

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA

Idraulica

Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura ai flussi detritici - Relazione

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 09 RG ID0002 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Apr-2020	A.Cappelli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoll - Edin	Mag-2021	A.Cappelli	Mag-2021	A.Barreca	Mag-2021	

File: RS3T.3.0.D.09.RG.ID.00.0.2.002.B

n. Elab.: 09_577

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</p> <p>IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA</p>												
<p>Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3T</td> <td>30 D 09</td> <td>RG</td> <td>ID0002 002</td> <td>B</td> <td>1 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3T	30 D 09	RG	ID0002 002	B	1 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3T	30 D 09	RG	ID0002 002	B	1 di 31								

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. METODOLOGIA GENERALE.....	4
3. ASSETTO DEI VERSANTI E PROPENSIONE AL DISSESTO	6
4. STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI.....	19
5. VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO.....	19
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	29
7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	30

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
	Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Corografia dell’area di studio con individuazione della tratta ferroviaria in progetto (rosso).....	4
Figura 2 - Vulnerabilità a fenomeni di flussi detritici - Flow chart.....	5
Figura 3 – Sistemi bacino-conoide 1 e 2, individuati tra la pk 1+100 e la pk 7+500.....	7
Figura 4 – Sistema bacino-conoide 3, individuato alla pk 18+900.	8
Figura 5 – Sistemi bacino-conoide 4, 5, 6, 7 e 8, individuati tra la pk 25+100 e la pk 27+600.....	9
Figura 6 – Sistemi bacino-conoide 9 e 10, individuati tra la pk 35+170 e la pk 37+500.....	10
Figura 7 – Sistemi bacino-conoide 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17, individuati tra la pk 39+200 e la pk 43+900.	11
Figura 8 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacini 1 e 2.....	12
Figura 9 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacino 3, non interessato da perimetrazioni PAI.	12
Figura 10 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacini 4, 5, 6, 7 e 8; i bacini 4, 5 e 6 non sono interessati da perimetrazioni PAI.	13
Figura 11 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacini 9 e 10; il bacino 10 non è interessato da perimetrazioni PAI.	14
Figura 12 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacini 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17; i bacini 11, 14, 16 e 17 non sono interessati da perimetrazioni PAI.....	15
Figura 13 – Pendenza conoide vs indice di Melton.....	19

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Principali dissesti e valori dei parametri morfometrici dei sistemi bacino-conoide di interesse.	16
Tabella 2 – Valori dell’indice di Melton e le rispettive pendenze dei conoidi che caratterizzano i sistemi bacino-conoide di interesse.	18
Tabella 3: Lotto 3A: Grado di riempimento dei tombini.....	23
Tabella 4: Lotto 3B : Grado di riempimento dei tombini.....	28

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 3 di 31

1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto Definitivo della Tratta “*Lercara - Caltanissetta Xirbi*” (Lotto 3) della linea ferroviaria “*Nuovo Collegamento Palermo - Catania*”, nell’ambito dell’itinerario “*Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo*”.

L’area di studio si colloca nella porzione centrale della regione Sicilia, tra le province di Palermo e Caltanissetta. In particolare, il tracciato ferroviario di progetto attraversa i comuni di: Castronuovo di Sicilia (PA), Sclafani Bagni (PA), Vallelunga Pratameno (CL), Polizzi Generosa (PA) Castellana Sicula (PA), Villalba (CL), Petralia Sottana (PA), Marianopoli (CL) e Caltanissetta (cfr. Figura 1).

La lunghezza complessiva del tracciato in progetto è di circa 46.7 km, dei quali circa 20 in sotterraneo; è infatti prevista la realizzazione di sette gallerie naturali, in particolare GN01 (circa 7802 m), GN02 (circa 6536 m), GN03 (circa 1350 m), GN04 (circa 276 m), GN05 (circa 827 m), GN06 (circa 1225 m) e GN07 (circa 1974 m).

La linea in progetto interferisce con una serie di corsi d’acqua rappresentati principalmente dal fiume Torto, che attraversa il settore nord-occidentale con una direzione E-W, dai torrenti Celso e Belici, che attraversano il tratto centrale del tracciato in direzione rispettivamente NW-SE e N-S, ed infine la parte finale del tracciato è attraversata dal fiume Salito che si sviluppa in direzione E-W. Il reticolo idrografico secondario è costituito da una fitta rete di corsi d’acqua a carattere generalmente stagionale e/o torrentizio, che intersecano in diversi punti il tracciato ferroviario.

L’analisi dell’assetto geomorfologico dei bacini di tali corsi d’acqua ha evidenziato che, per alcuni di essi, i dissesti presenti sui versanti potrebbero essere associati a fenomeni caratterizzati da flussi detritici e/o *debris flow*, che potrebbero a loro volta interessare le opere ferroviarie o la viabilità in progetto.

Si è proceduto dunque alla valutazione della possibile interferenza tra il tracciato in progetto ed eventuali fenomeni, sulla base di approcci speditivi disponibili nella letteratura tecnica che prevedono l’applicazione di opportune relazioni tra 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).

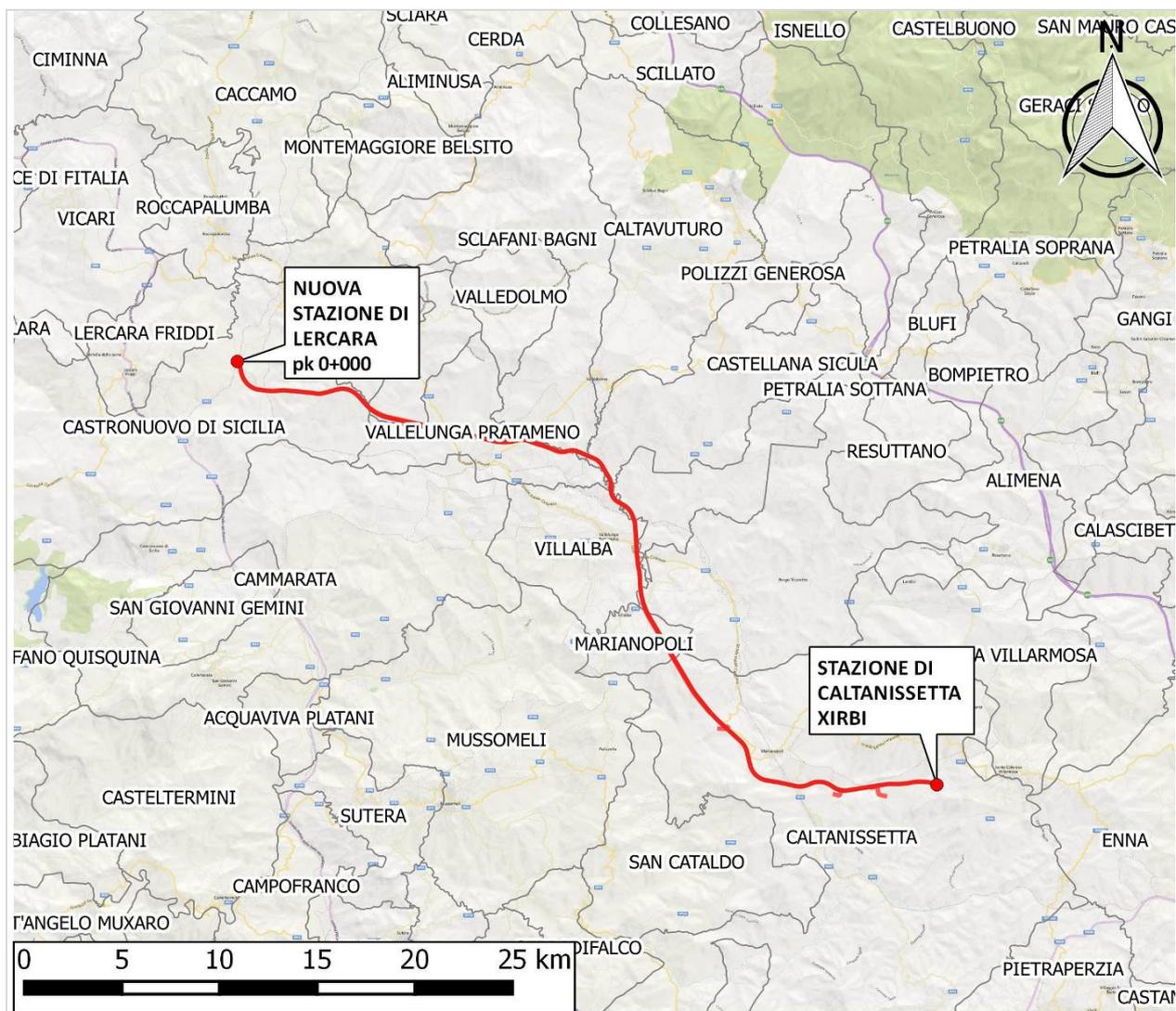


Figura 1 – Corografia dell’area di studio con individuazione della tratta ferroviaria in progetto (rosso).

