

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

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.

RS3E 50 D 09 RG ID0002 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Varianti
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Cesali 	Dic. 2019	F. Cabas 	Dic. 2019	F. Sparacino 	Dic. 2019	ITALEFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A2078/2019



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RG	ID 00 02 002	A	2 di 31

INDICE

1. PREMESSA	4
2. METODOLOGIA GENERALE.....	5
3. ASSETTO DEI VERSANTI E PROPENSIONE AL DISSESTO	6
4. STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI.....	22
5. VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO	25
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	29
6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	30

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Vulnerabilità a fenomeni di flussi detritici - Flow chart.</i>	5
<i>Figura 2 – Sistemi “bacino-conoide” A20, B04, B06.</i>	7
<i>Figura 3 – Sistemi “bacino-conoide” B13, B13bis, B14, B15, B15bis.</i>	8
<i>Figura 4 – Sistemi “bacino-conoide” B15, B15bis, B16.</i>	9
<i>Figura 5 – Sistemi “bacino-conoide” B18, B19, B19bis, B20, B22.</i>	10
<i>Figura 6 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini A20, B04, B06.</i>	11
<i>Figura 7 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini B13, B13bis, B14, B15, B15bis, B16.</i>	12
<i>Figura 8 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini B18, B19, B19bis, B20, B22.</i>	13
<i>Figura 9 – Area conoide vs area bacino: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.</i>	16
<i>Figura 10 – Area conoide vs area bacino: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.</i>	18
<i>Figura 11 – Pendenza conoide vs indice di Melton: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.</i>	20

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Principali “dissesti” nei sistemi “bacino-conoide” di interesse.</i>	14
<i>Tabella 2 – Valori dei parametri morfometrici dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.</i>	15
<i>Tabella 3 – Valori dei parametri Af e Ab dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.</i>	16
<i>Tabella 4 – Valori dei parametri Sf e Ab dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.</i>	18
<i>Tabella 5 – Valori dell’indice di Melton dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.</i>	20
<i>Tabella 6 – Definizione dei sistemi “bacino – conoide” potenzialmente suscettibili a fenomeni di flussi detritici.</i>	21
<i>Tabella 7 – Formule empiriche per la stima della portata al colmo di un flusso detritico.</i>	23
<i>Tabella 8 – Valori di volume mobilitabile (V) e portata al colmo (Qd) di un potenziale flusso detritico, all’interno dei bacini considerati.</i>	24
<i>Tabella 9 – Valori di pendenza media dell’asta, portata di progetto, diametro d50, angolo di resistenza al taglio,</i>	27
<i>Tabella 10 – Risultati della verifica delle sezioni idrauliche delle opere in progetto.</i>	28

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 4 di 31

1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto Definitivo della Tratta “*Dittaino – Catenanuova*” (Lotto 5) della linea ferroviaria Palermo – Catania.

La tratta ferroviaria in progetto, realizzata in variante di tracciato rispetto alla linea esistente, si sviluppa interamente in affiancamento al Fiume Dittaino. Quest’ultimo viene attraversato tra le pk 11+550 e 11+750 (viadotto VI12).

Inoltre, la linea in progetto attraversa una serie di corsi d’acqua minori, tributari in destra e in sinistra idraulica del F. Dittaino.

L’analisi dell’assetto geomorfologico dei bacini di tali corsi d’acqua ha evidenziato 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 ferroviarie.

Si è proceduto dunque alla valutazione della possibile interferenza del tracciato in progetto 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).

Le analisi sono state condotte in conformità a quanto previsto nell’ambito del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2004) della Regione Siciliana nonché del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A., 2015).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 5 di 31

2. METODOLOGIA GENERALE

L'analisi della vulnerabilità delle opere in progetto a fenomeni di flussi detritici 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



Figura 1 - Vulnerabilità a fenomeni di flussi detritici - Flow chart.

- Sopralluoghi, indagini in sito
- Individuazione dei sistemi “*bacino-conoide*” potenzialmente suscettibili a fenomeni di flussi detritici
- Valutazione dei volumi potenzialmente mobilitabili
- Verifica secondo approcci monodimensionali delle sezioni idrauliche e/o analisi avanzate della propagazione di flussi detritici
- Valutazione dell’interferenza con le opere in progetto e definizione di eventuali interventi di difesa

3. ASSETTO DEI VERSANTI E PROPENSIONE AL DISSESTO

L’analisi dell’assetto geomorfologico dei bacini dei corsi d’acqua minori interferenti con la linea ferroviaria (per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati specialistici RS3E50D78RIID0001001A, RS3E50D78RIID0002001A, RS3E50D09RIID0001002A) mostra che, per alcuni di essi, i dissesti presenti sui versanti possono essere associati a fenomeni caratterizzati da flussi detritici, 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 (o suscettibilità a) 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 nelle mappe di pericolosità geomorfologica del P.A.I., negli elaborati specialistici RS3E50D69L5GE0001001A, RS3E50D69L5GE0001002A, RS3E50D69L5GE0001003A, nonché riscontrate nei sopralluoghi, sono state individuate le zone di intervento in cui è necessario procedere con approfondimenti ed analisi della propensione al dissesto.

In particolare, sono presi in esame 14 sistemi “*bacino-conoide*”, denominati A20, B04, B06, B13, B13bis, B14, B15, B15bis, B16, B18, B19, B19bis, B20, B21, B21bis, B22, così come individuati nelle figure seguenti.

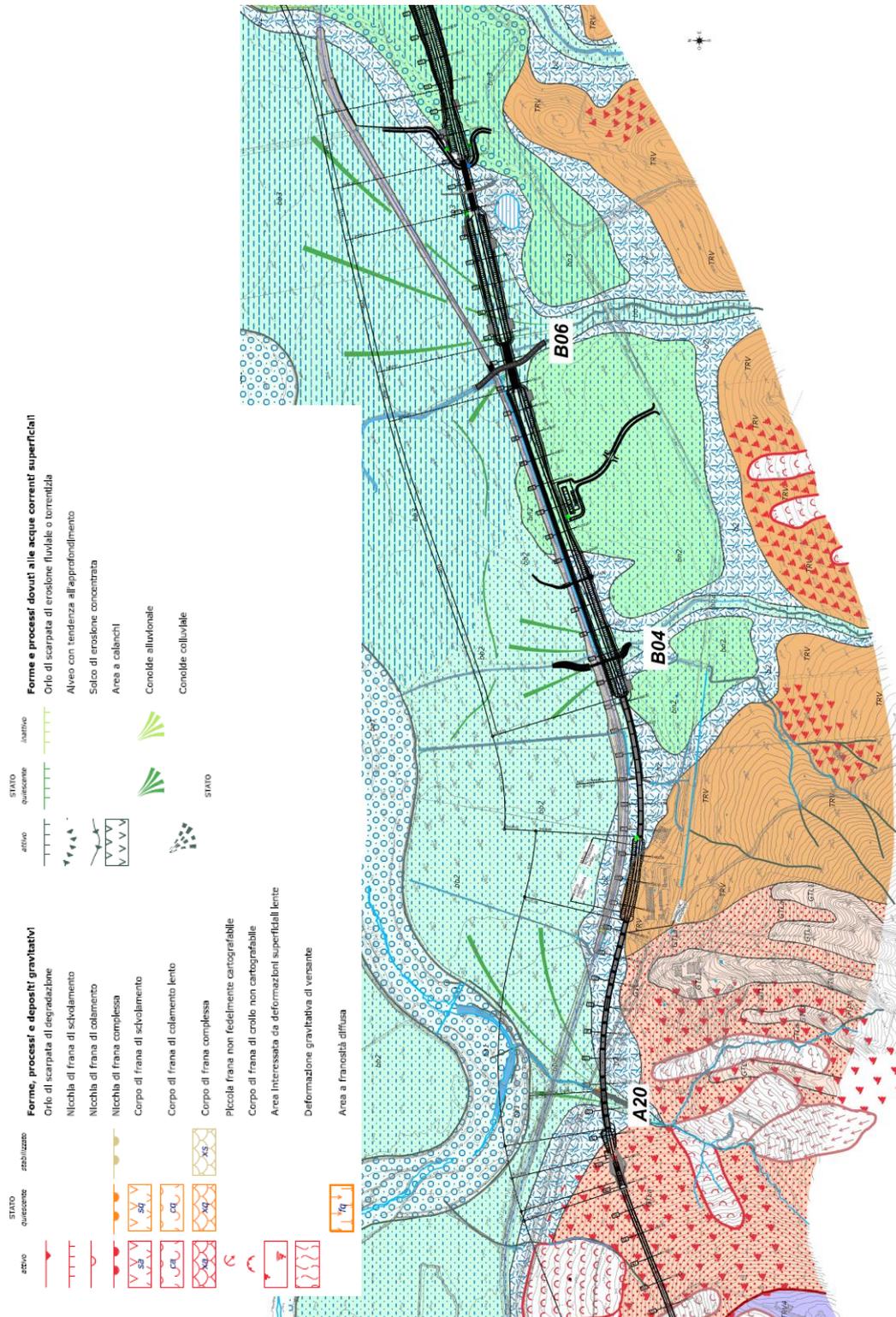


Figura 2 – Sistemi “bacino-conoide” A20, B04, B06.

