



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea in Riassetto del Territorio e Tutela del Paesaggio

Curriculum: Tutela e Riassetto del Territorio

Progetto di due bacini di ritenuta per colata detritica in località Fiammes Cortina d'Ampezzo

Relatore

Prof. Carlo Gregoretti

Laureando

Ghirardi Luca

Matricola 1164677

Anno Accademico 2022 – 2023

INDICE

PREMESSA	4
ABSTRACT	5
1. IL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN ITALIA	6
2. I FENOMENI FRANOSI	8
3. LE COLATE DETRITICHE	10
3.1 Definizione di colata detritica	10
3.2. Genesi e morfologia delle colate detritiche	11
3.3 Dinamiche spaziali e temporali delle colate detritiche	15
4. OPERE DI DIFESA DALLE COLATE DETRITICHE	17
4.1 Opere di difesa che agiscono sui meccanismi di innesco	18
4.1.1. Soglie e briglie di trattenuta e consolidamento	18
4.1.2. Muri di sponda e corazzatura di fondo	20
4.1.3. Cunettoni	21
4.1.4. Opere di ingegneria naturalistica	23
4.2. Opere di difesa che agiscono direttamente sull'evento	24
4.2.1. Strutture di intercettazione delle colate detritiche	25
4.2.1.1. Briglie filtranti frangicolata	25
4.2.1.2. Barriere metalliche	27
4.2.2. Strutture di deviazione delle colate detritiche	28
4.2.2.1 Argini o rilevati in terra	28
4.2.2.2 Muri in gabbioni	30
4.2.3. Strutture di accumulo e ritenzione dei detriti	31
4.2.3.1. Bacini di ritenuta di sedimento	31
4.2.3.2. Esempi di realizzazioni di bacini di ritenuta	36
4.3. Sistemi di monitoraggio e allerta flussi detritici	38
5. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	40
5.1. Inquadramento geografico	40
5.2. Inquadramento geomorfologico e geologico	41
6. PROGETTO DELLE OPERE DI DIFESA	45
6.1. Dati progettuali da precedenti studi tecnico scientifici	45
6.2. Ulteriori dati rilevati sul posto	49
6.2.1. Rilievo fotografico	50
6.2.2. Rilievo topografico	55
6.3. Caratteristiche progettuali e dimensionamento delle opere	57
6.3.1. Bacini a trattenuta totale	57
6.3.2. Opere di regimazione delle acque meteoriche e di colata	60
7. SIMULAZIONE DEL FUNZIONAMENTO CON METODO "DFRM"	65
8. CONCLUSIONI	68

ALLEGATO 1 - <i>Libretto di campagna rilievo GPS</i>	69
ALLEGATO 2 - <i>Monografia del caposaldo IGM n.0039#_###_036#</i>	74
ALLEGATO 3 - <i>Monografia del caposaldo IGM n.0039#_###_037#</i>	76
ALLEGATO 4 – <i>Elaborati grafico progettuali del bacino “C18”</i>	78
ALLEGATO 5 – <i>Elaborati grafico progettuali del bacino “C19”</i>	82
ALLEGATO 6 – <i>Particolari costruttivi</i>	86
BIBLIOGRAFIA	88

PREMESSA

Il dissesto idrogeologico è un problema che accomuna gran parte del territorio nazionale, i maggiori effetti del fenomeno si evidenziano nelle zone montane dove gli eventi di colata detritica o *debris flow* rappresentano una minaccia per i centri abitati e le infrastrutture. Nel particolare contesto della valle del Boite, questo tipo di evento è aggravato dalla grande quantità di depositi detritici che formano ampi conoidi coalescenti alla base delle pareti rocciose del Monte Pomagagnon, Sorapis e Antelao, rilievi rocciosi situati in sinistra idraulica del torrente Boite.

Le misure da mettere in atto per una riduzione rischio passano attraverso la realizzazione e l'implementazione di diversi tipi di sistemi, sia attivi che passivi, la loro gestione ed una regolare manutenzione.

Lo scopo di questo studio è la progettazione di un sistema di difesa dalle colate detritiche mediante la realizzazione di due bacini di ritenuta, posti a protezione della strada statale n.51 "Alemagna", in località Fiames, nel Comune di Cortina d'Ampezzo. L'infrastruttura da proteggere è una strada molto trafficata che potrebbe essere interessata da colate provenienti dai due canali detritici che minacciano il tratto posto tra il km 109+400 ed il km 109+800. I due canali detritici sono situati nella parte più a nord del versante ampezzano del Monte Pomagagnon. La zona presenta una situazione complessa dove sono stati individuati molteplici canali detritici che, in passato, hanno già generato eventi di magnitudo tale da interessare la strada statale n.51.

Utilizzando i dati di uno studio di caratterizzazione e analisi dei flussi detritici dei canali di colata esistenti, eseguito dal Dipartimento TESAF dell'Università di Padova per conto di ANAS S.p.A., si sono fatte delle ipotesi progettuali per la creazione di due bacini di ritenuta in grado capaci di ricevere e contenere le colate detritiche provenienti dai due canali che minacciano la SS 51 tra il km 109+400 ed il km 109+800.

Nella progettazione delle caratteristiche, tipologia e forma delle due opere di difesa si è tenuto conto delle condizioni particolari della zona dovute dalle pendenze di versante, dalla presenza di altre colate quiescenti e della ristrettezza degli spazi a disposizione. È stato realizzato un rilievo topografico tramite tecnologia G.P.S. della zona per meglio definirne la morfologia attuale al fine di poterla confrontare con le situazioni pregresse ricostruite tramite software GIS.

ABSTRACT

Hydrogeological hazard is a problem that affects a large part of the national territory, the greatest effects of the phenomenon are highlighted in mountain areas where debris-flow events represent a threat to towns and infrastructures. In the particular context of the Boite valley, this type of event is aggravated by the large quantity of debris deposits that form large coalescent conoids at the base of the rocky walls of Mount Pomagagnon, Sorapis and Antelao, rocky reliefs located on the hydrographic left side of the river Boite.

The measures to be implemented for the reduction of the debris-flow risk involve the creation and implementation of different types of systems, both active and passive, their management and a regular maintenance.

The purpose of this study is the design of some countermeasure against debris flows, through the construction of two retention basins for the protection of the national road n.51 "Alemagna", in the locality of Fiames, in the municipality of Cortina d'Ampezzo. The infrastructure to be protected is the stretch of National Road SS 51 between km 109+400 and km 109+800 National Road SS 51, a very busy route, that could be affected by flows coming from two debris-flow channels. The two channels are in the northernmost part of the Ampezzo side of Mount Pomagagnon. The area presents a complex situation where multiple debris channels have been identified which, in the past, have already generated events of such magnitude as to affect road no. 51.

Using the data from a characterization and analysis study of the existing debris-flows channels carried out by the Department TESAF of the University of Padova for ANAS spa, design hypotheses were made for the creation of two retention basins for trapping the estimated debris flows routing along the two channels that threat the national road n.51 between the kilometres 109+400 and 109+800.

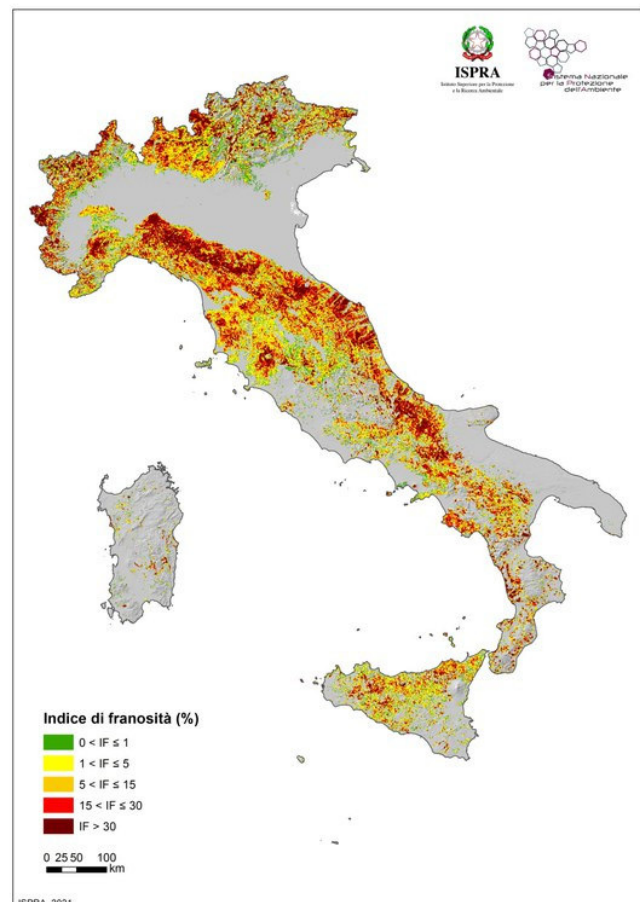
In designing the characteristics, typology, and shape of the two defense works, the particular conditions of the area due to the slopes of the slope, the presence of other quiescent flows and the narrowness of the spaces available were taken into account. A topographic survey was carried out using GPS technology. of the area to better define its current morphology in order to be able to compare it with previous situations reconstructed using GIS software.

1. IL DISSESTO IDROGEOLOGICO IN ITALIA

L'Italia è un paese che per la sua natura geologica e morfologica è interessata da fenomeni di dissesto idrogeologico su buona parte del territorio nazionale. Attualmente sono stati censiti oltre 620.000 eventi franosi che interessano un'area complessiva di circa 24.000 km² pari a circa il 7,9% del territorio nazionale (*fonte: Rapporto ISPRA, 356/2021*).

Ogni anno si verificano centinaia di eventi, di diversa scala e magnitudo, che causano vittime, feriti, evacuati e danni a edifici e infrastrutture civili. Le principali cause del dissesto idrogeologico sono legate soprattutto alle attività antropiche quali consumo di suolo, cementificazione, deforestazione, attività estrattive, abbandono di terreni d'altura, scarsa o mancata manutenzione del territorio e, di sempre più attualità, le mutate condizioni climatiche causate dal riscaldamento globale. L'alterazione e degradazione dei suoli, con conseguenti erosioni ed instabilità, sono processi pedogenetici e geomorfologici normali e naturali che avvengono su scale temporali molto ampie. Quando questi processi di modificazione si attivano in tempi brevissimi o quasi istantanei e vi è l'interessamento di zone abitate o infrastrutture di rete si parla allora di rischio da dissesto idrogeologico. Subentra quindi la necessità di proteggere ciò che ne è minacciato per evitare perdite in termini di vite umane e perdite economiche. Tutto l'arco alpino, così come la catena appenninica, è interessato in maniera molto marcata dalla presenza di frane, sia antiche che recenti. In Italia l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha da tempo rilevato e censito tutti i fenomeni franosi al fine di tracciarne una mappa del rischio e controllarne l'evoluzione (*vedi figura n.1*). Periodicamente vengono pubblicati dei rapporti che delineano lo stato di fatto del territorio valutando l'aspetto del dissesto idrogeologico derivante da frane, alluvioni e valanghe.

figura n.1 – Densità di frane (area in frana/area cella) su maglia di 1 km di lato. (Rapporto ISPRA 356/2021).



Mentre alluvioni e valanghe sono eventi che possono essere in qualche modo controllati e prevenuti, gli eventi franosi, intesi come tutta una serie di tipologie di movimento più o meno rapido di terra, roccia o detrito, sono meno prevedibili in quanto legati a condizioni mutevoli, non sempre prevedibili e a volte legati alle dimenticanze dovute al passare del tempo in modo silente e senza memoria umana.

La presenza di un rischio comporta l'applicazione di misure per la sua prevenzione e mitigazione. Per le aree già edificate si possono attuare interventi che spaziano dalle opere di ingegneria per il consolidamento dei versanti alla difesa dagli eventi di alluvione e frana, dalla delocalizzazione delle attività e siti vulnerabili alla realizzazione di reti di monitoraggio e allertamento.

Nelle aree non ancora urbanizzate è necessario invece attuare un'attenta pianificazione nella realizzazione delle infrastrutture strategiche quali ospedali, scuole, edifici pubblici, reti viarie e ferroviarie e pensare all'utilizzo del territorio in modo consapevole e sostenibile; vanno valutate le azioni più efficaci di riduzione del rischio nel medio e lungo periodo anche mediante l'applicazione di vincoli urbanistici, idraulici, idrogeologici e regolamentare l'uso del territorio evitando per quanto possibile l'eccessivo consumo di suolo e la cementificazione privilegiando il recupero e il riuso.

Il quadro conoscitivo delle strategie di mitigazione del rischio è molto ampio ma per lo scopo cui è redatto questo studio non se ne prevede una trattazione approfondita; se ne riporta comunque uno schema riassuntivo per dare evidenza della complessità e quantità di possibili azioni applicabili nella difesa di un territorio, applicazioni attuabili sia su scala locale che nazionale.

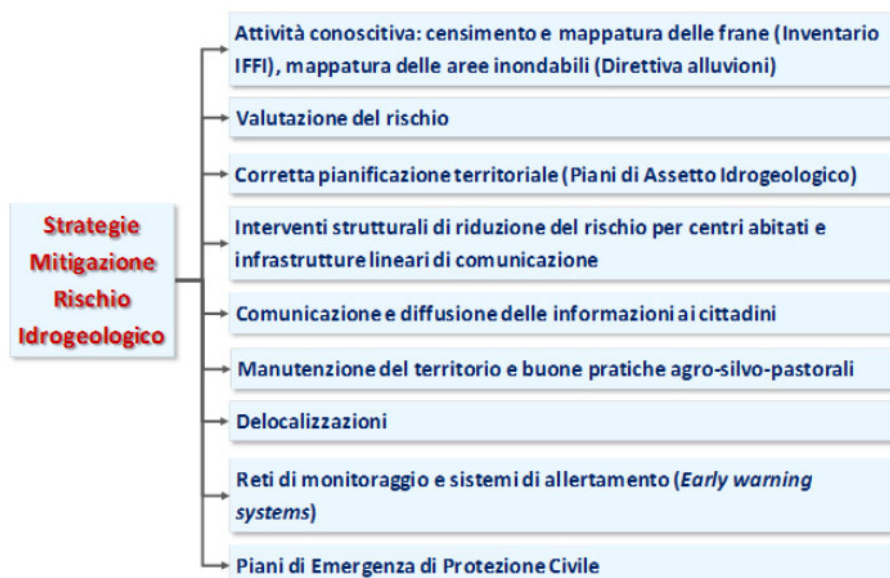


figura n.2 – Schema delle misure per la mitigazione del rischio idrogeologico (fonte: ISPRA)

2. I FENOMENI FRANOSI

Con il termine di fenomeno franoso o frana si intende il movimento lungo un versante, che coinvolge le parti meno superficiali di un pendio, costituite da roccia, terra o detrito. (da "Geomorfologia" Mario Panizza – 4^a edizione 2014).

Questi eventi, dove il movimento della massa può essere più o meno repentino sotto l'azione della forza di gravità sono, secondo la classificazione di Cruden e Varnes (1996), inquadrabili in base al tipo di movimento in cinque categorie principali:

- crollo (*fall*);
- ribaltamento (*topple*);
- scivolamento (*slide*);
- espansione laterale (*spread*);
- colata (*flow*);

e sulla base dei materiali coinvolti vengono individuati due tipologie principali:

- roccia lapidea ad elevato grado di coesione (*rock*);
- roccia "sciolta" o terra che comprende sia il detrito grossolano o *debris* sia il detrito più fine o terra in senso stretto (*earth*).

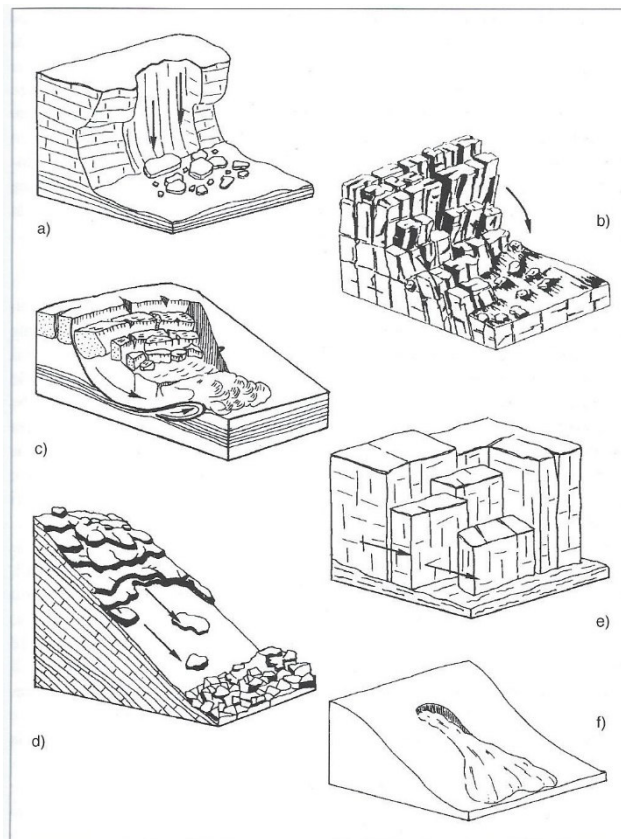


figura n.3 – Esempi schematici di frane: a) crollo, b) ribaltamento, c) scivolamento rotazionale, d) scivolamento traslativo, e) espansione laterale, f) colata. ("Geomorfologia" M. Panizza – 4^a edizione 2014).

Brevemente si descrivono le diverse tipologie di eventi franosi.

- *crolli*: i crolli si verificano quando avviene il distacco di materiale solido da scarpate o versanti verticali con caduta libera in aria e rimbalzo o rotolamento del materiale alla base della scarpata dove generalmente si forma l'accumulo di frana. In genere questi eventi si generano da pareti in roccia verticali dove sono presenti discontinuità come faglie, fratture o piani di stratificazione;
- *ribaltamento*: un ribaltamento avviene quando una massa rocciosa si distacca e cade ruotando intorno ad un asse posto al di sotto del centro di gravità della massa stessa, il fenomeno avviene su pareti in roccia dove le fessurazioni individuano prismi di materiale;
- *scivolamento*: lo scivolamento o scorrimento è un movimento di massa che avviene lungo una superficie di rottura o su porzione di versante dove si concentrano sforzi di taglio. Si verificano per superamento della resistenza a taglio del materiale lungo superfici preesistenti o strati intercalari meno resistenti;
- *espansione laterale*: una espansione consiste in una estensione laterale di un ammasso di roccia che avviene lungo fratture di taglio o di trazione; essa dipende dalle caratteristiche litologiche e strutturali dell'ammasso roccioso. Solitamente il movimento è orizzontale ed è innescato da sollecitazioni esterne come terremoti o vibrazioni di natura antropica;
- *colata*: una colata è un tipo di frana che si può manifestare con modalità molto diverse in base al tipo di materiale coinvolto, può presentare velocità e profondità molto differenti, coinvolgere volumi variabili e gli accumuli che si formano possiedono forme differenti. In base al tipo di materiale coinvolto si possono avere colate di terra (*earth flow*) con basse percentuali di acqua e detriti di dimensioni superiori a 2mm, colate di fango (*mud flow*) con alte percentuali di acqua e particelle di detrito fini e finissime inferiori a 2 mm, colate detritiche (*debris flow*) in cui il contenuto d'acqua è rilevante e il materiale viene mobilizzato in occasione di eventi meteorologici brevi ed intensi, si presenta come una miscela a granulometria molto eterogenea fino a coinvolgere grossi massi o *boulder*.

Il tratto della strada statale n.51 di "Alemagna" oggetto del presente studio deve essere protetto da eventi franosi del tipo a *colata detritica*, eventi durante i quali vengono movimentate grandi quantità di detrito grossolano, che possono provocare l'interruzione del tratto stradale interessato fino alla completa distruzione della sede stradale per erosione indotta dal flusso detritico.

3. LE COLATE DETRITICHE

Le colate detritiche o *debris flow* sono fenomeni franosi particolarmente catastrofici che colpiscono frequentemente le zone montane di tutto il mondo. Il fenomeno è da inquadrarsi come un normale evento morfologico. Il potere distruttivo di questi fenomeni è elevato e quando interessano zone urbanizzate e infrastrutture i danni economici sono elevati e le conseguenze a livello sociale provocano impatti che spesso sconvolgono l'opinione pubblica.

L'elevato potere distruttivo è dovuto alle grandi masse di detriti che si mobilitano e che trascinano verso valle sedimenti di tutte le dimensioni, dal piccolo detrito fino a massi (*boulder*) che, acquistando grande energia cinematica, restituiscono un'elevata forza d'urto nella parte frontale della colata. Non sono di meno da trascurare gli effetti dovuti alle erosioni sui versanti interessati e l'accumulo finale di grandi quantitativi di massi, sedimenti, materiale organico (coltre vegetale, arbusti e alberi) nonché tutti i sedimenti di varia natura che vengono asportati ed inglobati nella massa durante la discesa.

3.1. Definizione di colata detritica

Le colate detritiche (debris flow) sono definite come movimenti di massa rapidi, indotti dalla gravità, di miscele di solidi granulari, acqua e aria che si muovono come un fluido viscoso, in prima approssimazione monofasico, alla stessa velocità. (Varnes, 1978).

La definizione data dal geologo David Joseph Varnes può essere semplificata affermando che una colata detritica è un fenomeno che si manifesta quando una corrente liquida ingloba una elevata quantità di sedimenti e detriti generando una corrente solido-liquida, il fenomeno si può collocare a metà tra una frana ed una piena in un corso d'acqua.

La caratteristica che contraddistingue una colata detritica dai fenomeni ad essa assimilabili è la quantità di frazione solida rispetto alla frazione liquida. Una colata detritica contiene una frazione solida in misura variabile compresa tra 25-70% in volume (D'Agostino, 2020), al di sotto di tale limite si hanno flussi iperconcentrati e, ancora più al di sotto, normali piene di correnti idriche, viceversa al di sopra di tale limite si hanno le frane nel senso stretto del termine. La frazione solida, come già accennato, ha una composizione sia eterometrica (sedimenti da piccoli clasti centimetrici fino a masso o *boulder* di dimensione metrica) sia eterogenea (sedimenti lapidei e detriti di varia natura inglobati durante il percorso verso valle).

I presupposti affinché una colata detritica possa avvenire sono la disponibilità di materiale detritico mobilizzabile, elevate pendenze e forti concentrazioni idriche.

La disponibilità di materiale detritico la si trova nei vasti conoidi di deiezione derivanti dal disfacimento dei rilievi montani. Particolarmente interessati dalla formazione di grandi quantità di detriti sono i versanti privi di vegetazione più esposti a processi di disgregazione fisica (crioclastismo, idroclastismo) e degradazione chimica (soluzione).

Perché si possa innescare una colata detritica è necessario che la pendenza del conoide, o falda di detrito, presenti pendenze maggiori di 15°; solitamente le pendenze che più facilitano l'innescio sono comprese tra i 25° e i 45°.

L'ultimo elemento necessario alla formazione di una colata detritica è una forte concentrazione di flussi idrici dovuti principalmente dagli apporti di acque meteoriche legati ad eventi di breve durata e forte intensità.

3.2. Genesi e morfologia delle colate detritiche

Individuata la natura del fenomeno e quali sono gli elementi precursori necessari al suo verificarsi, si analizzano i fattori dinamici che innescano le colate e la loro morfologia.

Le colate hanno luogo quando una corrente liquida interagisce con un accumulo di materiale detritico andando a mobilitarlo e incorporandolo all'interno della corrente stessa (*figura n.4*).

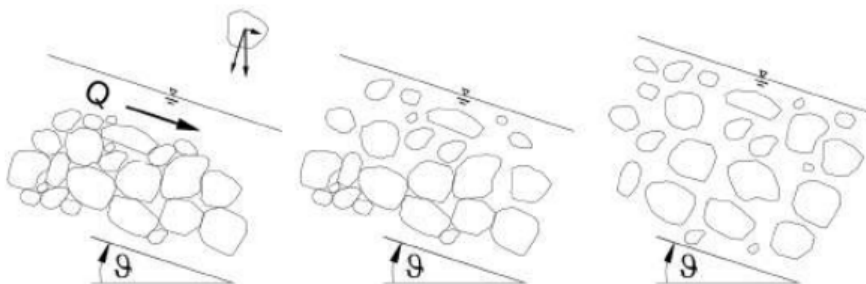


figura n.4 – Formazione di una corrente solido-liquida per impatto di una corrente liquida su un ammasso di detriti. (Gregoretti, 2019).

Il materiale così mobilizzato si propaga, dal punto di innescio, in maniera confinata lungo i canali incisi sui versanti per poi procedere lungo versanti stessi ed infine divagando sulle falde detritiche alla base dei versanti, arrestando la sua corsa nel fondo valle, quando le pendenze diminuiscono fino a valori di sub orizzontalità, o quando vengono incontrati ostacoli.

I fenomeni fisici che generano l'evento di colata detritica possono essere così schematizzati:

- a) apporto di acque meteoriche che formano deflussi superficiali;
- b) interazione del deflusso con i depositi detritici a formare una corrente solido-liquida che si propaga per gravità verso il fondo valle accompagnata da fenomeni di erosione;
- c) rallentamento del moto dovuto a variazioni di pendenza o presenza di ostacoli e conseguente formazione del deposito.

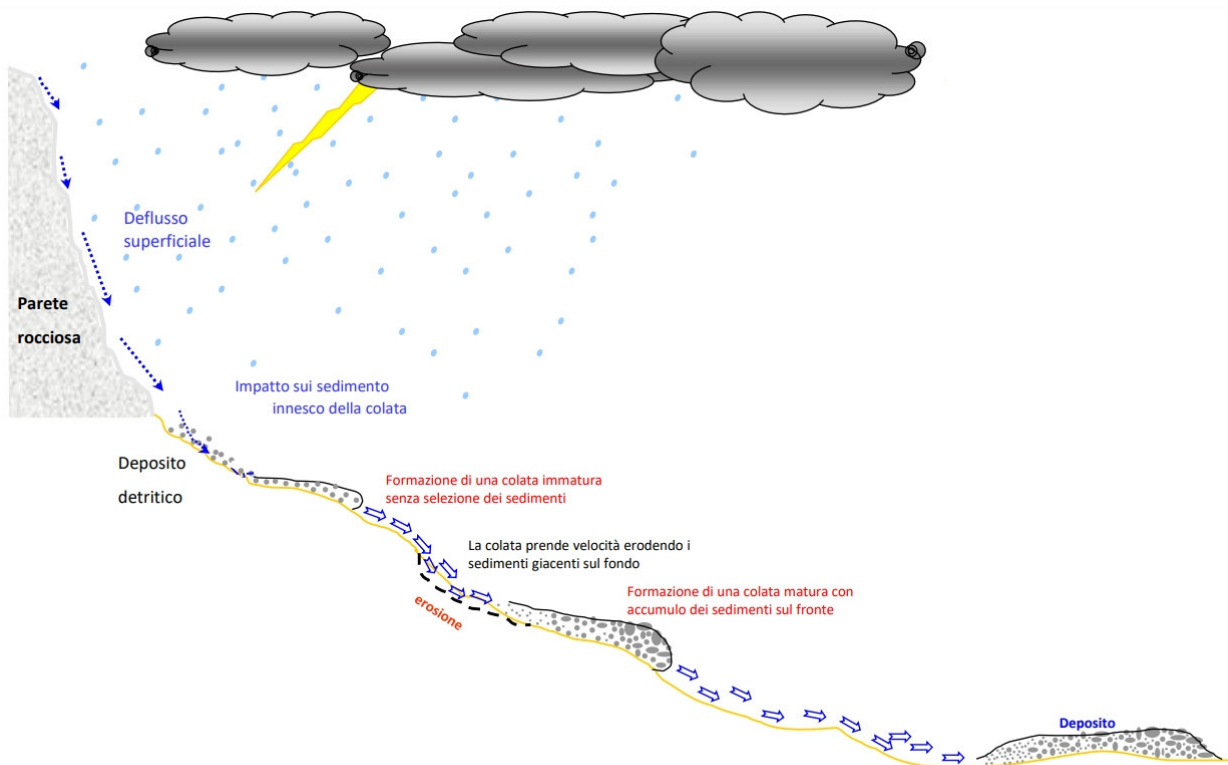


Figura n.5 – Schematizzazione dei processi fisici che caratterizzano una colata detritica. (Gregoretti, 2019).

Il primo fenomeno fisico individuato è l'apporto di acque meteoriche e la conseguente formazione di deflussi superficiali che discendono dagli impluvi incisi sui versanti rocciosi o all'interno di canali detritici o di frana. Gli eventi meteorici che si prestano alla formazione di colate detritiche sono le piogge caratterizzate da precipitazioni a carattere impulsivo come rovesci o temporali caratterizzati da elevata intensità di precipitazione in un arco temporale relativamente breve (15-45 minuti). Nelle zone alpine, e in particolar modo nelle Dolomiti, questi eventi meteorici sono più frequenti nel periodo maggio – settembre, anche se la tendenza attuale è uno spostamento al di fuori di questo arco temporale a causa del cambiamento climatico. Eventi di questo tipo concentrano sui versanti rocciosi flussi laminari notevoli che si concentrano dapprima nelle fenditure e spaccature delle rocce e successivamente si incanalano rapidamente negli impluvi e canali detritici; questi ultimi convogliano la maggior parte dei flussi laminari concentratisi verso i depositi di detrito che si trovano alla base della parete rocciosa. I deflussi incanalati impattano sui detriti alla base delle pareti e li

mobilitano innescando una colata detritica immatura senza selezione di sedimenti. Questa è la *zona di innesco*, essa è caratterizzata da scarsa o assente copertura vegetale, sedimenti di pezzatura medio fine facilmente mobilizzabili, posti su pendio con pendenza subcritica pari o leggermente superiore all'angolo di attrito interno o di *natural declivio*.

