

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2**

**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.

RS3Z 00 D 09 RG ID0002 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C.Cesali	Gen. 2020	A.Cappelli	Gen. 2020	A.Barrecchi	Gen. 2020	A.Vittozzi	Gen. 2020

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti  
Dott. Ing. Angelo Vittozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo  
N° 43078



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

PROGETTO DEFINITIVO  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
(LOTTO 1+2)

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 09 RG	ID 00 02 002	A	2 di 33

## INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. METODOLOGIA GENERALE.....	5
3. ASSETTO DEI VERSANTI E PROPENSIONE AL DISSESTO.....	6
4. STIMA DEI VOLUMI POTENZIALMENTE MOBILITABILI .....	26
5. VERIFICA DELLE OPERE IN PROGETTO.....	27
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	31
7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	32

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Vulnerabilità a fenomeni di flussi detritici - Flow chart.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2 – Sistemi “bacino-conoide” 1&amp;2, 3&amp;4, 5, 6, 7 10, 11. ....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3 – Sistemi “bacino-conoide” 10, 11, 14, 17. ....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini 1&amp;2, 3&amp;4, 5, 6, 7, 10.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini 11, 14, 17.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 6 – Dissesti P.A.I.: bacini 1&amp;2, 3&amp;4, 5, 6, 7, 10.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7 – Dissesti P.A.I.: bacini 11, 14, 17.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 8 – Movimenti franosi Banca dati IFFI: bacini 1&amp;2, 3&amp;4, 5, 6, 7, 10. ....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9 – Movimenti franosi Banca dati IFFI: bacini 11, 14, 17. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10 – Area conoide vs area bacino: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 11 – Area conoide vs area bacino: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 12 – Pendenza conoide vs indice di Melton: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati. ....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13 – Pendenza conoide vs indice di Melton (Marchi et al. 1993, modificato da D’Agostino 1996).....</i>	<i>23</i>

## INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Principali “dissesti” nei sistemi “bacino-conoide” di interesse. ....</i>	<i>16</i>
<i>Tabella 2 – Valori dei parametri morfometrici dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabella 3 – Valori dei parametri <math>A_f</math> e <math>A_b</math> dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabella 4 – Valori dei parametri <math>S_f</math> e <math>A_b</math> dei sistemi “bacino-conoide” di interesse. ....</i>	<i>20</i>
<i>Tabella 5 – Valori dell’indice di Melton dei sistemi “bacino-conoide” di interesse.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabella 6 – Definizione dei sistemi “bacino – conoide” potenzialmente suscettibili a fenomeni di flussi detritici. ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabella 7 – Formule empiriche per la stima della portata al colmo di un flusso detritico.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabella 8 – Bacino 17: volume mobilitabile (<math>V</math>) e portata al colmo (<math>Q_d</math>) di un potenziale flusso detritico. ....</i>	<i>27</i>
<i>Tabella 9 – Valori di pendenza media dell’asta (<math>\theta</math>), portata liquida di progetto (<math>Q_{liq}</math>), portata di picco della colata (<math>Q_d</math>), angolo di resistenza al taglio (<math>\phi</math>), per il bacino 17 sotto esame.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabella 10 – Risultati della verifica delle sezioni idrauliche delle opere in progetto.....</i>	<i>30</i>

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 4 di 33

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto Definitivo della Tratta “*Fiumetorto – Lercara Diramazione*” (Lotto 1+2) della linea ferroviaria “*Nuovo Collegamento Palermo – Catania*”, nell’ambito dell’itinerario “*Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo*”.


La tratta ferroviaria in progetto, realizzata per la maggior parte in variante di tracciato rispetto alla linea esistente, si sviluppa interamente in affiancamento al Fiume Torto; nello specifico tra le pk 0+000 ÷ 8+100 e 28+050÷29+150, allo scoperto, e tra le pk 8+100÷28+050, in galleria.

La linea in progetto interferisce con una serie di corsi d’acqua minori, tributari in destra idraulica del F. Torto; a meno di alcune viabilità, la nuova tratta ferroviaria non attraversa il Fiume Torto.

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-flows*, che potrebbero a loro volta interessare le opere ferroviarie in progetto.

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 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 5 di 33

## 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) e durante le varie fasi progettuali
- 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 (2D) 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 RS3Z00D69RGGE0001001A, RS3Z00D69N4GE00030019A, RS3Z00D69L6GE0001001A, RS3Z00D69L6GE0001002A) ha evidenziato all’interno di alcuni di essi, sottesi da *conoide 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*). La presenza di conoidi identifica/segna il manifestarsi di attività di trasporto (i.e. *fluvial o debris flows*) e deposito di materiale solido derivante dall’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, in 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 le zone di intervento.

A partire dalle informazioni riportate nelle mappe di pericolosità geomorfologica del P.A.I., negli elaborati specialistici di geologia RS3Z00D69L6GE0001001A, RS3Z00D69L6GE0001002A, nonché riscontrate durante i 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 **9 sistemi “*bacino-conoide*”**, denominati **1&2, 3&4, 5, 6, 7, 10, 11, 14, 17**, così come individuati nelle figure seguenti.

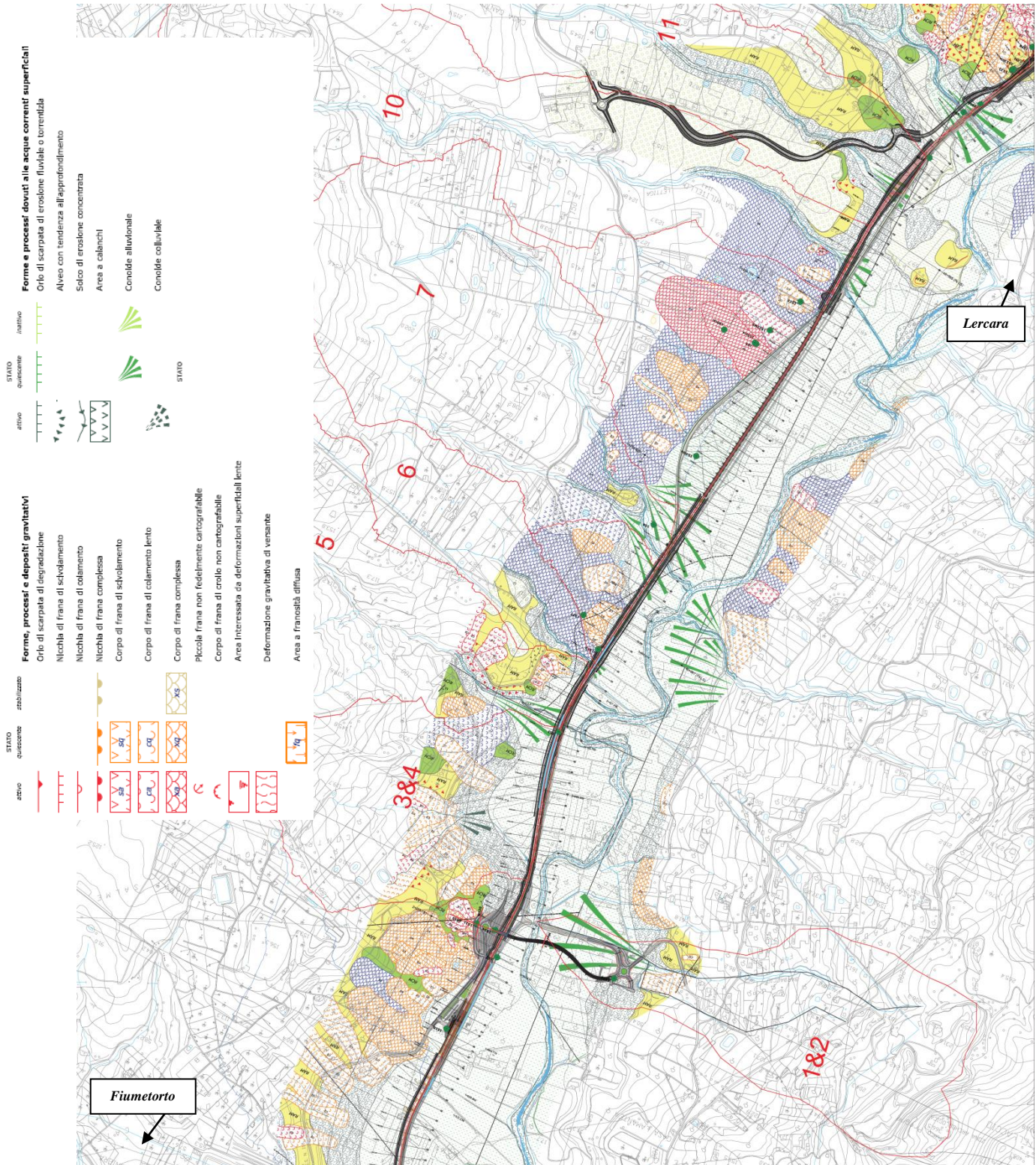


Figura 2 – Sistemi “bacino-conoide” 1&2, 3&4, 5, 6, 7 10, 11.

