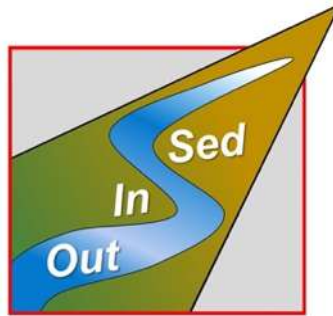




SedInOut

***Sviluppo di una metodologia di gestione del rischio
tramite la valutazione della disponibilità di
sedimento al trasporto in massa in ambiente
montano***

**Attività congiunte
(WP 3, WP 4, WP 5, WP 6, WP 7)**

**Paolo Frattini, Gianluca Sala, Giovanni Crosta, Camilla
Lanfranconi**

Università degli Studi di Milano - Bicocca

Contenuti

1.	WP3-Telerilevamento dei versanti e definizione delle aree pilota.....	3
2.	WP4 - Rilevamento di dettaglio nelle aree pilota	6
	2.1 Fotointerpretazione	6
	2.2 Rilevamento sul terreno	13
3.	WP5 - Caratterizzazione dei sedimenti.....	26
	3.1 Rio Cucco	26
	3.2 Torrenti in sinistra idrografica del Fiume Fella	33
	3.3 Rio Solfo.....	46
	3.4 Rio Drigniza	56
4.	WP6 - Integrazione ed analisi dei dati	62
	4.1 Quantificazione del volume dei sedimenti.....	62
5	WP7 - Elaborazione Schede Tecniche, Manuali e Linee Guida	70
	5.1 Possibile uso dei sedimenti.....	70
	5.2 Applicativo sedimenti + uso dei sedimenti	78
	5.3 Normativa.....	83
6	Bibliografia.....	85

1. WP3-Telerilevamento dei versanti e definizione delle aree pilota

Nella regione Friuli-Venezia Giulia sono state selezionate le seguenti cinque aree pilota (**Figura 1**).

- *bacino del Rio Cucco, bacino del Fella sinistro* (denominato Fella sx in questa relazione) e *bacino del Rio Solfo*, in località Malborghetto (UD);
- *bacino di Lusevera (Rio Drigniza)*, nel comune di Lusevera (UD);
- *Tolina*, nel comune di Froni di Sopra (UD).

Tutti i casi studio selezionati presentano problemi di sovralimentazione della rete idrografica da parte dei detriti di versante.

Il bacino del Rio Cucco è il sito meglio documentato in quanto esistono numerose pubblicazioni e relazioni che descrivono l'area e gli eventi accaduti negli anni passati (Cavalli et al, 2007). Il bacino del Rio Cucco è situato sul fianco destro della valle del fiume Fella; le litologie affioranti nella parte superiore appartengono alla Formazione di San Cassiano, una dolomia e un calcare triassico altamente fratturati (Marchi et al., 2009), mentre la parte inferiore presenta dolomie e calcari dolomitici massicci o ben stratificati (Carulli, 2006).

Il bacino del Fella Sx si trova sul versante opposto della valle rispetto al Rio Cucco, alla sinistra del fiume Fella. Anche in questo caso, il bacino è già stato documentato da precedenti relazioni. Dal punto di vista litologico, presenta rocce appartenenti alla Formazione di Bellerophon, come il Membro di Dolomia e alcuni calcari neri, e alla Formazione di Werfen composta da litotipi calcarei e terrigeni.

Il bacino del Rio Solfo si trova a ovest di Fella sx. È il secondo più grande tra i bacini selezionati nella regione. È caratterizzato da una formazione compresa tra il Triassico superiore e il Permiano superiore. Nella parte più alta del bacino sono presenti rocce appartenenti alla Dolomia Principale e rocce basali come calcari, scisti, tufiti, calcari nodulari silicei e depositi terrigeno-tufacei e piroclastici. Nella parte inferiore si trovano rocce originate da depositi di piattaforma carbonatici e misti carbonatico-clastici come dolomie, calcari, calcari oolitici, calcari micritici e intercalazioni di scisti (Carulli, 2006).

Il bacino di Lusevera (Rio Drigniza) corrisponde a un affluente del fiume Torre. Da un punto di vista geologico il bacino si trova quasi interamente nella Dolomia Principale, e solo nella parte più alta interseca la formazione Calcare Del Dachstein. Si tratta di rocce originate da depositi di piana di marea, principalmente dolomie e calcari micritici/stromatolici (Carulli, 2006). Questo bacino produce una maggiore quantità di sedimenti e detriti rispetto agli altri bacini studiati.

Il bacino del Tolina si trova vicino al confine con il Veneto ed è un affluente del fiume Tagliamento, di cui si trova sulla sponda sinistra. È il bacino più grande ed è composto da due sottobacini. Può anche essere diviso in due settori, settentrionale e meridionale, dal thrust della Linea Sauris, immergente verso sud. Nella parte settentrionale si trovano rocce calcareo-terrigene appartenenti alla Formazione di Werfen, unità clastiche silt-arenacee-conglomeratiche, basalti vulcanoclastici, rocce originate dal deposito basale della Formazione di Wengen (calcari, marne e arenarie) e dolomie appartenenti alla Dolomia dello Scilar. Nella parte meridionale si trovano: calcari, marne e arenarie della Formazione di Wengen; calcari e dolomie della Formazione della Dolomia San Cassiano; l'unità Calcari Neri (calcari e calcari marnosi); arenarie quarzose (unità Arenarie Violette) e calcari marnosi e marne grigie della Formazione Durrestien (Venturini et Al., 2002, Paronuzzi et al., 2008).

Per ogni caso di studio è stato costruito un database dei dati disponibili, composto da foto storiche areali, ortofoto (AGEA: 2011 e 2014, CGR: 1998, 2003 e 2007, LAS 2008-2010), PCR lasercan, modelli topografici digitali (DTM), carta tecnica regionale (CTR) e carta geologica 1:150000, opere di difesa e schede di eventi franosi passati. Per alcuni casi studio (Rio Cucco, Fella sx e Tolina) sono disponibili anche relazioni e pubblicazioni.

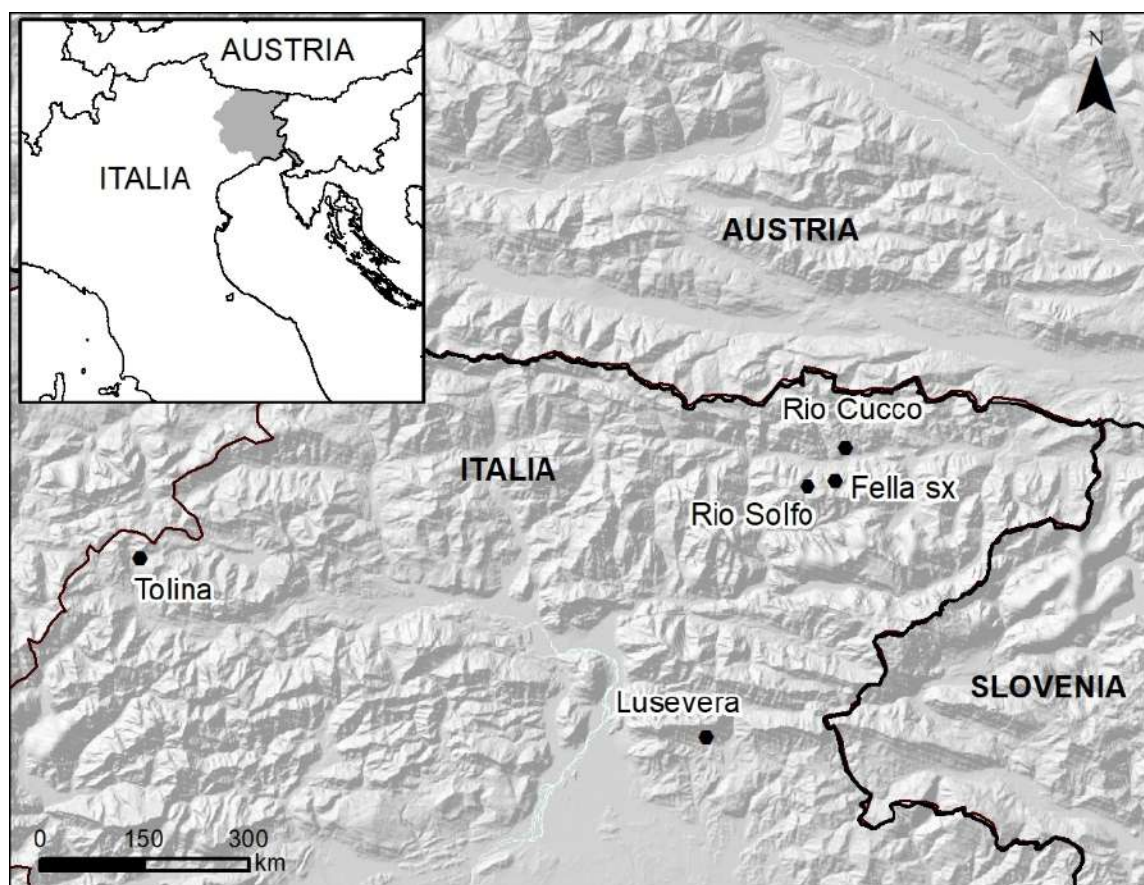


Figura 1. Aree pilota nella regione Friuli-Venezia Giulia.

2. WP4 - Rilevamento di dettaglio nelle aree pilota

Le principali attività realizzate per questo WP sono state:

1. rilevamento con drone;
2. fotointerpretazione dei casi di studio;
3. indagini sul campo.

I rilievi UAV sono stati effettuati dalla Regione FVG utilizzando un drone DJI Matrix 300 e volando ad una elevazione di circa 30 m, ad ottenere una risoluzione al suolo di circa 2 cm. I dati UAV sono stati utilizzati per determinare la granulometria del carapace dei depositi, utilizzando una procedura semiautomatica.

2.1 Fotointerpretazione

La fotointerpretazione è stata effettuata in laboratorio tramite analisi delle ortofoto disponibili presso la Regione FVG. In particolare, è stata effettuata una fotointerpretazione sia dei depositi quaternari sia dei movimenti di versante. Per quanto riguarda i depositi di versante si sono distinte le seguenti categorie:

- **Cono detritico:** forma di accumulo di forma conica ai piedi di torrenti laterali dovuta a processi prevalenti di debris flow
- **Cono misto:** forma di accumulo di forma conica dovuta a processi di debris flow e di crollo. Questi cono si trovano frequentemente alla base di pareti rocciose in corrispondenza di torrenti
- **Deposito di falda /talus di detrito:** forma di accumulo alla base di pareti rocciose dovuta a processi di crollo
- **Deposito glaciale, deposito alluvionale, deposito lacustre**

Per i movimenti di versante si sono distinte le seguenti categorie:

- **Debris flow:** colamento rapido di detriti, acqua e terreno
- scorrimento: frana di scivolamento rotazionale o traslazionale
- **Frane superficiale:** frana di scivolamento rotazionale o traslazionale di limitato spessore (soil slip, soil slump)
- **Frana di crollo:** frana caratterizzata da distacco di volumi rocciosi su versanti subverticali
- **Parete di crollo:** area di potenziale distacco di fenomeni di crollo. L'accumulo di tali fenomeni rientra nei depositi di cui sopra.
- **Calanco s.l.:** forma di erosione concentrata analoga ai calanchi s.s.
- **Erosione:** zona di erosione diffusa

2.2.1 Rio Cucco

Il bacino del Rio Cucco (**Figura 2**) può essere suddiviso in due sottobacini. Quello occidentale presenta un'estensione maggiore e si differenzia da quello orientale per la porzione superiore, costituita da pendii moderatamente ripidi (20° - 30°) e caratterizzati da una copertura del suolo sottile. L'area intermedia del bacino occidentale e quella più alta del bacino orientale, così come la parte inferiore di entrambi, sono abbastanza simili e caratterizzati da versanti molto scoscesi con ripide pareti rocciose soggette a caduta massi, che generano ghiaioni da cui possono innescarsi flussi detritici. I depositi più grandi sono costituiti da un misto di colate fluviali e detritiche, mentre in prossimità della base del pendio i depositi predominanti sono di tipo talus, deposito misto e conoide detritica. Lungo il bacino si possono trovare anche tracce di altri movimenti in massa come scivolamenti, colate di fango o frane poco profonde.

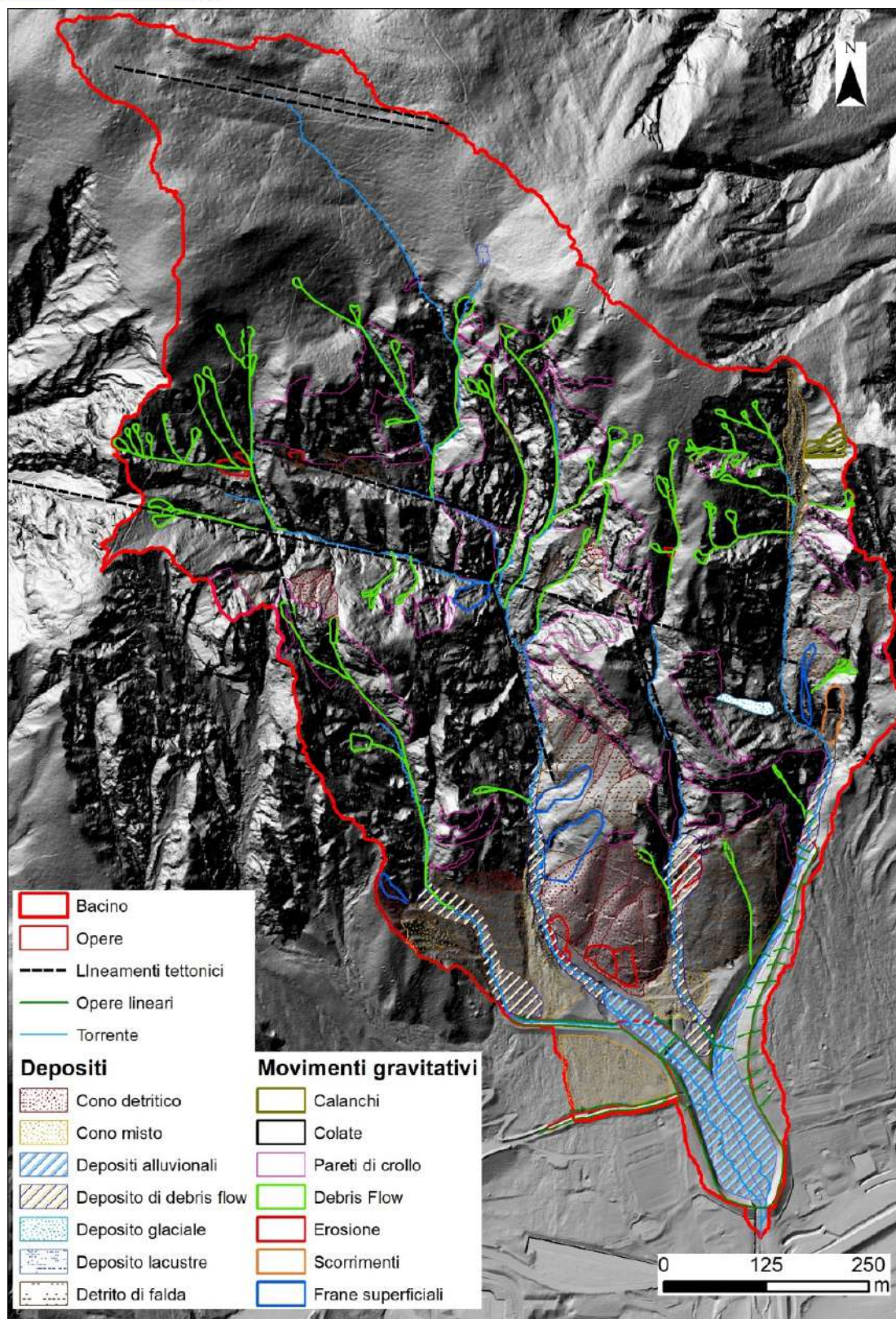


Figura 2. Fotointerpretazione del bacino del Rio Cucco.

2.1.2 Torrenti in sinistra idrografica del Fiume Fella

Il bacino di Fella sx (**Figura 3**) è costituito da due bacini. Si trova sul versante opposto della valle e si differenzia per la copertura vegetale più fitta rispetto al Rio Cucco. Le quote più alte dei due bacini sono costituite da pareti rocciose soggette a caduta massi. Le colate detritiche sembrano essere la tipologia di frana che più frequentemente interessa questi bacini. Anche la maggior parte dei depositi è originata da questo tipo di movimenti gravitativi.

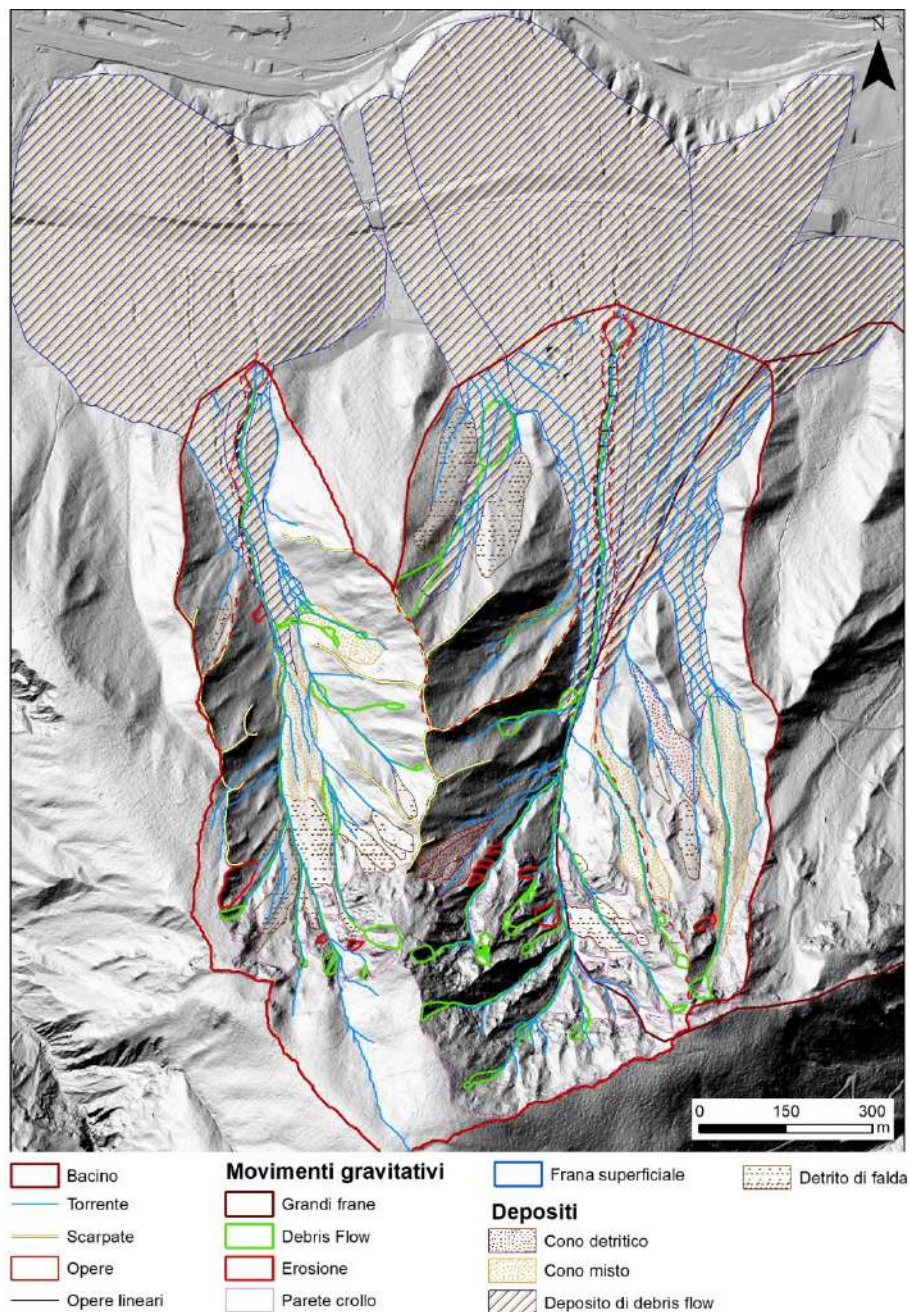


Figura 3. Fotointerpretazione del bacino di Fella sx.

2.1.3 Rio Solfo

Il bacino del Rio Solfo (**Figura 4**) mostra una copertura vegetale simile a quella del Fella sx. Frane poco profonde, scivolamenti ed erosioni sono comuni lungo le sponde del canale, mentre nelle parti più alte si incontrano frane di vario tipo e più frequentemente, colate detritiche. I depositi più grandi si trovano alla base delle pareti rocciose e consistono in talus e conoidi detritici. Altri tipi di depositi che si possono trovare in questo bacino sono quelli glaciali e lacustri.

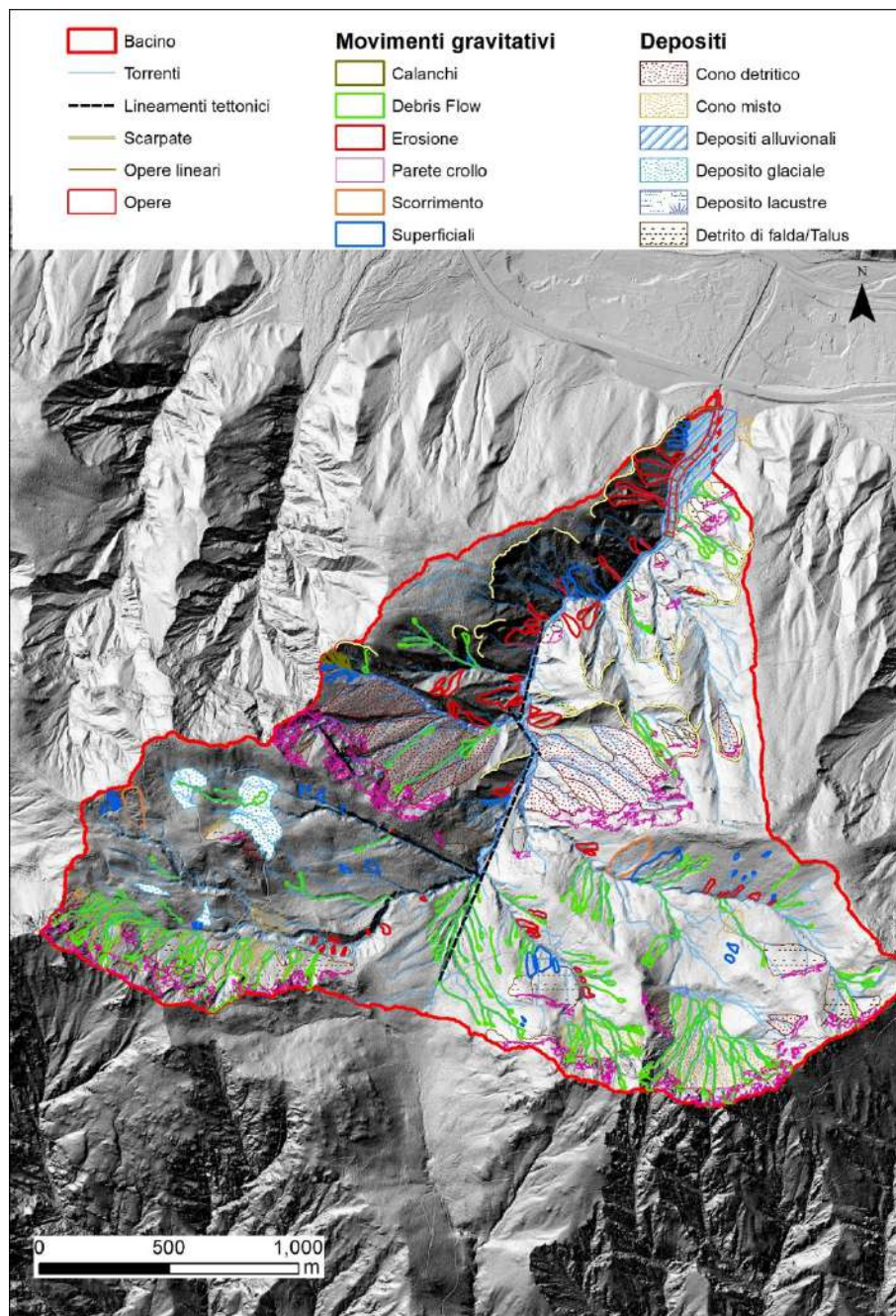


Figura 4. Fotointerpretazione del bacino di Rio Solfo.

