

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura ferroviaria a fenomeni di flussi detritici

SCALA:

-

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

IA5F 01 D 09 RG ID0002 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Cesali 	Luglio 2019	F. Gernone 	Luglio 2019	F. Gernone 	Luglio 2019	A. Vittozzi 	Luglio 2019

File: IA5F01D09RGID0002002A.doc

n. Elab.:

ITALFERR S.p.A.
 U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti
 Dott. Ing. Angelo Vittozzi
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
 N° A20783

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

INDICE

PREMESSA.....	4
1. METODOLOGIA GENERALE.....	5
2. ASSETTO DEI VERSANTI E PROPENSIONE AL DISSESTO.....	6
2.1 ANALISI MORFOMETRICA	8
3. STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI	13
3.1 DEFINIZIONE DEI DEBRISGRAMMI DI PROGETTO	15
4. SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DI COLATE DETRITICHE	18
4.1 MODELLO MATEMATICO.....	18
4.1.1 Parametri di simulazione	19
4.2 SCENARI SIMULATI ED IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI DI PROPAGAZIONE	20
4.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE.....	21
4.3.1. Scenario ante operam, $C_{v,max} = 0.5$ (sistema bacino – conoide 1).....	22
4.3.2. Scenario post operam, $C_{v,max} = 0.5$ (sistema bacino – conoide 1).....	23
4.3.3. Scenario ante operam, $C_{v,max} = 0.65$ (sistema bacino – conoide 1).....	24
4.3.4. Scenario post operam, $C_{v,max} = 0.65$ (sistema bacino – conoide 1).....	25
4.3.5. Scenario ante operam, $C_{v,max} = 0.5$ (sistema bacino – conoide 2).....	26
4.3.6. Scenario post operam, $C_{v,max} = 0.5$ (sistema bacino – conoide 2).....	27
4.3.7. Scenario ante operam, $C_{v,max} = 0.65$ (sistema bacino – conoide 2).....	28
4.3.8. Scenario post operam, $C_{v,max} = 0.65$ (sistema bacino – conoide 2).....	29
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	31

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1-1: Analisi della vulnerabilità a fenomeni di colate detritiche - Flow chart.</i>	5
<i>Figura 2-1: Rischio Frana nell'area di intervento (Fonte: P.A.I. della Regione Basilicata).</i>	6
<i>Figura 2-2: Fenomeni franosi nell'area in esame riportati nella banca dati IFFI (Ispra).</i>	7
<i>Figura 2-3: Area conoide vs area bacino: valori caratteristici di sistemi bacino-conoide interessati da fenomeni di trasporto di materiale detritico.</i>	9
<i>Figura 2-4: Pendenza conoide vs area bacino: valori caratteristici di sistemi bacino-conoide interessati da trasporto di materiale detritico.</i>	10
<i>Figura 2-5: Pendenza conoide vs indice di Melton (Marchi et al. 1993, modificato da D'Agostino 1996).</i>	12
<i>Figura 3-1 – Metodo volumetrico: determinazione dell'onda di colata detritica (debrisgramma).</i>	14
<i>Figura 4-1: FLO-2D: campi dei valori tipici dei parametri reologici.</i>	19
<i>Figura 4-2: FLO-2D – bacino 1: dominio di calcolo.</i>	20
<i>Figura 4-3: FLO-2D – bacino 2: dominio di calcolo.</i>	21

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 2-1: Caratteristiche morfometriche del sistema “bacino-conoide” 1.</i>	8
<i>Tabella 2-2: Caratteristiche morfometriche del sistema “bacino-conoide” 2.</i>	8
<i>Tabella 3-1: formule empiriche per la stima della portata al colmo di una colata detritica.</i>	13
<i>Tabella 3-2: Valori di volume solido potenzialmente mobilabile.</i>	15
<i>Tabella 3-3: Valori di portata al colmo liquida e della colata detritica, per differenti valori della concentrazione solida.</i>	15

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto Definitivo denominato “*Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale*”, il quale prevede il completamento della nuova linea a semplice binario elettrificata, che, in corretto tracciato si dirama dalla linea *Potenza – Metaponto* (Ramo A) e in tracciato deviato dalla stazione di Ferrandina Scalo (Ramo B) come naturale prosecuzione del III binario, per uno sviluppo totale di circa 22 km, fino a raggiungere il sito della nuova stazione di Matera “*La Martella*” (attrezzata con quattro binari), il tutto in sovrapposizione alle opere già esistenti, realizzate tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni 2000.

La tratta esistente *Ferrandina - Matera “La Martella”* è lunga 19,910 km e si slaccia dalla stazione di Ferrandina (progressiva 233+665 della linea FFSS Battipaglia-Potenza Inferiore-Metaponto), per poi superare in curva, proseguendo in viadotto, la vallata del Fiume Basento, e giungere all'imbocco (lato Ferrandina) della Galleria Miglionico. Dopo l'imbocco (lato Matera) della galleria, la linea dapprima scende con pendenza costante sino all'attraversamento sul Fiume Bradano, per poi salire con pendenza variabile fino ad arrivare alla stazione di Matera “*La Martella*”.

L'analisi dell'assetto geomorfologico dell'area di intervento ha evidenziato che i dissesti presenti sui versanti potrebbero essere associati a fenomeni caratterizzati da flussi idrici iperconcentrati e/o *debris-flows*, che potrebbero a loro volta interessare le opere ferroviarie (ed annesse) in progetto.

Si è proceduto dunque alla valutazione della possibile interferenza del tracciato ferroviario con tali fenomeni, sulla base di approcci speditivi disponibili nella letteratura tecnica che prevedono l'applicazione di opportune relazioni tra alcuni parametri morfometrici e quantitativi (i.e. volumi, portate), nonché di simulazioni numeriche della propagazione di potenziali flussi detritici, finalizzate alla determinazione delle zone di inondazione/deposizione.

Le analisi sono state condotte in conformità a quanto previsto nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dell'Autorità di Bacino della Regione Basilicata, nonché del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

1. METODOLOGIA GENERALE

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 (Figura 1-1):

- 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



Figura 1-1: Analisi della vulnerabilità a fenomeni di colate detritiche - Flow chart.

- Sopralluoghi ed indagini in sito
- Individuazione dei sistemi “*bacino-conoide*” potenzialmente suscettibili a fenomeni di colate detritiche
- Valutazione dei volumi mobilitabili
- Analisi della propagazione di colate detritiche e valutazione dell'interferenza con le opere in progetto, finalizzate alla definizione di eventuali interventi di difesa

2. ASSETTO DEI VERSANTI E PROPENSIONE AL DISSESTO

In corrispondenza dell'imbocco della Galleria Miglionico (lato Ferrandina), la nuova sottostazione elettrica (SSE), unitamente alla viabilità di accesso, si inseriscono in un'area in cui sono presenti due conoidi di deiezione, che sottendono bacini caratterizzati da aree a rischio frana/geomorfológico elevato (R3) e/o medio (R2) (come mostrato nella figura seguente), secondo la pianificazione di bacino vigente (rif. elaborato IA5F01D09N5ID0002001A).

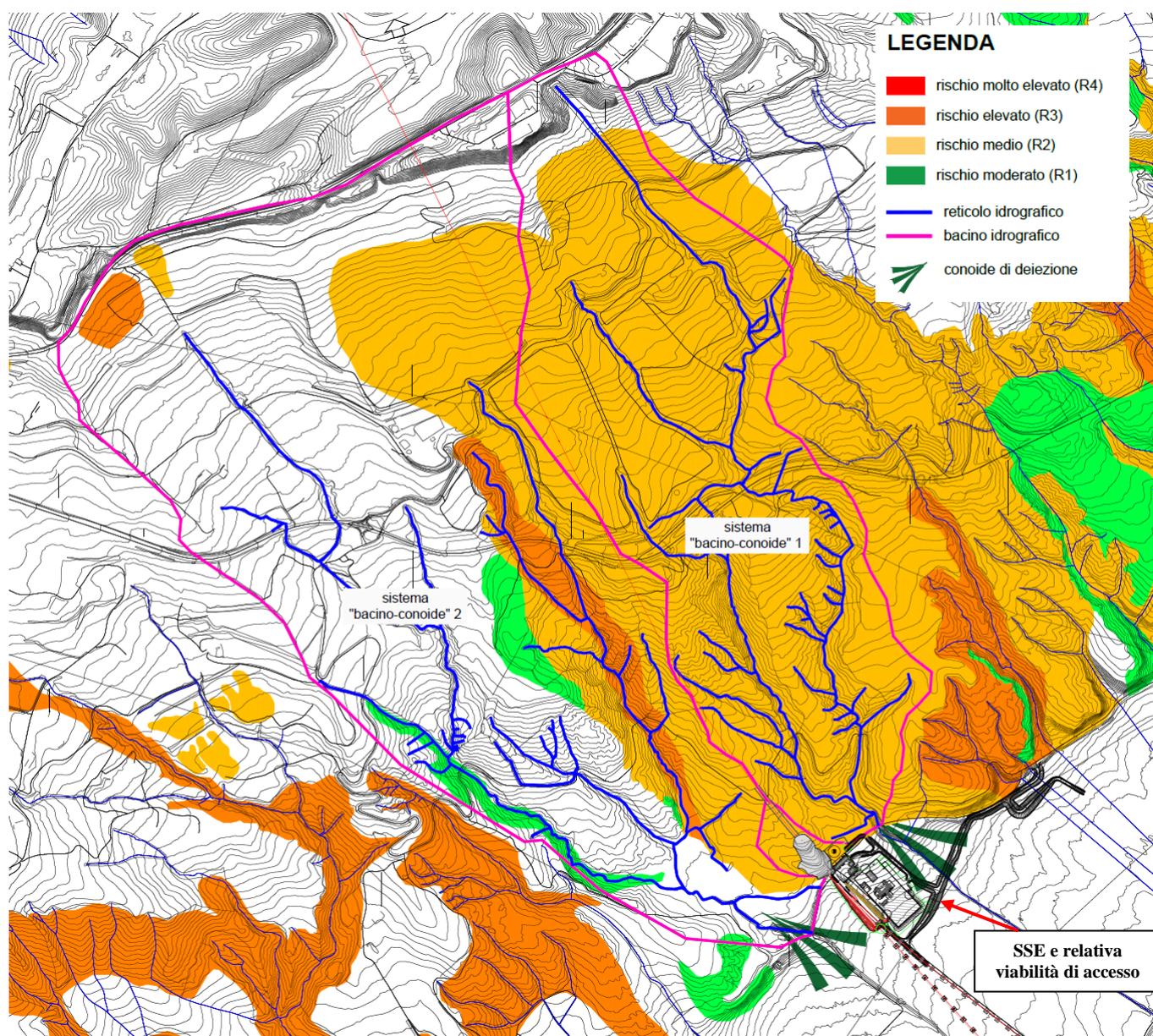


Figura 2-1: Rischio Frana nell'area di intervento (Fonte: P.A.I. della Regione Basilicata).

