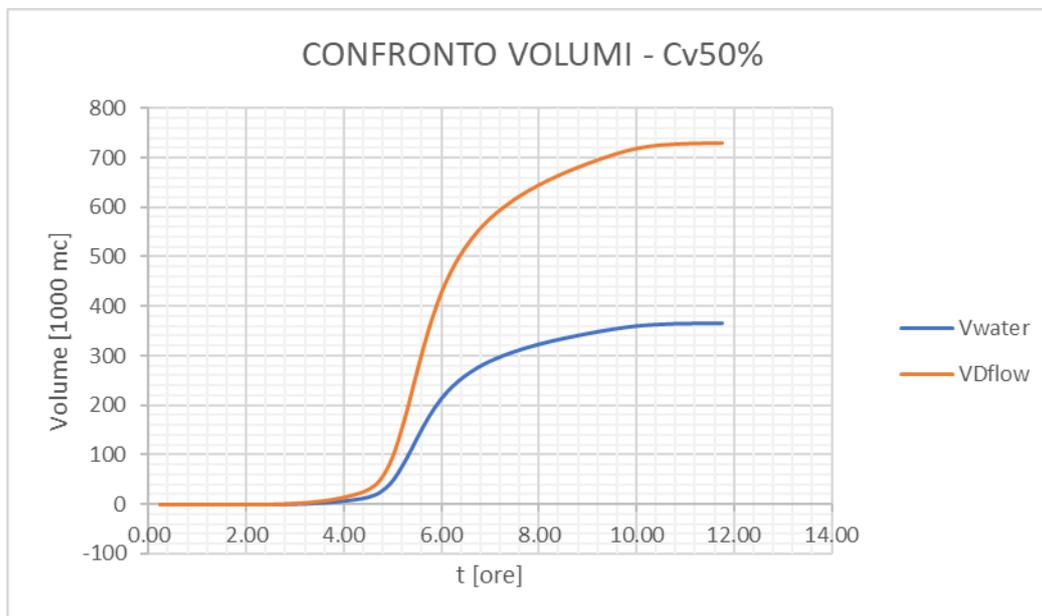


Figura 4-36: confronto volumi – SCENARIO DFlow01

4.4.6 SCENARIO DFlow03: Confronto Debris flow con idrogramma Tr200 ricavato dal modello idrologico HEC-HMS e idrogramma Tr200 studio AdB e Cv=65%

Per completezza dello studio condotto, si è proceduto ad implementare, con le stesse ipotesi di calcolo, l'idrogramma triangolare con Tr200 anni dello studio condotto dall'AdB e utilizzato nell'implementazione del modello di calcolo del PD e descritto nel paragrafo 4.3.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti e confrontati con il modello della fase di PE.

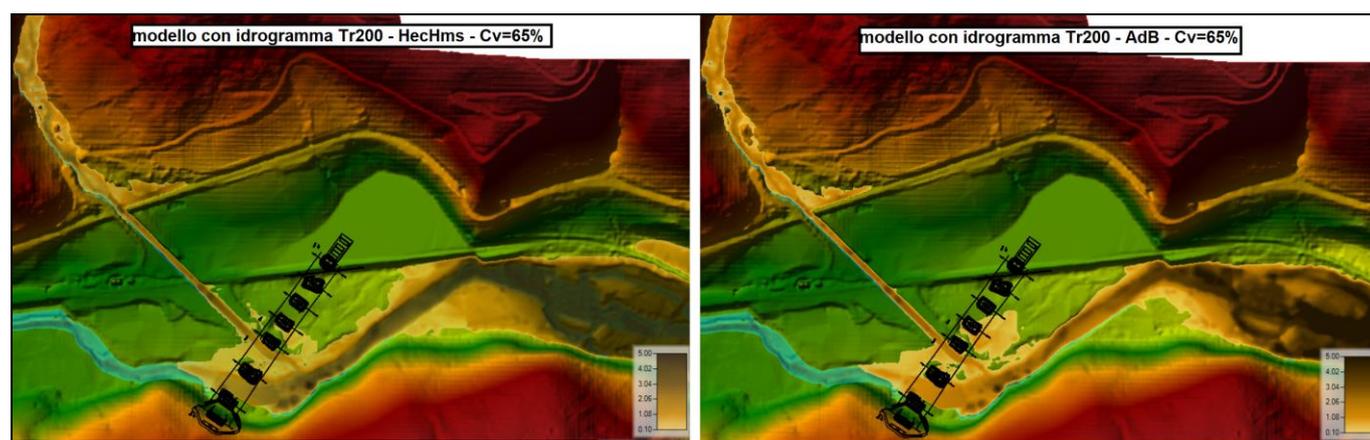


Figura 4-37: confronto aree di espansione della colata – SCENARIO DFlow03. (La legenda esprime in metri i tiranti della colata e dei deflussi liquid)

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 89 di 136

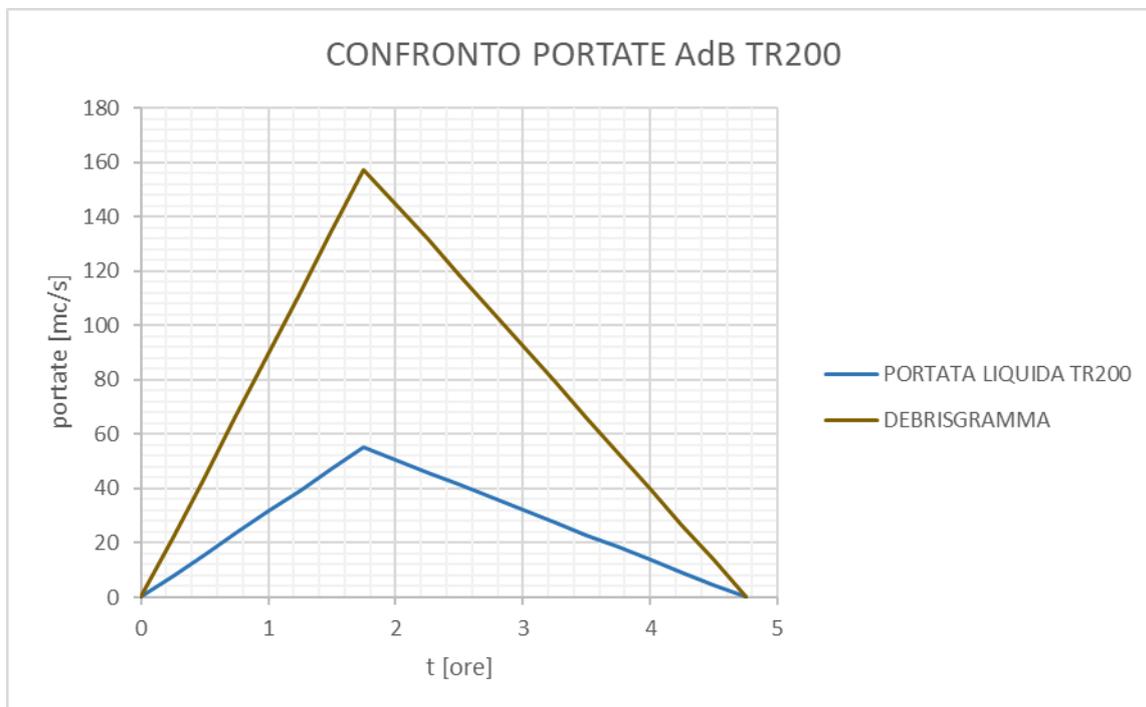


Figura 4-38: debrisgramma AdB calcolato mediante Bulking Method – SCENARIO DFlow03

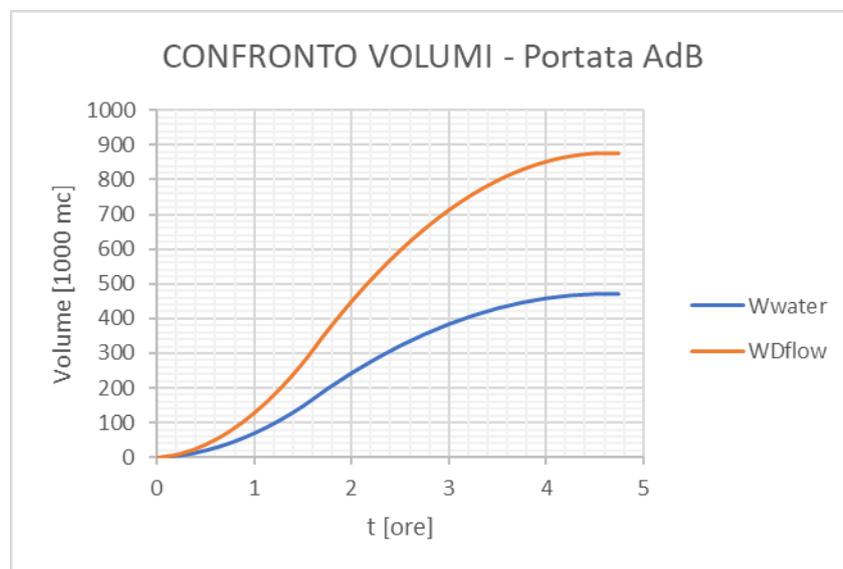


Figura 4-39: confronto volumi portate AdB – SCENARIO DFlow03

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 90 di 136

Tabella 4-11: valori di portata AdB Cv65%

Tipo	Porata max [mc/s]
Debrisgramma	157.299
Portata liquida	55.200

Tabella 4-12: valori volume AdB Cv65%

Tipo	Volume max [1000 mc]
Debris Flow	876.69
Portata Liquida	471.961

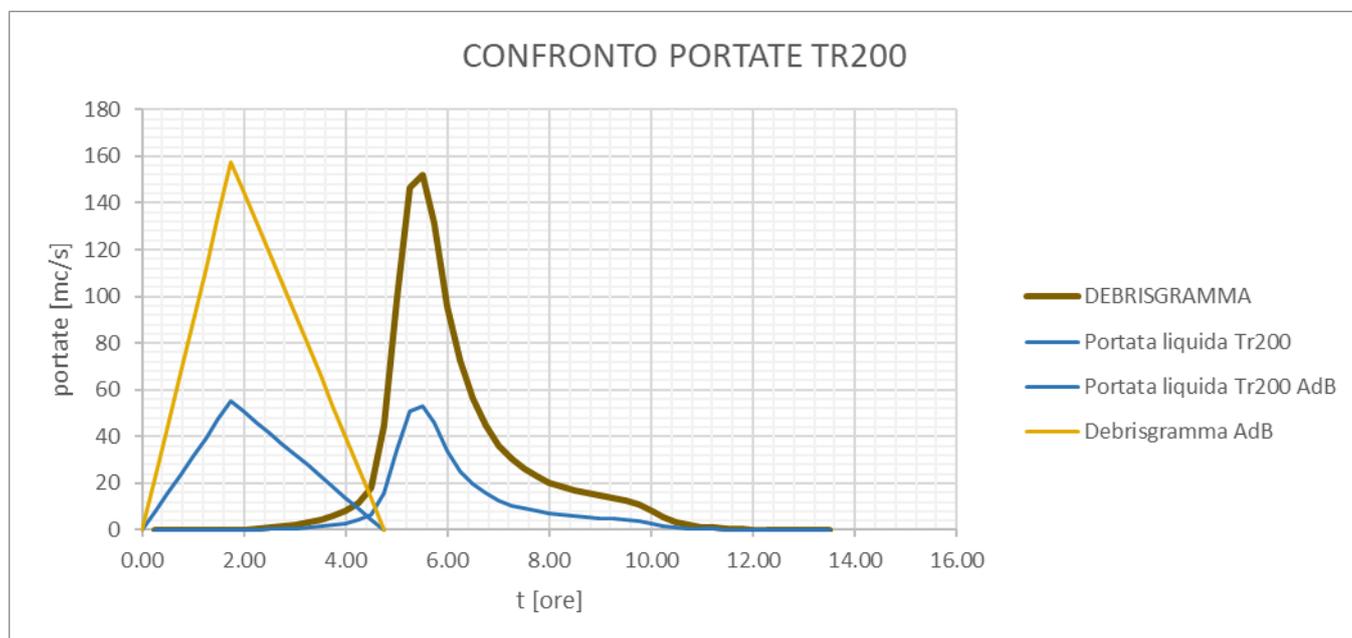


Figura 4-40: confronto portate per Cv65 – SCENARIO DFlow03

Dall'analisi dei risultati emerge come le aree di espansione della colata siano confrontabili

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 91 di 136

4.4.7 SCENARIO DFlow04: Confronto Debris flow con idrogramma Tr200 ricavato dal modello idrologico HEC-HMS e idrogramma Tr200 studio AdB e Cv=50%,

Per completezza dello studio condotto, si proceduto ad implementare, con le stesse ipotesi di calcolo, l'idrogramma triangolare con Tr200 anni dello studio condotto dall'AdB e utilizzato nello nell'implementazione del modello di calcolo del PD e descritto nel paragrafo 4.3.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti e confrontati con il modello della fase di PE.