Nella zona di innesco i deflussi superficiali interagiscono con i sedimenti presenti investendoli e lubrificando le superfici di contatto dei singoli clasti. In questo modo le forze di attrito resistenti diminuiscono, la corrente liquida che investe i clasti induce sui clasti stessi una forza di resistenza idrodinamica non più bilanciata dalla forza resistente, diminuita come detto dall'effetto lubrificante e dalla spinta idrostatica. Di conseguenza, il clasto viene inglobato nella corrente. Quando i sedimenti inglobati sono in quantità non trascurabile si forma una colata detritica immatura.

La colata inizia il suo percorso verso il fondo valle prendendo velocità e inglobando al suo interno detriti di pezzatura sempre maggiore, in base alla disponibilità, data l'energia cinetica in aumento. Si forma una colata matura con una forte selezione dei sedimenti, sulla testata (*front* o *head*) e lateralmente si accumulano le pezzature più grosse come blocchi o massi (*boulder*) seguiti da un corpo di colata composto da una selezione mista di detriti grossolani (*coarse debris*), ed una coda (*tail*) caratterizzata da una composizione a matrice fine, a volte con caratteristiche di colata di fango.

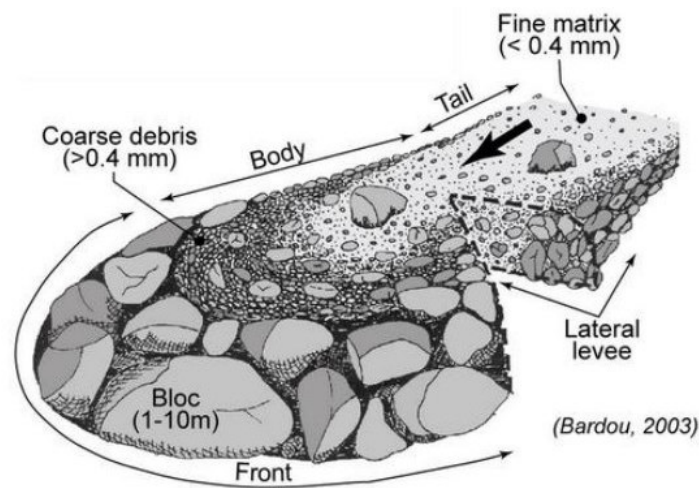


figura n.6 – Colata detritica, nomenclatura delle parti costituenti. (Bardou, 2003).

La colata detritica matura scende verso valle all'interno di un *canale di scorrimento* nel quale la velocità aumenta fino a valori di 10 – 20 m/s in base alla composizione e alla dimensione del sedimento inglobato (*dati PWRI – Public Works Research Institute of Japan*).

All'interno del canale di scorrimento si verificano importanti fenomeni di erosione sia di sponda che di fondo a seconda della natura dell'alveo di scorrimento. Questi fenomeni erosivi possono innescare ulteriori fenomeni franosi che vanno ad alimentare l'evento di colata con l'aumento di volume di materiale solido disponibile al trasporto.

La colata detritica cessa il suo movimento nella *zona di deposito*, zona che presenta pendenze contenute e che spesso risulta essere il risultato di successivi fenomeni di colata che si sono succeduti nel tempo. In questa zona, data la riduzione della pendenza, la colata detritica perde rapidamente la sua energia cinetica. La parte frontale, composta da sedimenti e detriti di più grande dimensione si depositano sotto l'azione della forza di gravità e creano ostacolo che rallenta ulteriormente la velocità del flusso fino ad arrestarla completamente. La diminuzione della velocità del flusso di colata può avvenire anche per incontro con ostacoli sia naturali, alberi, contropendenze del terreno, massi depositatisi da precedenti colate, sia ostacoli artificiali quali briglie filtranti frangicolata, argini di contenimento, bacini o piazze di deposito.

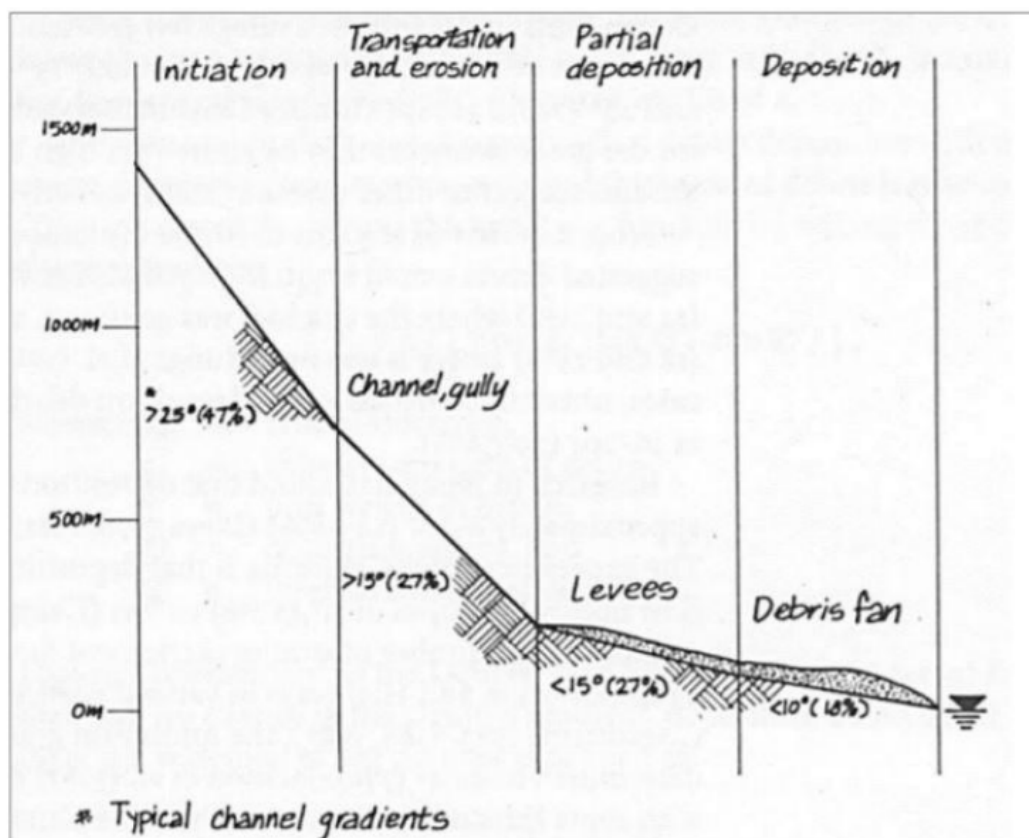


figura n.7 – Schema di profilo longitudinale e pendenze caratteristiche delle varie zone (VanDine, 1996).

Alcune zone di deposito, specie di colate più antiche, coincidono con conoidi che nel tempo sono stati ricoperti da vegetazione e, per naturale degradazione, da un substrato fertile che ha favorito dapprima alla creazione di boschi, in seguito pascoli e piccoli borghi montani ed infine ha permesso la costruzione di infrastrutture di rete e centri urbani.

3.3. Dinamiche spaziali e temporale delle colate detritiche

Le colate sono eventi di particolare complessità e di difficile previsione, le dinamiche spaziali e temporali degli eventi sono spesso molto differenti da evento ed evento a causa di un numero elevato di variabili.

Un evento di colata può essere rappresentato da una singola scarica di materiali sedimentari o, come spesso accade, da una somma di eventi intervallati tra loro come fronti di detriti intervallati da code fluide. Colate detritiche caratterizzate da un singolo passaggio di detriti, spesso molto abbondante, sono associabili alle condizioni di cono di detrito alle falde delle pareti rocciose, in assenza di un corso d'acqua ancorché embrionale. Colate detritiche che invece presentano un flusso multiplo di fronti si associano a condizioni di alvei torrentizi, con o senza una portata minima di base, caratterizzati da una struttura di alveo e argini che presentano forme di erosione e con approvvigionamento di sedimenti provenienti o da vallecicole laterali o direttamente dai versanti.

Questa tipologia di colata si manifesta solitamente in ondate successive e distinte nel tempo, sono caratterizzate all'inizio dalla presenza di un'onda iniziale (*precursory surge*) e presentarsi in numero superiore a una fino a decine di ondate. Solitamente sono a concentrazione solida più bassa rispetto alle prime a singola scarica dovendo scorrere in alvei dove le pendenze sono minori e l'effetto lubrificante e di galleggiamento dei massi deve essere maggiore e sostenuto da una quantità liquida più elevata. Si presentano anche con code iperconcentrate più lunghe.

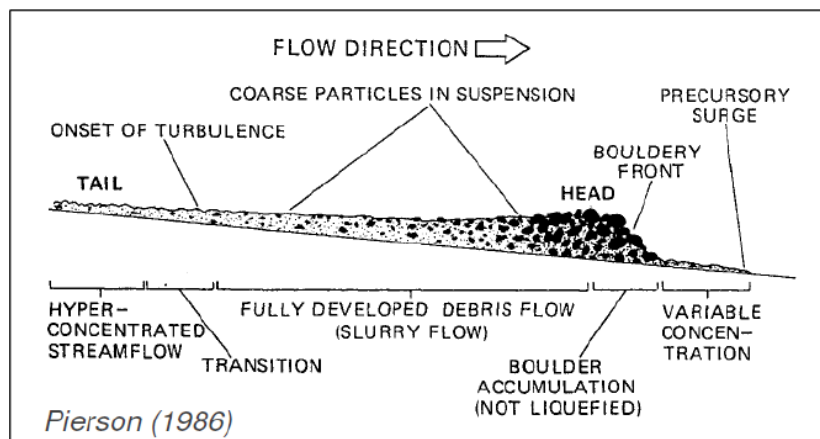


Figura n.8 – Diagramma di un'onda di debris flow con fronte in massi e onda iniziale (Pierson, 1986).

Gli eventi di colata detritica a più ondate sono caratteristici di piccoli bacini idrografici (da qualche chilometro quadrato fino ad un massimo di 10-20 Km²); un indicatore di potenziale bacino idrografico capace di produrre colate detritiche è dato dal *numero di Melton*:

$$Me = (H_{max} - H_{min}) * A_b^{-0.5}$$

dove:

H_{max} = quota massima del bacino (m s.l.m.);

H_{min} = quota minima del bacino all'apice del conoide (m s.l.m.);

A_b = area planimetrica del bacino sottesa alla sezione di chiusura all'apice del conoide in (Km²).

Questo parametro contiene le principali informazioni morfometriche del bacino di alimentazione e può essere calcolato per qualsiasi tipo di bacino. Per questo indice è stato stabilito un valore soglia di 0,5 al di sotto del quale si attendono fenomeni di rapido alluvionamento come *flash flood* o *debris flood*, al di sopra del valore soglia si attendono eventi ad alta viscosità o *debris flow*.

Le colate detritiche a singolo evento sono invece più tipiche delle zone di versante e dei conoidi di detrito dove normalmente non è presente un corso d'acqua ma solamente canali di scorrimento di precedenti colate, normalmente asciutti, che incanalano i flussi meteorici durante gli eventi più intensi ad elemento precursore della colata.

In entrambi gli scenari la frequenza temporale di accadimento è dovuta a fattori meteorologici, morfometrici (pendenza e presenza di reticolo idrografico), forma e posizione della zona di innesco e disponibilità di materiale detritico. In merito alla disponibilità di detrito mobilizzabile è di fondamentale importanza conoscerne la quantità ed il tasso di ricarica. In genere i bacini soggetti a colate detritiche si possono distinguere due classi (*Bovis e Jakob, 1999*): a *disponibilità limitata* e a *disponibilità illimitata* di detrito. Nel primo caso la limitata disponibilità costituisce un fattore limitante e sono necessari tempi di ricarica più lunghi e di conseguenza intervalli più lunghi tra il verificarsi di un evento ed il successivo; nel secondo caso, come è ovvio, la disponibilità illimitata di detrito accorcia i tempi di ricarica e quindi i tempi tra un evento di colata ed il successivo sono minori.

Questi fattori di rischio, in parte calcolabili sperimentalmente, possono evidenziare spazialmente le zone più soggette al verificarsi di colate detritiche ma non sono comunque sufficienti a determinare temporalmente quando un evento possa accadere e quanto tempo possa intercorrere tra un evento ed il successivo. Per tenere conto dell'imprevedibilità temporale la modellazione delle colate detritiche viene eseguita considerando tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni e a questi assegnati tempi di ritorno si attribuisce una crescente magnitudo per la quale realizzare le necessarie opere di difesa anche in considerazione delle opere potenzialmente esposte da proteggere.

4. OPERE DI DIFESA DALLE COLATE DETRITICHE

Le caratteristiche geologiche e morfologiche dei territori montani rendono queste zone particolarmente suscettibili alla formazione di colate detritiche (*mud flow e debris flow*). Questi eventi sono estremamente pericolosi in quanto la massa in movimento, formata da una miscela di acqua e detrito, muovendosi a forte velocità acquisisce una forza cinetica notevole che comporta una grande forza di impatto capace di danneggiare od abbattere edifici e infrastrutture, inoltre i grandi quantitativi di detriti possono sommergere e ricoprire ampie zone nei territori colpiti.

La protezione da questi fenomeni si basa sia su interventi che agiscono direttamente sui meccanismi di innesco quali la disponibilità di materiale sciolto su versante e le pendenze delle masse detritiche mobilizzabili (*sediment disposition measures*) sia direttamente sull'evento in corso con l'impiego di strutture che rallentano, dividono, deviano e arrestano la colata detritica in atto (*sediment control measures*). A queste tipologie di protezione di tipo "attivo" si affiancano sistemi di tipo "passivo" come i sensori che rilevano l'evento in corso e ne danno avviso alla cittadinanza mediante segnalazioni sonore (sirene) e/o luminose (lampeggiatori, semafori) o allertano le autorità (uffici comunali, protezione civile o vigili del fuoco) mediante collegamenti telematici (sms o e-mail). Questi sistemi si classificano nella categoria degli *early warning system*.

Gli interventi che agiscono sui meccanismi di innesco impediscono l'innesco delle colate agendo sui fattori predisponenti l'innesco; essi impediscono i sovra alluvionamenti degli alvei, consentono una regolare asportazione dei detriti in eccesso in modo da contenerne le quantità, stabilizzano i versanti in modo da ridurre l'apporto di materiale solido negli accumuli di versante o in alveo. A tale scopo si realizzano soglie e briglie di trattenuta e consolidamento che fissano le pendenze di alveo, muri di sponda e corazzature di fondo per la diminuzione delle erosioni, cunettoni per evitare erosioni di fondo e per favorire il trasporto dei detriti con alte velocità di deflusso a basse portate, opere di ingegneria naturalistica per la stabilizzazione dei versanti per evitare erosioni e frane.

Gli interventi che viceversa agiscono direttamente sull'evento di colata quando questo è in atto hanno lo scopo di arrestare o deviare il flusso di colata al fine di impedire che lo stesso possa raggiungere i siti da proteggere ed evitare di conseguenza danni catastrofici. A tale scopo si realizzano strutture di intercettazione quali briglie filtranti frangicolata e barriere metalliche di trattenuta, strutture di deviazione o diversione come argini in terra o muri in gabbioni, strutture di accumulo del detrito come bacini e piazze di deposito.

Lo scopo del presente studio è la realizzazione di due bacini di contenimento delle colate detritiche, quindi la progettazione di opere di difesa di tipo passivo atte a bloccare e contenere l'intero volume defluito durante l'evento; le opere di tipo attivo, pur non essendo l'oggetto di questa trattazione, vengono comunque brevemente descritte nel proseguo per completezza espositiva.

4.1. Opere di difesa che agiscono sui meccanismi di innesco

Come accennato, le opere di difesa che agiscono sui meccanismi di innesco sono sistemi che intervengono prima che l'evento di colata si verifichi (*sediment disposition measures*); esse agiscono sui fattori predisponenti l'evento togliendo di fatto, o limitando fortemente, due dei tre fattori di innesco. L'azione di queste opere è mirata alla diminuzione di disponibilità di materiale detritico mobilizzabile e alla riduzione delle pendenze degli accumuli detritici; ovviamente il fattore di innesco non controllabile sono gli apporti idrici meteorici. Mentre gli apporti idrici non sono controllabili, i deflussi superficiali possono essere in qualche maniera regimati. Evitando il formarsi di deflussi canalizzati in incisione del terreno (*gully*) o dei versanti in roccia e cercando di favorire e mantenere deflussi laminari (*sheet*) si evitano correnti idriche concentrate che possano mobilizzare i depositi detritici. La regimazione dei deflussi superficiali è realizzabile con opere di ingegneria naturalistica o con rimboschimenti; la vegetazione infatti limita o evita i fenomeni erosivi che sono alla base della formazione di rivoli e canali, di fatto impedendo la formazione di correnti idriche concentrate. Questa tecnica è attuabile finché si lavora al di sotto della linea degli alberi, al di sopra la vegetazione arborea essendo assente la coltre vegetale è facilmente erodibile, inoltre i maggiori fenomeni di colata hanno innesco in zone oltre il limite del bosco ai piedi di pareti rocciose, zone dove gli interventi di controllo dei deflussi è di fatto impossibile.

4.1.1. Soglie e briglie di trattenuta e consolidamento

Le soglie e le briglie di trattenuta e consolidamento sono opere trasversali che esplicano la loro funzione attraverso l'imposizione e/o la riduzione della pendenza dell'alveo. Le soglie hanno la funzione di regolarizzare e mantenere il fondo dell'alveo; esse non si elevano molto dalla quota del fondo, generalmente poche decine di centimetri; nel tempo possono venire completamente interrato dai detriti. Fissano localmente la pendenza del tratto fluviale mediante una erosione controllata nella parte iniziale del tratto protetto generando di fatto una diminuzione della pendenza complessiva del tratto protetto. La funzione che sono chiamate ad assolvere è impedire l'approfondimento per erosione in quanto, con la diminuzione della pendenza di fondo, diminuiscono localmente la velocità della corrente idrica e si evita la mobilitazione di ulteriori

sedimenti. Questo tipo di opera solitamente viene realizzato in serie a formare una sequenza di soglie o gradinata, vengono anche associate ad altri tipi di opere longitudinali per impedire l'erosione spondale come i muri di sponda. Le soglie sono impiegate nella regolarizzazione di tratti fluviali a bassa pendenza ma a soggetti a forte erodibilità del fondo. Frequentemente sono poste a valle di opere da proteggere come i ponti attuando la difesa delle fondazioni delle pile dallo scalzamento fondale che metterebbe in crisi le strutture.

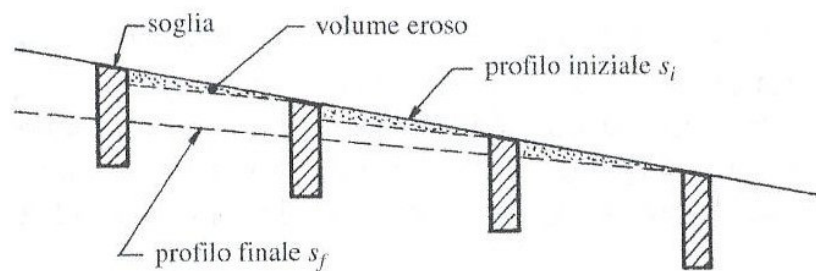


Figura n.9 – Schema di sistemazione a soglie in serie (opere di sistemazione idraulico forestale – Vito Ferro, 2019).

Le briglie di trattenuta, a differenza delle soglie, sono opere di consolidamento che si elevano dal fondo dell'alveo di diversi metri. La definizione di briglia è valida fino a che l'opera non superi un'altezza di 10 metri o, per altezze inferiori, non determini la creazione di un invaso superiore a 100.000 m³ ai sensi del D.P.R. 01/11/1959, n.1363 – *Approvazione del regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta*; superati tali limiti l'opera viene definita per l'appunto una diga.

Nei torrenti di trasporto la loro funzione è quella di consentire la formazione, a monte dell'opera, di casse di trattenuta o piazze di deposito in cui la corrente, a causa del rallentamento, deposita parte del sedimento trasportato. Le opere aventi questa funzione sono denominate briglie di trattenuta e generalmente sono opere isolate.

Nei torrenti di scavo lo scopo delle briglie è quello di determinare una riduzione della pendenza dell'alveo per innalzamento del fondo al fine di ridurre o arrestare l'erosione e consolidare il piede dei versanti. Queste opere sono denominate briglie di consolidamento e solitamente sono realizzate in serie, opportunamente distanziate, a formare una gradinata.

Le briglie possono essere di innumerevoli tipologie, in base al materiale in cui sono realizzate (calcestruzzo armato o non armato, gabbioni, legname, ecc.), in base alla loro forma e funzione (piene, a finestra, a pettine, di consolidamento, di trattenuta o filtranti).

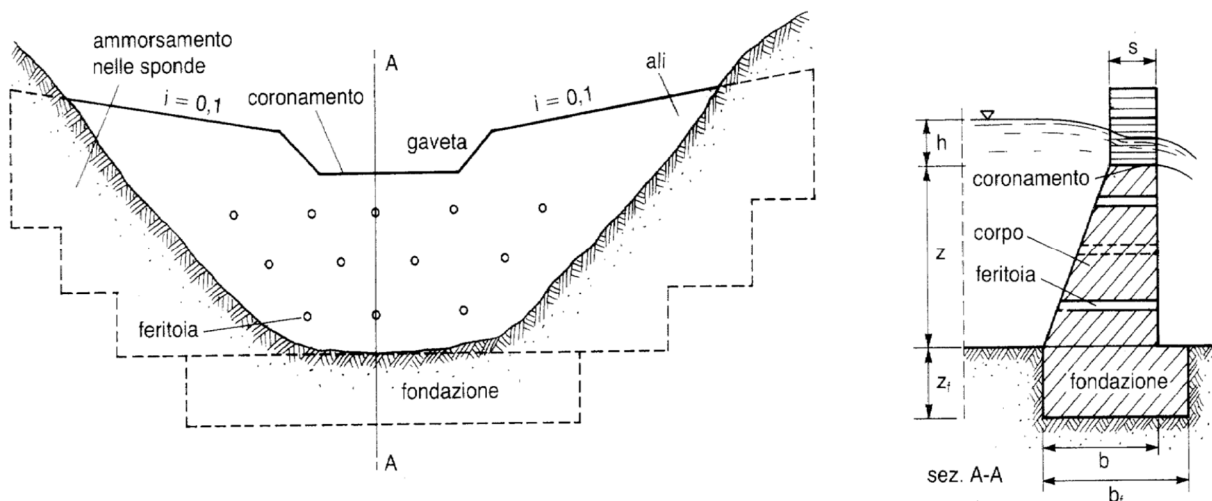


figura n.10 – Prospetto e sezione trasversale di una briglia, nomenclatura (tratto dal materiale didattico del corso di Sistemazione dei bacini idrografici AA 21-22, Prof. Vincenzo D'Agostino).

Una briglia è composta da diversi elementi: il corpo, il coronamento, la gaveta o savanella, le ali, gli ammorsamenti laterali e la fondazione (vedi figura n.10).

Una parte molto importante della briglia è la gaveta, realizzata in diverse forme (rettangolare, trapezia, triangolare, a corda molle o catenaria, di forma semplice o composta), solitamente posta al centro della briglia, guida la vena liquida della corrente e tiene quest'ultima lontana dalle sponde. Anche le ali, se opportunamente realizzate in pendenza verso la gaveta, contribuiscono a staccare il flusso di corrente dalle rive in modo che non si possano verificare erosioni e, nei casi più gravi, aggiramento dell'opera.

4.1.2. Muri di sponda e corazzatura di fondo

I muri di sponda e le corazzature di fondo sono opere di difesa longitudinali che impediscono i fenomeni di erosione rispettivamente delle sponde e del fondo. Lo scopo di entrambe le opere è quello di rendere più resistente l'elemento protetto.

I muri di sponda possono essere realizzati in diverse tipologie: strutture flessibili costituite da massi di grandi dimensioni (massi ciclopici, scogliere), strutture rigide costituite da strutture in pietrares sigillato con cemento o strutture in calcestruzzo verticali o inclinate, gabbionate formate da parallelepipedi realizzati in rete metallica zincata riempiti di pietrares direttamente prelevato in loco.

Queste strutture di difesa sono poste a protezione di tratti soggetti a forte erosione quali tratti rettilinei a forte pendenza o nella parte esterna di tratti curvilinei dove la corrente viene spinta verso

l'esterno per effetto centrifugo ed esplica una maggiore erosione. L'impiego è quindi quello di evitare l'approfondimento del fondo d'alveo ed allo stesso tempo favorire il transito del materiale solido trasportato dall'acqua. Il trasporto solido è garantito anche con basse portate idriche dato che la minore scabrezza comporta maggiori velocità della corrente. La corazzatura di fondo è impiegata anche immediatamente a valle di briglie di consolidamento o salti idraulici al fine di evitare erosione al piede delle opere con conseguente rischio per la stabilità delle opere stesse.



foto n.1 – Muri di sponda e corazzatura di fondo sul torrente Ru Secco, San Vito di Cadore (foto dell'autore).

4.1.3. Cunettoni

I cunettoni sono canali artificiali realizzati allo scopo di evitare fenomeni erosivi degli alvei torrentizi e, allo stesso tempo, ottenere un aumento della velocità della corrente idrica allo scopo di ridurre il deposito dei detriti e favorirne il trasporto a valle. Questa opera di difesa, denominata anche canalizzazione, consiste nella pavimentazione del fondo e delle sponde di un torrente in sezione ristretta realizzata con pietrame legato con malta cementizia oppure con strutture in cemento armato. All'interno di questa categoria di opere sono ricompresi anche quelle tipologie di manufatti che consentono il passaggio dell'acqua al di sotto delle infrastrutture comunemente dette tombinature.

Sono posti in porzioni di alveo a sezione ristretta tipicamente nei tratti di attraversamento dei centri abitati, dove i fenomeni di erosione, anche se di piccola intensità, potrebbero generare gravi problemi alle strutture e ai fabbricati adiacenti al canale. Spesso vengono realizzati a valle delle opere di trattenuta come le briglie filtranti frangicolata o bacini di ritenuta con opera d'uscita al fine di convogliare e rapidamente smaltire verso valle i sedimenti passanti senza che gli stessi possano erodere il canale durante gli eventi di piena o eventi di colata detritica.



foto n.2 – Cunettone posto subito dopo la briglia frangicolata sul Rio Rudan, Vodo di Cadore (foto dell'autore).



foto n.3 – Cunettone visto dal ponte della S.S. n.51 sul Rio Rudan, Vodo di Cadore (foto dell'autore).

4.1.4. Opere di ingegneria naturalistica

Le opere di ingegneria naturalistica sono realizzate al fine di stabilizzare i versanti soggetti a fenomeni di erosione o di frana oppure applicate a singoli elementi vulnerabili come argini o sponde. Il meccanismo sul quale si va ad intervenire è il rallentamento del ruscellamento delle acque meteoriche in modo che le stesse non possano attivare fenomeni di erosione laminare, che evolvono verso erosione in canali con conseguente instabilità del versante, o il rafforzamento delle strutture con l'impiego di soluzioni ed elementi naturali.

Tali opere possono essere di tipi superficiale o profondo e avere un carattere estensivo o intensivo. Mentre le opere superficiali mirano a stabilizzare le coltri vegetali limitando o impedendo le prime forme di erosione, le opere profonde sono messe in atto per consolidare volumi di frane attive. Le sistemazioni di carattere estensivo, similmente alle sistemazioni superficiali mirano a limitare i dissesti di porzioni di territorio, versanti interi o parte di essi, le sistemazioni intensive concentrano l'intervento puntualmente su di un elemento vulnerabile. Le opere di ingegneria naturalistica devono essere realizzate in maniera *integrale* ovvero devono prevedere un bilanciamento tra opere intensive ed estensive ed essere estese a tutta la zona interessata, devono essere *graduali* e programmate, difficilmente si arriva ad una sistemazione finale e definitiva, ed infine devono avere il carattere di *continuità* nel tempo con la manutenzione e monitoraggio dei risultati ottenuti.

Queste caratteristiche rendono queste opere non singole applicazioni ma un insieme di opere che interagiscono tra loro in modo dinamico e fortemente influenzato da elementi fisici e tecnici. Le principali tecniche di ingegneria naturalistica meriterebbero una trattazione a sé stante data l'ampiezza delle applicazioni, metodologie e materiali impiegabili, trattazione che però esula lo scopo del presente studio. Si riportano due tavole sinottiche relative alle principali tecniche e ai materiali impiegati nell'ingegneria naturalistica per far comprendere la complessità dell'argomento.