Inoltre, come riportato nella banca data IFFI (*Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia*) realizzata e gestita dall'ISPRA, i sistemi “bacino-conoide”, così come individuati in Figura 2-1, sono stati (e sono) interessati da fenomeni complessi (rilevati “*sul campo*”), di colamento lento e/o di scivolamento rotazionale/traslattivo. Alcuni di questi sono attualmente ancora in stato “attivo” e/o “quiescente/riattivato”, altri sono ormai “stabilizzati”.

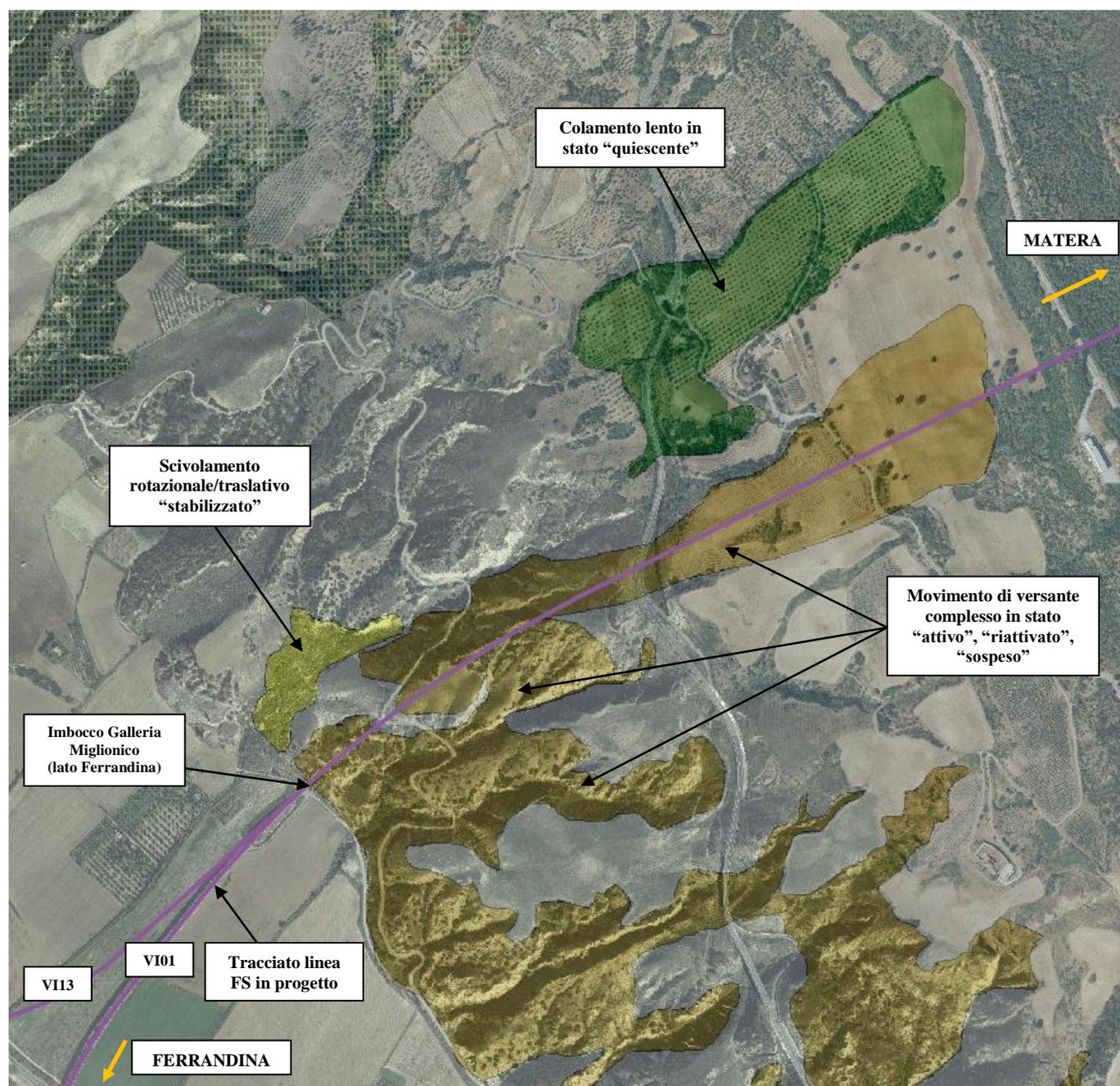


Figura 2-2: Fenomeni franosi nell'area in esame riportati nella banca dati IFFI (Ispra).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

La presenza di conoidi nell'area in esame identifica e conferma l'attività di trasporto e deposito di materiale detritico alimentata dall'innescò di un singolo o di più movimenti franosi che si sono susseguiti nel tempo all'interno dei due bacini.

In generale, anche laddove non si siano già verificati eventi in passato, la valutazione del possibile innescò di flussi detritici può essere condotta, in via speditiva, sulla base di 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.

In definitiva, a partire dalle informazioni riscontrate in sito (i.e. Banca dati IFFI), nonché dalle mappe di pericolosità geomorfologica o rischio frana redatte dall'Autorità di Bacino della Regione Basilicata nell'ambito del P.A.I. (Piano di Assetto idrogeologico) sopra analizzate, si è ritenuto necessario procedere con approfondimenti ed analisi della propensione al dissesto nei sistemi "bacino-conoide" presenti in corrispondenza dell'imbocco della Galleria Miglionico (lato Ferrandina).

2.1 Analisi morfometrica

Mediante elaborazioni geo-statistiche in ambiente GIS del rilievo Lidar (risoluzione 5x5 m) fornito dalla Regione Basilicata, opportunamente integrato con quello del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare di maggiore risoluzione (1x1 m), sono stati valutati i parametri morfometrici dei due sistemi "bacino-conoide" sopra individuati.

Superficie bacino 1 (km²)	0.8
Lunghezza asta (km)	2.0
Quota massima (m slm)	471.1
Quota minima (m slm)	96.4
Quota media (m slm)	270.8
Area conoide (kmq)	0.03
Pendenza media conoide (°)	5.2
Pendenza canale in conoide (%)	6.3

Tabella 2-1: Caratteristiche morfometriche del sistema "bacino-conoide" 1.

Superficie bacino 2 (km²)	1.3
Lunghezza asta (km)	2.2
Quota massima (m slm)	470.5
Quota minima (m slm)	93.1
Quota media (m slm)	303.6
Area conoide (kmq)	0.03
Pendenza media conoide (°)	4.3
Pendenza canale in conoide (%)	3.4

Tabella 2-2: Caratteristiche morfometriche del sistema "bacino-conoide" 2.

Lo studio morfometrico è condotto quindi 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:

$$A_f = c \cdot A_b^k \quad (2.1)$$

in cui A_f è l’area del conoide (km^2), A_b quella del bacino (km^2), 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 A_f e A_b caratteristici di sistemi *bacino-conoide* interessati da fenomeni di trasporto di materiale detritico verso valle.

Si riportano su tale grafico (Figura 2-3) i valori di A_f e A_b relativi ai due sistemi “*bacino-conoide*” in esame: i corrispondenti punti ricadono entrambi all’esterno del campo dei valori sopra definito.

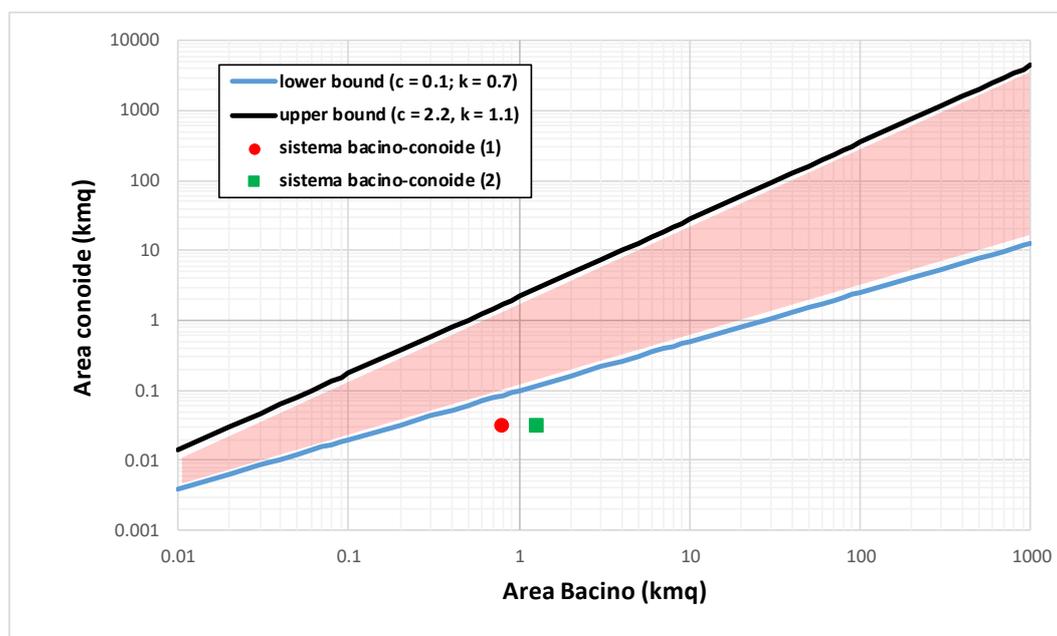


Figura 2-3: Area conoide vs area bacino: valori caratteristici di sistemi bacino-conoide interessati da fenomeni di trasporto di materiale detritico.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

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:

$$S_f = a \cdot A_b^m \quad (2.2)$$

in cui S_f è la pendenza del conoide (in gradi), A_b 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 (A_b/S_f) 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 S_f e A_b caratteristici di sistemi *bacino-conoide* interessati da fenomeni di trasporto di materiale detritico (Figura 2-4).

Riportando su tale grafico i valori di S_f e A_b relativi ai due sistemi *bacino-conoide* analizzati, si osserva che i punti corrispondenti ricadono all'interno del campo dei valori caratteristici.