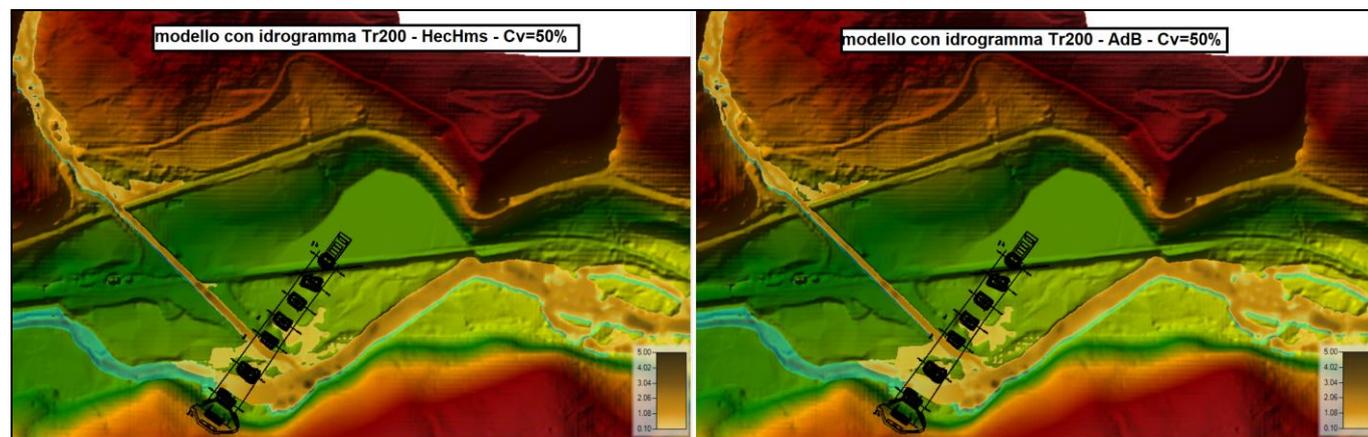


Figura 4-41: confronto aree di espansione della colata – SCENARIO DFlow04. (La legenda esprime in metri i tiranti della colata e dei deflussi liquid)i

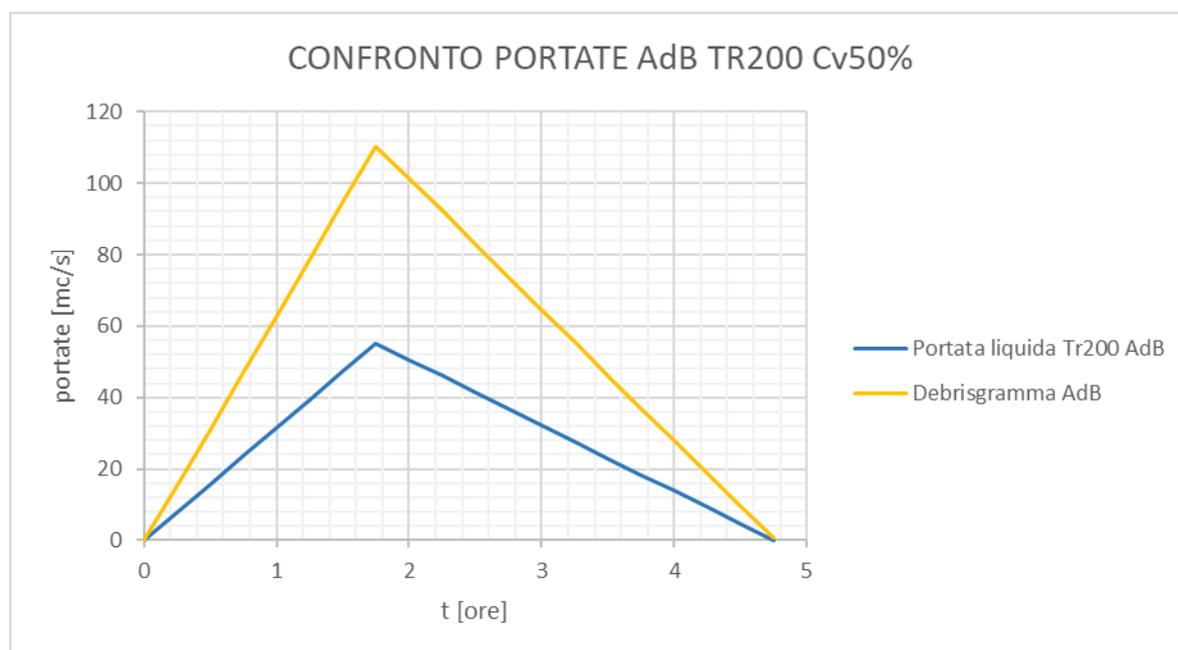


Figura 4-42: debrisgramma AdB calcolato mediante Bulking Method – SCENARIO DFlow04

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 92 di 136

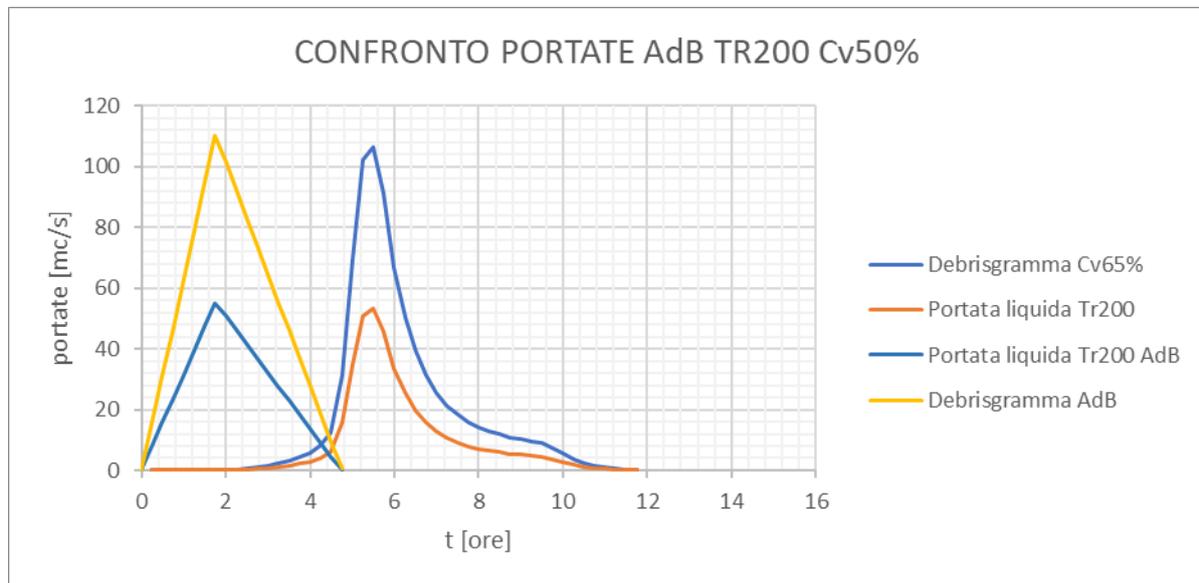


Figura 4-43: confronto portate per Cv50 – SCENARIO DFlow04

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 93 di 136

4.4.8 SCENARIO DFlow05: Confronto ante e post operam Debris flow con idrogramma Tr200 ricavato dal modello idrologico HEC-HMS e Cv=65%

Al fine di valutare la compatibilità delle opere anche nei confronti dei fenomeni di debris flow, è stato implementato un modello ante operam i cui risultati sono stati messi a confronto con quanto ottenuto per lo stato post operam. Di seguito si riporta la mappa di estensione della colata nello stato ante operam.

La legenda riporta lo spessore della debris flow in m.

Al fine di valutare la compatibilità delle opere nei confronti della colata detritica, viene riportata la sezione idraulica del viadotto allo stato di progetto con entrambe i livelli di colata

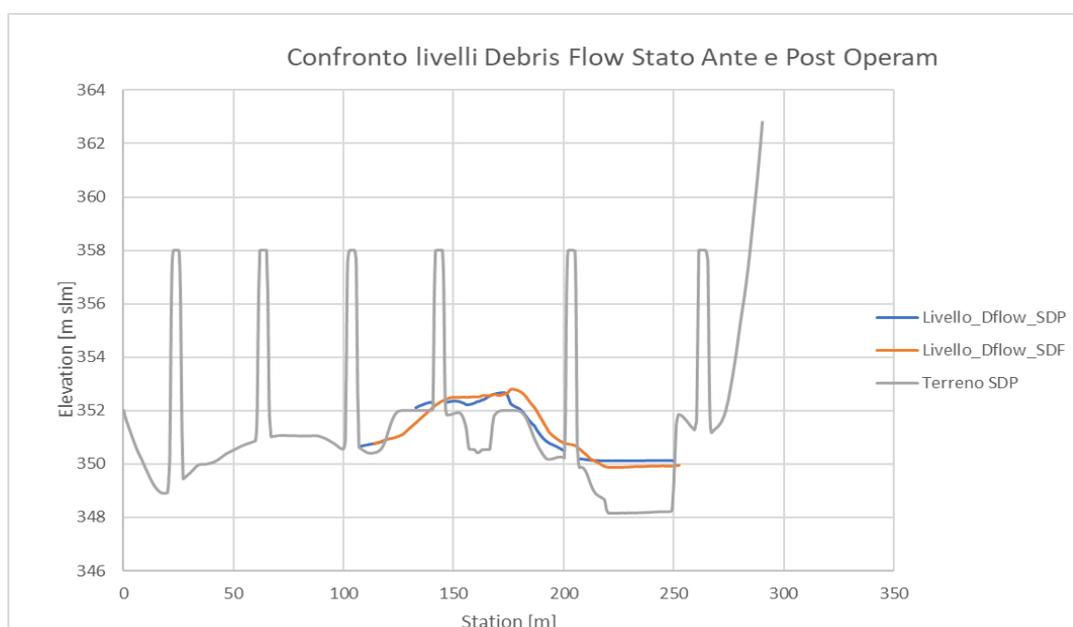


Figura 4-44: confronto debris flow ante e post operam

La sezione mette in evidenza come nella configurazione post operam si ha un incremento di livello della debris in corrispondenza dell'alveo inciso del Cervaro dove, comunque, lungo tutta la sezione idraulica si ha un bilancio in termini di differenze sui tiranti. Questo porta a concludere che l'opera in progetto risulta compatibile nei confronti dei fenomeni di debris flow definita per un Tr pari a 200 anni.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 94 di 136

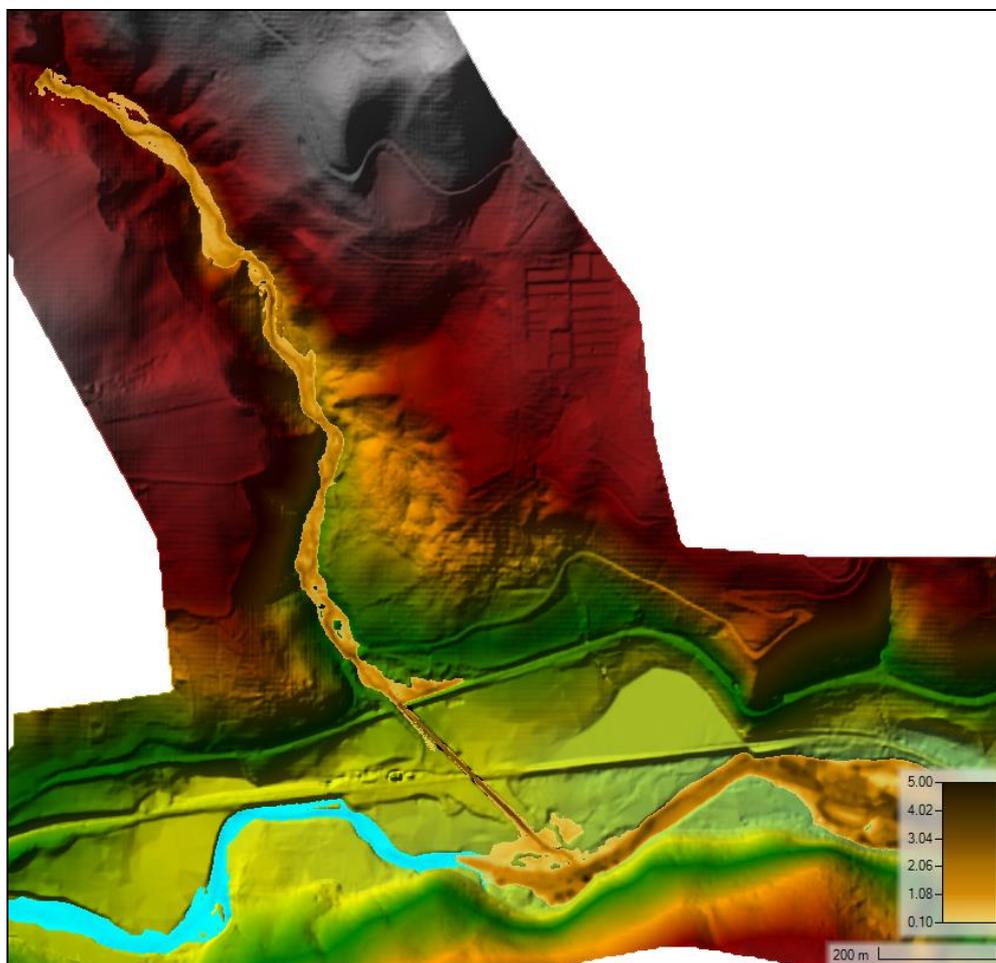


Figura 4-45: aree di espansione della colata – SCENARIO DFlow05. (La legenda esprime in metri i tiranti della colata)

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B FOGLIO 95 di 136

4.5 CONFRONTO RISULTATI MODELO NUMERICO R.AVAFLOW E HEC-RAS 6.1

Nel presente paragrafo è descritto il confronto, in termini di risultati, tra i due modelli numerici per il calcolo dei fenomeni di colate detritiche. Il confronto è stato effettuato facendo riferimento allo scenario più rappresentativo di tale fenomeno, ovvero, quello che prevede una concentrazione $C_{vmax} = 0.65$.