2.1.4 Rio Drigniza

Il bacino di Lusevera (**Figura 5**) presenta una grande quantità di detriti nell'area di deposito che è un deposito misto originato da colate detritiche e deposizioni fluviali. Colate detritiche e crolli in roccia sono la fonte di questi depositi. La parte inferiore e occidentale del bacino presenta un'elevata erosione del fianco del canale.

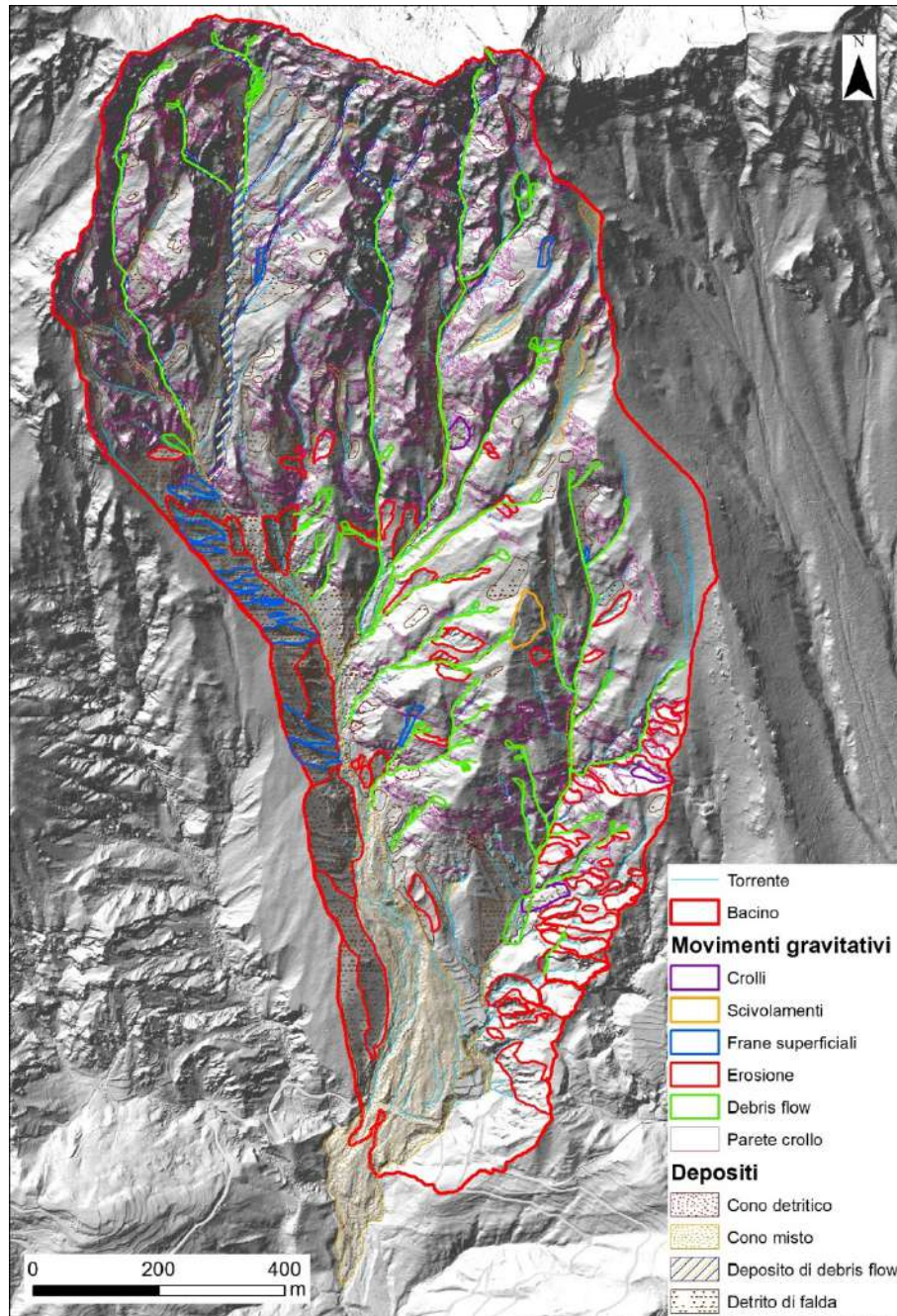


Figura 5. Fotointerpretazione del bacino del Rio Drigniza a Lusevera (UD).

2.1.5 Rio Tolina

Il bacino di Tolina (**Figura 6**) è il più grande ed è composto da due sottobacini. Il sottobacino occidentale ha un'altitudine maggiore e presenta una maggiore quantità di detriti. In quest'area sono presenti pareti rocciose, soggette a caduta massi, caratterizzate dalla presenza di talus e debris fan, e subordinate colate detritiche originate da questi depositi, in corrispondenza della base. Le valli più alte di questo bacino presentano rockglaciers. Alle quote più basse di questo bacino, dove lo spessore del suolo è più spesso, sono frequenti frane poco profonde, zone di erosione e, soprattutto, colate detritiche. Si possono trovare anche evidenze di grandi frane. Nel sottobacino orientale, crolli in roccia e colate detritiche sono i movimenti gravitativi più frequenti; i depositi più comuni sono il talus, il deposito misto e la conoide detritica.

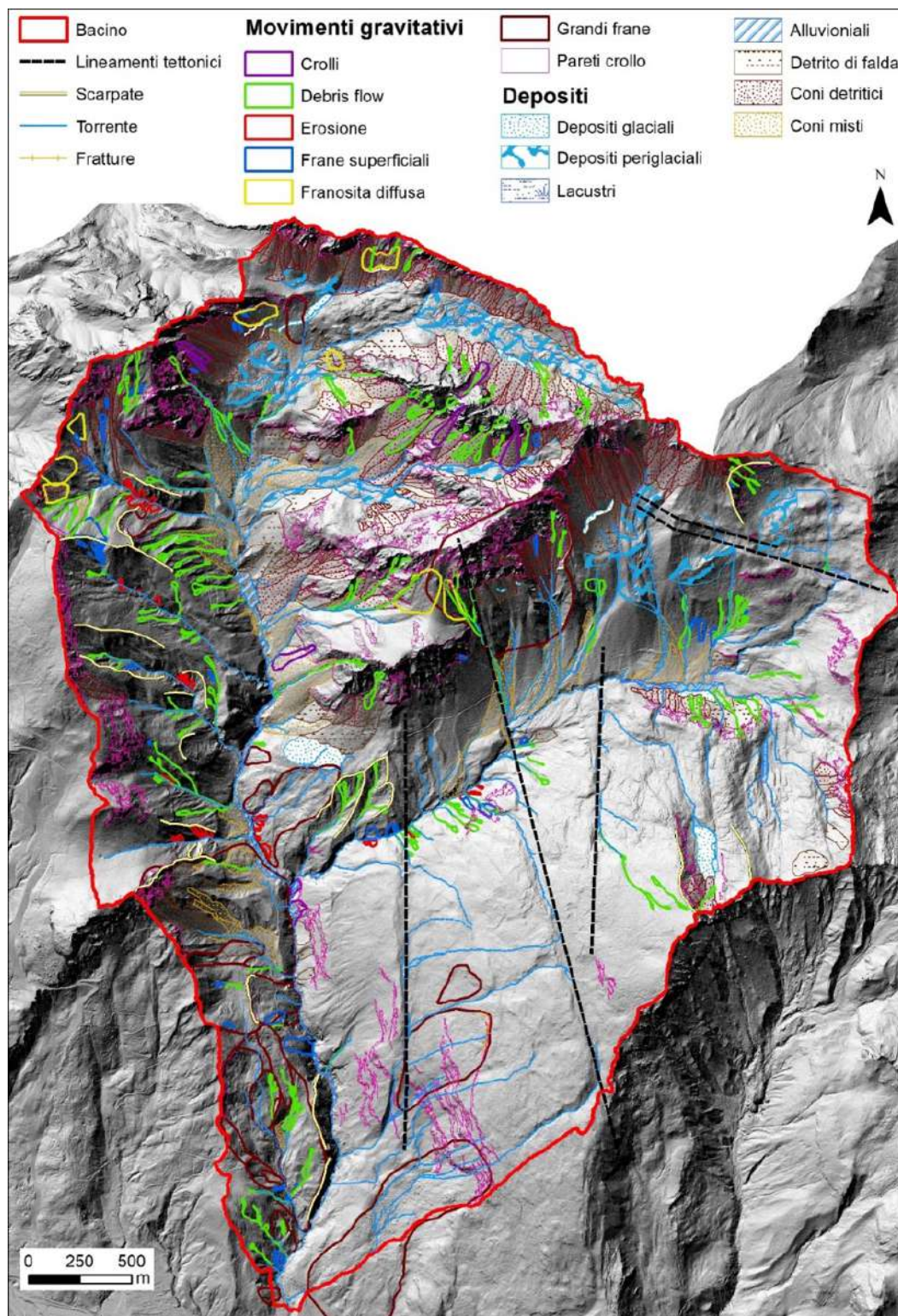


Figura 6. Fotointerpretazione del bacino del Rio Tolina a Forni di Sopra (UD).

2.2 Rilevamento sul terreno

Sono stati effettuati tre rilievi sul terreno: il primo nell'ottobre 2020, il secondo nel maggio 2021 e il terzo a maggio 2022. Durante il primo rilievo nell'ottobre 2020, è stata svolta un'attività di terreno preliminare per definire una metodologia di indagine da applicare per le future attività di campo nelle aree dei casi studio. Sono stati indagati i tre bacini in località Malborghetto (Rio Cucco, Fella sx e Rio Solfo), e uno nel comune di Lusevera. Nella prima giornata si è fatto un rilievo nei bacini Cucco e Fella; le caratteristiche geomorfologiche, idrografiche e geologiche di questi due bacini hanno permesso di definire una metodologia di indagine sul campo, attraverso l'utilizzo di diverse schede, in grado di caratterizzare tutte le eterogeneità delle aree. Nei giorni successivi, queste schede sono state testate, implementate, modificate e validate negli altri siti (vedi WP7). Nella settimana dal 24 al 28 maggio 2021 è stata effettuata una seconda indagine sul campo per iniziare la caratterizzazione dei bacini. I bacini situati vicino a Malborghetto (UD) sono stati completamente caratterizzati. Sono stati inoltre raccolti diversi campioni per ulteriori indagini di laboratorio e che, integrati con la fotointerpretazione, permetteranno di identificare la potenziale fonte di sedimenti e la disponibilità di detriti. Nell'attività di maggio 2022 sono stati prelevati ulteriori campioni da tutte le aree di studio per eseguire analisi Los Angeles in laboratorio e si è portata a completamento l'attività di terreno del bacino del Rio Tolina. Per i rilevamenti sul terreno sono state utilizzate delle apposite schede di rilevamento.



Figura 7. Immagini delle indagini di campo: a sinistra un'immagine della prima indagine di campo nel bacino del Fellsa sx, mentre a destra un'immagine della seconda indagine di campo nel bacino del Rio Cucco.

2.2.1 Schede di rilevamento

L'indagine sul campo per la caratterizzazione dei processi attivi e della disponibilità di sedimenti si concentra su due aspetti. In primo luogo, sulla caratterizzazione quali-quantitativa dei sedimenti, che viene effettuata preferibilmente in corrispondenza di depositi significativi all'interno di bacini di sedimentazione o lungo l'alveo. Il secondo aspetto riguarda le caratteristiche geomorfologiche dei principali corsi d'acqua montani, al fine di stimare i sedimenti rimovibili in alveo e valutare i processi erosivi lungo le sponde. Al fine di standardizzare le procedure di indagine sul campo, sono state quindi predisposte due schede di rilevamento: 1) per il rilievo dei depositi sedimentari; 2) per il rilievo lungo i corsi d'acqua montani. La prima delle due schede di rilevamento sarà descritta nel WP5.

BACINO IDROGRAFICO:				ID BACINO:		NOME CANALE:		ID ASTA:				DATA:						
		ALVEO				LITOLOGIA				SPONDE		VEGETAZIONE		APPORTO SEDIMENTO LATERALE				
sub-ID	Quota inf. /GPS	Quota sup. /GPS	Tipo (1)	Forma (2)	larghezza riempimento [m]	spessore riempimento [m]	Litologia prevalente	Litologia subordinata	Ø modale [m]	Ø 95th [m]	Sponda dx (3)	Sponda sx (3)	detrito veg. (4)	Percent. detrito veg. (%)	vegetaz. viva (5)	Tipo (6)	Connettività (7)	Volume [m³]
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		

1 1: In roccia
2: In detrito
3: Tombinato
4: Canalizzato

2 T: trapezio
V:
R: rettangolare

3 1: deposito di versante
2: in erosione
3: Roccia
4: Artificiali

4 0: No
detrito veg. Prevalente
1: < 0.3m
2: < 1m
3: > 1m

5 4: Alberi in alveo
5: Alberi su sponde
6: Arbusti in alveo
7: Arbusti su sponde

6 1: Frana superficiale (quota)
2: Frana profonda (quota)
3: Erosione accelerata
4: Sovralluvionamento
5: Debris flow
6: Talus di crollo
7: Torrente con detrito
8: Torrente senza detrito
9: crolli lungo il tratto
10: accumulo di detriti

7 1: Connesso
2: Disconnesso
3: Parzialmente discon.

Figura 8. Prima parte della scheda di rilevamento.

sub-ID	OSTACOLI	OPERA 1		OPERA 2		OPERA 3		OPERA 4		OPERA 5		OPERA 6		ID scheda detrito	NOTE
	presenza ostacoli (9)	Tipo (10)	Stato (11) (S)	Tipo (10)	Stato (11) (S)	Tipo (10)	Stato (11) (S)	Tipo (10)	Stato (11) (S)	Tipo (10)	Stato (11) (S)	Tipo (10)	Stato (11) (S)		
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															

9	1. Morene
	2. Fan
	3. Conoide
	4. Terrazzi fluviali
	5. Erglie contenim.
	6. Vasche di sedim.
	7. Attraversamenti
	8. Vegetazione

10	O1: Briglia
	O2: Soglia
	O3: Traversa
	O4: Repelente/pennello
	O5: Argine
	O6: Difesa spondale in ds
	O7: scogliera in massiccio
	O8: Gabionata
	O9: Selettione di fondo
	O10: Vasca di espansione
	O11: Tombinatura
	O12: Ponte

11	O1: Funzionante
	O2: danno funzionale
	O3: danno strutturale
	O4: Non funzionante

Figura 9. Seconda parte della scheda di rilevamento.

L'indagine viene effettuata percorrendo l'alveo del fiume e suddividendolo in tratti omogenei dal punto di vista geomorfologico. Per ogni tratto viene compilata una scheda di rilevamento.

In particolare, il rilievo è suddiviso in sette parti: 1) delimitazione del tratto omogeneo; 2) descrizione dell'alveo; 3) descrizione della litologia; 4) descrizione delle sponde; 5) descrizione della vegetazione; 6) descrizione dell'apporto sedimentario laterale, 7) presenza di ostacoli e opere idrauliche.

1 - Delimitazione del tratto omogeneo. L'identificazione e la mappatura dei tratti omogenei (Figura 10) viene effettuata sul campo attraverso il giudizio di esperti, tenendo conto di alcuni criteri, come la morfologia dell'alveo e dei versanti, le caratteristiche delle sponde e la presenza di processi geomorfologici responsabili di un possibile apporto di sedimenti. Le dimensioni dei tratti omogenei variano tipicamente da poche decine di metri fino a circa 100 m nei fiumi uniformi.



Figura 10. Esempio di fiume di montagna suddiviso in tratti omogenei. In questo caso, la prima suddivisione è dovuta alla presenza di un'opera idraulica, mentre le seconde sono dovute a cambiamenti nella morfologia del fianco del fiume.

2 - Descrizione dell'alveo. L'alveo del tratto omogeneo deve essere caratterizzato in termini di forma (**Figura 11**), tipo di materiale (roccioso, detritico, canalizzato), larghezza del riempimento detritico e spessore del riempimento. La stima di queste ultime due caratteristiche è fondamentale per effettuare una valutazione sul campo dei sedimenti disponibili in alveo, potenzialmente rimobilizzabili.



Figura 11. Esempio di alvei rilevati nei bacini di prova: a) a V con detriti; b) a forma trapezoidale con detriti; c) a forma trapezoidale canalizzata.

3 - Descrizione della litologia e delle dimensioni dei blocchi. La descrizione della litologia viene effettuata attraverso stime su campioni manuali. In particolare, nella scheda viene riportata la litologia prevalente e le eventuali litologie subordinate. Per quanto riguarda le dimensioni dei blocchi, la scheda richiede la stima del lato intermedio dei blocchi di dimensioni modali, considerando solo la frazione grossolana, cioè quelli con asse intermedio > 6 cm. La dimensione del blocco più grande viene fatta escludendo eventuali outlier nella distribuzione che non sarebbero rappresentativi del deposito.



Figura 12. Esempio di deposito detritico nell'alveo di un fiume, di natura prevalentemente calcarea. La dimensione modale della frazione grossolana (> 6 cm sull'asse mediano) è evidenziata in rosso, mentre il blocco in blu è identificato come il blocco più grande, ad eccezione degli outlier.

4 - Descrizione delle sponde. Si richiede di descrivere la tipologia sia della sponda destra che della sponda sinistra. Le categorie sono: deposito di versante; in erosione, in roccia e incanalato. Nelle note si può aggiungere un'eventuale misura o stima dell'altezza della sponda.



Figura 13. Esempi di sponde descritte durante l'indagine: a) sponda sinistra in roccia, sponda destra in deposito di versante (Rio Cucco); b) sponda in erosione (Rio Drigniza).

5 - Descrizione della vegetazione. È necessario osservare sia la presenza di detriti vegetali in alveo sia la presenza di vegetazione viva all'interno dell'alveo e lungo le sponde. Per i detriti vegetali, la scheda di rilevamento richiede una stima della percentuale in volume e della lunghezza modale dei detriti vegetali (< 0,3 m, 0,3 - 1 m, > 1 m).

6 - Descrizione dell'apporto di sedimenti laterali. La presenza di processi di sponda responsabili del potenziale apporto di detriti è di grande importanza per caratterizzare la disponibilità di sedimenti. Per ogni sorgente presente in ogni tratto omogeneo, è necessario descrivere il tipo di sorgente, il grado di connettività (connessa, non connessa, parzialmente connessa) e il volume di sedimenti. Per quanto riguarda le tipologie, sono state identificate 10 categorie: frane superficiali, frane profonde, erosione accelerata, overbanking, debris flow, debris talus, affluenti con detriti, affluenti senza detriti, caduta massi e accumulo di detriti.

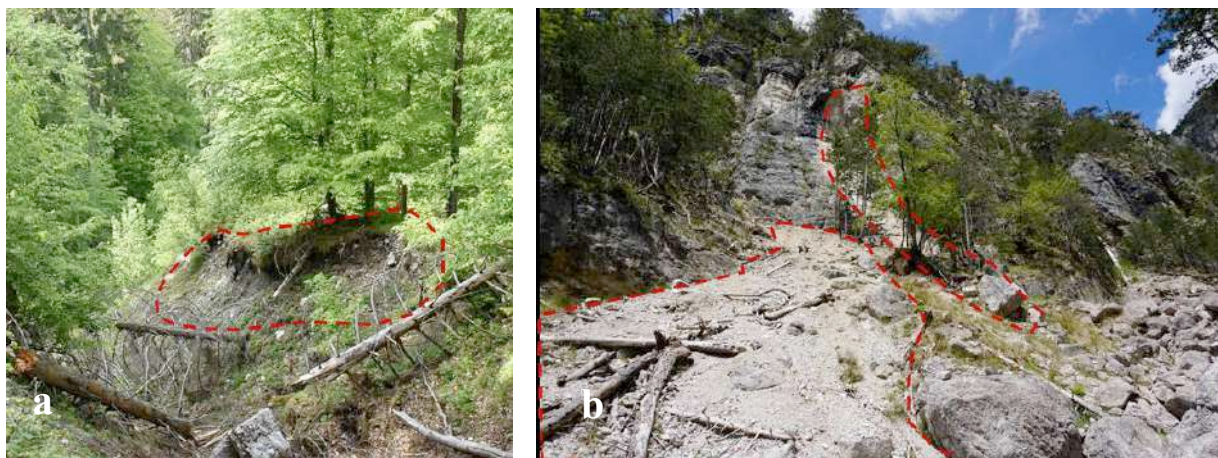


Figura 14. Esempi di apporto laterale di sedimenti: a) erosione accelerata sulla sponda destra; b) in basso a sinistra si nota un accumulo di detriti collegato all'alveo, in alto a destra si riconosce una frana di crollo parzialmente collegata all'alveo.

7 - presenza di ostacoli e opere idrauliche. Affinché i sedimenti siano effettivamente disponibili per il trasporto, è utile segnalare la presenza di ostacoli lungo l'alveo o di opere idrauliche. La scheda di rilevamento richiede quindi l'identificazione di tutti gli ostacoli presenti, indicandone la tipologia (morena, ventaglio alluvionale, terrazzo fluviale, attraversamenti e vegetazione). Per le opere idrauliche, invece, è necessario indicare il tipo (sbarramento, diga di controllo, repellente/pannello, argine, argine, gabbione, ponte, ecc.) associato al grado di funzionamento (Funzionale, Danno funzionale, Danno strutturale, Non funzionale).

2.2.2 Rio Cucco

Il Rio Cucco è stato rilevato lungo quattro canali principali, fino ad arrivare a zone non accessibili in condizioni di sicurezza. L'asta più occidentale è stata suddivisa in quattro tratti omogenei, così come quella più orientale. La seconda asta da ovest è suddivisa in cinque tratti omogenei e l'ultima in tre tratti omogenei. Nella **Figura 15** sono rappresentati i tratti omogenei e i punti di campionamento del deposito. In **Tabella 1** sono riportate alcune variabili rilevate sul terreno.