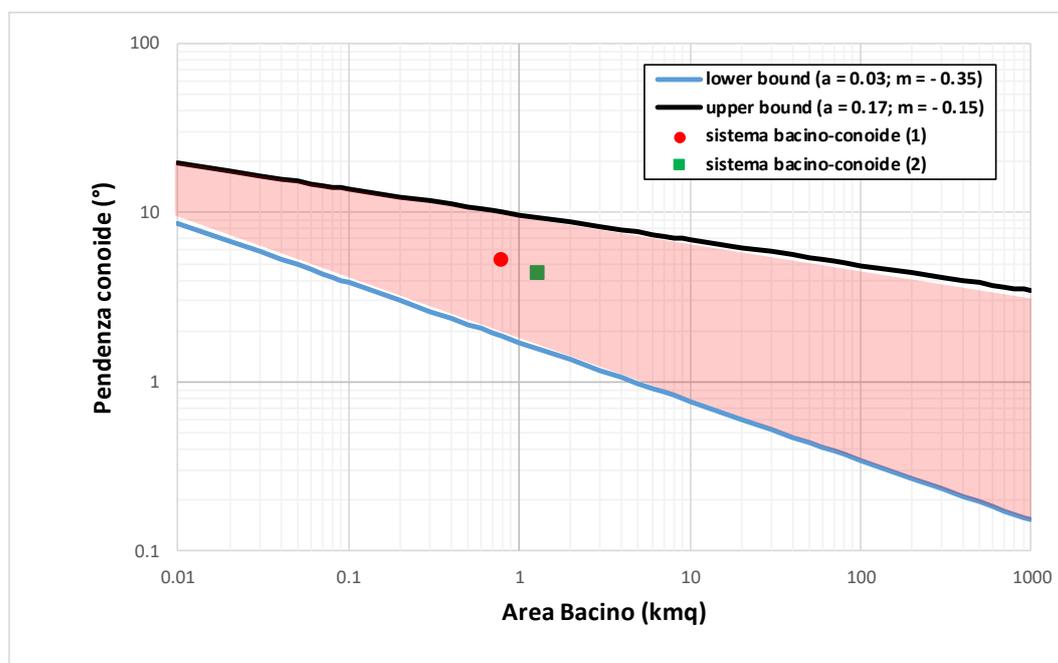


Figura 2-4: Pendenza conoide vs area bacino: valori caratteristici di sistemi bacino-conoide interessati da trasporto di materiale detritico.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

Per 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):

$$R = Ab^{-0.5} \cdot (Q_{b,max} - Q_{b,min}) \quad (2.3)$$

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

$$S_f = q \cdot R^n \quad (2.4)$$

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.

Alcuni ricercatori hanno evidenziato (Marchi *et al.*, 1993) che la pendenza del conoide S_f risulta influenzata principalmente dalla tipologia dei processi deposizionali piuttosto che dalle caratteristiche litologiche del bacino.

La suddivisione delle forme di trasporto si è ulteriormente semplificata accorpando i trasporti per *debris flow* e per *debris flood* e distinguendoli unicamente dal trasporto di fondo (*bedload*) (D'Agostino, 1996).

In tal modo è stato possibile sovrapporre i 52 dati ricavati da Marchi *et al.* (1993) (facendo rientrare cautelativamente i trasporti di tipo "misto" nei *debris flow/flood*) con le 35 conoidi già considerate nell'analisi della "channel debris yield rate".

Il risultato ottenuto ha confermato la sostanziale validità dell'utilizzo dei due indicatori morfologici ed ha consentito di proporre un "criterio" di separazione fra le due categorie di trasporto.

In generale, appartengono alla categoria dei bacini a rischio di *debris flow* e/o *debris flood* quelli caratterizzati da valori di R (indice di Melton) ed S_f (espressa in gradi) tali da soddisfare le disequazioni (Marchi *et al.* 1993):

$$7 \cdot R < S_f < 14 \cdot R$$

Inoltre, tali parametri devono individuare nel grafico R vs S_f coppie di valori ricadenti nel campo definito dalla linea tratteggiata riportata nella figura seguente.

Per i sistemi "*bacino-conoide*" in esame, l'indice di Melton (R) assume rispettivamente i seguenti valori:

- $R = 0.42$ per il sistema "*bacino-conoide*" 1
- $R = 0.33$ per il sistema "*bacino-conoide*" 2

Quindi, riportando i valori di R e S_f relativi ai due sistemi "*bacino-conoide*" sull'abaco di Figura 2-5, si osserva che i corrispondenti punti ricadono nel settore che identifica la presenza di fenomeni di trasporto da *debris flow*.

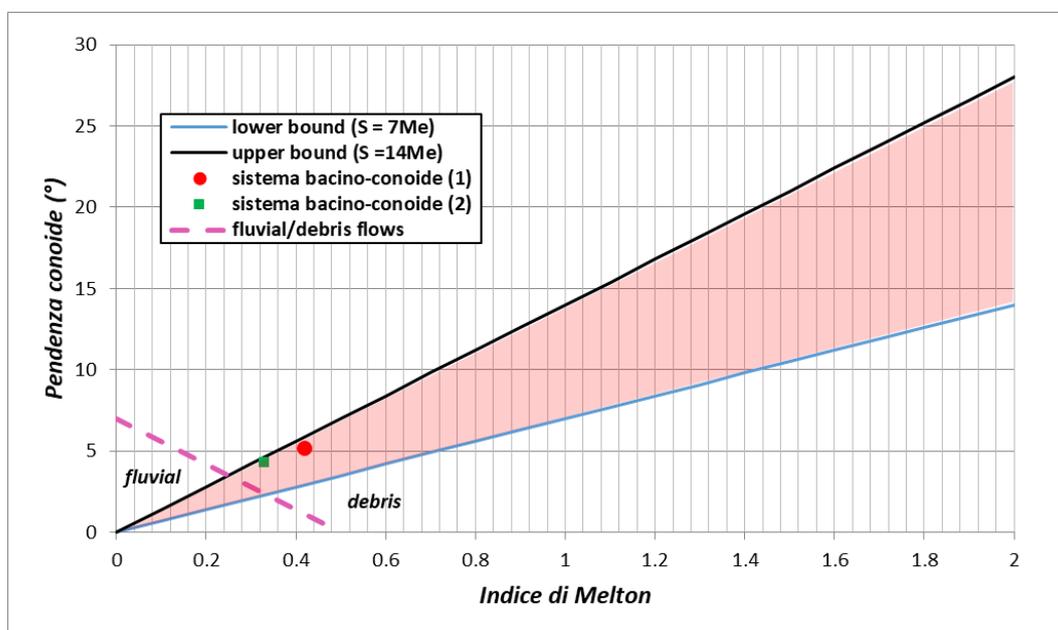


Figura 2-5: Pendenza conoide vs indice di Melton (Marchi et al. 1993, modificato da D'Agostino 1996).

In conclusione, sulla base delle valutazioni speditive sopra illustrate, che confermano l'attività di trasporto e deposito detritico alimentato dai movimenti di versante rilevati in sito (fonte: banca dati IFFI), si ritiene che i sistemi *bacino-conoide* individuati in prossimità dell'imbocco della galleria Miglionico (lato Ferrandina) possano essere caratterizzati da fenomeni di flussi detritici potenzialmente interferenti con le opere in progetto (i.e. SSE e relativa viabilità di accesso). Nel successivo paragrafo si è proceduto pertanto alla stima del volume solido potenzialmente mobilabile.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

3. STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI

Il volume di materiale potenzialmente mobilitabile dai versanti può essere stimato tramite valutazioni riguardanti gli spessori delle coltre detritiche 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 fondano su alcuni parametri morfometrici relativi alle caratteristiche sia del bacino sia del conoide annesso, quali indice di Melton, pendenza, area, lunghezza, così come determinati nel precedente paragrafo.

Per bacini di modesta estensione (come quelli in esame), è possibile ricorrere alle seguenti relazioni:

- *Marchi & Tecca (1996)*

$$V = 70000 \cdot S$$

- *Bottino et al. (1996)*

$$V = 21241 \cdot S^{0.28}$$

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

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 et al., 2009).

In generale, tale metodo prevede il calcolo della portata di picco della colata ricorrendo a formule empiriche (Tabella 3-1), 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 3-1: 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.

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 $I/(I-C_v)$ che appunto non è lineare (D’Agostino et al., 2009).

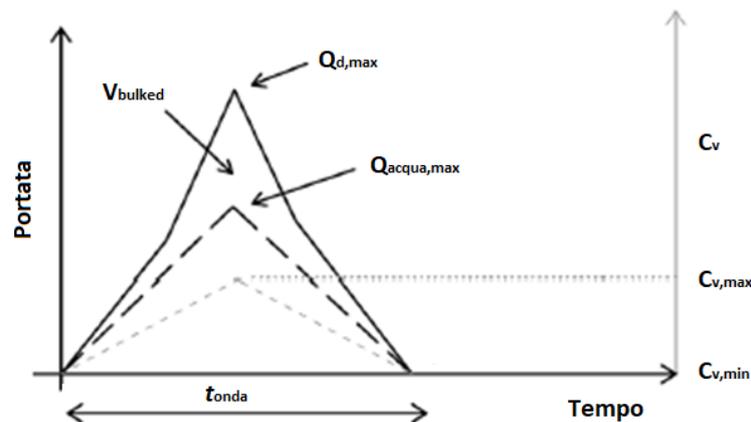


Figura 3-1 – Metodo volumetrico: determinazione dell'onda di colata detritica (debrisgramma).

Con riferimento allo schema di Figura 3-1, integrando l'area sottesa dal debrisgramma non lineare si ottiene l'equazione:

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

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); $V_{debris} = V$; $Q_{d,max}$ = 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 (ad esempio il tempo di corrivazione del bacino), 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:

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

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

3.1 Definizione dei debrisgrammi di progetto

In assenza di informazioni sufficienti per la stima del volume di materiale solido potenzialmente mobilitabile in dipendenza degli spessori di coltre detritica presente sui versanti dei bacini in esame, si è proceduto all'applicazione delle relazioni empiriche sopra introdotte. Di seguito, i risultati ottenuti per i due sistemi *bacino-conoide* di interesse.

	$V_{debris} [m^3/s]$ (Marchi & Tecca)	$V_{debris} [m^3/s]$ (Bottino)
Sistema "bacino-conoide" 1	56000	19954
Sistema "bacino-conoide" 2	91000	22860

Tabella 3-2: Valori di volume solido potenzialmente mobilitabile.

La formulazione di *Marchi & Tecca* fornisce nel caso in esame valori di volume solido potenzialmente mobilitabile più cautelativi rispetto a quelli ottenuti tramite la relazione di *Bottino*. Nel seguito si farà quindi riferimento a tali valori di volume solido.

Il metodo volumetrico sopra descritto prevede, una volta stimato il volume solido, il calcolo della portata al colmo della colata detritica tramite formulazioni empiriche (Tabella 3-1), per poi, fissata la concentrazione solida massima, determinare la corrispondente portata liquida.

Nel caso in esame si è preferito procedere assegnando dapprima la concentrazione solida massima e la portata liquida del corso d'acqua in conoide, per poi ricavare quindi la portata al colmo della colata detritica (tramite la [*]) ed il corrispondente debrisgramma che sottende (assegnando un opportuno valore al coefficiente di non linearità k) un volume solido-liquido pari a $V_{bulked} (= 1.2-1.3 \cdot V_{debris})$.

Nello specifico, per ognuno dei due sistemi "bacino-conoide" in esame sono stati determinati due debrisgrammi corrispondenti ai valori di concentrazione massima 0.5 e 0.65, per una portata liquida del corso d'acqua in conoide pari a quella caratterizzata da un tempo di ritorno (Tr) di 200 anni (corrispondente al tempo di ritorno di progetto nel caso di bacini con estensione inferiore a 10 km², come da Manuale di Progettazione Ferroviaria).

Di seguito, i valori di portata al colmo liquida (Tr 200) e della colata detritica, per i differenti valori di concentrazione solida considerati, per i due bacini analizzati.