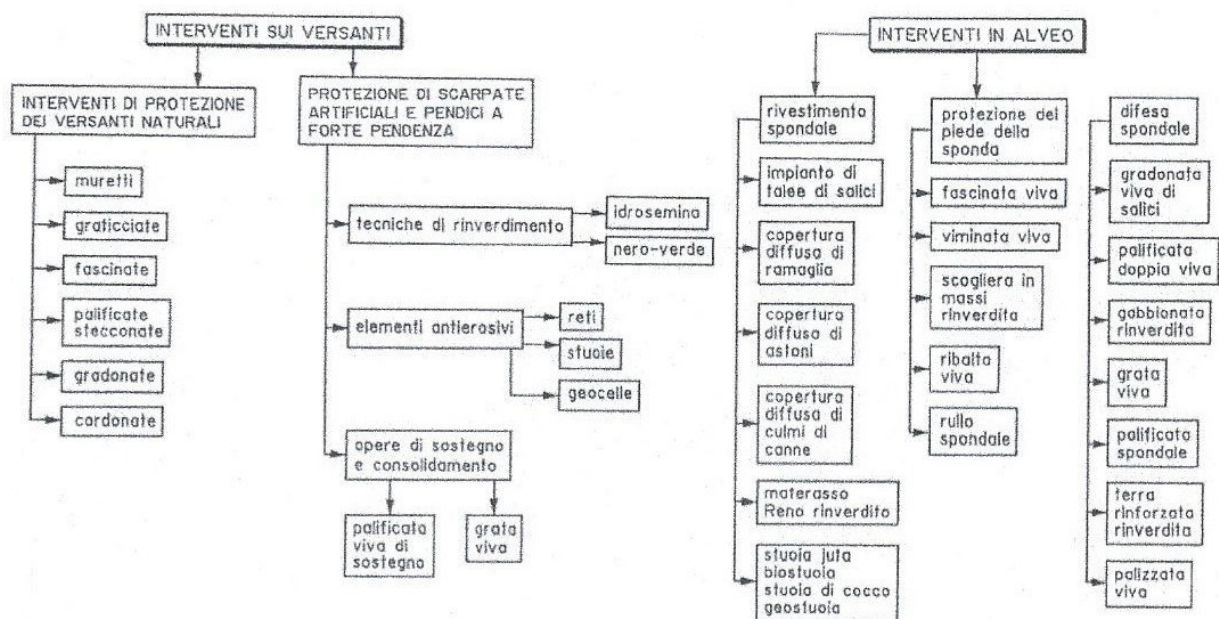


figura n.11 – Tavola sinottica delle principali tecniche di ingegneria naturalistica (opere di sistemazione idraulico forestale – Vito Ferro, 2019).

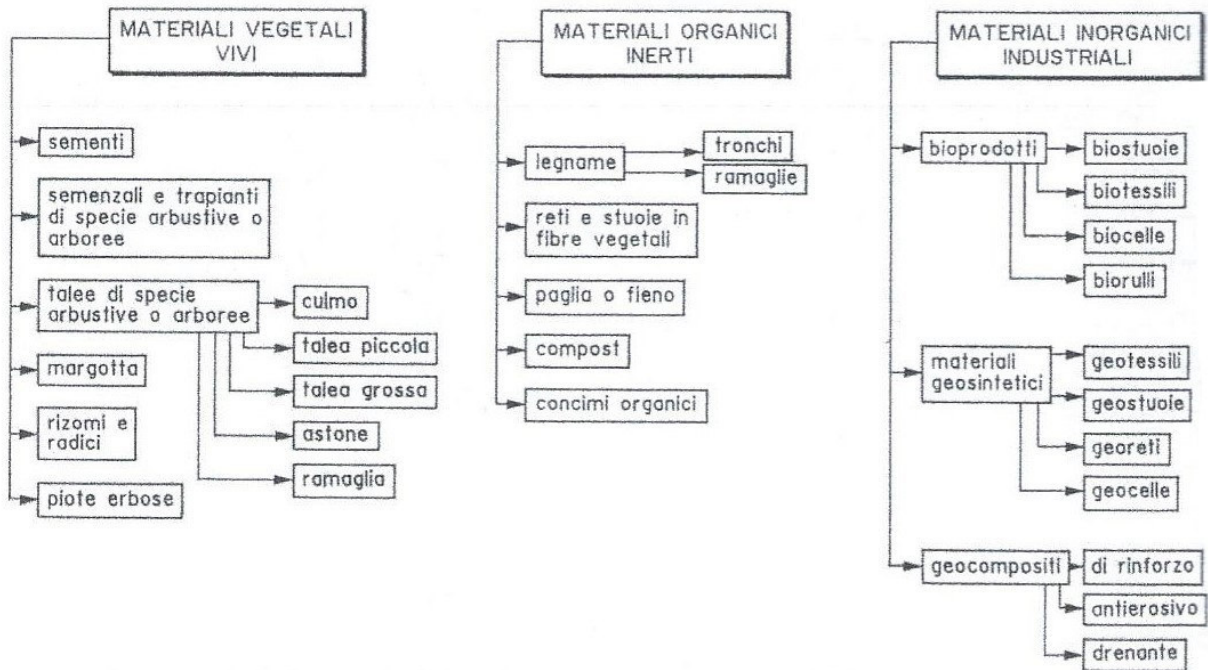


figura n.12 – Tavola sinottica dei differenti materiali impiegati nelle tecniche di ingegneria naturalistica (opere di sistemazione idraulico forestale – Vito Ferro, 2019).

4.2. Opere di difesa che agiscono direttamente sull’evento

Le opere di difesa che agiscono direttamente sull’evento sono strutture che esplicano la loro funzione nel momento in cui la colata detritica è in atto (*sediment control measures*). Alcune tipologie di opere intervengono rallentando il flusso detritico, selezionando o dividendo il flusso dei detriti al fine di diminuirne l’energia e quindi causarne l’arresto. In questo gruppo di opere sono inquadrabili le briglie filtranti frangicolata e le barriere metalliche.

Altre opere hanno come scopo la deviazione del flusso di colata dalla traiettoria principale che potrebbe investire centri abitati o infrastrutture, deviazione del flusso verso zone “sacrificabili” o verso zone di accumulo e successiva escavazione. In questo gruppo si inseriscono gli argini in terra ed i muri in gabbioni

L’ultima tipologia di opere di difesa sono le strutture di accumulo, bacini o piazze di deposito dove le colate detritiche dissipano la loro energia ed esauriscono la loro corsa verso valle depositando grandi quantità di detrito in volumi che verranno in seguito escavati per ripristinare gli invasi.

Queste opere esplicano la loro funzione intervenendo principalmente su fattori meccanici che mirano a togliere energia all’evento in modo che arresti la sua disastrosa corsa prima che interessi i siti vulnerabili travolgendo centri abitati e infrastrutture situate nel medio pendio e nel fondo valle come strade e ferrovie.

4.2.1. Strutture di intercettazione delle colate detritiche

Le strutture di intercettazione vengono poste lungo il percorso della colata in modo trasversale al deflusso detritico; esse devono essere in grado di assorbire energie d'impatto molto elevate dovute alla massa di colata che attraversa l'opera e agli eventuali massi che possono impattare violentemente sulle strutture. Queste opere hanno il compito di trattenere la frazione più grossolana della colata lasciando che l'acqua e le particelle più fini vengano separate dalla miscela solido liquida in modo da far perdere la fluidità alla colata e determinarne l'arresto. Sono poste in genere lungo i tratti in pendenza in posizioni tali che a monte dell'opera rimanga individuata una zona di invaso di sufficiente capacità a contenere la frazione di materiale intercettato.

Queste strutture vengono progettate ad hoc per le situazioni specifiche a cui porre rimedio, forme e materiali possono essere progettati con estrema libertà ma solitamente le forme più diffuse sono quelle del tipo a pettine, con o senza elementi trasversali, con spuntoni in calcestruzzo armato distanziati in modo opportuno sulla base della selezione che si intende fare della massa detritica.

4.2.1.1. Briglie filtranti o frangicolata

Le briglie filtranti sono un particolare tipo di opera trasversale che, a differenza della tipologia più tradizionale di briglia, non ha lo scopo di regolarizzare la pendenza d'alveo trattenendo detriti senza nessuna selezione, ma quello di trattenere detriti di una dimensione predeterminata durante un evento di colata detritica. Solitamente le briglie filtranti o a *pettine* non creano piazze di deposito a monte di esse, il deposito di detriti si realizza solamente dopo un evento.

Strutturalmente si presentano come briglie con una larga e profonda gaveta al cui interno sono inseriti dei profilati metallici o tubi verticali così da formare una sorta di pettine. Nei casi più critici i profilati metallici o i tubi vengono sostituiti da speroni triangolari realizzati in cemento armato; i bordi degli speroni vengono spesso rinforzati con lamine e profili metallici. Gli interspazi tra gli elementi filtranti sono calcolati sulla base delle dimensioni massime dei detriti che si intende far defluire, massi di dimensioni superiori vengono trattenuti ed accumulati a monte dell'opera. Man mano che i detriti più grossolani vengono trattenuti dalla briglia il flusso che la attraversa si trova ostacolato da questi e la velocità diminuisce. In conseguenza della diminuzione di velocità anche l'energia cinetica della colata diminuisce e altri detriti di pezzatura minore possono depositarsi a formare un deposito monte dell'opera. Per questo motivo queste opere devono essere collocate in punti dove, a monte dell'opera stessa, si possa individuare un'area che verrà colmata a seguito di eventi di colata.

Come accennato forme, materiali e tipologie non sono standardizzate ma vengono studiate e realizzate sulla base dei dati derivanti dagli studi di caratterizzazione dei bacini di produzione di detrito, sulla base della morfologia e disponibilità di spazi nei canali di deflusso o detritici, sulla base delle necessità di protezione degli elementi vulnerabili a valle e dalla possibilità di accoppiare l'opera ad altre tipologie di opere di difesa poste in serie.



foto n.4 – Briglia frangicolata sul torrente Ru Secco con elementi in calcestruzzo, San Vito di Cadore (foto dell'autore).



foto n.5 – Briglia frangicolata con elementi tubolari in acciaio nella Rovina di Cancia, Borca di Cadore (foto dell'autore).



foto n.6 – Briglia filtrante in profilati metallici, affluente di sinistra torrente Timonchio, Santorso (foto dell'autore).

4.2.1.2. Barriere metalliche

Le barriere metalliche per colate detritiche sono particolari elementi finalizzati all'arresto del materiale solido. Si presentano sotto forma di reti metalliche che vengono posizionate all'interno dei canali di deflusso detritico o di depressioni topografiche all'interno delle quali le colate detritiche trovano spazio per la propagazione dei flussi. Queste barriere vengono realizzate su misura in base alle caratteristiche geometriche del sito, alla dimensione massima del detrito da contenere o del masso da trattenere nonché al volume del materiale detritico di progetto.

Il funzionamento di queste strutture è simile alle briglie filtranti ma in misura più accentuata per piccoli diametri e modesti volumi. Le barriere raccolgono e trattengono i detriti lasciando filtrare l'acqua in modo che la miscela liquido solido perda velocemente la parte di acqua e diminuisca rapidamente di viscosità. Si genera così una perdita di energia tale da arrestare la colata in tempi rapidi mentre la struttura si deforma progressivamente trattenuta da cavi con freni a pressione e sistemi di assorbimento dell'energia.

Queste barriere vengono comunemente poste come misura di prevenzione in punti critici interessati da eventi di colata di modesta entità o come misure di prima emergenza in attesa della realizzazione di altre tipologie di opere di difesa. Infatti le barriere metalliche sono facili e veloci da installare, poco invasive e poco impattanti con l'ambiente; possono essere altrettanto facilmente rimosse senza demolire le opere di fondazione per essere reinstallate in un secondo momento a seguito ad un aumento del rischio di colata detritica.



foto n.7 – Barriera metallica installata su precedente colata in località Fiames (foto dell'autore).

4.2.2. Strutture di deviazione delle colate detritiche

Le strutture di deviazione, definite anche come dighe di deflessione (*Eisbacher e Clague, 1984*), svolgono la funzione di deviare il flusso di colata impedendo l'interessamento delle aree edificate e delle infrastrutture a rischio. Rispetto ai canali di deflusso possono essere realizzate con andamento obliquo rispetto all'asse dei canali oppure perpendicolari; essi intersecano gli assi dei canali di deflusso detritico e li deviano verso i lati del ventaglio deposizionale. L'utilizzo di questa tipologia di opera comporta la disponibilità verso valle di un'area di propagazione della colata abbastanza ampia dove scaricare il deflusso senza provocare danni. Essendo un'opera "aperta", ovvero che non arresta o invasa detrito può essere impiegata anche nella difesa lungo canali che presentano normalmente una portata liquida costante poiché il deflusso di quest'ultima non viene impedito. La loro realizzazione è abbastanza semplice ed economica in quanto non necessitano di materiali da far giungere nel cantiere ma vengono utilizzati i detriti ed il terreno presente in loco.

4.2.2.1 Argini o rilevati in terra

Gli argini o rilevati in terra sono barriere costruite lungo un canale di deflusso detritico, con andamento intersecante l'asse del canale e andamento obliquo rispetto a quest'ultimo. Sono realizzati al fine di deviare, contenere e favorire la deposizione dei detriti presentandosi come un ostacolo fisico al flusso. La sua azione si esplica mediante un aumento della lunghezza del percorso che deve compiere il deflusso con conseguente diminuzione della pendenza che favorisce la deposizione del sedimento. In considerazione della forma ad arco che va a deflettere lateralmente il deflusso detritico, gli argini devono essere realizzati tenendo conto delle potenziali forze di impatto e la conseguente sopraelevazione dell'onda detritica. Inoltre nella parte interna dell'argine deve essere realizzata una qualche forma di protezione dall'erosione mediante una corazzatura o una gabbionata.



Foto n.8 – Argine a protezione della S.R. n.48 sul Passo Tre Croci, Cortina d'Ampezzo. (foto di Carlo Gregoretti).

Una variante costruttiva è data dalla disposizione dell'argine non più obliquo rispetto all'asse ma perpendicolare. In questo caso il deflusso impatta frontalmente con l'opera e si divide in due rami. Prima dell'impatto con l'opera il deflusso detritico percorre una zona deposizionale a bassa pendenza dove la velocità di deflusso rallenta e si innesca la deposizione del sedimento, il deflusso così rallentato esplica un minore impatto sull'opera e il rilevato d'onda è minore. Lateralmente all'argine la portata liquida può defluire senza creare problemi.

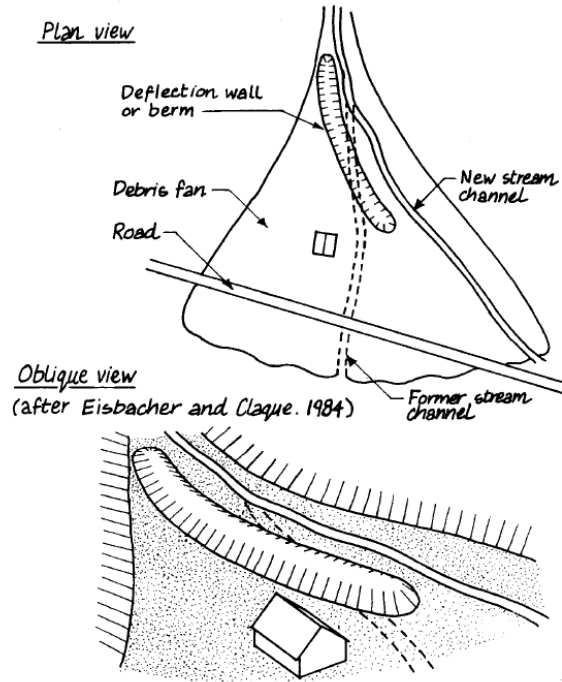


figura n.13 – Planimetria e vista assometrica di un argine di deflessione obliquo (Debris Flow Control Structures for Forest Engineering, Ministry of Forest Research Program – British Columbia 1996)

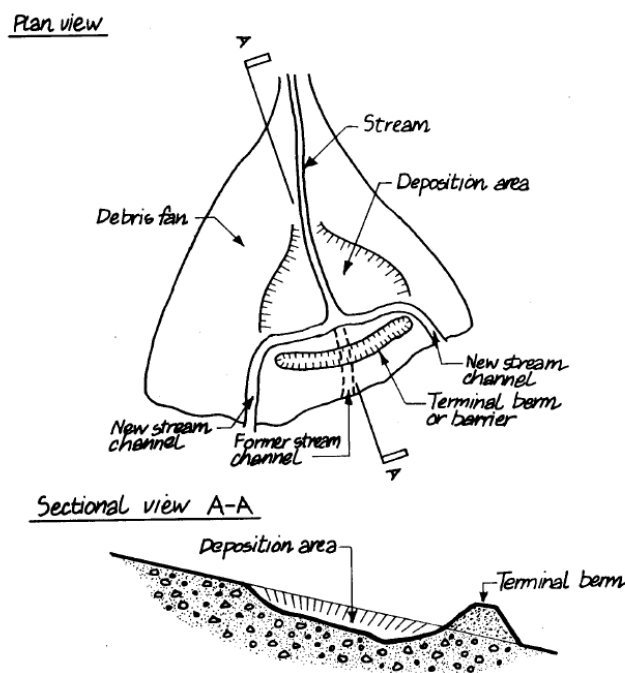


figura n.14 – Planimetria e sezione di un argine terminale o barriera (Debris Flow Control Structures for Forest Engineering, Ministry of Forest Research Program – British Columbia 1996)

4.2.2.1 Muri in gabbioni

I muri in gabbioni sono una variante costruttiva degli argini e rilevati in terra; le funzioni svolte da essi presentano analogie sia tra gli argini che le barriere metalliche. Come per gli argini e rilevati in terra la loro funzione può essere quella di deflettere il deflusso detritico posizionandoli sia obliquamente che frontalmente rispetto alla traiettoria della colata. L'analogia con le barriere metalliche invece consiste nella facilità e velocità di posa in loco che ne fanno una soluzione economica e di rapido intervento soprattutto in situazioni di emergenza dove possono essere installati come misura di prima emergenza in attesa della realizzazione di altre tipologie di opere di difesa definitive.

Costruttivamente sono formati da elementi scatolari parallelepipedi realizzati in rete metallica d'acciaio a doppia torsione di dimensioni variabili collegati tra loro e riempiti con pietre reperite direttamente nel cantiere. Formano strutture flessibili e permeabili, monolitiche come i muri a gravità. Il loro impiego spazia dalla posa a protezione di canali, rivestimenti di opere geotecniche, briglie ed elementi di controllo dell'erosione.

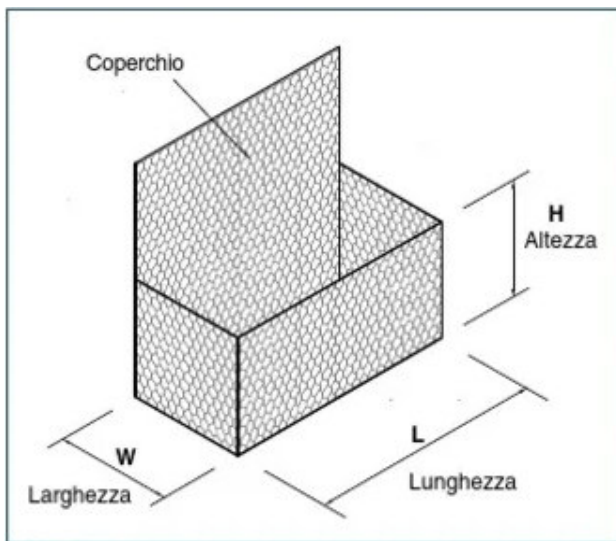


figura n.15 (sopra) – Elemento scatolare in rete metallica per la formazione dei muri in gabbioni (Officine Maccaferri S.r.l.).



foto n.9 (a lato) – Muro in gabbioni posto a protezione della S.S. n.51 dal soprastante deposito di colata detritica in località Fiames (foto dell'autore).

4.2.3. Strutture di accumulo e ritenzione dei detriti

Le strutture di accumulo e ritenzione dei detriti sono caratterizzate da ampie zone a bassa pendenza depresse rispetto all'area circostante, contornate da argini in terra o strutture di contenimento in cemento armato. Possono essere realizzate nella parte medio alta del bacino oppure al termine di canali di colata o comunque a monte di opere civili da proteggere quando i volumi di detrito attesi durante l'evento di progetto sono molto elevati. Per le strutture di accumulo la manutenzione post evento è molto importante; eventi di colata, anche di minore importanza, riducono il volume di invaso che deve essere ripristinato nel breve periodo per evitare una perdita di efficacia protettiva dell'opera. A questa tipologia di opere fanno parte i bacini di ritenuta o piazze di deposito. L'obiettivo di questo studio è la progettazione di opere che afferiscono a questa tipologia.

4.2.3.1 Bacini di ritenuta di sedimento

I bacini di ritenuta di sedimento sono volumi realizzati in scavo o in elevazione nei quali viene accumulato e trattenuto il volume dei sedimenti trasportati durante un evento di colata detritica. Queste opere possono operare in trattenuta totale o parziale dei sedimenti; nel caso di funzionamento a trattenuta totale l'opera è chiusa mentre in trattenuta parziale l'opera presenta una apertura di uscita presidiata con una briglia frangicolata o filtrante.

I bacini in trattenuta totale non sono dotati di un'opera di uscita; essi vengono realizzati al termine dei canali di deflusso che normalmente sono privi di deflussi idrici e non sono collegati al torrente che scorre nel fondo valle.

I bacini in trattenuta parziale sono invece dotati di un'opera di uscita. Questa tipologia di bacino viene realizzata quando il volume di stoccaggio non può essere realizzato delle dimensioni atte a contenere l'intero deflusso detritico di progetto. Solitamente questi vengono realizzati nella parte medio alta del bacino lasciando che parte della colata venga trasportata a valle mediante un apposito canale di detrito o attraverso un cunettone. Questi bacini sono realizzati su alvei torrentizi che convogliano deflussi superficiali e che non possono essere intercettati totalmente; i deflussi idrici devono essere necessariamente convogliati verso valle attraverso canali che possono essere anche separati dal canale di deflusso detritico.

I bacini di trattenuta sono quindi opere complesse composti da una serie di elementi che vengono schematizzati nell'immagine seguente.

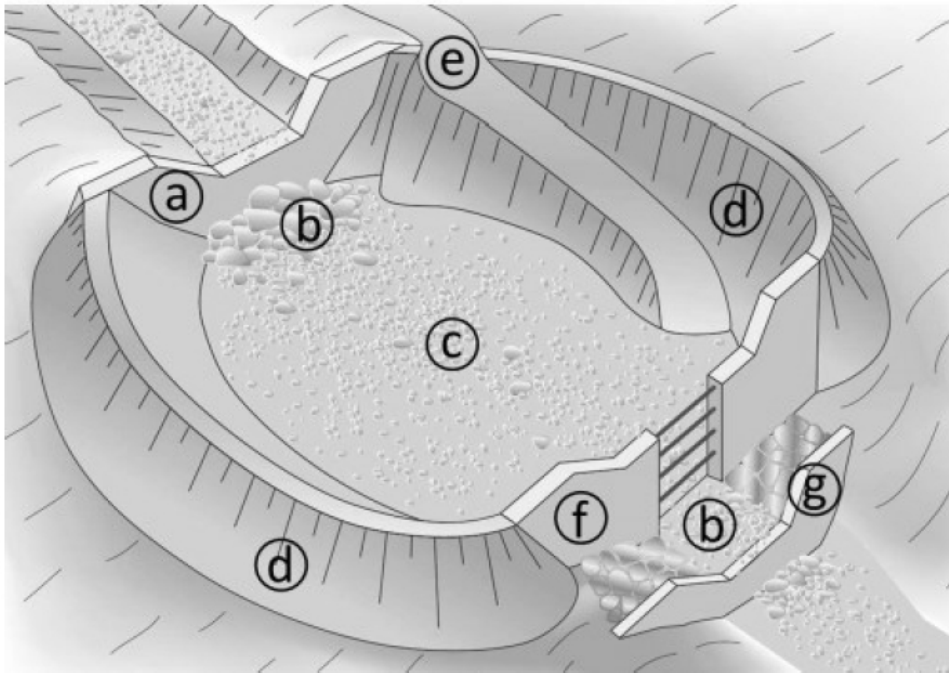


figura n.16 – Schema di un bacino di ritenuta di sedimento (Zollinger, 1983)

Un bacino di ritenuta di sedimento, sia a trattenuta totale che parziale, è composto dai seguenti elementi:

- a) Opera di entrata, solitamente una briglia aperta con gaveta ad ampia sezione;
- b) Massi di protezione o corazzatura di fondo per evitare erosioni e scalzamento della briglia;
- c) Area di deposito;
- d) Arginatura laterale;
- e) Strada di accesso per le operazioni di manutenzione e svuotamento;
- f) Struttura di uscita: briglia filtrante a fessura con profili metallici o frangicolata a speroni;
- g) Controbriglia per evitare le erosioni al piede della struttura di uscita.

Il bacino rappresentato nella *figura n.16* è un'opera a trattenuta parziale in quanto dotata di struttura di uscita (elemento f), questo particolare è assente nei bacini a trattenuta totale o può essere presente in forma molto ridotta al fine di scolare solamente le acque meteoriche che vi si possono invasare e che potrebbero generare onde idriche di scavalco durante il riempimento ad opera dei detriti di colata.

Nella progettazione di queste opere la forma ed il posizionamento sono fattori molto importanti per un funzionamento corretto e nella maniera più simile alle simulazioni. La forma ottimale è quella che prevede un'area che a partire dalla zona di ingresso si allarghi progressivamente fino al raggiungimento della massima dimensione trasversale nella parte centrale e che successivamente

si chiuda molto rapidamente per formarne il fondo; semplificando la si può definire come una forma a “pera”. La forma comunque dipende dallo spazio a disposizione, dalla localizzazione del bacino e dalla canalizzazione o meno del deflusso detritico.

Il bacino può essere posizionato sia nella parte medio alta del bacino che in fondo al canale detritico, questo determina la tipologia di opera se aperta o chiusa ovvero con trattenuta parziale o totale. Solitamente il posizionamento ideale è nel fondo valle immediatamente a monte dei centri abitati ed infrastrutture da proteggere. I motivi sono molteplici e possono essere riassunti in:

- Costruzione facilitata per la vicinanza alle strade e per le pendenze basse del conoide di deiezione rispetto alla parte medio alta del canale detritico;
- Volumi di scavo minori;
- Accesso più facile ai mezzi d’opera per gli interventi di manutenzione e svuotamento;
- Possibilità di poter realizzare forme ottimali del bacino per disponibilità di ampie superfici che viceversa nella parte medio alta del bacino possono non essere reperibili.

Oltre alla forma e al posizionamento altri elementi sono parimenti importanti, elementi che dalla loro forma dipende un funzionamento ottimale e sicuro delle strutture; essi sono l’area di deposito, gli argini e le strutture di uscita se e quando presenti.

L’area di deposito, oltre alla forma ottimale già descritta, perché abbia un funzionamento ottimale deve possedere una pendenza nel senso longitudinale molto contenuta, valori ottimali sono nell’ordine del 5 – 6%, in modo che il flusso detritico possa rallentare e fermarsi; pendenze nell’ordine del 4% in senso trasversale a partire dalla linea di massima pendenza verso i lati contribuiscono ad una distribuzione ancora più ampia dei detriti e un arresto più veloce. Nel caso di colate detritiche di progetto previste ad alto contenuto di frazione liquida, vicine allo stato di *mud flow* se possibile sono auspicabili pendenze negative o contropendenze dell’area di accumulo in modo da rallentare fortemente l’onda detritica per evitare lo scavalco dell’argine di fondo.

All’interno dell’area di deposito si possono realizzare ulteriori interventi per facilitare un’ampia distribuzione dei detriti e una più rapida diminuzione di velocità del deflusso, questi accorgimenti diventano necessari quando la pendenza o la lunghezza dell’area di deposito non sono tali da consentire l’arresto della colata. Si può prevedere di inserire degli arginelli trasversali o camere di *Venez*, strutture con la funzione di obbligare il deflusso a raggiungere anche le zone più laterali dell’area di deposito; possono realizzarsi dei pilastri o infiggere profili metallici per formare i labirinti di *Gras*, elementi posti in file alterne che obbligano il deflusso a suddividersi, rallentare e

disporsi su tutta l'area di deposito. Questi metodi ideati nell'ottocento sono meglio applicabili a piazze di deposito lungo i corsi torrentizi mentre un altro metodo ottocentesco applicabile invece ai depositi detritici su conoide sono le palafitte del *Valentini* che prevedono una serie di palizzate ad andamento planimetrico curvo con concavità rivolta verso monte e di ampiezza via via maggiore spostandosi verso valle a coprire l'intera larghezza del cono di deiezione.

Questi metodi prevedono che all'interno dell'area di deposito o addirittura sull'intera area del conoide siano presenti strutture a "perdere" in quanto lo spessore dei detriti potenzialmente può sommergere queste strutture. Se realizzate all'interno dell'area di deposito queste strutture vengono divelte e rimosse durante le operazioni di svuotamento dei detriti e possono costituire intralcio alle operazioni meccaniche di escavazione. Per questo motivo sono realizzate di rado se non per particolari e complicate soluzioni non diversamente risolvibili.