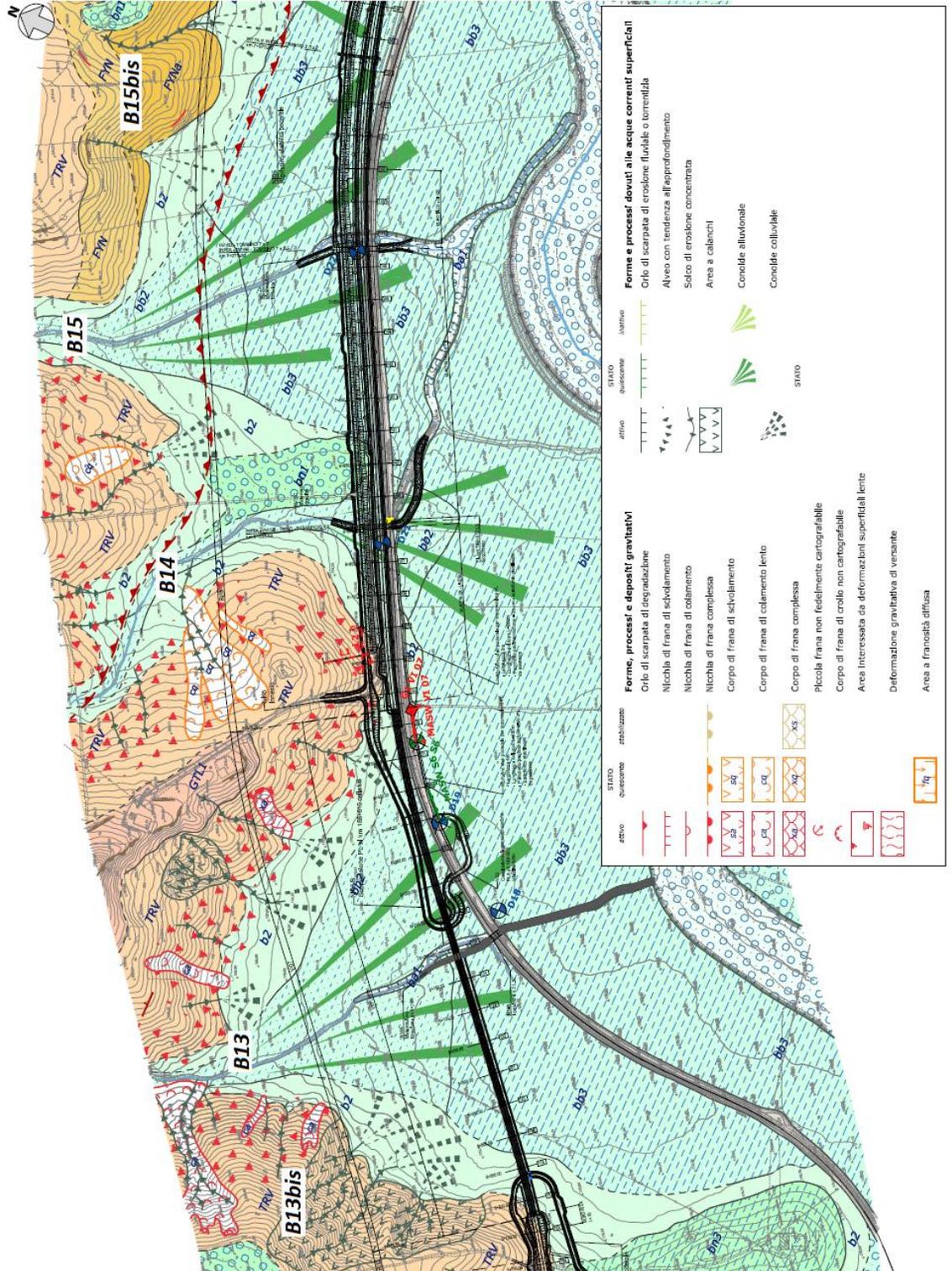


Figura 3 – Sistemi “bacino-conoide” B13, B13bis, B14, B15, B15bis.

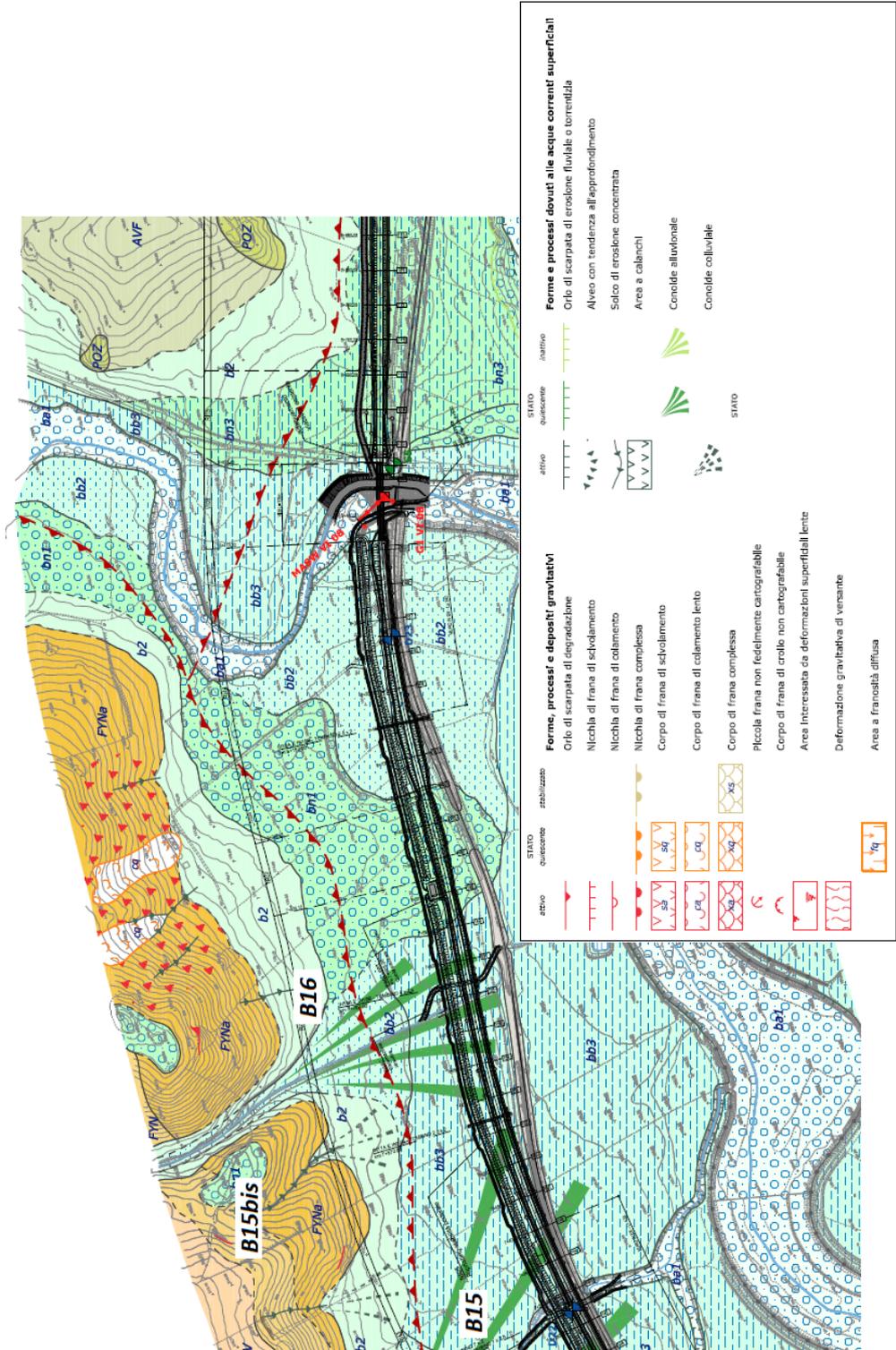


Figura 4 – Sistemi “bacino-conoide” B15, B15bis, B16.