Si precisa che i valori di portata liquida al colmo Tr 200 sono stati valutati mediante la procedura VAPI della Regione Basilicata (per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati specialistici di idraulica e di OO.CC.).

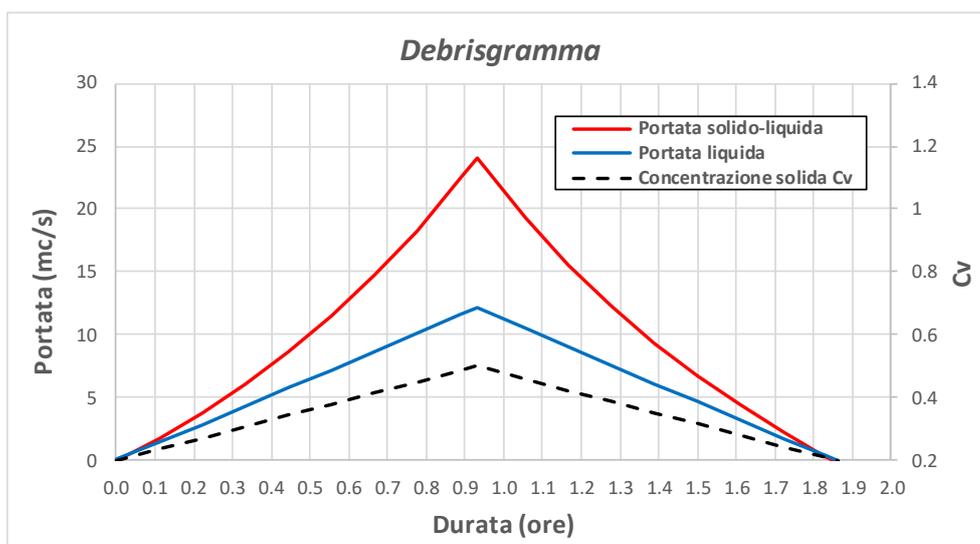
	Portata liquida (Tr 200) [m^3/s]	Portata colata [m^3/s]	
		$C_{v,max} = 0.5$	$C_{v,max} = 0.65$
Sistema "bacino-conoide" 1	12.1	24.2	34.5
Sistema "bacino-conoide" 2	17.8	35.6	50.7

Tabella 3-3: Valori di portata al colmo liquida e della colata detritica, per differenti valori della concentrazione solida.

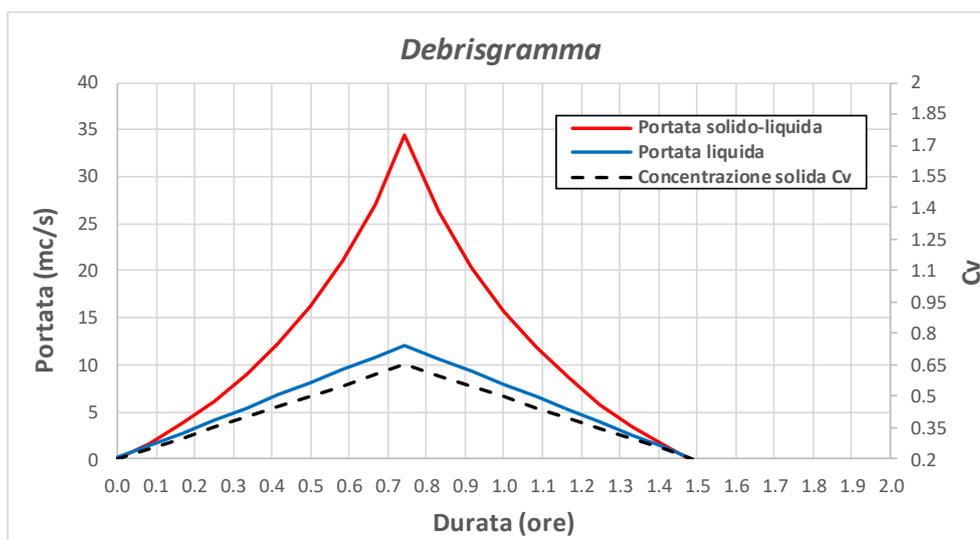
Nelle figure seguenti, i corrispondenti debrisgrammi.

Sistema "bacino-conoide" 1

$$C_{v,max} = 0.5$$



$$C_{v,max} = 0.65$$





Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale

NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE

COMMESSA
IASF

LOTTO
01 D 09

CODIFICA
RG

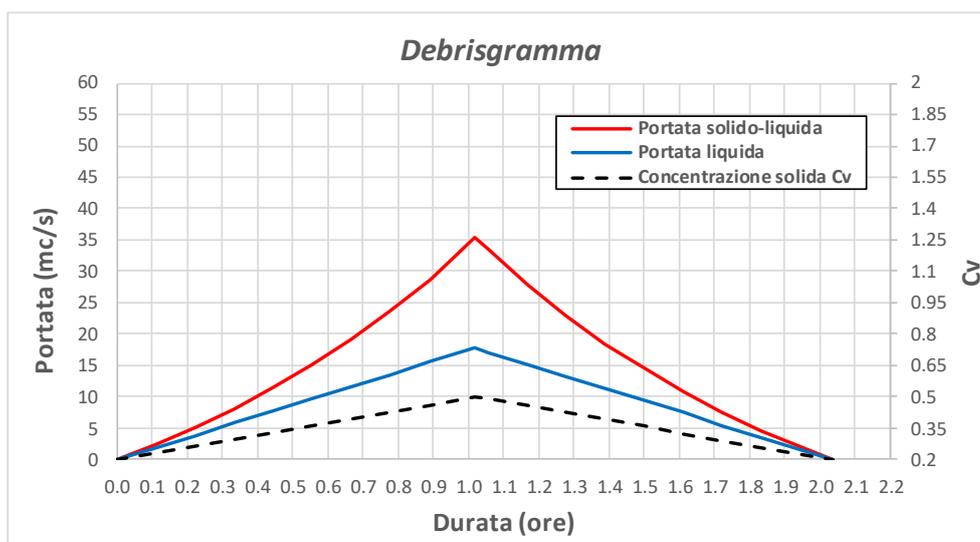
DOCUMENTO
ID0002 002

REV.
A

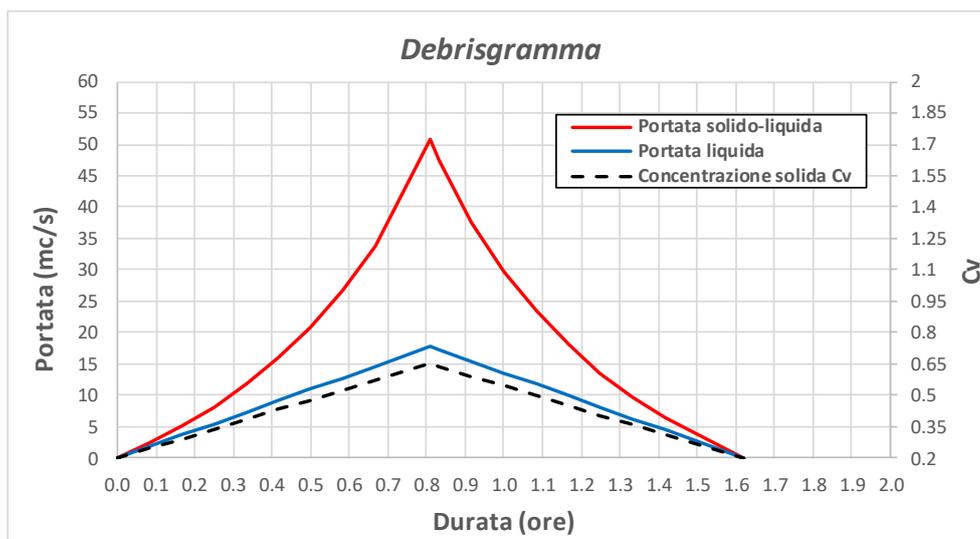
FOGLIO
17 di 31

Sistema "bacino-conoide" 2

$$C_{v,max} = 0.5$$



$$C_{v,max} = 0.65$$



	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

4. SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DI COLATE DETRITICHE

4.1 Modello matematico

Per la modellazione di colate detritiche a scala locale (singolo bacino) è stato applicato il modello FLO-2D (O' Brien et al., 1993), uno dei programmi più ampiamente utilizzati per la stima del rischio da colate detritiche.

FLO-2D è stato sviluppato allo scopo di fornire una stima delle velocità e profondità del flusso detritico, di predire l'area di inondazione e simulare l'arresto della colata (O' Brien et al., 1993).

Il software è in grado di implementare modelli idraulici bidimensionali a fondo fisso (nel caso di simulazione di colate detritiche) o mobile (nel caso di simulazione di trasporto solido) utilizzabile per la simulazione di flussi non-Newtoniani in aree di conoide che, partendo da un idrogramma di piena e utilizzando un modello completamente dinamico, consente di predire l'area di inondazione, la velocità e lo spessore del flusso per ogni cella in cui la topografia è stata discretizzata (Bettella, 2012).

FLO-2D è basato su processi fisici in grado di combinare i modelli idrologici (quantità di pioggia, ruscellamento, infiltrazione) con modelli idraulici (effetti sulle strade, degli edifici e di ostruzioni sul deflusso, variazione della velocità del flusso tra due elementi di calcolo), al fine di delineare il pericolo da inondazione ed assistere nella scelta dei processi di mitigazione di quest'ultimo.

I dati di input base richiesti dal programma per poter sviluppare una simulazione di debris flow sono: il DTM, i dati idrologici (comprendenti l'idrogramma di piena, concentrazione del sedimento e scabrezza della superficie di scorrimento) e infine i dati reologici del flusso. Inoltre, possono essere fornite informazioni specifiche riguardanti il canale (ad esempio la presenza di ponti). Importante è la definizione degli elementi di "inflow" i quali rappresentano le celle di ingresso del flusso nel sistema in base all'idrogramma ad essi associato, e quelli di "outflow" nei quali si impone l'uscita dell'acqua dal sistema (Gonella et al., 2007).