ID_Tratto	Stream Order Strahler	Forma	Pendenza [°]	Lunghezza tratto [m]	Larghezza tratto [m]	Spessore tratto [m]	Litologia prevalente	Volume modale [m³]	Volume 95° percentile [m³]	Volume unitario [m³]
1	2	V	51	33.5	-	-	-	0	0	-
2	2	V	38	83.4	5	2	dolomia	0.7	10	833.7
3	2	T	25	151.3	5	2	dolomia	0.3	2	1512.7
1	4	V	47	19.6	5	2	dolomia	2	10	196.1
2	4	V	15	16.2	7.5	2.5	dolomia	1	10	303.6
3	4	V	34	85.2	3	3	dolomia	1	10	766.8
4	4	T	31	80.7	1.5	2.5	dolomia	1.5	10	302.5
5	4	T	22	139.3	10	2.5	dolomia	0.5	3	3481.7
1	3	T	21	29.7	8	3	dolomia	0.2	1.5	713.2
2	3	T	20	53.3	0.25	0.5	dolomia	0.3	0.5	6.7
3	3	T	21	59.4	5	1	dolomia	0	0	297.2
4	3	T	18	121.5	21	3	dolomia	0.5	1	7652.7
1	3	T	45	201.0	0	0	dolomia	0	0	-
2	3	T	34	111.7	10	3	dolomia	1.5	4	3352.0
3	3	T	28	95.4	7	3	dolomia	1.5	3	2003.6
4	3	V	24	58.7	5	2	dolomia	0.4	2	587.2

Tabella 1. Risultati dei rilievi di terreno nel bacino idrografico del Rio Cucco.

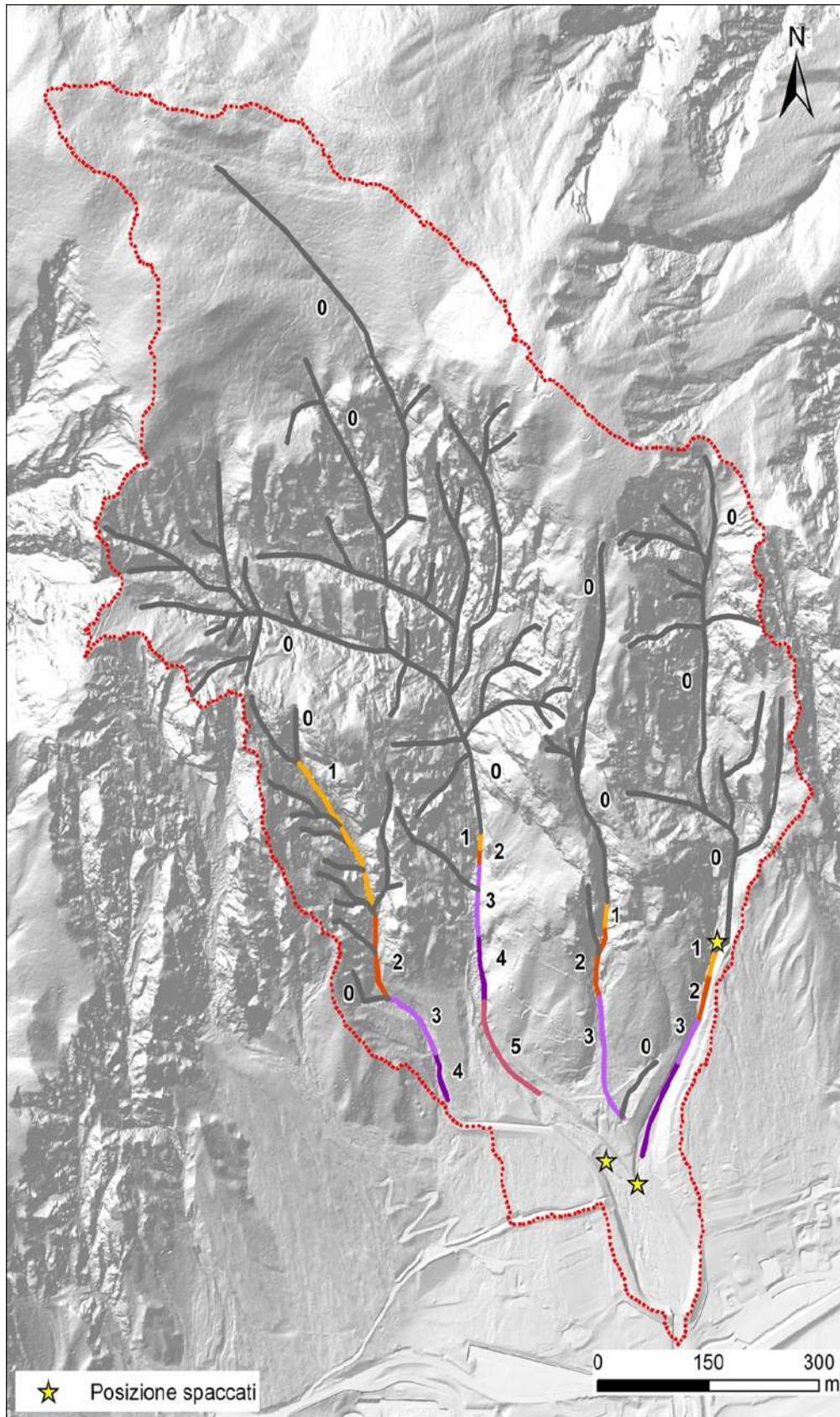


Figura 15. Tratti omogenei lungo le aste del bacino del Rio Cucco e punti di campionamento (stelle gialle).

2.2.3 Torrenti in sinistra idrografica del Fiume Fella

Nel bacino Fella SX sono stati rilevati due torrenti, fino ad arrivare a zone non accessibili in condizioni di sicurezza. L'asta più occidentale è stata suddivisa in cinque tratti omogenei, mentre quella orientale in dieci. Nella **Figura 16** sono rappresentati i tratti omogenei e i punti di campionamento del deposito. In **Tabella 2** sono riportate alcune variabili rilevate sul terreno.

ID_Tratto	Stream Order Strahler	Forma	Pendenza [°]	Lunghezza tratto [m]	Larghezza tratto [m]	Spessore tratto [m]	Litologia prevalente	Volume modale [m³]	Volume 95° percentile [m³]	Volume totale [m³]
10	3	T	18	69.6	5	1	dolomia		0.10	347.8
9	3	T	17	17.9	10	1	dolomia		0.05	179.0
8	3	T	19	280.7	5	1	dolomia		0.10	1403.6
7	3	T	21	45.6	8	1	dolomia		0.30	364.6
6	3	T	25	56.8	6	1	dolomia		0.20	234.3
5	3	V	29	181.8	5	2	dolomia		0.30	1363.5
4	3	V	29	92.3	7	-	dolomia		0.30	-
3	3	V	26	63.1	10	3	dolomia		0.40	1577.3
2	3	T	34	97.9	10	2	dolomia		0.50	1958.6
1	2	T	28	106.6	15	-	dolomia			-
5	1	T	22	82.2	3	0.5	calcari	0.20	0.40	123.4
4	1	V	29	306.6	1	0.3	calcari	0.30	0.50	92.0
3	1	V	34	357.2	1.5	0.5	calcari	0.10	0.50	267.9
2	1	V	37	67.6	2	0.5	calcari	0.05	0.50	67.6
1	1	V	41	81.1	3	1.5	calcari	0.10	3.00	365.2

Tabella 2. Risultati dei rilievi di terreno nel bacino idrografico del fiume Fella.

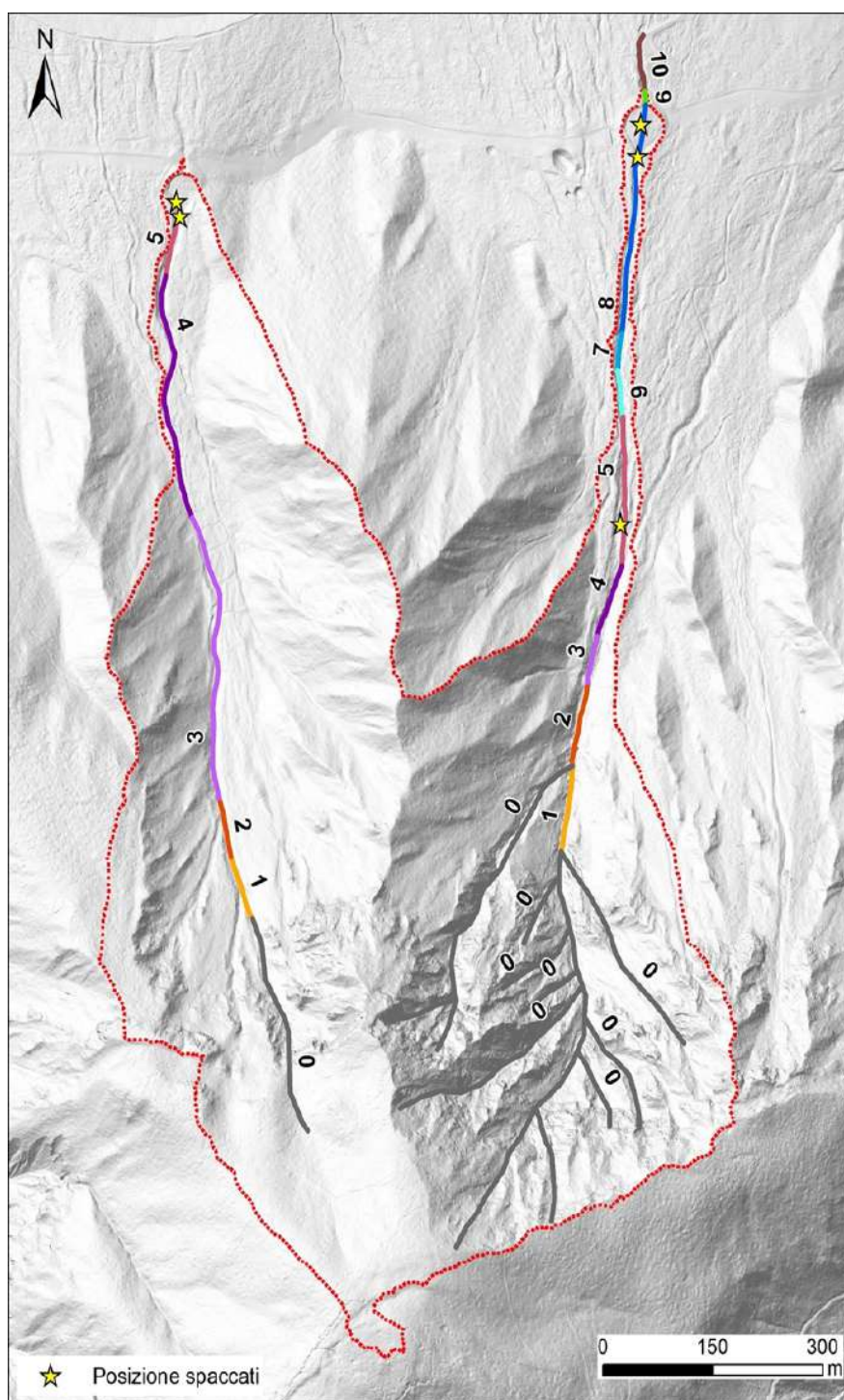


Figura 16. Tratti omogenei lungo le aste del bacino in sinistra idrografica del Fella e punti di campionamento (stelle gialle).

2.2.4 Rio Tolina

Nel bacino del Rio Tolina è stata rilevata l'asta principale che si allunga in direzione nord-sud, fino ad arrivare a zone non accessibili in condizioni di sicurezza. L'asta è stata suddivisa in 12 tratti omogenei. Nella **Figura 17** sono rappresentati i tratti omogenei e i punti di campionamento del deposito. In **Tabella 3** sono riportate alcune variabili rilevate sul terreno.

ID_Tratto	Stream Order Strahler	Forma	Pendenza [°]	Lunghezza tratto [m]	Larghezza tratto [m]	Spessore tratto [m]	Litologia prevalente	Volume modale [m³]	Volume 95° percentile [m³]	Volume totale [m³]
1	4	T	20.5	209.6	13	1	Calcare	0.008	0.5	2725.3
2	4	T	10.1	134.9	10	0.5	Calcare	0.001	0.3	674.7
3	4	T	8.3	116.1	10	3	Calcare	0.500	2.0	3483.5
4	4	T	20.2	59.1	5	0.5	Calcare	0.200	0.5	147.7
5	4	V	34.7	1911.5	-	-	Calcare	0.000	0.0	-
5	3	V	34.7	1911.5	-	-	Calcare	0.000	0.0	-
6	3	R	8.1	127.3	40	3	Calcare	0.000	0.0	15278.2
7	3	T	16.1	446.1	10	1	Calcare	0.027	1.0	4460.5
8	3	T	22.3	719.2	10	-	Calcare	0.004	0.7	-
9	3	T	16.8	73.2	20	2	Calcare	0.002	0.3	2929.5
10	3	T	14.2	42.1	40	3	Calcare	0.014	0.3	4205.4
11	3	T	20.6	154.5	20	2.5	Calcare	0.005	0.3	7722.7
12	3	T	21.2	130.5	10	1.5	Calcare	0.014	0.5	1957.8

Tabella 3. Risultati dei rilievi di terreno nel bacino idrografico del Rio Tolina.

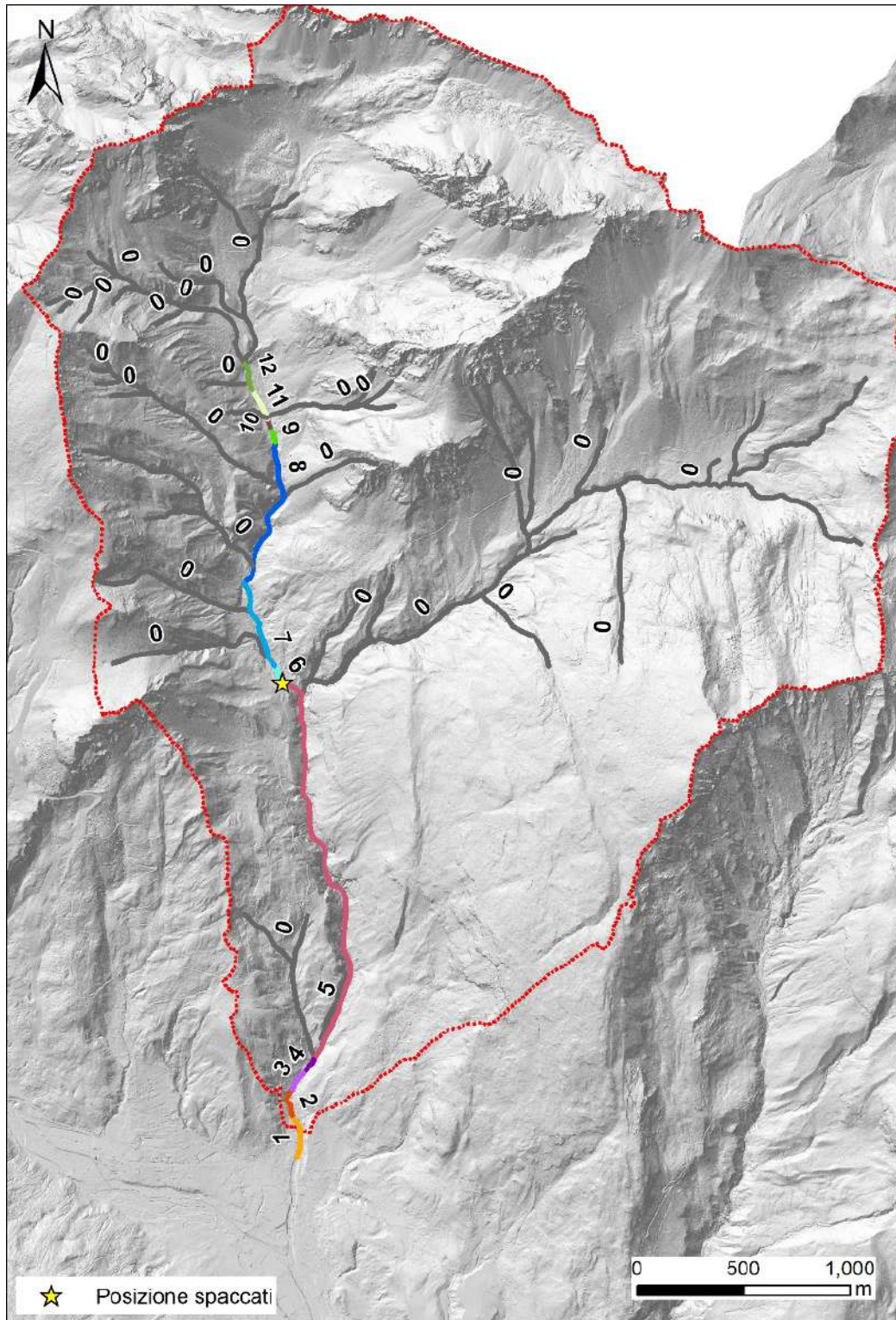


Figura 17. Tratti omogenei lungo l'asta principale del Rio Tolina e punto di campionamento (stelle gialle).

3. WP5 - Caratterizzazione dei sedimenti

Per raggiungere l'obiettivo di questo WP per le aree di studio della Regione FVG, è stata effettuata una caratterizzazione sul campo dei principali depositi distinti in base alle forme. Inoltre, sono stati raccolti campioni per valutare la distribuzione granulometrica e le proprietà geotecniche dei materiali, attraverso prove di laboratorio svolte presso il laboratorio di Bicocca e presso il laboratorio dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali a Cardano (BZ).

3.1 Rio Cucco

Per il bacino del Rio Cucco sono state studiate due aree di deposito: la prima nel bacino di sedimentazione principale e la seconda dietro lo sbarramento presente nel bacino orientale. Nella prima area sono state valutate due diverse sezioni e sono stati raccolti alcuni campioni, mentre nella seconda area è stato raccolto un solo campione.

3.1.1 Bacino di sedimentazione

RDN 2008 TM 33

SEZIONE 1	<i>Coordinate X [m]</i>	378675.7398
	<i>Coordinate Y [m]</i>	5151604.27665
SEZIONE 2	<i>Coordinate X [m]</i>	378718.20551
	<i>Coordinate Y [m]</i>	5151577.18988

Tabella 4. Coordinate del bacino di sedimentazione del Rio Cucco.



Figura 18. Ubicazione delle sezioni e dei relativi campioni raccolti.

a

litologia	frequenza % (vol)
DOLOMIA	85
CALCARE	11.05
CALCARE DOLOMITICO	2
CALCIRUDITE	0.5
BRECCIA	0.5
CALCILUTITE	0.5

b

Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine:	
% fine	90
% grossolano	10

Tabella 5. a. Litologie presenti nel bacino di sedimentazione del Rio Cucco. b. Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine.

Analisi deposito con grid by number																			
ID	A1 [cm]	A2 [cm]	A3 [cm]	sfericità		arrotondamento						litologia	alterazione (ISRM)						
1	4	4	8.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
2	3	1.5	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
3	8	3	4	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare dolomitico	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
4	9	7	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
5	3.5	4.5	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare dolomitico	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
6	3.5	3	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
7	7	4.5	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
8	5	3	0.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcilutite	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
9	7	7.5	3.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
10	3.5	2.5	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
11	12	7.5	3.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcirudite	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
12	3.5	3	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
13	3	2	1.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
14	3	2	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
15	1.5	2	0.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica

Tabella 6. Tabella dati grid by number del bacino di sedimentazione del Rio Cucco. Le sigle per la sfericità indicano: H = alta sfericità, L = bassa sfericità. Le sigle per l'arrotondamento indicano: WA = molto angoloso, A = angoloso, SA = sub -angoloso, SR = sub-arrotondato, R = arrotondato, WR = ben-arrotondato. Le classi W1-W5 per l'alterazione indicano il grado crescente di alterazione, dove 1 è non alterato e 5 molto alterato.



Figura 19. Documentazione fotografica degli affioramenti del bacino di sedimentazione del Rio Cucco. a. Sezione 1. b. Sezione 2.

Analisi granulometrica

Sezione 1

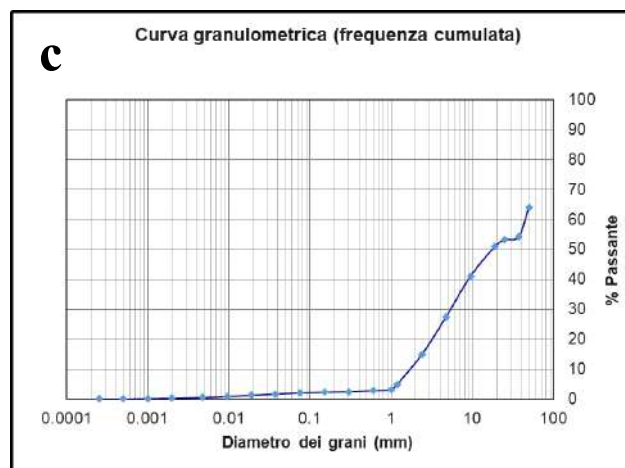
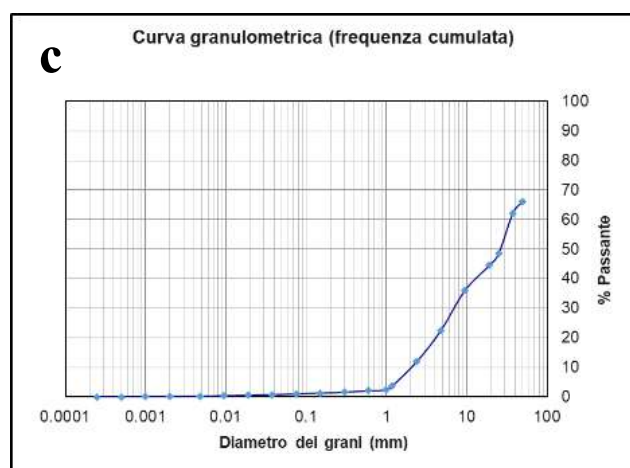
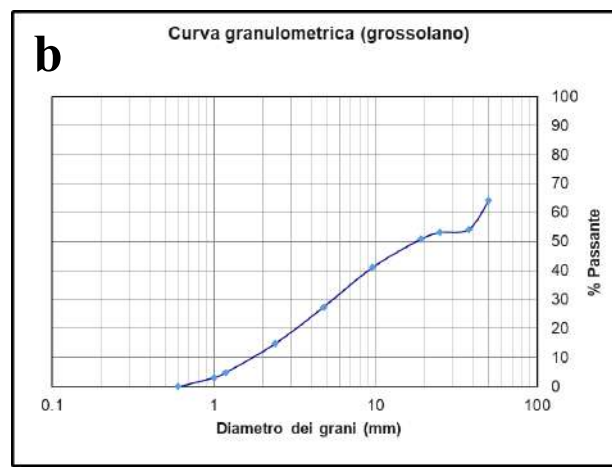
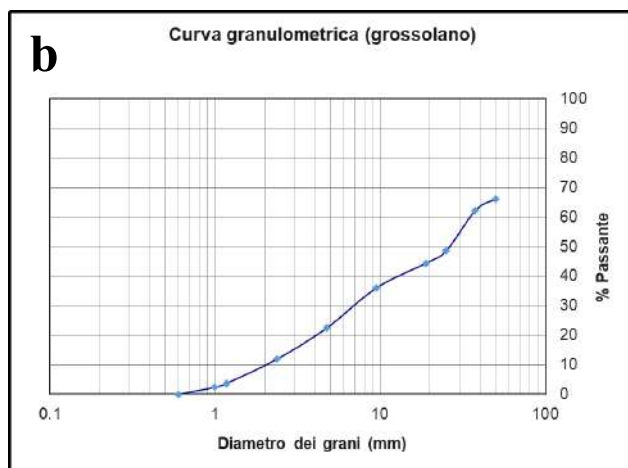
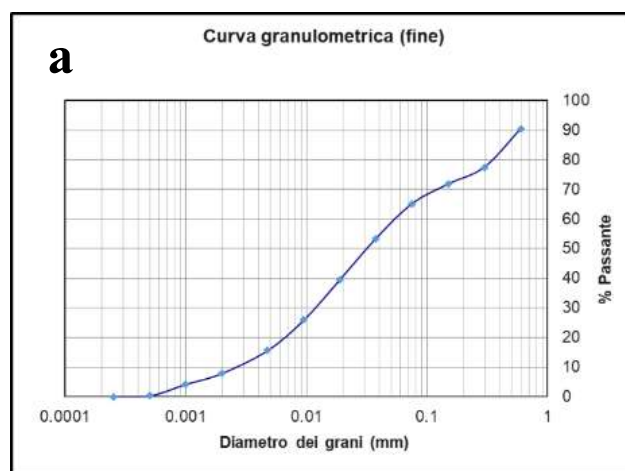
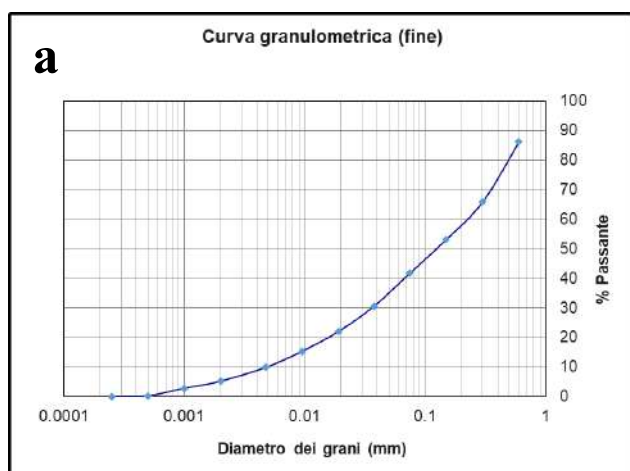


Figura 20. Curve granulometriche del bacino di sedimentazione del Rio Cucco. a. Frazione fine. b. Frazione grossolana. c. Frequenza cumulata.