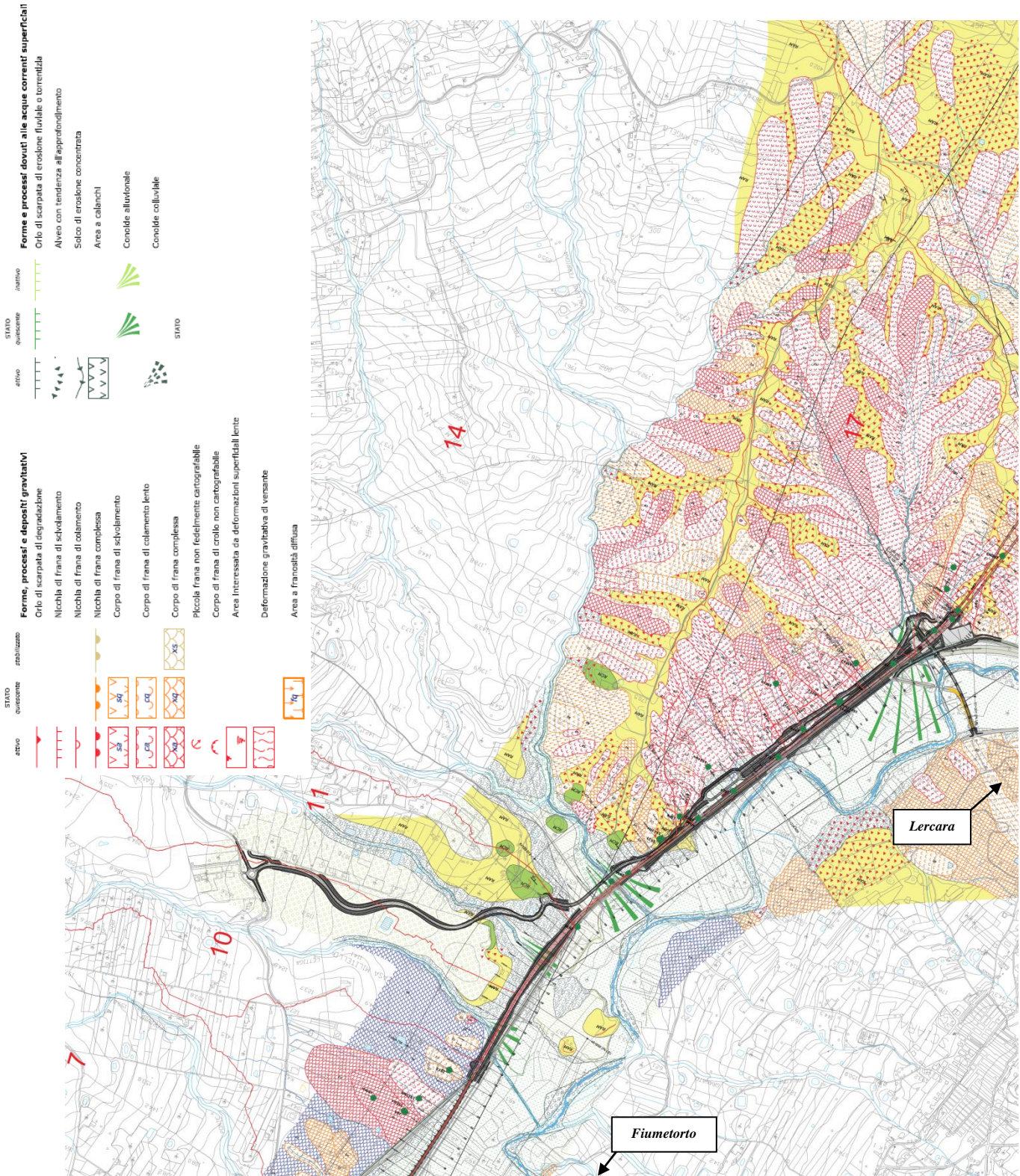


Figura 3 – Sistemi “bacino-conoide” 10, 11, 14, 17.



Di seguito, le **aree di pericolosità geomorfologica**, nonché i **dissesti** individuati nell’ambito della redazione del **P.A.I. – Regione Siciliana**, all’interno dei sistemi “*bacino – conoide*” in esame.

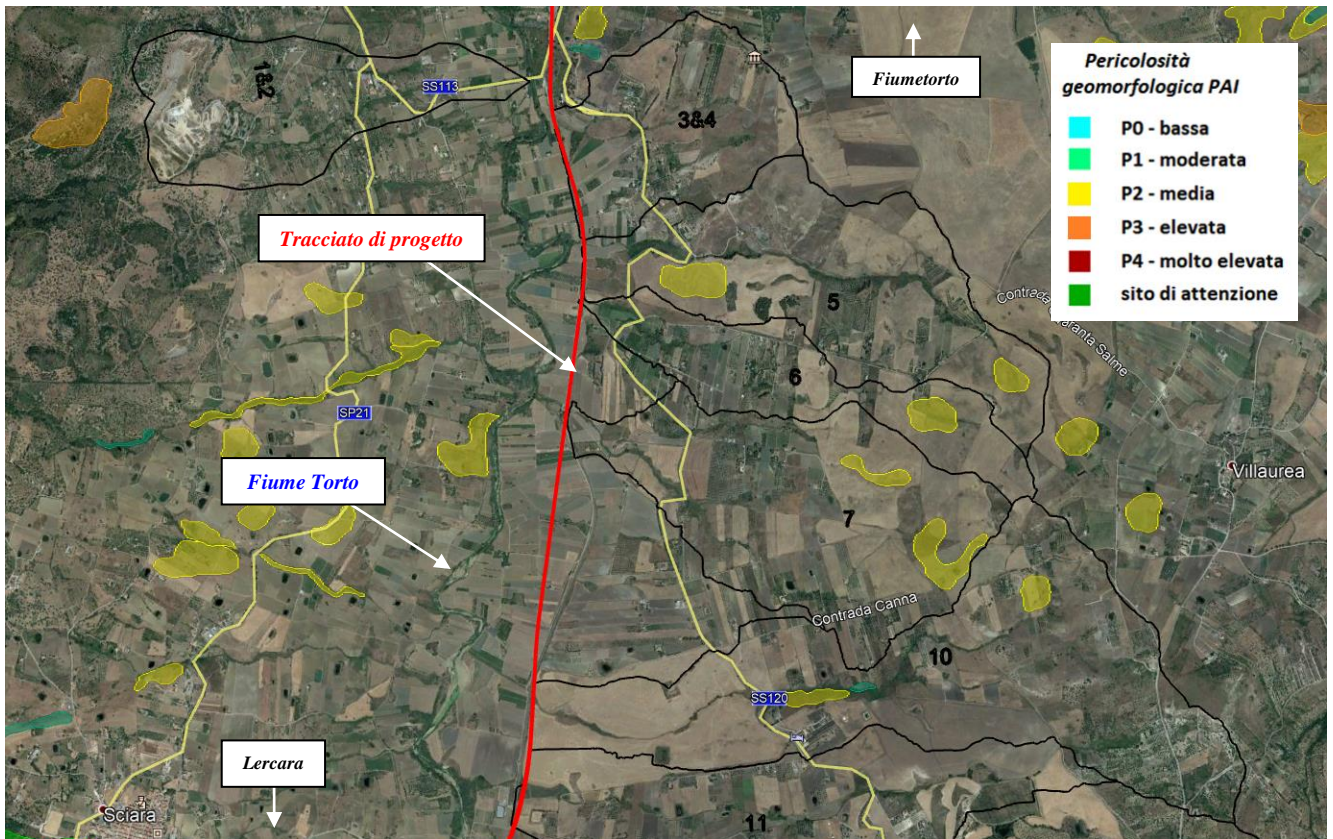


Figura 4 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini 1&2, 3&4, 5, 6, 7, 10.