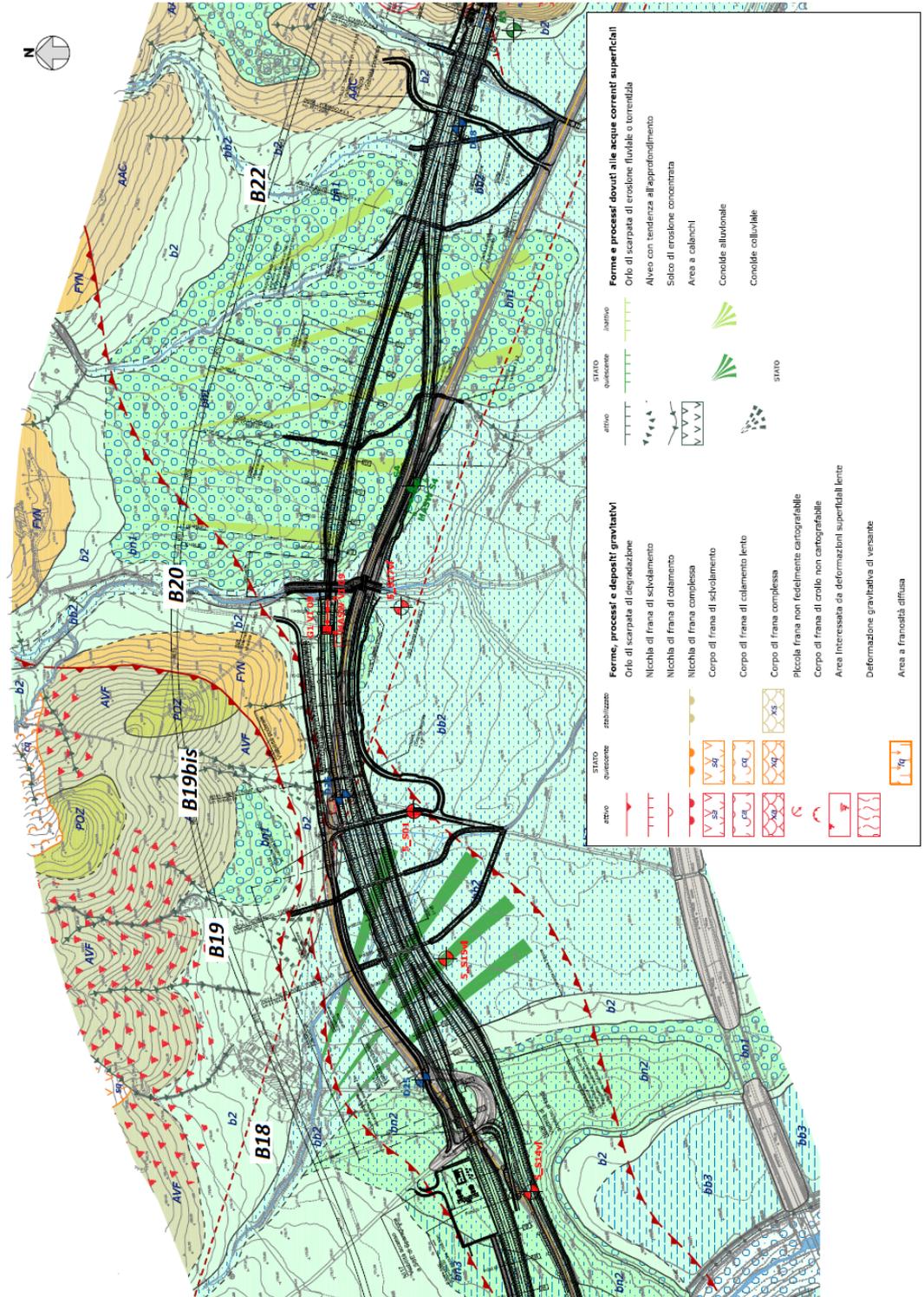


Figura 5 – Sistemi “bacino-conoide” B18, B19, B19bis, B20, B22.

Di seguito, le aree di pericolosità geomorfologica individuate nell’ambito della redazione del P.A.I. all’interno dei bacini in esame.

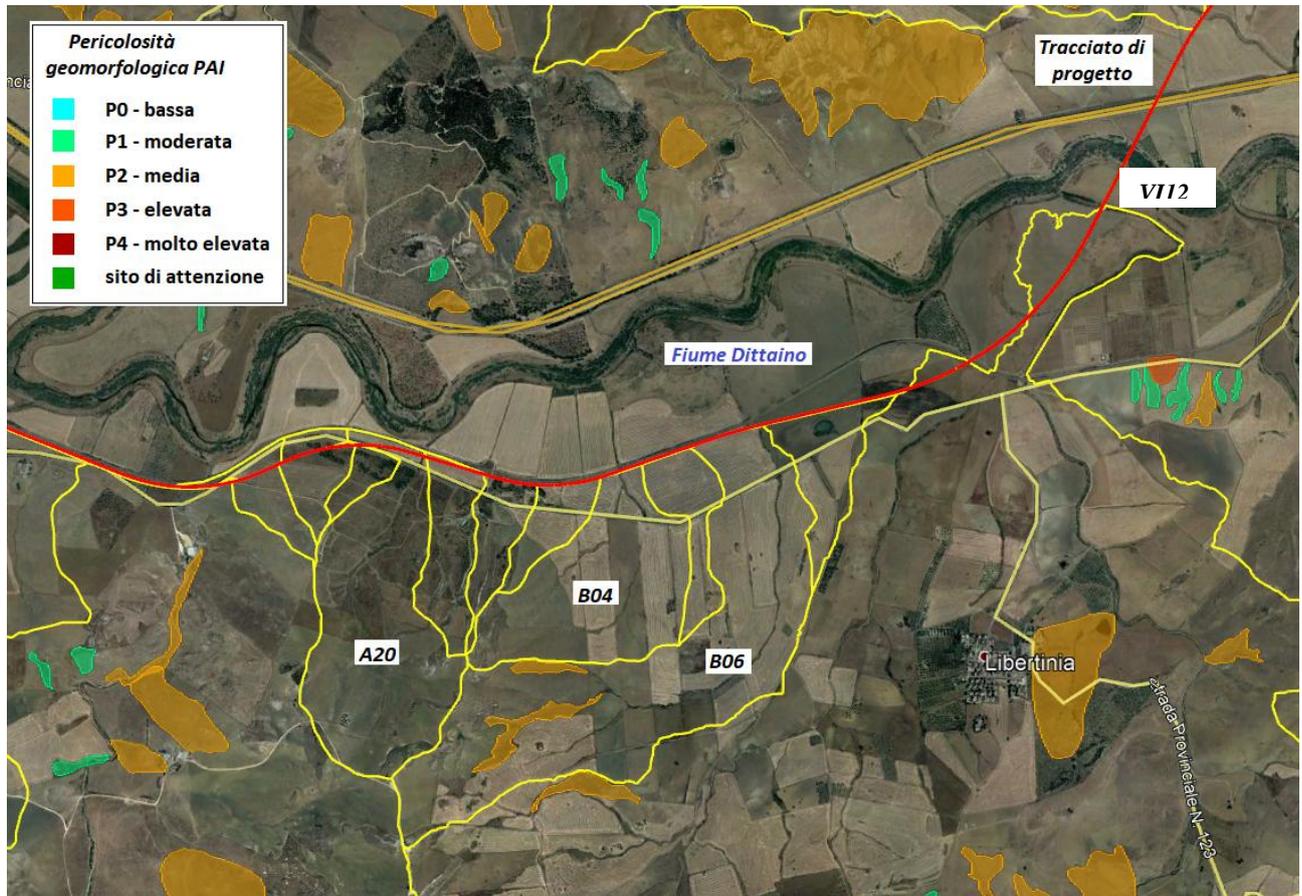


Figura 6 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini A20, B04, B06.