Point load test					Slake durability test	
	Campione	I [MPa]	I ₅₀ [MPa]	σ _c [MPa]	W [%]	I _d (2)
Sezione 1	1	3.92	3.73	82.11	0.153	99.409
	2	1.99	1.75	38.46		
	3	0.44	0.39	8.64		
Sezione 2	1	0.47	0.51	11.20	0.051	98.120
	2	14.31	12.13	266.89		
	3	0.14	0.11	2.47		

Tabella 7. Risultati dell'analisi della prova di carico puntuale (Point load test) e dell'analisi di durabilità (Slake durability test) del bacino di sedimentazione del Rio Cucco.

Il deposito è costituito da dolomie e calcari subordinati. Il grado di alterazione è basso e la quantità di materiale fine è molto maggiore di quella grossolana. Per entrambe le sezioni analizzate, la granulometria risulta eterogenea. Le curve della sezione 1 e della sezione 2 sono simili. I campioni analizzati con la prova di carico puntuale mostrano un comportamento meccanico diverso, sebbene siano costituiti dalla stessa litologia (dolomia e/o calcare). L'intervallo σ_c è compreso tra 270 Mpa (resistenza molto elevata) e 2 MPa (resistenza molto bassa). L'analisi della durabilità ottenuta con Slake durability test mostra un indice superiore al 95%, definendo quindi la resistenza dei campioni come estremamente elevata all'indebolimento e alla disintegrazione.

3.1.2 Deposito a monte dello sbarramento

RDN 2008 TM 33

SEZIONE 3	Coordinata X [m]	378825.967431
	Coordinata Y [m]	5151863.22424

Tabella 8. Coordinate del deposito a monte dello sbarramento.



Figura 21. Ubicazione della sezione e del relativo campione raccolto.

a

litologia	frequenza % (vol)
Dolomia	45
Calcare	45
Calclutite	7
Breccia	3

b

Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine:	
% fine	70
% grossolano	30

Tabella 9 a. Litologie presenti del deposito a monte dello sbarramento del Rio Cucco. b. Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine.

Analisi deposito con grid by number																			
ID	A1 [cm]	A2 [cm]	A3 [cm]	sfericità		arrotondamento						litologia	alterazione (ISRM)						
1	8	6.5	3	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
2	5.5	3.5	4	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
3	4.5	2.5	0.5	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Calclutite	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
4	11	8.5	5.5	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
5	3	2	1.5	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Calclutite	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
6	2.5	1.5	1.5	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
7	9	5	4.5	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
8	4	3	2.5	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
9	20	13.5	10.5	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Breccia calcarea	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
10	3	2.5	0.8	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
11	49	30.5	19	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
12	7	8	45	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Calclutite	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
13	6.5	4	3	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
14	16.5	13.5	25	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
15	28	37	31	A	B	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica

Tabella 10. Tabella dati grid by number del deposito a monte dello sbarramento del Rio Cucco. Le sigle per la sfericità indicano: H = alta sfericità, L = bassa sfericità. Le sigle per l'arrotondamento indicano: WA = molto angoloso, A = angoloso, SA = sub -angoloso, SR = sub-arrotondato, R = arrotondato, WR = ben-arrotondato. Le classi W1-W5 per l'alterazione indicano il grado crescente di alterazione, dove 1 è non alterato e 5 molto alterato

Analisi granulometrica

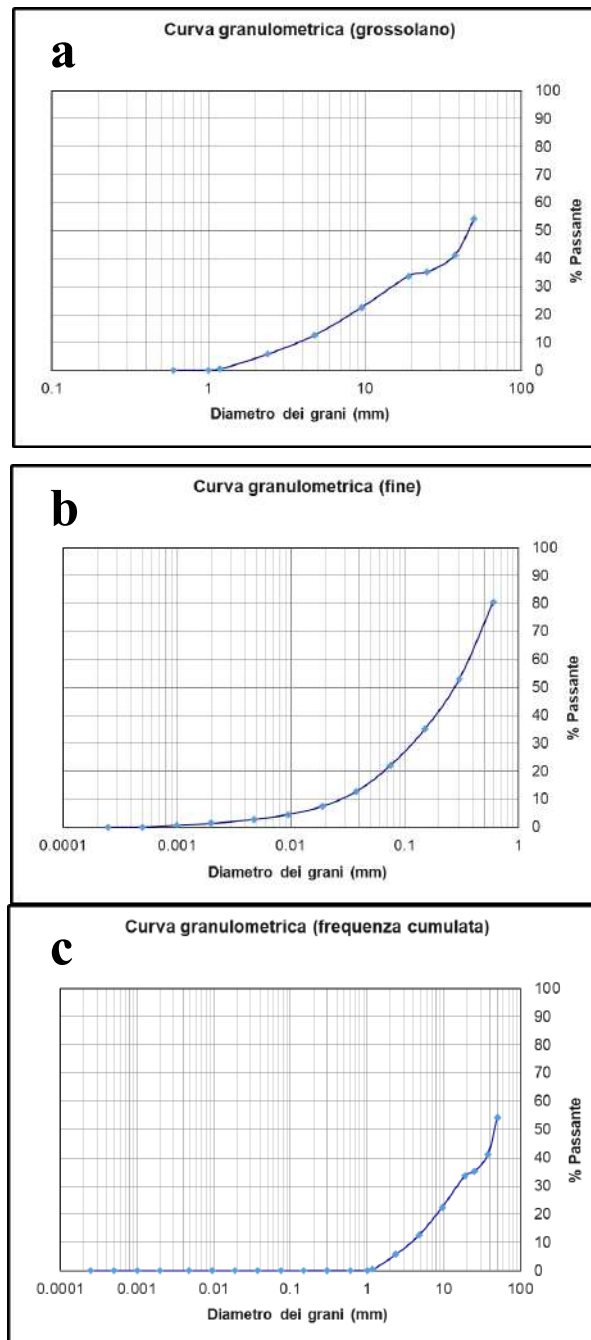


Figura 22. Curve granulometriche del deposito di monte allo sbarramento del Rio Cucco. a. Frazione fine. b. Frazione grossolana. c. Frequenza cumulata.

Point load test				Slake durability test	
campione	I [MPa]	I ₅₀ [MPa]	σ _c [MPa]	W [%]	I _d (2)
1	4.626	4.430	97.464	0.383	99.062
2	7.164	6.052	133.135		
3	0.793	0.700	15.402		
4	1.599	1.476	32.469		

Tabella 11. Risultati dell'analisi della prova di carico puntuale (Point load test) e dell'analisi di durabilità (Slake durability test) del deposito di monte allo sbarramento del Rio Cucco.

Il deposito è costituito da dolomie e calcari. Il grado di alterazione è basso e la quantità di materiale fine è maggiore di quella grossolana. La granulometria è eterogenea. I campioni analizzati con la prova di carico puntuale mostrano un comportamento meccanico diverso, sebbene siano costituiti dalla stessa litologia (dolomia e/o calcare). L'intervallo σ_c è compreso tra 133 Mpa (alta resistenza) e 15 MPa (bassa resistenza). L'analisi della durabilità ottenuta con Slake durability test mostra un indice superiore al 95%, quindi i campioni hanno una resistenza estremamente elevata all'indebolimento e alla disintegrazione.

Il test all'abrasione Los Angeles per il campione di questo bacino ha restituito un valore del 31%.

3.2 Torrenti in sinistra idrografica del Fiume Fella

Per il bacino di Fella sx, sono state studiate due aree di deposito nel bacino orientale: una nel bacino di sedimentazione principale, e una a metà pendio in un deposito di debris flow. Per la prima sono state valutate due sezioni e raccolti alcuni campioni, mentre per la seconda è stata analizzata solo una sezione e raccolto un solo campione. Nel bacino occidentale sono stati analizzati due campioni e una sezione nel bacino di sedimentazione principale.

3.2.1 Bacino di sedimentazione principale (bacino orientale)

RDN 2008 TM 33

SEZIONE 1	Coordinata X [m]	377690.264132
	Coordinata Y [m]	5150438.38786
SEZIONE 2	Coordinata X [m]	377686.295374
	Coordinata Y [m]	5150399.49404

Tabella 12.Coordinate del bacino di sedimentazione principale del Fiume Fella.

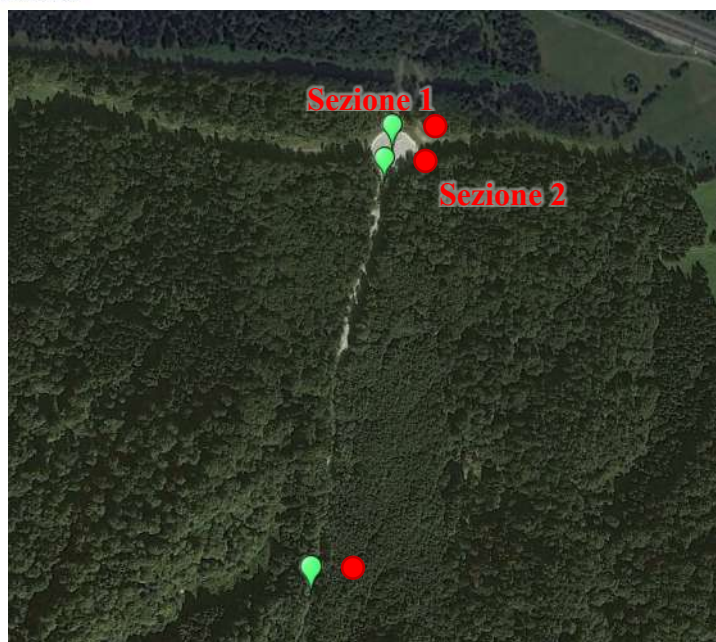


Figura 23. Ubicazione delle sezioni e dei relativi campioni raccolti.

a	litologia		frequenza % (vol)	
	Calcare e dolomia		80	
	Conglomerato calcareo		5	
	Breccia calcarea		5	
	Calcilutite		5	
	Arenaria rossa		5	

b	Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine:		
	% fine		35
	% grossolano		65

Tabella 13. a. Litologie presenti del bacino di sedimentazione principale del Fiume Fella. b. Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine.

Analisi deposito con grid by number																		
ID	A1 [cm]	A2 [cm]	A3 [cm]	sfericità		arrotondamento						litologia	alterazione (ISRM)					
1	6	3	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
2	9	9	6	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
3	16	10	7	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
4	10	7	6	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
5	10	6	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
6	4	4	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
7	6	4	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
8	5	2	1.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
9	6	4	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Breccia calcarea	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
10	11	9	7	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
11	9	8	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato calcareo	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
12	8	6	4	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato calcareo	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
13	14	8	6	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
14	8	7	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica
15	10	4	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcilutite	W1	W2	W3	W4	W5	chimica fisica

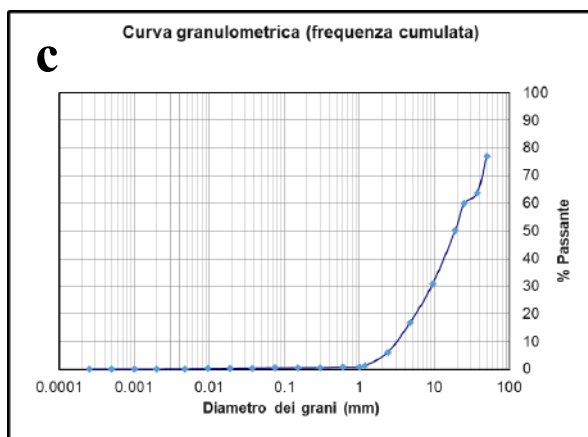
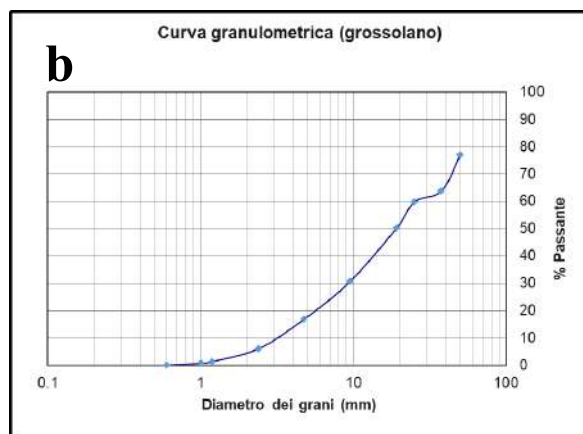
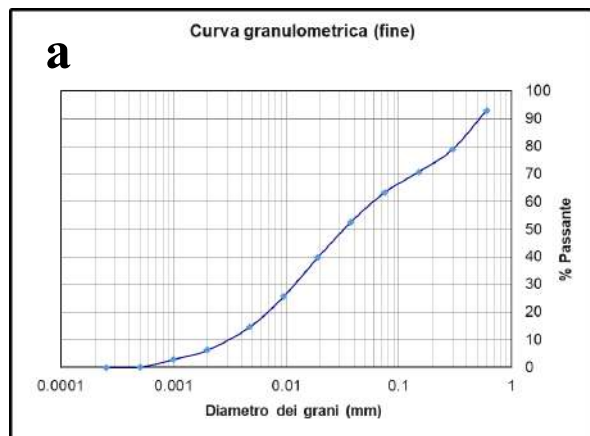
Tabella 14. Tabella dati grid by number del bacino di sedimentazione principale del Fiume Fella. Le sigle per la sfericità indicano: H = alta sfericità, L = bassa sfericità. Le sigle per l'arrotondamento indicano: WA = molto angoloso, A= angoloso, SA = sub -angoloso, SR = sub-arrotondato, R = arrotondato, WR = ben-arrotondato. Le classi W1-W5 per l'alterazione indicano il grado crescente di alterazione, dove 1 è non alterato e 5 molto alterato



Figura 24. Documentazione fotografica degli affioramenti del bacino di sedimentazione principale del Fiume Fella. a. Sezione 1. b. Sezione 2.

Analisi granulometrica

Sezione 1



Sezione 2

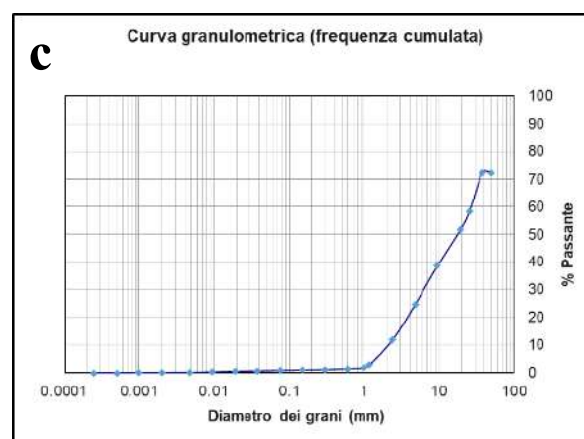
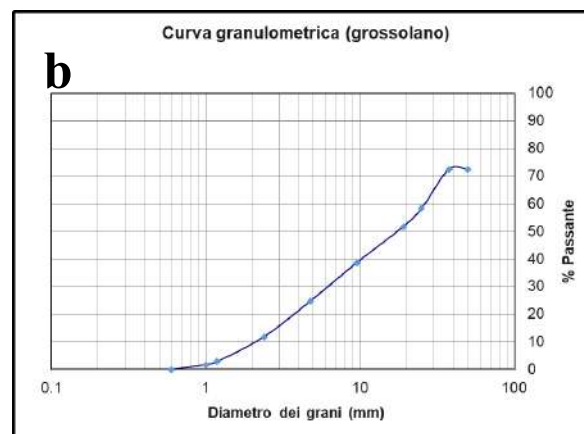
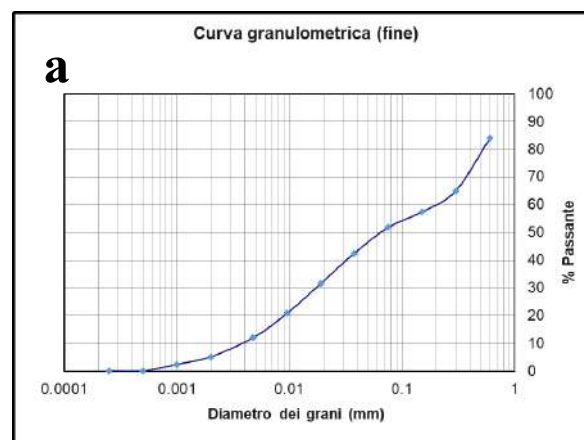


Figura 25. Curve granulometriche del bacino di sedimentazione principale del Rio Fella. a. Frazione fine. b. Frazione grossolana. c. Frequenza cumulata.

Point load test					Slake durability	
	campione	I [MPa]	I ₅₀ [MPa]	σ _c [MPa]	W[%]	I _d (2)
Sezione 1	1	3.889	4.003	88.060	0.884	99.7546
	2	2.821	3.243	71.355		
	3	3.576	3.358	73.871		
	4	3.975	3.890	85.584		
Sezione 2	1	4.178	4.116	90.548	0.0144	99.462
	2	4.298	3.839	84.456		
	3	2.750	2.699	59.386		
	4	2.566	2.512	55.256		

Tabella 15. Risultati dell'analisi della prova di carico puntuale (Point load test) e dell'analisi di durabilità (Slake durability test) del bacino di sedimentazione principale del Rio Fella.

Il deposito è costituito da dolomie e calcari. Il grado di alterazione è basso e la quantità di materiale grossolano è maggiore di quella fine. La curva granulometrica della sezione 2 è più eterogenea rispetto alla curva della sezione 1. I campioni analizzati con la prova di carico puntuale mostrano una resistenza media (da 55 MPa a 90 MPa). L'analisi della durabilità tramite Slake test mostra un indice superiore al 95%: i campioni hanno una resistenza estremamente elevata all'indebolimento e alla disintegrazione.

3.2.2 Deposito di debris flow (bacino orientale)

RDN 2008 TM 33

SEZIONE 3	Coordinata X [m]	377662.694493
	Coordinata Y [m]	5149952.13564

Tabella 16. Coordinate del deposito di debris flow.

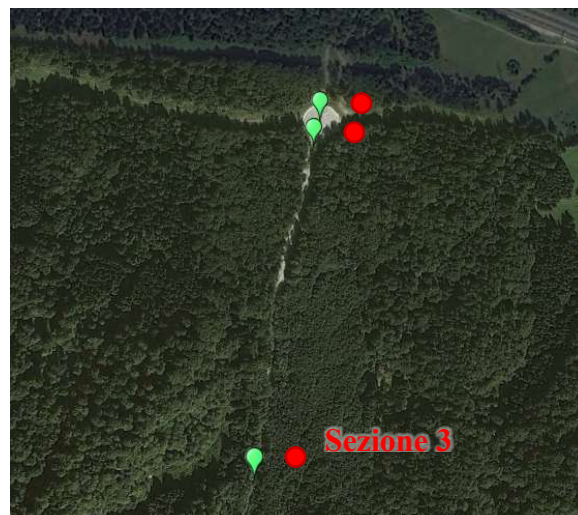


Figura 26. Ubicazione della sezione e del relativo campione raccolto.

a

litologia	frequenza % (vol)
Conglomerato	40
Calclutite	10
Calcare	40
Dolomia	7
Arenaria rossa	3

b

Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine:	
% fine	70
% grossolano	30

Tabella 17. a. In der Murgang Ablagerung vorhandene Lithologien. b. Qualitative Bewertung des Verhältnisses zwischen groben und feinen Ablagerungen.

Analisi deposito con grid by number																			
ID	A1 [cm]	A2 [cm]	A3 [cm]	sfericità		arrotondamento						litologia	alterazione (ISRM)						
1	10	9	6	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
2	7	15	10	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
3	8.5	3.5	5.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
4	15	10	6	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
5	10	5	7	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
6	15	14	7	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
7	23	15	8	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
8	15	9	14	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
9	24	7	18	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcarenite	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
10	25	17	21	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
11	15	10	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica

Tabella 18. Tabella dati grid by number del deposito di debris flow. Le sigle per la sfericità indicano: H = alta sfericità, L = bassa sfericità. Le sigle per l'arrotondamento indicano: WA = molto angoloso, A= angoloso, SA = sub -angoloso, SR = sub-arrotondato, R = arrotondato, WR = ben-arrotondato. Le classi W1-W5 per l'alterazione indicano il grado crescente di alterazione, dove 1 è non alterato e 5 molto alterato



Figura 27. Documentazione fotografica del deposito di debris flow.