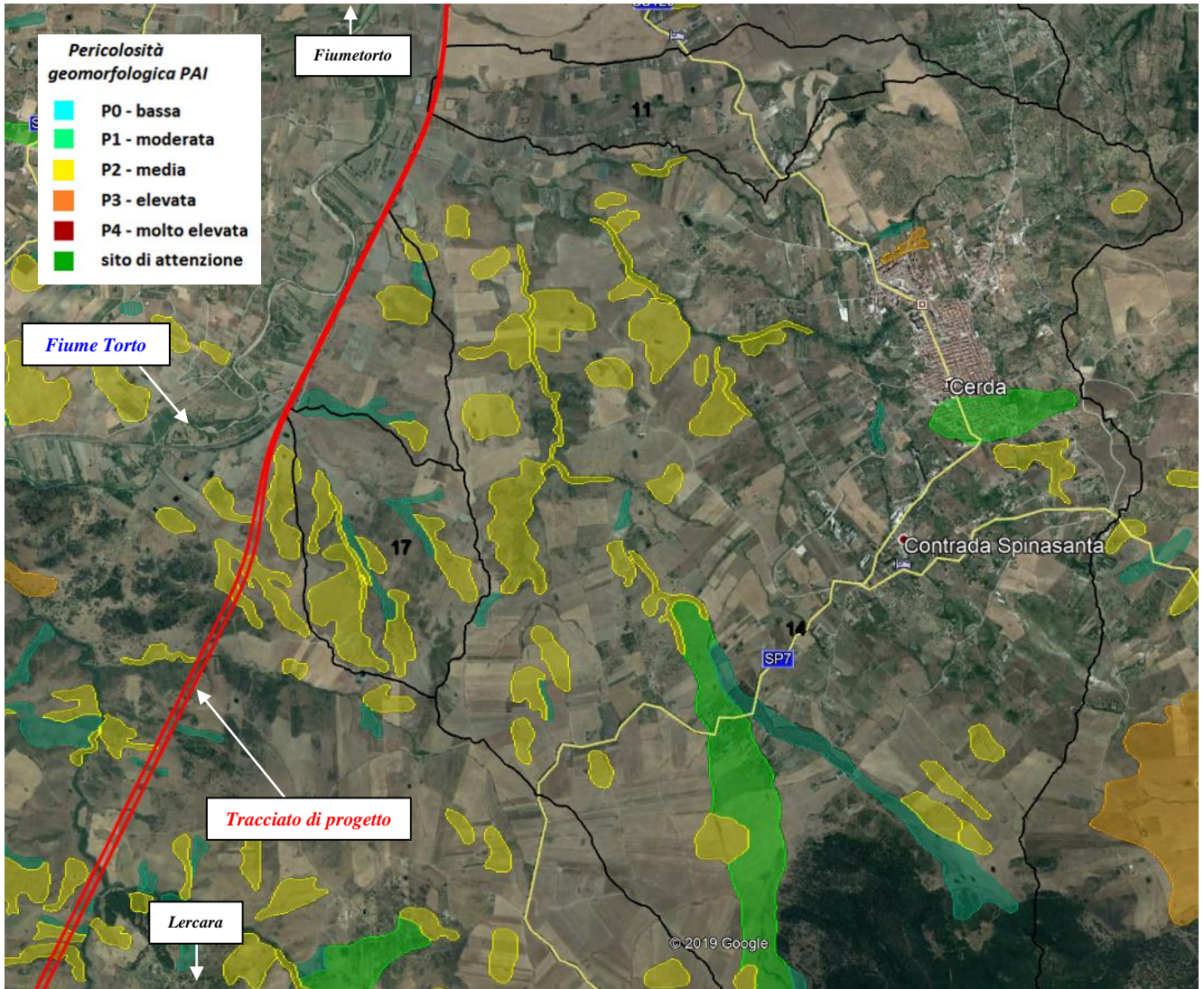


Figura 5 – Pericolosità geomorfologica P.A.I.: bacini 11, 14, 17.

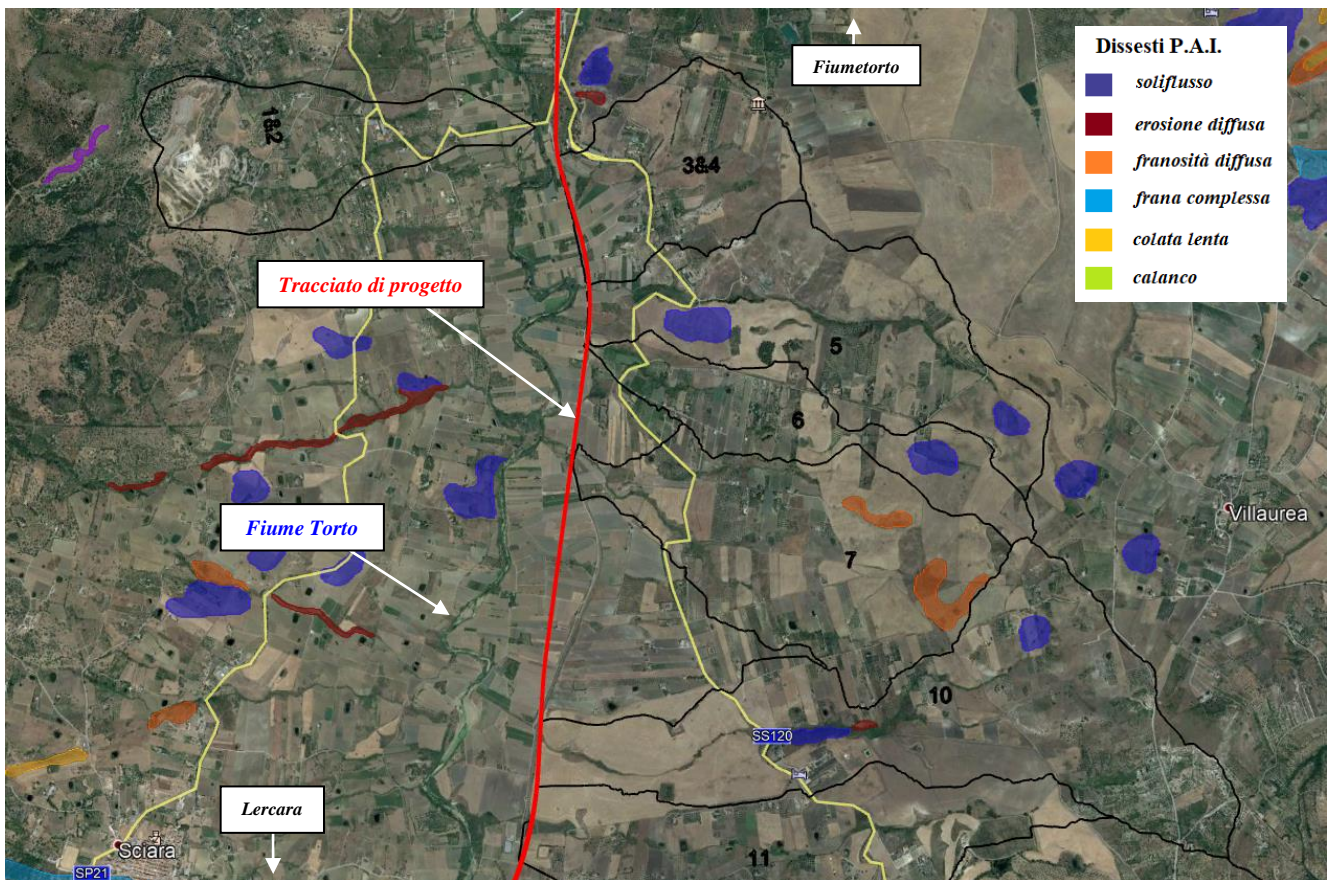


Figura 6 – Dissesti P.A.I.: bacini 1&2, 3&4, 5, 6, 7, 10.