2. METODOLOGIA GENERALE

L’analisi della vulnerabilità delle opere in progetto a potenziali fenomeni di flussi detritici è stata condotta rivolgendo particolare attenzione ai cosiddetti sistemi bacino-conoide interferenti con l’infrastruttura ferroviaria. La metodologia adottata per individuare le zone verosimilmente più suscettibili alla formazione di tali fenomeni si è sviluppata nelle seguenti fasi:

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 5 di 31

- consultazione delle mappe di pericolosità geomorfologica e dei dissesti, sviluppate nell'ambito della redazione di Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) e durante le varie fasi progettuali (Carta geologico-geomorfologica);
- analisi delle caratteristiche morfometriche dei sistemi bacino-conoide interferenti con le opere in progetto, sulla base di formulazioni ed abachi riportati in letteratura;
- sopralluoghi, indagini in sito;
- individuazione dei sistemi bacino-conoide potenzialmente suscettibili a fenomeni di flussi detritici;
- Valutazione dei volumi potenzialmente mobilitabili



Figura 2 - Vulnerabilità a fenomeni di flussi detritici - Flow chart.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 6 di 31

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 – Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica e Carta geologico-geomorfologica) ha evidenziato all'interno di alcuni di essi, sottesi soprattutto da conoidi di deiezione alluvionale, la presenza di aree a pericolosità geomorfologica, corrispondenti a frane e/o fenomeni di instabilità pregressi, così come individuati nell'ambito del P.A.I. della Regione Siciliana, nonché riportati nella Banca dati IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) e nella cartografia allegata alla documentazione progettuale. La presenza di conoidi indica il manifestarsi di attività di trasporto (ad es. *fluvial o debris flow*) e la deposizione di materiale solido derivante dal normale trasporto di materiale da parte del corso d'acqua e dal possibile innesco di un singolo o di più movimenti franosi, che si sono susseguiti nel tempo sui versanti di un bacino. In generale, anche laddove non si siano già verificati in passato fenomeni di flussi detritici, la valutazione del loro possibile innesco può essere condotta, in via speditiva, sulla base ad approcci disponibili nella letteratura tecnica, che prevedono l'applicazione di opportune relazioni tra alcuni parametri morfometrici che caratterizzano i sistemi bacino-conoide interferenti con il tracciato in progetto.

A partire dalle informazioni riportate nelle mappe di pericolosità geomorfologica del P.A.I., negli elaborati specialistici di geologia sopra citati, nonché riscontrate durante i sopralluoghi, sono state individuate alcune aree in cui è risultato necessario procedere con approfondimenti ed analisi per la loro propensione al dissesto. In particolare, sono stati presi in esame 17 bacini idrografici, così come individuati nelle figure seguenti.

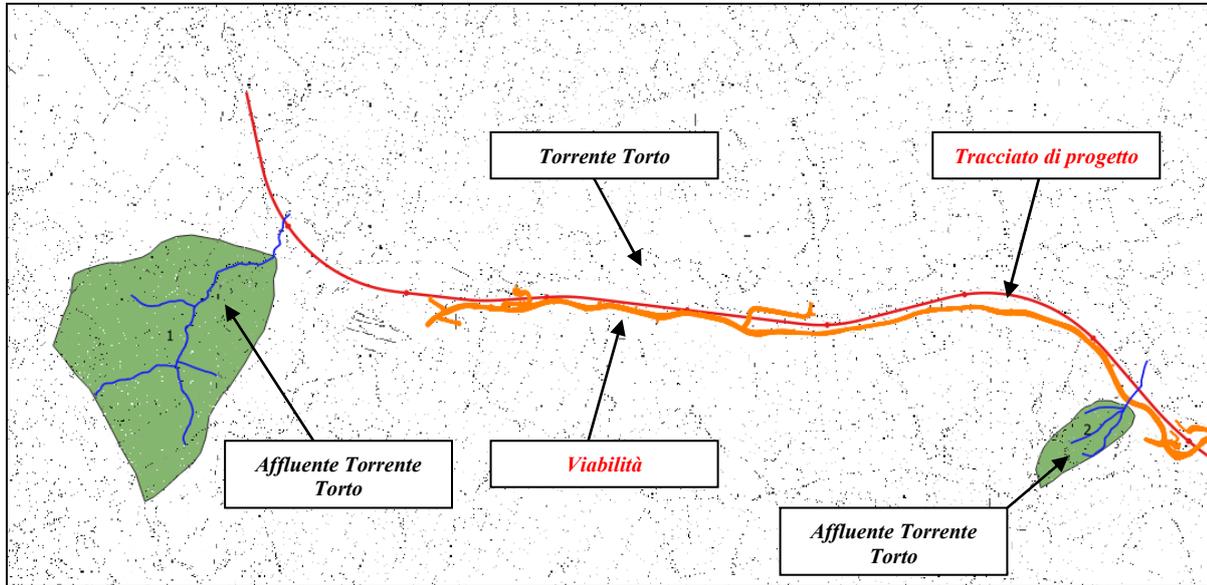


Figura 3 – Sistemi bacino-conoide 1 e 2, individuati tra la pk 1+100 e la pk 7+500.

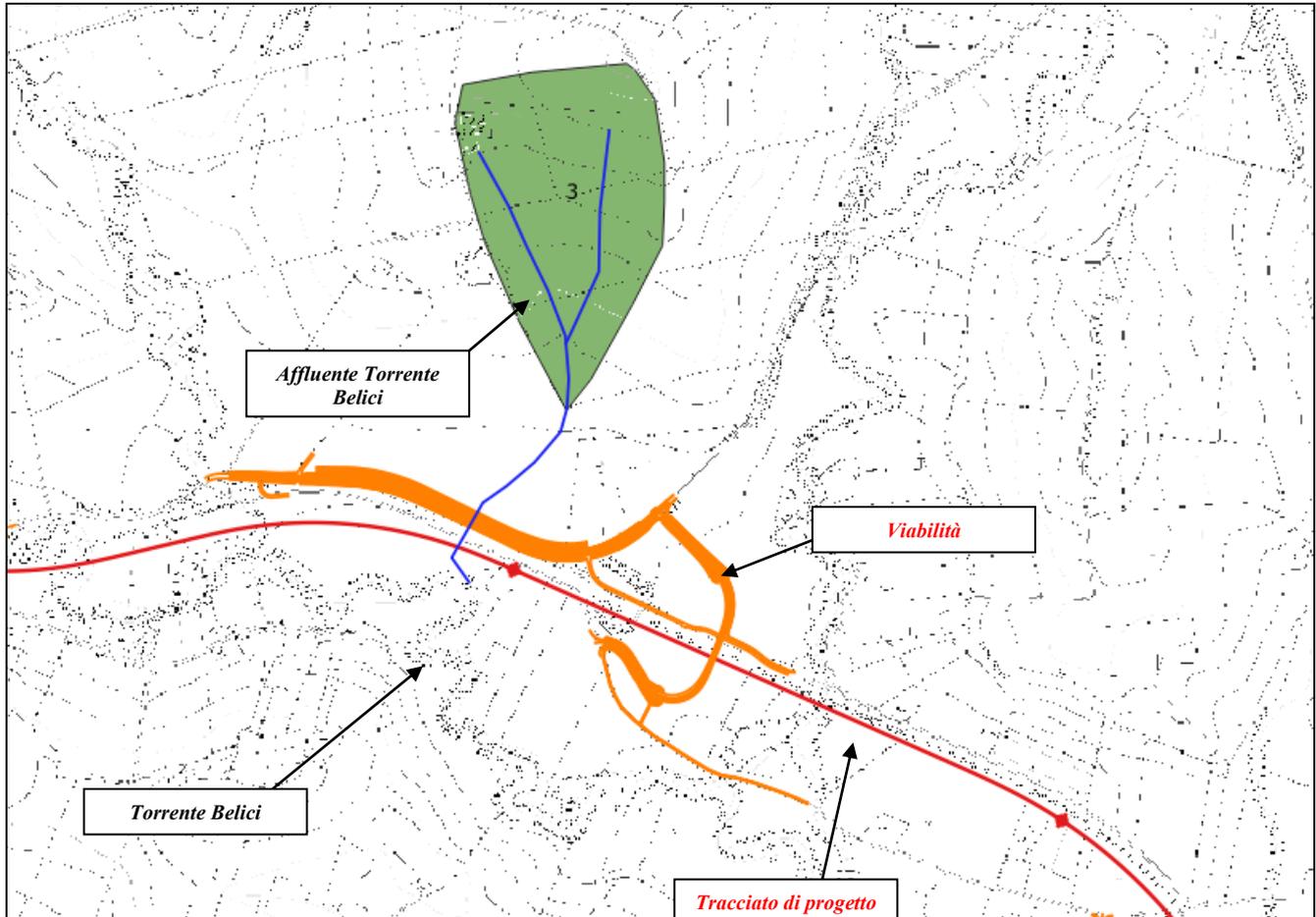


Figura 4 – Sistema bacino-conoide 3, individuato alla pk 18+900.