Nella figura seguente si riporta il confronto in termini di mappe di deposizione della colata.

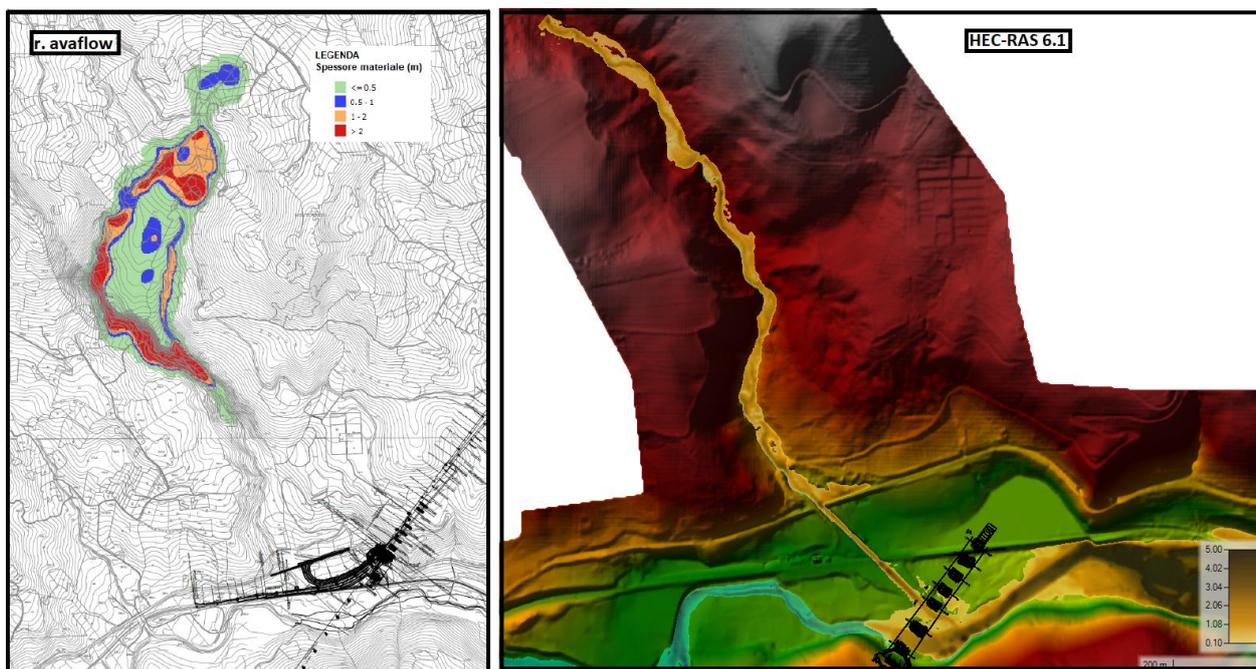


Figura 4-46: Confronto r.avaflow – Hec RAS 6.1. (La legenda esprime in metri i tiranti della colata)

Come già descritto nel paragrafo 4.4.1 la differenza principale si basa sullo schema dove si considera un fluido multifase di tipo granulometrico la cui propagazione, o meglio distacco, dipende dalla topografia del terreno nel caso del codice r.avaflow. Questo porta a definire un'estensione della colata più contenuta che, nel caso in esame, non va ad interessare il viadotto in progetto.

Nel caso del modello Hec Ras che considera un fluido non newtoniano e di conseguenza è governato da equazioni di propagazione diverse mostra una colata che si sviluppa a valle fino ad interessare le pile del viadotto in progetto. In termini di effetti sulle opere, come descritto nel paragrafo 4.4. 1 si registra una diminuzione del franco rispetto ai valori di piena della portata liquida, dove nel punto più critico si registra un valore di 5m, valore ampiamente in sicurezza rispetto all'intradosso del viadotto stesso.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 96 di 136

5 CONCLUSIONI

5.1 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 indagare anche il comportamento degli 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 (HecRas) 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 5-1.

Tabella 5-1 – 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

Ad ogni valore di *LAm* è possibile associare una indicazione di "frequenza suggerita" per ispezioni manutentive (Tabella 5-2), 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.

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 97 di 136

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

Tabella 5-2 – 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

Infine è stata valutata anche la vulnerabilità dell'opera a possibili fenomeni di *debris flow* nel sistema “bacino-conoide” del T. Acquara.

Le simulazioni numeriche della propagazione di tali fenomeni lungo l'asta fluviale del T. Acquara hanno dimostrata l'assenza di criticità per le opere in progetto.

Tabella 5-3: Livello di Attenzione per interventi di manutenzione programmata per il T. Cervaro

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
Cervaro	7	Carico di equilibrio	deposizione/erosione	alta	alto

5.2 ANALISI DEI FENOMENI DI EROSIONE E DEPOSITO IN CORRISPONDENZA DEL VIADOTTO VI01

A supporto del dimensionamento e verifica delle opere di protezione in corrispondenza delle pile è stato predisposto un modello bidimensionale a fondo mobile in modo da definire le zone d'alveo in erosione e deposito. Il modello, per eventi di piena eccezionali (Tr= 300 anni), ha evidenziato una tendenza all'erosione in sponda sinistra del Cervaro (Pila P2) e una tendenza al deposito in sponda destra (Pila P1). Il fondo alveo in asse dell'asta fluviale è, al contrario, caratterizzato da una condizione di equilibrio tra deposito ed erosione. I risultati ottenuti hanno, quindi, permesso di confermare le soluzioni previste in PD. In accordo con lo stesso PD, le protezioni sono state applicate per contenere la possibile erosione della sponda sinistra e garantire, in ogni caso, la stabilità della sponda destra in corrispondenza della pila 1 e della spalla, tenendo conto delle riprofilature necessarie per l'inserimento di dette opere. L'affondamento delle protezioni spondali è stata prevista maggiore della massima erosione stimata, così da garantire la stabilità di quest'ultima anche in presenza di eventi di piena di maggiore importanza. Tale soluzione ha permesso, inoltre, di minimizzare l'impatto ambientale della sistemazione finale ed evitare di alterare il normale trasporto solido del Cervaro.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RI</td> <td>ID0002 004</td> <td>B</td> <td>98 di 136</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 004	B	98 di 136
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RI	ID0002 004	B	98 di 136													
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro																		

Al fine di garantire la massima sicurezza delle opere in progetto, le pile interferenti con l'alveo sono state fondate su pozzi profondi valutando lo scalzamento in assenza di protezioni, come previsto nel PD, considerando il materiale d'alveo esteso fino al contatto con il substrato competente, assumendo la massima profondità del substrato stesso rilevata dai sondaggi. Tali ipotesi di verifica, molto conservative, saranno oggetto di ulteriori analisi e approfondimenti in sede di sviluppo del PED, sulla base di una più precisa modellazione della interazione con le opere in progetto, e di una caratterizzazione granulometrica e geomeccanica degli strati superficiali - in particolare del cappellaccio presente sopra il substrato roccioso - che potrebbe limitare le profondità di scalzamento previste, nonché i fenomeni erosivi stimati.

Come descritto all'inizio del paragrafo in asse Cervaro si ha una tendenza all'erosione che quindi non incide sul valore del tirante. Per quanto riguarda i tratti in deposito avendo stimato, nello specifico in corrispondenza della spalla destra, un valore poco inferiore ai 3m consente di avere un franco sempre superiore ai 2m non riducendo quindi la capacità di smaltimento della piena da parte del viadotto.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 99 di 136

6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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

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

Branca S., Coltelli M., Groppelli G. & Pasquarè G. (2009) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 625 Acireale*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual (2020)

HEC-RAS, River Analysis System User's Manual (2020)

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

Carbone S., Messina A. & Lentini F. (2007) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 601 Messina–Reggio Calabria*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

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

Catalano S. (2009) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 613 Taormina*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Catalano S., De Guidi G. (2003) – *Late Quaternary uplift of northeastern Sicily: relation with the active normal faulting deformation*. Journal of Geodynamics, **36**, 445-467.

Ceriani, M., Crosta, G., Frattini, P., & Quattrini, S. (2000). *Evaluation of hydrogeological hazard on alluvial fans*. In International Symposium INTERPRAEVENT 2000, pp.213-225.

De Scally F.A. & Owens I.F. (2004). *Morphometric controls and Geomorphic responses on fans in the Southern Alps, New Zealand*. Earth Surface Processes and Landforms, **29**,311– 322.

Drew F. (1873). *Alluvial and lacustrine deposits and glacial records of the Upper Indus Basin*: Geological Society of London Quarterly Journal, **29**, 441-471.

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.

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

Marchi L. & Tecca P.R. (1996). *Magnitudo delle colate detritiche nelle Alpi Orientali italiane*. GEAM, 33 (2-3), p. 79-86.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 100 di 136

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

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

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

V. Scorpio (2011). “Analisi Geomorfologica dei sistemi bacino-conoide dell’Appennino campano: scenari di suscettibilità alluvionale”. Tesi di Dottorato in Scienze della Terra, XXIV ciclo. FACOLTA’ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI. UNIVERSITA’ DEGLI STUDI FEDERICO II NAPOLI

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

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

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

Ackers, P., and White, W.R. 1973. Sediment transport: New approach and analysis, Proceedings. ASCE, Journal of the Hydraulic Division, 99, HY11, pp. 2041-2060.

Ackers, P. 1993. Sediment transport in open channels: Ackers and White update. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water and Maritime Engineering. 101(4), 247249.

Ariathurai, C.R. 1974. A finite element model for sediment transport in estuaries, PhD Thesis, University of California, Berkley, USA.

Ariathurai, C.R., and Arulanandan, K. 1978. Erosion rates of cohesive soils, Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineering, 104(2), 279282.

Armanini, A., di Silvio, G. 1988. A one-dimensional mode for the transport of a sediment mixture in non-equilibrium conditions. Journal of Hydraulic Research. 26(3), 275292.

Baas, J. H. 1993. Dimensional analysis of current ripples in recent and ancient depositional environments, PhD Thesis, University of Utrecht, The Netherlands, 199 p.

Brown, G.L. 2012. Modification of the bed sediment equations of Spasojevic and Holly (1993) to account for variable Porosity, variable grain specific gravity, and nonerodable boundaries, IIHR Third International Symposium on Shallow Flows, Iowa City, IA, June 46 2012.

Brownlie, W.R. 1981. ‘Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels’ and ‘Compilation of fluvial channel data: laboratory and field’, Rep. No. KH-R-43A&B, W.M. Keck Lab. of Hydr. and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California, USA.

Brownlie, W. R. 1983. Flow depth in sand-bed channels. Journal of Hy-draulic Engineering, ASCE 109(7), 959990.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 101 di 136

Camenen, B., and Larson, M. 2007. A unified sediment transport formulation for coastal inlet application. ERDC/CHL CR-07-1. Vicksburg, MS: US Army Engineer Research and Development Center.

Cheng, N.-S. 1997. Simplified settling velocity formula for sediment particle. Journal of Hydraulic Engineering, 123(2), 149152.

Colby, B.R. 1963. Discussion of "Sediment transportation mechanics: Introduction and properties of sediment", Progress report by the Task Committee on Preparation of Sediment Manual of the Committee on Sedimentation of the Hydraulics Division, V. A. Vanoni, Chmn., Journal of Hydraulics Division., ASCE, 89(1): 266268.

Coleman, N.L. 1981. Velocity profiles with suspended sediment. Journal of Hydraulic Research 19(3):211-229.

Copeland, R.R., and Thomas, W.A. 1989. Corte Madera Creek sedimentation study. Numerical Model Investigation. TR-HL-89-6. US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. USA.

Corey, A.T., 1949. Influence of shape on the fall velocity of sand grains, MS Thesis, Colo. A & M College, Fort Collins, CO.

Cowan, W.L. 1956. Estimating Hydraulic Roughness Coefficients. Agricultural Engineering, 37(7), 473475.

Christoffersen, J.B., and Jonsson, I.G. 1985. Bed friction and dissipation in a combined current and wave motion, Ocean Engineering, 12(5), 387423.

Dahl, T.A, Heath, R.E., Gibson, S.A., and Nygaard, C.J. 2018. HEC-RAS unsteady flow and sediment model of the Mississippi River: Tarbet Landing to the Gulf, Mississippi River Geomorphology & Potomology Program, Report No. 25, Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, USA.