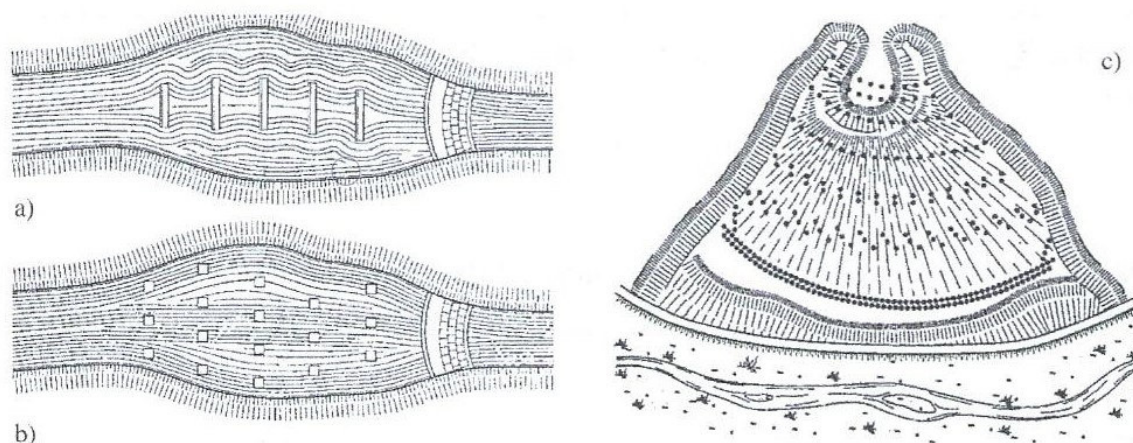


figura n.17 - Schemi di piazze di deposito, a) camere di Venetz, b) labirinti di Gras, c) piazza di deposito con palafitta del Valentini (opere di sistemazione idraulico forestale – Vito Ferro, 2019).



foto n.10 – Piazza di deposito con setti in terra – Vallescura, BG (tratto da Atlante delle opere di sistemazione fluviale, APAT 2003).

Gli argini svolgono l'importante funzione di contenimento della massa detritica; essi subiscono notevoli forze sia durante l'evento che dopo. Possono essere realizzati in terra, con muri gabbioni oppure con muri in calcestruzzo. Gli argini possono anche non essere presenti nel caso di aree di deposito realizzate interamente in scavo, possono essere presenti in parte e in tipologie differenti quando i bacini sono realizzati parzialmente in scavo e in rialzo oppure completamente in rialzo.

Durante l'evento di colata sono soggetti alle forze dinamiche derivanti dall'impatto dei detriti e a forze impulsive quando l'impatto avviene con dei massi, ad evento terminato sono soggetti a forze statiche dovute alla presenza della massa detritica e a forze idrostatiche dovute alla frazione liquida rimasta all'interno della massa detritica depositata. Subiscono anche fenomeni di erosione determinati dal flusso e dal risalto dell'onda detritica. Per risolvere i due problemi di resistenza meccanica e all'erosione si possono realizzare degli argini composti con all'interno, nella zona soggetta ad erosione una struttura a gabbioni e all'esterno un argine massiccio in terra per contrastare le spinte dinamiche e statiche. Nel caso di bacini contenuti entro argini realizzati con muri in calcestruzzo sia l'erosione che le forze interne al sistema sono sopportate dal calcestruzzo armato opportunamente calcolato secondo normativa (*N.T.C. 2018*).

Le strutture di uscita, presenti nelle opere aperte a trattenuta parziale, sono l'ultimo elemento importante che si vuole analizzare. Esse sono sostanzialmente delle briglie in parete grossa realizzate del tipo filtrante a fessura con profili metallici o frangicolata a speroni in calcestruzzo.

Nei bacini con opere di uscita realizzati nella parte medio alta del bacino le briglie sono del tipo frangicolata con speroni in calcestruzzo che intercettano i detriti di dimensioni maggiori e i massi e permettono la laminazione della fase solida. Nei bacini di fondo valle le opere di uscita sono generalmente briglie filtranti a fessura che permettono il passaggio dei detriti medio fini. In entrambi i casi le briglie laminano le piene solide facendo transitare solamente la frazione solida più sottile anche in relazione del successivo tragitto che compirà la colata detritica e delle eventuali altre opere di intercettazione, deviazione o accumulo. Aspetto molto importante è la valutazione del distanziamento degli speroni e dei profilati metallici, esso va calcolato sulla base della granulometria attesa per quella sezione di chiusura, sottesa dalla briglia, in modo che non si verifichino intasamenti che farebbero lavorare l'opera come una briglia piena con gaveta.

4.2.3.2. Esempi di realizzazioni di bacini di ritenuta

A completamento della descrizione della tipologia di opera e delle sue caratteristiche si riportano degli esempi significativi di realizzazioni di queste strutture in varie parti del mondo a riprova che questi eventi non sono casi isolati, tipici di una zona, ma fenomeni che possono verificarsi ovunque si presentino in contemporanea i tre fattori di causa: importanti apporti idrici, grandi quantità di sedimenti mobilizzabili ed elevate pendenze.



foto n.11 – Bacino di trattenuta aperto a Cheam View nei pressi di Chilliwack nella Columbia Britannica, Canada.

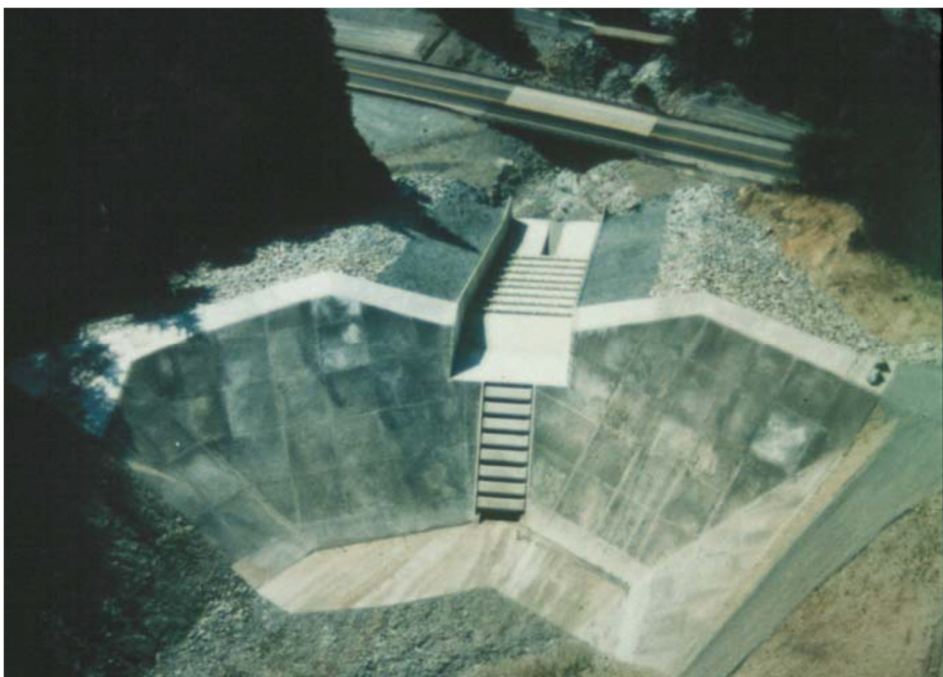


foto n.12 – Bacino di contenimento Charles Creek, Lions' Bay, Columbia Britannica, volume di trattenuta 30000m³.



foto n.13 – Barriere di contenimento detriti, Western Taiwan.



foto n.14 – Piazza di deposito completamente riempita di sedimenti (alluvione Friuli del 29 agosto 2003, Ugovizza).



foto n.15 – Opere di uscita dal bacino di contenimento, briglia frangicolata a speroni sullo sfondo e briglia filtrante a fessura in primo piano (Lienz, Austria).

4.3. Sistemi di monitoraggio e allerta flussi detritici

I sistemi di protezione appartenenti a questa tipologia esplicano la loro funzione per mezzo di sensori in funzionamento continuo che monitorano i parametri pluviometrici e rilevano gli eventuali movimenti di massa. Questi sistemi, denominati *early warning system*, sono costituiti da stazioni di monitoraggio composte da una serie di sensori quali pluviometri, che misurano l'intensità di pioggia, sensori di transito detriti come geofoni, cavi di distorsione e misuratori ad ultrasuoni.

I pluviometri vengono installati nella parte alta del bacino in modo che possano raccogliere i dati di intensità di pioggia per determinare il verificarsi di particolari condizioni nelle quali si creano dei flussi idrici sui versanti capaci di mobilitare i detriti. I sensori di transito vengono invece installati lungo il percorso del canale detritico per segnalare il transito della massa in movimento (cavi a distorsione e misuratori ad ultrasuoni).

Il segnale di allerta viene gestito da un centro di controllo presso l'ente territoriale di competenza o direttamente dalla Protezione Civile regionale che, in caso di emergenza, attiva istantaneamente sistemi di allertamento della popolazione mediante sirene e semafori all'interno dell'area di pericolo. Il sistema di allertamento è completato con un servizio di messaggistica istantanea tramite SMS (*short message service*) tramite rete cellulare che allerta chi si trova entro una certa cella telefonica all'interno della zona di pericolo.

Un esempio di questi sistemi è quello creato e gestito dal progetto europeo INADEF nato da una collaborazione tra ARPAV, Università di Padova, Università di Udine e i partner austriaci BFW (Bundesforschungszentrum für Wald – Centro Federale di Ricerca Forestale) e ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – Istituto Centrale di Meteorologia e Geodinamica) installato sul torrente Rio Rudan a Vodo di Cadore, Belluno.



foto n.16 – Sensore a cavo a "strappo" posizionato sulla sommità della briglia frangicolata sul torrente Rio Rudan, da notare le teste degli speroni interessati dall'erosione di un precedente evento di colata (foto dell'autore).



foto n.17– Sensori a cavo a “strappo” posizionati sulla rampa di monte della briglia frangicolata sul torrente Rio Rudan (foto dell’autore).



foto n.18 - Avvisatori acustici (sirene) e foto n.19 - Avvisatori ottici (semaforo) posizionati sulla S.S.51 nei pressi dell’attraversamento del torrente Rio Rudan (foto tratte da Street View).

I sistemi di monitoraggio descritti vengono anche implementati con delle stazioni di ripresa video tramite webcam che, connesse ai centri di controllo, registrano le varie fasi degli eventi di colata per comprendere meglio le dinamiche. Questi punti di controllo sono equipaggiati con videocamere a visione notturna, alimentate tramite pannelli fotovoltaici e batterie; esse sono controllate da remoto tramite moduli radio specifici che operano in banda libera UHF o equipaggiati con SIM dati per la trasmissione via rete cellulare GSM.



foto n.20 – Esempio di stazione di monitoraggio video equipaggiata con videocamere a visione notturna. (fonte: www.geoprodotti.eu)

5. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

5.1. Inquadramento geografico

L'area è situata in Veneto nella zona delle Alpi Orientali all'interno dell'area Dolomitica; amministrativamente è ubicata in provincia di Belluno, ed in particolare nel Comune di Cortina d'Ampezzo nella frazione di Fiames; tale località è posta a 4 km a nord di Cortina D'Ampezzo ad una altitudine di 1239 m. s.l.m. lungo la strada statale n.51 di Alemagna, strada molto trafficata nel periodo turistico, che dalla conca Ampezzana porta verso la Val Pusteria. Fiames si trova nella valle del torrente Boite sovrastata a est dal Monte Pomagagnon e a ovest dalla Tofana Terza.



figura n.18 – Cartografia fisica del Veneto con indicata l'ubicazione della zona di studio (fonte: www.primaria.org).

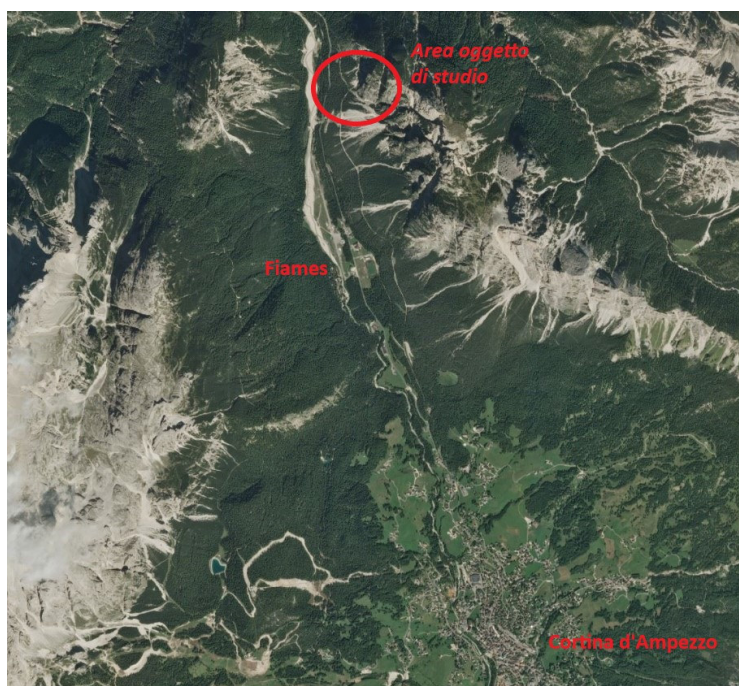


figura n.19 – Veduta aerea della zona con indicazione dell'abitato di Cortina D'Ampezzo, la località Fiames e ubicazione dell'area oggetto di studio contornata in rosso (fonte: Microsoft Bing Maps).



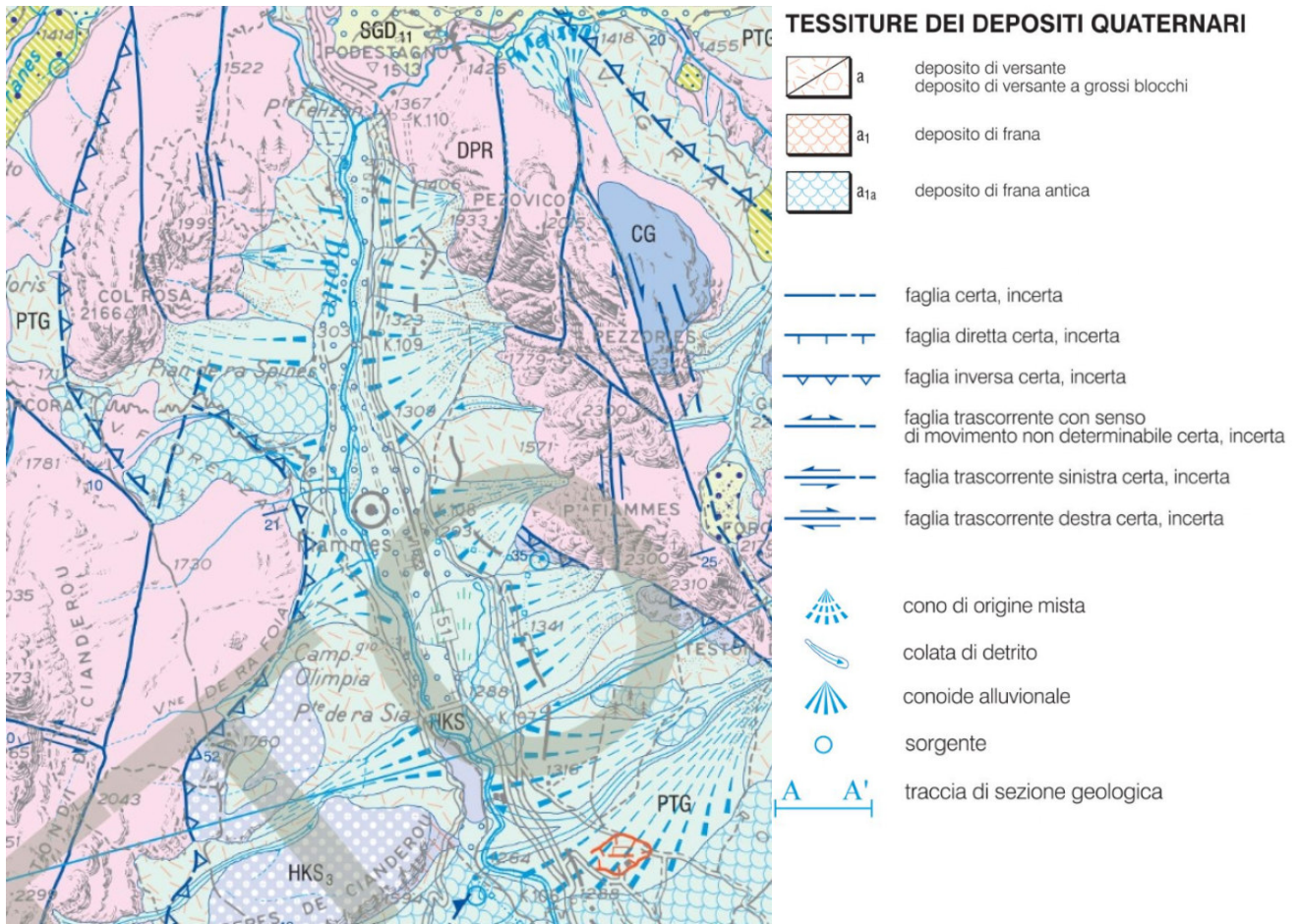
figura n.20 – Particolare della veduta aerea della zona con indicazione dell’ubicazione dell’area oggetto di studio contornata in rosso (fonte: Microsoft Bing Maps).

L’area di studio è particolarmente soggetta a fenomeni di colata detritica generati dai grandi accumuli di detriti che si trovano ai piedi delle pareti rocciose del Monte Pomagagnon situato in sinistra idraulica del torrente Boite. Il paesaggio è caratterizzato dalla presenza di vasti conoidi di deiezione coalescenti e da canali detritici di colata che solcano i detriti e interrompono la vegetazione dei versanti fino ad arrivare a valle dove è presente il torrente Boite che scorre su di una piana detritica stretta tra i due versanti.

5.2. Inquadramento geomorfologico e geologico

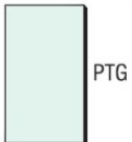
La conca di Cortina D’Ampezzo è caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari derivanti da accumuli di frana che, a partire dalla fine della glaciazione Wurmiana (tra i 18.000 e i 16.000 anni fa), hanno interessato intensamente questa area. I movimenti franosi sono stati originati dalla presenza di numerose fratturazioni di origine tettonica che hanno condizionato la genesi e la diffusione di frane e lo sviluppo di dissesti gravitativi profondi di versante. Nel fondo valle sono presenti accumuli fluviali dovuti all’attività dei corsi d’acqua che, a seguito dello scioglimento delle ultime coltri glaciali, hanno in parte eroso gli accumuli di frana delocalizzandoli nel fondo valle sovrapponendosi ai depositi lacustri.

La zona di studio è situata a nord della conca alla convergenza tra il gruppo del monte Pomagagnon ed il gruppo delle Tofane. In questa area sono presenti numerosi e potenti accumuli di detrito su entrambi i versanti e tracce di depositi di antiche frane sul versante delle Tofane.



SUCCESSIONE PLIO-QUATERNARIA

SINTEMA POSTGLACIALE ALPINO (crf. Sintema del Po - P01)

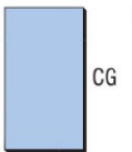


Coltre eluvio colluviale e detritico colluviale (PTG_{b2}); detrito di versante e a grossi blocchi (PTG_a); depositi di frana attuali, subattuali ed antichi (PTG_{a1} e PTG_{a1a}); *diamicton* a matrice sabbiosa con intercalazioni sabbiose ghiaiose e blocchi anche plurimetrici subangolosi-angolosi (depositi di origine mista PTG_i); depositi palustri, di torbiera e lacustri (PTG_{b4} e PTG_{b2}); concrezioni carbonatiche stratificate (travertini-PTG_{t1}); sedimenti ghiaioso-sabbiosi con ciottoli e blocchi subarrotondati-arrotondati e sporadiche intercalazioni di livelli sabbioso-limosi talvolta terrazzati discontinui (depositi fluviali-torrentizi terrazzati e non-PTG_b); deposito da *debris flow* (PTG_{b4}).

OLOCENE

SUCCESSIONI DI PIATTAFORMA DEL TRIASSICO SUPERIORE-GIURASSICO INFERIORE

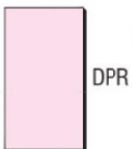
GRUPPO DEI CALCARI GRIGI



Prevalenti calcari micritici color grigio chiaro e calcareniti colitico bioclastiche, fittamente stratificati, a volte con sottili interstrati marnosi, organizzati in cicli peritidali. La parte inferiore, non separabile litostratigraficamente dal resto dell'unità, è caratterizzata da livelli a coralli e grandi megalodontacei e dicerocardiidi e corrisponde in parte al cosiddetto "calcare di Dachstein" Auct. (Norico p.p.-Retico). La parte medio-superiore corrisponde ai Calcari Grigi ss. di età Giurassico inferiore. Spessore da 450 a 550 m.

RETICO p.p.-PLIENSACHIANO p.p.

DOLOMIA PRINCIPALE



Dolomie color grigio chiaro, ben stratificate, costituite prevalentemente dalla alternanza ciclica di unità bioturbate, localmente fossilifere (*Neomegalodon spp.*, *Worthenia sp.*) e di livelli inter-sopratidali a laminiti stromatolitiche; localmente (Pelmetto) impronte di dinosauri ornitiscis, sauriscis e teropodi. Spessore 500-1000 m.

CARNICO p.p.-RETICO p.p.

figura n.21 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia CARG – Foglio n.29, Cortina D'Ampezzo (fonte: isprambiente.gov.it).

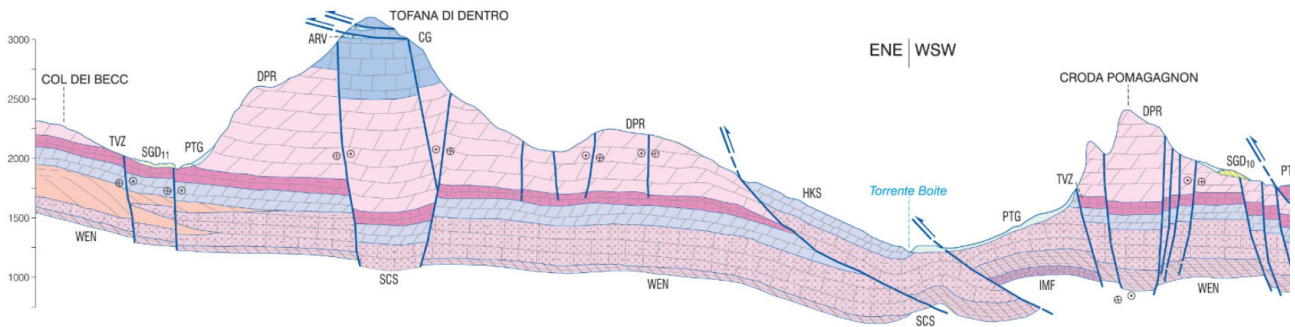


figura n.22 – Stralcio della sezione B-B' tratta dalla Carta Geologica d'Italia CARG – Foglio n.29, Cortina D'Ampezzo (fonte: isprambiente.gov.it).

Per una caratterizzazione geologica del sito si è ricorsi alla nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG); l'area oggetto di studio ricade all'interno del foglio n.29 - Cortina D'Ampezzo. Nelle precedenti figure n.21 e n.22 sono riportati rispettivamente uno stralcio della cartografia e uno stralcio del profilo geologico B-B' che passa nelle immediate vicinanze dell'area di studio.

Dalla cartografia è evidente come la zona di Fiames sia caratterizzata da una spessa coltre detritica colluviale in superficie con la presenza di detriti di versante, depositi di frana attuali sul versante del monte Pomagagnon e da depositi di frana antica sul versante delle Tofane. Sono individuabili i conoidi detritici e i canali di deflusso detritico che scendono cospicui dal versante del Pomagagnon mentre sono più radi sul versante delle Tofane, qui lasciano il posto a depositi di frane antiche. Sono presenti in gran numero faglie tettoniche che danno origine a spaccature e canali incisi nei rilievi montuosi. Quest'ultimi sono composti dalla dolomia principale e, per la parte sommitale del monte Pomagagnon e delle Tofane, da calcari grigi. La conferma della composizione geo litologica della zona è confermata dal profilo geologico riportato in figura n.22 dove si vede alla destra grafica (sinistra idraulica) del torrente Boite la coltre detritica disposta sul versante del gruppo del Pomagagnon che scende dalle pendici in dolomia principale fino a fondo valle; sul lato opposto si nota come il versante sia caratterizzato da una piattaforma carbonatica di dolomia Cassiana priva di detriti superficiali. Da questa situazione si capisce il perché siano più frequenti gli eventi di frana e di colata detritica sul lato del Pomagagnon piuttosto che sul versante opposto. Il motivo principale è per appunto la presenza di molto materiale detritico mobilizzabile che deriva dai versanti sub verticali in dolomia principale mentre sul lato apposto si hanno versanti meno acclivi in roccia non alterata ricoperti da vegetazione boschiva.

Va fatta anche una considerazione in funzione dell'esposizione dei versanti; il versante delle Tofane è in ombra, coperto da una folta vegetazione boschiva, quindi meno soggetto a sbalzi termici e di

conseguenza a fenomeni di crioclastismo, viceversa il versante del Pomagagnon è esposto al sole e gli sbalzi termici a cui è sottoposta la roccia provocano fenomeni di alterazione meccanica e produzione di clasti. Un'ulteriore causa della massiccia produzione di detrito dalle pareti esposte e prive di vegetazione è data dall'alterazione chimica delle rocce. La dolomia principale è una roccia sedimentaria carbonatica composta principalmente dalla dolomia che chimicamente è un carbonato doppio di calcio e magnesio $MgCa(CO_3)_2$. Quest'ultimo viene ridotto a bicarbonato di calcio e magnesio per soluzione con acido carbonico. L'acido carbonico si forma in atmosfera con la reazione dell'anidride carbonica (CO_2) con il vapore acqueo (H_2O), si forma l'acido carbonico (H_2CO_3) che per interazione successiva con la roccia dolomitica crea a sua volta il bicarbonato di calcio e magnesio che è un sale solubile, da qui l'alterazione della roccia dolomitica.

In considerazione dell'aumento della concentrazione di anidride carbonica in atmosfera dovuta alle attività antropiche si può affermare che il processo di alterazione della roccia dolomitica non possa che accelerare e che aumenti di conseguenza la produzione di detrito. Questo sul lungo o lunghissimo periodo potrebbe essere causa di un aumento dei fenomeni di colata detritica.

6. PROGETTO DELLE OPERE DI DIFESA

Il presente studio ha lo scopo di ideare e progettare un sistema di difesa dalle colate detritiche per la protezione della Strada Statale n.51 "Alemagna", in località Fiames, nel Comune di Cortina d'Ampezzo. Il sistema di difesa che si intende progettare è formato da due distinti bacini di ritenuta totale dei detriti. Per la progettazione si sono utilizzati sia dati già disponibili da altri studi sia dati rilevati sul posto per definire meglio il progetto e inserirlo nella reale situazione.

6.1. Dati progettuali da precedenti studi tecnico scientifici

Come accennato, si è fatto uso di dati disponibili da altri studi e in particolare si sono utilizzati i risultati dello "*Studio per la protezione dal rischio di colata detritica sulla SS 51 ai Km 98 e 106-109 in comune di Cortina d'Ampezzo e rientrante tra gli interventi del progetto "Variante S.S.51 di Cortina d'Ampezzo"*" commissionato da Anas S.p.A. all'Università degli Studi di Padova – Dipartimento TESAF. In questo studio si sono simulati i potenziali eventi di colata detritica con tempo di ritorno (TR) pari a 300 anni al fine di verificare le criticità che possono presentare le attuali strutture di difesa realizzate e stimare i volumi solidi-liquidi massimi da utilizzare come dato per l'adeguamento delle opere esistenti e per il dimensionamento di nuove opere.

Lo studio del TESAF ha preso in considerazione 19 canali di colata presenti sul versante ampezzano del Monte Pomagagnon, di questi gli ultimi due, ovvero i canali denominati "C18" e "C19", sono quelli interessati dal presente studio. Tralasciando la trattazione del metodo adottato per le simulazioni eseguite, trattazione tecnico scientifica che esula sia le competenze che lo scopo del presente documento, si esplicitano di seguito i risultati che sono poi serviti come base per la progettazione delle due opere di difesa.

Nella figura seguente (*figura n.23*), estratta dall'elaborato E06 – Modellazione idraulica allo stato attuale, facente parte dello studio commissionato al TESAF da ANAS S.p.A., è riportata l'area di studio con i canali di colata nn.C16, C17, C18 e C19, sono indicati i punti di chiusura dei bacini utilizzati per la modellazione idrologica e le posizioni delle sezioni di controllo per le quali sono stati generati gli idrogrammi di portata solido-liquido. Si ribadisce che per il presente studio si sono presi a riferimento i dati per i soli canali C18 e C19.

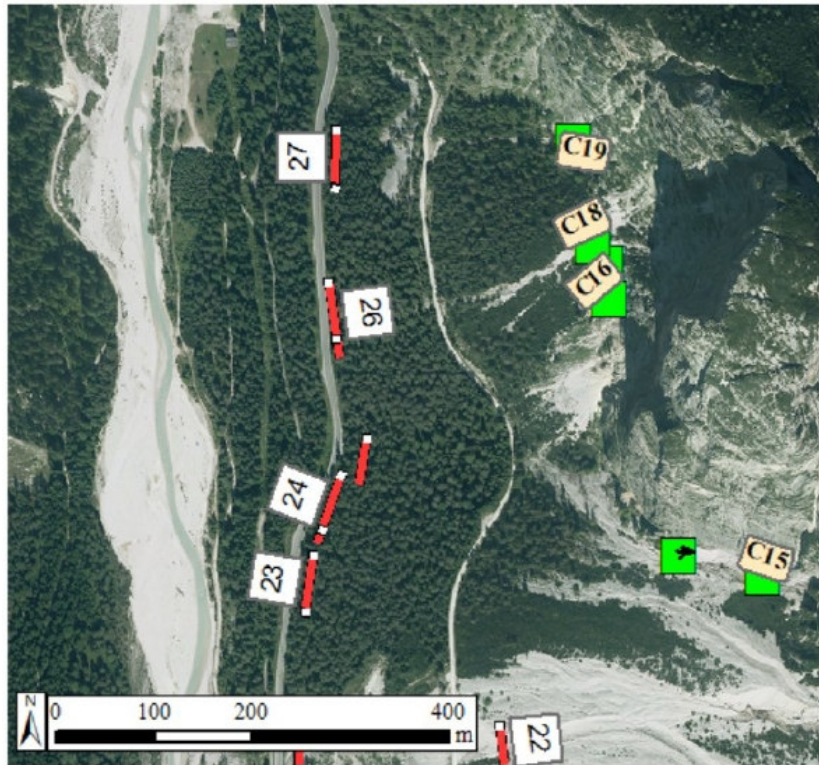


figura n.23 – Area di studio dei canali di colata, in verde i punti di chiusura dei bacini, in rosso le sezioni di controllo per le quali sono stati estratti gli idrogrammi (fonte: Modellazione idraulica allo stato attuale – Studio tecnico-scientifico TESAF per ANAS S.p.A., 2022).