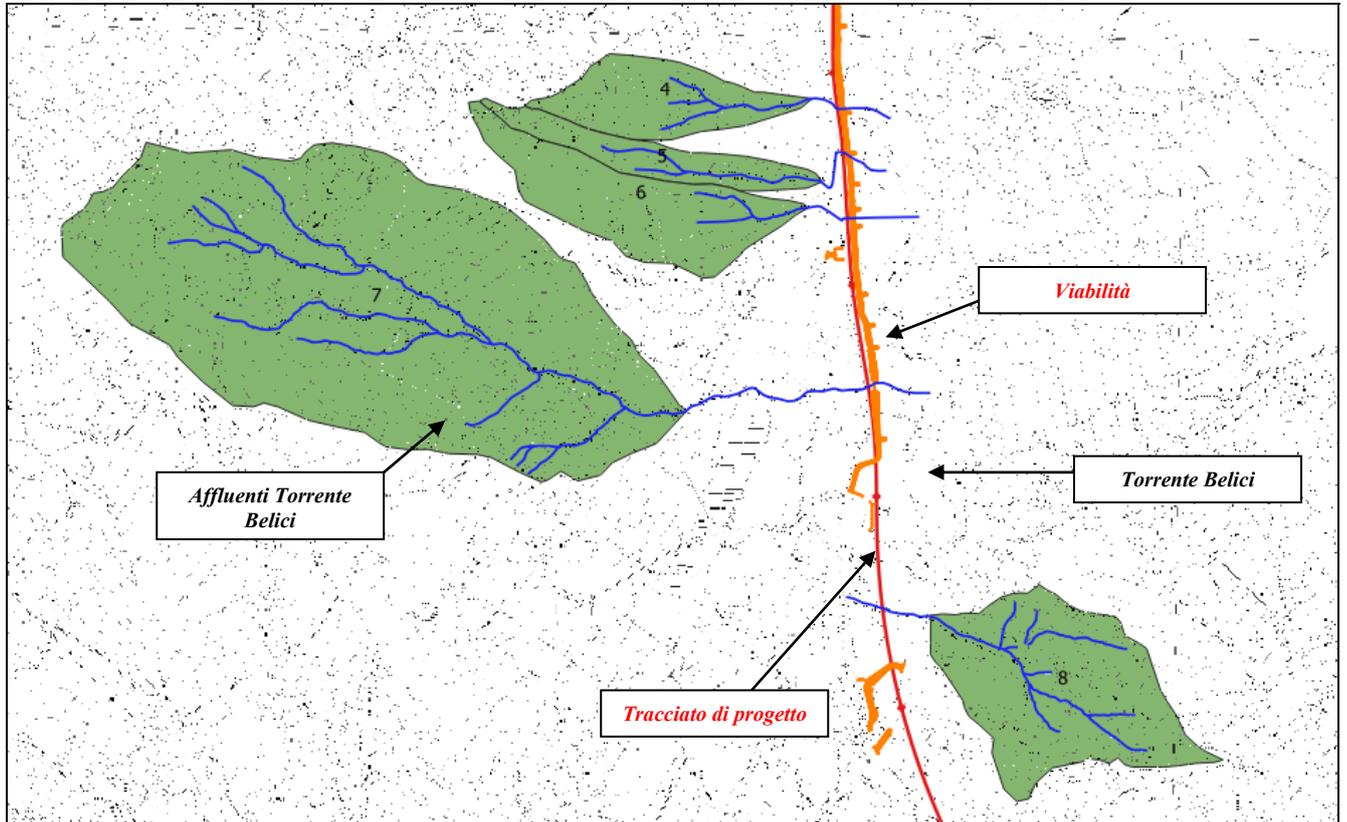


Figura 5 – Sistemi bacino-conoide 4, 5, 6, 7 e 8, individuati tra la pk 25+100 e la pk 27+600.

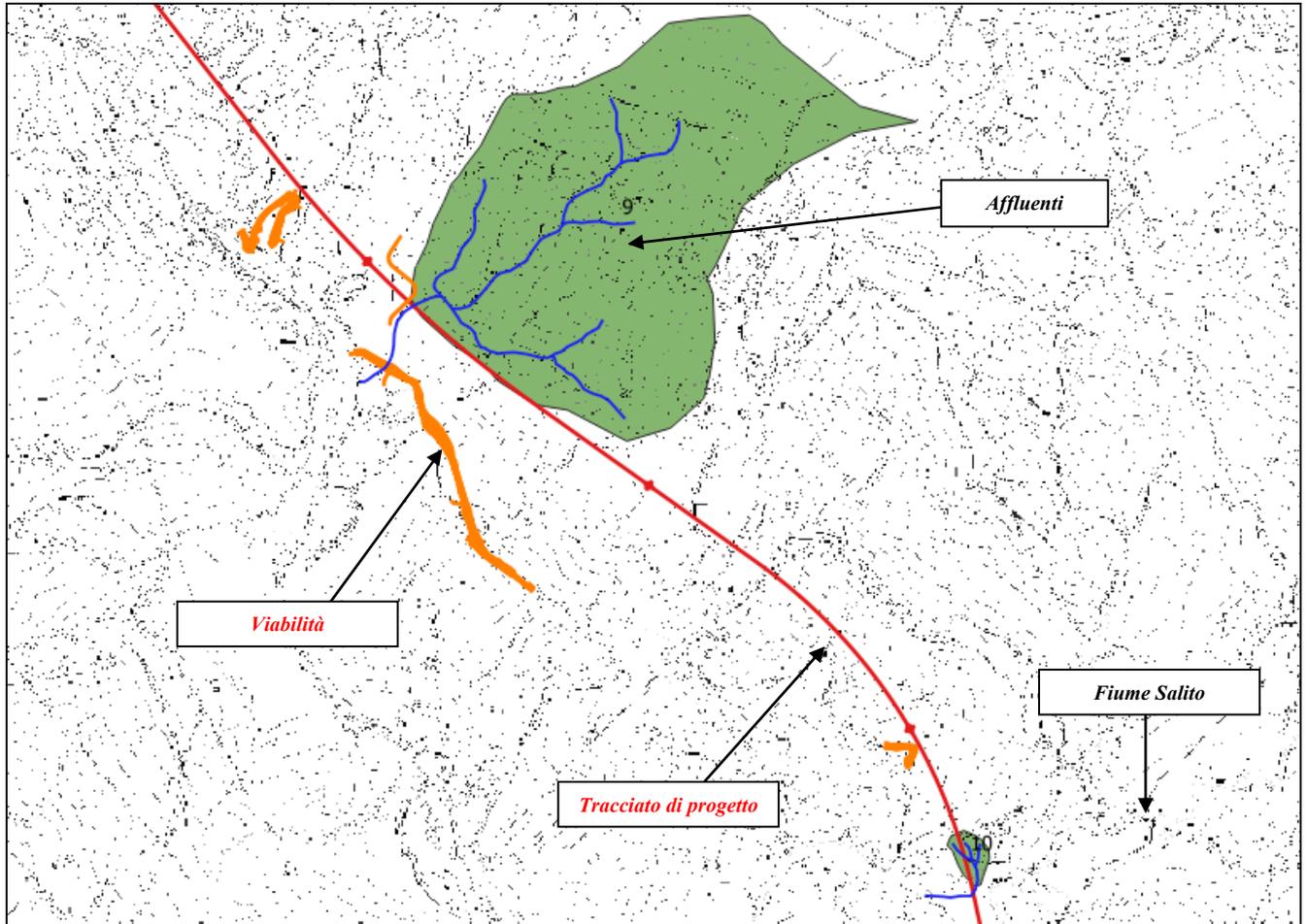


Figura 6 – Sistemi bacino-conoide 9 e 10, individuati tra la pk 35+170 e la pk 37+500.