Day, T.J. 1980. A study of the transport of graded sediments. Report N. IT 190, HR Wallingford, U.K.

Dietrich, W.E. 1982. Settling velocity of natural particles, Water Resources Research, 18(6), 16151626.

Engelund, F., and Hansen, E. 1967. A monograph on sediment transport in alluvial streams, Teknisk Forlag, Copenhagen, 65.

Fernandez Luque, R. 1974. Erosion and transport of bed-load sediment. Dissertation, Krips Repro B.V., Meppel, The Netherlands.

Fernandez Luque, R., and Beek, R. van. 1974. Erosion and transport of bed-load sediment. Journal of Hydraulic Research, 14(2): 127144.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGGIO B 102 di 136

Folk, R.L. 1955. Student operator error in determination of roundness, sphericity and grain size, Journal of Sedimentary Petrology, 25, 297-301.

Frings, R. M., Schüttrumpf, H. and Vollmer, S. 2011. Verification of porosity predictors for fluvial sand-gravel deposits. Water Resources Research, 47, 15 p. W07525.

Han, Q.W., Wang, Y.C. and Xiang, X.L. 1981. Initial specific weight of deposits. Journal of Sediment Research. No. 1, pp. 113 (in Chinese).

Hayashi, T.S., Ozaki and Ichibashi, T. 1980. Study on bed load transport of sediment mixture, Proc. 24th Japanese Conf. on Hydraulics, Japan.

Harrison, A.J.M., and Owen, M.W. (1971), Siltation of fine sediments in estuaries, paper presented at XIV Congress, Int. Assoc. for HydroEnviron. Eng. and Res., Paris

HEC 2010. HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual, Version 4.1. CPD-69

Hwang, K.-N. 1989. Erodibility of fine sediment in wave dominated environments. MS Thesis, University of Florida, Gainesville, FL.

Jones, C., and Lick, W., 2001. Sediment erosion rates: Their measurement and use in modeling 6th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. ASCE, College Station, Texas, 280293.

Julien, P.Y., and Bounvilay, B. 2013. Velocity of rolling bed load particles. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 139(2), 177186.

Kilinc, M., and Richardson, E.V. 1973. Mechanics of soil erosion from overland flow generated by simulated rainfall. Hydrology Paper No. 63, Colorado State Univ., Fort Collins, CO.

Karim, F. 1995. Bed configuration and hydraulic resistance in alluvial-channel flows, J. Hydraulic Eng., ASCE, 121(1), 1525.

Koch, F.G. and Flokstra, C. 1981. Bed level computations for curved alluvial channels. 19th IAHR congress, Vol. 2, New Delhi, India.

Kovacs, A. and Parker, G. 1994. A new vectorial bedload formulation and its application to the time evolution of straight river channels, Journal of Fluid Mechanics , 267, 153183.

Krone, R. 1962. Flume studies of the transport of sediment in estuarial shoaling process, Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley, CA.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 103 di 136

- Krumbein, W.C. 1934. Size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4(2): 6577.
- Lai, Y.G. 2020. A two-dimensional depth-averaged sediment transport mobile-bed model with polygonal meshes, *Water*, 1032: 121.
- Laursen, E.M. 1958. The total sediment load of streams, *J. Hydr. Div., ASCE*, 84(1), 1 36.
- Lin, Q., and Wu, W. 2013. A one-dimensional model of mixed cohesive and non-cohesive sediment transport in open channels. *Journal of Hydraulic Research*. 112.
- Mehta, A.J., and Partheniades, E. 1975. An investigation of the depositional properties of flocculated fine sediment. *Journal of Hydraulic Research*. 13(4), 361381.
- Mehta, A.J. 1981. Review of erosion function for cohesive sediment beds, paper presented at First Indian Conference on Ocean Engineering, Indian Inst. Technol. on Ocean Eng., Indian Inst. of Technol., Madras, India.
- Meyer-Peter, E., and Müller, R. 1948. Formulas for bed-load transport, *Proceedings of the 2nd Congress IAHR*, Stockholm, Sweden.
- Neumeier, U., Ferrarin, C., Amos, C.L., Umgieser, G., and Li, M.Z. 2008. Sedtrans05: An improved sediment-transport model for continental shelves and coastal waters with a algorithm for cohesive sediments. *Computers & Geosciences*, 34, 12231242.
- Owen, P.R. 1964. Saltation of uniform grains in air, *Journal of Fluid Mechanics*, 20(2), 225242.
- Owen, M.W. 1975. Erosion of avonmouth mud. Report No. INT 150. *Hydraulics Research Station*, Wallingford, England.
- Parker, G., P. C., Kilingeman, and McLean, D.G. 1982. Bed load and size distribution in paved gravel-bed streams. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE* 108(4): 544571.
- Parker, G., Seminara, G., and Solari L. 2003. Bedload at low shields stress on arbitrarily sloping beds: Alternative entrainment formulation, *Water Resour. Res.*, 39(7), 1249.
- Partheniades, E. 1962. A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water. Ph.D thesis, University of California, Berkeley, 182 p
- Partheniades, E. 1965. Erosion and deposition of cohesive soils. *Journal of Hydraulics Division*. 91(1), 105139.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 104 di 136

Powers, M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles, Journal of Sedimentary Petrology, 32, 117119.

Proffitt, G.T. and Sutherland., A.J. 1983. Transport of nonuniform sediment, Journal of Hydraulic Research, IAHR, 21(1), 3343.

Raudkivi, A.J. 1990. Loose Boundary Hydraulics, 3rd Ed., Pergamon Press, Inc., Tarrytown, N.Y.

Richardson, J.F. and Zaki, W.N. 1954. Sedimentation and fluidisation, Part I. Transaction of the Institute of Chemical Engineers., 32(1), 3553.

Riley, J.P., and Skirrow, G., 1965. Chemical Oceanography, Vol 3. Academic Press, London, 564 pp.

Rogers, J.W., and Head, W.B. 1961. Relationships between porosity, median size, and sorting coefficients of synthetic sands. Journal of Sedimentary Petrology, 31(3): 467470.

Rubey, W.W. 1933. Settling velocities of gravel, sand, and silt particles, American Journal of Science, 5th Series, 25(148), 325338.

Sánchez, A., and W. Wu. 2011. A non-equilibrium sediment transport model for coastal inlets and navigation channels. Journal of Coastal Research, Special Issue (59): 3948.

Sanford, L.P., and Halka, J.P. 1993. Assessing the paradigm of mutually exclusive erosion and deposition of mud, with examples from upper Chesapeake Bay. Marine Geology, 114: 3757.

Soulsby, R.L. 1997. Dynamics of marine sands. London, England: Thomas Telford Publications.

Soulsby, R.L., and R. J.S. W Whitehouse. 1997. Threshold of sediment motion in coastal environments. In, Proceedings Pacific Coasts and Ports '97 Conference, 1, 149154. New Zealand: Christchurch, University of Canterbury.

Spasojevic, M. and Holly, F.M. Jr., 1993, Three-dimensional numerical simulation of mobile-bed hydrodynamics, Technical Report No. 367, Iowa Institute of Hydraulic Research, The University of Iowa, USA.

Toffaletti, F.B. 1968. A procedure for computation of total river sand discharge and detailed distribution, bed to surface, Technical Report No. 5, Committee on Channel Stabilization, U.S. Army Corps of Engineers, November.

Toro-Escobar, C. M., G. Parker, and C. Paola. 1996. Transfer function for the deposition of poorly sorted gravel in response to streambed aggradation, J. Hydraul. Res., IAHR, 34, 3553.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 105 di 136

UNESCO, 1981. The Practical Salinity Scale 1978 and the International Equation of State of Seawater 1980. UNESCO technical papers in marine science 36, 25 p.

U.S. Interagency Committee 1957. Some fundamentals of particle size analysis, A study of methods used in measurement and analysis of sediment loads in streams, Report No. 12, Subcommittee on Sedimentation, Interagency Committee on Water Resources, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, Minneapolis, Minnesota, USA.

van Rijn, L.C. 1984a. Sediment transport, Part I: Bed load transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 110(10): 1431-1456.

van Rijn, L.C. 1984b. Sediment transport, Part II: Suspended load transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 110(11): 1613-1641.

van Rijn, L.C. 1984c. Sediment transport: Part III: Bed form sand alluvial roughness. Journal of Hydraulic Engineering 110(12), 1,733-1,754.

van Rijn, L.C. 1993. Principles of sediment transport in river, estuaries, coastal seas, and oceans. International Institute for Infrastructural, Hydraulic, and Environmental Engineering, Delft, The Netherlands.

van Rijn, L.C. 2007a. Unified view of sediment transport by currents and waves. Part I: Initiation of motion, bed roughness, and bed-load transport. Journal of Hydraulic Engineering 133(6): 649-667.

van Rijn, L.C. 2007b. Unified view of sediment transport by currents and waves. Part II: Suspended Transport. Journal of Hydraulic Engineering 133(6): 668-689.

Wei, H., Nearing M.A., Stone J.J., Guertin D.P., Spaeth K.E., Pierson F.B., Nichols M.H., and Moffett C.A.. 2009. A new splash and sheet erosion equation for rangelands. Soil Science Society of America Journal 73(4), 1386-1392.

Wilcock, P.R., and Crowe, J.C. 2003. Surface-based transport model for mixed-size sediment. Journal of Hydraulic Engineering, 129(2), 120-128.

Winterwerp, J.C. 2003. On the deposition flux of cohesive sediment. In J.P.Y. Maa (Ed.), Book of abstracts 7th International Conference on Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport Processes, Virginia, US.

Winterwerp, J.C., and van Kesteren, W.G.M. 2004. Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment. Series Editor: T. van Loon. Developments in Sedimentology, 56, 466 p.

Wong, M. and Parker, G., 2006. Reanalysis and Correction of Bed-Load Relation of Meyer-Peter and Müller Using Their Own Database. Journal of Hydraulic Engineering, 132(11), 1159-1168.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 106 di 136

Wooster, J.K., Dusterhoff, S.R., Cui, Y., Sklar, L.S., Dietrich, W.E., and Malko, M. 2008. Sediment supply and relative size distribution effects on fine sediment infiltration into immobile gravels, *Water Resources Research*, 44, W03424.

Wu, W. 1991. The study and application of 1-D, horizontal 2-D and their nesting mathematical models for sediment transport, Ph.D. Dissertation, Wuhan University of Hydraulic and Electric Eng., Wuhan, China (in Chinese).

Wu, W. 2004. Depth-averaged two-dimensional numerical modeling of unsteady flow and nonuniform sediment transport in open channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(1), 10131024.

Wu, W., Altinakar, M., and Wang, S.Y. 2006. Depth-average analysis of hysteresis between flow and sediment transport under unsteady conditions. *International Journal of Sediment Research*, 21(2), 101112.

Wu, W. 2007. *Computational river dynamics*. United Kingdom: Taylor & Francis. London.

Wu, W., S. S. Y. Wang, and Y. Jia. 2000. Non-uniform sediment transport in alluvial rivers. *Journal of Hydraulic Research*, IAHR 38(6): 427434.

Wu, W., and Li, W. 2017. Porosity of bimodal sediment mixture with particle filling. *International Journal of Sediment Research*. 32(2): 253259.

Wu, W. and Wang, S.S.Y. 2006. Formulas for sediment porosity and settling velocity, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 132(8), 858862.

Wu, W., Perera, C., Smith, J., and Sánchez, A. 2017. Critical shear stress for erosion of sand and mud mixtures. *Journal of Hydraulic Research*, 56(1): 96110.

Wu, W. and Li, W. Porosity of bimodal sediment mixture with particle filling. *International Journal of Sediment Research*. 32(2): 253259.

Yang, C.T. 1973. Incipient motion and sediment transport. *Journal of the Hydraulics Division*, 99(HY10), 10067.

Yang, C.T. 1979. Unit stream power equations for total load, *Journal of Hydrology*, 40, 123-128.

Yang, C.T. 1984. Unit stream power equation for gravel, *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, 110(12)17831797.

Zheng, F.-d., and An, J.-f. 2017. Study on the critical shear stress of cohesive sediments, 1st International Global on Renewable Energy and Development, *Earth and Environmental Science*, 100, 15.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 107 di 136

Bagnold, R.A 1954. Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. Proc. Royal Soc. Of London, Series A, 225, 49–63.

Bingham, E.C., 1922. Fluidity and plasticity, McGraw-Hill, New York, 439.

Bird, R.B., Stewart, W.E., and Lightfoot, E.N. 1960 Transport phenomena, John Wiley, New York, 780 pp.

Bozhinskiy, A.N., and Nazarov, A.N. 2000. Two-phase model of debris flow, in: Proc. 2nd Int. Conf. on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Taipei, Taiwan, edited by: Wieczorek, G. F. and Naeser, N. D., Balkema, Rotterdam, 263–269.

Chien, N., and Ma, H. 1958. Properties of slurry flow. J. Sediment Res. 3(3), Beijing, China (in Chinese).