È opportuno fare una precisazione: le sezioni di controllo per le quali sono stati estratti i volumi di portata solido-liquida massima sono poste a valle rispetto alla posizione delle opere di difesa di progetto, questo fatto comporta che la progettazione dei volumi necessari per invasare e contenere la totalità del deflusso detritico è avvenuta con l'utilizzo di dati sovrabbondanti che vanno a favore della sicurezza. Infatti nel calcolo degli idrogrammi nelle posizioni individuate nello studio del TESAF si è tenuto conto anche dell'eventuale sedimento preso in carico dal flusso di colata detritica nel tragitto tra la posizione delle future opere e le sezioni stesse. Questo porta ad una sovrastima del volume da invasare il che determina maggiori volumi di progetto dei due bacini di ritenuta.

Lo studio eseguito dal TESAF, ad opera del Prof. Ing. Carlo Gregoretti, dell'Ing. Martino Bernard e dell'Ing. Matteo Barbini, ha previsto due simulazioni (SIM_1 e SIM_2), i dati utilizzati per il dimensionamento delle opere di difesa sono quelli della simulazione SIM_1 in quanto più elevati e quindi i più cautelativi per la progettazione.

Di seguito i risultati ottenuti con la simulazione SIM_1 in termini di spessore massimo di deposito dei detriti, mappa dell'erosione e deposito finale, idrogramma solido-liquido per le due sezioni n.26, per canale C18, e n.27, per il canale C19.

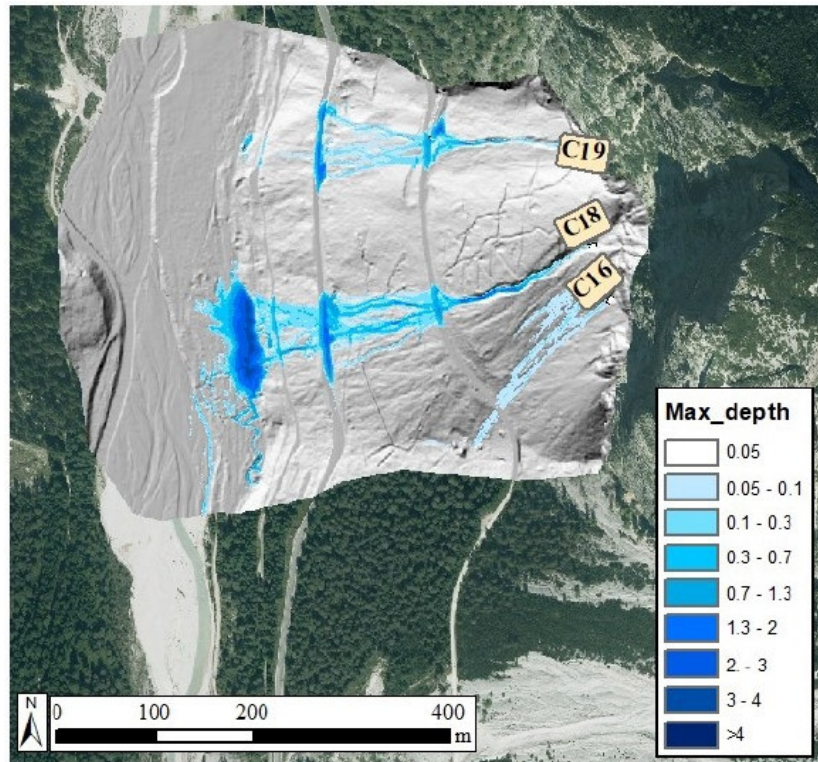


figura n.24 – Mappa dello spessore massimo (Max_depth) evento di colata simulazione SIM_1 con TR300 Picco (fonte: Modellazione idraulica allo stato attuale – Studio tecnico-scientifico TESAF per ANAS S.p.A., 2022).

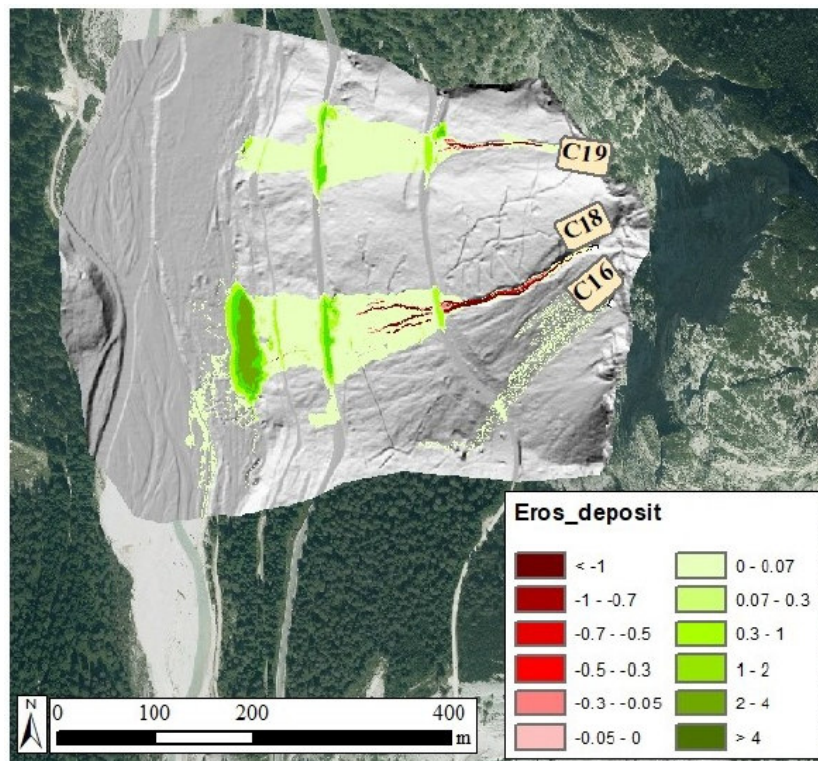


figura n.25 – Mappa dell'erosione e deposito finale (Eros_deposit) evento di colata simulazione SIM_1 con TR300 Picco (fonte: Modellazione idraulica allo stato attuale – Studio tecnico-scientifico TESAF per ANAS S.p.A., 2022).

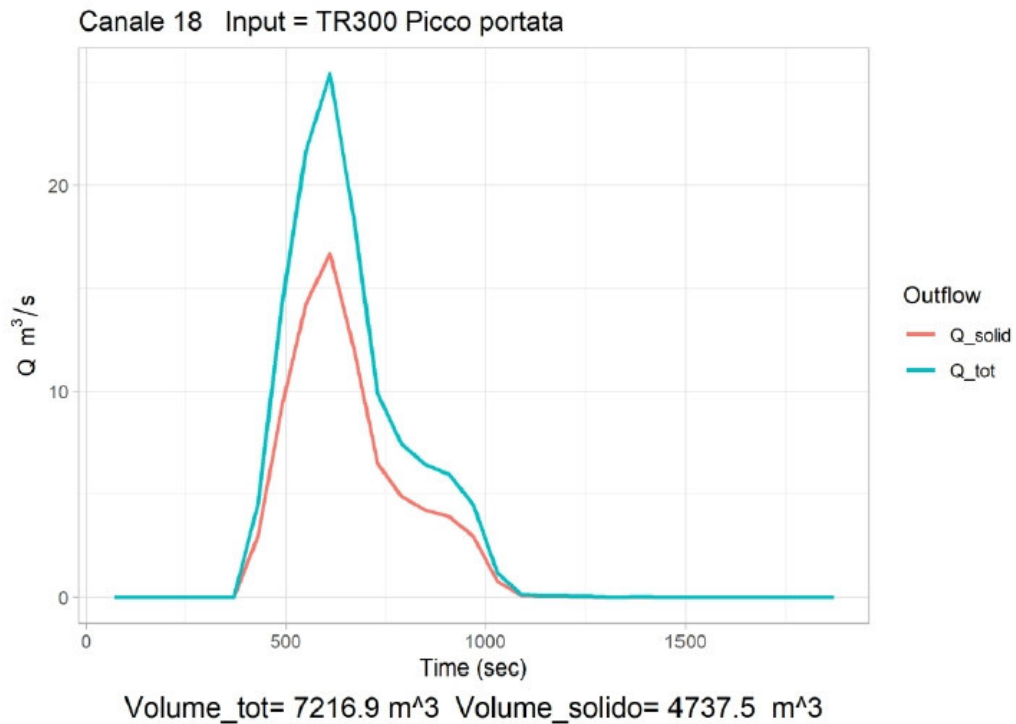


figura n.26 – Idrogramma calcolato per la sezione 26, canale C18, evento di colata simulazione SIM_1 con TR300 Picco
(fonte: Modellazione idraulica allo stato attuale – Studio tecnico-scientifico TESAF per ANAS S.p.A., 2022).

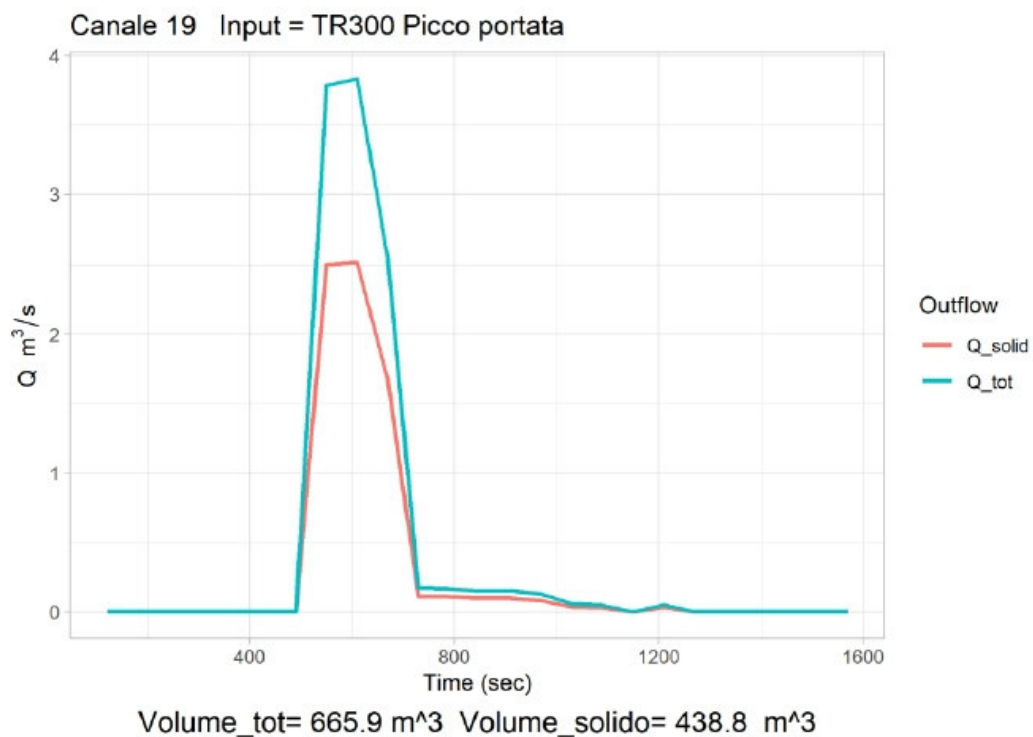


figura n.27 – Idrogramma calcolato per la sezione 27, canale C19, evento di colata simulazione SIM_1 con TR300 Picco
(fonte: Modellazione idraulica allo stato attuale – Studio tecnico-scientifico TESAF per ANAS S.p.A., 2022).

Dalle mappe di spessore massimo di detrito ed erosione e deposito si capisce che l'evento di progetto stimato con tempo di ritorno 300 anni (TR300) provocherebbe danni ingenti alla pista ciclabile Alta via delle Dolomiti (ex ferrovia Cortina Dobbiaco) e alla Strada Statale n.51.

Sulle due infrastrutture si depositerebbero ingenti quantitativi di detrito con spessori da 0,3 m fino a 2,0 m che provocherebbero la chiusura prolungata della viabilità per le operazioni di rimozione dei detriti e di riparazione dei danni alle strutture stradali (nastro stradale, barriere di protezione, segnaletica orizzontale e verticale). Da considerare anche gli eventuali danni causati nell'immediatezza dell'evento agli automobilisti in transito sulla strada, danni materiali e fisici che possono essere gravi o portare alla perdita di vite umane.

Dai due idrogrammi solido-liquido si ricavano due importanti dati necessari al dimensionamento delle opere: il volume solido e il valore di portata liquida al picco; il volume solido è necessario per il calcolo del volume di progetto del bacino mentre il valore di portata liquida al picco è utile per il dimensionamento delle opere idrauliche per la gestione delle acque meteoriche e di colata.

Il volume solido dei sedimenti è calcolato come integrazione dell'idrogramma solido (linea rossa nell'idrogramma) mentre il valore di portata liquida al picco (Q_{max}) è calcolato come differenza tra le portate di picco solido-liquida e solida. I dati sono riassunti nella sottostante tabella.

Sezione	Canale	Volume_solido (m³)	Portata liquida picco Q_max (m³/sec)
26	C18	7216,9	8,7
27	C19	665,9	1,3

tabella 1 – Dati estratti dallo studio tecnico scientifico del TESAF necessari per il dimensionamento delle opere.

6.2. Ulteriori dati rilevati sul posto

Oltre ai dati ricavati dallo studio tecnico scientifico del TESAF sono stati eseguiti due sopralluoghi sul posto al fine di prendere visione dei luoghi, determinare la posizione piano altimetrica degli elementi vulnerabili e dei particolari utili alla progettazione. In data 25 settembre 2023 è stato effettuato il primo sopralluogo al fine di prendere visione dei luoghi e fare i primi rilievi fotografici; successivamente in data 23 ottobre 2023 si è proceduto ad un secondo sopralluogo per completare i rilievi fotografici, esplorare meglio la zona (depositi di detrito, canali di colata, versanti e opere da difendere). In occasione del secondo sopralluogo è stato effettuato un rilievo topografico piano altimetrico con strumentazione satellitare GNSS.

6.2.1 Rilievo fotografico dei luoghi

Dal rilievo fotografico sono emersi diversi particolari tra cui le dimensioni dei depositi detritici che incombono sulla pista ciclabile e sulla sottostante strada statale, le profonde erosioni dei canali, la presenza di grossi massi in precario equilibrio all'interno dei canali, i depositi di vecchie colate e di nuovi eventi di recente accadimento di minore portata.



foto n.21 – Deposito detritico del canale C18 lato a monte della pista ciclabile (foto dell'autore).



foto n.22– Deposito detritico del canale C18 lato a valle della pista ciclabile con visibili profonde erosioni, tra i detriti si rinviene legname e piante intere (foto dell'autore).



foto n.23 – Canale di colata C18, immediatamente sopra il deposito detritico della pista ciclabile – vista verso monte, è visibile la profonda erosione del versante con scalzamento degli alberi. (foto dell'autore).



foto n.24 – Canale di colata C18, immediatamente sopra il deposito detritico della pista ciclabile – vista verso valle, all'interno del canale di colata è visibile l'incisione dovuta ai deflussi meteorici superficiali e formare un rigagnolo o rill. (foto dell'autore).



*foto n.25 – Massi rinvenuti nel canale di colata C18 nella zona al di sopra della pista ciclabile in precario equilibrio.
(foto dell'autore).*



foto n.26 – Particolare del masso rinvenuto nel canale C18 ad una quota di circa 35m più in alto rispetto alla pista ciclabile, di forma approssimata ad un cubo, con dimensioni di circa 1,90m x 2,00m x 1,90m, volume stimato 7,2 mc, peso stimato 20 tonnellate. (foto dell'autore).



foto n.27 – Deposito detritico del canale C19 a ridosso della struttura paramassi della galleria dell'ex ferrovia Cortina – Dobbiaco, si nota la vegetazione pioniera che indica una inattività apparente della colata detritica in questa zona. (foto dell'autore).



foto n.28 – Deposito detritico del canale C19 a valle della pista ciclabile, da notare il colore grigio scuro dei detriti, segno di una marcata alterazione del minerale dolomitico a indicare che questo deposito è apparentemente statico e non alimentato da altre colate. (foto dell'autore).

Il deposito detritico del canale C19 sembra essere in uno stato di inattività; la colorazione grigio scura dei detriti e l'assenza di segni di erosioni superficiali danno a pensare che questa zona non sia attiva. Il sopralluogo ha invece rilevato la presenza di un nuovo lobo detritico di neo formazione, situato lungo il canale detritico circa 20 metri più in alto della struttura paramassi della galleria.



foto n.29 – Lobo detritico di nuova formazione nel canale C19 circa 20m più a monte della struttura paramassi della galleria. Il colore chiaro del detrito indica che questo deposito è di recente formazione. (foto dell'autore).

Il sopralluogo è continuato nella parte bassa del versante, sulla Strada Statale n.51. Qui, in corrispondenza dei due canali detritici si sono rilevate due situazioni ben differenti. I detriti del canale C18 hanno invaso la strada durante l'evento del 5 agosto 2022 mentre il canale C19 non ha mai portato i detriti fino alla quota strada fermandosi più in alto lungo il versante.

Nella zona del canale C18 sono evidenti i segni dell'evento del 2022 con la presenza di opere provvisorie di protezione realizzate con un muro in gabbioni e reti paramassi; è presente un ampio cono di detriti sagomato per creare un piccolo bacino per intercettare modesti volumi di detrito.



foto n.30 – Opere provvisorie di protezione: muro in gabbioni e reti paramassi (foto dell'autore).



foto n.31 – Muro in gabbioni visto dal deposito detritico, da notare lo scavo per la formazione di un volume di accumulo tra il muro in gabbioni ed il versante (foto dell'autore).



Foto n.32 – Parte di colata detritica che ha oltrepassato la strada nell'evento dell'agosto 2022 (foto dell'autore).

6.2.2. Rilievo topografico dei luoghi

Per definire meglio il posizionamento delle opere sul territorio e per avere un supporto alla progettazione aggiornato all'attualità è stato effettuato un rilievo topografico piano altimetrico utilizzando la tecnologia satellitare GNSS. Con il rilievo si sono definiti i contorni della strada e della pista ciclabile nelle due zone di intervento, l'andamento planimetrico delle infrastrutture, il profilo altimetrico del versante e parte dei due canali di colata detritica.

Il rilievo è stato eseguito con l'utilizzo di un ricevitore GNSS doppia frequenza multi costellazione (GPS e GLONASS), modello Trimble R6, con metodologia NRTK (Network Real Time Kinematic) appoggiandosi alle stazioni permanenti della Rete GPS Veneto gestita dal CISAS "G. Colombo" dell'Università di Padova. Il libretto di campagna è riportato nell'**Allegato 1**.

Il rilievo è stato inquadrato planimetricamente nel sistema di riferimento ETRF2000 (2008.0) identificato nella Rete Dinamica nazionale (RDN) gestita dell'Istituto Geografico Militare (IGM), per l'altimetria si è fatto riferimento alla rete di livellazione di alta precisione dell'IGM, in questa zona sono presenti due caposaldi di livellazione (n.0039#_###_036# e n.0039#_###_037#) dai quali si è derivata la quota altimetrica. Le monografie dei caposaldi sono riportate nell'**Allegati 2 e 3**.



Foto n.33 – Strumentazione topografica utilizzata per il rilievo topografico (foto dell'autore).



Foto n.34 – Coperchio in ghisa a protezione del caposaldo di livellazione orizzontale ubicato presso il Km109 della S.S.n.51 di Alemagna – CS n.0039#_###_036# (foto dell'autore).

6.3. Caratteristiche progettuali e dimensionamento delle opere

Le due opere di difesa dalle colate detritiche progettate consistono in due bacini a trattenuta totale dei detriti con relative opere di regimazione delle acque meteoriche e di colata. Le due opere sono codificate come “Bacino C18” e “Bacino C19”.

6.3.1. Bacini a trattenuta totale

Entrambi i bacini verranno ricavati in scavo sul versante contornati da argini realizzati utilizzando il materiale detritico di scavo o dove fosse necessario il detrito dei depositi presenti sul versante stesso. Per entrambi i bacini la scelta progettuale è quella di imporre caratteristiche tipologiche uguali. Le scarpate esterne sono realizzate con un rapporto di scarpa 1:1 (inclinazione 45°); tale inclinazione risulta superiore all'angolo di attrito statico, valore determinato tra i 38 e 42° in realizzazioni simili eseguite nella Rovina di Cancia a Borca di Cadore. Tale inclinazione è stata scelta per limitare la lunghezza della scarpata verso valle. Con questo valore di inclinazione è necessario intervenire sulla scarpata con misure di sostegno e consolidamento. Si prevede l'impiego di geogriglie accoppiate a geostuoie ancorate al versante per mezzo di tiranti metallici. L'impiego di geogriglie permette di aumentare l'angolo di inclinazione dell'argine fino a valori di 70° evitando franamenti mentre le geostuoie consentono una protezione dall'erosione superficiale dovuta al deflusso meteorico. Le geostuoie inoltre, favoriscono il rinverdimento del versante facilitando la creazione di un substrato fertile e l'insediamento di vegetazione pioniera erbacea, il rinverdimento del versante esterno dell'argine lo consolida e protegge ulteriormente da franamenti ed erosioni.

La scarpata interna viene realizzata con un rapporto di scarpa 1:2, valore ottenibile con la formazione di una parete interna con gabbioni metallici addossati all'argine a formare una sorta di corazzatura con lo scopo di sorreggere il rilevato e impedirne l'erosione da parte di acque superficiali meteoriche e da flussi detritici.

Si è scelto di lavorare in scavo sul versante e non in riporto per contenere l'altezza degli argini e rimanere al di sotto del limite di 10 metri al fine di evitare la creazione di strutture definibili come dighe ai sensi del D.P.R. 01/11/1959, n.1363, inoltre lo scavo permette il reperimento in sito del materiale per costruire gli argini e riempire i gabbioni di rivestimento interno senza doverlo trasportare sul posto, questo al fine di diminuire costi ed impatto ambientale.

I due bacini sono caratterizzati da un fondo a due falde con pendenza di 8° verso il centro; tale pendenza è realizzata allo scopo di favorire la distribuzione omogenea della colata detritica nel caso

di ingresso disassato rispetto al centro della rampa di invito. Se il fondo fosse piatto potrebbero verificarsi accumuli localizzati mentre una distribuzione omogenea è auspicabile in quanto permette un migliore sfruttamento di tutto il volume utile del bacino.

I dati dello studio tecnico scientifico del TESAF restituiscono per i due bacini i valori di volume solido previsto per la colata di progetto, per il dimensionamento occorre calcolare il volume di sedimento ovvero un volume che tiene conto degli spazi vuoti tra i detriti quando depositati. Il valore del volume di sedimento si ottiene dividendo il volume solido per 0,62 (coefficiente rilevato per la zona di Fiames). Dal calcolo: il bacino "C18" deve avere una capienza pari a 11640 mc, il bacino "C19" deve avere una capienza pari a 1074 mc. Questi valori permettono la trattenuta totale della colata detritica nel caso di un evento con tempo di ritorno pari a 300 anni.

Per entrambe le opere di difesa si sono calcolati i volumi di contenimento con angolo del deposito a 4° (condizione cautelativa) e a 8° rispetto all'orizzontale. Il valore considerato per il dimensionamento è stato quello a 4° per cautela nel caso di colate detritiche particolarmente fluide.

Il bacino "C18" è stato progettato e dimensionato con i seguenti parametri:

angolo di deposito a 4°

area trasversale del deposito	182,4 mq
Larghezza media del bacino (70 m + 62,6 m) / 2 =	63,3 m
Capacità di invaso del bacino (182,4 mq x 63,3 m) =	12093 mc
Volume solido (da idrogramma solido-liquido)	7216,9 mc
Volume di sedimento di progetto (7216,9 mc / 0,62) =	11640 mc
Diff. capacità bacino – volume di sedimento (in metri cubi)	453 mc
Diff. capacità bacino – volume di sedimento (in percentuale)	+3,9 %

tabella n.2 – Dati dimensionali del bacino "C18" con angolo di deposito impostato a 4°

angolo di deposito a 8°

Area trasversale del deposito	223,8 mq
Larghezza media del bacino (70 m + 62,6 m) / 2 =	63,3 m
Capacità di invaso del bacino (223,8 mq x 63,3 m) =	14838 mc
Volume solido (da idrogramma solido-liquido)	7216,9 mc
Volume di sedimento di progetto (7216,9 mc / 0,62) =	11640 mc
Diff. capacità bacino – volume di sedimento (in metri cubi)	3198 mc
Diff. capacità bacino – volume di sedimento (in percentuale)	+ 27,5 %

tabella n.3 – Dati dimensionali del bacino "C18" con angolo di deposito impostato a 8°

Il bacino "C19" è stato progettato e dimensionato con i seguenti parametri:

angolo di deposito a 4°

area trasversale del deposito	25,2 mq
Larghezza media del bacino $(55\text{m} + 51,5) / 2 =$	53,2 m
Capacità di invaso del bacino $(25,2 \text{ mq} \times 53,2\text{m}) =$	1340,6 mc
Volume solido (da idrogramma solido-liquido)	665,9 mc
Volume di sedimento di progetto $(665,9 \text{ mc} / 0,62) =$	1074 mc
Diff. capacità bacino – volume di sedimento (in metri cubi)	266,6 mc
Diff. capacità bacino – volume di sedimento (in percentuale)	+ 24,8 %

tabella n.4 – Dati dimensionali del bacino "C19" con angolo di deposito impostato a 4°

angolo di deposito a 8°

Area trasversale del deposito	32 mq
Larghezza media del bacino $(55,0 \text{ m} + 51,2 \text{ m}) / 2 =$	53,2 m
Capacità di invaso del bacino $(32 \text{ mq} \times 53,2 \text{ m}) =$	1702,4 mc
Volume solido (da idrogramma solido-liquido)	665,9 mc
Volume di sedimento di progetto $(665,9 \text{ mc} / 0,62) =$	1074 mc
Differenza capacità bacino – volume di progetto (in metri cubi)	628,4 mc
Differenza capacità bacino – volume di progetto (in percentuale)	+ 58,5 %

tabella n.5 – Dati dimensionali del bacino "C19" con angolo di deposito impostato a 8°

Il bacino "C19" è dotato di un argine di deviazione che ha la funzione di indirizzare il flusso detritico verso il centro del bacino di contenimento evitando l'interessamento della struttura paramassi della galleria. Tale argine, realizzato anch'esso con materiale detritico, presenta un'altezza di circa 2 metri e una lunghezza complessiva pari a 40 metri; per una lunghezza di 30 metri si ha la ricezione del deflusso lungo la direzione naturale di massima pendenza e i per i restanti 10 metri, inclinati rispetto all'asse di circa 135° verso sinistra nel verso della colata, si ha la deviazione del flusso evitando il seppellimento della vecchia struttura paramassi. Data la conformazione del vecchio deposito e del nuovo lobo detritico rinvenuto si ritiene che un'altezza di 2 metri sia sufficiente ad evitare lo scavalco dell'opera da parte di un deflusso particolarmente fluido.

Il bacino "C19" viene sovradimensionato in quanto la deviazione indotta dall'argine potrebbe in qualche modo interferire con la distribuzione del detrito all'interno del bacino, per questo motivo si è scelto di aumentare la capacità di circa il 25% (con angolo di deposito pari a 4°) al fine di sopperire ad una probabile distribuzione disomogenea dei detriti.

Il bacino "C18" viene dimensionato in modo più aderente alle previsioni con un leggero sovradimensionamento di circa il 4% al solo fine di rientrare nell'incertezza di calcolo del volume del prismoide di deposito. La particolarità da segnalare per entrambi i bacini è la corazzatura interna dell'argine realizzata con una struttura a gabbioni sovrapposti addossata alla scarpata che, oltre alla funzione anti erosiva e di sostegno della scarpa, ha la funzione di rinforzare e proteggere l'argine dagli impatti di massi di grandi dimensioni (vedi **Allegato 6**); si fa notare che nel canale detritico a monte della pista ciclabile sono già presenti massi di notevoli dimensioni (vedi foto n.25 e n.26). Gli elaborati grafico progettuali sono rappresentati nell'**Allegati 4 e 5**.

6.3.2. Opere di regimazione delle acque meteoriche e di colata

Il controllo delle acque meteoriche e di colata è attuato mediante uno scarico di fondo realizzato con pozzetti in cemento vibrato delle dimensioni 1,5m x 1,5m x 1m (l x p x h) con soprastanti prolunghie, di pari dimensioni, dotati superiormente di una griglia metallica per evitare l'ingresso del detrito nello scarico. Inoltre, il bordo superiore della griglia viene posto a circa 20 cm più alto della quota di fondo sempre per evitare l'ingresso della ghiaia fine. I pozzetti vengono collegati a tubature a saldare in polietilene ad alta densità (PEAD) interrato nel versante. Le acque di scarico vengono convogliate fino a valle per essere scaricate nel torrente Boite. Non si è considerata la dispersione nel terreno in quanto il versante, principalmente composto da detriti ricoperti da coltre vegetale, potrebbe essere oggetto di erosioni e conseguenti ulteriori franamenti.