FLO-2D, segue un metodo d'integrazione numerica alle differenze finite, risolvendo le equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto attraverso uno schema esplicito e centrato. L'equazione costitutiva adottata nel modello è quella del modello reologico quadratico da cui si ricava la seguente equazione per il calcolo della pendenza di dissipazione energetica (O'Brien et al., 1993):

$$S_f = \frac{\tau_y}{\gamma_m + h_f} + \frac{K \mu_N u}{8 \gamma_m h_f^2} + \frac{n_{td}^2 u^2}{h_f^{4/3}}$$

dove γ_m è il peso specifico della colata detritica; K è il parametro di resistenza per flussi laminari; n_{td} è il coefficiente di scabrezza turbolento dispersiva; μ_n è la viscosità newtoniana apparente; u è la velocità del flusso; h_f è l'altezza del flusso. μ_n e τ_y sono i parametri reologici che caratterizzano la colata, e vengono calcolati in funzione della concentrazione volumetrica (C_v) (O'Brien and Julien, 1988), tramite le due relazioni:

$$\tau_y = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$$

$$\mu_N = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$$

dove α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , sono parametri di calibrazione, desumibili da test di laboratorio.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IA5F	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

4.1.1 Parametri di simulazione

I parametri reologici che caratterizzano la colata, μ_n e τ_y , nella maggior parte dei casi assumono valori compresi nei seguenti intervalli/range:

- *tensione tangenziale critica* (τ_y)

$$[\alpha_1 = 0.0005, \beta_1 = 22.2] \div [\alpha_1 = 0.017, \beta_1 = 25.6]$$

- *viscosità newtoniana apparente* (μ_n)

$$[\alpha_2 = 0.004, \beta_2 = 8.3] \div [\alpha_2 = 0.004, \beta_2 = 22.1]$$

ossia all'interno delle regioni evidenziate in figura.

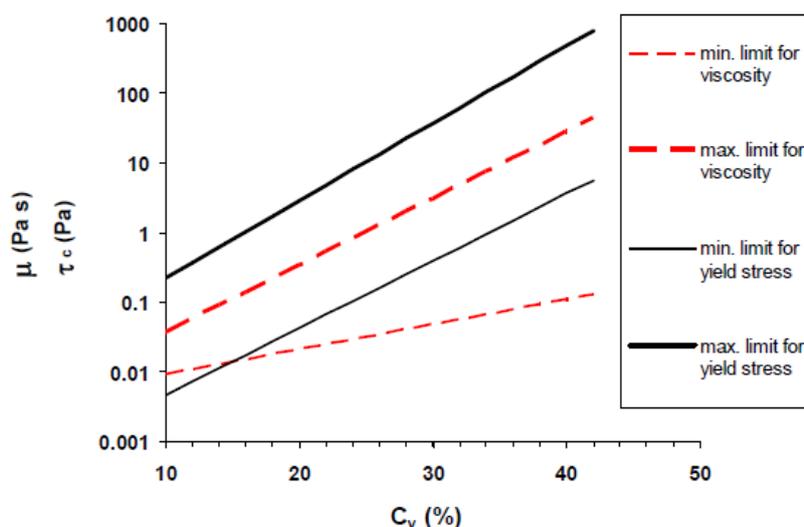


Figura 4-1: FLO-2D: campi dei valori tipici dei parametri reologici.

Per quanto concerne, il parametro di resistenza per flussi laminari, K , nel caso di colate detritiche, si adotta generalmente il valore 2285; mentre per il coefficiente di scabrezza turbolento dispersiva si ricorre alla formulazione:

$$\eta_d = 0.054 n e^{6.09 C_v}$$

con n coefficiente di Manning, tipicamente assunto per alvei fluviali. A seguito di numerose simulazioni numeriche preliminari, in assenza inoltre di dati sperimentali (e di caratterizzazione specifica del materiale solido costituente il potenziale flusso detritico nell'area di intervento) per la calibrazione dei modelli sviluppati, si è deciso di adottare i seguenti parametri reologici, risultati più cautelativi, nel caso in esame, in termini di aree di inondazione/deposizione e altezza del flusso detritico: $\alpha_1 = 0.017$, $\beta_1 = 25.6$; $\alpha_2 = 0.004$, $\beta_2 = 22.1$.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

4.2 Scenari simulati ed implementazione dei modelli di propagazione

Si è proceduto quindi alla simulazione di potenziali flussi detritici all'interno dei sistemi “*bacino-conoide*” analizzati, con riferimento alle seguenti configurazioni geometriche:

- *ante operam*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, unitamente alle opere esistenti presenti;
- *post operam*: si intende la geometria ottenuta dall'inserimento delle opere in progetto che possono modificare l'attuale espansione di un flusso detritico all'interno di un conoide di deiezione, nonché di interventi di risoluzione di eventuali criticità. Nello specifico, tale geometria “*post operam*” è stata costruita inserendo nella geometria che riproduce lo stato attuale, il nuovo rilevato di approccio all'imbocco della galleria Miglionico, la SSE e la relativa viabilità di accesso (realizzate entrambe in rilevato) nonché il tombino “idraulico” (3 scatolari: 1x(3x2) m + 2x(2x2) m, al di sotto della viabilità di accesso) in corrispondenza dell'interferenza con il corso d'acqua in conoide del bacino n.1.

Le nuove opere sono state implementate *i*) modificando, localmente, la quota delle celle di discretizzazione del dominio di calcolo (per simulare ad esempio, i nuovi tratti in rilevato), *ii*) inserendo specifici elementi disponibili in FLO 2D (ad esempio per le opere di attraversamento, quali i tombini o *culverts*). Nelle figure seguenti sono riportati i domini di calcolo considerati per i due sistemi “*bacino-conoide*” analizzati e l'ubicazione delle condizioni al contorno di “*inflow*” e “*outflow*”; nello specifico, la condizione di “*inflow*” (rappresentata dai debrisgrammi sopra determinati) è stata collocata lungo l'asta fluviale “*connessa*” alle aree a “*maggiore rischio di instabilità*”, così come individuate nella Banca dati IFFI e nelle mappe di rischio frana/geomorfológico del P.A.I..

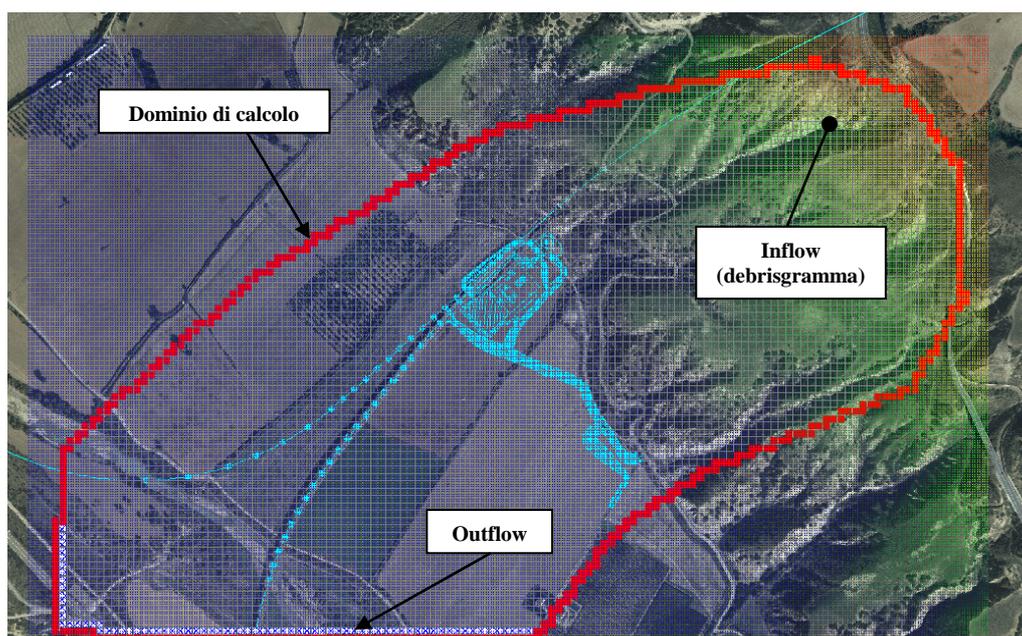


Figura 4-2: FLO-2D – bacino 1: dominio di calcolo.

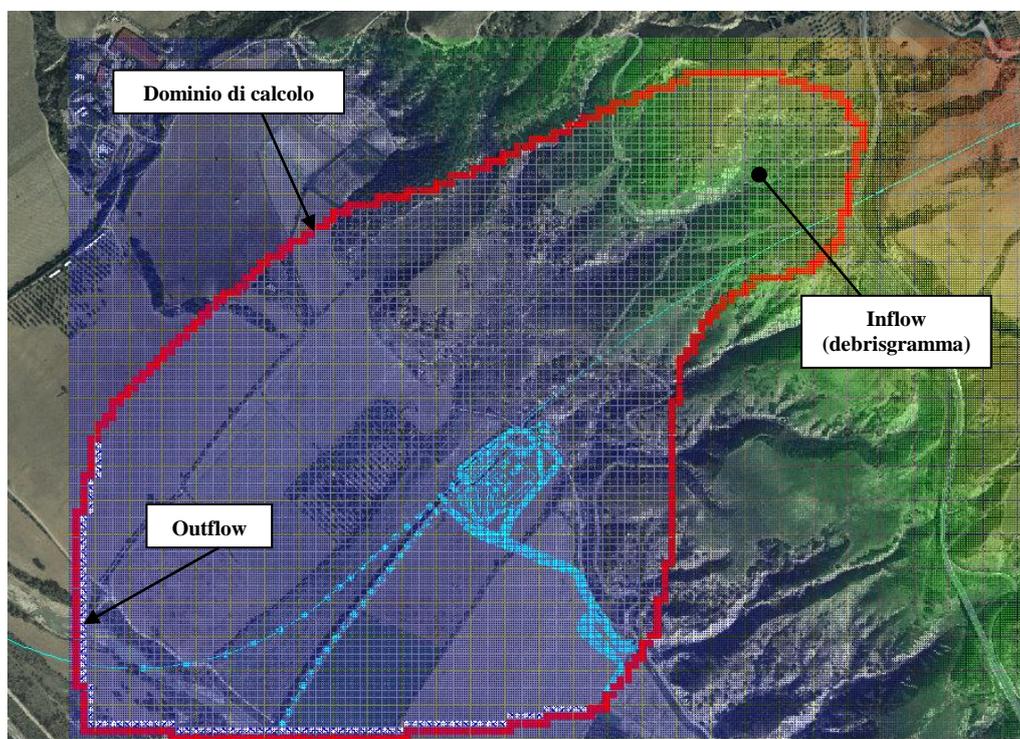


Figura 4-3: FLO-2D – bacino 2: dominio di calcolo.

Inoltre, alle celle (5x5 m) dei domini di calcolo sono stati assegnati i seguenti valori del coefficiente di Manning turbolento, dipendente dai valori di concentrazione solida massima assunti, secondo la relazione sopra introdotta: $n_{td} = 0.06$ per $C_{v,max} = 0.5$; $n_{td} = 0.15$ per $C_{v,max} = 0.65$. Il DTM di riferimento è quello fornito dalla Regione Basilicata (risoluzione 5x5 m), opportunamente integrato con il rilievo Lidar del Ministero dell’Ambiente (risoluzione 1x1 m).

4.3 Risultati delle simulazioni numeriche

Di seguito, i risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche effettuate, in termini di aree di inondazione/deposizione, classificate secondo i valori di altezza del flusso detritico, nonché di velocità, nei due scenari considerati, per i due sistemi “bacino-conoide” esaminati, con riferimento ai differenti valori di concentrazione massima considerati.