Dai, Z., Huang, Y., Cheng, H., and Xu, Q., 2014. 3D numerical modeling using smoothed particle hydrodynamics of flow-like landslide propagation triggered by the 2008 Wenchuan earthquake. Eng. Geol. 180, 21–33.

Govier, G.W. and Aziz, K. 1982. The flow of complex mixtures in pipes. Krieger Publishing Co. Melbourne, FL.

Guazzelli, E., and Pouliquen, O. 2018. Rheology of dense granular suspensions, J. Fluid Mech. 852.

Hergarten, S., and Robl, J. 2015. Modelling rapid mass movements using the shallow water equations in Cartesian coordinates. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 15 671–685.

Huang, Y., and Dai, Z. 2014. Large deformation and failure simulations for geo-disasters using smoothed particle hydrodynamics method. Eng. Geol. 168 (1), 86–97.

Hunger, O., and McDougall, S. 2009. Two numerical models for landslide dynamic analysis. Computers & Geosciences, 35, 978–992.

Hussin, H.Y., Luna, B.Q., van Westen, C.J., Christen, M., Malet, J.-P., and van Asch, Th.W.J, 2012. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 3075–3090.

Iverson, R.M., and Denlinger, R.P. 2001. Flow of variably fluidized granular masses across three-dimensional terrain 1. Coulomb mixture theory. J. Geophys. Res., 106(B1), 537–552.

Jeffrey, D.P., Keliin, X.W., Alessandro, S., 2001. Experimental study of the grain-flow, fluid-mud transition in debris flows. J. Geol., 109, 427–447.

Julien, P.Y. 1995. Erosion and Sedimentation, Cambridge University Press, 280 p.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 108 di 136

Julien, P.Y., and Lan, Y.Q. 1991. On the rheology of hyperconcentrations, J. Hydr. Eng. ASCE, 117(3), 346–353.

Julien, P.Y., and Leon, 2000. Mudfloods, mudflows, and debris flow: classification, rheology and structural design, International Seminar on the Debris Flow Disaster of December 1999. Caracas, Venezuela.

Körner, H.J., 1976. Reichweite und Geschwindigkeit von Bergstürzen und Fließschneelawinen. (Reach and velocity of rockslides and powder snow avalanches). Rock Mechanics, 8, 225–256.

Li, S. 2004. A generalized mixture rule for estimating the viscosity of solid-liquid suspensions and mechanical properties of polyphase rocks and composite materials. J. Geophys. Res. 109(B10207), 1–18.

Lin, P.-S., Lee, J.-H., and Chang, C.-W. 2011. An application of the Flo-2D model to debris-flow simulation – A case study of Song-Her District in Taiwan. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 947–956.

Major, J.J., and Pierson, T.C., 1992. Debris flow rheology: experimental analysis of fine grained slurries. Water Resour. Res. 28(3), 841–857.

Maron, S.H., and Pierce, P.E. 1956. Application of Ree-Eyring generalized flow theory to suspensions of spherical particles, J. Colloid Sci., 11, 80–90.

O'Brien, J.S., and Julien, P.Y. 1988. Physical properties and mechanics of Hyperconcentrated sediment flows, Proc. ASCE Hyd. Div. Spec. Conf. Delineation of Landslides, Flash Flood, and Debris Flow Hazards, Logan Utah, June 1984, 260–279.

Perla, R., Cheng, T.T., McClung, D.M. 1980. A two-parameter model of snow-avalanche motion. Journal of Glaciology, 26, 197–207.

Rickenmann, D., and Koch, T. 1997. Comparison of debris flow modelling approaches. In: Chen, C.L. (Ed.) ,Proceedings of the 1st International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment. American Society of Civil Engineers, New York, NY, 576–585 pp.

Takahashi, T. 1980. Debris flow on prismatic open channel. J. Hydr. Div., ASCE, 106(3), 381–396.

Venard, J.K., and Street, R.L. 1975. Elementary Fluid Mechanics, 5th ed., Wiley, New York.

Voellmy, A. 1955. Über die Zerstörungskraft von Lawinen. Schweiz. Bauztg, 73, 212–217.

Wooster, J.K., Dusterhoff, S.R., Cui, Y., Sklar, L.S., Dietrich, W.E., and Malko, M. 2008. Sediment supply and relative size distribution effects on fine sediment infiltration into immobile gravels, Water Resources Research, 44, W03424.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">LOTTO</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">REV.</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF3A</td> <td style="text-align: center;">02</td> <td style="text-align: center;">E Z Z RI</td> <td style="text-align: center;">ID0002 004</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">109 di 136</td> </tr> </table>					COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E Z Z RI	ID0002 004	B	109 di 136
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO												
IF3A	02	E Z Z RI	ID0002 004	B	109 di 136												
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro																	

7 ALLEGATI

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 110 di 136

CRI (BO-PD 27)



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 96045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479820856
C.F. iscr. C.C.I.A.A. di C.sorta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°	
MBC 025364	05-dic-18

Protocollo n.	MBA 1768
Data accettazione:	19/11/2018
Data prova:	inizio 22/11/2018 termine 29/11/2018
Materiale:	Terra

Luogo	Laboratorio in Concessione D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020 Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
Divisione	Geotecnica
Settore	Mechanica delle Terre

Foglio 1 / 2

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Osara-Bovino - Tratta Bovino-Osara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano
Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD SZ7 Stato: Indisturbato
Campione: C1 Profondità m: 2,00 - 2,35
Tipo di fustella: Shelby

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- (2) Il presente certificato è composto da : 2 fogli
- (3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- (4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura Impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Termometro - Delta ohm	HD 9214	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

CERTIFICATO DI PROVA

RACCOMANDAZIONI AGI

*Massa volumica reale
Massa volumica apparente
Umidità naturale
Classificazione*

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rasconà

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Venturi

E' vietata la riproduzione, anche parziale, del presente documento senza la preventiva autorizzazione scritta della SIDERCEM S.r.l.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 111 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479820868
C.F. Iscr.C.C.I.A.A. di C.sectta: 01754620674
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 – Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°		Protocollo n. MBA 1768	Luogo Laboratorio in Concessione
MBC 025364		Data accettazione: 19/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
05-dic-18		Data prova: inizio 22/11/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		termine 29/11/2018	Divisione Geotecnica
		Materiale: Terra	Settore Meccanica delle Terre

Sondaggio: BO-PD S27 Campione: CI1 Profondità m: 2,00 - 2,35 Stato: Indisturbato

Foglio 2 / 2

Descrizione visiva del campione:

Argilla marnoso-siltosa di colore beige-giallastro, plastica, poco consistente, con presenza di intercalazioni clastiche grossolane di natura carbonatica, variamente elaborati, di colore biancastro, centimetrici.



Granulometria AGI	Ghiaia [%] 33,20	Sabbia [%] 11,50	Limo [%] 20,43	Argilla [%] 34,87
-------------------	---------------------	---------------------	-------------------	----------------------

Definizione AGI	Argilla con ghiaia limosa sabbiosa		
Classificazione CNR - UNI 10006	A7-5		
Rock - color chart:	2,5Y LIGHT YELLOWISH BROWN 6/3		
Caratteristiche generali:	Massa volumica reale:	2631	kg/m ³
	Massa volumica apparente:	1781	kg/m ³
	Massa volumica del secco:	1366	kg/m ³
	Umidità naturale:	30,3	%
	Indice dei vuoti	0,926	
	Saturazione %:	86,3	
	Porosità	0,481	
	P.P.	128	kN/m ²

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rosconi

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 112 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620858
C.F. Iser.C.C.I.A.A. di C. Spetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°	Protocollo n. MBA 1768	Luogo Laboratorio in Concessione
	Data accettazione: 19/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
	Data prova: inizio 22/11/2018 termine 22/11/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
MBC 025365	Materiale: Terra	Divisione Geotecnica
05-dic-18		Settore Meccanica delle Terre

Foglio 1/ 1

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Orsara-Bovino - Tratta Bovino-Orsara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche

Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano

Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD S27 Stato: Indisturbato
Campione: C11 Profondità m: 2,00 - 2,35
Tipo di fustella: Shelby

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- (2) Il presente certificato è composto da : 1 foglio
- (3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- (4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

CERTIFICATO DI PROVA
DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA CON FUSTELLA TARATA
RACCOMANDAZIONI AGI

		Provino 1	Provino 2	Provino 3
m (g)	Massa provino umido	127,82	129,48	127,30
V (mm ³)	Volume provino umido	72000	72000	72000
p (kg/m ³)	Massa volumica umida = m/V	1775	1798	1768
w (%)	Contenuto in acqua del provino	28,9	33,6	28,4
pd (kg/m ³)	Massa volumica essicata = p/(1+w)	1377	1346	1377
p medio (kg/m ³)		pd medio (kg/m ³)		
1781		1367		

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Buscand

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 114 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620856
C.F. Iscr. C.C.I.A.A. di C.assetta: 01764020874
Capitale Sociale: € 102.774,82
Tel.: 095476942 - Fax: 095475003
aldercamct@aldercam.it

Timbro a secco

Certificato N°		Protocollo n. MBA 1768	Luogo Laboratorio in Concessione
MBC 025367	05-dic-18	Data accettazione: 19/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
		Data prova: inizio 27/11/2018 termine 28/11/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		Materiale: Terra	Divisione Geotecnica
			Settore Meccanica delle Terre

Foglio 1 / 1

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Osara-Bovino - Tratta Bovino-Osara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche

Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano

Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD S27 Stato: Indisturbato
Campione: C11 Profondità m: 2,00 - 2,35
Tipo di fustella: Shelby

- Il campione è stato portato in laboratorio: Carriera
- Il presente certificato è composto da : 1 foglio
- Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Termometro - Delta ohm	HD 9214	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

**CERTIFICATO DI PROVA
MASSA VOLUMICA REALE DEI GRANULI
ASTM D 854**

$$\rho_s = \frac{m_2}{(m_1 - m_0) - (m_2 - m_1) \cdot \rho_w}$$

Metodo del picnometro			
	Identificazione picnometro	A	1
m ₀	Massa del picnometro pulito ed asciutto	g	154,942
m ₁	Massa del picnometro riempito con sola acqua alla temperatura T	g	379,32
m ₂	Massa del picnometro e del campione secco	g	205,48
m ₃	Massa del picnometro riempito con acqua alla temperatura T	g	410,76
m ₄	Massa del campione secco	g	50,52
T	Temperatura di prova	°C	24
ρ _w	Densità dell'acqua distillata e disaerata alla temperatura T	kg/m ³	997,32
ρ _s	Massa volumica dei granuli solidi	kg/m ³	2641
ρ _s	Massa volumica media dei granuli solidi	kg/m ³	2631

bo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rosconi

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo Di Venturi

E' vietata la riproduzione, anche parziale, del presente documento senza la preventiva autorizzazione scritta della SIDERCEM S.r.l.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 115 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 85045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620868
C.F. Iscr. C.C.I.A.A. di C. Assesta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°		Protocollo n. MBA 1768	Luogo
		Data accettazione: 19/11/2018	Laboratorio in Concessione
		Data prova: inizio 28/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015,
		termine 29/11/2018	valido fino al 15/05/2020
MBC 025368	05-dic-18	Materiale: Terra	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
			Divisione Geotecnica
			Settore Meccanica delle Terre

Foglio 1 / 2

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.
- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Osara-Bovino - Tratta Bovino-Osara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano
Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD S27 Stato: Indisturbato
Campione: C1 Profondità m: 2,00 - 2,35
Tipo di fustella: Shelby

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- (2) Il presente certificato è composto da : 2 fogli
- (3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- (4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GYS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Termometro - Delta ohm	HD 9214	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

CERTIFICATO DI PROVA

ANALISI GRANULOMETRICA

ASTM D421-85, D422-63, D1140-71, D2217-85

Caratteristiche fisiche del campione: Argilla marnoso-siltosa di colore beige-giallastro, plastica, poco consistente, con presenza di intercalazioni clastiche grossolane di natura carbonatica, variamente elaborati, di colore biancastro, centimetrici.