Le tubazioni di scarico vengono dimensionate con la formula della velocità teorica torricelliana secondo la quale la velocità di efflusso V di un fluido da un serbatoio sottoposto ad un carico h in metri è pari a:

$$V = \sqrt{2 * g * h} \quad (1)$$

dove:

g = accelerazione di gravità pari a 9,806 m/s² alle nostre latitudini;

h = altezza del pelo libero all'interno del bacino (m).

La portata Q della tubazione è data infine dalla seguente:

$$Q = V * A_s \quad (2)$$

dove:

V = velocità teorica torricelliana calcolata dalla (1) in m/s;

A_s = area della sezione della tubatura (m^2).

Dall'applicazione della (1) e della (2), tenuto conto delle misure commerciali in produzione, si è scelto di utilizzare per il bacino "C18" n.2 tubazioni PEAD100 DN800 e per il bacino "C19" n.1 tubazione PEAD100 DN560 secondo i calcoli riportanti nelle sottostanti tabelle.

Dimensionamento scarico C18	
g	9,81 m/sec
h_pelo libero	6,5 m
V	11,29 m/sec
diam_esterno_tubo	800 mm
spess_parete_tubo	47,4 mm
diam_interno_tubo	0,71 m
raggio_interno_tubo	0,35 m
area_interno_tubo	0,39 m^2
Q_tubo	4,4 m^3/sec
n_tubi	2
Q_max_out	8,8 m^3/sec
	>
Q_max_in	8,7 m^3/sec

tabella n.6 (a sinistra) - Calcolo scarico bacino "C18"

Dimensionamento scarico C19	
g	9,81 m/sec
h_pelo libero	2,5 m
V	7,00 m/sec
diam_esterno_tubo	560 mm
spess_parete_tubo	33,2 mm
diam_interno_tubo	0,49 m
raggio_interno_tubo	0,25 m
area_interno_tubo	0,19 m^2
Q_tubo	1,3 m^3/sec
n_tubi	1
Q_max_out	1,3 m^3/sec
	=
Q_max_in	1,3 m^3/sec

tabella n.7 (a destra) - Calcolo scarico bacino "C19"

Dalle due tabelle si evince che, scelti i diametri, le portate in uscita dal bacino sono uguali o leggermente superiori alla portata di picco massima ottenuta dagli idrogrammi di progetto.

Ottenuto il diametro delle tubazioni di scarico si procede con un calcolo di verifica della portata al fine di stabilire se siamo in presenza di condotte in pressione o a pelo libero. Per verificare la portata massima della tubazione in pressione si è utilizzato la formula di *Hazen-Williams*:

$$\Delta = \frac{10,675 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,8704}} * L \quad (3)$$

mentre per la verifica della portata massima della tubazione a pelo libero si è utilizzata la formula di Chézy con coefficiente di scabrezza di *Gauckler-Strickler*:

$$V = k * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Si tralascia la trattazione idraulica del problema, che peraltro esula le competenze e lo scopo del presente studio, e si riportano di seguito i principali dati e risultati per le due diverse tubazioni.

Applicando la (3) alla singola tubazione DN800 il funzionamento in pressione porterebbe ad una portata massima di 11,67 m³/s mentre in entrata si hanno 4,4 m³/s. Si può affermare che la condotta non funziona a pressione.

Dati di calcolo

D	<input type="text" value="0.71"/>	m	=	Diametro interno
Q	<input type="text" value="11.67340541558284"/>	m ³ /s	=	Portata della condotta
Δ	<input type="text" value="50"/>	m	=	Dislivello piezometrico
C	<input type="text" value="150"/>		=	Coefficiente di scabrezza
L	<input type="text" value="100"/>	m	=	Lunghezza della condotta

tabella n.8 – Dati di calcolo per la verifica della portata nella tubazione in pressione (DN800)

Applicando la (4) alla stessa tubazione con funzionamento a pelo libero si verifica che con una portata in uscita uguale a quella in ingresso (4,4 m³/s) il livello percentuale di riempimento della condotta è di circa il 45%. Si può quindi affermare che la condotta funziona a pelo libero.

Dati di calcolo

D	<input type="text" value="0.71"/>	m	=	Diametro interno del canale
w	<input type="text" value="45"/>	%	=	Livello percentuale riempimento del canale
i	<input type="text" value="0.53"/>	m/m	=	Pendenza del canale
k	<input type="text" value="120"/>		=	Coefficiente di scabrezza
Q	<input type="text" value="4.550270897266202"/>	m ³ /s	=	Portata della condotta

tabella n.9 – Dati di calcolo per la verifica della portata nella tubazione a pelo libero (DN800)

Ripetendo i calcoli per la condotta DN560 si ha che il funzionamento in pressione porterebbe ad una portata massima di 4,4 m³/s mentre in entrata si hanno 1,3 m³/s. Si può affermare che la condotta non funziona a pressione.

Dati di calcolo

D	<input type="text" value="0.49"/>	m	=	Diametro interno
Q	<input type="text" value="4.401505259182598"/>	m ³ /s	=	Portata della condotta
Δ	<input type="text" value="50"/>	m	=	Dislivello piezometrico
C	<input type="text" value="150"/>		=	Coefficiente di scabrezza
L	<input type="text" value="100"/>	m	=	Lunghezza della condotta

tabella n.10 – Dati di calcolo per la verifica della portata nella tubazione in pressione (DN560)

Applicando la (4) alla stessa tubazione con funzionamento a pelo libero si verifica che con una portata in uscita uguale a quella in ingresso (1,3 m³/s) il livello percentuale di riempimento della condotta è di circa il 40%. Si può quindi affermare che la condotta funziona a pelo libero.

Dati di calcolo

D	<input type="text" value="0.49"/>	m	=	Diametro interno del canale
w	<input type="text" value="40"/>	%	=	Livello percentuale riempimento del canale
i	<input type="text" value="0.53"/>	m/m	=	Pendenza del canale
k	<input type="text" value="120"/>		=	Coefficiente di scabrezza
Q	<input type="text" value="1.369323773406838"/>	m ³ /s	=	Portata della condotta

tabella n.11 – Dati di calcolo per la verifica della portata nella tubazione a pelo libero (DN560)

Le tubazioni, come dimensionate, sono da considerarsi con funzionamento a pelo libero con una percentuale di riempimento della condotta tra il 40 e il 45%. Data la pendenza del 53%, corrispondente alla pendenza media del versante, all'interno della condotta il fluido possiede una velocità tale da tenere sempre sgombra la condotta da eventuali detriti che dovessero penetrare dalla griglia metallica del pozzetto di fondo.

Alla progettazione tecnica deve accostarsi anche una progettazione ambientale capace di ridurre l'impatto ambientale di due opere di importanti dimensioni. Come accennato le scarpate esterne dei rilevati saranno sostenute da geogriglie accoppiate con geostuoie, queste ultime sono in grado nel tempo di favorire la pedogenesi di nuovo terreno fertile che permetterà l'insediamento di vegetazione pioniera prima e piccoli arbusti dopo. Tutt'attorno alle opere deve essere previsto un rimboscamento al duplice scopo di consolidare il versante e formare una fascia verde di mitigazione per un miglioramento della qualità paesaggistica dei luoghi.



figura n.28 – Inserimento nell'ortofoto delle opere progettate (elaborazione con software QGIS).

7. SIMULAZIONE DEL FUNZIONAMENTO CON MODELLO “DFRM”

Dopo aver dimensionato le opere di difesa con i dati derivati dallo studio tecnico scientifico redatto dal TESAF si è proceduto a realizzare una simulazione del funzionamento dei bacini di contenimento applicando il modello “DFRM” o modello a celle bifasiche per la propagazione idraulica delle colate di detrito. Il “DFRM” è stato sviluppato dal Dipartimento TESAF dell’Università degli Studi di Padova. Gregoretto et al. (2016) hanno proposto un modello che permette di simulare la propagazione idraulica di una colata con miscuglio omogeneo tenendo conto dei fenomeni di deposito in ambiente GIS. Il modello è a celle in quanto il campo di moto del fluido viene suddiviso in aree omogenee, denominate celle, che sono connesse idraulicamente da equazioni che rappresentano il moto che avviene tra di esse; viene chiamato a base “raster” in quanto tali celle corrispondono con la griglia di un file raster in ambiente GIS. La versione del modello, rivista da Gregoretto et al. (2019) e la versione bifase che permette una migliore simulazione del deflusso e dei processi erosivi e di deposito. Successivamente il modello è stato implementato da Bernard et al. (2019) per tenere in considerazione la presenza di superfici non erodibili nell’area oggetto di simulazione.

Le ipotesi ed assunzioni per il modello di simulazione e le relative equazioni di moto non vengono illustrate e spiegate in quanto molto al di fuori delle competenze e dallo scopo del presente studio. Vengono esposti i principali risultati dell’applicazione del modello alle opere progettate al fine di verificare la correttezza del progetto e testare virtualmente il comportamento dei bacini di ritenuta quando interessati dall’evento di progetto.

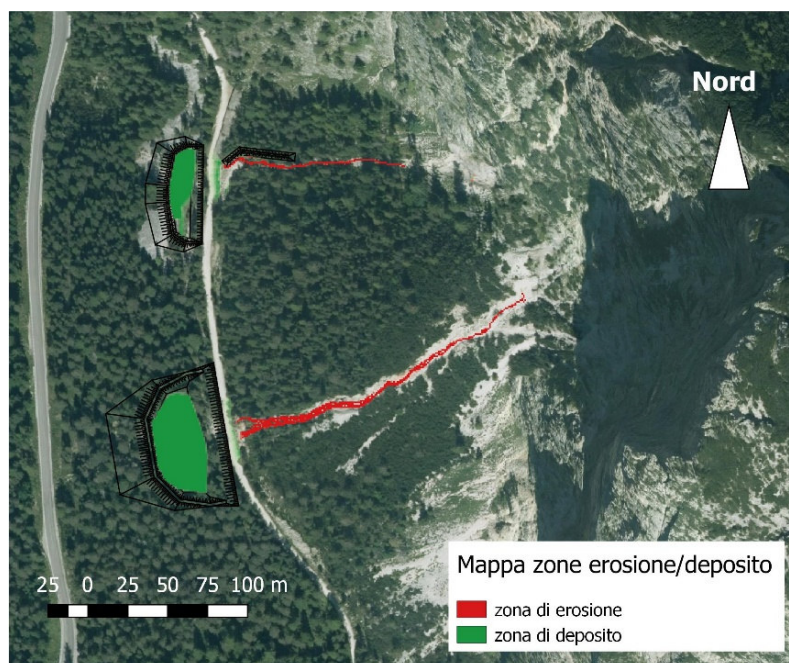


figura n.29 – Mappa delle erosioni e depositi.

La mappa raffigurata in *figura n.29* evidenzia come i canali di colata siano zone sottoposte a erosione mentre i due bacini funzionano correttamente come zone di deposito dei detriti.

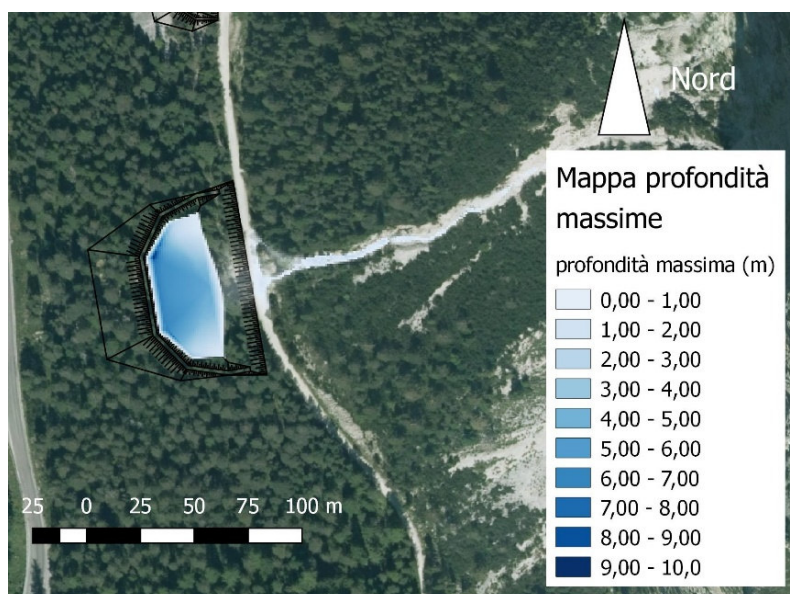


figura n.30 – Mappa della massima profondità bacino "C18".

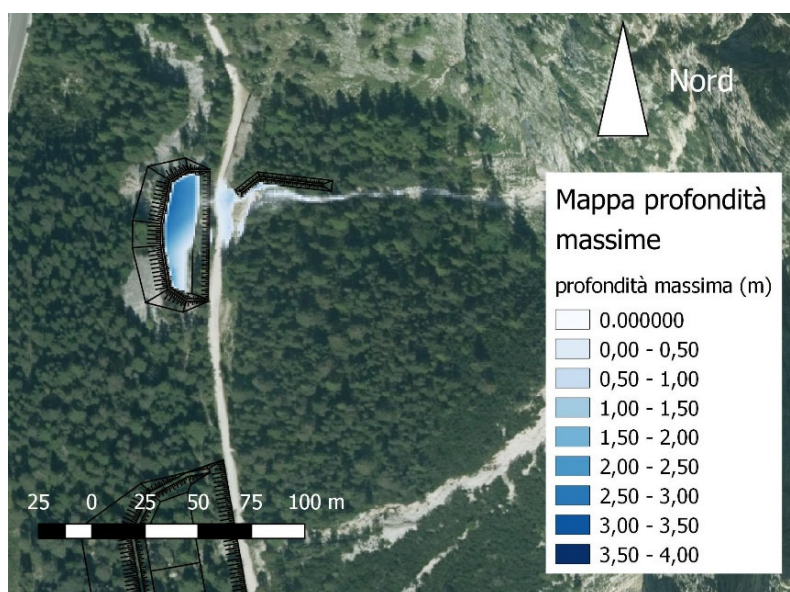


figura n.31 – Mappa della massima profondità bacino "C19".

Le *figure n.30* e *n.31* evidenziano come all'interno dei bacini si raccolgono i detriti disposti su vari spessori di deposito. Per il bacino "C18" la disposizione del detrito è ottimale ed omogenea, la profondità massima del deposito è attorno ai 7,0 metri e tutto il volume di colata viene trattenuto.

Il bacino "C19" evidenzia un comportamento asimmetrico di deposizione come ipotizzato, la disposizione non è ottimale ma sbilanciata verso un lato con spessori di deposito che vanno da circa 1,00 metri a circa 3,00 metri; il volume dei detriti viene comunque trattenuto completamente.

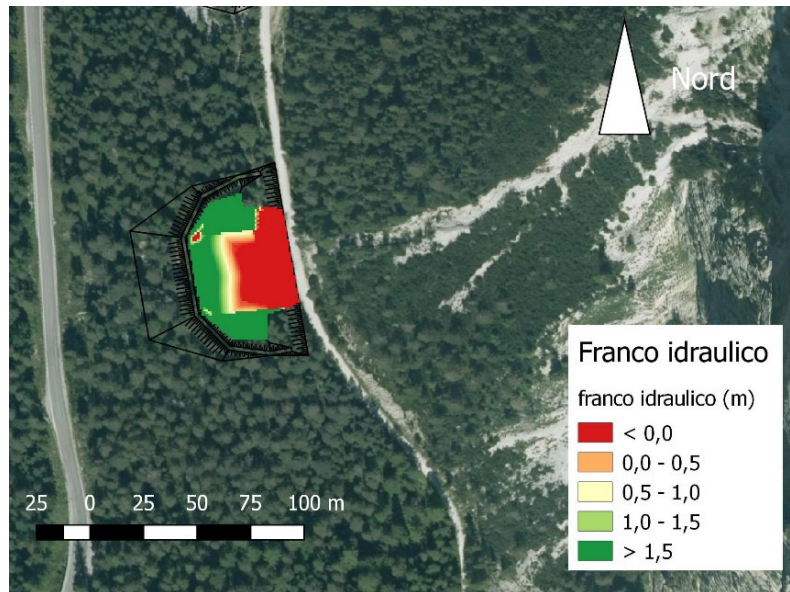


figura n.32 – Franco idraulico bacino “C18”.

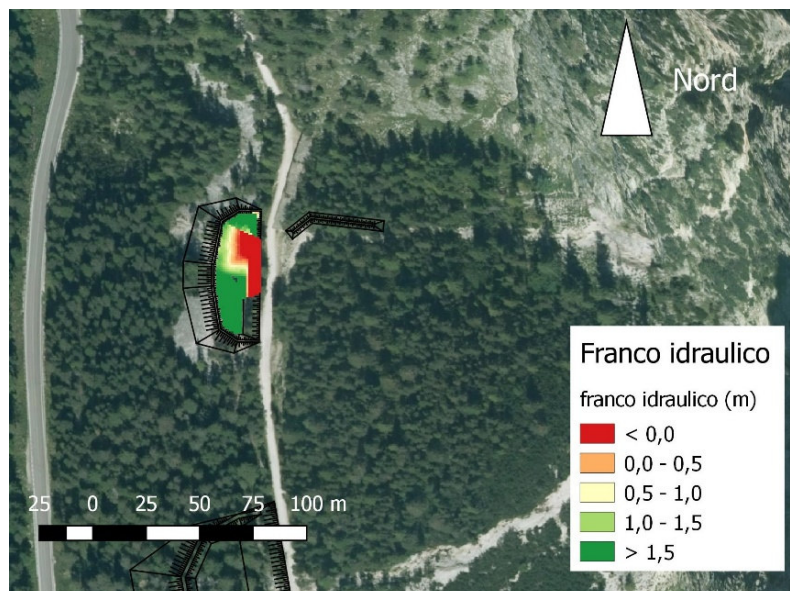


figura n.33 – Franco idraulico bacino “C19”.

Le figure n.32 e n.33 mostrano che in prossimità degli argini di contenimento i detriti rispettano il franco idraulico imposto di 1,5 metri. Nel bacino “C18” si verificano degli accumuli agli angoli tra la parte centrale e il primo raccordo arginale dovuto probabilmente ad una concentrazione dei flussi incanalati dalla porzione di argine inclinata verso il centro, il valore sul bordo argine è comunque conforme alle previsioni. Il bacino “C19” conferma la sua asimmetria di comportamento anche con la verifica del franco idraulico che risulta anch’esso sbilanciato ma comunque contenuto entro il limite imposto di 1,5 metri dalla sommità arginale di contenimento.

Il dimensionamento delle opere di difesa risulta verificato dalla simulazione con il metodo “DFRM”.

8. CONCLUSIONI

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di definire il progetto di due opere di difesa dalle colate detritiche per la protezione della Strada Statale n.51 in località Fiames nel Comune di Cortina d'Ampezzo. L'analisi dei luoghi sotto l'aspetto geomorfologico, geologico e topografico ha evidenziato che l'intera area del versante ampezzano del Monte Pomagagnon è soggetta alla formazione di colate detritiche. Storicamente, e anche di recente, si sono verificati eventi che hanno bloccato la strada e, fortunatamente, creato solo danni materiali a cose. La necessità di evitare questi problemi ha portato alla progettazione e realizzazione di diverse opere di difesa lungo il versante. Con questo studio si è voluto terminare la serie di opere già presenti idealizzando e progettando le ultime due opere di difesa.

Le due opere sono state pensate e progettate per essere quanto più possibile risolutive del problema tenuto conto di durabilità, funzionalità, economicità e impatto ambientale. La durata nel tempo viene garantita dal dimensionamento eseguito per eventi con elevato tempo di ritorno (300 anni), arco temporale che sorpassa di gran lunga la vita nominale di 100 anni prevista per le opere con livelli di prestazione elevato (*NTC2018*). La funzionalità sarà garantita attraverso il sovradimensionamento dei volumi di progetto e attraverso la realizzazione di geometrie interne capaci di sopperire a perdite di efficienza dovute ad eventi anomali, inoltre il sovradimensionamento farà in modo che eventuali ritardi nelle operazioni di svuotamento, tra un evento minore e l'altro, permetta comunque un certo margine di sicurezza. L'economicità nella realizzazione verrà attuata con l'utilizzo di materiale già presente in loco per la realizzazione dei rilevati e il riempimento delle gabbionate di protezione, questo per limitare il ricorso a trasporti di materiale con autocarri. Sempre in termini di economicità le dimensioni dei bacini possono permettere l'esecuzione di un minor numero di svuotamenti dopo eventi di modesta entità.

L'uso di materiale presente sul posto, la possibilità di effettuare meno svuotamenti oltre che essere aspetti di risparmio economico contribuiscono all'aspetto molto importante di diminuire l'impatto ambientale generato da queste due importanti opere. A tal scopo anche il rinverdimento delle scarpate esterne dei rilevati, attuate con l'ausilio delle geostuoie che favoriranno l'insediamento della vegetazione, contribuirà a ridurre sia le spese per i ripristini che l'impatto visivo nel contesto ambientale. L'obiettivo non dovrà essere quello di nascondere queste due opere ma far sì che si integrino nel paesaggio della valle del Boite come elementi necessari e non estranei alla inevitabile trasformazione del territorio.

Libretto di campagna rilievo GNSS

ELENCO PUNTI GPS

CODICE	COMMENTO	LATITUDINE	LONGITUDINE	H.ELL.	EST	NORD	QUOTA
1	pista ciclabile - detrito	46°35' 22. 87620"N	12°06' 56. 46725"E	1451. 469	- 0. 017	0. 007	1400. 047
2	pista ciclabile - detrito	46°35' 23. 07760"N	12°06' 56. 38100"E	1451. 897	- 1. 854	6. 226	1400. 475
3	pista ciclabile - detrito	46°35' 23. 27244"N	12°06' 56. 33420"E	1452. 279	- 2. 850	12. 242	1400. 858
4	pista ciclabile - detrito	46°35' 23. 51397"N	12°06' 56. 28736"E	1452. 425	- 3. 847	19. 700	1401. 003
5	pista ciclabile - detrito	46°35' 23. 74036"N	12°06' 56. 25225"E	1452. 532	- 4. 595	26. 691	1401. 111
6	pista ciclabile - detrito	46°35' 23. 99048"N	12°06' 56. 20004"E	1452. 840	- 5. 707	34. 414	1401. 418
7	pista ciclabile - detrito	46°35' 24. 17821"N	12°06' 56. 16974"E	1452. 333	- 6. 352	40. 211	1400. 912
8	pista ciclabile - detrito	46°35' 24. 32382"N	12°06' 56. 15612"E	1453. 198	- 6. 642	44. 707	1401. 776
9	pista ciclabile - scarpata	46°35' 24. 29255"N	12°06' 55. 99962"E	1451. 016	- 9. 974	43. 741	1399. 594
10	pista ciclabile - scarpata	46°35' 24. 09414"N	12°06' 55. 97682"E	1454. 594	- 10. 459	37. 615	1403. 173
11	pista ciclabile - scarpata	46°35' 23. 93349"N	12°06' 55. 95268"E	1455. 117	- 10. 973	32. 654	1403. 696
12	pista ciclabile - scarpata	46°35' 23. 75185"N	12°06' 56. 01855"E	1452. 467	- 9. 570	27. 045	1401. 046
13	pista ciclabile - scarpata	46°35' 23. 62579"N	12°06' 56. 03250"E	1452. 380	- 9. 273	23. 153	1400. 958
14	pista ciclabile - scarpata	46°35' 23. 47153"N	12°06' 56. 05921"E	1452. 164	- 8. 704	18. 389	1400. 742
15	pista ciclabile - scarpata	46°35' 23. 29590"N	12°06' 56. 07460"E	1452. 107	- 8. 377	12. 966	1400. 685
16	asse canale detrito	46°35' 23. 69991"N	12°06' 58. 63395"E	1479. 771	46. 106	25. 443	1428. 350
17	bordo canale detrito	46°35' 23. 76963"N	12°06' 58. 62477"E	1479. 929	45. 910	27. 596	1428. 507
18	bordo canale detrito	46°35' 23. 58089"N	12°06' 58. 71278"E	1480. 233	47. 784	21. 768	1428. 811
19	masso	46°35' 23. 74810"N	12°06' 59. 26828"E	1486. 499	59. 609	26. 932	1435. 078

CODICE	COMMENTO	LATITUDINE	LONGITUDINE	H.ELL.	EST	NORD	QUOTA
20	bordo canale detrito	46°35' 23. 65487"N	12°06' 59. 29687"E	1487. 777	60. 218	24. 053	1436. 355
21	bordo canale detrito	46°35' 23. 97271"N	12°06' 59. 45037"E	1479. 075	63. 485	33. 868	1427. 654
22	bordo canale detrito	46°35' 23. 97318"N	12°06' 59. 44938"E	1479. 103	63. 464	33. 882	1427. 681
23	asse canale detrito	46°35' 23. 58260"N	12°06' 57. 83479"E	1470. 779	29. 094	21. 820	1419. 358
24	asse canale detrito	46°35' 23. 63529"N	12°06' 57. 42992"E	1467. 415	20. 475	23. 447	1415. 993
25	asse canale detrito	46°35' 23. 66270"N	12°06' 57. 27100"E	1465. 578	17. 092	24. 293	1414. 156
26	asse canale detrito	46°35' 23. 67569"N	12°06' 56. 76731"E	1459. 451	6. 369	24. 694	1408. 029
27	asse canale detrito	46°35' 23. 67518"N	12°06' 56. 76580"E	1459. 518	6. 337	24. 678	1408. 097
28	asse canale detrito	46°35' 23. 67355"N	12°06' 56. 37938"E	1453. 287	- 1. 889	24. 628	1401. 865
29	pista ciclabile - scarpata	46°35' 28. 85594"N	12°06' 55. 88982"E	1457. 189	- 12. 315	184. 652	1405. 767
30	pista ciclabile - scarpata	46°35' 28. 58054"N	12°06' 55. 88661"E	1457. 081	- 12. 384	176. 148	1405. 659
31	pista ciclabile - scarpata	46°35' 28. 44611"N	12°06' 55. 89246"E	1456. 970	- 12. 259	171. 997	1405. 549
32	pista ciclabile - detrito	46°35' 28. 42735"N	12°06' 56. 16359"E	1457. 010	- 6. 487	171. 418	1405. 589
33	pista ciclabile - detrito	46°35' 28. 64159"N	12°06' 56. 18500"E	1457. 150	- 6. 032	178. 034	1405. 728
34	pista ciclabile - detrito	46°35' 28. 80486"N	12°06' 56. 23878"E	1457. 414	- 4. 887	183. 075	1405. 993
35	pista ciclabile - detrito	46°35' 28. 24634"N	12°06' 56. 15682"E	1456. 873	- 6. 631	165. 829	1405. 451
36	pista ciclabile - detrito	46°35' 28. 05319"N	12°06' 56. 11694"E	1456. 652	- 7. 480	159. 865	1405. 230
37	pista ciclabile - detrito	46°35' 27. 86326"N	12°06' 56. 09860"E	1456. 283	- 7. 870	154. 000	1404. 861
38	argine detrito	46°35' 28. 00510"N	12°06' 56. 22321"E	1458. 135	- 5. 218	158. 380	1406. 713
39	argine detrito	46°35' 28. 23332"N	12°06' 56. 32147"E	1459. 349	- 3. 126	165. 427	1407. 927
40	argine detrito	46°35' 28. 45998"N	12°06' 56. 38483"E	1460. 765	- 1. 778	172. 426	1409. 343
41	argine detrito	46°35' 28. 69015"N	12°06' 56. 54269"E	1462. 951	1. 583	179. 533	1411. 529
42	argine detrito	46°35' 28. 83637"N	12°06' 56. 62952"E	1463. 713	3. 431	184. 048	1412. 291
43	argine detrito	46°35' 28. 92228"N	12°06' 56. 70442"E	1464. 606	5. 025	186. 701	1413. 184
44	quota copertura	46°35' 28. 86443"N	12°06' 56. 43164"E	1462. 481	- 0. 782	184. 915	1411. 059