Analisi granulometrica

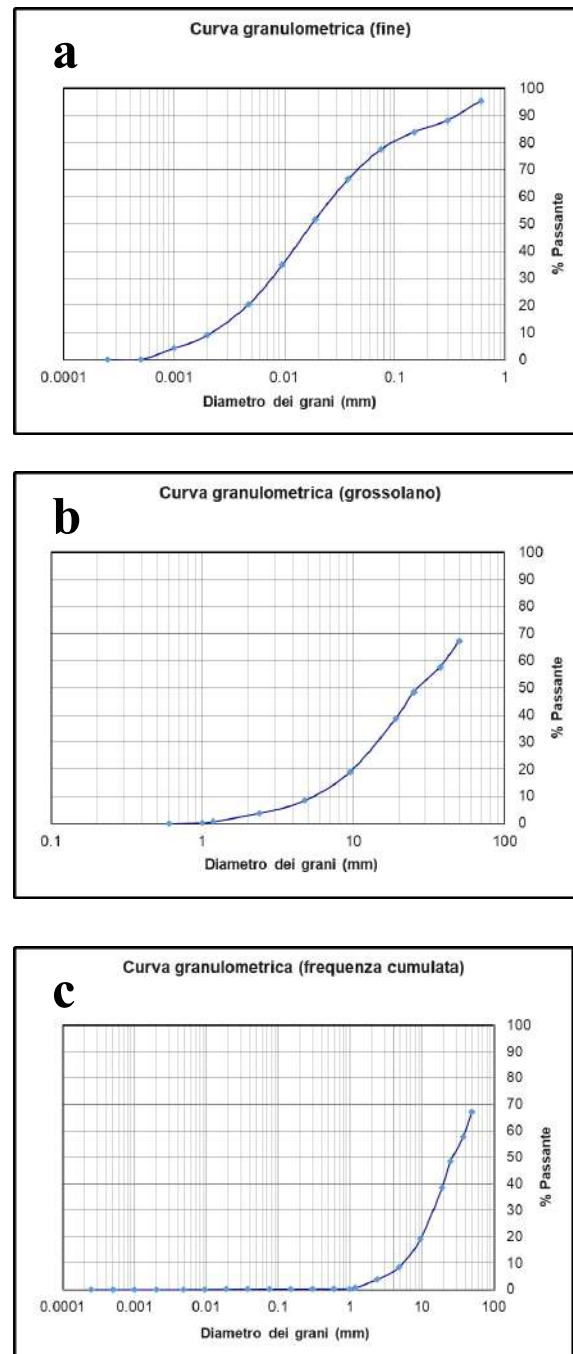


Figura 28. Curve granulometriche del deposito di debris flow. a. Frazione fine. b. Frazione grossolana. c. Frequenza cumulata.

Point load test				Slake durability test	
campione	I [MPa]	I ₅₀ [MPa]	σ _c [MPa]	W [%]	I _d (2)
1	0.926	0.940	20.678	0.242	99.629
2	0.366	0.376	8.273		
3	2.393	2.588	56.934		

Tabella 19. Risultati dell'analisi della prova di carico puntuale (Point load test) e dell'analisi di durabilità (Slake durability test) del deposito di debris flow.

Il deposito è costituito da conglomerati e calcari con grado di alterazione molto basso; la quantità di materiale fine è maggiore di quella grossolana. La granulometria è eterogenea. I campioni analizzati con il Point load test mostrano una resistenza medio-bassa (da 8 MPa a 57 MPa). L'analisi della durabilità tramite Slake test mostra un indice superiore al 95%: i campioni hanno una resistenza estremamente elevata all'indebolimento e alla disintegrazione.

Il test all'abrasione Los Angeles per il campione di questo bacino ha restituito un valore del 27%.

3.2.3 Bacino di sedimentazione principale (bacino occidentale)

RDN 2008 TM 33

SEZIONE 1	Coordinata X [m]	377058.199742
	Coordinata Y [m]	5150344.43413
SEZIONE 2	Coordinata X [m]	377063.121002
	Coordinata Y [m]	5150326.6541

Tabella 20. Coordinate del bacino di sedimentazione principale (bacino occidentale).



Figura 29. Ubicazione delle sezioni e dei relativi campioni raccolti.

a

litologia	frequenza % (vol)
Calcare	99
Dolomia	1

b

Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine:	
% fine	90
% grossolano	10

Tabella 21. a. Litologie presenti nel bacino di sedimentazione principale (bacino occidentale). b. Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine.

Analisi deposito con grid by number																				
ID	A1 [cm]	A2 [cm]	A3 [cm]	sfericità		arrotondamento						litologia	alterazione (ISRM)							
1	10	8	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
2	6	6	4	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
3	8	4	4	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
4	6	4	1.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
5	3	3	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
6	3	2	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
7	9	4	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
8	10	5	4	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
9	8	7	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
10	7	4	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
11	6	4	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
12	6	7	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
13	10	7	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
14	15	10	9	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	
15	10	8	2.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica	

Tabella 22. Tabella dati grid by number del bacino di sedimentazione principale (bacino occidentale). Le sigle per la sfericità indicano: H = alta sfericità, L = bassa sfericità. Le sigle per l'arrotondamento indicano: WA = molto angoloso, A= angoloso, SA = sub -angoloso, SR = sub-arrotondato, R = arrotondato, WR = ben-arrotondato. Le classi W1-W5 per l'alterazione indicano il grado crescente di alterazione, dove 1 è non alterato e 5 molto alterato.

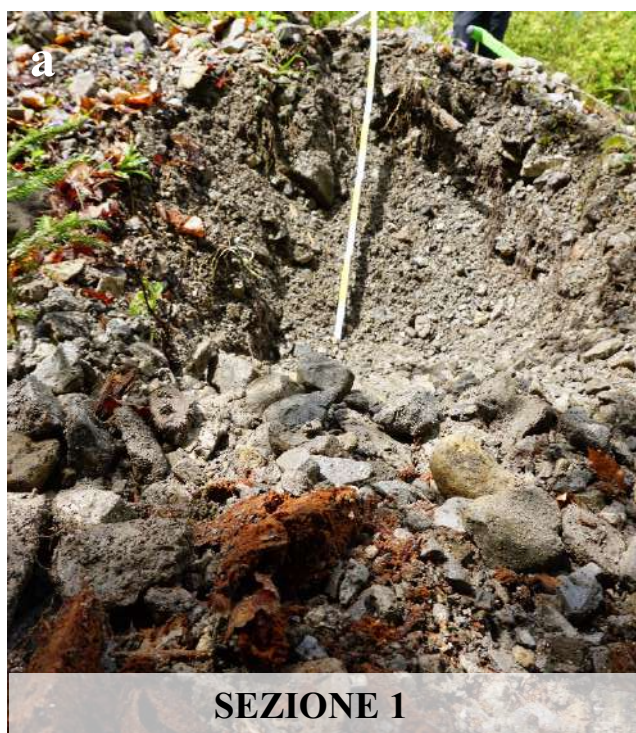
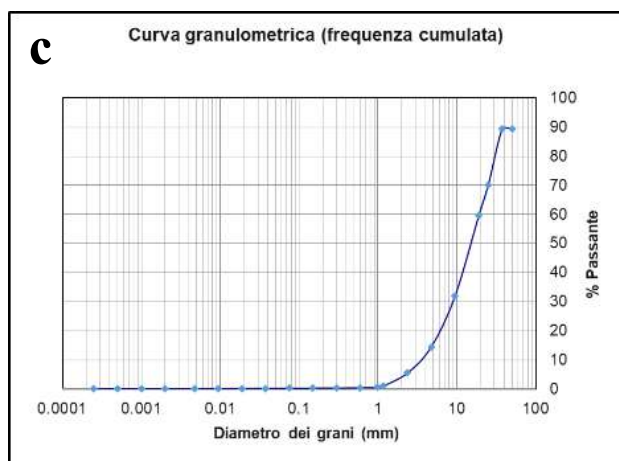
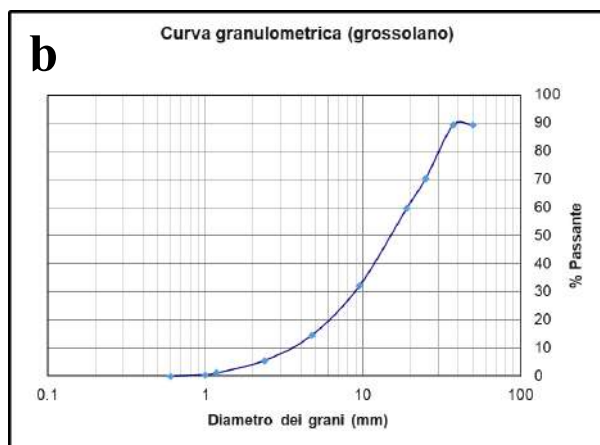
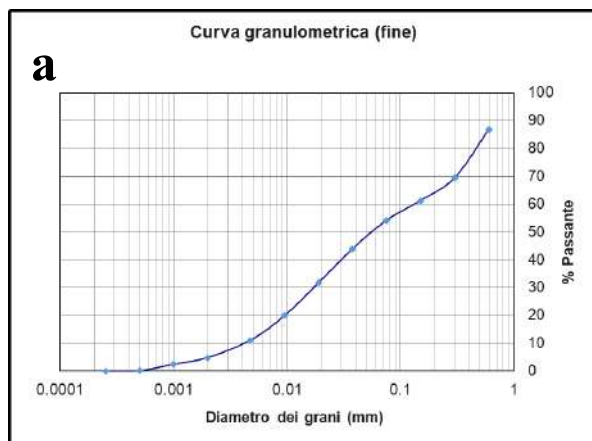


Figura 30. Documentazione fotografica degli affioramenti del bacino di sedimentazione principale (bacino occidentale). a. Sezione 1. b. Sezione 2.

Analisi granulometrica

Sezione 1



Sezione 2

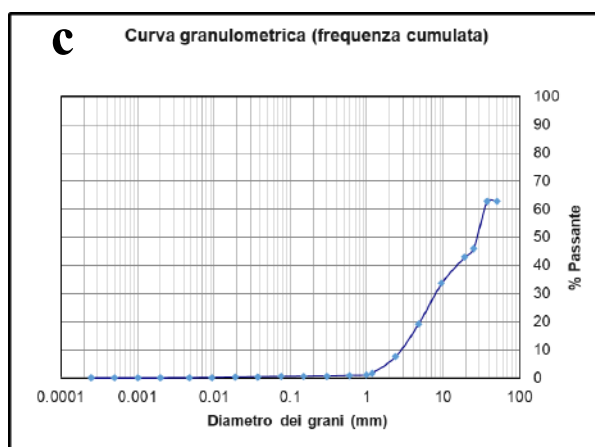
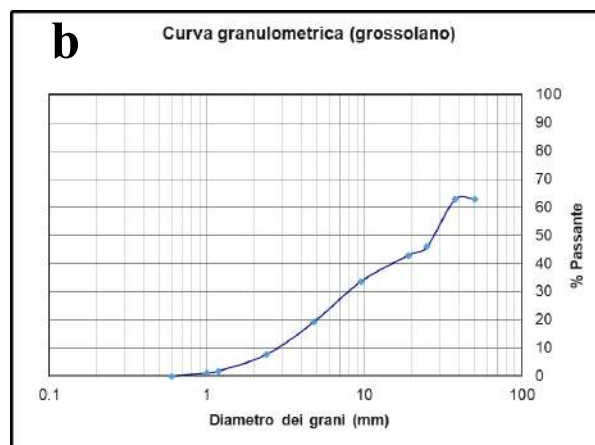
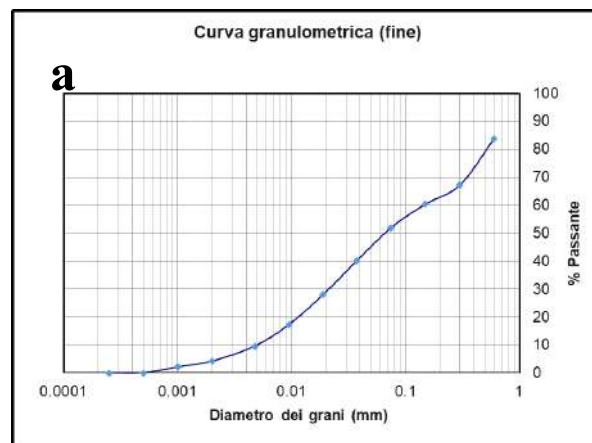


Figura 31. Curve granulometriche del bacino di sedimentazione principale (bacino occidentale). a. Frazione fine. b. Frazione grossolana. c. Frequenza cumulata.

Point load test					Slake durability test	
	campione	I [MPa]	I ₅₀ [MPa]	σ _c [MPa]	W [%]	I _d (2)
Sezione 1	1	9.571	8.498	186.957	0.8257	99.665
Sezione 2	1	1.122	1.212	26.669	0.598	99.706
	2	4.449	4.485	98.671		
	3	0.642	0.646	14.217		

Tabella 23. Risultati dell'analisi della prova di carico puntuale (Point load test) e dell'analisi di durabilità (Slake durability test) del bacino di sedimentazione principale (bacino occidentale).

Il bacino è costituito da dolomie e calcari. Il grado di alterazione è basso e la quantità di materiale fine è molto maggiore di quella grossolana. Per entrambe le sezioni analizzate la granulometria è eterogenea. Le curve della sezione 1 e della sezione 2 sono simili. I campioni analizzati con la prova di carico puntuale mostrano un comportamento meccanico diverso, sebbene siano costituiti dalla stessa litologia (dolomie e/o calcari). L'intervallo σ_c è compreso tra 186 Mpa (alta resistenza) e 17 MPa (bassa resistenza). L'analisi della durabilità tramite Slake test mostra un indice superiore al 95%: i campioni hanno una resistenza estremamente elevata all'indebolimento e alla disintegrazione. Il Los Angeles test ha restituito un valore di 32% per i campioni di questo bacino.

3.3 Rio Solfo

Per il bacino del Rio Solfo sono state analizzate tre sezioni e raccolti alcuni campioni: due in un bacino di sedimentazione a monte e una in un bacino di sedimentazione a valle.

3.3.1 Bacino di sedimentazione a monte

RDN 2008 TM 33

SEZIONE 1	Coordinata X [m]	375457.918383
	Coordinata Y [m]	5150201.16816
SEZIONE 2	Coordinata X [m]	375460.961097
	Coordinata Y [m]	5150207.25359

Tabella 24. Coordinate del bacino di sedimentazione a monte.



Figura 32. Ubicazione delle sezioni e dei relativi campioni raccolti.

a

litologia	frequenza % (vol)
Calcare	60
Arenaria rossa	20
Metapelite	20

b

Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine:	
% fine	40
% grossolano	60

Tabella 25. a. Litologie presenti nel bacino di sedimentazione a monte. b. Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine.

Analisi deposito con grid by number																						
ID	A1 [cm]	A2 [cm]	A3 [cm]	sfericità		arrotondamento						litologia				alterazione (ISRM)						
1	6	2	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
2	40	7	20	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
3	31	16	7	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
4	4.5	4	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Arenaria				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
5	15	11	6	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Arenaria rossa				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
6	13	10	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
7	23	16	9	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
8	8	4	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Arenaria rossa				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
9	11	8	13	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
10	28	28	13	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
11	61	29	18	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Arenaria rossa				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
12	12	7	6	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Arenaria rossa				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
13	21	8	8	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
14	70	49	23	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Metapelite				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
15	8	6	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare				W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica

Tabella 26. Tabella dati grid by number del bacino di sedimentazione a monte. Le sigle per la sfericità indicano: H = alta sfericità, L = bassa sfericità. Le sigle per l'arrotondamento indicano: WA = molto angoloso, A= angoloso, SA = sub -angoloso, SR = sub-arrotondato, R = arrotondato, WR = ben-arrotondato. Le classi W1-W5 per l'alterazione indicano il grado crescente di alterazione, dove 1 è non alterato e 5 molto alterato.



Figura 33. Documentazione fotografica degli affioramenti del bacino di sedimentazione a monte. a. Sezione 1. b. Sezione 2.

Analisi granulometrica

Sezione 1

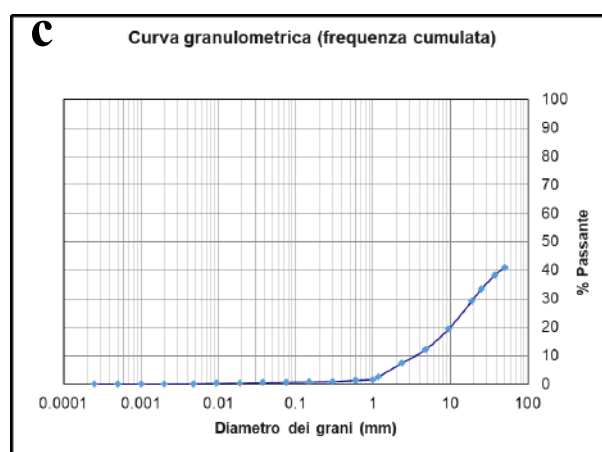
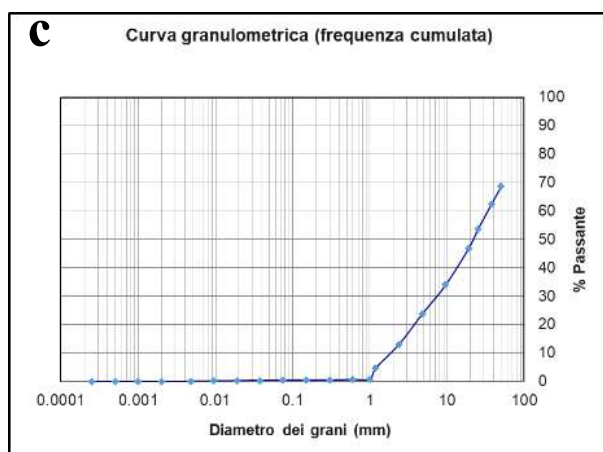
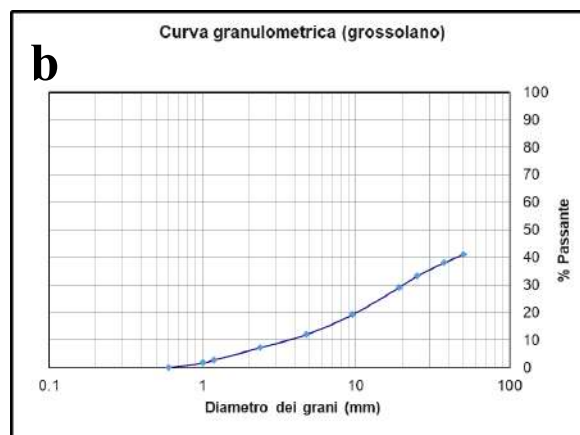
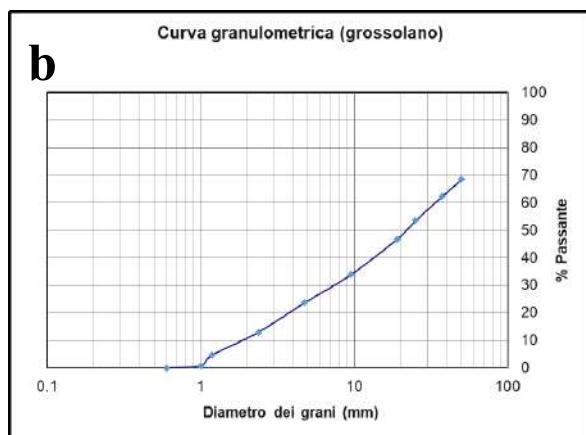
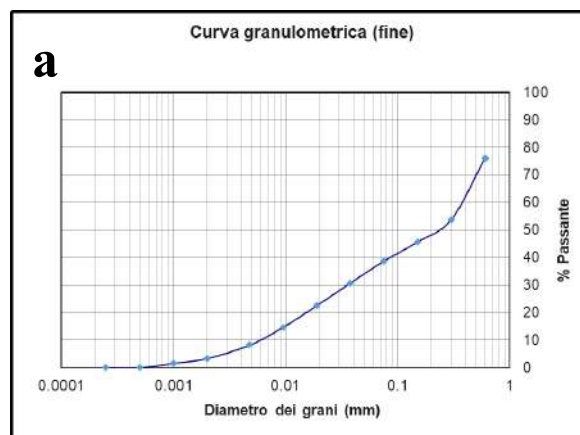
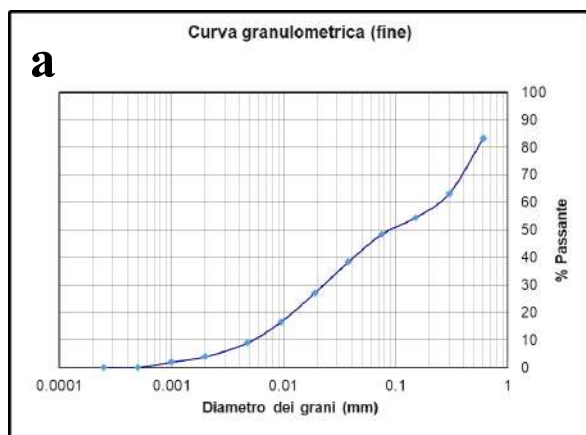


Figura 34. Curve granulometriche del bacino di sedimentazione a monte. a. Frazione fine. b. Frazione grossolana. c. Frequenza cumulata.

Point load test					Slake durability test	
	campione	I [MPa]	I ₅₀ [MPa]	σ _c [MPa]	W [%]	I _d (2)
sezione 1	1	1.818	2.060	45.318	0.9884	98.642
	2	0.692	0.655	14.416		
	3	6.929	6.715	147.732		
sezione 2	1	2.417	2.404	52.893	0.512	97.597
	2	1.974	1.779	39.139		
	3	7.865	6.823	150.111		
	4	4.416	4.290	94.371		
	5	3.858	3.821	84.062		
	6	7.889	7.540	165.878		

Tabella 27. Risultati del Point Load Test e dello Slake Durability Test del bacino di sedimentazione a monte.

Il deposito è costituito da calcari con subordinate arenarie e metapeliti. Il grado di alterazione è basso e la quantità di materiale fine è leggermente inferiore a quella grossolana. Per entrambe le sezioni analizzate la granulometria è eterogenea. Le curve della sezione 1 e della sezione 2 sono simili. I campioni analizzati con il Point load test mostrano un comportamento meccanico diverso: l'intervallo σ_c è compreso tra 165 Mpa (alta resistenza) e 14 MPa (bassa resistenza). L'analisi della durabilità effettuata con Slake test mostra un indice superiore al 95%: i campioni hanno una resistenza estremamente elevata all'indebolimento e alla disintegrazione.

3.3.2 Bacino di sedimentazione a valle

RDN 2008 TM 33

SEZIONE 3	Coordinata X [m]	375528.165398
	Coordinata Y [m]	5150408.60191

Tabella 28. Coordinate del bacino di sedimentazione a valle.