Massa volumica reale, kg/m ³	2631	Limite liquido %	72,1
Massa volumica umida, kg/m ³	1781	Limite Plastico %	31,4
Umidità naturale %:	30,3	Indice Plastico %	40,7

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rasconi

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo Di Venturi

E' vietata la riproduzione, anche parziale, del presente documento senza la preventiva autorizzazione scritta della SIDERCEM S.r.l.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI			
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004
	REV. B	FOGLIO 116 di 136		



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479820866
C.F. iscr. C.C.I.A.A. di C.asetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 – Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

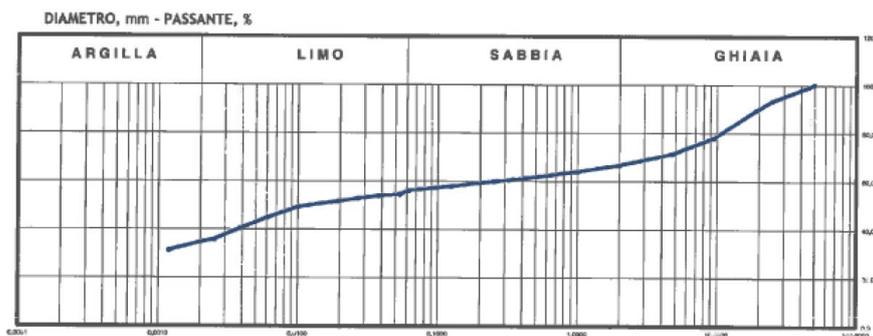
Timbro a secco

Certificato N°	Protocollo n. MBA 1768	Luogo
	Data accettazione: 19/11/2018	Laboratorio in Concessione
	Data prova: inizio 28/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015,
	termine 29/11/2018	valido fino al 15/05/2020
	Materiale: Terra	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		Divisione Geotecnica
		Settore Meccanica delle Terre

Sondaggio: BO-PD S27 Campione: C11 Profondità m: 2,00 - 2,35 Stato: Indisturbato

Foglio 2/ 2

ANALISI GRANULOMETRICA



ANALISI PER SETACCI

Apertura setaccio [mm]	Passante [%]
50,0	100,00
25,0	93,26
19,0	89,23
9,5	77,95
4,75	71,34
2	66,80
1	64,11
0,425	61,43
0,250	60,06
0,125	58,07
0,075	56,77
0,063	56,39

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Diametro equivalente [mm]	Passante [%]
0,05391	54,70
0,03812	54,13
0,02713	53,01
0,01942	51,88
0,01021	49,62
0,00614	45,11
0,00388	40,60
0,00254	36,09
0,00202	34,96
0,00120	31,58

GHIAIA, % = 33,20
SABBIA, % = 11,50
LIMO, % = 20,43
ARGILLA, % = 34,87

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rosanna

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI			
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004
	REV. B	FOGLIO 117 di 136		



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 96046 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620856
C.F. Iscr.C.C.I.A.A. di C.seste: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°		Protocollo n. MBA 1768	Luogo Laboratorio in Coesione
		Data accettazione: 19/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
		Data prova: inizio 28/11/2018 termine 29/11/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		Materiale: Terra	Divisione Geotecnica
MBC 025369	05-dic-18		Settore Meccanica delle Terre

Foglio 1/ 1

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Orsara-Bovino - Tratta Bovino-Orsara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano
Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD S27 Stato: Indisturbato
Campione: C1 Profondità m: 2,00 - 2,35
Tipo di fustella: Shelby

- Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- Il presente certificato è composto da: 1 foglio
- Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- Le copie vengono autentiche dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura Impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

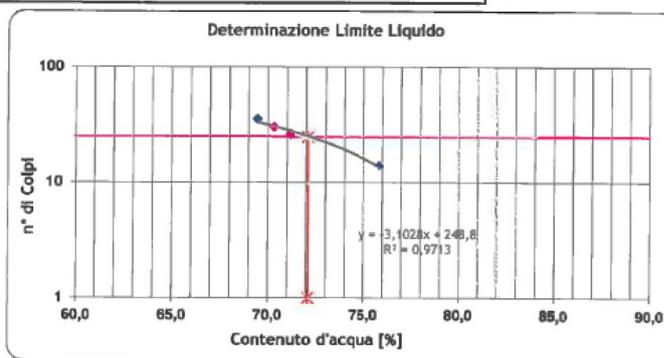
**CERTIFICATO DI PROVA
LIMITI DI CONSISTENZA
(ASTM D4318)**

L.L.	%	72,1
L.P.	%	31,4
I.P.	%	40,7

*Umidità naturale 30,3 %

Limite liquido	
Numero di colpi	w [%]
35	69,46
26	71,21
14	75,86
30	70,37

Limite plastico	
Punto	w [%]
1	31,25
2	31,36



Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Busconà

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 118 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620856
C.F. Iscr.C.C.I.A.A. di C.ssetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,82
Tel.: 095476942 - Fax.: 095475003
sidercemot@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°	
MBC 025370	05-dic-18

Protocollo n.	MBA 1768
Data accettazione:	19/11/2018
Data prova:	inizio 23/11/2018 termine 26/11/2018
Materiale:	Terra

Luogo	Laboratorio in Concessione D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020 Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
Divisione	Geotecnica
Settore	Meccanica delle Terre

Foglio 1 / 2

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Orsara-Bovino - Tratta Bovino-Orsara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano
Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD S27 Stato: Indisturbato
Campione: C11 Profondità m: 2,00 - 2,35
Tipo di fustella: Shelby

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
(2) Il presente certificato è composto da : 2 fogli
(3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
(4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	gennaio-18	gennaio-19
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	gennaio-18	gennaio-19
Celle di carico - 5 KN	18002197 - 18002198 - 18002197 - 18002197 - 18002197	Controls Group SpA	luglio-18	novembre-18
Trasduttore analogico digitale	18002192 - 18002195 - 18002198 - 18002193 - 18002196 - 18002199	Controls Group SpA	luglio-18	novembre-18

**CERTIFICATO DI PROVA
TAGLIO DIRETTO
ASTMD3080**

Caratteristiche fisiche del campione: Argilla marnoso-siltosa di colore beige-giallastro, plastica, poco consistente, con presenza di intercalazioni clastiche grossolane di natura carbonatica, variamente elaborate, di colore biancastro, centimetrici.

Massa volumica reale, kg/m ³	2631	Limite liquido %	72,1
Massa volumica umida, kg/m ³	1781	Limite Plastico %	31,4
Umidità naturale %	30,3	Indice Plastico %	40,7

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rasconia

Il Direttore di Laboratorio
dott. Ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI			
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004
	REV. B	FOGLIO 119 di 136		



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620856
C.F. Iscr.C.C.I.A.A. di C.sarretta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

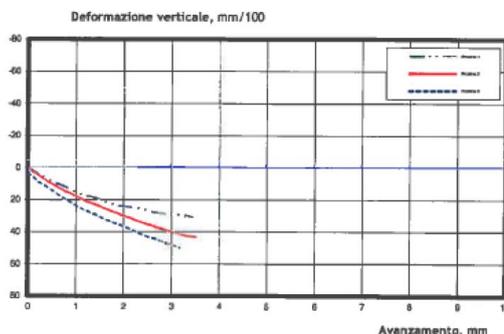
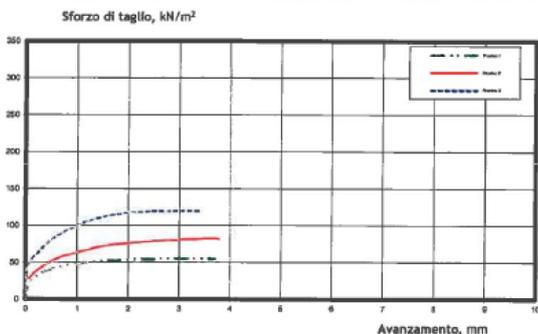
Timbro a secco

Certificato N°		Protocollo n. MBA 1768	Luogo Laboratorio in Concessione
		Data accettazione: 19/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
MBC 025370	05-dic-18	Data prova: inizio 23/11/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		termine 26/11/2018	Divisione Geotecnica
		Materiale: Terra	Settore Meccanica delle Terre

Sondaggio: BO-PD S27 Campione: C11 Profondità m: 2,00 - 2,35 Stato: Indisturbato

PROVA DI TAGLIO DIRETTO C.D.

Foglio 2 / 2



D A T I A C Q U I S I T I								
PROVINO 1 - P.V. kN/m²			PROVINO 2 - P.V. kN/m²			PROVINO 3 - P.V. kN/m²		
Avanzamento [mm]	Sforzo [kN/m²]	Def. verticale [mm/100]	Avanzamento [mm]	Sforzo [kN/m²]	Def. verticale [mm/100]	Avanzamento [mm]	Sforzo [kN/m²]	Def. verticale [mm/100]
0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0
0,06	6,7	0,2	0,02	27,7	0,7	0,00	27,5	0,0
0,14	19,1	1,5	0,10	28,5	2,9	0,00	31,9	2,6
0,21	26,3	3,1	0,18	35,3	4,1	0,00	41,2	4,3
0,30	31,0	4,2	0,26	40,1	5,9	0,08	48,7	5,4
0,39	34,5	5,3	0,35	44,3	7,6	0,15	55,7	7,1
0,46	37,3	6,8	0,42	47,9	9,1	0,23	61,4	9,4
0,55	39,5	8,1	0,51	50,9	10,6	0,31	67,2	10,7
0,64	41,3	9,4	0,60	53,9	12,0	0,38	72,4	11,9
0,72	43,0	10,5	0,69	56,6	13,5	0,46	77,2	13,7
0,81	45,7	12,7	0,78	58,8	15,2	0,54	81,6	15,2
0,90	47,6	13,8	0,88	60,7	16,2	0,62	85,4	16,8
0,99	49,6	15,2	0,97	62,4	17,5	0,70	88,8	18,3
1,08	48,6	16,4	1,06	64,2	19,0	0,79	92,1	20,0
1,17	49,2	17,5	1,16	65,8	20,3	0,86	95,0	21,2
1,26	49,8	17,9	1,24	67,1	21,6	0,93	97,9	22,8
1,35	50,7	18,6	1,33	68,8	22,5	1,03	100,6	24,3
1,44	51,3	19,4	1,42	70,2	23,4	1,12	102,9	25,8
1,53	52,0	20,3	1,51	71,3	24,3	1,20	104,8	27,0
1,62	52,4	21,6	1,60	72,5	25,7	1,28	106,7	27,9
1,71	52,7	22,4	1,69	73,4	26,7	1,36	108,6	29,1
1,81	53,0	23,5	1,78	74,2	27,8	1,45	110,1	30,1
1,90	53,1	24,0	1,88	74,8	28,8	1,54	111,6	31,3
1,99	53,5	24,2	1,97	75,5	30,1	1,62	113,0	32,5
2,08	54,2	24,6	2,06	76,2	30,9	1,71	114,1	33,5
2,17	54,4	25,1	2,15	76,5	31,7	1,79	115,2	34,6
2,26	54,5	25,3	2,24	76,9	32,9	1,89	116,1	35,4
2,36	54,4	25,8	2,33	77,5	33,8	1,97	117,0	36,6
2,45	54,5	26,6	2,42	77,8	34,8	2,06	117,6	37,6
2,54	54,7	27,4	2,51	78,4	35,5	2,16	118,0	38,7
2,63	54,8	27,9	2,60	78,8	36,4	2,24	118,4	40,0
2,72	54,8	28,6	2,69	79,2	37,5	2,33	118,9	41,2
2,81	54,9	28,7	2,78	79,7	38,2	2,43	119,2	42,4
2,90	54,9	29,1	2,88	80,0	39,1	2,52	119,6	43,4
2,99	55,0	29,2	2,97	80,1	40,7	2,61	119,6	44,2
3,08	54,9	29,4	3,06	80,5	41,2	2,71	119,3	45,1
3,17	55,0	29,7	3,15	80,8	42,0	2,80	119,5	45,1
3,27	55,1	29,9	3,24	81,0	42,7	2,89	119,8	47,2
3,35	55,1	30,5	3,33	81,2	43,1	2,98	119,8	48,0
3,45	55,2	31,2	3,42	81,2	43,5	3,07	119,8	49,0
3,54	55,1	31,9	3,51	81,5	44,1	3,16	119,6	50,0
3,62	55,2	32,9	3,60	81,5	44,5	3,25	119,7	50,9
3,71	55,2	32,9	3,69	81,5	44,5	3,34	119,6	51,6
			3,79	81,4	45,0	3,43	119,5	52,9

D A T I D E I P R O V I N I							
PROVINO	PRESSIONE VERTICALE [kN/m²]	Umidità iniziale [%]	Umidità finale [%]	Peso di Volume [kg/m³]	Grado Saturazione [%]	Cedimento in consolidazione [mm]	Tempo consolidazione [min]
1	100,00	28,9	39,7	1775	84	0,910	480
2	200,00	33,6	36,2	1798	93	2,057	480
3	300,00	28,4	35,1	1768	82	2,816	480

Note: Le prove sono state eseguite su provini parzialmente ricostituiti, previa eliminazione della pezzatura grossolana.