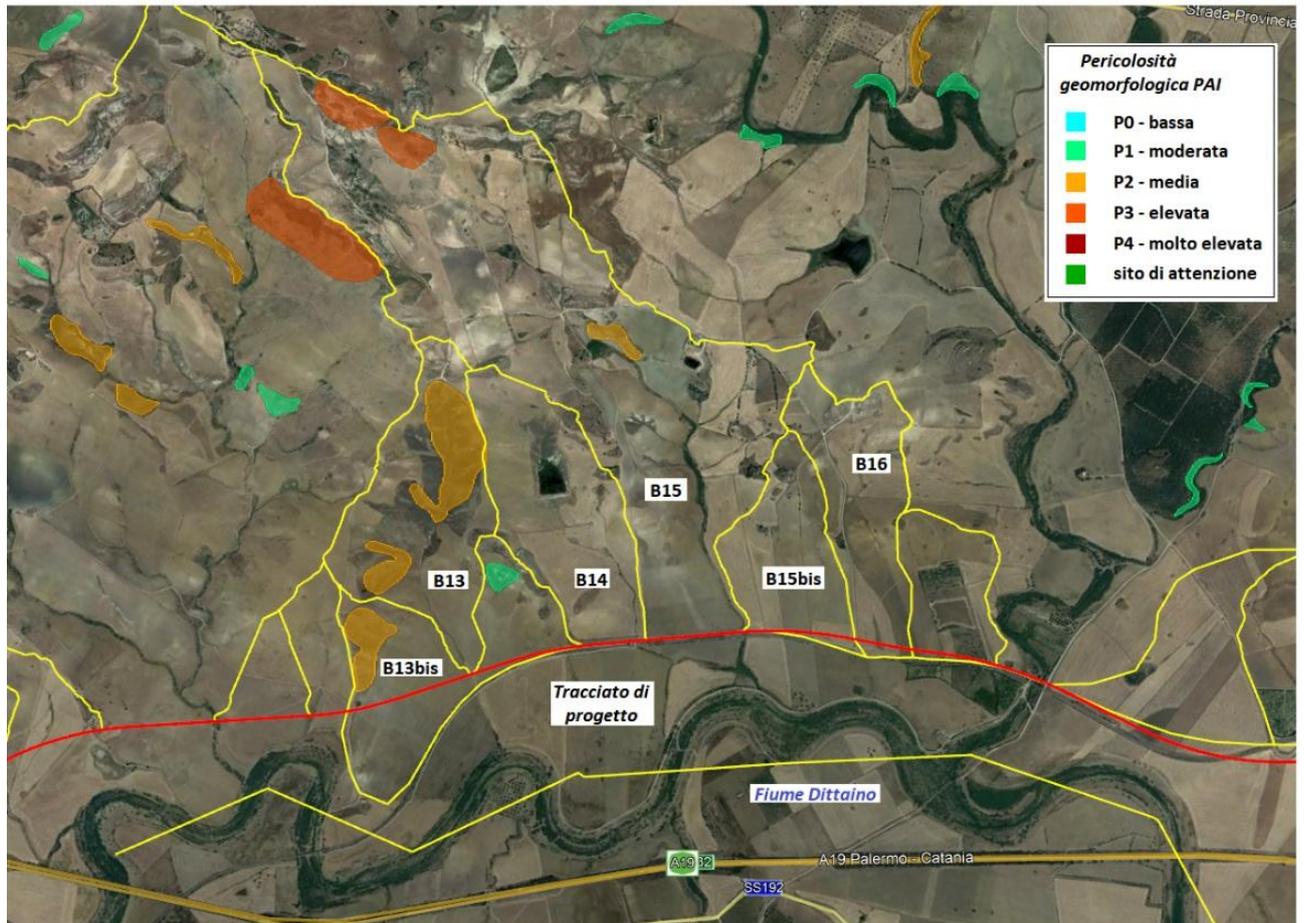


Figura 7 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini B13, B13bis, B14, B15, B15bis, B16.

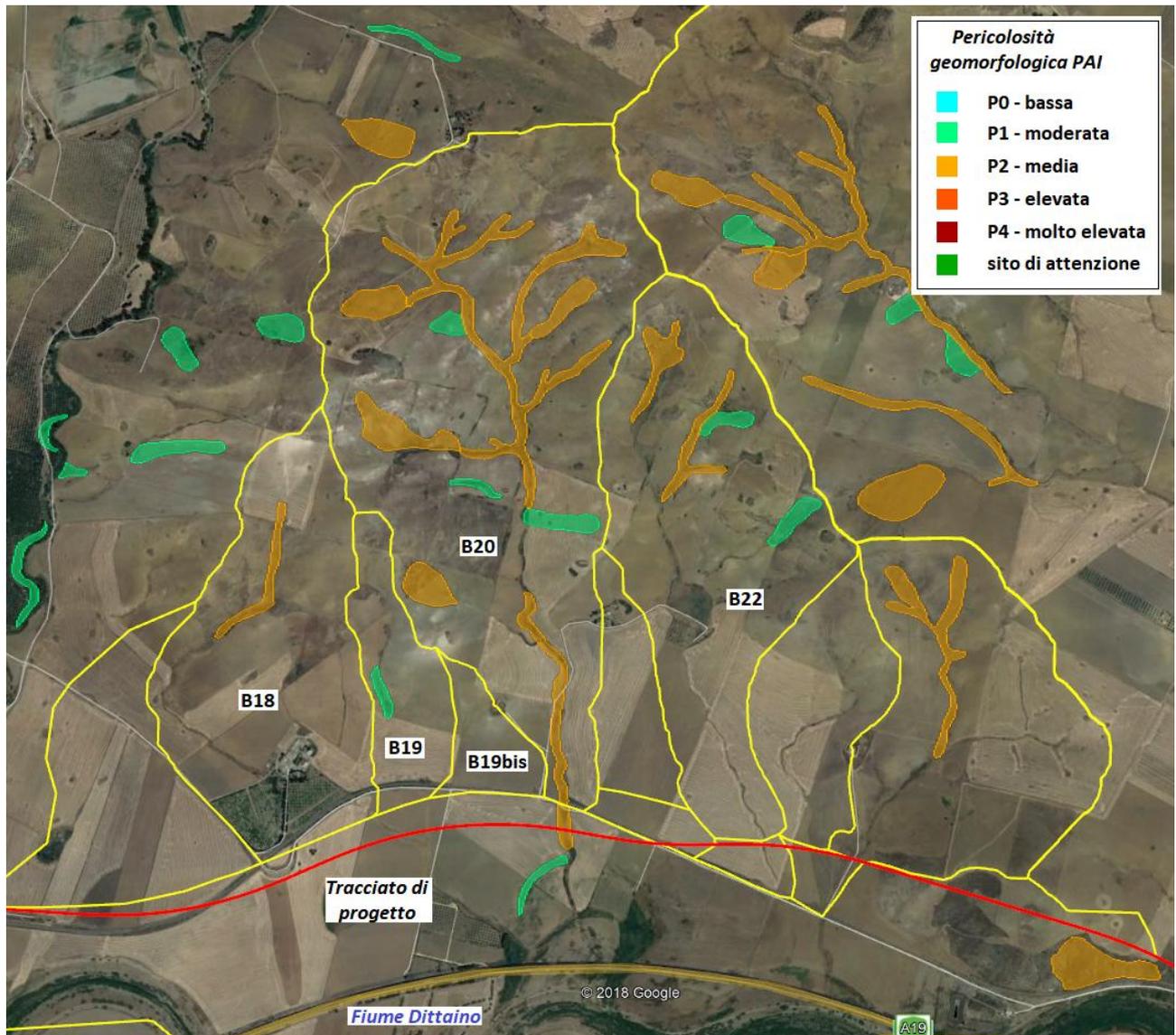


Figura 8 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini B18, B19, B19bis, B20, B22.

Nei sistemi “bacino-conoide” presi in esame ricadono aree a **pericolosità P1 (bassa), P2 (media) e P3 (elevata, soltanto nella parte iniziale del bacino B15).**

Nella tabella seguente sono descritti i principali “dissesti” individuati nei bacini di interesse nell’ambito delle analisi ed attività svolte nel presente progetto (e.g. sopralluoghi, fotointerpretazione,...) e nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2004).

ID Bacino	Dissesti (cartografia Italferr)	Dissesti (cartografia PAI)
A20	si (corpi di frana di colamento e di scivolamento in stato attivo e quiescente)	no
B04	si (aree interessate da deformazioni superficiali lente in stato attivo; corpi di frana di colamento in stato attivo)	no
B06	no	si (aree di erosione diffusa in stato attivo)
B13	si (corpi di frana di colamento in stato attivo)	si (colate lente in stato attivo)
B13 bis	si (corpi di frana complessa e di colamento in stato attivo e quiescente)	si (colate lente in stato attivo)
B14	si (corpi di frana di colamento in stato quiescente)	no
B15	no	si (crollo e calanchi in stato attivo)
B15 bis	no	no
B16	no	no
B18	no	si (aree di erosione diffusa in stato attivo)
B19	si (aree interessate da deformazioni superficiali lente in stato attivo)	si (erosione diffusa in stato attivo)
B19 bis	si (aree interessate da deformazioni superficiali lente in stato attivo)	no
B20	si (corpo di frana di colamento in stato quiescente)	si (piccola colata lenta, aree di erosione e franosità diffusa, soliflussi in stato attivo)
B22	no	si (aree di erosione diffusa e piccole frane complesse in stato attivo)

Tabella 1 – Principali “dissesti” nei sistemi “bacino-conoide” di interesse.

Si è proceduto quindi alla determinazione dei parametri morfometrici (i.e. area del bacino; quota massima H_{max} , quota minima H_{min} , quota media H_{med} , area del conoide, pendenza del conoide, pendenza del canale in conoide) dei sistemi “bacino-conoide” individuati, valutati mediante elaborazioni geostatistiche in ambiente GIS del rilievo Lidar (risoluzione 2x2 m) fornito dalla Regione Siciliana.