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale

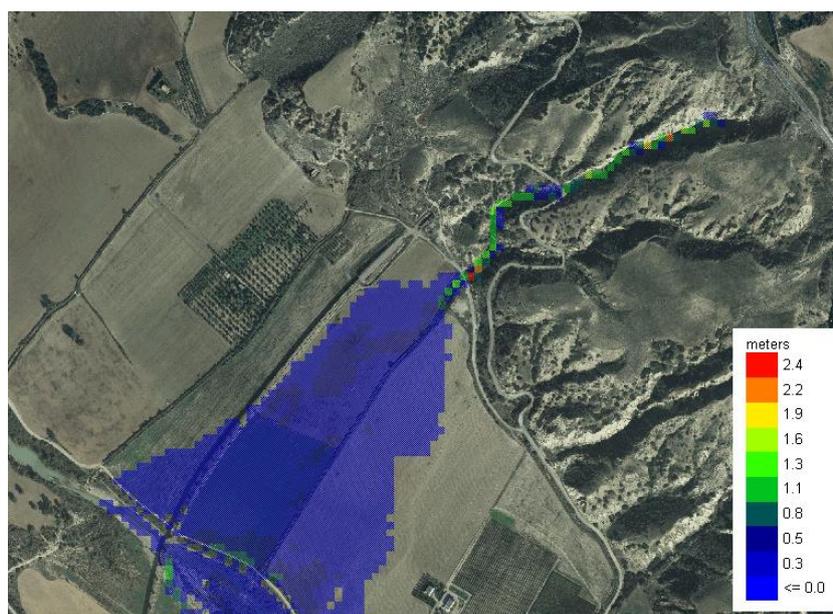
NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE

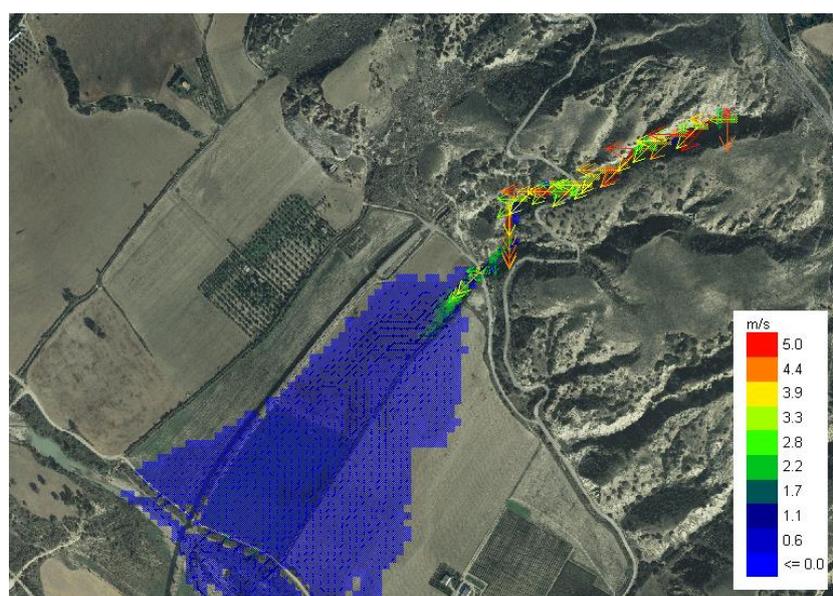
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IASF	01 D 09	RG	ID0002 002	A	22 di 31

4.3.1. Scenario ante operam, $C_{v,max} = 0.5$ (sistema bacino – conoide 1)

Valori di altezza del flusso detritico



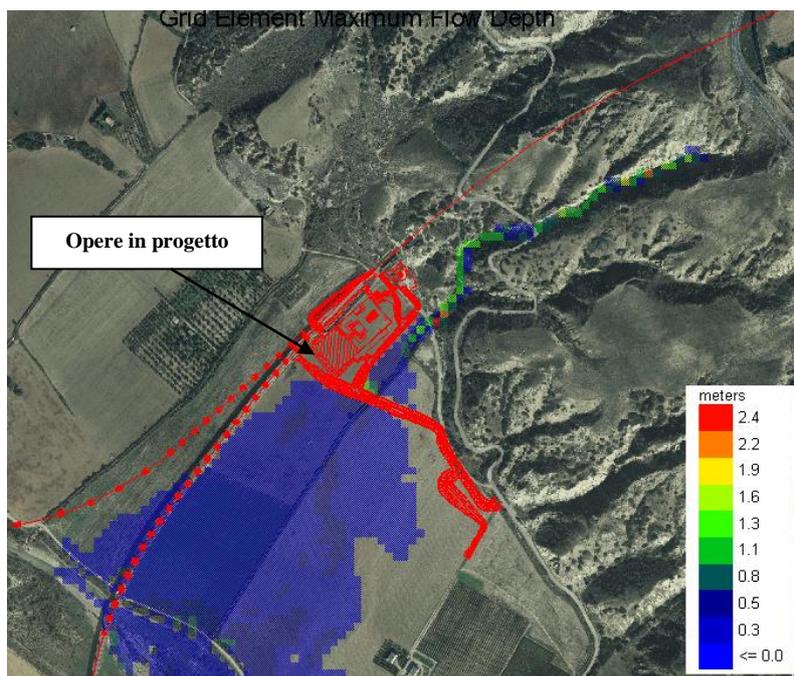
Valori e vettori di velocità del flusso detritico



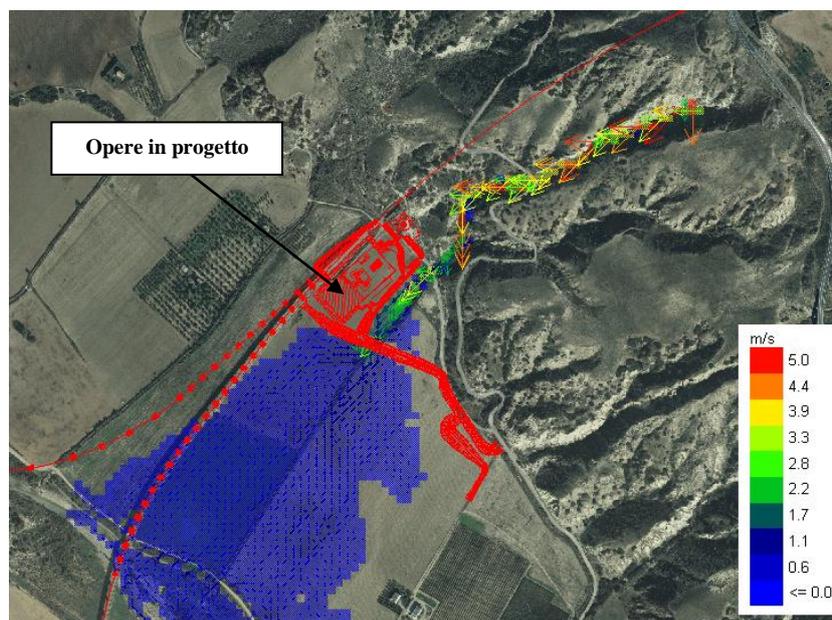
	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

4.3.2. Scenario post operam, $C_{v,max} = 0.5$ (sistema bacino – conoide 1)

Valori di altezza del flusso detritico



Valori e vettori di velocità del flusso detritico





Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale

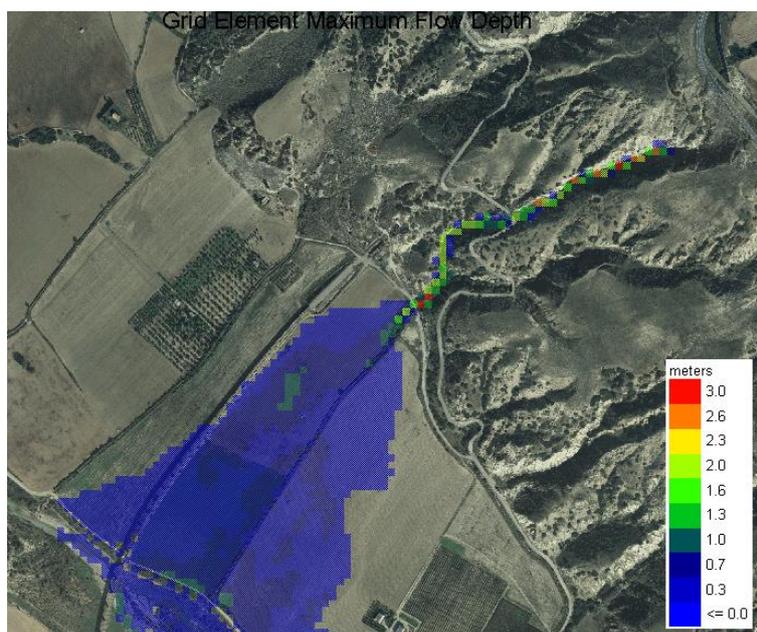
NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE

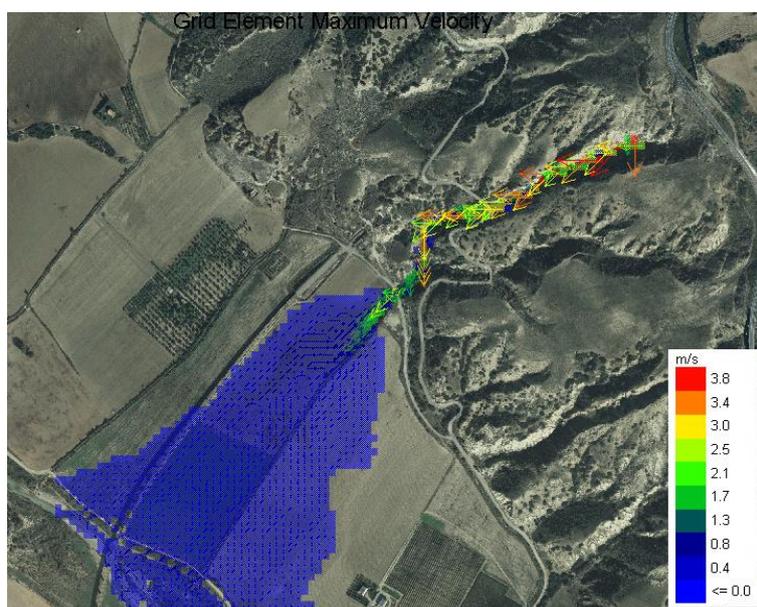
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IASF	01 D 09	RG	ID0002 002	A	24 di 31