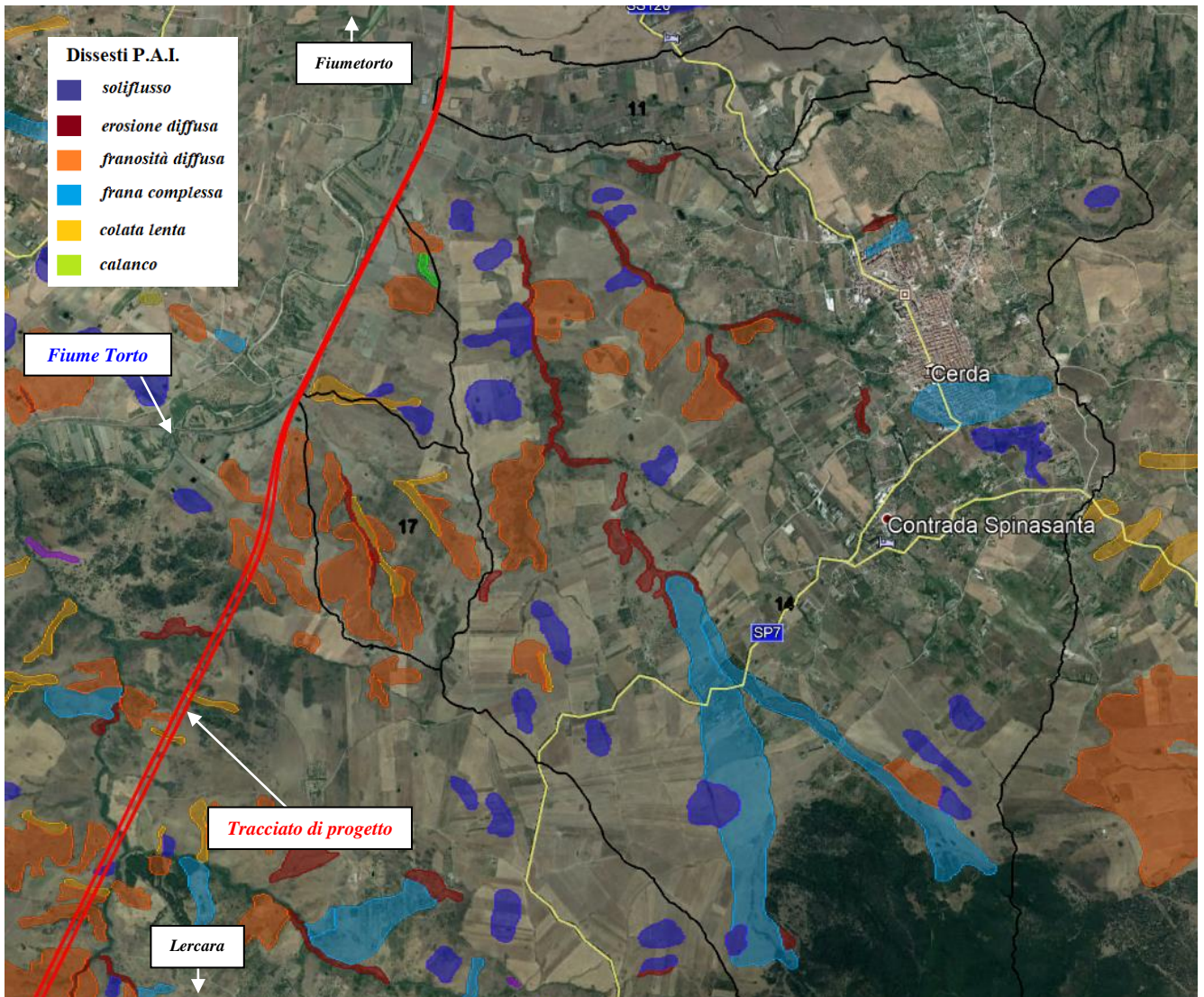
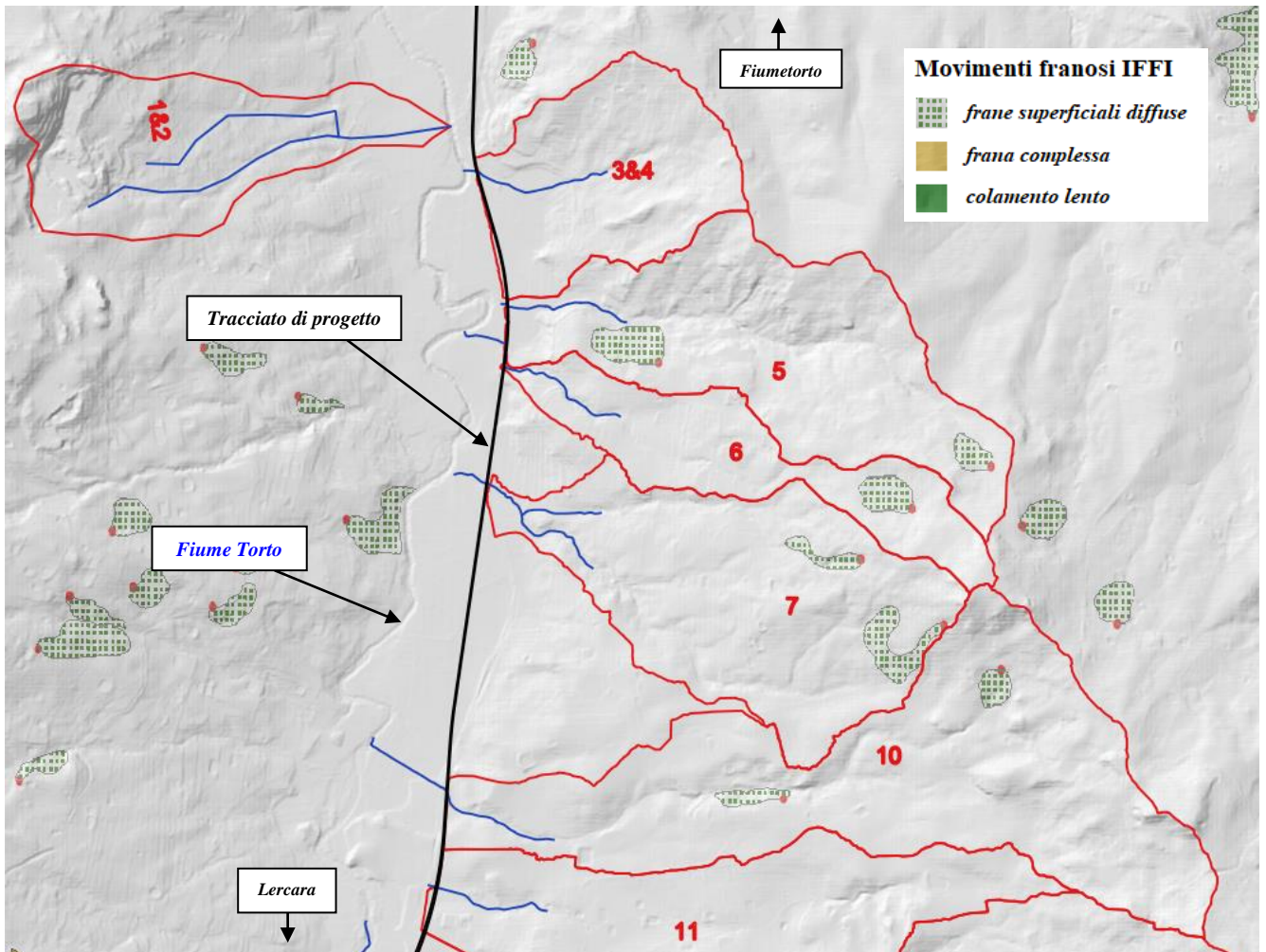


Figura 7 – Dissesti P.A.I.: bacini 11, 14, 17.

Nelle figure seguenti, si riportano invece i **movimenti franosi** catalogati nella **Banca Dati IFFI** (i.e. **Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia**), verificatisi all'interno dei sistemi “*bacino-conoide*” in esame.