CODICE	COMMENTO	LATTITUDINE	LONGITUDINE	H.ELL.	EST	NORD	QUOTA
	paramassi						
45	asse canale detrito	46°35' 28. 81443"N	12°06' 57. 05175"E	1468. 089	12. 419	183. 371	1416. 668
46	asse canale detrito	46°35' 28. 72453"N	12°06' 57. 39674"E	1476. 664	19. 763	180. 596	1425. 243
47	asse nuovo detrito	46°35' 28. 72241"N	12°06' 57. 89608"E	1478. 458	30. 392	180. 530	1427. 036
48	bordo nuovo detrito	46°35' 28. 76498"N	12°06' 57. 93306"E	1477. 734	31. 180	181. 845	1426. 312
49	bordo nuovo detrito	46°35' 28. 64928"N	12°06' 57. 91637"E	1478. 571	30. 824	178. 272	1427. 149
50	interno argine detrito	46°35' 28. 66593"N	12°06' 56. 62573"E	1462. 578	3. 350	178. 785	1411. 156
51	interno argine detrito	46°35' 28. 49210"N	12°06' 56. 50213"E	1460. 935	0. 719	173. 418	1409. 514
52	interno argine detrito	46°35' 28. 34167"N	12°06' 56. 42529"E	1459. 487	-0. 916	168. 773	1408. 065
53	caposaldo CSO 39_36	46°35' 06. 13686"N	12°06' 46. 96199"E	1374. 291	-202. 364	-516. 883	1322. 869
54	ausiliario CSO 39_36	46°35' 06. 15452"N	12°06' 46. 90262"E	1375. 109	-203. 628	-516. 338	1323. 688
55	ciglio strada	46°35' 22. 39661"N	12°06' 50. 95916"E	1392. 188	-117. 273	-14. 805	1340. 766
56	base esterna gabbi oni	46°35' 22. 39141"N	12°06' 51. 00228"E	1392. 660	-116. 355	-14. 966	1341. 238
57	base interna gabbi oni	46°35' 22. 42317"N	12°06' 51. 15469"E	1392. 693	-113. 110	-13. 985	1341. 272
58	base interna gabbi oni	46°35' 22. 99339"N	12°06' 51. 14879"E	1393. 790	-113. 236	3. 623	1342. 368
59	base interna gabbi oni	46°35' 23. 65741"N	12°06' 51. 11900"E	1394. 095	-113. 871	24. 127	1342. 673
60	base interna gabbi oni	46°35' 24. 04493"N	12°06' 51. 10037"E	1394. 549	-114. 267	36. 093	1343. 128
61	base interna gabbi oni	46°35' 24. 29814"N	12°06' 51. 09332"E	1395. 048	-114. 417	43. 911	1343. 627
62	deposito detrito	46°35' 23. 34755"N	12°06' 51. 48722"E	1398. 439	-106. 032	14. 559	1347. 017
63	deposito detrito	46°35' 23. 41379"N	12°06' 51. 85847"E	1407. 219	-98. 129	16. 604	1355. 798
64	sommit` gabbi oni	46°35' 24. 35794"N	12°06' 50. 99903"E	1397. 744	-116. 425	45. 758	1346. 322
65	sommit` gabbi oni	46°35' 23. 76872"N	12°06' 51. 02410"E	1397. 057	-115. 891	27. 564	1345. 635
66	sommit` gabbi oni	46°35' 23. 26566"N	12°06' 51. 03236"E	1396. 520	-115. 715	12. 030	1345. 098
67	sommit` gabbi oni	46°35' 22. 78310"N	12°06' 51. 05203"E	1396. 057	-115. 296	-2. 871	1344. 635
68	sommit` gabbi oni	46°35' 22. 39066"N	12°06' 51. 06693"E	1395. 530	-114. 978	-14. 989	1344. 109
69	ciglio strada	46°35' 22. 39759"N	12°06' 50. 65688"E	1392. 391	-123. 707	-14. 775	1340. 969
70	ciglio strada	46°35' 23. 00312"N	12°06' 50. 63100"E	1393. 097	-124. 259	3. 923	1341. 675
71	ciglio strada	46°35' 23. 01844"N	12°06' 50. 94024"E	1392. 827	-117. 676	4. 396	1341. 405
72	base esterna gabbi oni	46°35' 23. 01729"N	12°06' 50. 98540"E	1393. 394	-116. 714	4. 360	1341. 972
73	base esterna gabbi oni	46°35' 23. 53043"N	12°06' 50. 96772"E	1393. 952	-117. 091	20. 206	1342. 530
74	ciglio strada	46°35' 23. 53238"N	12°06' 50. 92249"E	1393. 402	-118. 054	20. 266	1341. 980
75	ciglio strada	46°35' 23. 53021"N	12°06' 50. 61852"E	1393. 552	-124. 525	20. 199	1342. 130

CODICE	COMMENTO	LATITUDINE	LONGITUDINE	H.ELL.	EST	NORD	QUOTA
76	ci gli o strada	46°35' 23. 95787" N	12°06' 50. 60710" E	1394. 054	- 124. 768	33. 404	1342. 632
77	ci gli o strada	46°35' 23. 97350" N	12°06' 50. 91138" E	1393. 835	- 118. 290	33. 887	1342. 413
78	base esterna gabbi oni	46°35' 23. 97150" N	12°06' 50. 95184" E	1394. 428	- 117. 429	33. 825	1343. 006
79	base esterna gabbi oni	46°35' 24. 37039" N	12°06' 50. 93775" E	1394. 858	- 117. 729	46. 142	1343. 436
80	ci gli o strada	46°35' 24. 36260" N	12°06' 50. 89175" E	1396. 338	- 118. 708	45. 902	1344. 916
81	ci gli o strada	46°35' 24. 35131" N	12°06' 50. 59278" E	1394. 558	- 125. 073	45. 553	1343. 137
82	ci gli o strada	46°35' 28. 10255" N	12°06' 50. 93586" E	1398. 217	- 117. 771	161. 386	1346. 796
83	ci gli o strada	46°35' 28. 10767" N	12°06' 50. 56665" E	1398. 586	- 125. 631	161. 544	1347. 164
84	ci gli o strada	46°35' 28. 74949" N	12°06' 50. 66719" E	1399. 354	- 123. 491	181. 363	1347. 932
85	ci gli o strada	46°35' 28. 72812" N	12°06' 51. 00115" E	1398. 837	- 116. 382	180. 703	1347. 415
86	ci gli o strada	46°35' 29. 35506" N	12°06' 50. 76629" E	1399. 643	- 121. 381	200. 062	1348. 221
87	ci gli o strada	46°35' 29. 30367" N	12°06' 51. 10178" E	1399. 492	- 114. 240	198. 475	1348. 070
88	ci gli o strada	46°35' 30. 00788" N	12°06' 51. 28637" E	1400. 610	- 110. 311	220. 220	1349. 188
89	caposal do CSO 39_37	46°35' 41. 59544" N	12°06' 47. 99753" E	1418. 553	- 180. 322	578. 027	1367. 131
90	ausiliario CSO 39_36	46°35' 41. 42216" N	12°06' 47. 76225" E	1418. 595	- 185. 330	572. 676	1367. 173

Monografia del caposaldo IGM n.0039#_###_036#



REGIONE DEL VENETO

Segreteria Regionale per le Infrastrutture

Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia

CAPOSALDO
IGM

Denominazione:
0039#_###_036#

Provincia:

Comune:

Indirizzo:

Anno Def: 2009

Proprietario:

Tel: Fax:

CAP:

Stampato: martedì 12 ottobre 20

COORDINATE
GEOGRAFICHE

Roma 40

φ: 46°35'03,7"

λ: -0°20'20,7"

WGS 84

φ: 46°35'06,2"

λ: 12°06'46,9"

Caposaldo 1: (CSO) - Pozzetto rialzato con tubo in PVC e protetto da coperchio in ghisa posto a m. 1.000 dalla base della pietra, lato verso il monte.

Quota 1 1322,8685 m

Caposaldo 3:

Quota 3 m

Caposaldo 2: (CSO') - Chiodo "Regione Veneto" posto sulla sommità della pietra chilometrica

Quota 2 1323,6278 m

Caposaldo 4:

Quota 4 m

Disegno

DATI ASTRONOMICI
E GRAVIMETRICI

Lat Astr:

Lon Astr:

ξ:

η:

Gravità: mgal

Foto 1

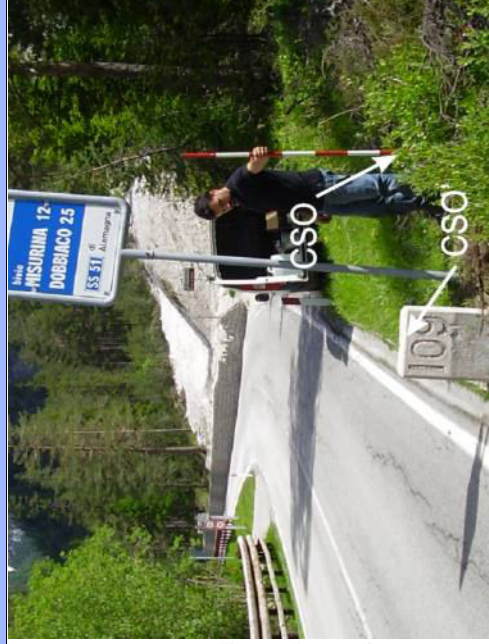


Foto 2



Progressiva chilometrica: Km 36,075 dal Nodale N006#_###_####

Monografia del caposaldo IGM n.0039#_###_037#



REGIONE DEL VENETO

Segreteria Regionale per le Infrastrutture

Unità di Progetto per il SIT e la Cartografia

CAPOSALDO
IGM

Denominazione:

0039#_###_037#

Provincia:

Comune:

Indirizzo:

Anno Def: 2009

Proprietario:

Tel: Fax:

CAP:

Stampato: martedì 12 ottobre 20

COORDINATE
GEOGRAFICHE

Roma 40

φ: 46°35'39,0"

λ: -0°20'19,5"

WGS 84

φ: 46°35'41,5"

λ: 12°06'48,1"

Caposaldo 1: (CSO) - Pozzetto rialzato con tubo in PVC e protetto da coperchio in ghisa posto alla base dell'estremità della spalletta a monte, riva sinistra

Quota 1 1367,0258 m

Caposaldo 2: (CSO') - Centriro universale infisso nel cordolo in calcestruzzo posto alla base dell'estremità della spalletta a valle, riva sinistra.

Quota 2 1367,1747 m

Caposaldo 3:

Quota 3 m

Caposaldo 4:

Quota 4 m

Disegno

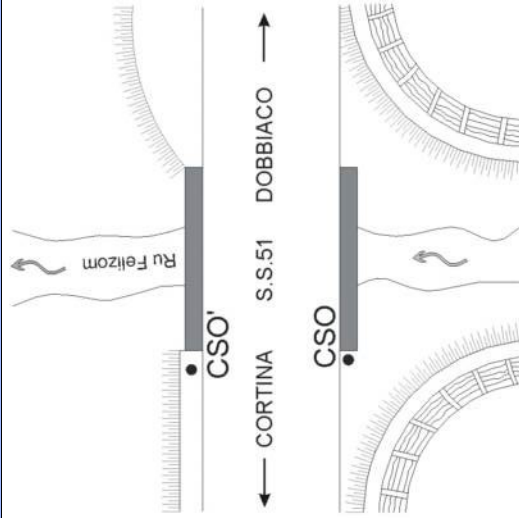


Foto 1



Foto 2



Progressiva chilometrica: Km 37,187 dal Nodale N006#_###_####

DATI ASTRONOMICI
E GRAVIMETRICI

Lat Astr: m

Lon Astr: m

ξ: m

η: m

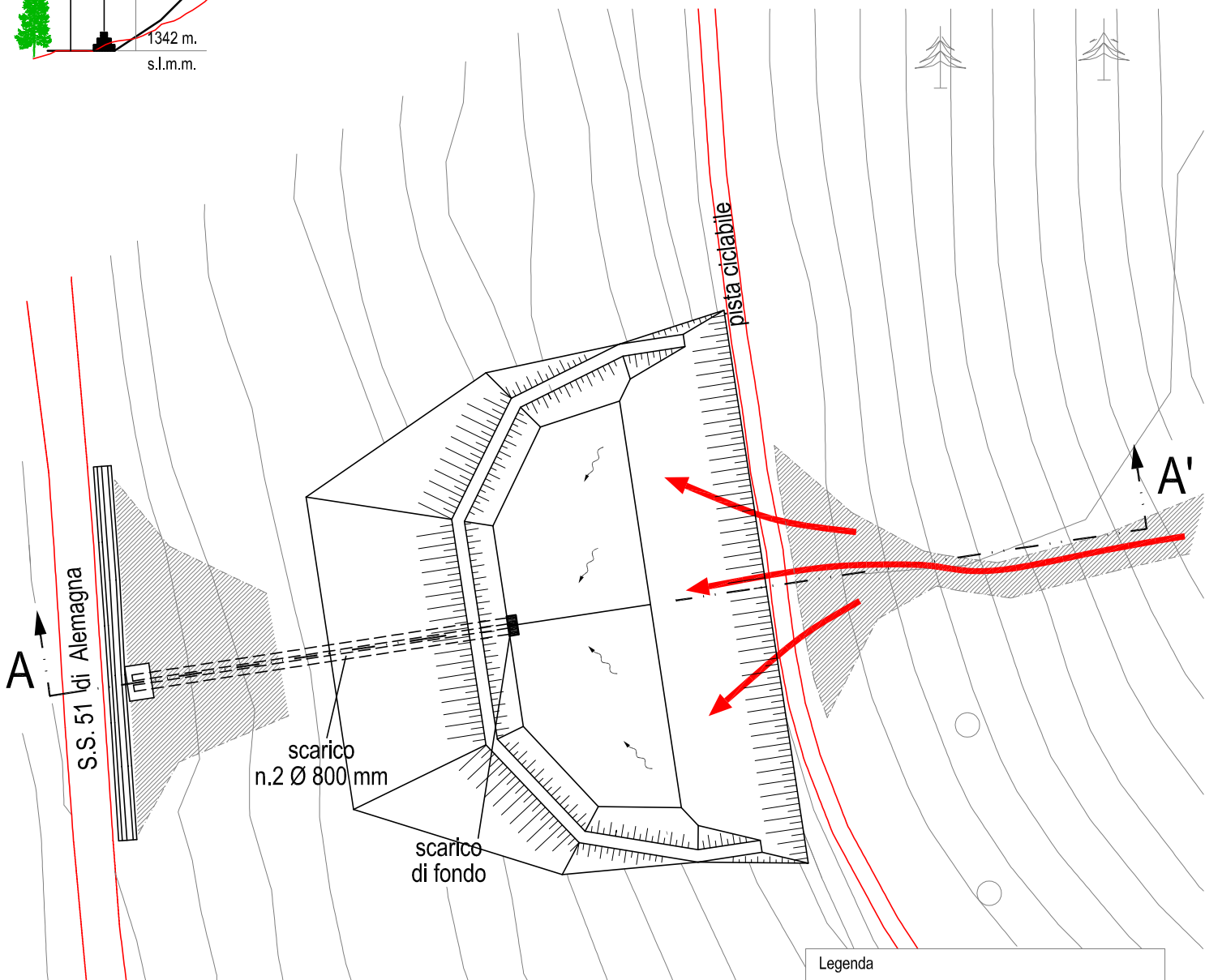
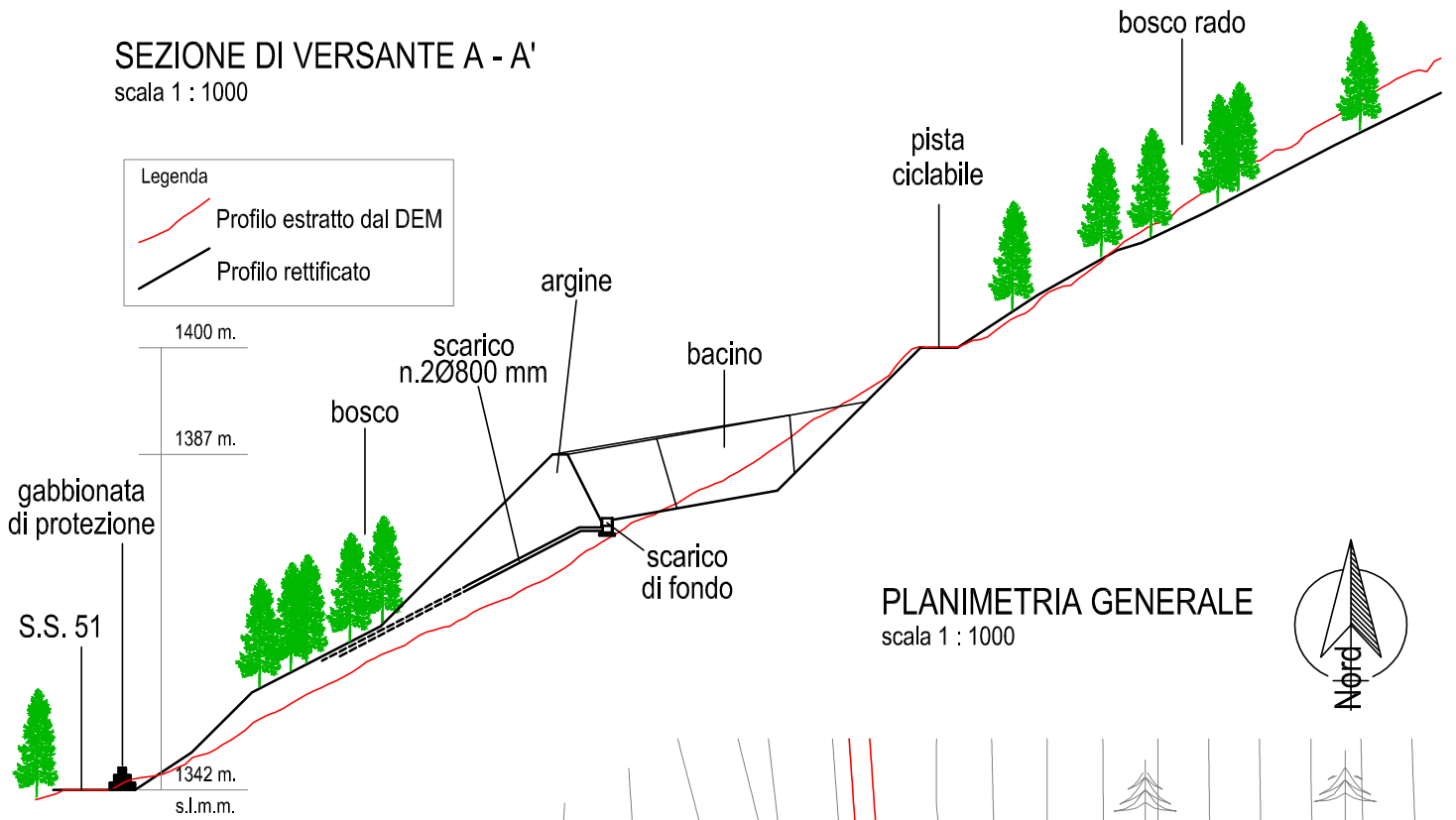
Gravità: mgal

Elaborati grafico progettuali del Bacino "C18"

- ***Planimetria generale***
- ***Sezione di versante***
- ***Planimetria del bacino***
- ***Sezioni del Bacino***
- ***Calcolo dei volumi di invaso***

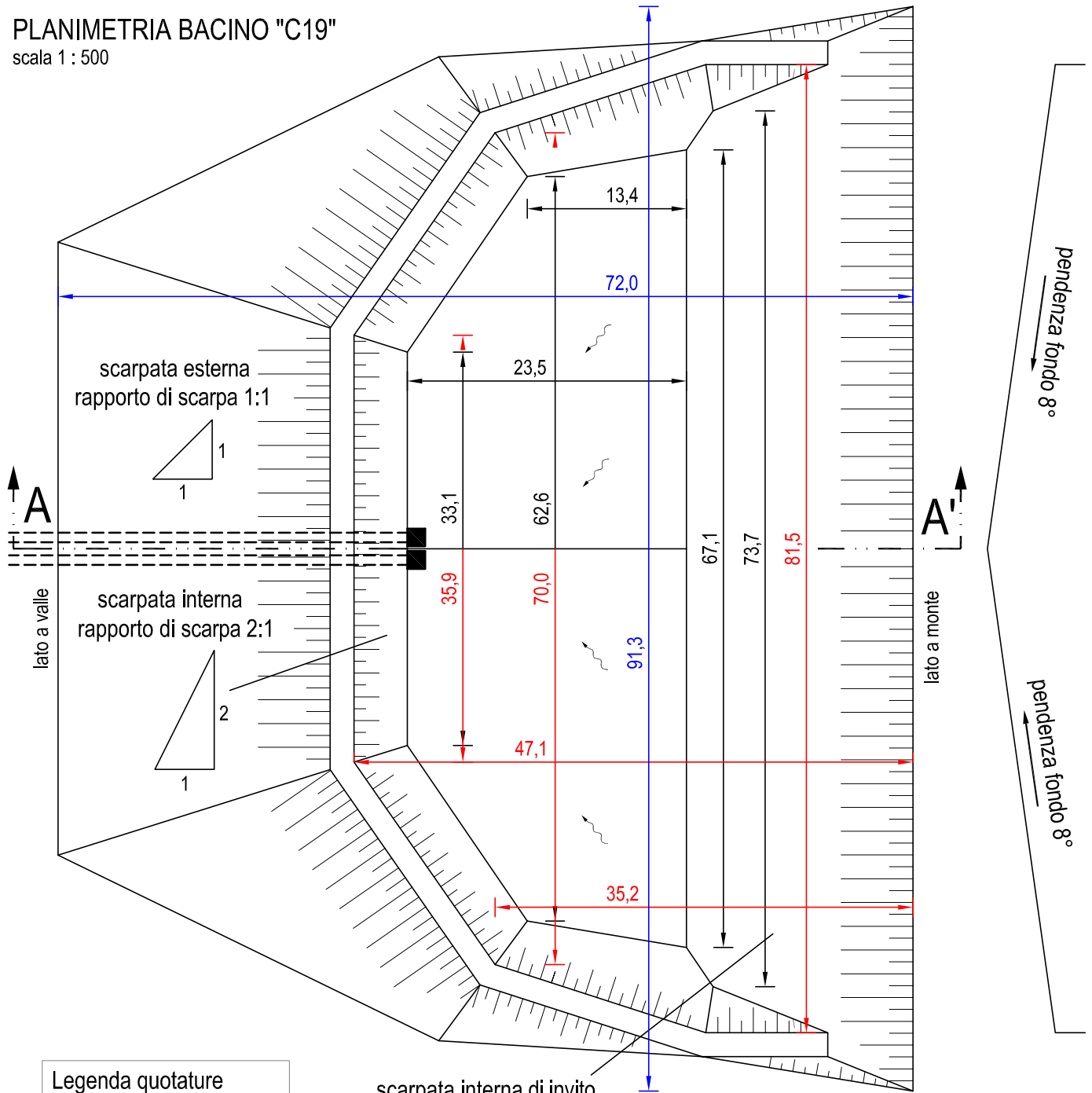
SEZIONE DI VERSANTE A - A'

scala 1 : 1000



PLANIMETRIA BACINO "C19"

scala 1 : 500

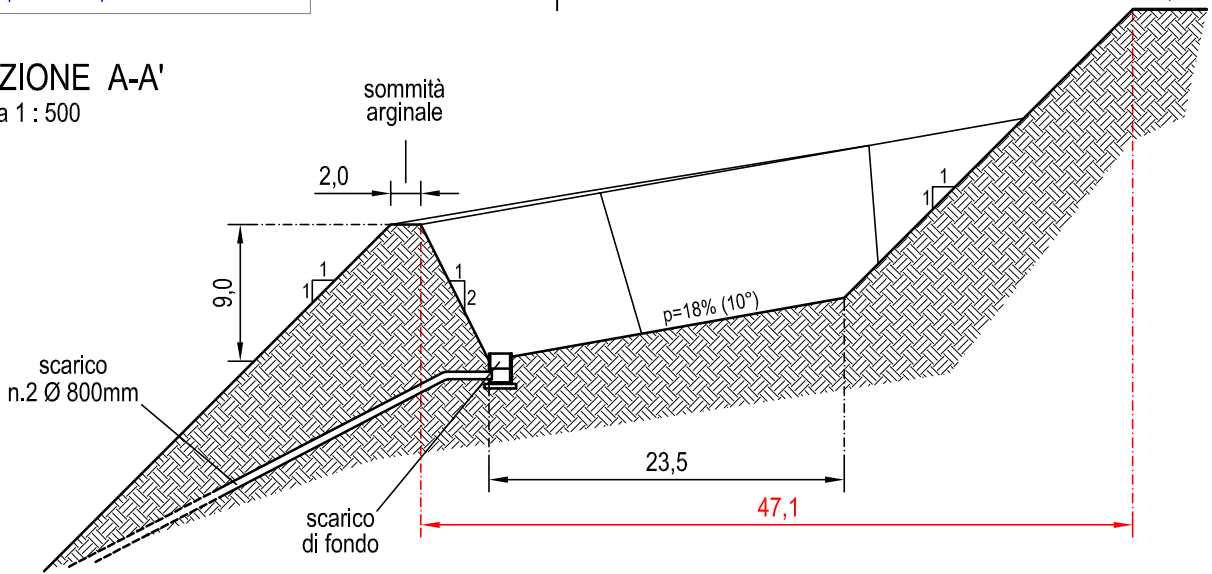


Legenda quotature

	quote di fondo
	quote di sommità
	quote di ingombro

SEZIONE A-A'

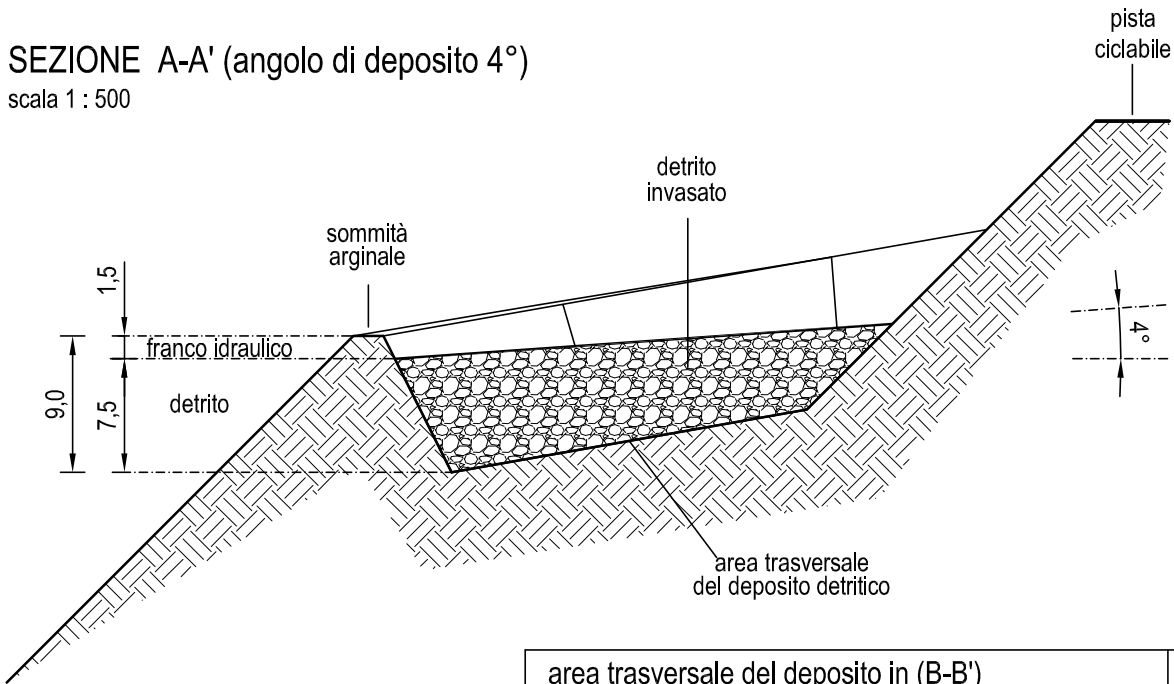
scala 1 : 500



CALCOLO DEI VOLUMI DI INVASO - BACINO "C18"

SEZIONE A-A' (angolo di deposito 4°)

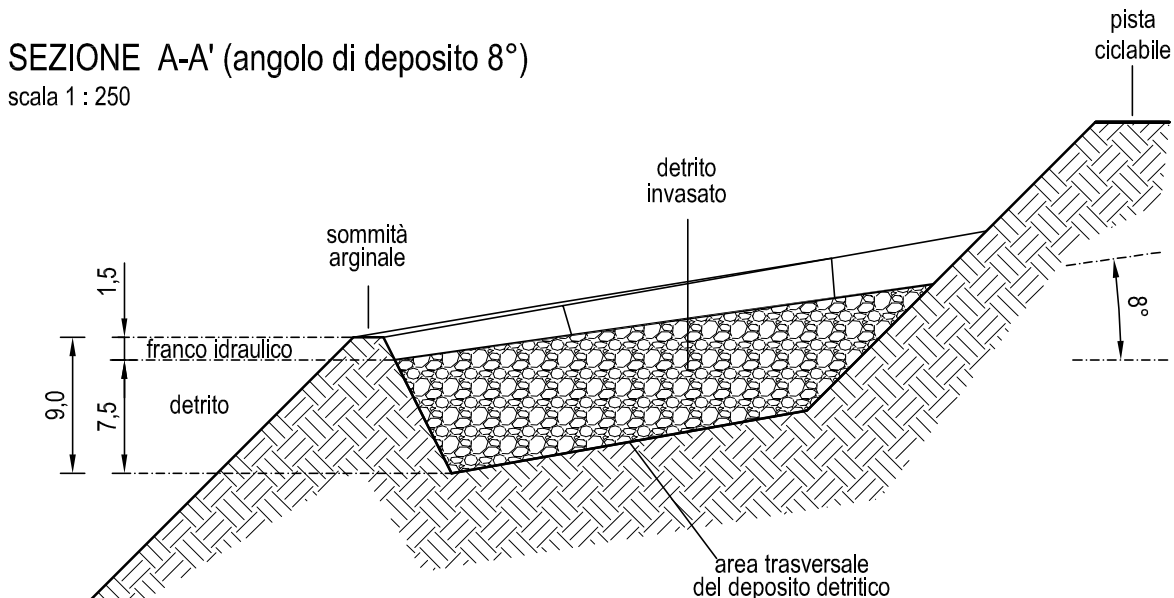
scala 1 : 500



area trasversale del deposito in (B-B')	182,4 mq
larghezza media del bacino $(70\text{m} + 62,6\text{m}) / 2 =$	66,3 m
capacità di invaso del bacino $(182,4\text{mq} \times 66,3\text{m}) =$	12093 mc
volume solido (da idrogramma solido-liquido)	7216,9 mc
volume di sedimento di progetto $(7216,9\text{mc} / 0,62) =$	11640 mc
diff. capacità bacino - volume di sedimento (mc)	453 mc
diff. capacità bacino - volume di sedimento (%)	+3,9%