Area scatola di taglio= 3600 mm² Tipo di prova: C.D.
Vel. avanzamento= 0,001 mm/min Tipo di campione: Indisturbato

Lo Sperimentatore
dott. geot. Francesco Rasconia
Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Venturi

E' vietata la riproduzione, anche parziale, del presente documento senza la preventiva autorizzazione scritta della SIDERCEN S.r.l.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 120 di 136

CR1 (BO-PD 28)



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620856
C.F. Iscr. C.C.L.A.A. di Cassetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°	
MBC 025398	05-dic-18

Protocollo n.	MBA 1770
Data accettazione:	22/11/2018
Data prova:	inizio 27/11/2018 termine 05/12/2018
Materiale:	Terra

Luogo	Laboratorio in Concessione D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020 Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
Divisione	Geotecnica
Settore	Meccanica delle Terre

Foglio 1 / 2

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Orsara-Bovino - Tratta Bovino-Orsara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano
Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD 528 Stato: Rimaneggiato
Campione: CR1 Profondità m: 2,60 - 3,00

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- (2) Il presente certificato è composto da : 2 fogli
- (3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- (4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura Impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Termometro - Delta ohm	HD 9214	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

CERTIFICATO DI PROVA
RACCOMANDAZIONI AGI

Massa volumica reale
Massa volumica apparente
Classificazione

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rascón

Il Direttore di Laboratorio
dott. Ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 121 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620856
C.F. Iscr. C.C.I.A.A. di C.asetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,82
Tel.: 095474942 - Fax: 095475003
sidercamct@sidercem.it

Timbro a secco

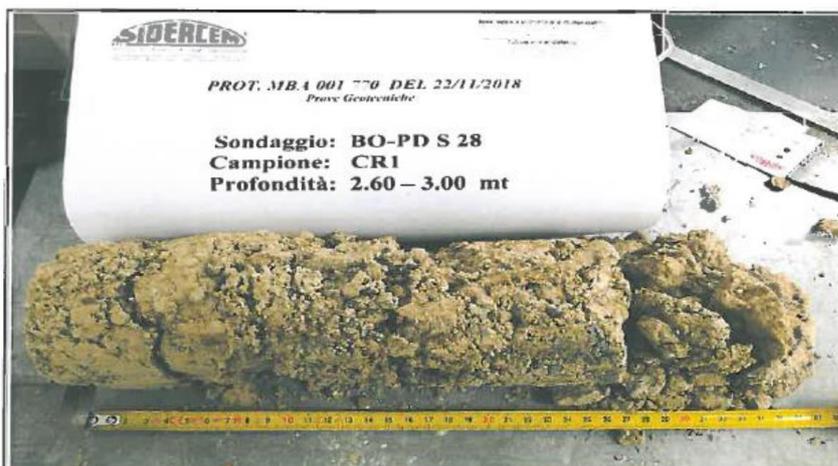
Certificato N°		Protocollo n. MBA 1770	Luogo Laboratorio in Concessione
MBC 025398		Data accettazione: 22/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
05-dic-18		Data prova: inizio 27/11/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		termine 05/12/2018	Divisione Geotecnica
		Materiale: Terra	Settore Meccanica delle Terre

Sondaggio: BO-PD S28 Campione: CR1 Profondità m: 2,60 - 3,00 Stato: Rimaneggiato

Foglio 2 / 2

Descrizione visiva del campione:

Argilla marnoso-siltosa sabbiosa di colore beige-giallastro, il campione è molto disturbato, plastica, poco consistente, presenza di intercalazioni clastiche grossolane di natura carbonatica, variamente elaborati, di colore biancastro, centimetrici.



Granulometria AGI	Ghiaia [%] 22,14	Sabbia [%] 14,82	Limo [%] 31,73	Argilla [%] 31,31
-------------------	---------------------	---------------------	-------------------	----------------------

Definizione AGI	Limo ghiaioso sabbioso con argilla
Classificazione CNR - UNI 10006	A7-6
Rock - color chart:	5Y LIGHT OLIVE GRAY 6/2

Caratteristiche generali;	Massa volumica reale:	2637	kg/m ³
	Massa volumica apparente:	1792	kg/m ³
	Massa volumica del secco:	1393	kg/m ³
	P.P.	N.D.	kN/m ²

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rasconi

Il Direttore di Laboratorio
dott. Ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 122 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620856
C.F. Iscr.C.C.I.A.A. di Casetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476442 - Fax.: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°		Protocollo n. MBA 1770	Luogo Laboratorio in Concessione
MBC 025399	05-dic-18	Data accettazione: 22/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
		Data prova: inizio 27/11/2018 termine 27/11/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		Materiale: Terra	Divisione Geotecnica Settore Meccanica delle Terre

Foglio 1/ 1

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Orsara-Bovino - Tratta Bovino-Orsara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche

Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano

Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD 528 Stato: Rimaneggiato
Campione: CR1 Profondità m: 2,60 - 3,00

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- (2) Il presente certificato è composto da : 1 foglio
- (3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- (4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

CERTIFICATO DI PROVA
DETERMINAZIONE DELLA MASSA VOLUMICA CON FUSTELLA TARATA
RACCOMANDAZIONI AGI

		Provino 1	Provino 2	Provino 3
m (g)	Massa provino umido	128,12	129,60	129,27
V (mm ³)	Volume provino umido	72000	72000	72000
p (kg/m ³)	Massa volumica umida = m/V	1779	1800	1795
w (%)	Contenuto in acqua del provino	29,2	27,5	29,1
pd (kg/m ³)	Massa volumica essicata = p/(1+w)	1377	1412	1391
p medio (kg/m ³)		pd medio (kg/m ³)		
1792		1393		

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rascano

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 123 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620656
C.F. Iscr. C.C.I.A.A. di C.asetta: 01754820674
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax: 095475003
sidercemot@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°		Protocollo n. MBA 1770	Laogo Laboratorio in Concessione
		Data accettazione: 22/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
		Data prova: inizio 29/11/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		termine 30/11/2018	Divisione Geotecnica
		Materiale: Terra	Settore Meccanica delle Terre
MBC 025400	05-dic-18		Foglio 1/ 1

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Osara-Bovino - Tratta Bovino-Osara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano
Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD S28 Stato: Rimaneggiato
Campione: CR1 Profondità m: 2,60 - 3,00

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- (2) Il presente certificato è composto da : 1 foglio
- (3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- (4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Termometro - Delta ohm	HD 9214	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

**CERTIFICATO DI PROVA
MASSA VOLUMICA REALE DEI GRANULI
ASTM D 854**

$$\rho_s = \frac{m_2}{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_2)} \rho_w$$

Metodo del picnometro				
	Identificazione picnometro		A	1
m_0	Massa del picnometro pulito ed asciutto	g	154,942	152,98
m_1	Massa del picnometro riempito con sola acqua alla temperatura T	g	379,32	442,26
m_2	Massa del picnometro e del campione secco	g	208,41	204,09
m_3	Massa del picnometro riempito con acqua alla temperatura T	g	412,56	474,05
m_4	Massa del campione secco	g	53,47	51,11
T	Temperatura di prova	°C	24	24
ρ_w	Densità dell'acqua distillata e disaerata alla temperatura T	kg/m ³	997,32	997,32
ρ_s	Massa volumica dei granuli solidi	kg/m ³	2636	2638
ρ_s	Massa volumica media dei granuli solidi	kg/m ³		2637

L^o Sperimentatore
dott. geol. Francesco Roscioni

Il Direttore di Laboratorio
dott. Ing. Vincenzo D. Veritini

E' vietata la riproduzione, anche parziale, del presente documento senza la preventiva autorizzazione scritta della SIDERCEM S.r.l.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 124 di 136



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620056
C.F. Iscr.C.C.I.A.A. di C.ssetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°	Protocollo n. MBA 1770 Data accettazione: 22/11/2018 Data prova: inizio 03/12/2018 termine 05/12/2018 Materiale: Terra	Luogo Laboratorio in Concessione D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020 Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT) Divisione Geotecnica Settore Meccanica delle Terre
MBC 025401	05-dic-18	Foglio 1/ 2

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante l'esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.
- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Orsara-Bovino - Tratta Bovino-Orsara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano
Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD 528 Stato: Rimaneggiato
Campione: CR1 Profondità m: 2,60 - 3,00

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- (2) Il presente certificato è composto da : 2 fogli
- (3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- (4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

Attrezzatura impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Termometro - Delta ohm	HD 9214	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

CERTIFICATO DI PROVA

ANALISI GRANULOMETRICA

ASTM D421-85, D422-63, D1140-71, D2217-85

Caratteristiche fisiche del campione:

Argilla marnoso-siltosa sabbiosa di colore beige-giallastro, il campione è molto disturbato, plastico, poco consistente, presenza di intercalazioni clastiche grossolane di natura carbonatica, variamente elaborati, di colore biancastro, centimetrici.

Massa volumica reale, kg/m ³	2637	Limite liquido %	42,3
Massa volumica umida, kg/m ³	1792	Limite Plastico %	18,7
		Indice Plastico %	23,6

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rasconà

Il Direttore di Laboratorio
dott. Ing. Vincenzo D. Ventura

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI			
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004
	REV. B	FOGLIO 125 di 136		



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479820856
C.F. Iscr.C.C.I.A.A. di C.sectta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095476942 - Fax: 095475003
sidercemct@sidercem.it

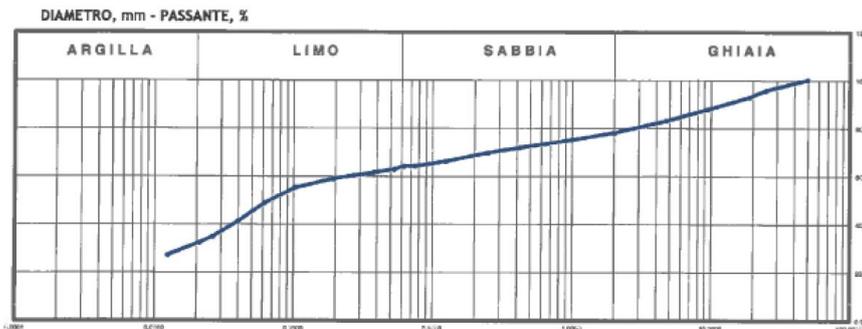
Timbro a secco

Certificato N°		Protocollo n. MBA 1770	Luogo Laboratorio in Concessione
		Data accettazione: 22/11/2018	D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020
MBC 025401	05-dic-18	Data prova: inizio 03/12/2018 termine 05/12/2018	Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
		Materiale: Terra	Divisione Geotecnica
			Settore Meccanica delle Terre

Sondaggio: BO-PD 528 Campione: CR1 Profondità m: 2,60 - 3,00 Stato: Rimaneggiato

Foglio 2/ 2

ANALISI GRANULOMETRICA



ANALISI PER SETACCI

Apertura setaccio [mm]	Passante [%]
50,0	100,00
25,0	95,58
19,0	92,66
9,5	87,64
4,75	82,90
2	77,86
1	74,90
0,75	71,75
0,300	69,58
0,150	65,93
0,075	63,96
0,063	63,90

ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

Diametro equivalente [mm]	Passante [%]
0,05322	62,62
0,03812	61,34
0,02713	60,00
0,01942	58,79
0,01034	54,95
0,00624	48,56
0,00402	40,89
0,00264	34,50
0,00211	31,95
0,00126	26,84

GHIAIA, % = 22,14
SABBIA, % = 14,82
LIMO, % = 31,73
ARGILLA, % = 31,31

Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rasconà

Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Venturi

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI			
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA			
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004
	REV. B	FOGLIO 126 di 136		



Laboratorio di Misterbianco (CT)
Via G. Agnelli n° 22 - 95045 Misterbianco (CT)
P.IVA: 01479620656
C.F. iscr. C.C.I.A.A. di C. ssetta: 01754820874
Capitale Sociale: € 102.774,92
Tel.: 095474942 - Fax: 095475003
sidercemct@sidercem.it

Timbro a secco

Certificato N°	
MBC 025402	05-dic-18

Protocollo n.	MBA 1770
Data accettazione:	22/11/2018
Data prova:	inizio 30/11/2018 termine 03/12/2018
Materiale:	Terra

Luogo	Laboratorio in Concessione D.M. registrato al Prot. 0000137 - 30/04/2015, valido fino al 15/05/2020 Via G. Agnelli n. 22, Misterbianco (CT)
Divisione	Geotecnica
Settore	Meccanica delle Terre

Foglio 1/ 1

Richiedente: dott. Sergio Giugliano
c/o ITALFERR S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Via Galati, 71 - 00155 Roma

Ordine N°: 100035398 del 31/10/2018 di Attivazione su A.Q. n° 200001143

Oggetto: Accordo quadro riguardante "Esecuzione di Prove geotecniche di laboratorio su Terre e Rocce, relative alla caratterizzazione dei terreni interessati dalla progettazione di fattibilità tecnica ed economica, Definitiva ed Esecutiva di Linee e Nodi ferroviari nonché di infrastrutture stradali ed impianti civili ed industriali, ricadenti nell'ambito dell'Area Territoriale Sud (Umbria, Marche, Abruzzo, Lazio, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia) Accordo quadro prot. DAC. AP.AC.0009716.18 del giorno 14 Febbraio 2018.

- Esecuzione di prove di laboratorio per la valutazione del rischio da flussi iperconcentrati/debris flow per il "Progetto definitivo del Raddoppio Apice-Orsara-Bovino - Tratta Bovino-Orsara"

Ente appaltante: Italferr S.p.a. - Direzione Tecnica - U.O. Geologia, Gestione Terre e Bonifiche
Referente Tecnico: dott. Sergio Giugliano
Imp. esecutrice sondaggi: SONDEDILE S.R.L. Unipersonale

Identificazione: Sondaggio: BO-PD S28 Stato: Rimaneggiato
Campione: CR1 Profondità m: 2,60 - 3,00

- (1) Il campione è stato portato in laboratorio: Corriere
- (2) Il presente certificato è composto da : 1 foglio
- (3) Il presente certificato viene autenticato dalla SIDERCEM s.r.l. di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco il certificato è da ritenersi contraffatto.
- (4) Le copie vengono autenticate dalla SIDERCEM di Misterbianco mediante l'apposizione su ciascun foglio del timbro a secco visibile in alto. In assenza del timbro a secco la copia è da ritenersi contraffatta.