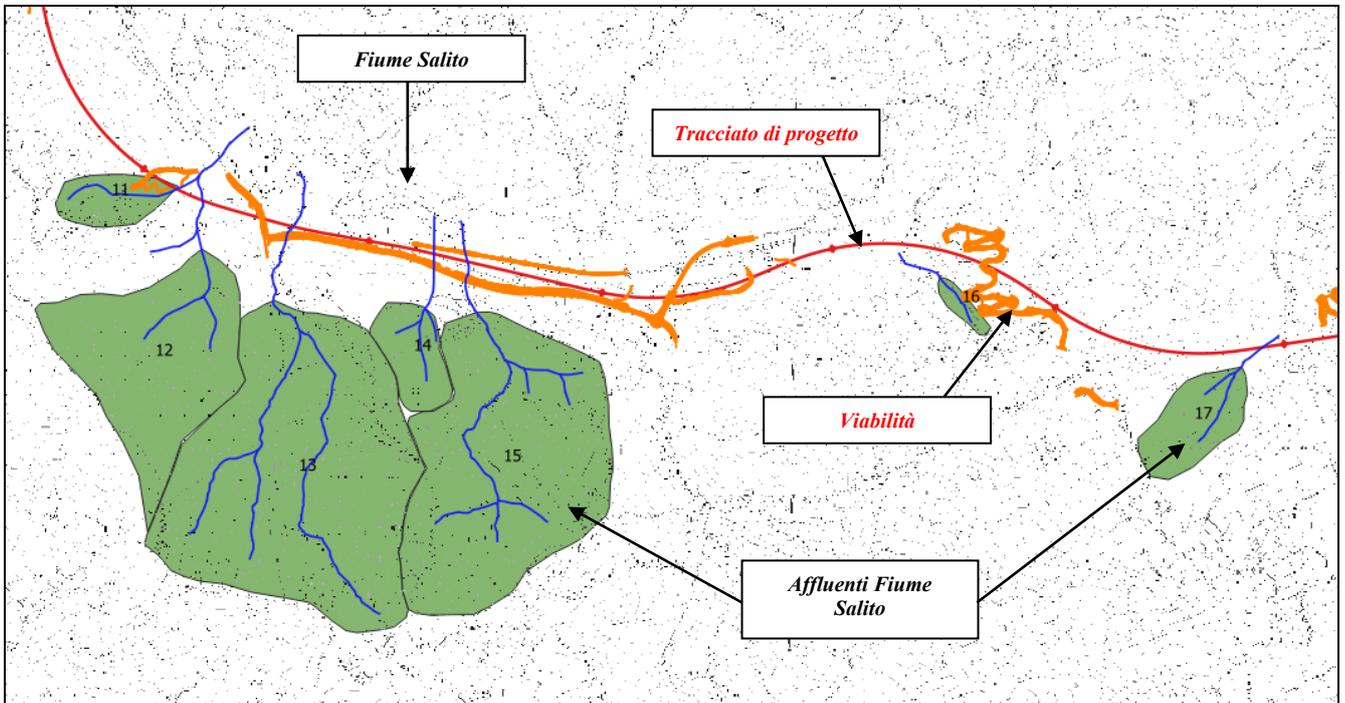


Figura 7 – Sistemi bacino-conoide 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17, individuati tra la pk 39+200 e la pk 43+900.

Di seguito sono individuate le aree di pericolosità geomorfologica, nonché i dissesti individuati nell'ambito della redazione del P.A.I. – Regione Siciliana, nonché nella Banca Dati IFFI, all'interno dei sistemi bacino-conoide in esame.

Pericolosità geomorfologica	
Classe di pericolosità	
	P0 - bassa
	P1 – moderata
	P2 – media
	P3 - elevata
	P4 – molto elevata

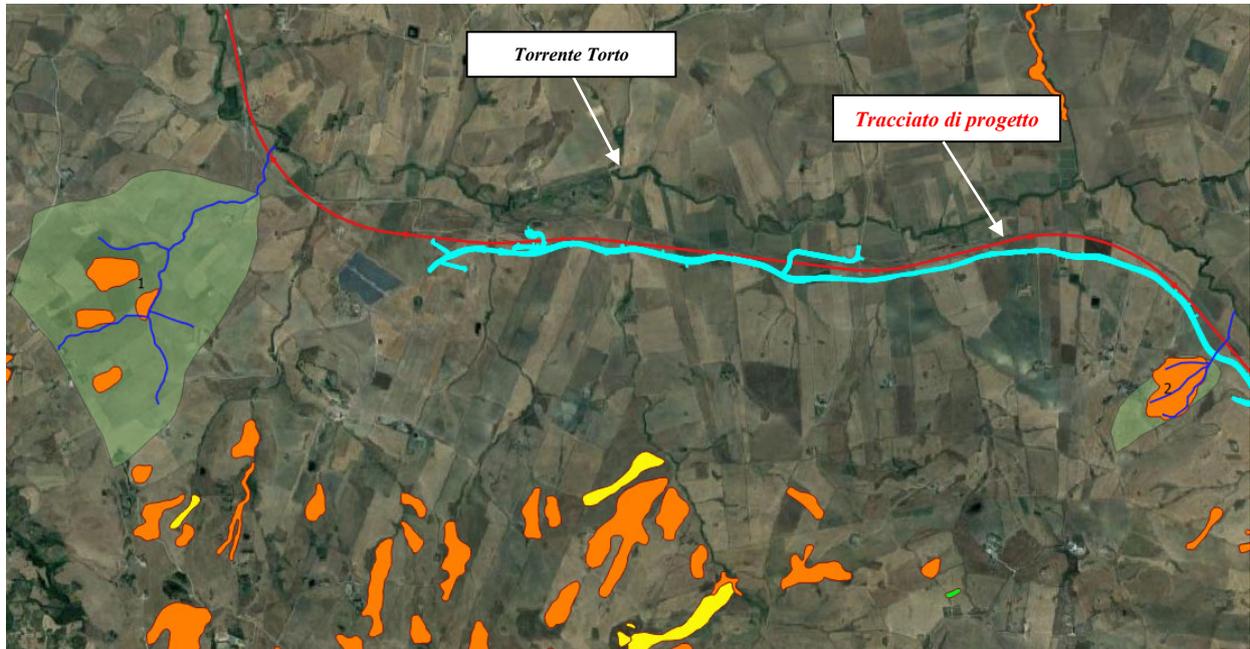


Figura 8 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacini 1e 2.

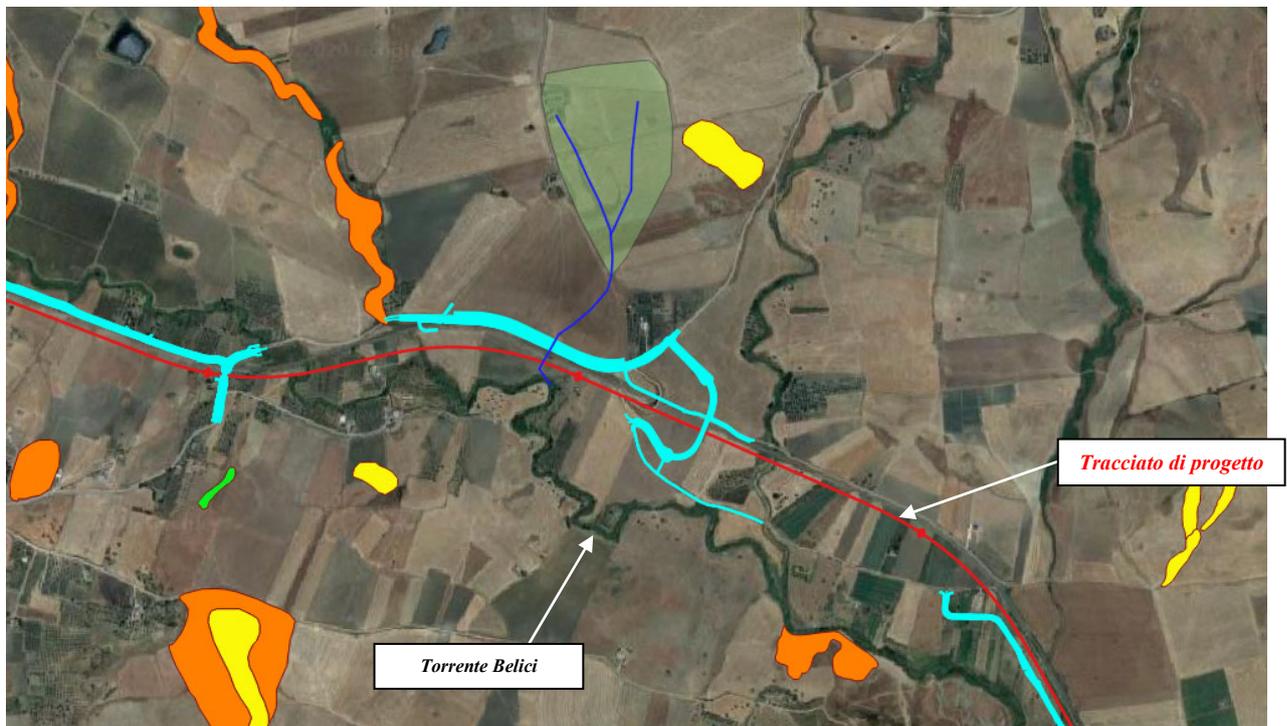


Figura 9 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacino 3, non interessato da perimetrazioni PAI.