**Figura 8 – Movimenti franosi Banca dati IFFI: bacini 1&2, 3&4, 5, 6, 7, 10.**

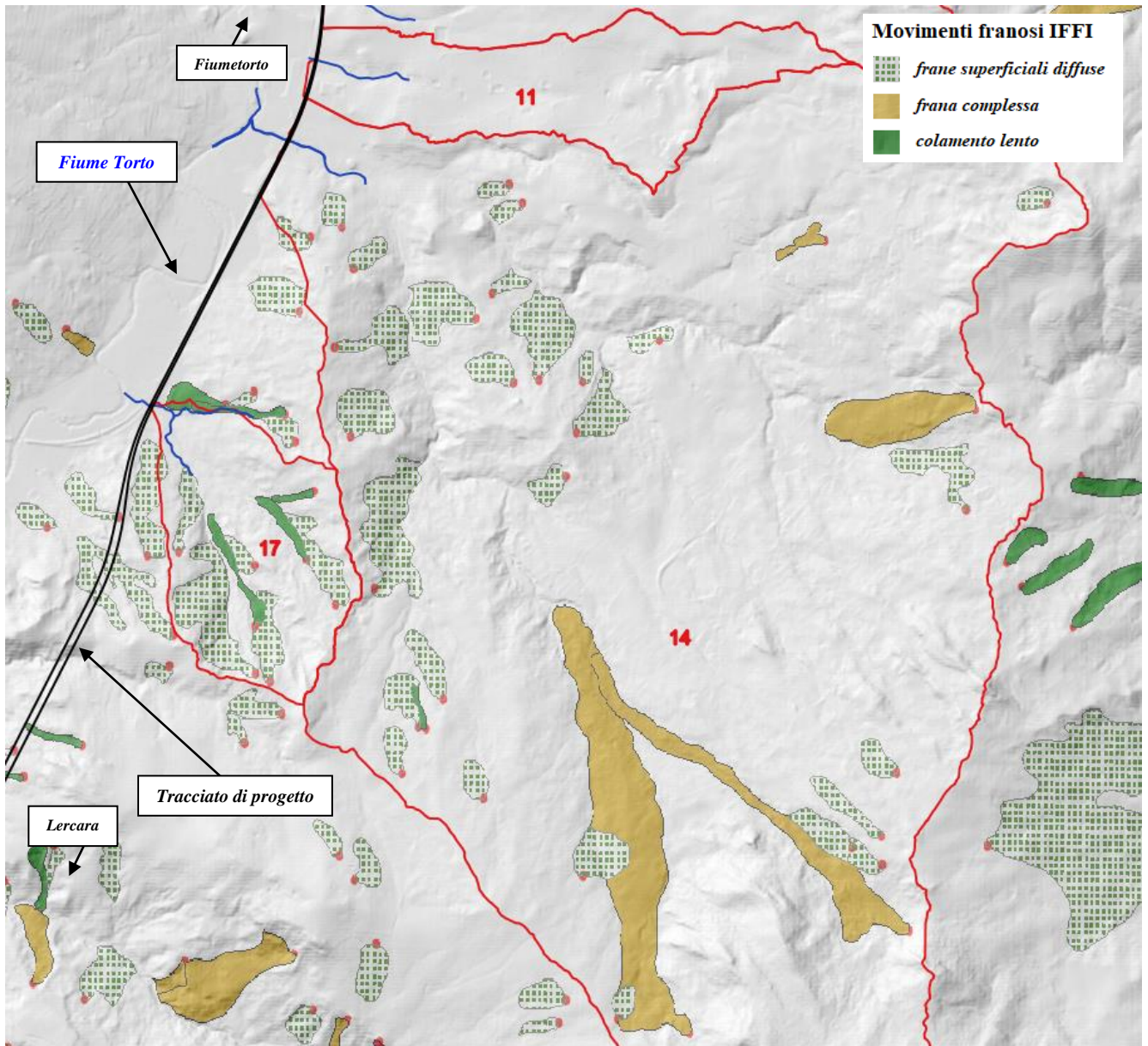


Figura 9 – Movimenti franosi Banca dati IFFI: bacini 11, 14, 17.



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

PROGETTO DEFINITIVO  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
(LOTTO 1+2)

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 09 RG	ID 00 02 002	A	15 di 33

I sistemi “*bacino-conoide*” presi in esame sono caratterizzati da aree a **pericolosità geomorfologica P0 (bassa), P1 (moderata) e P2 (media)**.

I principali dissesti (P.A.I.) sono classificati come “*soliflussi*”, “*erosione diffusa*”, “*franosità diffusa*”, “*frana complessa*” (soltanto nel sistema “*bacino-conoide*” 14, con pericolosità geomorfologica P1) e “*colata lenta*” (soltanto nel sistema “*bacino-conoide*” 17, con pericolosità geomorfologica P2 e come sito di attenzione).

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, fotointerpretazione,...) e nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2004), nonché nella Banca Dati IFFI.



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

PROGETTO DEFINITIVO  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
(LOTTO 1+2)

RELAZIONE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D.09 RG	ID 00 02 002	A	16 di 33

ID Bacino	pk	Dissesti (cartografia ITALFERR)	Dissesti (cartografia PAI)	Dissesti (Banca Dati IFFI)
1&2	2+300	corpi di frana di colamento lento (in stato quiescente)	no	no
3&4	2+625	corpi di frana di colamento lento e di scivolamento (in stato quiescente)	no	no
5	3+200	soliflussi (in stato attivo) e frane complesse (in stato quiescente)	soliflusso (in stato attivo)	frane superficiali diffuse (in stato attivo)
6	3+410	corpi di frana complessa (stabilizzata)	soliflusso (in stato attivo)	frane superficiali diffuse (in stato attivo)
7	4+050	corpi di frana complessa (stabilizzata)	franosità diffusa (in stato attivo)	frane superficiali diffuse (in stato attivo)
10	5+400	corpi di frana complessa (stabilizzata) e di frana di colamento lento (in stato quiescente)	soliflusso, erosione diffusa (in stato attivo)	frane superficiali diffuse (in stato attivo)
11	5+800	no	no	no
14	6+325	aree a franosità diffusa (in stato quiescente), corpi di frana di colamento lento (in stato attivo)	frane complesse, soliflussi, franosità diffusa, erosione diffusa (in stato attivo)	frane superficiali diffuse (in stato attivo), frane complesse (stabilizzate)
17	7+900	soliflussi e corpi di frana di colamento lento (in stato attivo)	franosità diffusa, erosione diffusa (in stato attivo), colate lente (in stato quiescente)	frane superficiali diffuse (in stato attivo), colamenti lenti (in stato quiescente)

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 spaziale 2x2 m) fornito dalla Regione Siciliana (fonte: [http://map.sitr.regione.sicilia.it/ArcGIS/services/DTM\\_2m/MapServer/WCSServer](http://map.sitr.regione.sicilia.it/ArcGIS/services/DTM_2m/MapServer/WCSServer)).

Bacino ID	pk	Area Bacino (kmq)	$H_{max}$ (m slm)	$H_{min}$ (m slm)	$H_{med}$ (m slm)	Area Conoide (kmq)	Pendenza Conoide (°)	Pendenza canale in conoide (%)
1&2	2+300	1	360.2	20.2	151.8	0.1	2.5	0.046
3&4	2+625	0.83	188.2	23.3	88.1	0.022	4	0.056
5	3+200	1.4	357.5	30	161.8	0.038	3.5	0.049
6	3+410	0.7	371.3	35.4	176.9	0.007	4.5	0.078
7	4+050	1.7	369.5	40.3	170	0.13	2.5	0.029
10	5+400	2.1	439.9	53.9	234.2	0.025	2.5	0.039
11	5+800	1.35	318.5	57.6	154.6	0.021	3.5	0.036
14	6+325	16.7	789.8	56.3	352	0.061	4	0.019
17	7+900	1.2	370.1	72.6	200.6	0.11	2.5	0.026

**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:

$$Af = c \cdot Ab^k$$

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

Nella figura seguente, sulla base del range di variabilità dei coefficienti empirici  $c$  e  $k$ , è evidenziato il campo dei valori di  $Af$  e  $Ab$  caratteristici di sistemi bacino-conoide interessati da fenomeni di trasporto di materiale

detritico verso valle. Si riportano su tale grafico 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.