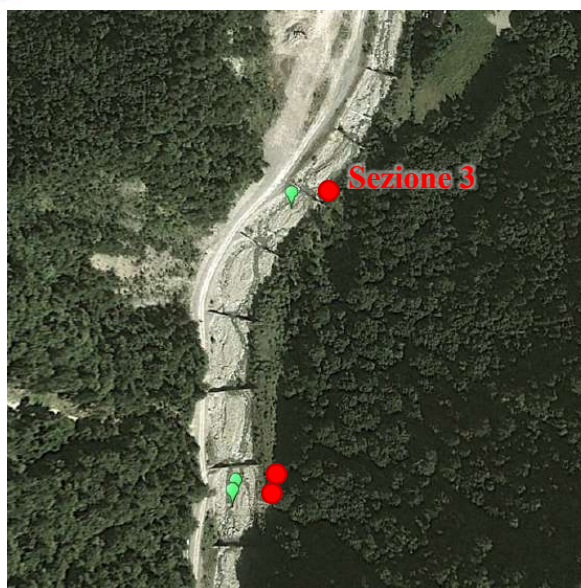


Figura 35. Ubicazione della sezione e del relativo campione raccolto.

a

litologia	frequenza % (vol)
Calcare	89
Conglomerato	1
Arenaria rossa	10

b

Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine:	
% fine	40
% grossolano	60

Tabella 29. a. Litologie presenti nel bacino di sedimentazione a valle. b. Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine.

Analisi deposito con grid by number																		
ID	A1 [cm]	A2 [cm]	A3 [cm]	sfericità		arrotondamento						litologia	alterazione (ISRM)					
1	5	2	0.7	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Arenaria rossa	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
2	10	4	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
3	10	5	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Arenaria grigia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
4	25	11	7	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
5	16	12	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
6	5	3	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
7	6	4	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
8	4	3	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
9	8	6	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Conglomerato	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
10	10	8	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
11	17	8	4	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
12	27	21	6	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
13	16	9	2.5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
14	19	13	9	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica
15	28	12	10	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica

Tabella 30. Tabella dati grid by number del bacino di sedimentazione a valle. Le sigle per la sfericità indicano: H = alta sfericità, L = bassa sfericità. Le sigle per l'arrotondamento indicano: WA = molto angoloso, A= angoloso, SA = sub -angoloso, SR = sub-arrotondato, R = arrotondato, WR = ben-arrotondato. Le classi W1-W5 per l'alterazione indicano il grado crescente di alterazione, dove 1 è non alterato e 5 molto alterato.

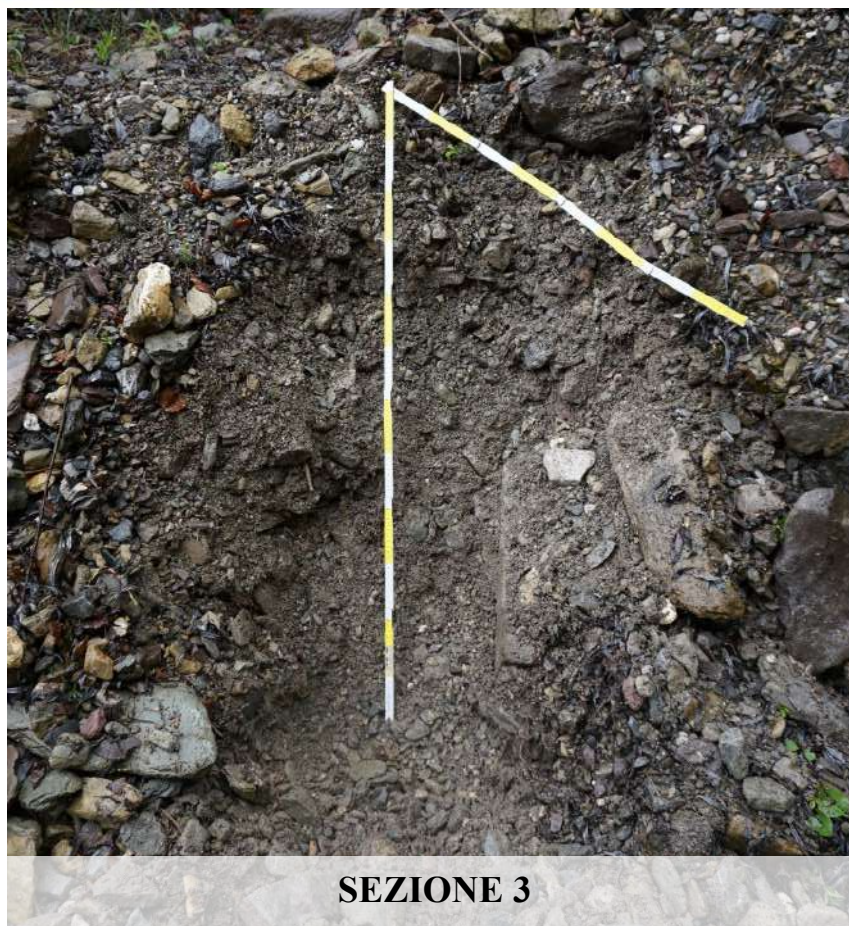


Figura 36. Documentazione fotografica dell'affioramento del bacino di sedimentazione a valle.

Analisi granulometrica

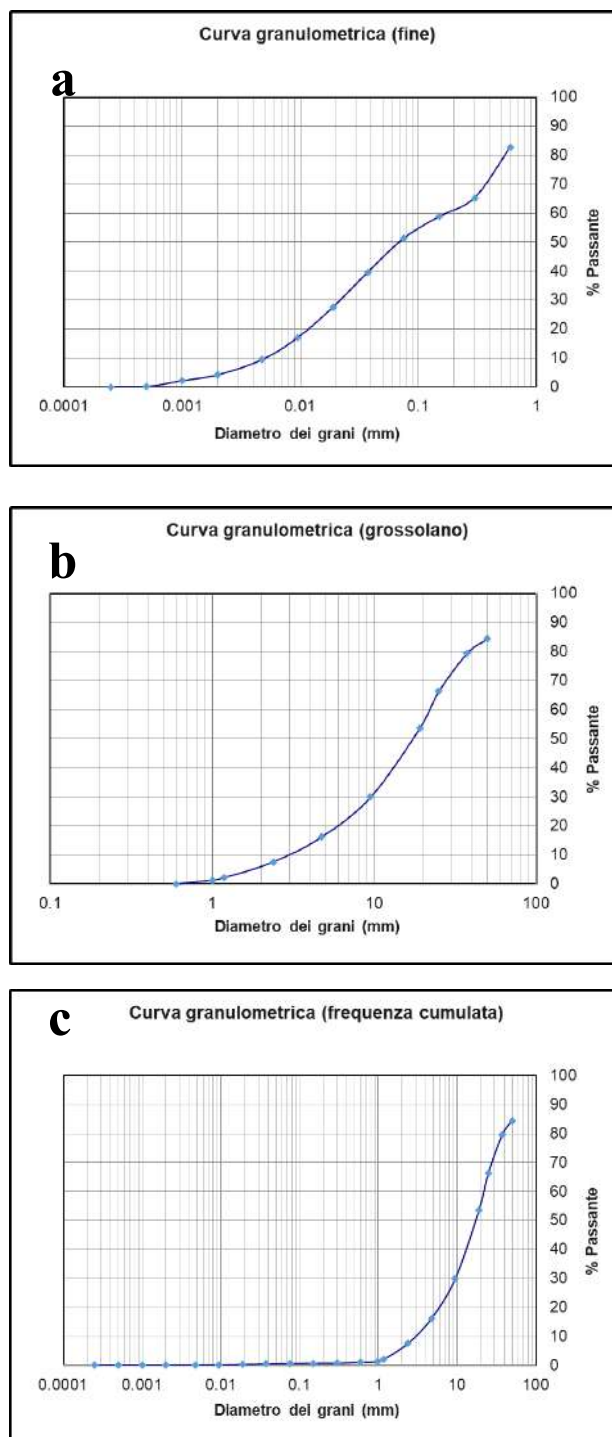


Figura 37. Curve granulometriche del bacino di sedimentazione a valle. a. Frazione fine. b. Frazione grossolana. c. Frequenza cumulata.

Point load test				Slake durability test	
campione	I [MPa]	I ₅₀ [MPa]	σ _c [MPa]	W [%]	I _d (2)
1	3.781	4.094	90.057	0.039	99.296
2	2.629	2.508	55.169		

Tabella 31. Risultati dell'analisi della prova di carico puntuale (Point load test) e dell'analisi di durabilità (Slake durability test) del bacino di sedimentazione a valle.

Il deposito è costituito da calcari. Il grado di alterazione è basso e la quantità di materiale fine è leggermente inferiore a quella grossolana. La granulometria è eterogenea. I campioni analizzati con il Point load test mostrano una resistenza media. L'analisi della durabilità tramite Slake test mostra un indice superiore al 95%: i campioni hanno una resistenza estremamente elevata all'indebolimento e alla disgregazione.

Il test all'abrasione Los Angeles per il campione di questo bacino ha restituito un valore del 31%.

3.4 Rio Drigniza

Per il bacino di Lusevera sono stati analizzati solo un campione e una sezione.

RDN 2008 TM 33

SEZIONE 1

Coordinata X [m] 364098.165101
Coordinata Y [m] 5126831.70872

Tabella 32.Coordinate della sezione nel bacino di Lusevera.



Figura 38. Ubicazione della sezione e del relativo campione raccolto.

a

litologia	frequenza % (vol)
Dolomia	60
Calcare	35
Conglomerato	5

b

Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine:	
% fine	40
% grossolano	60

Tabella 33 a. Litologie presenti. b. Valutazione qualitativa del rapporto tra deposito grossolano/fine della sezione nel bacino di Lusevera.

Analisi deposito con grid by number																			
ID	A1 [cm]	A2 [cm]	A3 [cm]	sfericità		arrotondamento						litologia	alterazione (ISRM)						
1	30	10	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
2	7	4	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
3	5	4	4	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
4	6	5	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
5	3	2	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
6	4	1	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
7	15	10	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
8	80	50	40	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
9	38	38	26	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
10	29	36	16	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
11	6	5	3	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
12	30	18	18	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
13	8	3	2	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Calcare	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
14	16	10	5	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica
15	7	3	1	H	L	WA	A	SA	SR	R	WR	Dolomia	W1	W2	W3	W4	W5	chimica	fisica

Tabella 34. Tabella dati grid by number della sezione nel bacino di Lusevera. Le sigle per la sfericità indicano: H = alta sfericità, L = bassa sfericità. Le sigle per l'arrotondamento indicano: WA = molto angoloso, A= angoloso, SA = sub -angoloso, SR = sub-arrotondato, R = arrotondato, WR = ben-arrotondato. Le classi W1-W5 per l'alterazione indicano il grado crescente di alterazione, dove 1 è non alterato e 5 molto alterato.



Figura 39. Documentazione fotografica della sezione nel bacino di Lusevera.

Analisi granulometrica

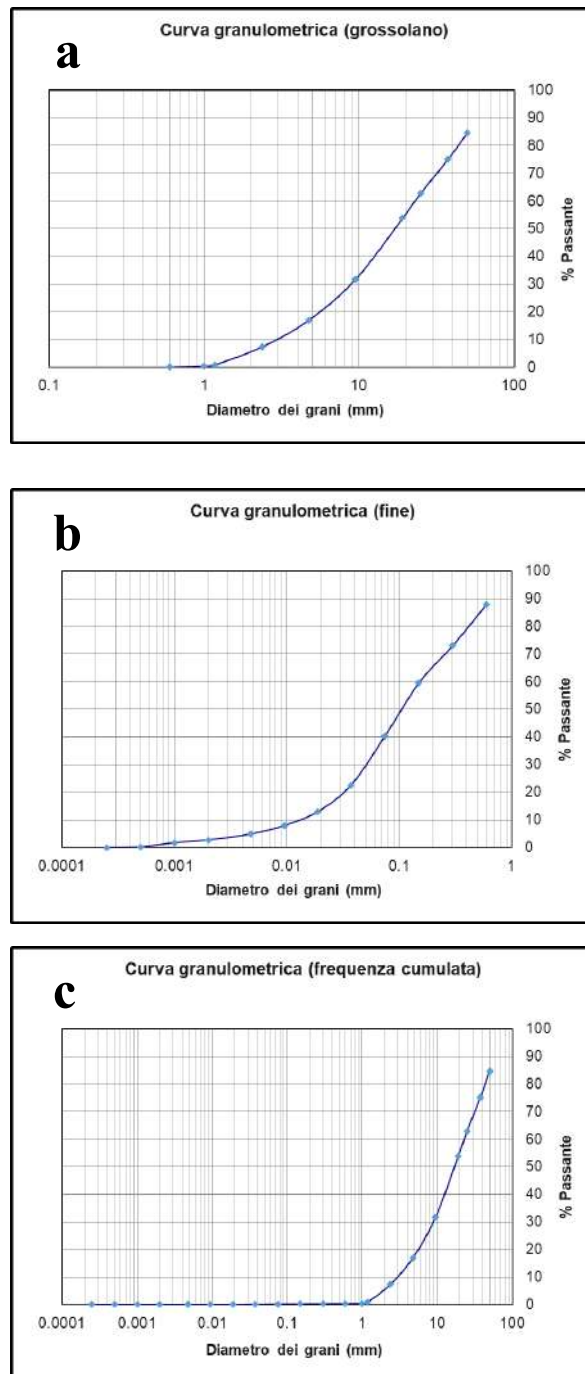


Figura 40. Curve granulometriche della sezione nel bacino di Lusevera. a. Frazione fine. b. Frazione grossolana. c. Frequenza cumulata.

Point load test			
campione	I [MPa]	I₅₀ [MPa]	σ_c [MPa]
1	4.533	4.173	91.813
2	3.851	3.502	77.035
3	7.470	5.992	131.829

Tabella 35. Risultati dell'analisi della prova di carico puntuale (Point load test) della sezione nel bacino di Lusevera.

Il deposito è costituito da dolomie con calcari subordinati. Il grado di alterazione è basso e la quantità di grani fini è leggermente inferiore a quella dei grani grossi. La granulometria è eterogenea. I campioni analizzati con la prova di Point load mostrano una resistenza medio-alta. Le analisi della durabilità tramite Slake test e resistenza all'abrasione Los Angeles non sono state effettuate perché i campioni non sono risultati adatti.

4. WP6 - Integrazione ed analisi dei dati

4.1 Quantificazione del volume dei sedimenti

La stima del volume dei sedimenti presenti nel bacino viene tipicamente effettuata in quattro steps:

- **analisi geomorfologica** del bacino per ottenere una stima approssimata dei **volumi** disponibili nei depositi (*storage volume*) tramite mappatura delle sorgenti di sedimenti (quali frane e fenomeni di erosione) e dei depositi;
- **analisi morfometrica e geofisica** per ottenere una misura quantitativa degli **spessori** dei sedimenti;
- **monitoraggio** in continuo o in time-lapse (ad esempio tramite analisi *Difference of Dem*) dei processi per ottenere una quantificazione delle dinamiche di produzione/erosione entro un certo periodo; si noti che questa stima non fornisce il bilancio totale dei sedimenti in quanto parte di questi viene evacuata dal bacino, ma è comunque un importante indicatore per lo studio del bacino.
- **misura del budget di deposizione dei sedimenti** per quantificare il volume di sedimento trasportato all'interno del bacino, e per ottenere una stima del bilancio di sedimento e una stima del tasso di denudamento del bacino. È funzione della scala temporale e spaziale utilizzate.

Vista la difficoltà e a volte la mancanza di disponibilità queste informazioni, nell'ambito del progetto SedInOut è stato proposto un approccio pratico semplificato, articolato in quattro attività:

- rilevamento su terreno per la stima dei sedimenti presenti in alveo e per la valutazione del grado di efficienza delle opere (utilizzando le schede di rilevamento descritte nel WP4),
- mappatura geomorfologica da fotointerpretazione e analisi del DEM,
- stima dei volumi presenti in alvei ad elevato grado di connettività,
- stima dei volumi di sedimenti presenti nell'intero bacino.

4.1.1 Rilevamento sul terreno

La prima attività di terreno (pedonamento delle aste torrentizie) è estremamente rilevante per la stima dei volumi più facilmente rimobilizzabili in caso di evento alluvionale intenso a breve termine. L'approccio proposto prevede il pedonamento delle aste torrentizie, la compilazione delle schede di rilevamento e la suddivisione delle aste in tratti omogenei. Grazie a questa attività, è possibile ottenere una prima stima dei sedimenti presenti in alveo, quantificati come:

$$\mathbf{Vol_{asta} = spessore\ sedimenti * larghezza\ alveo * lunghezza\ tratto}$$

Il rilevamento in situo nelle zone montane può spesso risultare complesso, non permettendo al rilevatore di analizzare tutte le zone del bacino; ma se è vero che i tratti non pedonati contengono detrito non conteggiato, causando una sottostima dei volumi rimobilizzabili (Vol_{asta}), è vero anche che questi sono spesso inaccessibili a causa dell'elevata pendenza, caratterizzata da uno scarso accumulo di depositi.

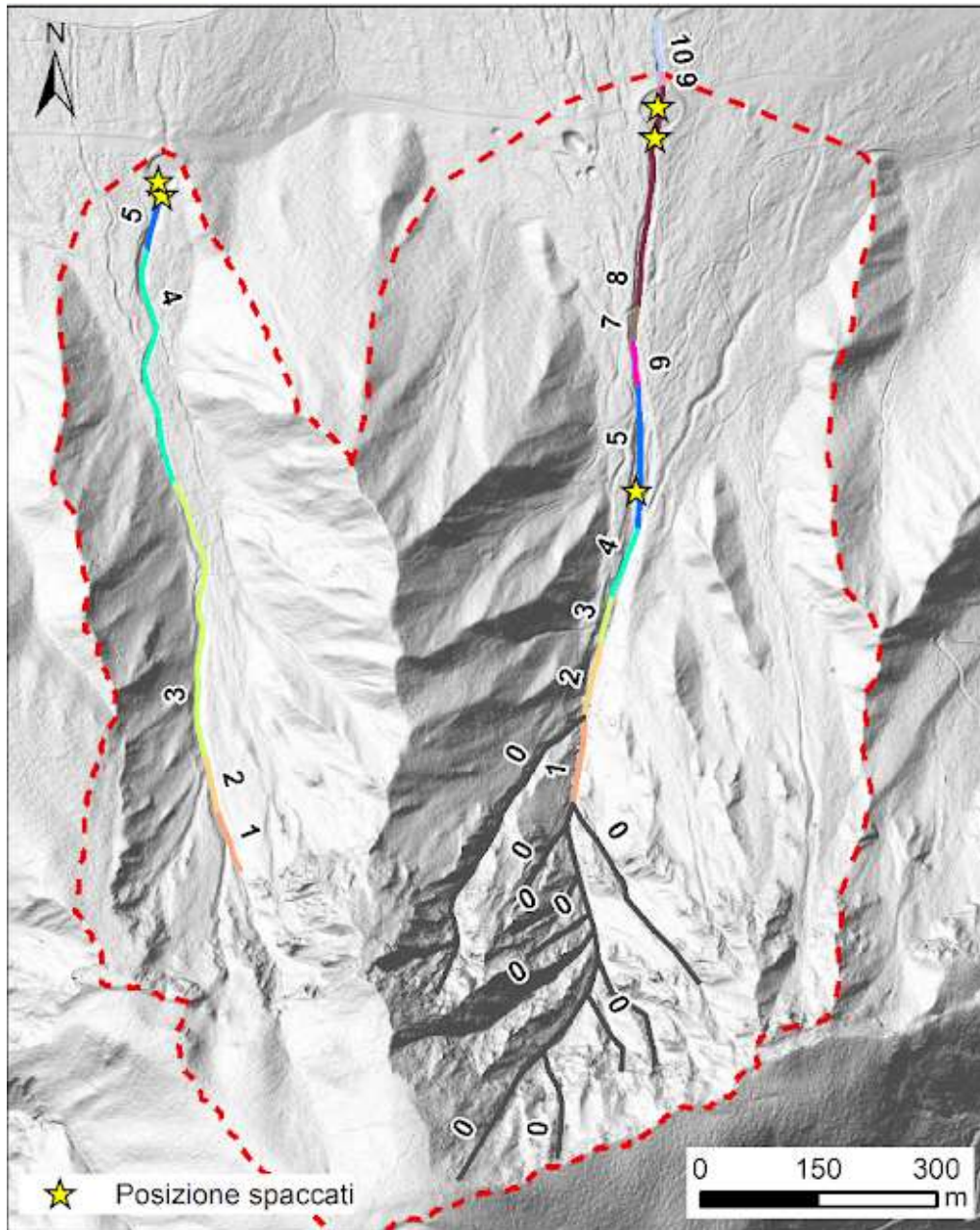


Figura 41. Bacino degli affluenti sinistra del Fella, est e ovest. I tratti pedonati e distinti in zone omogenee sono indicati dai segmenti colorati; ad ogni tratto un colore e un ID progressivo; i tratti con ID pari a zero sono quelli non pedonati perché inaccessibili.

4.1.2 Mappatura geomorfologica da fotointerpretazione

L'attività di mappatura permette l'individuazione e classificazione dei depositi e dei movimenti gravitativi presenti all'interno dei bacini, fornendo un ordine di grandezza dei depositi complessivamente disponibili, rimobilizzabili nel medio e lungo termine.

Una volta caratterizzati, l'approccio SedInOut propone due analisi a scale diverse:

- analisi dei volumi dei depositi connessi alle aste torrentizie,
- analisi dei volumi presenti nell'intero bacino,

per individuare dei volumi non riattivabili in un unico evento, ma comunque indicativi del grado di *criticità* del bacino, anche in funzione della frequenza degli eventi alluvionali.

4.1.3 Stima dei volumi presenti in alvei ad elevato grado di connettività

Per quanto riguarda la prima analisi circoscritta ai soli depositi connessi alle aste torrentizie, il procedimento prevede, in ambiente GIS, la costruzione di buffer intorno alle aste di dimensione progressivamente crescente con l'ordine di Strahler dei tratti torrentizi (10 m per il primo ordine, 20 m per il secondo, 30 m per il terzo, 40 m per il quarto, e 50 m per il quinto), poi intersecati con i layer relativi ai depositi e ai movimenti gravitativi (**Figura 42**); ad ogni deposito viene poi attribuito un valore di spessore ottenuto tramite indagini geofisiche o proposto in letteratura (i valori di spessori in valli alpine proposti nel lavoro di Otto et al., 2009 sono riportati in **Tabella 36** e in **Figura 43**), esteso a tutta la superficie di buffer interessata. La quantificazione finale dei volumi presenti nei depositi connessi è pari a:

$$Vol_{\text{depositi connessi}} = \text{superficie intersezione buffer e deposito} * \text{spessore deposito}$$

Il valore di spessore può essere quello associato al 25° percentile, al valore medio oppure al 75° percentile, in funzione dello scenario desiderato. In **Tabella 37** sono riportati i valori di Volume disponibile nei depositi connessi alle aste torrentizie rispetto al kilometro quadrato.