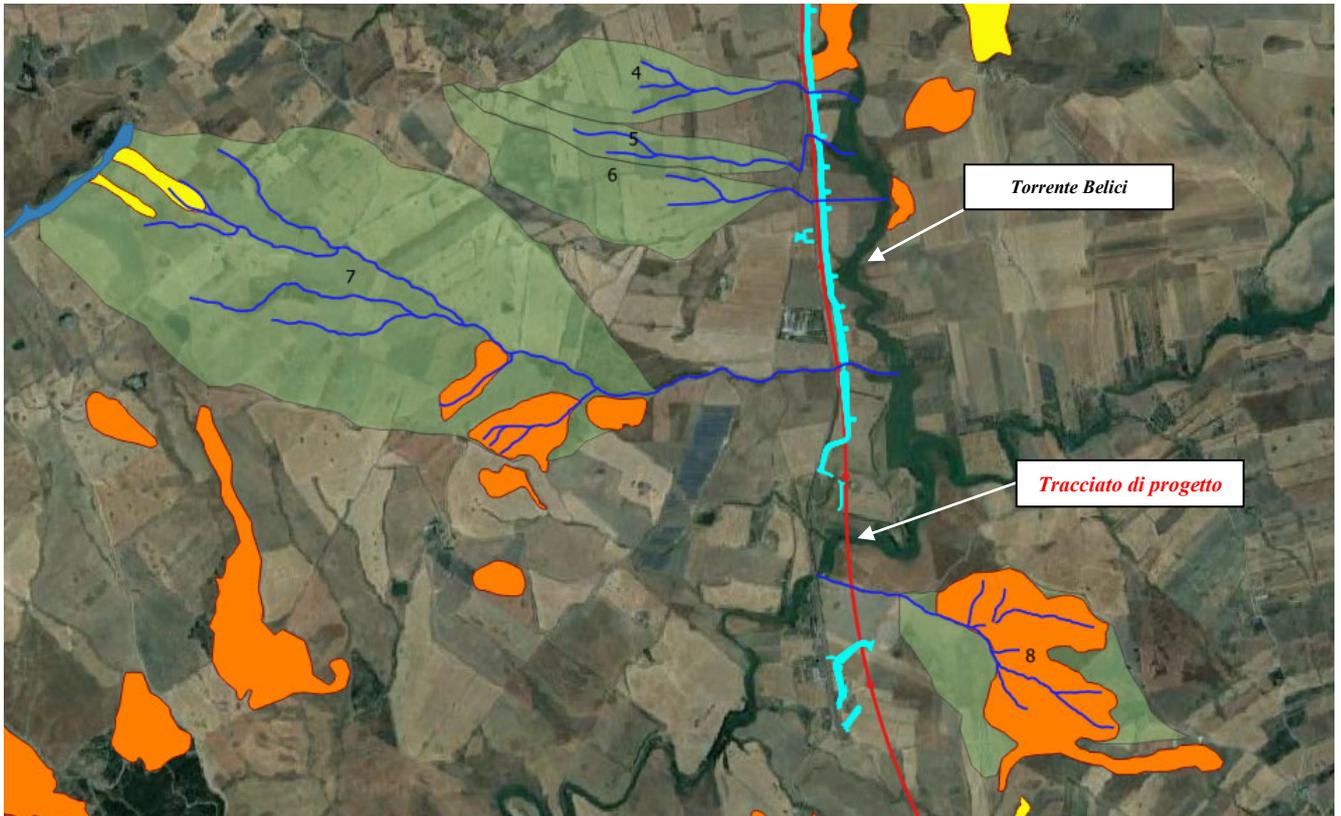


Figura 10 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacini 4, 5, 6, 7 e 8; i bacini 4, 5 e 6 non sono interessati da perimetrazioni PAI.

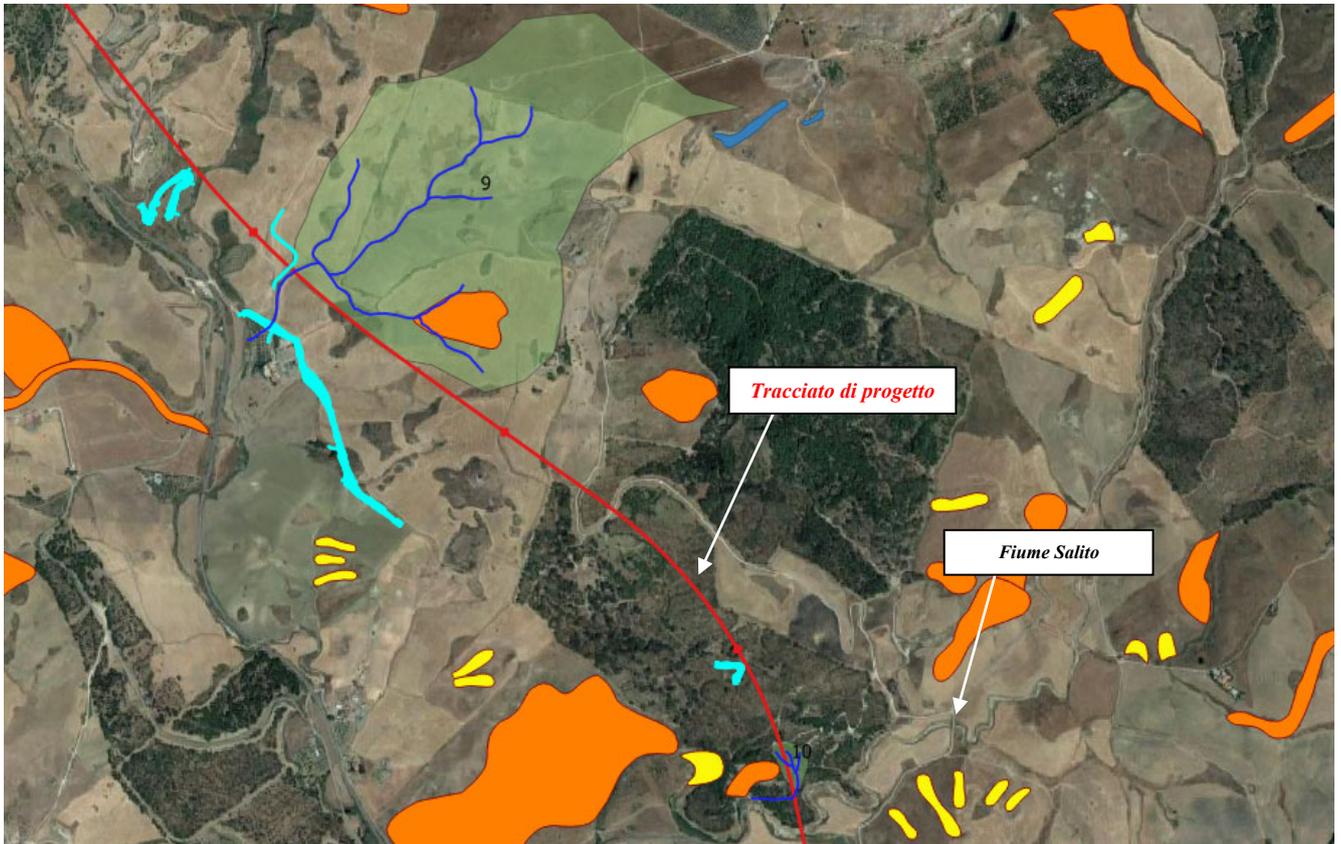


Figura 11 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacini 9 e 10; il bacino 10 non è interessato da perimetrazioni PAI.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 15 di 31