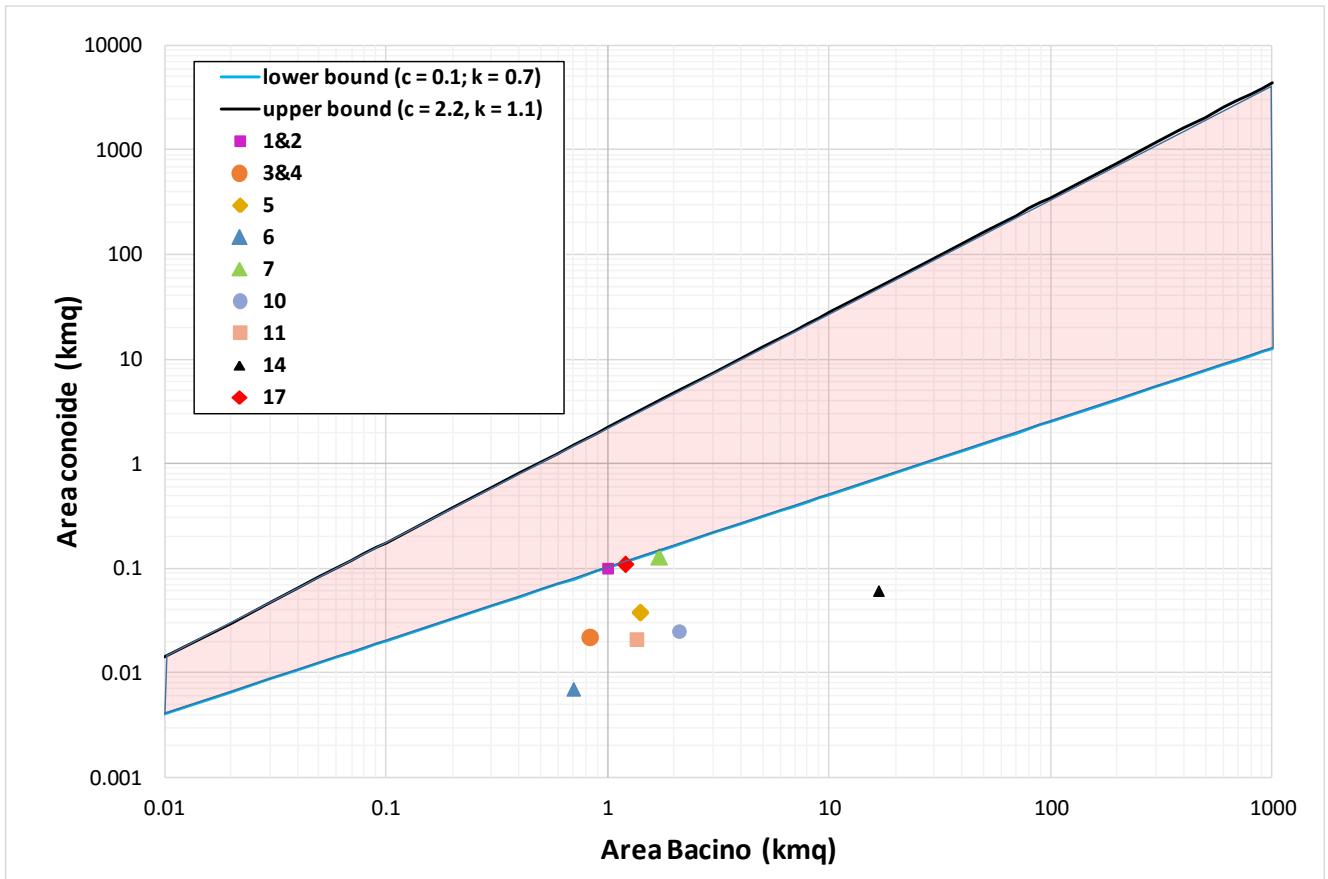



Figura 10 – Area conoide vs area bacino: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.

Sistema bacino - conoide	Area conoide (kmq)	Area Bacino (kmq)
1&2	0.1	1
3&4	0.022	0.83
5	0.038	1.4
6	0.007	0.7
7	0.13	1.7
10	0.025	2.1
11	0.021	1.35
14	0.061	16.7
17	0.11	1.2

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 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 19 di 33

Nello specifico, i valori  $A_f$  e  $A_b$  relativi ai bacini in esame ricadono tutti all'esterno del campo di valori caratteristici individuato; quelli relativi ai **bacini 1&2, 7, 17** ricadono in prossimità del “*lower bound*”.

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<sup>2</sup>);  $a$  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 tutti i punti ricadono all'interno del campo di valori caratteristici.

Le coppie di valori  $S_f$  e  $A_b$  sono riportati anche in tabella.

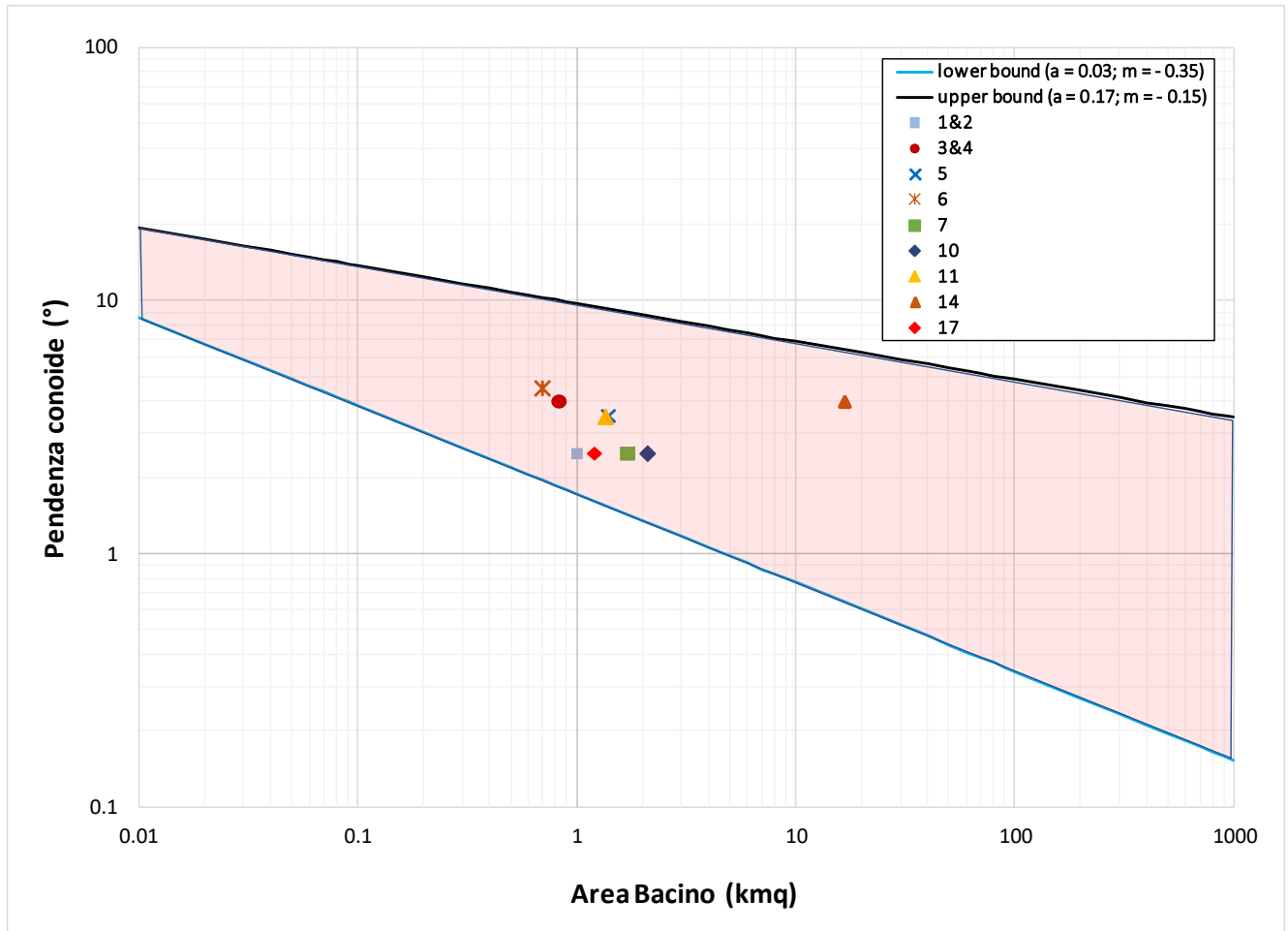


Figura 11 – Area conoide vs area bacino: valori caratteristici dei sistemi “bacino – conoide” analizzati.

Sistema bacino - conoide	Pendenza conoide (°)	Area Bacino (kmq)
1&2	2.50	1
3&4	4.00	0.83
5	3.50	1.4
6	4.50	0.7
7	2.50	1.7
10	2.50	2.1
11	3.50	1.35
14	4.00	16.7
17	2.50	1.2

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 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 21 di 33

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  $S_f$  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; tali abachi/grafici sono 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  $7.5^\circ$  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  $7.5^\circ$  e dell'indice di Melton maggiori di 0.75. Per pendenze inferiori a  $7.5^\circ$  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.