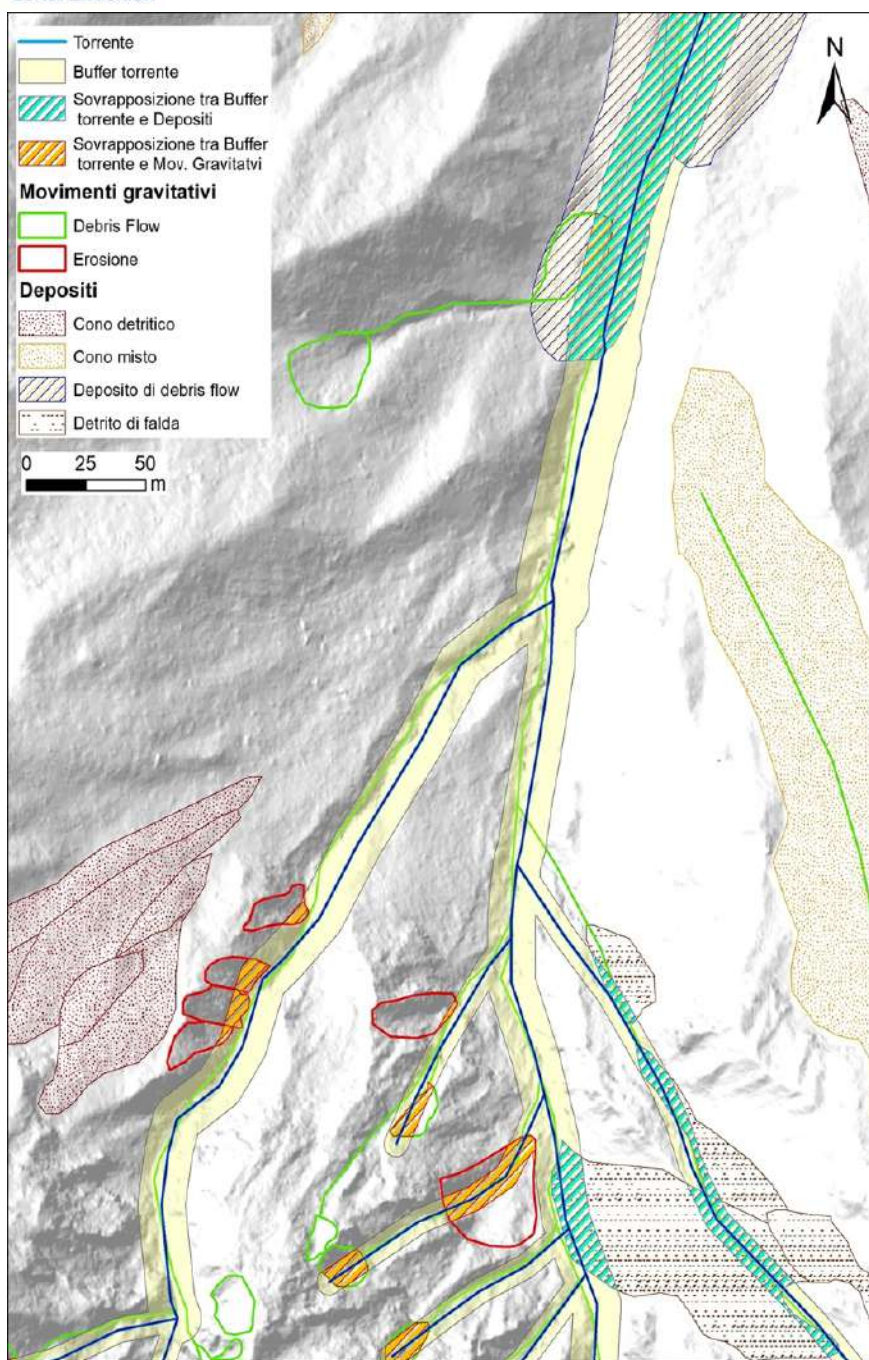


Figura 42. Esempio di costruzione del buffer intorno alle aste torrentizie, intersecato con i layer dei depositi e dei movimenti gravitativi.

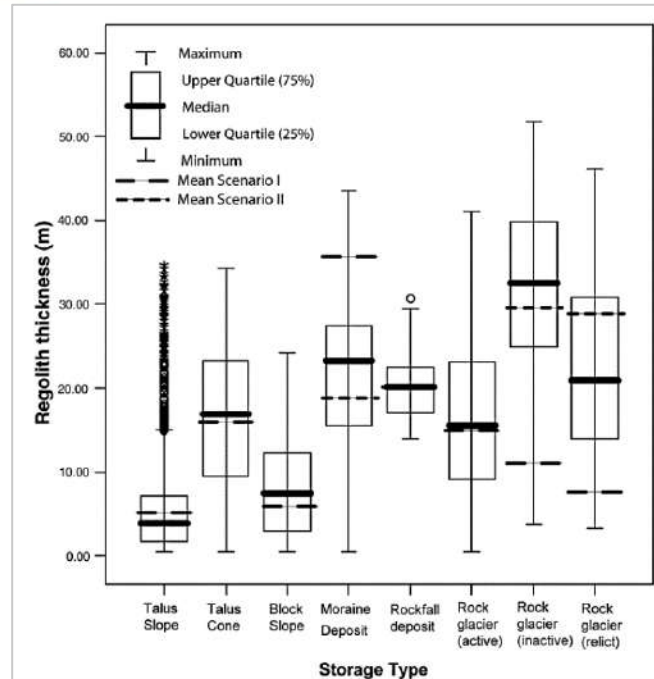


Figura 43. Spessori dei depositi in una valle alpina, stimati da Otto et al. (2009).

Tipo di deposito	$Vol_{depositi\ connessi} (m^3)$
Cono misto	28500 ± 10700
Deposito di debris flow	90 ± 0
Detrito di falda	18300 ± 7300
Debris Flow	210 ± 0
Erosione	185 ± 90

Tabella 36. Volume dei depositi in una valle alpina, stimati da Otto et al. (2009).

Bacino	$Vol_{depositi\ connessi}/km^2$
Rio Cucco	240.000
Fella sx Est e Ovest	86.000
Rio Solfo	880.000
Rio Drigniza	1.740.000
Rio Tolina	92.000

Tabella 37. Volumi dei depositi connessi alle aste torrentizie di ogni bacino per kilometro quadrato. Si noti l'alto valore corrispondente al bacino del Rio Drigniza, estremamente attivo.

4.1.4 Stima dei volumi di sedimenti presenti nell'intero bacino

Per quanto riguarda la seconda analisi proposta, estesa ai depositi e movimenti gravitativi di tutto il bacino, il prodotto dei valori di spessore del deposito per superficie dell'intero deposito mappato restituisce una quantificazione dei volumi maggiore:

$$Vol_{depositi\ tutti} = superficie\ deposito * spessore\ deposito$$

Anche in questo caso, il valore di spessore viene ottenuto tramite indagini geofisiche o dalla letteratura, e può essere quello associato al 25° percentile, al valore medio oppure al 75° percentile, in funzione dello scenario desiderato.

Una volta ultimate le quattro attività proposte dall'approccio pratico semplificato SedInOut, la quantificazione dei volumi di sedimenti presenti nel bacino è quindi costituita da tre valori: il volume in asta (Vol_{asta}), il volume dei soli depositi connessi ($Vol_{depositi\ connessi}$) e il volume dei depositi tutti ($Vol_{depositi\ tutti}$), i quali indicano rispettivamente uno scenario a disponibilità elevata, media e bassa, e un tempo di ritorno basso, medio e alto. Questi tre valori sono interpretabili tramite confronto con la letteratura disponibile, quale lo studio di Marchi et al. (2019) riportato in **Figura 44**. Figura 44 Per ognuno dei 5 bacini studiati nell'ambito del progetto SedInOut si osservano valori di Vol_{asta} e di $Vol_{depositi\ connessi}$ in linea con la letteratura. Interessante il caso del bacino del Rio Drigniza, che risulta talmente attivo nella produzione di sedimento e connesso con i depositi presenti, da essere caratterizzato da valori di $Vol_{depositi\ connessi}$ e $Vol_{depositi\ tutti}$ simili. I risultati ottenuti per i cinque bacini studiati sono riportati in **Tabella 38**.

Bacino	Vol_{asta}	$Vol_{dep_connessi}$	Vol_{dep_all}
Rio Cucco	21.500	186.700 ± 65.000	1.250.000 ± 500.000
Affluenti sx Fella W e E	10.800	58.100 ± 20.000	1.070.000 ± 350.000
Rio Solfo	n.d.	4.140.000 ± 1.500.000	12.100.000 ± 4.500.000
Rio Drigniza	n.d.	2.000.000 ± 800.000	2.750.000 ± 1.100.000
Rio Tolina	43.500	1.250.000 ± 450.000	49.000.000 ± 15.000.000
Disponibilità	elevata	media	bassa
Tempo di ritorno	basso	medio	alto

Tabella 38. Quantificazione dei volumi in asta, nei depositi connessi e nei depositi tutti, calcolati in ognuno dei cinque bacini studiati.

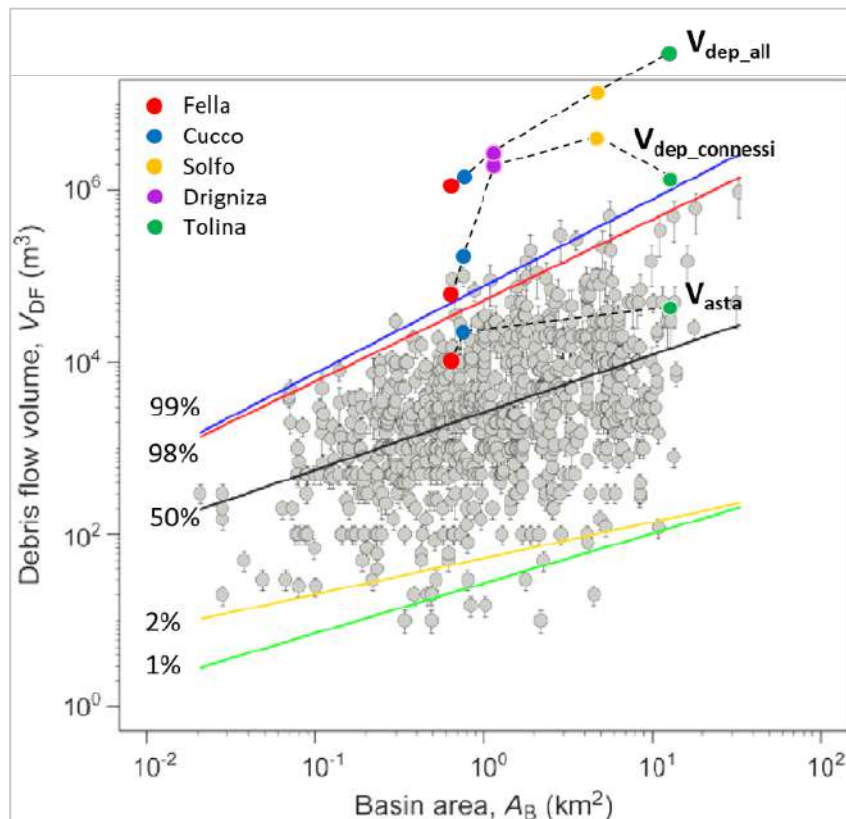


Figura 44. Relazione tra volume di sedimenti e are del bacino di Marchi et al., 2019. I cerchi colorati si riferiscono ai volumi calcolati per ognuno dei cinque bacini studiati nel progetto SedInOut in asta, nei depositi connessi e nei depositi presenti in tutto il bacino. I valori relativi al volume di sedimenti in asta (Vol_{asta}) non è stato calcolato per i bacini Solfo e Drigniza in quanto non pedonati.

5 WP7 - Elaborazione Schede Tecniche, Manuali e Linee Guida

5.1 Possibile uso dei sedimenti

Un altro obiettivo del seguente WP è stato quello di valutare, in funzione della disponibilità e le caratteristiche dei bacini indagati, il possibile riuso del sedimento. Grazie alle analisi in situ e, a posteriori, in laboratorio, si sono determinati quali fossero gli eventuali riutilizzi dei depositi che potenzialmente si potrebbero generare a seguito di eventi di colate. L'indagine di cinque bacini sparsi sull'intero territorio regionale, e presentanti caratteristiche morfologiche, litologiche e climatiche differenti, ha avuto l'obiettivo di indagare l'eterogeneità dell'area, in modo tale da poter definire dei parametri validi sull'intero territorio. Tramite l'analisi della normativa vigente a scala nazionale (italiana) e regionale (Friuli-Venezia Giulia), nonché tramite le norme UNI e ASTM, sono stati identificati 12 potenziali riusi del materiale nella regione.

Qui di seguito sono rappresentati i possibili utilizzi e le loro limitazioni.

5.1.1. Ballast ferroviario (UNI-EN) – caratteristiche richieste dalla RFI (Rete Ferroviaria Italiana)

Il pietrisco dovrà essere sottoposto alle seguenti prove di laboratorio:

Analisi granulometrica	Resistenza gelo disgelo
Contenuto in particelle fini	Massa volumetrica delle particelle
Contenuto in fini	Coefficiente di assorbimento acqua
Indice di forma ed elementi lunghi	Prova di resistenza a compressione
Resistenza alla frammentazione Los Angeles	Analisi mineralogico-petrografica al microscopio su sezione sottile

Tabella 39. Elenco delle prove di laboratorio.

5.1.1.1 Caratteristiche geometriche

<i>apertura setacci (mm)</i>	80	63	50	40	31.5	22.4
<i>passante (%)</i>	100	100	70-99	30-65	1-25	0-3

Tabella 40. Elenco delle caratteristiche geometriche.

- Frazione compresa tra 31.5 e 50 mm non deve essere inferiore al 50 %
- Su un campione di 60 kg (campione di peso inferiore non valido) il passante al setaccio 0.5 mm non deve superare lo 0.6% (UNI EN 9331-1)
- Su un campione di 60 kg il passante al setaccio 0.063 mm per setacciatura in umido non deve superare lo 0.5% (UNI EN 933-1)

5.1.1.1.1 Forma particelle

- Richiesta categoria SI 20 del prospetto UNI-EN 13450
- Coefficiente di forma calcolato su un campione di almeno 40 kg
- La percentuale in peso degli elementi con dimensione minima inferiore a 1/3 della massima non deve essere superiore al 20%

5.1.1.1.2 Lunghezza particelle

- Richiesta la categoria B del prospetto UNI EN 13450
- La percentuale in peso di elementi con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm, misurata su un campione di pietrisco di 40kg, non deve eccedere il valore del 6%.

5.1.1.2 Caratteristiche meccaniche/fisiche

5.1.1.2.1 Resistenza alla frammentazione – Test Los Angeles (LA)

$$LA_{RB} = \frac{P_i - m}{P_i} \times 100$$

Dove

P_i = massa iniziale del campione di prova espressa in grammi

M = massa trattenuta sul setaccio da 1.6 mm espressa in grammi

Coefficiente L.A.	Categoria RFI	Categoria L.A. _{RB}
≤16%	1	LA _{RB} 16
≤20%	2	LA _{RB} 20
≤26%	3	LA _{RB} 26

Tabella 41. Parametri della prova Los-Angeles e categorie RFI.

5.1.1.2.2 Durabilità – Resistenza al gelo e disgelo

$$\Delta S_{LA} = \frac{S_{LA1} - S_{LA0}}{S_{LA0}} \times 100$$

Dove

S_{LA0} è il coefficiente Los Angeles del campione di prove senza i cicli di gelo e disgelo

S_{LA1} è il coefficiente Los Angeles del campione di prova dopo i cicli gelo e disgelo

Pietrisco non gelivo	$\Delta S_{LA} \leq 20\%$
-----------------------------	---------------------------

5.1.1.2.3 Massa volumetrica delle particelle

Il pietrisco è ritenuto idoneo se la massa volumetrica delle particelle è $> 2.55 \text{ Mg/m}^3$.

5.1.1.2.4 Coefficiente di assorbimento acqua

Il pietrisco è ritenuto idoneo se l'assorbimento di acqua delle particelle è $\leq$ a 2%, per le categorie RFI 1 e 2, e $\leq$ 3% per la categoria 3.

Categorie RFI	Coeff assorbimento
1	$\leq 2\%$
2	
3	$\leq 3\%$

Tabella 42. Categorie RFI con coefficiente di assorbimento associato.

5.1.1.3 Classificazione litologica

La classificazione litologica del pietrisco dovrà essere effettuata mediante la determinazione della presenza, in percentuale, dei minerali principali ed accessori e dovrà essere espressa sia secondo la nomenclatura IUGS nella terminologia scientifica. La litologia dovrà essere determinata sulla base dell'esame macroscopico del campione, dell'analisi mineralogico-petrografica su sezione sottile al microscopio polarizzatore ed eventualmente, per le sole rocce vulcaniche, da analisi chimica, utilizzando i diagrammi QAPF e TAS. Il pietrisco per massicciata ferroviaria non dovrà avere un contenuto in componenti o sostanze pericolose superiore ai limiti stabiliti dalle disposizioni normative e amministrative vigenti. Non è ammesso l'impiego di pietrisco per massicciata ferroviaria prodotto da rocce comunemente note come "pietre verdi", la cui denominazione e contenuto mineralogico è riportato nell'allegato 4 al D.M. del Ministero della Sanità 14/5/1996, pubblicato sulla G.U. n. 251 del 25/10/1996, nonché da quelle rocce caratterizzate da particolari condizioni di alterazione e paragenesi, tali da presentare potenziale rischio per la presenza di minerali amiantiferi. Il pietrisco non dovrà contenere i minerali amiantiferi di cui all'art. 247 del D.Lgs. n. 81 del 09/04/2008. La determinazione della presenza di minerali amiantiferi dovrà essere effettuata sulle medesime sezioni sottili utilizzate per la classificazione litologica e contestualmente a questa (analisi mineralogico-petrografica al microscopio su sezione sottile).

5.1.2 Gabbionate

5.1.2.1 Caratteristiche geometriche

Apertura setacci (cm)	25	15
Passante (%)	100	0

Tabella 43. Caratteristiche geometriche delle gabbionate.

I blocchi non devono presentare forma troppo regolare.

5.1.3 Aggregato fine per calcestruzzo (ASTM)

5.1.3.1 Caratteristiche geometriche

<i>Apertura setacci (mm)</i>	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
<i>Passante (%)</i>	100	95-100	80-100	50-85	26-60	5-30	0-10

Tabella 44. Caratteristiche geometriche dell'aggregato fine per calcestruzzo (ASTM).

Il materiale non deve avere più del 45% del materiale passante da un setaccio che si blocchi al setaccio consecutivo.

5.1.3.2 Sostanze pericolose

La quantità di materiali pericolosi fini non deve superare i limiti prescritti in **Tabella 45**:

	Percentuale in massa massima per il campione
Argille e clasti friabili	3
Carbone e lignite	0.5
Altri aggregati	1

Tabella 45. Elenco delle percentuali in massa massima per le sostanze pericolose.

Gli aggregati fini dovrebbero essere privi di materiali organici impuri.

Se l'aggregato è soggetto a bagnatura, non deve contenere materiali che reattivi con gli alcali del cemento in quantità sufficiente da provocare un'eccessiva dilatazione di malta o calcestruzzo. Utilizzare degli aggregati con un cemento con un cemento contenente meno dello 0.6% di alcali o con l'aggiunta di materiale in grado di prevenire l'espansione derivante dalla reazione alcali-aggregato.

5.1.3.3 Durabilità

Aggregati fini soggetti a 5 cicli di soundness test dovrebbero una perdita media in peso non maggiore del 10% quando si usa solfato di sodio o 15% quando si usa solfato di magnesio.

5.1.4 Aggregati grossolani per calcestruzzo (ASTM)

5.1.4.1 Caratteristiche geometriche

n°seta ccio	apertura setacci (mm)	100	90	75	63	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.3
1	passante (%) (da 90 a 37.5 mm)	100	90-100		25-60		0-15		0-5						
2	passante (%) (da 63 a 37.5 mm)			100	90-100	35-70	0-15		0-5						
3	passante (%) (da 50 a 25.0 mm)				100	90-100	35-70	0 - 15		0-5					
357	passante (%) (da 50 a 4.75 mm)				100	95-100		35-70		10-30		0-5			
4	passante (%) (da 37.5 a 19.0 mm)					100	90-100	20-55	0-15		0-5				
467	passante (%) (da 37.5 a 4.75 mm)					100	95-100		35-70		10-30	0-5			
5	passante (%) (da 25.0 a 12.5 mm)						100	90-100	20-55	0-10	0-5				
56	passante (%) (da 25.0 a 9.5 mm)						100	90-100	40-85	10-40	0 - 15	0-5			
57	passante (%) (da 25.0 a 4.75 mm)						100	95-100		25-60		0-10	0-5		
6	passante (%) (da 19.0 a 9.5 mm)							100	90-100	20-55	0-15	0-5			
67	passante (%) (da 19.0 a 4.75 mm)							100	90-100		20-55	0-10	0-5		
7	passante (%) (da 12.5 a 4.75 mm)								100	90-100	40-70	0-15	0-5		
8	passante (%) (da 9.5 a 2.36 mm)									100	85-100	10- 30	0-10	0-5	
89	passante (%) (da 9.5 a 1.18 mm)									100	90-100	20- 55	5-30	0-10	0 - 5
9	passante (%) (da 4.75 a 1.18 mm)										100	85-100	10-40	0- 10	0

Tabella 46. Caratteristiche geometriche degli aggregati grossolani per calcestruzzo (ASTM).

5.1.4.2 Sostanze pericolose

classi	Tipo o utilizzo del calcestruzzo	Massimo permesso %						
		Clay Lumps and Friable Particles	Chert (Less Than 2.40 sp gr SSD)	Sum of Clay Lumps, Friable Particles, and Chert (Less Than 2.40 sp gr SSD)	Material e più fine di 75 µm	Carbon e e Lignite	Abrasion e ^A	Soundness con Solfato di magnesio (5 cicli) ^B
1S	Basamenti, fondazioni e travi non esposte agli agenti atmosferici, solai interni da rivestire	10	...	...	1 ^C	1	50	...
2S	Pavimenti interni senza rivestimenti	5	...	...	1 ^C	0.5	50	...
3S	Muri di fondazione fuori terra, muri di sostegno, pilastri, travi e travi esposte ad agenti atmosferici	5	5	7	1 ^C	0.5	50	18
4S	Pavimenti, impalcati, passi carrai e cordoli, camminamenti, patii, pavimenti di garage, pavimenti e portici a vista o strutture fronte mare soggetti a frequenti bagnature	3	5	5	1 ^C	0.5	50	18
5S	Calcestruzzo architettonico o decorativo a vista	2	3	3	1 ^C	0.5	50	18
<i>Moderate Weathering Regions</i>								
1M	Basamenti, fondazioni, pilastri e travi non esposte agli agenti atmosferici, solai interni da rivestire	10	...	...	1 ^C	1	50	...
2M	Pavimenti interni senza rivestimenti	5	...	...	1 ^C	0.5	50	...
3M	Muri di Fondazione fuori terra, muri di sostegno, pilastri, travi e travi esposte agli agenti atmosferici	5	8	10	1 ^C	0.5	50	18
4M	Marciapiedi, impalcati, passi carrai e cordoli, camminamenti, patii, pavimenti di garage, pavimenti e portici a vista o strutture fronte mare soggette a frequenti bagnature	5	5	7	1 ^C	0.5	50	18
5M	Calcestruzzo architettonico o decorative a vista	3	3	5	1 ^C	0.5	50	18
<i>Negligible Weathering Regions</i>								
1N	Lastre soggette ad abrasione da traffico, impalcati, solai, marciapiedi	5	...	...	1 ^C	0.5	50	...
2N	Tutte le altre classi di calcestruzzo	10	...	...	1 ^C	1	50	...
A- Le scorie d'altoforno frantumate e raffreddate ad aria sono escluse dai requisiti di abrasione. La bulk density (peso unitario) di scorie d'altoforno frantumate e raffreddate ad aria non deve essere inferiore a 1120 kg/m³ [70 lb/ft³]. La classificazione delle scorie utilizzate nella prova di bulk density (peso unitario) deve essere conforme alla classificazione da utilizzare nel calcestruzzo. La perdita per abrasione di ghiaia, pietrisco o pietrisco deve essere determinata sulla dimensione o sulle dimensioni di prova più vicine alla classificazione o alle classificazioni da utilizzare nel calcestruzzo. Quando è necessario utilizzare più di una classificazione, a ciascuna si applica il limite di perdita per abrasione. B- I limiti concessi per il test soundness dovrebbero essere del 12 % se si utilizza il solfato di sodio. C- Questa percentuale in una delle seguenti condizioni: (1) può essere aumentata a 1,5 se il materiale è essenzialmente privo di argilla o scisto; o (2) se è noto che la fonte dell'aggregato fine da utilizzare nel calcestruzzo contiene meno della quantità massima specificata che supera il setaccio da 75 µm (n. 200) il limite percentuale (L) sulla quantità nel grezzo l'aggregato può essere aumentato a $L = 1 + [(P)/(100 - P)] (T - A)$, dove P = percentuale di sabbia nel calcestruzzo come percentuale dell'aggregato totale, T = il limite per il importo consentito nell'aggregato dell'ammenda e A = l'importo effettivo nell'aggregato dell'ammenda. (Ciò fornisce un calcolo ponderato progettato per limitare la massa massima di materiale che passa il setaccio da 75 µm (n. 200) nel calcestruzzo a quella che si otterrebbe se sia l'aggregato fine che quello grosso fossero forniti alla percentuale massima tabulata per ciascun di questi ingredienti.)								