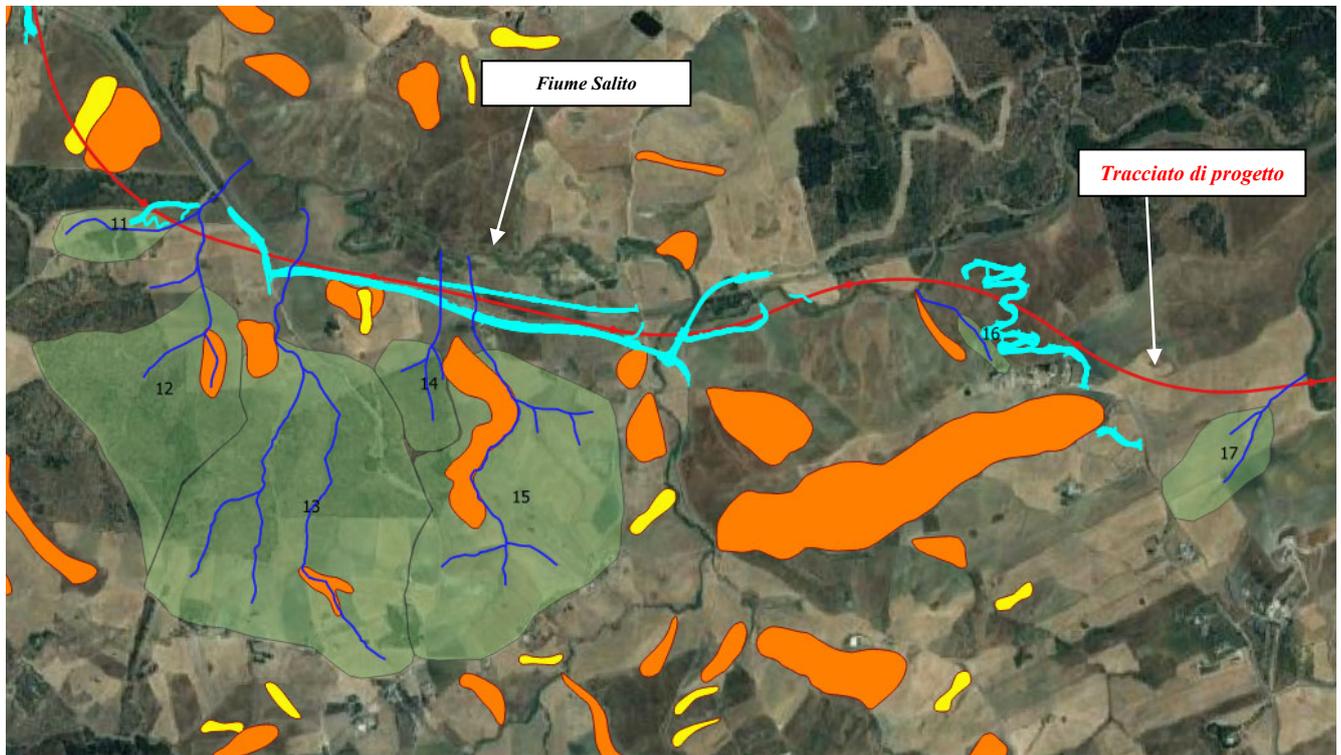


Figura 12 – Pericolosità geomorfologica P.A.I. su estratto di foto aerea (fonte: Google Earth): bacini 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17; i bacini 11, 14, 16 e 17 non sono interessati da perimetrazioni PAI.

I sistemi bacino-conoide presi in esame sono caratterizzati prevalentemente da aree a **pericolosità geomorfologica P2 (media)** e in minima parte da pericolosità **P1 (moderata)**, quest'ultima esclusivamente in corrispondenza del sistema bacino-conoide n. 7.

I principali dissesti (P.A.I.) che interessano i bacini analizzati sono classificati come “*soliflusso*”, “*erosione concentrata o diffusa*”, “*franosità diffusa*”, “*calanco*” e “*colata lenta*” (presente soltanto nel sistema bacino-conoide n. 7, con pericolosità geomorfologica P1).

Analizzati questi aspetti, si è proceduto alla determinazione dei parametri morfometrici (ad es. area del bacino; quota massima H_{max} , quota minima H_{min} , quota media H_{med}) dei sistemi bacino-conoide individuati, valutati mediante elaborazioni geostatistiche in ambiente GIS della cartografia DTM del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (risoluzione spaziale 2x2 m) fornito dalla Regione Sicilia (fonte: http://map.sitr.regione.sicilia.it/ArcGIS/services/DTM_2m/MapServer/WCSServer).

Nella tabella seguente sono riepilogati e descritti i principali “*dissesti*” individuati nei sistemi bacino-conoide di interesse nell’ambito delle analisi ed attività svolte nel presente progetto (e.g. sopralluoghi,

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
	Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B

fotointerpretazione,....) e nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2004), nonché nella Banca Dati IFFI, e i dati individuati per ciascun bacino dei parametri morfometrici.

Corso d'acqua	ID Bacino	Opera presente nell'area	Dissesti (PAI-IFFI)	Dissesti Carta geologico-geomorfologica	Area Bacino (m ²)	Hmax	Hmin	Hmed	Coordinate chiusura bacino
Affluente Torrente Torto	1	Viadotto	Soliflussi	Soliflussi	1793431.32	606.23	419.67	512.95	2402823.3, 4175606.1
Affluente Torrente Torto	2	Viabilità - Riporto	Franosità diffusa	Soliflussi	207936.09	617.67	482.98	550.33	24028864.9, 4174537.4
Affluente Torrente Belici	3	Viabilità - Riporto	NO	Soliflussi	135856.58	507.20	432.97	470.09	2419976.5, 4172225.5
Affluente Torrente Belici	4	Riporto	NO	Soliflussi	303850.66	615.38	368.46	491.92	2422651.3, 4167134.6
Affluente Torrente Belici	5	Riporto	NO	Soliflussi	207480.37	646.09	361.54	503.82	2422696.7, 4166744.1
Affluente Torrente Belici	6	Riporto	NO	Soliflussi	469654.5	647.37	365.98	506.68	2422631.2, 4166620.7
Affluente Torrente Belici	7	Riporto - Viadotto	Erosione concentrata o diffusa/ colata lenta/ calanchi/ crollo	NO	2857486.6	830.00	379.35	604.68	2422065.5, 4165668.8
Affluente Torrente Belici	8	Viadotto	Calanchi	Calanchi / Soliflussi	743695.8	603.86	346.91	475.39	2423204.7, 4164702.2
Affluente	9	Viadotto	Soliflussi (Complesso ex minerario M.te Trabona)	Soliflussi/ Movimenti complessi	841009.32	535.93	327.01	431.47	2426755.8, 4158182.5
Affluente Fiume Salito	10	Galleria artificiale	Erosione concentrata o diffusa	Soliflussi/ area a franosità diffusa	11175.1	352.20	288.13	320.17	2428324.9, 4156550.5
Affluente Fiume Salito	11	Riporto	NO	Soliflussi/ area a franosità diffusa/ colamento lento	85486.79	403.61	306.63	355.12	2429017.7, 4155096.8
Affluente Fiume Salito	12	Riporto	Soliflussi	Soliflussi/ area a franosità diffusa/ colamento lento	492139	428.83	309.58	369.21	2429116.5, 4154834.9
Affluente Fiume Salito	13	Viabilità - Viadotto	Erosione concentrata o diffusa/ soliflussi	Soliflussi	1068374.43	433.33	309.01	371.17	2429415.8, 4154615.0
Affluente Fiume Salito	14	Viabilità - Riporto	NO	NO	104152.07	375.78	317.90	346.84	2430046.6, 4154589.9
Affluente Fiume Salito	15	Viabilità - Riporto	Franosità diffusa	Soliflussi	830941.77	428.13	310.95	369.54	2430268.6, 4154566.8
Affluente Fiume Salito	16	Entrata galleria/ viadotto - viabilità	NO	Soliflussi/ Movimenti complessi	20789.8	442.07	359.46	400.77	2432207.5, 4154716.8
Fiume Salito	17	Uscita galleria viadotto	NO	Soliflussi	132246.42	442.63	369.42	406.03	2433472.1, 4154339.0

Tabella 1 – Principali dissesti e valori dei parametri morfometrici dei sistemi bacino-conoide di interesse.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 17 di 31

Per definire la tipologia o il meccanismo di trasporto che caratterizza un sistema *bacino-conoide*, è stato calcolato per ciascun bacino individuato l'indice di Melton, determinabile 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 la quota minima del bacino idrografico considerato.

Tale indice viene correlato alla pendenza S_f 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 al fine di determinare i valori soglia delle due variabili per le diverse tipologie di trasporto.