Bacino ID	Area Bacino (kmq)	L (km)	H _{max} (m slm)	H _{min} (m slm)	H _{med} (m slm)	Area Conoide (kmq)	Pendenza Conoide (°)	Pendenza canale in conoide (%)
A20	0.625	1.57	413	205	314.6	0.087	5.6	9.8
B04	0.48	1.27	379	206	257.9	0.10256	3.2	5.6
B06	1.05	1.25	439	203	281.5	0.168	2.3	4.0
B13	0.483	3.31	321	171	232	0.207	3.5	6.1
B13bis	0.147	1.16	249	170	188.3	0.026167	7.8	13.7
B14	0.447	1.8	301	172	217.2	0.07682	1.1	1.9
B15	1.72	2.19	403	169	271.3	0.181	1.1	1.9
B15bis	0.279	1.82	226	165	185.5	0.0345	1.5	2.6
B16	0.34	1.42	232	164	202.9	0.07694	2.8	4.9
B18	0.553	0.81	280	160	198.7	0.135	3.2	5.6
B19	0.127	1.57	267	160	195.9	0.0148	3.6	6.3
B19bis	0.098	1.27	201	157	170.5	0.0202	4.4	7.7
B20	1.29	1.25	355	150	232	0.104	2.8	4.9
B22	0.7	3.31	303	143	210.3	0.0838	2.95	5.2

Tabella 2 – Valori dei parametri morfometrici dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.

Lo studio morfometrico 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:

$$A_f = c \cdot A_b^k$$

in cui A_f è l’area del conoide (km²), A_b 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 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 i valori di A_f e A_b relativi ai sistemi *bacino-conoide* in esame. Le coppie di valori A_f e A_b sono riportati anche in tabella.

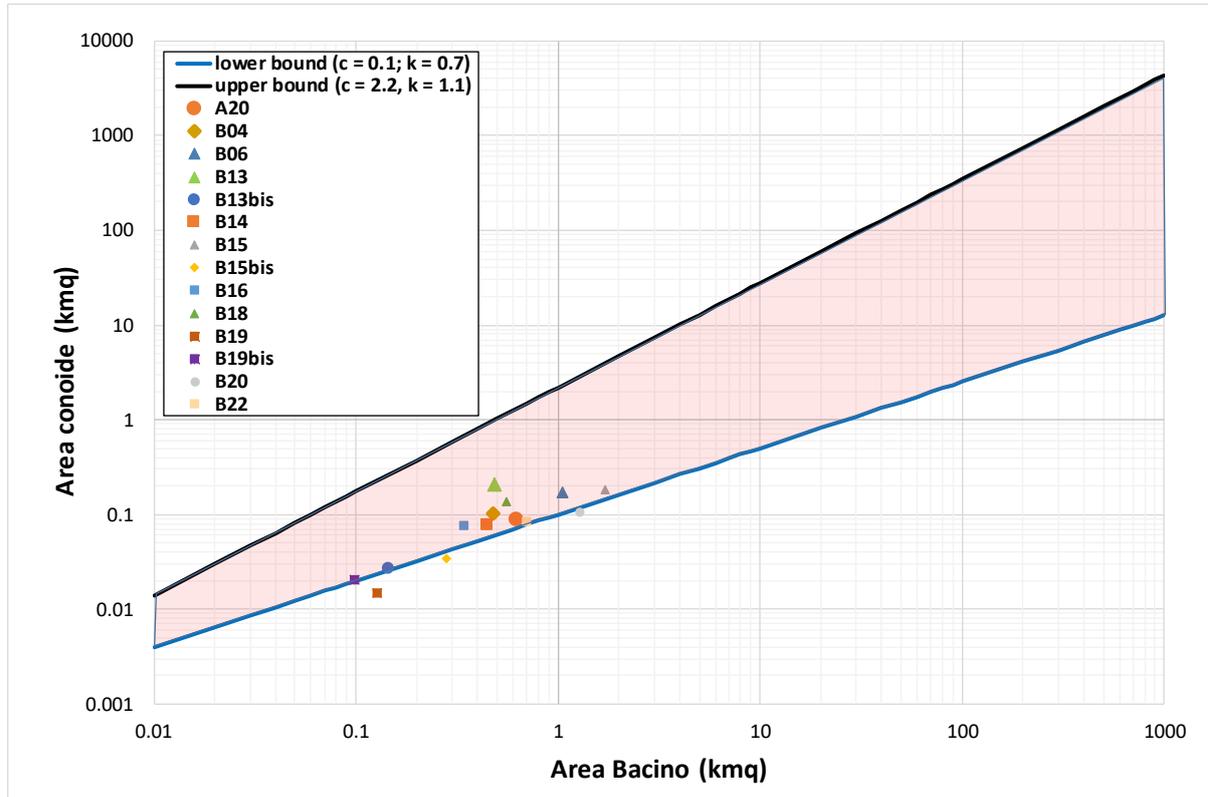


Figura 9 – Area conoide vs area bacino: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.

Sistema bacino - conoide	Area conoide (kmq)	Area Bacino (kmq)
A20	0.087	0.625
B04	0.10256	0.48
B06	0.168	1.05
B13	0.207	0.483
B13bis	0.026167	0.147
B14	0.07682	0.447
B15	0.181	1.72
B15bis	0.0345	0.279
B16	0.07694	0.34
B18	0.135	0.553
B19	0.0148	0.127
B19bis	0.0202	0.098
B20	0.104	1.29
B22	0.0838	0.7

Tabella 3 – Valori dei parametri A_f e A_b dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 17 di 31

Nello specifico, i valori A_f e A_b relativi ai bacini B19, B15bis, B20 ricadono all'esterno del campo di valori caratteristici individuato; quelli relativi ai bacini B19bis, B13bis, B22 ricadono invece sul “*lower bound*”; quelli relativi ai rimanenti bacini indagati ricadono invece all'interno del campo di valori tipici di sistemi *bacino-conoide* interessati da fenomeni di flussi detritici.

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 ad 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:

$$S_f = a \cdot A_b^m$$

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.

Riportando su tale grafico i valori di S_f e A_b relativi ai sistemi *bacino-conoide* indagati si osserva che i punti corrispondenti ai bacini B14, B15, B15bis, ricadono all'esterno del campo di valori caratteristici; quello corrispondente al bacino B19, sul “*lower bound*”, quelli relativi ai rimanenti bacini all'interno del campo di valori caratteristici.

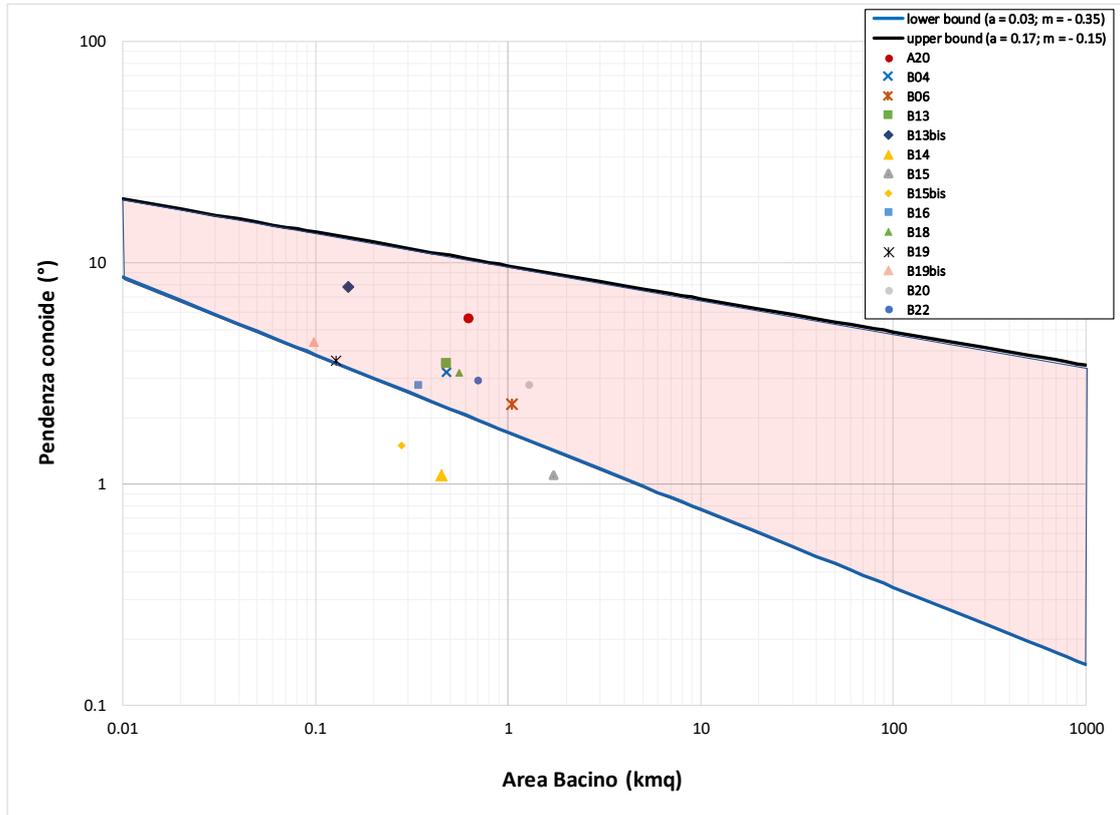


Figura 10 – Area conoide vs area bacino: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.