SEZIONE A-A' (angolo di deposito 8°)

scala 1 : 250



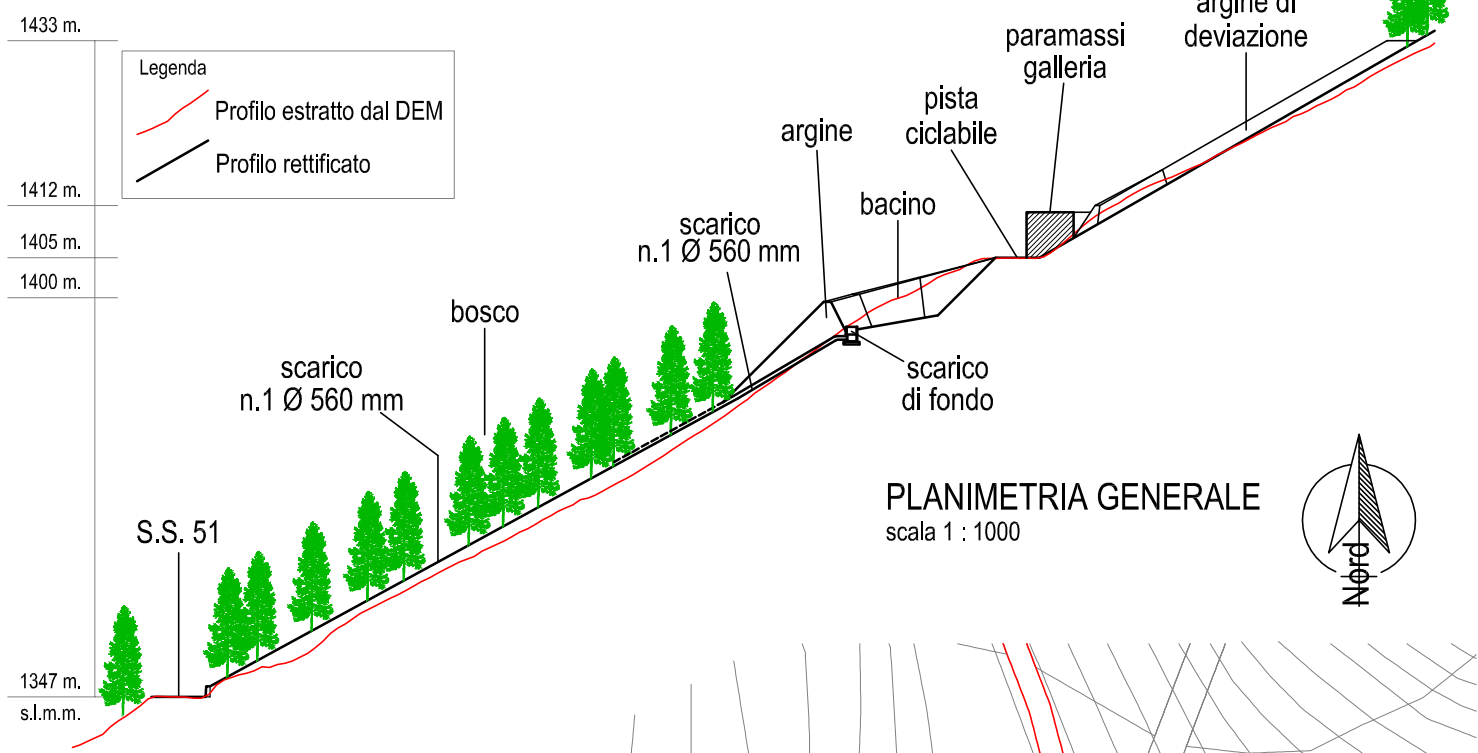
area trasversale del deposito in (B-B')	223,8 mq
larghezza media del bacino $(70\text{m} + 62,6\text{m}) / 2 =$	66,3 m
capacità di invaso del bacino $(223,8\text{mq} \times 66,3\text{m}) =$	14838 mc
volume solido (da idrogramma solido-liquido)	7216,9 mc
volume di sedimento di progetto $(7216,9\text{mc} / 0,62) =$	11640 mc
diff. capacità bacino - volume di sedimento (mc)	3198 mc
diff. capacità bacino - volume di sedimento (%)	+27,5%

Elaborati grafico progettuali del Bacino "C19"

- ***Planimetria generale***
- ***Sezione di versante***
- ***Planimetria del bacino***
- ***Sezioni del Bacino***
- ***Calcolo dei volumi di invaso***

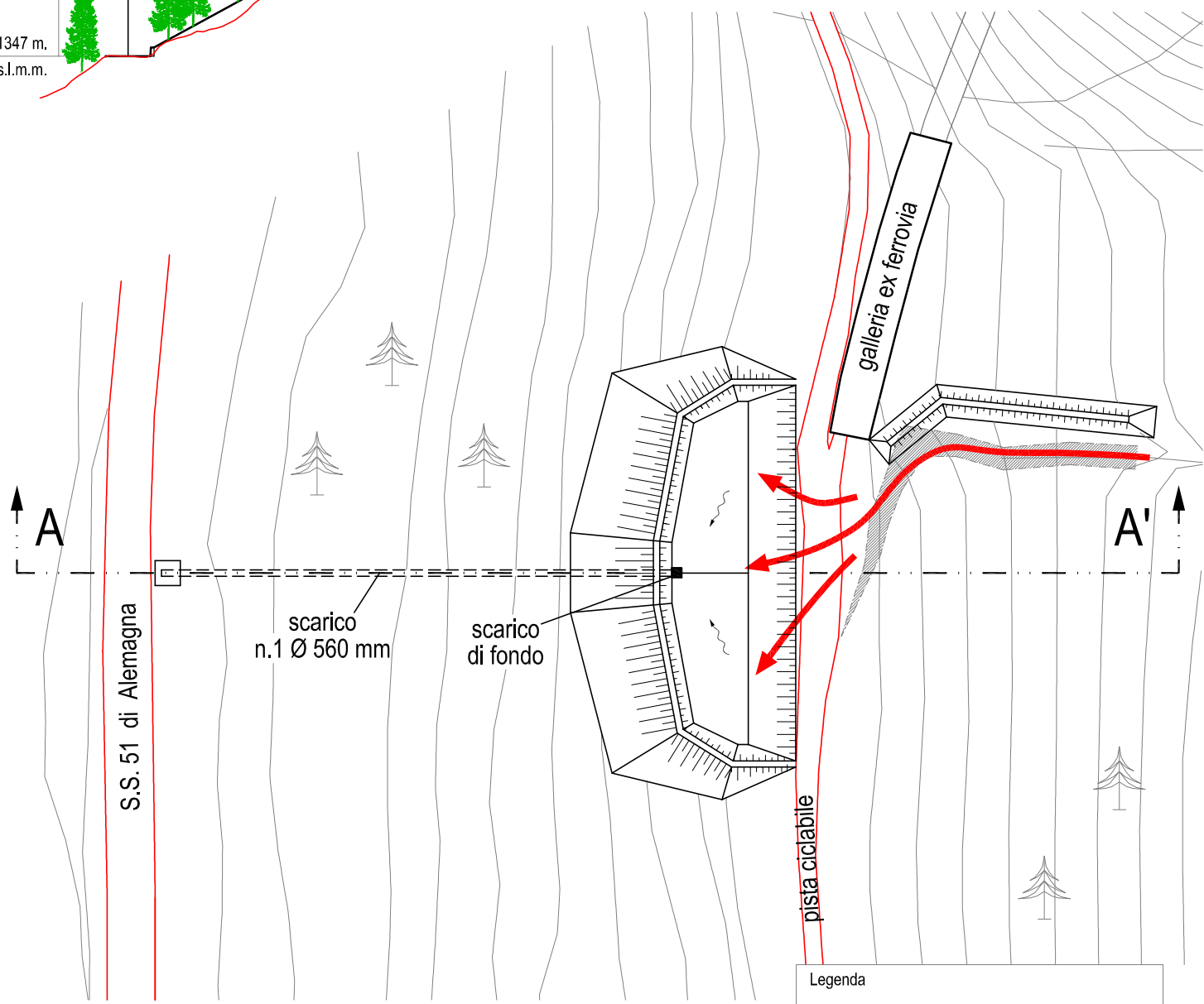
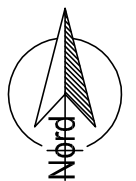
SEZIONE DI VERSANTE A - A'

scala 1 : 1000






PLANIMETRIA GENERALE

scala 1 : 1000

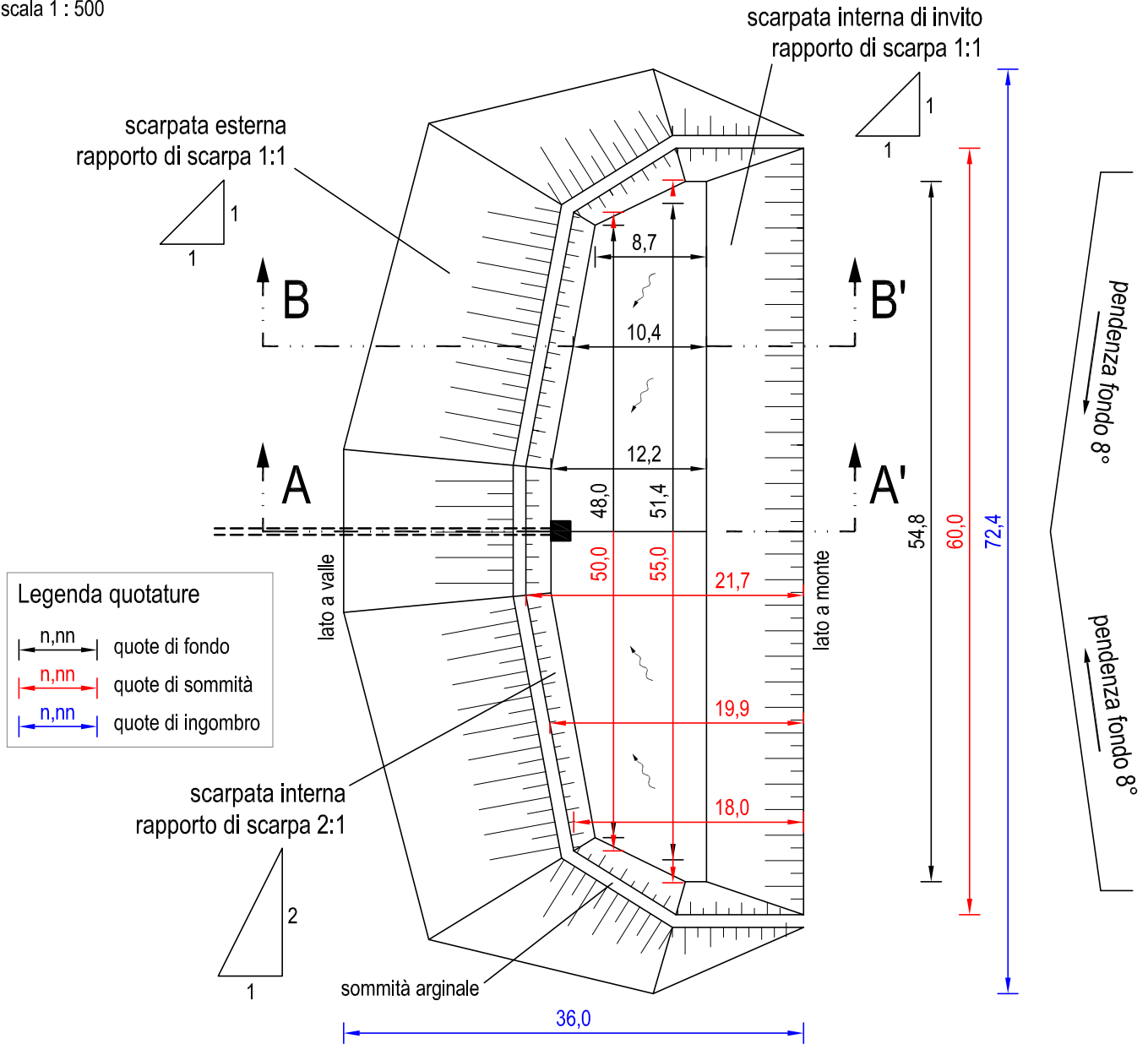


Legenda

-  Flusso detritico evento di progetto
-  Pendenza di fondo del bacino
-  Deposito di detrito attuale

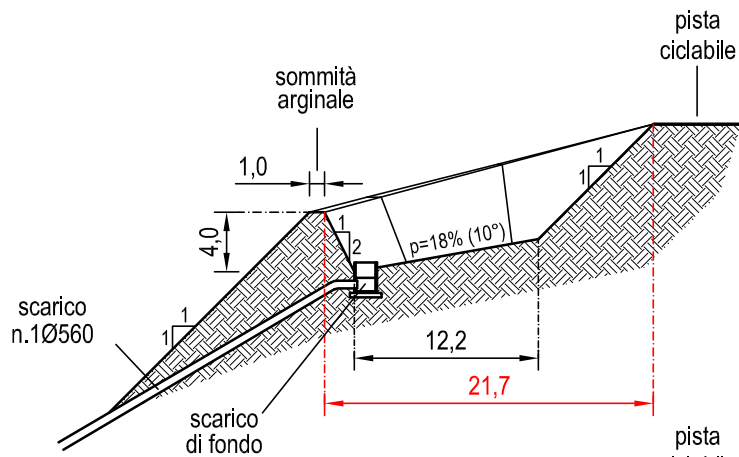
PLANIMETRIA BACINO "C19"

scala 1 : 500



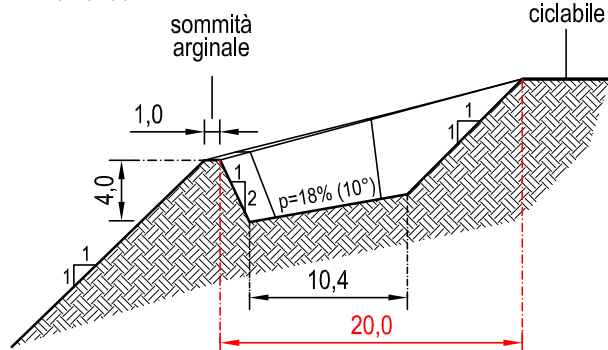
SEZIONE A-A'

scala 1 : 500



SEZIONE B-B'

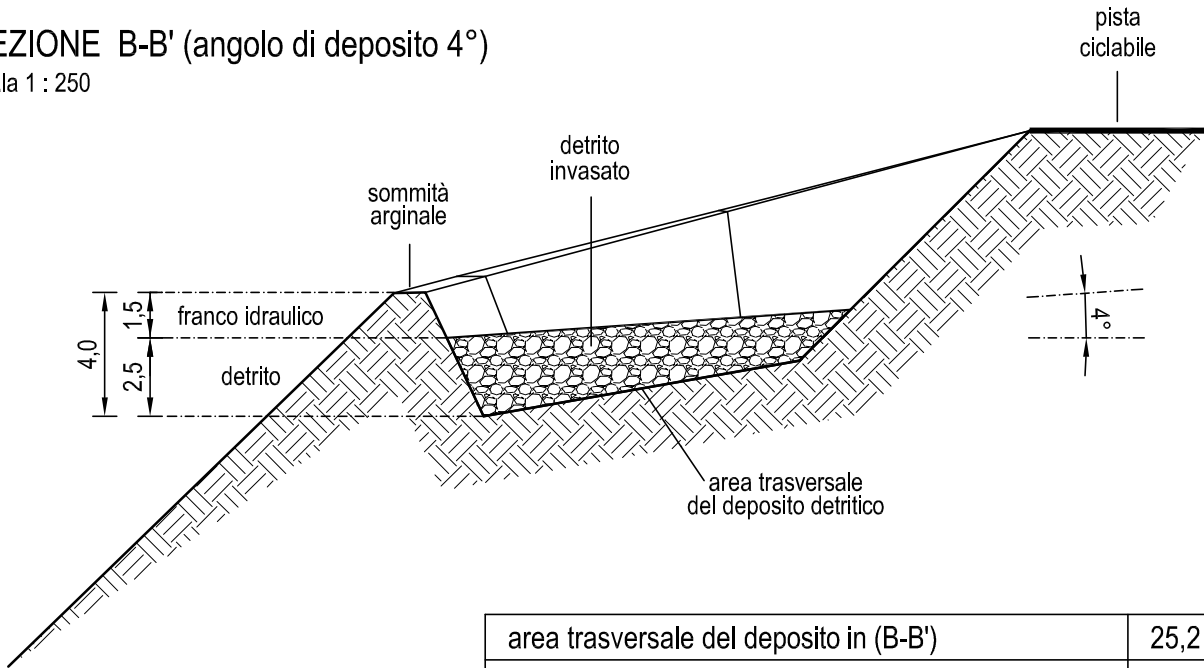
scala 1 : 500



CALCOLO DEI VOLUMI DI INVASO - BACINO "C19"

SEZIONE B-B' (angolo di deposito 4°)

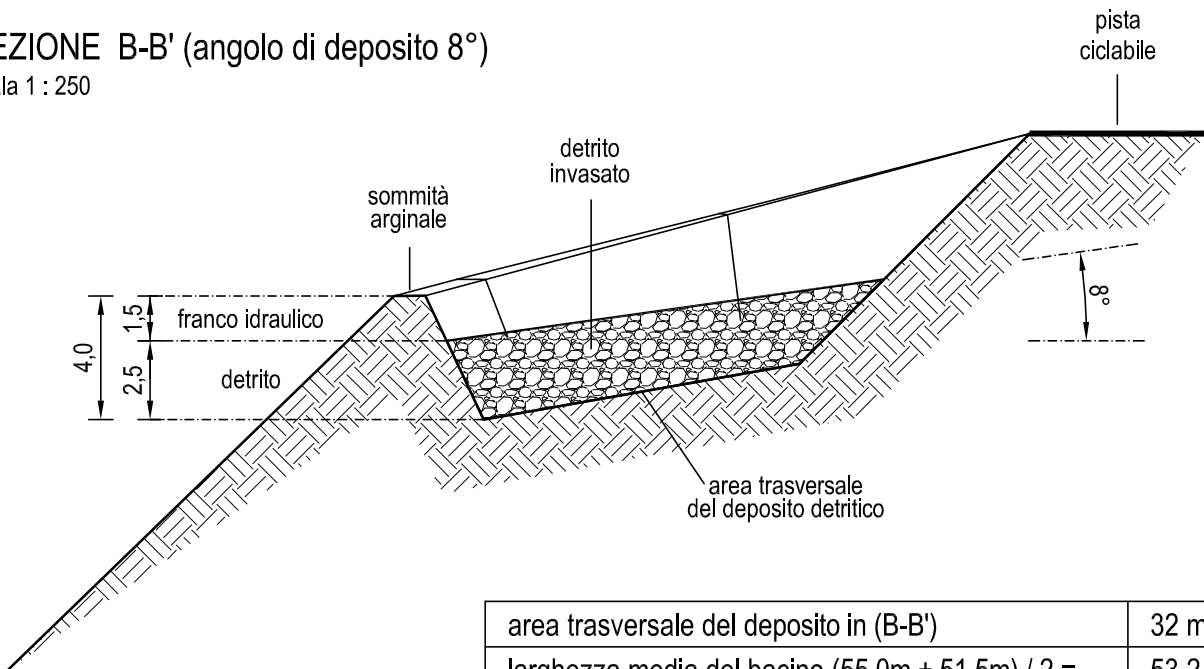
scala 1 : 250



area trasversale del deposito in (B-B')	25,2 mq
larghezza media del bacino $(55,0m + 51,5m) / 2 =$	53,2 m
capacità di invaso del bacino $(25,2mq \times 53,2m) =$	1340,6 mc
volume solido (da idrogramma solido-liquido)	665,9 mc
volume di sedimento di progetto $(665,9mc / 0,62) =$	1074 mc
diff. capacità bacino - volume di sedimento (mc)	266,6 mc
diff. capacità bacino - volume di sedimento (%)	+24,8%

SEZIONE B-B' (angolo di deposito 8°)

scala 1 : 250



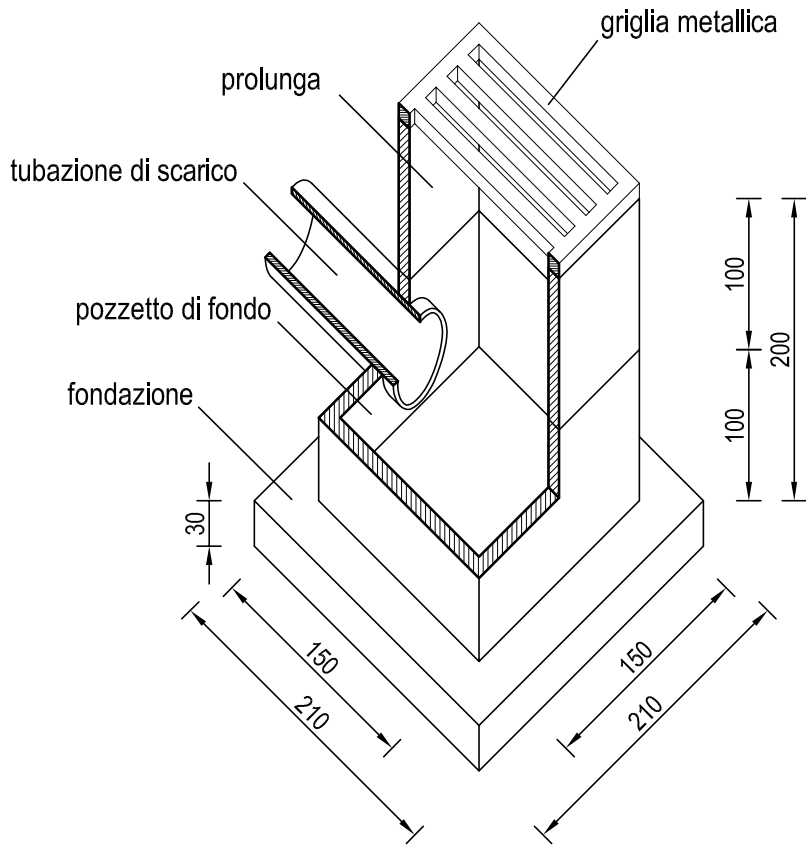
area trasversale del deposito in (B-B')	32 mq
larghezza media del bacino $(55,0m + 51,5m) / 2 =$	53,2 m
capacità di invaso del bacino $(32mq \times 53,2m) =$	1702,4 mc
volume solido (da idrogramma solido-liquido)	665,9 mc
volume di sedimento di progetto $(665,9mc / 0,62) =$	1074 mc
diff. capacità bacino - volume di sedimento (mc)	628,4 mc
diff. capacità bacino - volume di sedimento (%)	+58,5%

Particolari costruttivi

PARTICOLARI COSTRUTTIVI

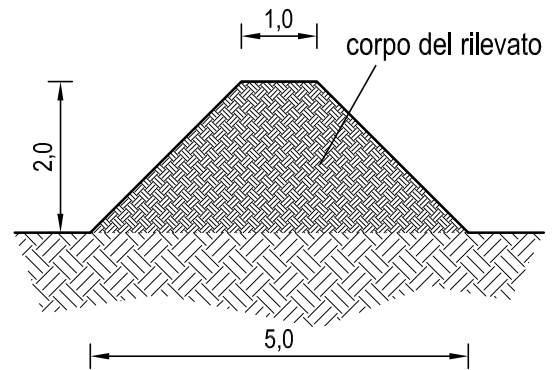
SPACCATO ASSONOMETRICO SCARICO DI FONDO

scala 1 : 50



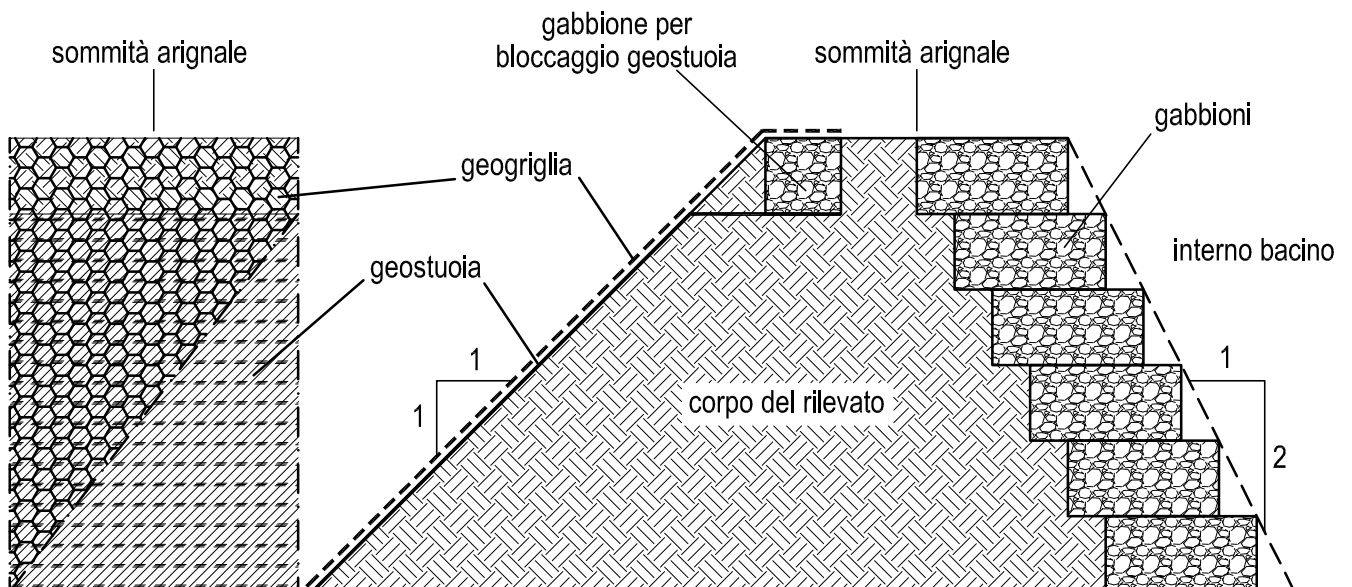
SEZIONE TIPO ARGINE di DEVIAZIONE

scala 1 : 100



PROSPETTO e SEZIONE TIPO ARGINE

scala 1 : 50



BIBLIOGRAFIA

APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (2003), *Atlante delle opere di sistemazione fluviale – Manuali e Linee guida 27/2003*.

D.F. VanDine (1996), *Debris Flow Control Structures for Forest Engineering*, Ministry of Forest Research Program – British Columbia (CA), working paper 22/1996.

Genevois R., Tecca P.M., Deganutti A.M. (2018), *Debris flow mitigation and control in the Dolomites (north-eastern Italy)*, Università di Padova – Dipartimento di Geoscienze.

Gregoretto C., Bagato A. Bernard M., Boreggio M. Crucil G., Degetto M., Furlan M., Pilotto E. Pimazzoni A. (2017), *Le colate detritiche nella valle del Boite: generalità, generazione, siti, monitoraggio e pericolosità del fenomeno*, Frammenti – Conoscere e tutelare la natura bellunese, n.7/2017.

Panizza M., Zardini R., (1986), *La frana su cui sorge Cortina d'Ampezzo*, Memorie di scienze geologiche, Università di Padova.

Pasuto A., Siorpaes C., Soldati M., (1997), *I fenomeni franosi nel quadro geologico e geomorfologico della conca di Cortina d'Ampezzo*, Il Quaternario – Italian Journal of Quaternary Sciences 1997, 75-92.

Panizza M. (2014), *Geomorfologia – 4^a edizione*, Pitagora Editrice Bologna.

Ferro V. (2019), *Opere di sistemazione idraulico-forestale*, McGrawill Education Italy Milano.

Gregoretto C. (2021), *Progettazione delle opere di sostegno A.A. 2021-2022*, Università di Padova – Dipartimento TESAF.

D'Agostino V. (2021), *Sistemazione dei bacini idrografici A.A. 2021-2022*, Università di Padova – Dipartimento TESAF.

Gregoretto C., Boreggio M., Bernard M., Barbini M., (2022), *Studio per la protezione dal rischio di colata detritica sulla SS51 ai km 98 e 106-109 in Comune di Cortina d'Ampezzo e rientrante tra gli interventi del progetto "Variante SS51 di Cortina d'Ampezzo"*, Dipartimento TESAF per ANAS S.p.A.

www.isprambiente.gov.it; *pagina web*: Dissesto idrogeologico.

www.isprambiente.gov.it; *pagina web*: Progetto CARG – Cartografia geologica e geotematica.

www.regione.veneto.it; *pagina web*: Geoportale Veneto – Infrastruttura Dati territoriali della Regione del Veneto.

www.primaria.org; *pagina web*: cartografia delle regioni italiane

www.bing.com/maps; *pagina web*: cartografia e foto satellitari on-line

www.maccaferri.com; *pagina web*: barriere per colate detritiche e gabbioni

www.geoprodotti.eu; *pagina web*: sistemi di monitoraggio