Tabella 47. Elenco delle sostanze pericolose.

5.1.5 Aggregati per asfalti (Washington Department of Transportation 2004)

5.1.5.1 Caratteristiche geometriche

apertura setacci (mm)	38.1	25.4	19.05	12.7	9.525	4.75	2.36	0.075
<i>passante (%) (0.95 mm)</i>				100	90-100	90 max	32-67	2-7
<i>passante (%) (1.3 mm)</i>			100	90-100	90 max		28-58	2-7
<i>passante (%) (1.9 mm)</i>		100	90-100	90 max			23-49	2-7
<i>passante (%) (2.5 mm)</i>	100	90-100	90 max				19-45	1-7

Tabella 48. Caratteristiche geometriche degli aggregati per asfalti.

5.1.5.2 Caratteristiche fisiche

Los Angeles	35% - 50%
Indice di plasticità	Da non plastico a un massimo di 10
Soundness di fine e grossolano	Da 10% a 18%
Assorbimento	Da 4% a 6%

Tabella 49. Caratteristiche fisiche degli aggregati per asfalti.

5.1.6 Cemento Portland (UNI-EN)

I cementi disponibili in commercio sono principalmente costituiti da miscele di cemento Portland con materiali pozzolanici, materiali pozzolanici a comportamento idraulico e aggiunte inerti. In accordo con questa normativa, i cementi possono essere prodotti utilizzando i seguenti costituenti principali:

- Clinker di cemento Portland (K)
- Gesso
- Pozzolane naturali (P) e naturali calcinate (Q)
- Ceneri volanti di tipo silicico (V) e calcico (W)
- Loppe granulate d'altoforno (S)
- Microsilici o fumo di silice (D)
- Calcarì (L o LL)
- Scisti calcinati (T)

Tipi principali	Denominazione dei 27 prodotti (tipi di cemento comune)		Composizione (percentuale in massa ^{a)})											Costituenti secondari
			Costituenti principali											
			Clinker	Loppa di altoforno	Fumo di silice	Pozzolana		Cenere volante		Scisto calcinat o	Calcare			
						Naturale	Naturale calcinata	Silice a	Calcare		T	L	LL	
K	S	D ^{b)}	P	Q	V	W	T	L	LL					
CEM I	Cemento portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II	Cemento Portland alla loppa	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland ai fumi di silice	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland alla pozzolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland alle ceneri volanti	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21- 35	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
	Cemento Portland allo scisto calcinato	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20			0-5	
		CEM II/B-T	65-79							21-35			0-5	
	Cemento Portland di calcare	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	--	6-20		0-5	
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21- 35		0-5	
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
		CEM II/B-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
Cemento Portland composito	CEM II/A-M	80-88	←----- 12-20 -----→									0-5		
	CEM II/B-M	68-79	←----- 21-35 -----→											
CEM III	Cemento d'altoforno	CEM III/A	35-64	36-50	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Cemento pozzolanico ^{c)}	CEM IV/A	65-89	-	←----- 11-65 -----→					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	←----- 36-55 -----→					-	-	-	0-5	
CEM V	Cemento composito ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	-	←----- 18-30 -----→			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-49	-	←----- 31-49 -----→			-	-	-	-	0-5	
a) I valori del prospetto si riferiscono alla somma dei costituenti principali e secondari														
b) La proporzione dei fumi di silice è limitata al 105														
c) Nei cementi Portland compositi CEM II/A-M e CEM II/B-M, nei cementi pozzolanici CEM IV/A e CEM IV/B e nei cementi compositi CEM V/A e CEM V/B i costituenti principali diversi dal clinker devono essere dichiarati mediante la designazione del cemento (per esempio vedere punto 8)														

Tabella 50. Elenco delle normative del cemento Portland.

5.1.7 Correzione suoli (ASTM)

Tramite l'utilizzo di rocce carbonatiche è possibile attuare un processo di de-acidificazione dei suoli.

La prima condizione necessaria per l'utilizzo del materiale per questo scopo è quindi che la litologia del deposito sia costituita da calcari e/o dolomie.

5.1.7.1 Caratteristiche granulometriche

- La distribuzione dei grani con il 95% minore di 0.85 mm, il 60% minore di 0.25 mm e il 50% minore di 0.15 mm
- Alcuni paesi richiedono che il 75/100% del materiale siano minore di 2/2.38 mm e che il 25% sia inferiore a 0.25 mm

Ulteriori utilizzi individuati potenziali individuati, ma senza trovare riferimenti precisi alla vincolistica sono: pavimentazioni, rilevati e cementificazioni in situ, pigmenti, riempimenti per plastiche, giardinaggio.

5.2 Applicativo sedimenti + uso dei sediment

Al fine di stimare qualitativamente la distribuzione granulometrica dei clasti costituenti il deposito, la singola analisi di laboratorio non è sufficiente. Questa, infatti, è utile per la quantificazione del materiale più fine, ma risulta insufficiente per la valutazione delle volumetrie più grossolane. Al contrario, un'analisi di immagine da ortofoto permetterà la sola stima dei depositi più grossolani presenti in superficie. Pertanto, è importante eseguire un'analisi in grado di unificare e armonizzare analisi granulometriche a scala differente, che permetta una valutazione qualitativa dell'intero deposito andando a osservare sia i volumi più grandi che quelli più piccoli.

È stato quindi realizzato un applicativo che vuole andare a stimare la distribuzione granulometrica del deposito e fornire informazioni indicative sui possibili riutilizzi del materiale attraverso le seguenti informazioni (**Figura 45**):

- Dati stimabili da osservazione diretta su terreno;
- Dimensione degli assi dei blocchi mappati da ortofoto del deposito;
- Dimensione degli assi dei blocchi mappati da foto dello spaccato;
- Dati dell'analisi granulometrica eseguita su un campione raccolto su terreno dallo spaccato.

Le osservazioni su terreno permetteranno la stima del rapporto tra fine e grossolano dell'intero deposito. L'analisi delle foto consentirà di valutare la percentuale di detrito grossolano nel deposito sia in superficie, grazie all'analisi a ortofoto, che in profondità, grazie all'analisi della foto dello spaccato. L'analisi granulometrica in laboratorio permetterà invece di quantificare il fine (**Figura 46**). In funzione poi della distribuzione granulometrica, tramite l'applicativo, sarà possibile eseguire una prima scrematura sui possibili riutilizzi del materiale (**Figura 47**). Sono stati identificati dodici potenziali riutilizzi del materiale costituente il deposito secondo le norme (UNI e ASTM) per il loro impiego. Di questi dodici, solo nove presentano limitazioni granulometriche, perciò l'applicativo è in grado di identificare il potenziale uso di solo queste. A supporto dell'applicativo e dei potenziali usi sono stati inoltre realizzati due manuali. Il manuale dell'applicativo descrive il funzionamento matematico dietro al modello e come utilizzarlo, indicando quali sono i file di input necessari. Il manuale dei potenziali riutilizzi indica tutti i vincoli che devono essere rispettati dal materiale per essere impiegati ad un utilizzo specifico.

Analisi granulometrica dei depositi di debris flow

 **Interreg**
Italia-Österreich
European Regional Development Fund

 EUROPEAN UNION

 **BICOCCA**

 **REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA**
Servizio geologico

Input files and values

Seleziona il file contenente i dati drone

Seleziona il file contenente i dati foto da spaccato

Seleziona il file contenente i dati da setacciatura

Seleziona il file contenente i dati setacciatura laser (opzionale)

Spessore carapace [m]:

Spessore deposito [m]:

Percentuale fini in spaccato [0-1]:

Percentuale fini in carapace [0-1]:

Densità [kg/m³]:

Densità fine [kg/m³]:

Soglia fine grossolano [m]:

Seleziona la cartella di salvataggio degli output

Ok

Figura 45. Interfaccia degli input granulometrici dell'applicativo.

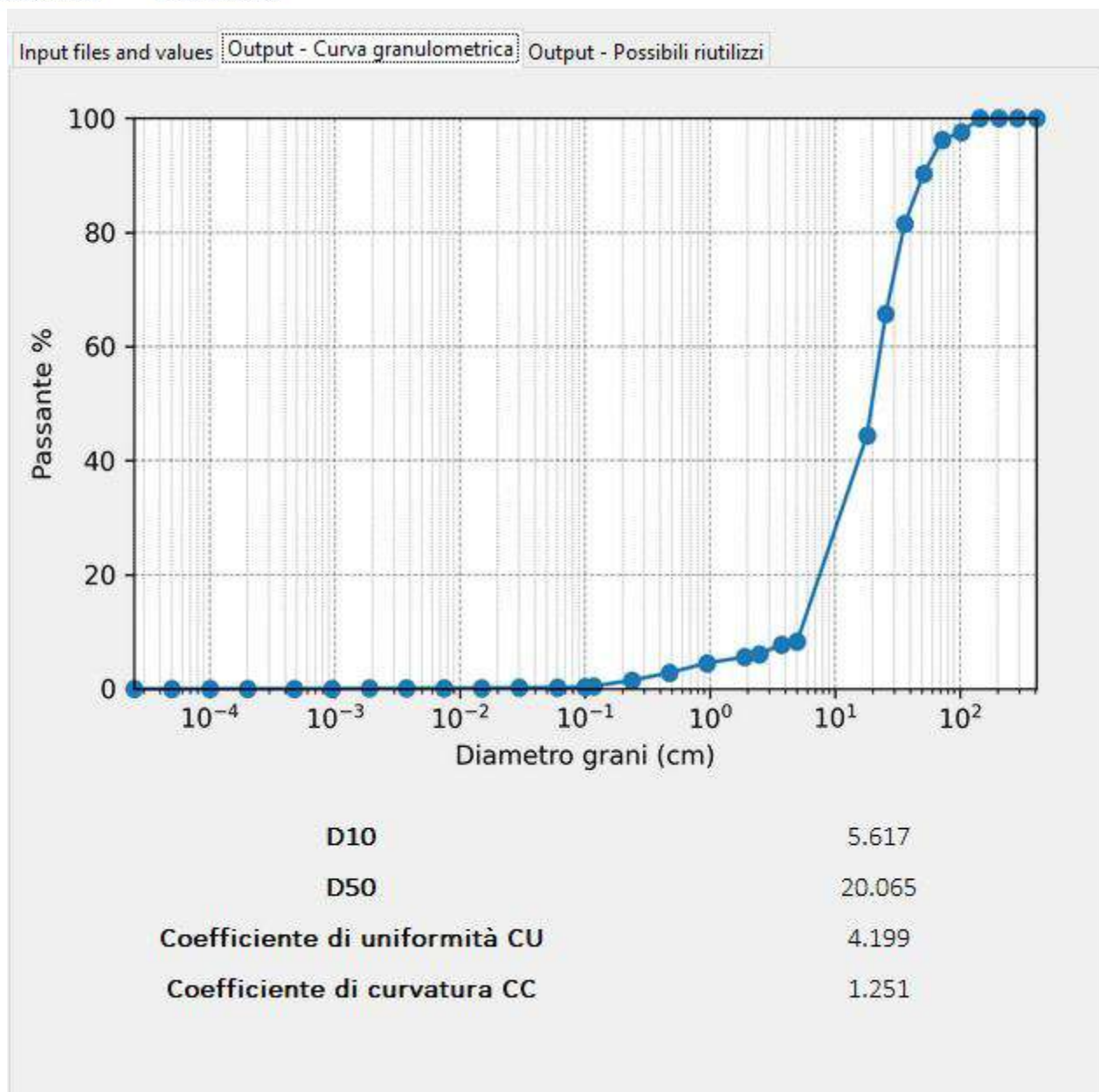


Figura 46. Esempio di output della curva granulometrica ottenibile dall'applicativo.

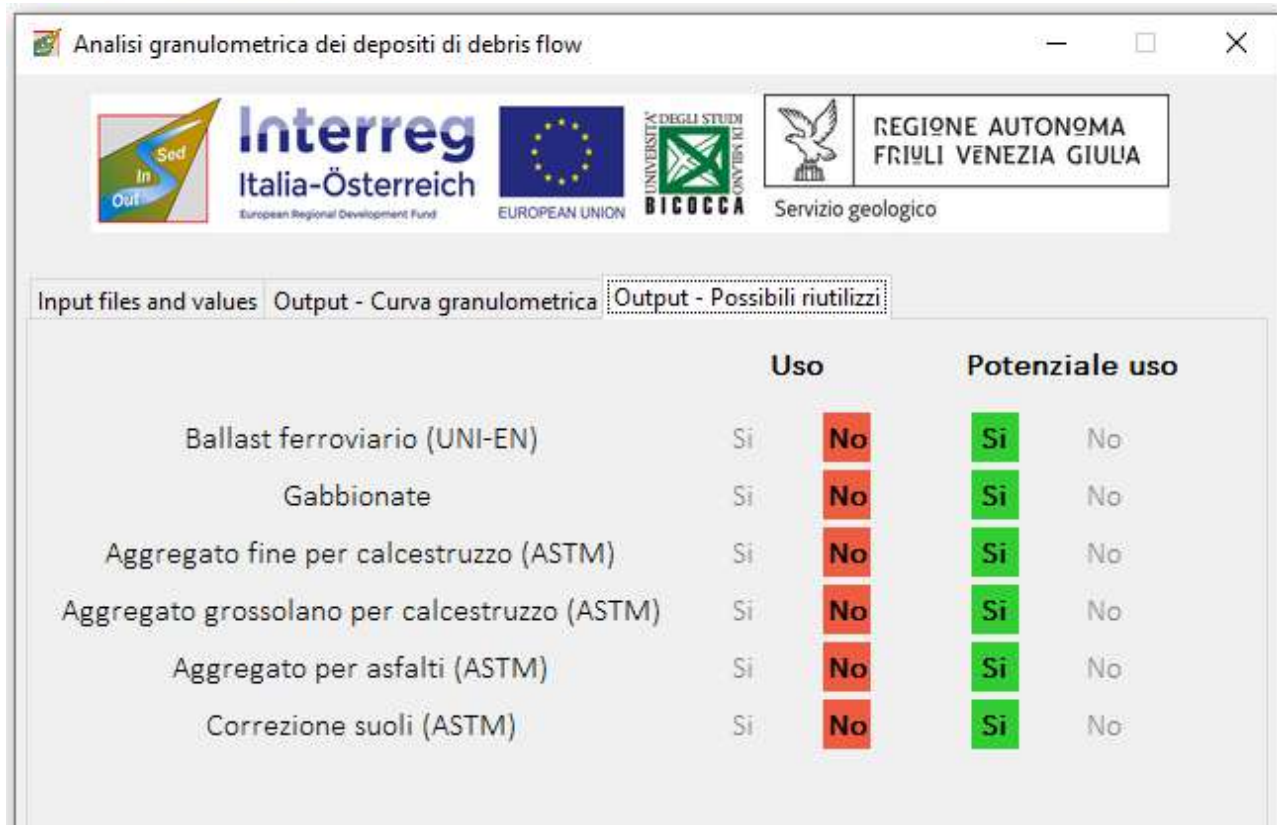


Figura 47. Esempio dei possibili riutilizzi dell'applicativo.

	LIMITAZIONI GRANULOMETRICHE	LIMITAZIONI FISICHE/MECCANICHE	LIMITAZIONI PETROGRAFICHE	LIMITAZIONI MINERALOGICHE
BALLAST FERROVIARIO	X	X		
GABBIONATE	X			
AGGREGATO FINE PER CALCESTRUZZO	X	X	X	
AGGREGATO GROSSOLANO PER CALCESTRUZZO	X		X	
AGGREGATI PER ASFALTI	X		X	
CEMENTI			X	
CORREZIONI SUOLI	X		X	
PAVIMENTAZIONE			X	
RILEVATI E CEMENTIFICAZIONE IN SITU				
PIGMENTI	X		X	X
RIEMPIMENTI PLASTICHE	X		X	X
GIARDINAGGIO	X			

Tabella 51. Tabella dei possibili impieghi e limitazioni.

5.3 Normativa

5.3.1 Normativa statale

R.D. 25 luglio 1904, n. 523; • R.D. 9 dicembre 1937 n. 2669

D.P.R. 8 settembre 1997, n. 357 recante il regolamento di attuazione della Direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatica;

D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554 che disciplina l'estrazione di materiale inerte nel caso di lavori di pronto intervento idraulico e idraulico-forestale dichiarati urgenti;

D. Lgs. 25 maggio 2001 n. 265 "Norme di attuazione dello statuto speciale della regione Friuli Venezia Giulia per il trasferimento di beni del demanio idrico e marittimo, nonché di funzioni di risorse idriche e di difesa del suolo";

D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, concernente in particolare il recepimento delle direttive comunitarie 85/337/CEE, 97/11/CE e 2003/35/CE e s.m.i.. In particolare, la categoria progettuale "Opere di regolazione del corso dei fiumi e dei torrenti, canalizzazione e interventi di bonifica ed altri simili destinati ad incidere sul regime delle acque, compresi quelli di estrazione di materiali litoidi dal demanio fluviale e lacuale" individua che **gli interventi di sghiaimento siano sottoposti a procedura di screening**. Include allegato 5, colonne A e B per limiti di contaminazione.

D.Lgs 16 gennaio 2008, n. 4, art.2, comma22, **esclude dalla disciplina sui rifiuti**: "i materiali vegetali, le terre e il pietrame, non contaminati in misura superiore ai limiti stabiliti dalle norme vigenti, provenienti dalle attività di manutenzione di alvei di scolo ed irrigui»

D.Lgs 13 giugno 2017, n. 120 (Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo), disciplina la gestione delle terre e rocce da scavo, a cui sono assoggettati i sedimenti fluviali, laddove non contaminati.

5.3.2 Normativa regionale – Friuli-Venezia Giulia

- **L.R. 7 settembre 1990, n. 43** e s.m.i. Ordinamento nella regione Friuli-Venezia Giulia della valutazione di impatto ambientale. Normativa che disciplina le modalità di svolgimento delle procedure di VIA e di screening;
- **D.P.Reg. 8 luglio 1996, n. 0245/Pres**, con il quale è stato approvato il regolamento di esecuzione della L.R. 43/1990. Normativa che disciplina le modalità di svolgimento delle procedure di VIA e di screening;
- **L.R. 29 aprile 2015, n.11** “Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque”, in particolare al capo II, art. 21 Disciplina degli interventi di **manutenzione degli alvei mediante l'asporto di materiale litoide** (interventi di manutenzione ordinaria, concessione mediante procedura di evidenza pubblica, canone demaniale) e art. 27 disciplina gli **Interventi urgenti di asporto di materiale litoide**.

6 Bibliografia

ASTM C33/C33M-18 Standard Specification for Concrete Aggregates

Carulli G.B.; (2006). Carta geologica del Friuli-Venezia Giulia, scala 1: 150.000 con Note illustrative, Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico Regionale.

Cavalli, M., Marchi, L., Sangati, M., Zanon, F., & Borga, M. (2007). Erosione e trasporto dei sedimenti durante una piena improvvisa: l'evento del Rio Cucco, 29 agosto 2003. Quaderni di Idronomia Montana, 27, 231-245.

Franklin, J. A., & Chandra, R. (1972, maggio). Il test di durabilità dello slake. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts (Vol. 9, No. 3, pp. 325-328). Pergamon.

Kogel, J. E., Trivedi, N. C., Barker, J. M., & Krukowski, S. T. (Eds.). (2006). *Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses*. SME.

Marchi L., Cavalli M., Sangati M., & Borga M. (2009). Controlli idrometeorologici e risposta erosiva di un debris flow alpino estremo. Processi idrologici: An International Journal, 23(19), 2714-2727.

Marchi, L., Brunetti, M. T., Cavalli, M., & Crema, S. (2019). Earth Surface Processes and Landforms, 44(4), 933-943

Otto, J. C., Schrott, L., Jaboyedoff, M., & Dikau, R. (2009). Quantifying sediment storage in a high alpine valley (Turtmanntal, Switzerland). Earth Surface Processes and Landforms 34(13), 1726-1742.

Paronuzzi P., Gnech D., Serafini W., Coccolo A., Dipartimento di Georisorse e Territorio, Università degli studi di Udine (2008). Tolina 2008- Studio geologico tecnico per la valutazione del rischio frana del bacino del torrente Tolina (Comune di Forni di Sopra). Rapporto finale FASE-D

RFI, CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI - PARTE II - SEZIONE 17 PIETRISCO PER MASSICCIATA FERROVIARIA - 31/12/2020 (<https://www.rfi.it/content/dam/rfi/fornitori-e-gare/qualificazione-operatori-economici/elenco-fornitori-pietrisco/Capitolato%20-%20Parte%20II%20-%20Sezione%2017%20-%20Pietrisco%20per%20massicciata%20ferroviaria.pdf>)

UNI EN 197-1:2011 COMPOSIZIONE, SPECIFICAZIONI E CRITERI DI CONFORMITÀ PER CEMENTI COMUNI <https://www.azichem.com/news/uni-en-197-1-2011-composizione-specificazioni-e-criteri-di-conformita%C3%A0-per-cementi-comuni/249/>

Venturini C., Pondrelli M., Delzotto S., Fontana C. & Discenza K., 2002 -Carta geologica delle alpi carniche (foglio occidentale) (scala 1: 25.000), s. el.ca, firenze.