Sistema bacino - conoide	Pendenza conoide (°)	Area Bacino (kmq)
A20	5.60	0.625
B04	3.20	0.48
B06	2.30	1.05
B13	3.50	0.483
B13bis	7.80	0.147
B14	1.10	0.447
B15	1.10	1.72
B15bis	1.50	0.279
B16	2.80	0.34
B18	3.20	0.553
B19	3.60	0.127
B19bis	4.40	0.098
B20	2.80	1.29
B22	2.95	0.7

Tabella 4 – Valori dei parametri S_{fe} A_b dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 19 di 31

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

$$R = Ab^{-0,5} \cdot (Q_{b,max} - Q_{b,min})$$

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:

$$S = q \cdot R^n$$

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.

Si consideri l'abaco proposto da DeScally&Owens (2004), elaborato sulla base dell'analisi di un numeroso dataset relativo a conoidi alluvionali e/o legati a fenomeni di flussi detritici (*debris flows*).

In particolare sono evidenziati diversi settori, di cui il primo, caratterizzato da pendenze medie del conoide minori di 7.5° e valori dell'indice di Melton minori di 0.75, è costituito solo da sistemi con trasporto prevalente da "*fluvial flows*"; il secondo presenta invece un trasporto da "*debris flows*" con valori della pendenza del conoide maggiori di 7.5° e dell'indice di Melton maggiori di 0.75.

Per pendenze inferiori a 7.5° e indici di Melton maggiori di 0,75 si rinviene una zona di coesistenza delle due tipologie ("*fluvial and debris flows*"), all'interno del quale risulta abbastanza incerta la definizione del tipo di trasporto.

I valori dell'indice di Melton (R) dei sistemi "*bacino-conoide*" in esame sono riportati nella tabella seguente.

Collocando i valori di R e Sf sull'abaco di DeScally&Owens (2004), tutti i punti corrispondenti ai bacini in esame ricadono nel settore dei "*fluvial flows*", ossia di scarsa suscettibilità a fenomeni di flussi detritici o *debris flows*.

Bacino ID	Indice di Melton
A20	0.26310
B04	0.24970
B06	0.23031
B13	0.21583
B13bis	0.20605
B14	0.19295
B15	0.17842
B15bis	0.11549
B16	0.11662
B18	0.16137
B19	0.30025
B19bis	0.14055
B20	0.18049
B22	0.19124

Tabella 5 – Valori dell’indice di Melton dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.

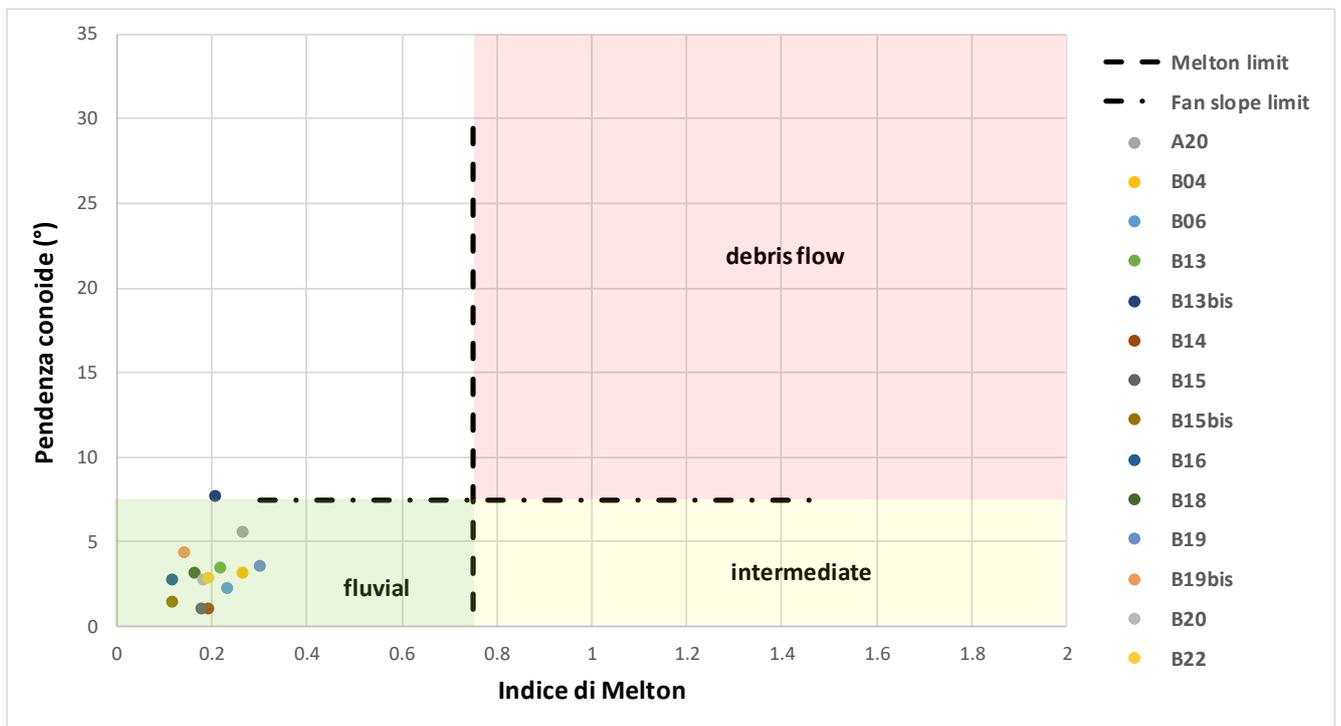


Figura 11 – Pendenza conoide vs indice di Melton: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.

Ai fini della definizione dei sistemi “*bacino-conoide*” potenzialmente suscettibili a fenomeni di flussi detritici e “*critici*” per l’infrastruttura ferroviaria in progetto, si è proceduto all’analisi “*incrociata*” delle informazioni e delle considerazioni sopra esposte. Nello specifico, considerando anche le opere di attraversamento previste in corrispondenza di tali bacini, è stata costruita la seguente matrice (“X” = sì; “-“ = no):

ID Bacino	1)Dissesti “corpi di frana di colamento/scivolamento in stato attivo/quiescente o colate” (cartografia ITF)	2)Dissesti “corpi di frana di colamento/scivolamento in stato attivo/quiescente o colate” (cartografia PAI)	3)Potenziale suscettibilità (Afvs Ab)	4)Potenziale suscettibilità (Sfvs Ab)	5)Potenziale suscettibilità (Sf vs Melton)	Opera di attraversamento prevista in progetto	VERIFICA SI/NO
A20	X	-	X	X	-	viadotto VI08	SI
B04	X	-	X	X	-	tombino 3x3m	SI
B06	-	-	X	X	-	viadotto VI10	NO
B13	X	X	X	X	-	viadotto VI15	SI
B13 bis	X	X	-	X	-	viadotto VI15	SI
B14	X	-	X	-	-	tombino 5x2m	SI
B15	-	X	X	-	-	tombino 7x2.5m	SI
B15 bis	-	-	-	-	-	tombino 2.5x2m	NO
B16	-	-	X	X	-	tombino 4x2.5m	SI
B18	-	X	X	X	-	tombino 4x3m	SI
B19	-	-	-	-	-	tombino 3x2m	NO
B19 bis	-	-	-	X	-	tombino 2x2m	NO
B20	X	X	-	X	-	viadotto VI17	SI
B22	-	X	-	X	-	tombino 5x3m	SI

Tabella 6 – Definizione dei sistemi “*bacino – conoide*” potenzialmente suscettibili a fenomeni di flussi detritici.