<b>Sistema bacino - conoide</b>	<b>Indice di Melton</b>
1&2	0.340
3&4	0.181
5	0.277
6	0.401
7	0.252
10	0.266
11	0.225
14	0.179
17	0.272

**Tabella 5 – Valori dell'indice di Melton dei sistemi "bacino-conoide" di interesse.**

Collocando i valori di  $R$  e  $S_f$  sull'abaco di DeSccally & Owens (2004), tutti i punti corrispondenti ai bacini in esame ricadono nel settore dei “*fluvial flows*”, ossia di correnti idriche con bassa concentrazione solida (inferiore a 0.2; in generale, valori di concentrazione solida di  $0.2 \div 0.45$  sono caratteristici di flussi iperconcentrati; mentre valori di  $0.45 \div 0.65$ , di colate detritiche; Pierson & Costa, 1987).

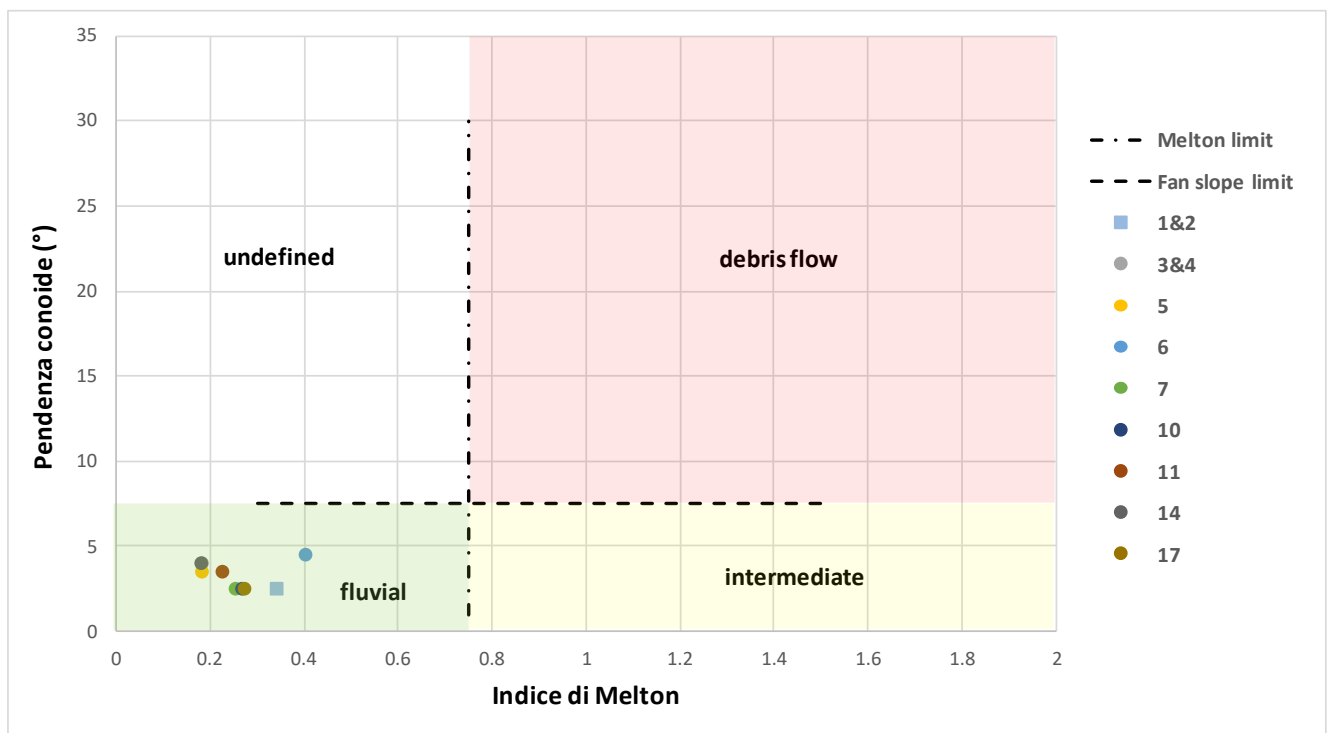


Figura 12 – Pendenza conoide vs indice di Melton: valori caratteristici dei sistemi “*bacino – conoide*” analizzati.

Relativamente alla correlazione tra *l'indice di Melton* e la pendenza del conoide, Marchi et al. (1993) hanno evidenziato che la pendenza del conoide  $S_f$  risulta influenzata principalmente dalla tipologia dei processi deposizionali piuttosto che dalle caratteristiche litologiche del bacino.

A tal proposito, gli studi condotti da D’Agostino (1996) suggeriscono che la suddivisione delle forme di trasporto può essere ulteriormente semplificata accorpando i fenomeni di trasporto solido per *debris flow* e per *debris flood* (flussi iperconcentrati) e distinguendoli dal trasporto di fondo (*bedload*). In tal modo è 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 in analisi della “*channel debris yield rate*”.

Il risultato ottenuto conferma la sostanziale validità dell'utilizzo dei due indicatori morfologici (indice di Melton e pendenza del conoide) ed permette 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.

Quindi, riportando le coppie di valori  $R$  e  $S_f$  (sopra indicati), relativi ai sistemi "bacino-conoide" in esame, sull'abaco di Marchi et al. (1993), modificato da D'Agostino (1996), si osserva che i punti corrispondenti ai **bacini 5** e **6** ricadono nel settore dei "debris flows"; quelli corrispondenti ai rimanenti bacini, nel settore dei "fluvial flows", eccetto il punto relativo al **bacino 1&2** che ricade invece sulla linea tratteggiata come sopra definita.

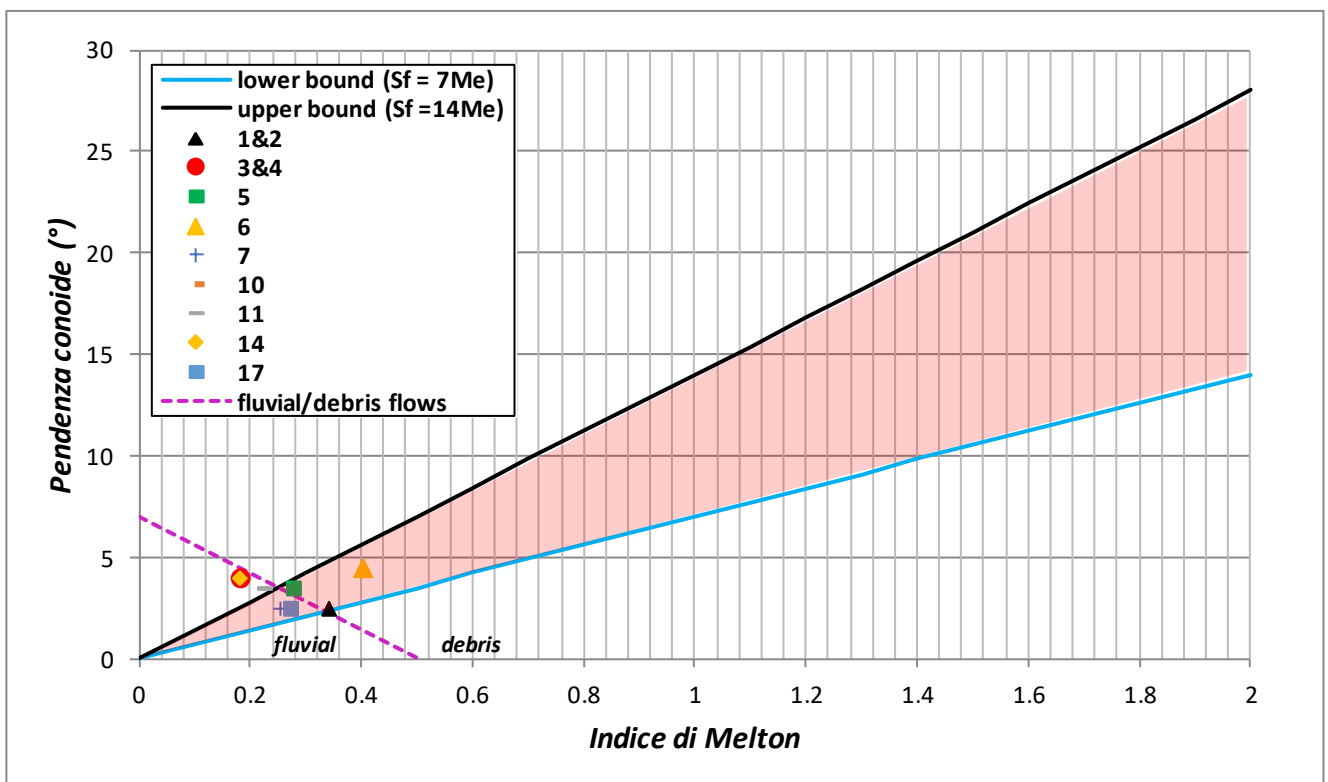


Figura 13 – Pendenza conoide vs indice di Melton (Marchi et al. 1993, modificato da D'Agostino 1996).