4.3.3. Scenario ante operam, $C_{v,max} = 0.65$ (sistema bacino – conoide 1)

Valori di altezza del flusso detritico



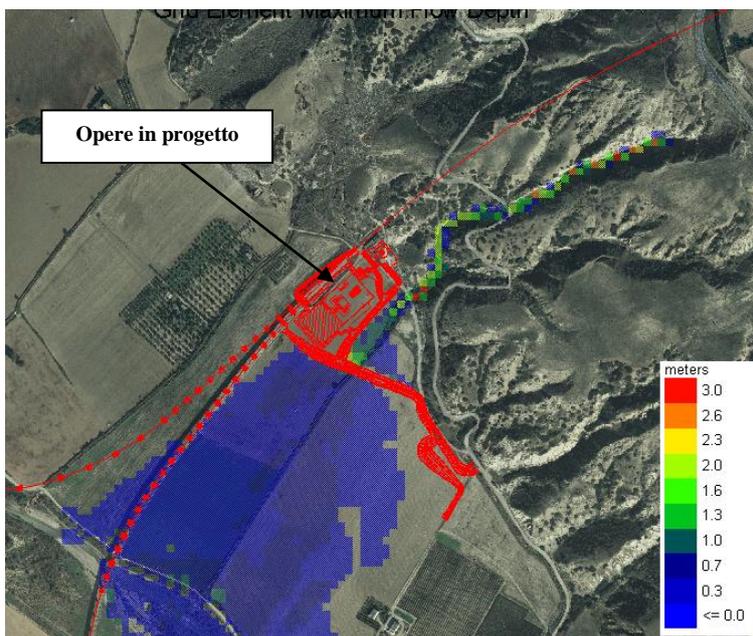
Valori e vettori di velocità del flusso detritico



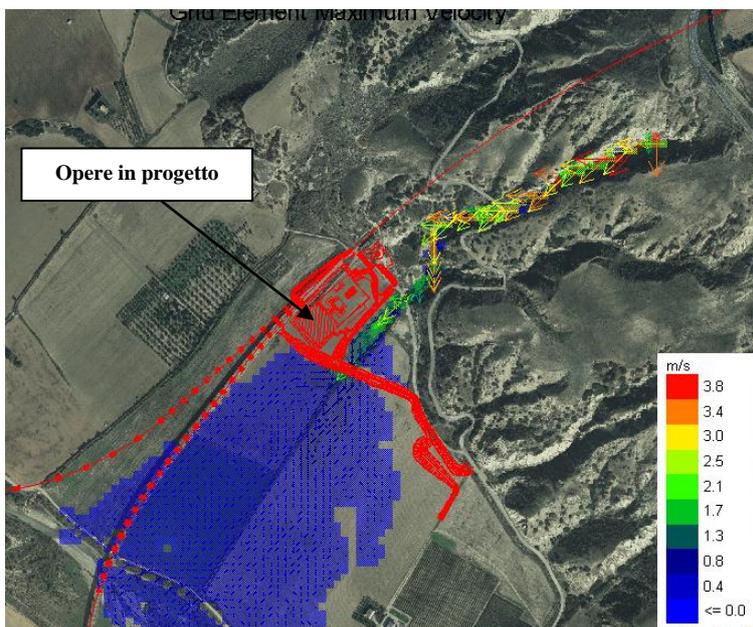
	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

4.3.4. Scenario post operam, $C_{v,max} = 0.65$ (sistema bacino – conoide 1)

Valori di altezza del flusso detritico



Valori e vettori di velocità del flusso detritico





Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale

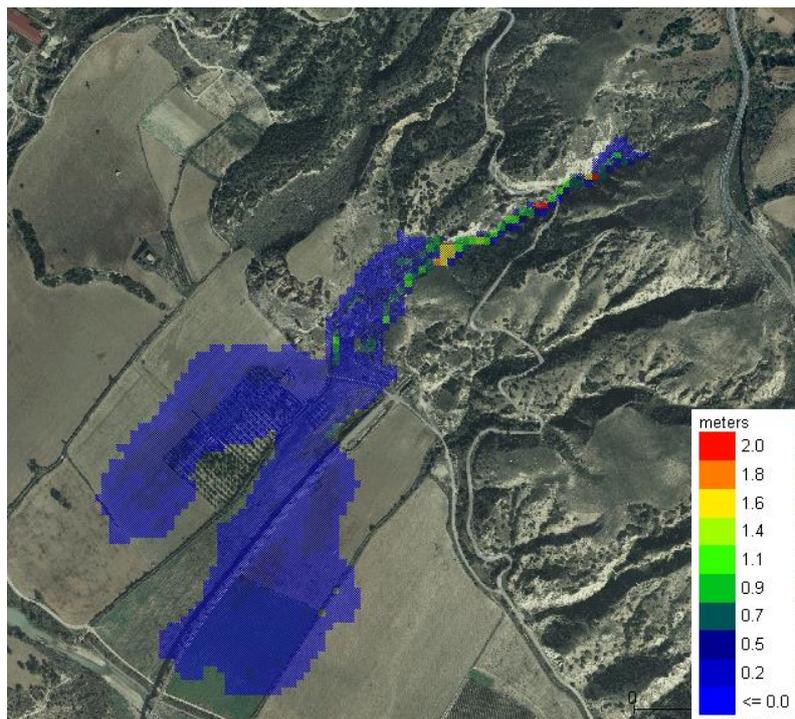
NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE

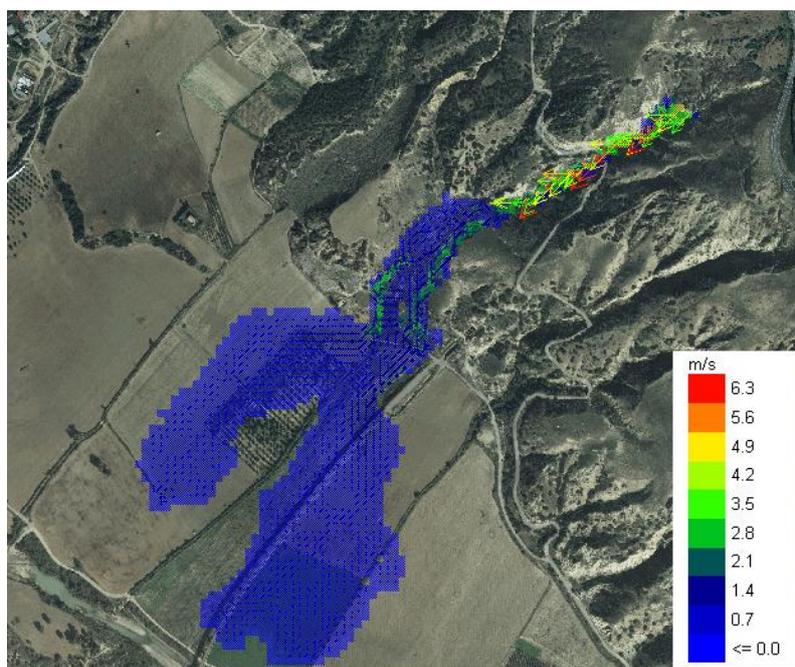
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IASF	01 D 09	RG	ID0002 002	A	26 di 31

4.3.5. Scenario ante operam, $C_{v,max} = 0.5$ (sistema bacino – conoide 2)

Valori di altezza del flusso detritico



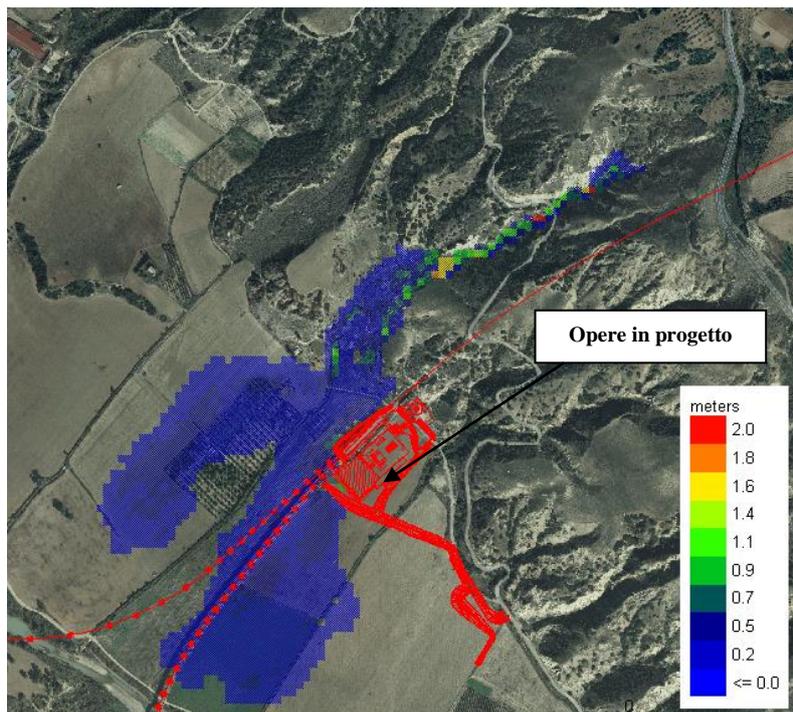
Valori e vettori di velocità del flusso detritico



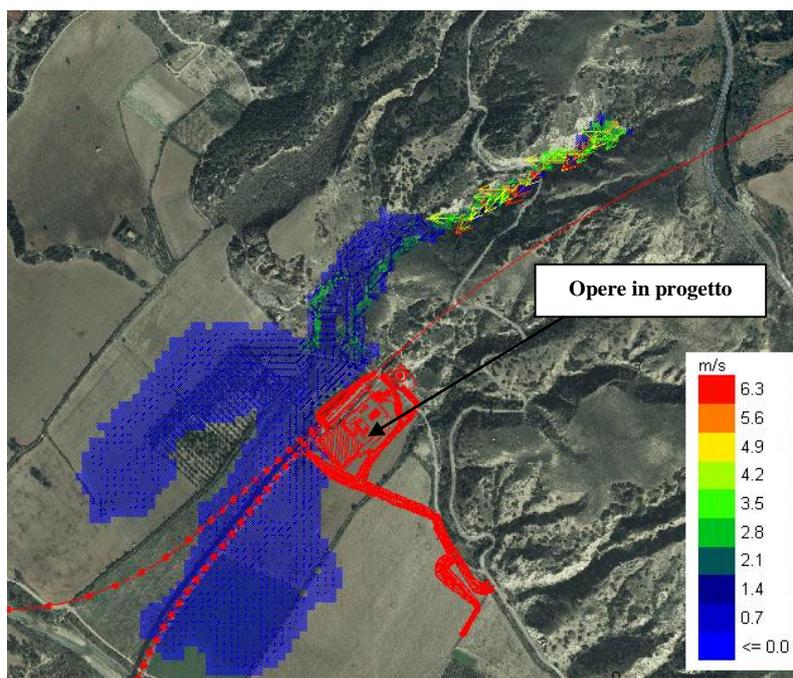
	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