La scelta di svolgere ulteriori verifiche e approfondimenti (“VERIFICA SI/NO”) su alcuni dei bacini considerati è stata effettuata sulla base dei seguente criteri:

- “*VERIFICA SP*” se il simbolo “X” ricade in almeno 3 delle voci 1), 2), 3), 4), 5), indipendentemente dall’opera prevista
- “*VERIFICA SP*” se il simbolo “X” ricade in almeno 2 delle voci 1), 2), 3), 4), 5), in presenza di un tombino idraulico
- “*VERIFICA SP*”, in ogni caso, se il simbolo “X” ricade nella voce 2), cioè evidenze di dissesti riportate nelle mappe del P.A.I.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 22 di 31

In definitiva, in ragione delle valutazioni sopra illustrate, si ritiene che i sistemi *bacino-conoide* A20, B04, B13, B13bis, B14, B15, B16, B18, B20, B22 possano essere caratterizzati da meccanismi di trasporto di materiale detritico proveniente da *movimenti di versante*.

Pertanto, per tali bacini si è proceduto all'analisi dei volumi solidi potenzialmente mobilitabili e delle relative portate solido-liquide, nonché alla verifica delle opere previste in progetto.

4. STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI

In assenza di evidenze pregresse di fenomeni di flussi detritici, per i sistemi “*bacino-conoide*” suscettibili a fenomeni di “*debris flows*”, il volume di materiale potenzialmente mobilitabile può essere stimato 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 capitolo.

Per bacini di modesta estensione (come quelli in esame), è possibile ricorrere alle relazioni proposte da Marchi e Tecca (1996), da Bottino et al. (1996) e da Ceriani et al. (2000).

- **Marchi e Tecca (1996)**

$$V = 70000 \cdot A$$

con A = superficie del bacino in km^2 , valida per bacini con $0.1 < A < 20 \text{ km}^2$

- **Bottino et al. (1996)**

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

valida per bacini con $A < 0.40 \text{ km}^2$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 23 di 31

- **Ceriani et al. (2000)**

$$V = k(A_b)^a (M^b) (Scl)^c (IF)^{-d}$$

con V in metri cubi; $k = 3$ per debris flood (flussi iperconcentrati) o $k = 5.4$ per flussi detritici (nel caso in esame è stato adottato $k = 5.4$); A_b = area del bacino in km^2 ; a, b, c, d = costanti ricavate da analisi statistiche ($a = 1, b = 0.8, c = 1, d = 2$); M = numero di Melton; Scl = pendenza media (%) del canale in conoide; IF = indice di frana (pari a 1 se sono presenti frane rilevanti che interagiscono con il reticolato idrografico, 2 se sono presenti frane manon in collegamento diretto con il reticolo idrografico e 3 se non sono presenti frane significative nel bacino)

Determinato il volume complessivo (solido + liquido) del “potenziale” flusso detritico, si procede con il calcolo della portata di picco della colata ricorrendo, anche in questo caso, a formule di natura empirica in funzione di un’unica variabile (nota), cioè il volume totale dell’evento (V). Alcune di queste, le più comunemente utilizzate, sono riportate nella tabella seguente.

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 7 – Formule empiriche per la stima della portata al colmo di un flusso detritico.

Nello specifico, i volumi (V) sono stati quantificati mediante due formulazioni, le più cautelative tra quelle precedentemente introdotte (in relazione anche all’estensione del bacino); le portate al colmo (Q_d) del corrispondente flusso detritico sono state valutate tramite la relazione proposta da Mizuyama et al. (1992), anche questa più cautelativa rispetto alle altre formulazioni considerate.

Di seguito, i valori di V e Q_d , per i bacini presi in esame.

Bacino	Formulazioni	Volume (mc)	Q_d (mc/s)
A20	<i>Marchi & Tecca 1996; Mizuyama et al. 1992</i>	43750	87.2
	<i>Ceriani et al. 2000; Mizuyama et al. 1993</i>	70195	126.7
B04	<i>Marchi & Tecca 1996; Mizuyama et al. 1992</i>	33600	70.8
	<i>Ceriani et al. 2000; Mizuyama et al. 1993</i>	53065	101.6
B13	<i>Marchi & Tecca 1996, Mizuyama et al. 1992</i>	33810	71.14
	<i>Ceriani et al. 2000, Mizuyama et al. 1993</i>	116967	189.6
B13bis	<i>Marchi & Tecca 1996, Mizuyama et al. 1992</i>	12417	32.2
	<i>Bottino et al. 1996, Mizuyama et al. 1993</i>	156782	239.1
B14	<i>Marchi & Tecca 1996, Mizuyama et al. 1992</i>	31290	67
	<i>Ceriani et al. 2000, Mizuyama et al. 1993</i>	124272	198.94
B15	<i>Marchi & Tecca 1996, Mizuyama et al. 1992</i>	120400	194
	<i>Ceriani et al. 2000, Mizuyama et al. 1993</i>	112291	183.6
B16	<i>Marchi & Tecca 1996, Mizuyama et al. 1992</i>	23800	53.91
	<i>Ceriani et al. 2000, Mizuyama et al. 1993</i>	40236	81.6
B18	<i>Marchi & Tecca 1996, Mizuyama et al. 1992</i>	38710	79.2
	<i>Ceriani et al. 2000, Mizuyama et al. 1993</i>	97005	163.6
B20	<i>Marchi & Tecca 1996, Mizuyama et al. 1992</i>	90300	154.6
	<i>Ceriani et al. 2000, Mizuyama et al. 1993</i>	384901	485.9
B22	<i>Marchi & Tecca 1996, Mizuyama et al. 1992</i>	49000	95.37
	<i>Ceriani et al. 2000, Mizuyama et al. 1993</i>	57622.1	108.4

Tabella 8 – Valori di volume mobilitabile (V) e portata al colmo (Q_d) di un potenziale flusso detritico, all'interno dei bacini considerati.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 25 di 31

5. VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Determinati i volumi potenzialmente mobilitabili e le relative portate al colmo del flusso detritico si è proceduto alla verifica delle sezioni idrauliche delle opere in progetto, in corrispondenza dei bacini indagati, con un approccio di tipo monodimensionale (moto uniforme).

Nel caso dei corsi d'acqua potenzialmente soggetti a flussi detritici, fenomeni complessi descritti da parametri di difficile valutazione sperimentale e spesso carenti di misure dirette, per la valutazione della portata al colmo della colata detritica è possibile ricorrere al modello messo a punto da Armanini (1999), che permette di ricavare il rapporto tra la portata della colata e la portata liquida in arrivo; nota la concentrazione media del miscuglio in condizioni dinamiche e la portata liquida al colmo, attraverso la seguente relazione, è possibile ricavare la portata di picco della colata detritica:

$$Q_d = Q_l \frac{C_{max}}{C_{max} - C}$$

con Q_d = portata del flusso detritico; Q_l = portata “liquida” di progetto; C_{max} = concentrazione volumetrica di massimo impaccamento (= 0.65); C = concentrazione del flusso detritico.

Per la descrizione quantitativa del moto monodimensionale del flusso detritico ci si è avvalsi delle equazioni proposte da Takahashi (1991); esse permettono una modellizzazione del moto di correnti non-newtoniane attraverso l'utilizzo del modello reologico dilatante di Bagnold, che presenta il non trascurabile vantaggio di dipendere da parametri fisici non eccessivamente complessi da determinare (concentrazione, granulometria e densità della frazione solida).

Dalle espressioni ricavate da Bagnold, è possibile, nell'ipotesi di concentrazione del solido costante lungo la profondità della colata detritica e imponendo la condizione che la velocità della corrente sia nulla a fondo alveo, ottenere la distribuzione della velocità all'interno della corrente detritica.

In particolare, è possibile utilizzare la seguente curva reologica valida in regime granulo inerziale proposta da Bagnold sulla base di misure sperimentali:

$$\tau_{max} = a \cdot \text{sen}(\varphi) \rho_s \lambda^2 d_{50}^2 \left(\frac{dv}{dz} \right)^2$$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 26 di 31

con τ_{max} = tensione tangenziale massima alla base, a = parametro di Bagnold pari a 0.042 per i tratti a fondo rigido pavimentato e non erodibile, 0.24 per i tratti a fondo naturale e quindi potenzialmente erodibili (come nel caso in esame) e di 0.12 per le porzioni con fondo alveo dato da massi da disalveo intasati in cls; ρ_s = densità della fase solida (26-27 kN/m³); d_{50} = diametro corrispondente al 50% di passante in peso; dv/dz = gradiente di velocità; λ = concentrazione lineare definita come

$$\lambda = \frac{1}{\left[\left(\frac{c_{max}}{c} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]}$$

Tale relazione considera che il contributo agli sforzi tangenziali sia essenzialmente dovuto agli urti tra i granuli, ritenendo quindi trascurabile la deformazione del fluido interstiziale a causa della irrilevante quantità di materiale coesivo in sospensione nella corrente, ipotesi confermabili per i corsi d'acqua in esame dall'osservazione della granulometria dei depositi.