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 i dissesti classificati come “*corpi di frana di colamento o frane complesse in stato attivo o quiescente*” come movimenti di versante significativi e correlati al potenziale innesco di flussi detritici, è stata costruita la seguente matrice (“**X**” = **si**; “-” = **no**):

ID Bacino	1) Dissesti “corpi di frana di colamento o frane complesse in stato attivo o quiescente” (cartografia ITF)	2) Dissesti “corpi di frana di colamento o frane complesse in stato attivo o quiescente” (cartografia PAI Sicilia)	3) Dissesti “corpi di frana di colamento o frane complesse in stato attivo o quiescente” (banca dati IFFI)	4) Potenziale suscettibilità (Af vs Ab)	5) Potenziale suscettibilità (Sf vs Ab)	6) Potenziale suscettibilità (Sf vs Melton) De Dscally & Owens	7) Potenziale suscettibilità (Sf vs Melton) - Marchi	Opera in progetto
1&2	X	-	-	-	X	-	-	viabilità NV02 (pk 2+300)
3&4	X	-	-	-	X	-	-	tombino 6 m x 2.5 m (pk 2+625)
5	X	-	-	-	X	-	X	tombino 6 m x 3 m (pk 3+200)
6	-	-	-	-	X	-	X	tombino 4 m x 2.5 m (pk 3+410)
7	-	-	-	-	X	-	-	tombino 5 m x 3 m (pk 4+050)
10	X	-	-	-	X	-	-	tombino 5 m x 3 m (pk 5+400)
11	-	-	-	-	X	-	-	2 tombini 5 m x 3 m (pk 5+800, stradale e ferroviario, in serie)
14	X	X	-	-	X	-	-	2 ponti con luce 50 m (pk 6+325, stradale e ferroviario, in serie)
17	X	X	X	-	X	-	-	1 tombino 5mx2m + 1 tombino 5mx3m (in serie, pk 7+900)

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



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 25 di 33


La scelta di svolgere o meno ulteriori verifiche e approfondimenti (*VERIFICA SI/VERIFICA NO*), relativamente alla valutazione della suscettibilità dei bacini considerati a fenomeni di flussi detritici, è effettuata sulla base del seguente criterio:

- “*VERIFICA SI*” se il simbolo “**X**” ricade in almeno 4 delle voci 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7); tra queste quattro almeno una deve ricadere nelle voci 1), 2), o 3);
- “*VERIFICA NO*” altrimenti.

In ragione delle valutazioni espresse e del criterio di scelta sopra descritto, si ritiene che **soltanto il sistema bacino-conoide 17 possa essere caratterizzato da meccanismi di trasporto di materiale detritico proveniente da movimenti di versante.**

**Con riferimento ai rimanenti sistemi "bacino-conoide" analizzati ed in particolare ai relativi dissesti, si tratta per lo più di movimenti di versante superficiali/secondari, in alcuni casi anche "stabilizzati", non significativi nel caso di fenomeni ad evoluzione rapida ed improvvisa, quali colate detritiche.**

Per il **bacino 17** si è proceduto quindi all'analisi dei volumi solidi potenzialmente mobilitabili e delle relative portate *solido-liquide*, nonché alla verifica delle opere previste in progetto.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 26 di 33

#### 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 quello in esame), è possibile ricorrere alla relazione proposta da Ceriani et al. (2000):

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

con  $V$  (volume del flusso detritico) in metri cubi;  $k = 3 \div 5.4$ ;  $A_b$  = area del bacino in  $\text{km}^2$ ;  $a, b, c, d$  = 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 ma non 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, si è fatto riferimento alla relazione proposta da Mizuyama et al. (1992), risultata più cautelativa rispetto alle altre formulazioni considerate.

Di seguito, i valori di  $V$  e  $Q_d$  per il bacino 17 in esame.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3Z	00	D 09 RG	ID 00 02 002	A	27 di 33

Bacino	Formulazioni	Volume (mc)	$Q_d$ (mc/s)
17	<i>Ceriani et al. 2000; Mizuyama et al. 1992</i>	<b>36950</b>	<b>76.3</b>

**Tabella 8 – Bacino 17: volume mobilitabile ( $V$ ) e portata al colmo ( $Q_d$ ) di un potenziale flusso detritico.**

## 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 del bacino sotto esame, con un approccio di tipo monodimensionale (moto uniforme).


Nel caso dei corsi d'acqua o impluvi 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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 28 di 33

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

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

con  $\tau_{max}$  = 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;  $\rho_s$  = densità della fase solida (26-27 kN/m<sup>3</sup>);  $\varphi$  = angolo di resistenza al taglio, alla base del flusso detritico;  $d_{50}$  = diametro corrispondente al 50% di passante in peso (per flussi detritici,  $d_{50} = 3\div 10$  cm, come da studi condotti da Natale & Ghilardi, 1999; altri autori propongono la relazione:  $d_{50} = h/30$ , con  $h$  = altezza del flusso, Takahashi, 1991; 1999);  $dv/dz$  = gradiente di velocità;  $\lambda$  = 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,

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 29 di 33

Detta  $q$  ( $m^3/s/m$ ) 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;  $\rho$  = densità della fase liquida;  $\varphi$  = angolo di resistenza al taglio;  $\theta$  = pendenza media dell'asta;  $\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$ ;  $g$  = accelerazione di gravità.

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

Con riferimento al caso in esame (**bacino 17**), si considerino i seguenti valori dei parametri:

$Q_d$ (mc/s)	76.3
$Q_{liq}$ (mc/s)	22.9
$C_{max}$	0.65
$\rho_s$ (kg/mc)	2600
$\rho$ (kg/mc)	1000
$\theta$ (m/m)	0.10
$\phi$ [°]	24
$L$ (m)	5

**Tabella 9 – Valori di pendenza media dell'asta ( $\theta$ ), portata liquida di progetto ( $Q_{liq}$ ), portata di picco della colata ( $Q_d$ ), angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), per il bacino 17 sotto esame.**

L'angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ) è stato dedotto dai risultati di specifiche prove di laboratorio (prove di taglio diretto e/o triassiale CD) condotte su campioni prelevati durante i sondaggi effettuati (nello specifico, il sondaggio denominato **1S7**).

La concentrazione  $C$  del miscuglio solido-liquido è stata determinata sulla base della portata al colmo del flusso detritico ( $Q_d$ ), precedentemente valutata, e della portata liquida ( $Q_l$ ) di progetto (con tempo di ritorno di 200 anni, nel caso in esame) ricavata dallo studio idrologico annesso.

Applicando la metodologia di verifica sopra illustrata, si ottengono i risultati in termini di altezza del flusso detritico (per i valori di volume e portata al colmo valutati in precedenza), da confrontare con le dimensioni delle opere previste in progetto, nonché di velocità massima del flusso detritico, di concentrazione solida e di diametro medio del materiale solido, riportati nella tabella seguente.

Bacino ID	Opera	Larghezza opera (m)	Altezza opera, H (m)	Altezza flusso detritico, h (m)	Velocità massima del flusso detritico (m/s)	Concentrazione Solida ( )	Diametro medio del materiale solido (m)
<b>17</b>	1 tombino 5mx2m + 1 tombino 5mx3m (in serie, pk 7+900)	5	2	1.2	13.4	0.47	0.04

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

La verifica delle sezioni idrauliche delle opere in progetto risulta soddisfatta; nello specifico, l'altezza massima stimata del potenziale flusso detritico si attesta a **1.2 m**, compatibile con le dimensioni delle opere idrauliche in progetto (**altezza minima = 2 m**).

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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 31 di 33

## 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; nello specifico, il bacino denominato **17** (alla pk 7+900).

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, in corrispondenza del bacino individuato.

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 RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 32 di 33

## 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					
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE (LOTTO 1+2)					
RELAZIONE	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RG	DOCUMENTO ID 00 02 002	REV. A	FOGLIO 33 di 33

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.