4.3.6. Scenario post operam, $C_{v,max} = 0.5$ (sistema bacino – conoide 2)

Valori di altezza del flusso detritico



Valori e vettori di velocità del flusso detritico





Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale

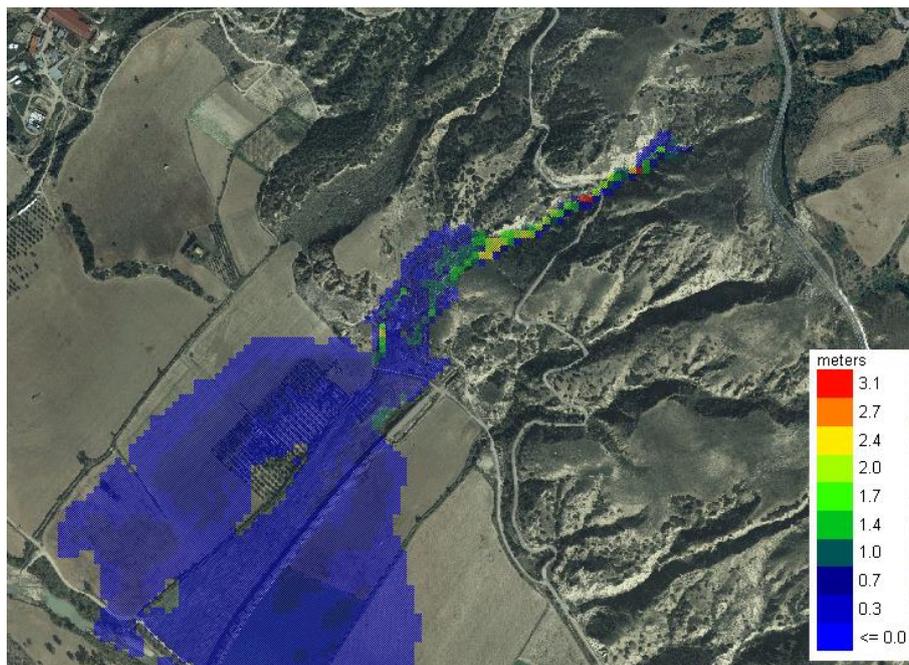
NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE

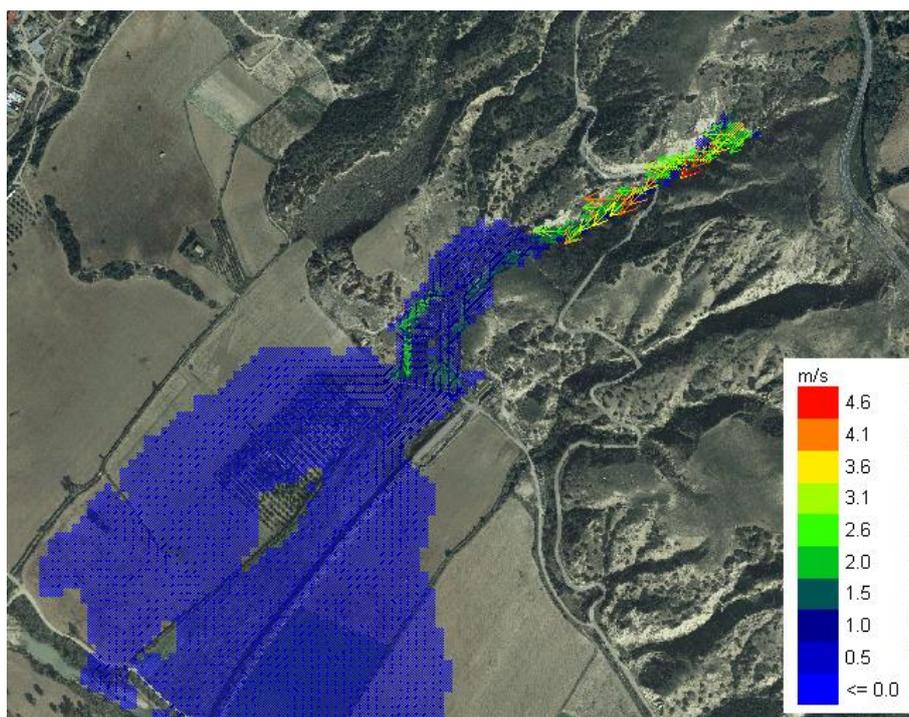
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IASF	01 D 09	RG	ID0002 002	A	28 di 31

4.3.7. Scenario ante operam, $C_{v,max} = 0.65$ (sistema bacino – conoide 2)

Valori di altezza del flusso detritico



Valori e vettori di velocità del flusso detritico





Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale

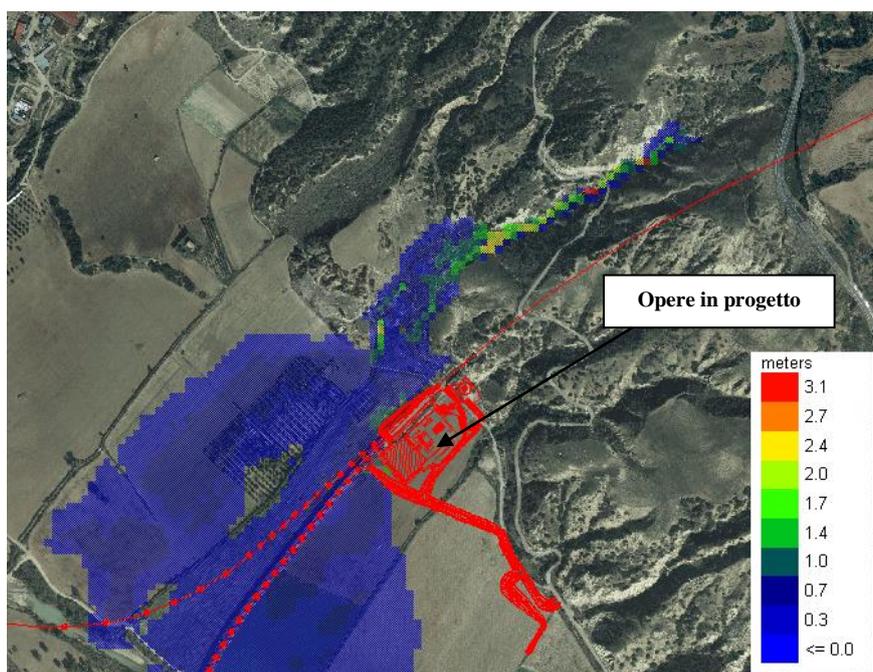
NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE

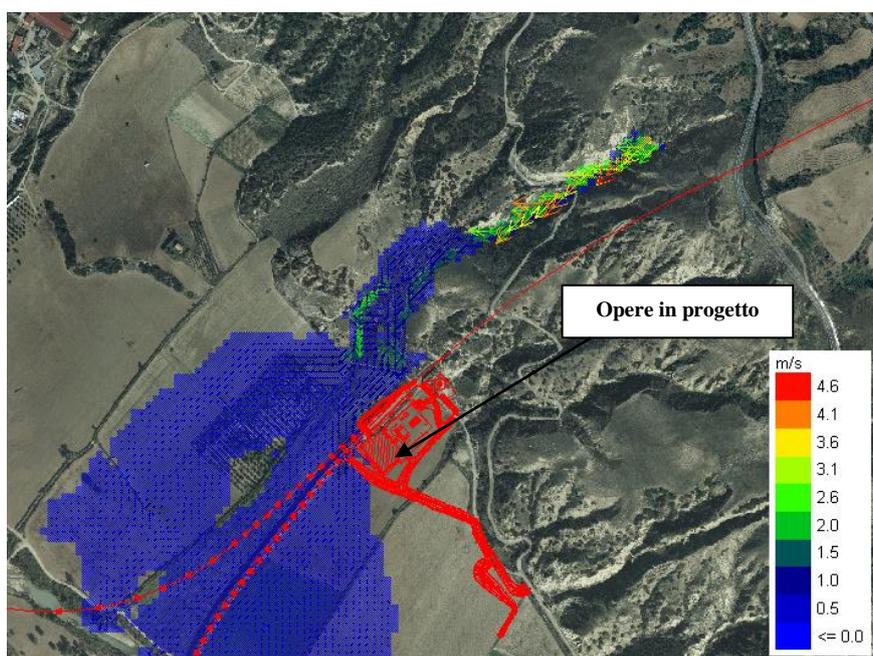
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IASF	01 D 09	RG	ID0002 002	A	29 di 31

4.3.8. Scenario post operam, $C_{v,max} = 0.65$ (sistema bacino – conoide 2)

Valori di altezza del flusso detritico



Valori e vettori di velocità del flusso detritico





Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di
Matera con la rete ferroviaria nazionale

NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA5F	01 D 09	RG	ID0002 002	A	30 di 31

In generale, le maggiori differenze riscontrabili tra i vari scenari analizzati dipendono principalmente dalla concentrazione volumetrica massima considerata, che, in ragione dei corrispondenti valori di coefficiente di scabrezza turbolento e di portata al colmo del flusso *solido-liquido*, influenza la propagazione del potenziale flusso detritico in termini di estensione delle aree inondabili e/o di deposizione, nonché di altezze e velocità del flusso stesso.

Per quanto concerne il sistema “*bacino-conoide*” 1, le opere in progetto (SSE e relativa viabilità di accesso, realizzate in rilevato) influenzano in modo non significativo l’estensione delle aree potenzialmente inondabili; nello specifico, il materiale solido trasportato tende a depositarsi all’interno dell’area interclusa (che sembra quindi assolvere la funzione di una piazza di deposito), tra la SSE e la viabilità di accesso (nella parte sommitale del conoide di deiezione), con altezza massima pari a 1 metro; il flusso detritico attraversa poi il tombino idraulico (IN16) al di sotto della viabilità di accesso (NV01) con altezza (h) e velocità (v) pari 1.7 metri e 1.8 m/s, rispettivamente, per $C_{v,max} = 0.65$, e $h = 1.0$ m, $v = 2.6$ m/s, per $C_{v,max} = 0.50$.

Con riferimento al sistema “*bacino-conoide*” 2, non si riscontrano particolari criticità per le opere in progetto; il rilevato di approccio all’imbocco della Galleria Miglionico (lato Ferrandina) risulta interessato, al piede, dal passaggio/transito del potenziale flusso detritico caratterizzato, in entrambi gli scenari simulati, da altezze e velocità modeste, dell’ordine rispettivamente di 20-30 cm e di 0.3-0.5 m/s.

In entrambi i casi, cioè di potenziale flusso detritico nei due bacini analizzati, le pile dei viadotti sul Fiume Basento in progetto (VI13) ed esistente (VI01) risultano interessate dalla deposizione di materiale solido/detritico ma con altezze trascurabili, dell’ordine di 10-20 cm sul piano campagna.

In conclusione, le analisi effettuate non suggeriscono la necessità di realizzare particolari interventi di protezione, a difesa delle opere in progetto. L’area dovrà comunque essere sottoposta a monitoraggio ed ispezioni continue al fine di programmare le necessarie attività di manutenzione atte a rimuovere il materiale eventualmente accumulatosi nell’intorno delle opere in progetto e, nello specifico, nell’area interclusa sopra citata.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	RELAZIONE	COMMESSA IASF	LOTTO 01 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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

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

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

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

D’Agostino V., Cerato M., Coali R. (1996). “Il trasporto solido di eventi estremi nei torrenti del trentino Orientale”, *Atti del Convegno Interpraevent 1996, Garmisch-Partenkirchen, Band 1*, pp.377-386.

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*: *Geologica 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.

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.

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

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.

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.