Secondo l'abaco proposto da DeScally&Owens (2004) riportato in Figura 7, elaborato sulla base dell'analisi di un numeroso *dataset* relativo a conoidi alluvionali e/o legati a fenomeni di flussi detritici (*debris flow*) possiamo notare come siano stati 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 "*fluvialflows*"; il secondo presenta invece un trasporto caratteristico da "*debris flow*", 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° ed indici di Melton maggiori di 0.75 si rinviene invece una zona di coesistenza tra le due tipologie ("*fluvial and debris flow*"), all'interno del quale risulta abbastanza incerta la definizione del tipo di trasporto.

In particolare, analizzando i dati desunti dai calcoli sopra citati si può notare, come riportato nella successiva Tabella 2, che per i bacini in studio non si siano registrati valori dell'indice di Melton $R > 0.75$. Il calcolo della pendenza di ciascun conoide ha portato a definire un valore generalmente inferiore a 7.5° , risultando fuori dal limite di rischio d'innescio di eventuali fenomeni di *debris flow*. Nel caso del sistema bacino-conoide n. 16, invece, la pendenza del conoide è risultata maggiore di 7.5° (circa 12°) ma, considerando l'esiguità del bacino idrografico del corso d'acqua in esame, non si ritiene che possano verificarsi fenomeni di *debris flow* significativi che possano andare ad interessare la zona dell'imbocco nord-occidentale della galleria GN06.

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

<i>ID Bacino</i>	<i>Indice di Melton</i>	<i>Pendenza conoide (°)</i>
1	0.139	0.73
2	0.295	1.69
3	0.201	2.74
4	0.448	3.34
5	0.625	2.3
6	0.411	2.8
7	0.267	1.04
8	0.298	1.71
9	0.228	1.15
10	0.606	5.19
11	0.332	2
12	0.170	1.44
13	0.120	1.15
14	0.179	2.14
15	0.129	1.28
16	0.573	11.74
17	0.201	3.4

Tabella 2 – Valori dell'indice di Melton e le rispettive pendenze dei conoidi che caratterizzano i sistemi bacino-conoide di interesse.

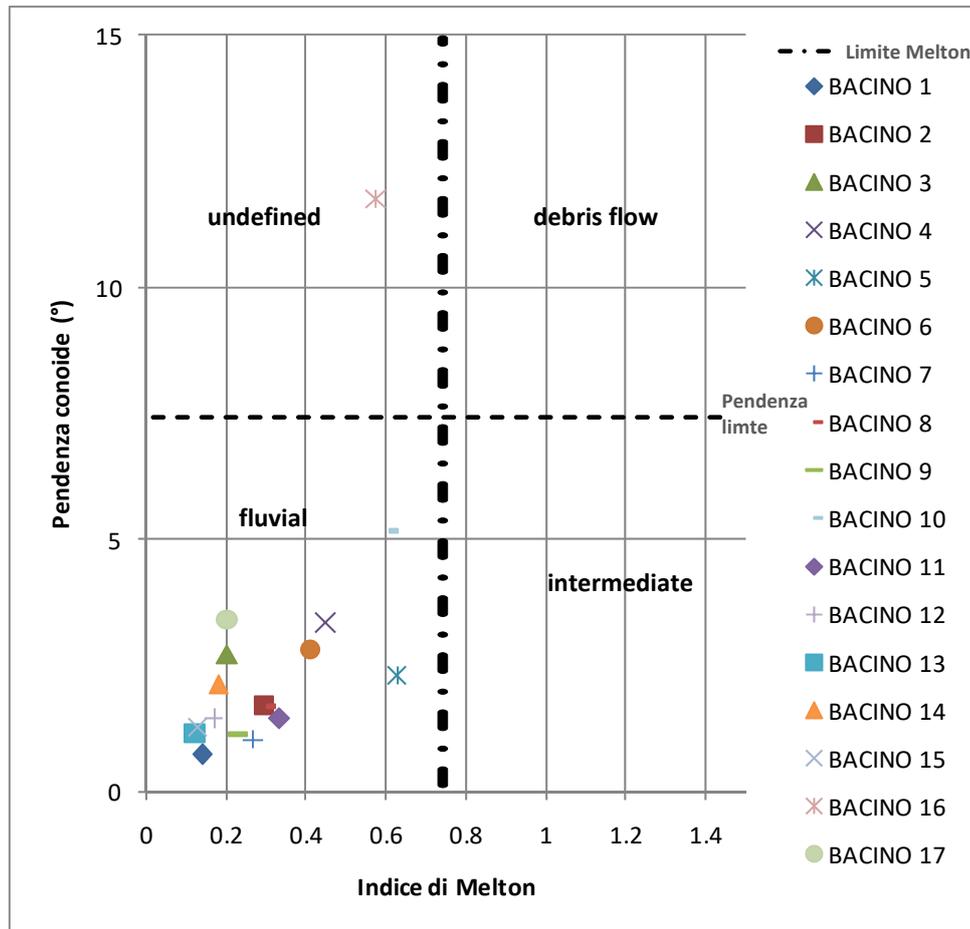


Figura 13 – Pendenza conoide vs indice di Melton.

4. STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI

In assenza di evidenze pregresse di fenomeni di flussi detritici, e soprattutto in assenza di sistemi *bacino-conoide* suscettibili a fenomeni di *debris flow*, il volume di materiale potenzialmente mobilitabile non è stato stimato in quanto i bacini analizzati non necessitano di tale calcolo.

5. VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Sulla base delle osservazioni effettuate in campo, nell'intera area esaminata i bacini sono caratterizzati dalla presenza di dissesti, la cui natura contribuisce all'apporto di materiale solido in alveo. La principale componente osservata è quella terrosa-vegetativa.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 20 di 31

La deposizione del materiale d'alveo, trasportato dalla corrente idrica, viene presa in considerazione per il dimensionamento delle nuove opere di attraversamento, in quanto la luce libera di sottotrave può ridursi appunto a causa dell'interrimento.

Nell'ambito del presente studio, la progettazione delle opere di attraversamento minori, è stata sviluppata in modo da garantire un grado di riempimento minore del massimo richiesto dalla Normativa (NTC2018).

Si riportano nelle seguenti tabelle i gradi di riempimento massimi dedotti dalle verifiche idrauliche.

Lotto 3A

WBS	OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)	Note			
				GR	GR influenzato dalle CC di valle	40% < GR < 50%	GR < 40%
IN02	0+519	PROLUNGAMENTO TOMBINO ESISTENTE BxH 2X2	Ferrovia	53%	Livello influenzato dal corso d'acqua principale		
IN03	1+848	TOMBINO SCATOLARE BxH 4X4	Ferrovia	16%			x
IN04	2+043	TOMBINO SCATOLARE BxH 4X3	Ferrovia	40%			x
NI01	2+910	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3	Strada NV01	9%			x
IN05	2+903	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3	Ferrovia	26%			x
NI02	3+239	TOMBINO SCATOLARE BxH 3X3	Strada NV01	17%			x
IN06	3+223	TOMBINO SCATOLARE BxH 3X3	Ferrovia	23%			x
NI03	3+400	TOMBINO SCATOLARE BxH 8X5	Strada NV01	48%		x	
IN07	3+395	TOMBINO SCATOLARE BxH 8X5	Ferrovia	46%		x	
NI04	3+691	TOMBINO 2X2	Strada NV01	9%			x

WBS	OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)	Note		
				GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
NI05	3+822	TOMBINO 2X2	Strada NV01	12%		x
NI06	4+220	TOMBINO 3X3	Strada NV01	40%		x
NI08	4+532	TOMBINO SCATOLARE BxH 3X3	Strada NV01	30%		x
IN08	4+505	TOMBINO SCATOLARE BxH 3X3	Ferrovia	36%		x
NI07	4+507	TOMBINO SCATOLARE BxH 3X3	Strada NV04B	55%	Livello influenzato dal corso d'acqua principale	
IN09	4+995	TOMBINO SCATOLARE BxH 4X4	Strada NV01 + ferrovia	48%	Il livello alto nel tombino è dovuto alla presenza dellaviabilità subito a valle.	x
IN10	5+206	TOMBINO SCATOLARE BxH 6X4	Strada NV01 + ferrovia	48%	Il livello alto nel tombino è dovuto alla presenza della LS subito a valle.	x
NI11	5+723	TOMBINO SCATOLARE BxH 2x3	strada NV01	37%		x
IN11	5+590	TOMBINO SCATOLARE BxH 3,5X3,5	ferrovia	32%		x
NI12	6+241	TOMBINO SCATOLARE BxH 3X3	strada NV01	14%		x
IN12	6+217	TOMBINO SCATOLARE BxH 3X3	ferrovia	15%		x
NI13	6+467	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3	strada NV01	35%		x
IN13	6+330	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3	ferrovia	47%	Livello influenzato dal corso d'acqua principale	