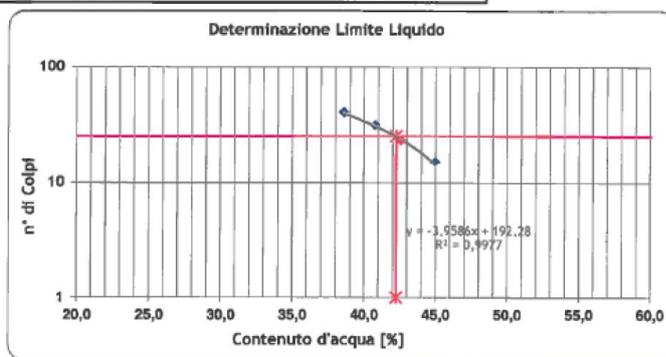
Attrezzatura impiegata	Matricola	Taratura		
		Ente	Data verifica	Scadenza
Forno Ventilato Tecnotest	CTS 011 G09	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019
Bilancia Elettronica f.s 4500 g - RADWAG	GTS RDW 02 - S/N 306129	Sidercem s.r.l.	Gennaio 2018	Gennaio 2019

**CERTIFICATO DI PROVA
LIMITI DI CONSISTENZA
(ASTM D4318)**

L.L.	%	42,3
L.P.	%	18,7
I.P.	%	23,6

Limite liquido	
Numero di colpi	w [%]
40	38,53
23	42,58
15	44,90
31	40,74

Limite plastico	
Punto	w [%]
1	18,42
2	18,97



Lo Sperimentatore
dott. geol. Francesco Rascon
[Signature]

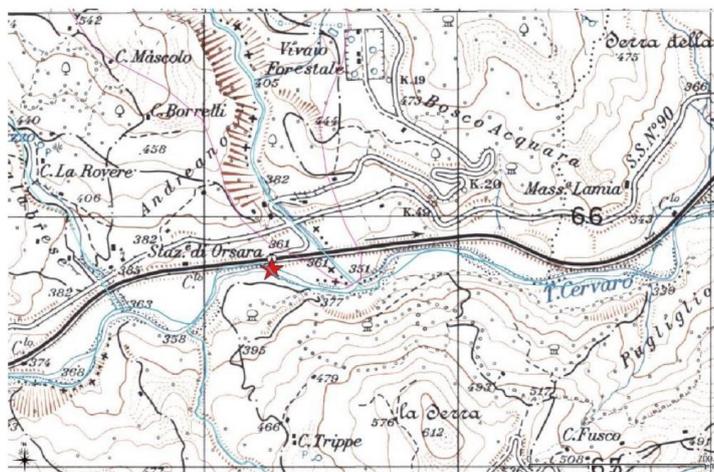
Il Direttore di Laboratorio
dott. ing. Vincenzo D. Ventura
[Signature]

E' vietata la riproduzione, anche parziale, del presente documento senza la preventiva autorizzazione scritta della SIDERCEM S.r.l.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 127 di 136

PROGETTO	PD Hirpinia-Orsara			
CODICE COMMESSA	IF16.2D01.A01			
CORSO D'ACQUA	TORRENTE CERVARO			
CODICE TRANSETTO	CER02	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (WGS84)	41.241441° N	15.276922° E
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	ORSARA DI PUGLIA	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (Gauss- Boaga)	4565592.63 N	523197.65 E

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 128 di 136

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	
<input type="checkbox"/> sabbia (da fine a grossolana)	
<input type="checkbox"/> sabbia grossolana e ghiaia fine	
<input checked="" type="checkbox"/> ghiaia	
<input checked="" type="checkbox"/> ghiaia e ciottoli	
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO	
	

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA											
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="735 304 863 349">COMMESSA IF3A</td> <td data-bbox="863 304 967 349">LOTTO 02</td> <td data-bbox="967 304 1126 349">CODIFICA E ZZ RI</td> <td data-bbox="1126 304 1310 349">DOCUMENTO ID0002 004</td> <td data-bbox="1310 304 1398 349">REV. B</td> <td data-bbox="1398 304 1487 349">FOGLIO 130 di 136</td> </tr> </table>						COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 130 di 136
COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 130 di 136							
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro												

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA DINAMICA MORFOLOGICA

IDRAIM

sistema di valutazione IDR morfologica, Analisi e Monitoraggio dei Corsi d'Acqua

Versione IDM 1.0 - Settembre 2015

APPALTATORE: Conorzio HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL S.P.A	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 131 di 136
				MANDANTI NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	

IDM - SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA DINAMICA MORFOLOGICA

GENERALITÀ

Data	15/07/2018	Operatori	<i>Cappelli</i>
Bacino	Torrente Cervaro	Corso d'acqua	<i>Torrente Cervato</i>
Estremità monte	1,4 km da confluenza	Estremità valle	1,2 km a valle dell'Acquara
Codice Segmento	CER	Codice Tratto	<i>CER-Orsara</i>
Lunghezza tratto (m) - L_t	3891		

TIPOLOGIA D'ALVEO

Confinamento	NC	Pendenza media fondo (S)	0.008
Morfologia	SBA	Larghezza media alveo (m) - L_a	30

DATI UTILIZZATI

Immagini	per situazione attuale e tendenze laterali	
	nome	anno
Immagine situazione attuale	Volo XX	2014
Immagine ultimi 10-20 anni	Volo YY	2000

Rilievi topografici	per tendenze e variazioni altimetriche	
	nome	anno
Attuale	Rilievo XX	2013
Ultimi 10-20 anni	Rilievo YY	2002
Precedente	Rilievo ZZ	1990

APPALTATORE: Conorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 132 di 136

MORFOLOGIA E PROCESSI

M1 Tipologia d'alveo		pt	scelta	conf	ptconf
A	Configurazione morfologica associata a condizioni di energia estremamente bassa (rettilinei o sinuosi di pianura costiera, fondo sabbioso, privi di barre)	0			
B	Configurazione associata a condizioni di bassa energia (sinuosi, meandriformi o anastomizzati privi di barre)	3			
C	Configurazione morfologica associata a condizioni di medio-elevata energia (sinuosi o meandriformi con barre, sinuosi a barre alternate, letto piano e alvei a <i>riffle-pool</i>)	6	x		
D	Configurazione morfologica associata a condizioni di elevata energia e mobilità laterale (<i>wandering</i> , a canali intrecciati)	10			

NOTE:

M2 Erodibilità delle sponde		pt	scelta	conf	ptconf
A	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> $\leq 10\%$ o <i>coesive</i> $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)	0			
B	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> $\leq 33\%$ o <i>coesive</i> $\leq 66\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)	2			
C	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> $\leq 66\%$ o <i>coesive</i> $\leq 90\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)	4			
D	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> $\leq 90\%$ o <i>coesive</i> $> 90\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)	6	x		
E	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> $> 90\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)	8			

Nel caso di sponde *prive di copertura vegetale* $> 10\%$ lunghezza totale: passare alla *classe superiore*

Nel caso di sponde *prive di copertura vegetale* $> 33\%$ lunghezza totale: passare a *due classi superiori*

Nel caso di *corsi d'acqua di bassa energia* (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $La > 10$ m: passare a *due classi inferiori*

Nel caso di *corsi d'acqua di bassa energia* (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $La \leq 10$ m: si attribuisce alla *classe A*

NOTE:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 133 di 136

M3 Erodibilità del fondo		pt	scelta	conf	ptconf
A	Presenza di fondo alluvionale erodibile, non protetto da elementi artificiali (rivestimenti, rampe) e/o naturali (affioramenti, corazzamento) per $\leq 10\%$ lunghezza tratto	0			
B	Presenza di fondo alluvionale erodibile per $10 \div 33\%$ lunghezza tratto	2			
C	Presenza di fondo alluvionale erodibile per $33 \div 66\%$ lunghezza tratto	4			
D	Presenza di fondo alluvionale erodibile per $66 \div 90\%$ lunghezza tratto	6			
E	Presenza di fondo alluvionale erodibile per $> 90\%$ lunghezza tratto	8	x		
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $La > 10$ m: passare a una classe inferiore					
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $La \leq 10$ m: passare a due classi inferiori					

NOTE:

M4 Processi di arretramento delle sponde		pt	scelta	conf	ptconf
A	Completa assenza di sponde in arretramento	0	x		
B	Sponde in arretramento $\leq 5\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) oppure: sponde in arretramento $\leq 33\%$ con tassi trascurabili	2			
C	Sponde in arretramento $\leq 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi ≤ 3 m/a oppure: sponde in arretramento $> 33\%$ con tassi trascurabili	4			
D	Sponde in arretramento $\leq 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi > 3 m/a oppure: sponde in arretramento $> 33\%$ con tassi ≤ 3 m/a	6			
E	Sponde in arretramento $> 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi > 3 m/a	8			

NOTE:

APPALTATORE: Consorzio <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. B	FOGLIO 134 di 136

M5	Tendenze di larghezza	pt	scelta	conf	ptconf
C-	Restringimento >25% (alvei a canale singolo o SBA) o >15% (alvei CI o W)	8			
B-	Restringimento >10% (alvei a canale singolo o SBA) o >5% (alvei CI o W)	4			
A	Variazioni di larghezza ≤10% (alvei a canale singolo o SBA) o ≤5% (alvei CI o W)	0			
B+	Allargamento >10% (alvei a canale singolo o SBA) o >5% (alvei CI o W)	4	x		
C+	Allargamento >25% (alvei a canale singolo o SBA) o >15% (alvei CI o W)	8			

NOTE:

M6	Tendenze altimetriche	pt	scelta	conf	ptconf
C-	Incisione: evidenze di incisione largamente prevalenti e diffuse	8			
B-	Incisione lieve: evidenze di incisione prevalenti ma non diffuse	4			
A	Equilibrio: assenza di prevalenti condizioni di incisione o sedimentazione	0	x		
B+	Sedimentazione lieve: evidenze di sedimentazione prevalenti ma non diffuse	4			
C+	Sedimentazione: evidenze di sedimentazione largamente prevalenti e diffuse	8			

NOTE:

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 135 di 136

ARTIFICIALITÀ

A1 Difese di sponda		pt	scelta	conf	ptconf
A	Difese di sponda per >80% lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	0			
B	Difese di sponda per 66÷80% lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	4			
C	Difese di sponda per 33÷66% lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	8			
D	Difese di sponda per 5÷33% lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	12	x		
E	Difese di sponda per ≤5% lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	15			

Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $La > 10$ m: passare a una classe inferiore

Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $La \leq 10$ m: passare a due classi inferiori

NOTE:

A2 Opere di rivestimento o consolidamento del fondo		pt	scelta	conf	ptconf
A	Rivestimenti del fondo per quasi tutto il tratto (>80% lunghezza)	0			
B	Rivestimenti del fondo per 66÷80% della lunghezza del tratto oppure come D con presenza di diga all'estremità a valle	4			
C	Rivestimenti del fondo per 33÷66% della lunghezza del tratto e/o soglie, rampe, briglie, traverse >1 ogni d , dove $d=1000$ m per $S \leq 1\%$; $d=200$ m per $S > 1\%$ oppure come E con presenza di diga all'estremità a valle	8			
D	Rivestimenti del fondo per 5÷33% della lunghezza del tratto e/osoglie, rampe, briglie, traverse ≤1 ogni d , dove $d=1000$ m per $S \leq 1\%$; $d=200$ m per $S > 1\%$	12			
E	Assenza o presenza localizzata di rivestimenti (≤5% lunghezza del tratto) e assenza di altre opere di consolidamento (soglie, rampe)	15	x		

Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $La > 10$ m: passare a una classe inferiore

Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $La \leq 10$ m: passare a due classi inferiori

NOTE:

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI				
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER M-INGEGNERIA	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA				
PROGETTO ESECUTIVO Relazione - Studio geomorfologico del Torrente Cervaro	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 004	REV. FOGLIO B 136 di 136

IDRAIM

sistema di valutazione **IDR**omorfologica, **Analisi** e **Monitoraggio** dei Corsi d'Acqua
Versione IDM 1.0 - Settembre 2015

INDICI E CLASSI DI DINAMICA MORFOLOGICA			
del tratto CER-Orsara			
INDICI DI DINAMICA MORFOLOGICA			
IDM	IDM_{min}	IDM_{max}	NOTE
<u>0.64</u>	0.64	0.64	3/11 IND. N.A.
CLASSI DI DINAMICA MORFOLOGICA			
CLASSE_{med}	CLASSE_{min}	CLASSE_{max}	NOTE
<i>Elevata</i>	<i>Elevata</i>	<i>Elevata</i>	3/11 IND. N.A.

N.A. = non applicato

IDM	CLASSE DI DINAMICA MORFOLOGICA
$0.0 \leq IDM < 0.2$	<i>Molto bassa</i>
$0.2 \leq IDM < 0.4$	<i>Bassa</i>
$0.4 \leq IDM < 0.6$	<i>Media</i>
$0.6 \leq IDM < 0.8$	<i>Elevata</i>
$0.8 \leq IDM \leq 1.0$	<i>Molto elevata</i>