Tale espressione, successivamente ripresa da Takahashi, viene applicata alle colate detritiche ipotizzando che il moto della colata approssimi condizioni di moto uniforme, schematizzazione di fatto ammissibile sulla base delle osservazioni delle forme dei fronti e dei corpi delle colate detritiche.

In condizioni di moto uniforme gli sforzi tangenziali (calcolati secondo il modello di Bagnold) sono bilanciati dalla componente longitudinale della forza peso; da tale uguaglianza si ricava il gradiente di velocità dv/dz ; la sua integrazione lungo z (alla condizione $v=0$ per $z=0$) consente di ricavare v che successivamente integrata lungo la normale al fondo,

$$v = \frac{2h}{5\lambda d_{50}} \left[\frac{\rho(C\Delta + 1)gh \operatorname{sen}\theta}{\rho_s a \operatorname{sen}\varphi} \right]^{1/2}$$

Detta q (m³/s/m) la portata lineare del *debris flow*, si ha:

$$q = \frac{Q_d}{L_c} = \frac{2h^2}{5\lambda d_{50}} \left[\frac{\rho(C\Delta + 1)gh \operatorname{sen}\theta}{\rho_s a \operatorname{sen}\varphi} \right]^{1/2}$$

con L_c = larghezza della luce di passaggio; h = altezza del flusso detritico; ρ = densità della fase liquida; φ = angolo di resistenza al taglio; θ = pendenza media dell'asta; $\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$; g = accelerazione di gravità.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 27 di 31

Pertanto, nota la portata del flusso detritico e la larghezza delle sezioni, è possibile ricavare la profondità del flusso detritico h :

$$h = q \cdot \frac{5}{2} \lambda d_{50} \left[\frac{\rho(C\Delta + 1)gh \operatorname{sen}\theta}{\rho_s a \operatorname{sen}\varphi} \right]^{-1/3}$$

Con riferimento al caso in esame, il diametro d_{50} relativo ad ogni bacino è stato dedotto dalle curve granulometriche del materiale prelevato in alveo durante apposite campagne di indagini e sopralluoghi. L'angolo di resistenza al taglio di tali materiali è stato ricavato dai risultati di specifiche prove di laboratorio (prove di taglio diretto e/o triassiale CD) condotte su campioni prelevati durante di sondaggi effettuati.

La concentrazione C del miscuglio solido-liquido è stata determinata sulla base delle portate al colmo del flusso detritico, precedentemente valutate, e della portate liquide di progetto (con tempo di ritorno di 200 anni) ricavate nello studio idrologico annesso (rif. RS3E50D78RIID0001001A).

Nella tabella seguente, sono riportati, per ogni bacino analizzato, i dati necessari per l'applicazione della metodologia sopra descritta.

Bacino ID	Pendenza asta (m/m)	Q progetto (mc/s)	ID Prelievo in alveo	d50 (mm) da prelievi in alveo	ID Sondaggio	Angolo di resistenza al taglio (°)
A20	0.14	12.33	PR10	2	5_S3_VI	27.5
B04	0.14	10.13	PR10_TER	2.4	5_S8_VI	20.6
B14	0.12	8.62	PR17-PR18	0.5	D21	28.5
B15	0.08	14.33	PR18	0.5	D22	15.8
B16	0.07	6.53	PR18	0.5	D23	29.9
B18	0.08	9.54	PR20	0.3	D25	31.7
B20	0.09	18.50	PR20_BIS	3	5_S17_VI	18.8
B22	0.09	11.46	PR20	3	D28	20.9
B13	0.12	9	PR17	0.1	D19	24.6
B13bis	0.11	10	PR17	0.1	D18	16

Tabella 9 – Valori di pendenza media dell'asta, portata di progetto, diametro d_{50} , angolo di resistenza al taglio, relativi ai bacini considerati.

Di seguito, i risultati in termini di altezza del flusso detritico (per i valori di volume e portata al colmo valutati in precedenza con differenti formulazioni), confrontati con le dimensioni delle opere previste in progetto.

Bacino ID	Opera	Larghezza opera (m)	Altezza opera, H (m)	Volume (mc) – Portata al colmo (mc/s)	Altezza del flusso detritico, h (m)	VERIFICA (H > h)
A20	Viadotto VI08	25	6.50	43750 mc – 87.20 mc/s (C = 0.56)	0.2	OK
				70195 mc – 126.7 mc/s (C = 0.586)	0.4	OK
B04	Tombino 3x3 m	3	3	33600 mc – 70.8 mc/s (C = 0.556)	1.2	OK
				53065 mc – 101.6 mc/s (C = 0.585)	2.5	OK
B14	Tombino 5x2 m	5	2	31290 mc – 67.0 mc/s (C = 0.57)	0.2	OK
				124272 mc – 198.9 mc/s (C = 0.62)	1.6	OK
B15	Tombino 7x2.5 m	7	2.5	120400 mc – 194.0 mc/s (C = 0.60)	0.7	OK
				112291 mc – 183.6 mc/s (C = 0.56)	0.6	OK
B16	Tombino 4x2.5 m	4	2.5	23800 mc – 53.9 mc/s (C = 0.57)	0.25	OK
				40236 mc – 81.6 mc/s (C = 0.60)	0.7	OK
B18	Tombino 4x3 m	4	3	38710 mc – 79.2 mc/s (C = 0.57)	0.2	OK
				97005 mc – 163.6 mc/s (C = 0.61)	1.1	OK
B20	Viadotto VI17	35	7	90300 mc – 154.6 mc/s (C = 0.57)	0.5	OK
				384901 mc – 485.9 mc/s (C = 0.63)	3.96	OK
B22	Tombino 5x3 m	5	3	49000 mc – 95.37 mc/s (C = 0.57)	1.7	OK
				57622 mc – 108.4 mc/s (C = 0.58)	2.2	OK
B13	Viadotto VI15	20	10	33810 mc – 71.4 mc/s (C = 0.57)	0.1	OK
				116967 mc – 189.6 mc/s (C = 0.62)	0.2	OK
B13bis	Viadotto VI15	20	10	12417 mc – 32.2 mc/s (C = 0.45)	0.05	OK
				156782 mc – 239.1 mc/s (C = 0.62)	0.15	OK

Tabella 10 – Risultati della verifica delle sezioni idrauliche delle opere in progetto.

Come si evince dalla tabella precedente, la verifica delle sezioni idrauliche delle opere in progetto risulta soddisfatta per ogni bacino esaminato.

Tuttavia, un adeguato piano di manutenzione per la rimozione del materiale depositato/accumulato in corrispondenza di tali opere dovrà essere predisposto al fine di garantirne la completa funzionalità durante ogni evento (in particolare, per i bacini B04, B14, B20, B22).

Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato RS3E50D09RGID0002001A.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 29 di 31

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base di analisi morfometriche speditive, sopralluoghi, indagini in sito e consultazione dei Piani di Assetto Idrogeologici attualmente in vigore, sono stati individuati i sistemi “*bacino-conoide*”, interferenti con la linea ferroviaria in progetto, potenzialmente suscettibili a fenomeni di flussi detritici.

Si è proceduto quindi dapprima alla determinazione dei volumi potenzialmente mobilitabili dai versanti e delle relative portate al colmo, e successivamente alla verifica delle sezioni idrauliche delle opere in progetto, ricadenti nei bacini esaminati.

Si precisa che le analisi svolte sono estremamente cautelative, viste le ipotesi alla base della metodologia applicata; nello specifico:

- si assume che si verifichino le condizioni favorevoli all’innesco di un flusso detritico (la fase di innesco non è studiata in dettaglio)
- si assume che il flusso detritico si propaghi fino all’opera in progetto

In realtà, l’innesco di un flusso detritico dipende da numerosi fattori; in particolare, per l’innesco di un flusso detritico sono necessarie tre condizioni: 1) presenza di materiale detritico prontamente mobilizzabile; 2) acclività dell’incisione adeguata; 3) apporto di una quantità sufficiente di acqua per mobilizzare il materiale.

Per quanto riguarda la propagazione verso valle, la cinematica di un flusso detritico è fortemente influenzata dalla concentrazione solida, da possibili fenomeni di erosione/deposizione, dalle caratteristiche del percorso (i.e. curve, contropendenze,...), per cui potrebbe arrestarsi prima di giungere all’opera in progetto.

Tuttavia, anche nelle condizioni cautelative considerate, le opere in progetto risultano verificate, ossia non ostacolano il moto o il passaggio di eventuali flussi detritici.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 30 di 31

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., Gropelli 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.

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.

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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 31 di 31

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.

Regione Sicilia (2005) – *Piano stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana* Assessorato Territorio e Ambiente, Dipartimento Territorio e Ambiente.

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

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

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

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

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

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

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