WBS	OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)	Note		
				GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
NI14	7+224	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3	strada NV01	10%		x
IN14	7+199	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3	ferrovia	22%		x
NI15	7+502	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X2	strada NV01	16%		x
IN15	7+482	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3	ferrovia	38%		x
NI16	7+717	TOMBINO D=1.5m	strada NV01	27%		x
NI17	7+876	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X2	strada NV01	50%	x	
NI20	7+983	TOMBINO SCATOLARE BxH 7X5	strada NV01	46%	x	
NI18	7+911	TOMBINO SCATOLARE BxH 7X5	strada NV11A	45%	x	
IN16	7+848	TOMBINO SCATOLARE BxH 7X5	ferrovia	36%		x
NI21-b	8+260	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3	strada NV01	16%		x
NI21-a	8+185	TOMBINO SCATOLARE BxH 2X3.5	strada NV11B	41%	x	x
NI23	15+867	TOMBINO SCATOLARE BxH 3x2.4	strada NV12A	43%	x	
NI25	16+189	TOMBINO SCATOLARE BxH 3x3	strada NV12A	37%		x
NI26	16+198	TOMBINO SCATOLARE BxH 3x3	strada NV12A	54%	x	
IN17	16+471	TOMBINO SCATOLARE BxH 6X2,8	ferrovia	51%	Livello influenzato dal corso d'acqua principale	
NI29	17+129	TOMBINO	strada NV07	37%		x

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 23 di 31

WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)	Note		
ID	pk			GR	GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
IN18	17+071	TOMBINO bi-canna	Ferrovia	65%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN19	17+585	TOMBINO SCATOLARE BxH 5X3	Ferrovia	30%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI30	17+585	TOMBINO SCATOLARE BxH 5X3	Strada NV09	30%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI31	18+043	TOMBINO 3x3.5	strada NV10	54%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		

Tabella 3: Lotto 3A: Grado di riempimento dei tombini

Lotto 3B

WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)			
ID	pk			GR	GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
IN51 strada	18+910	Tombino scatolare BxH 3X2	strada	28%			x
IN51 ferr		Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	34%			x
IN52	20+469	Tombino scatolare BxH 8X5	Strada	46%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
		Tombino scatolare BxH 8X5	Ferrovia	46%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN53	20+889	Tombino scatolare BxH 3X5	Ferrovia	52%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		

WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)			
ID	pk			GR	GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
		Tombino scatolare BxH 3X5	Strada	55%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN54	21+206	Tombino scatolare BxH 5X4	Ferrovia	37%			x
		Tombino scatolare BxH 5X4	Strada	45%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN55	22+215	Tombino scatolare BxH 4X2	Strada	35%			x
		Tombino scatolare BxH 4X2	Ferrovia	35%			x
NI54	23+156	Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	42%		x	
NI55-a	23+375	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada	13%			x
NI55-c	23+550	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	58%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN56	24+535	Tombino scatolare BxH 7X3	Ferrovia Variante	35%			x
		Tombino scatolare BxH 7X3	Ferrovia	29%			x
		Tombino scatolare BxH 7X3	Strada	30%			
IN57	24+691	Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia Variante	28%			x
		Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia	17%			x
		Tombino scatolare BxH 2X2	Strada	32%			
IN58	25+024	Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia+variante	41%			x
		Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	40%			x

WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)			
ID	pk			GR	GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
IN59	25+133	Demolizione esistente - Nuovo Tombino scatolare BxH 4X2	strada esistente	20%			x
		Tombino scatolare BxH 4X2	variante+ferrovia	20%			x
		Tombino scatolare BxH 4X2	Strada	23%			x
IN60	25+292	Tombino stradale esistente	strada esistente	24%			x
		Tombino esistente BxH 3X2	ferrovia esistente	31%			x
		Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	33%			x
		Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	38%			x
IN61	25+403	Tombino scatolare BxH 3X2	variante	10%			x
		Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	11%			x
		Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	57%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN62	25+550	Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	39%			x
		Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	32%			x
IN63	25+608	Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	34%			x
		Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	38%			x
IN64	25+689	Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	44%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		

WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)			
ID	pk			GR	GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
		Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	51%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN65	25+890	Tombino scatolare BxH 3X2	ferrovia	32%			x
		Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	32%			x
IN66	26+085	Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	40%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
		Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	45%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN67	26+299	Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia	20%			x
		Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	40%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI56-a	27+798	Tombino scatolare BxH 3x2	Strada	34%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI58	35+155	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	19%			x
NI59	35+232	Tombino scatolare BxH 7X3.5	Strada	49%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN68	37+047	Tombino scatolare BxH 4X3	Ferrovia	41%		x	
IN69	39+162	Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	27%			x
		Tombino scatolare BxH 3.5X2.0	strada bianca	25%			x
IN70	39+289	Tombino scatolare	ferrovia	19%			x

WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)			
ID	pk			GR	GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
		BxH 6X3					
NI65	39+654	Tombino scatolare BxH 8X3.5	strada	47%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI66	39+935	Tombino scatolare BxH 2X3	Strada	32%			x
IN71	39+935	Tombino scatolare a spinta su LS BxH 2X2	Ferrovia esistente	65%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI67	40+010	Tombino scatolare BxH 2X3	Strada	40%			x
IN72	40+012	Tombino scatolare a spinta su LS BxH 2X2	Ferrovia esistente	65%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI68	40+419	DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X3	Strada	36%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
IN73	40+424	DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X3	Ferrovia	45%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI69-2	41+593	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	22%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
NI72	41+593	Tombino scatolare BxH 2X3	strada	33%	Livello influenzato dal corso d' acqua principale		
	46+430	Tombino scatolare BxH 8X5	strada NV66	44%		x	
IN74		Tombino scatolare BxH 8X5	ferrovia			x	
NI51	21+818	Tombino scatolare BxH 7X3	Strada	33%			x
		Tombino scatolare BxH 7X3	Strada ricucitura	21%			x
NI55-b	23+384	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	22%			x

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
	Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B

WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Ferrovia/viabilità	Fase 2 (TR200)			
ID	pk			GR	GR influenzato dalle CC di valle	40%<GR < 50%	GR < 40%
NI61	35+709	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	34%			x
NI60	35+443	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	17%			x
NI69	40+838	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	28%			x
NI62	39+428	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	40%			x
		tombino esistente	ferrovia	38%			x
IN89 NI63	39+570	Tombino scatolare BxH 3X2	strada	7%			x
NI73	38+175	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	36%			x

Tabella 4: Lotto 3B : Grado di riempimento dei tombini

I tombini in progetto presentano un grado di riempimento inferiore al 50% mentre la normativa (NTC2018) impone un valore massimo del 67%.

In questa fase si escludono dall'analisi i tombini il cui grado di riempimento è influenzato dal corso d'acqua principale o dalla presenza di un'opera esistente che crea rigurgito verso l'opera in progetto.

Vista la criticità dell'area e il possibile innesco di trasporto solido, saranno da raccomandare ispezioni manutentive periodiche per la rimozione del materiale depositato/accumulato. Le azioni sono necessarie al fine del mantenimento del franco idraulico di progetto. Si suggerisce una frequenza di 6-9 mesi e alla fine di ogni evento di piena. Si prevede inoltre la predisposizione di griglie a monte degli scatolari di salto IN71 e IN72, al fine di trattenere eventuale trasporto vegetativo.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 29 di 31

6. 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 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 (ad es. curve, contropendenze,...), per cui il flusso potrebbe arrestarsi prima di giungere all'opera in progetto.

Nell'ambito del presente studio, la progettazione delle opere di attraversamento minori, è stata sviluppata in modo da garantire un grado di riempimento minore del massimo richiesto dalla Normativa (NTC2018).

I tombini in progetto presentano un grado di riempimento inferiore al 50% mentre la normativa (NTC2018) impone un valore massimo del 67%. Vista la criticità dell'area saranno da raccomandare ispezioni manutentive periodiche per la rimozione del materiale depositato/accumulato e la predisposizione di griglie all'ingresso dei tombini, o a monte degli scatolari di salto, al fine di trattenere eventuale trasporto vegetativo.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 30 di 31

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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

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

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

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 TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)					
	IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA					
Studio della vulnerabilità dell'infrastruttura a fenomeni di flussi detritici - Relazione	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RG	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	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., Bussetini 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

Natale L., Ghilardi P. (1999). *Il rischio idraulico nelle aree di conoide*. Quaderni regionali di ricerca della Regione Lombardia n°34.

Takahasci T. (1991). *Debris flow*. Published for the Int. Ass. Hydr. Res. by A.A. Balkema/Rotterdam.

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