PGT

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COMUNE DI ARDESIO

Provincia di Bergamo

Adottato dal Consiglio Comunale con delibere n. 51 del 19/12/2012
e n. 52 del 22/12/2012
Approvato dal Consiglio Comunale con delibera n. 31 del 17/06/2013
Pubblicato sul BURL n. 48 del 27/11/2013 serie avvisi e concorsi

Il Sindaco

Il Segretario Generale

STUDIO GEOLOGICO

Relazione e allegati località via Spess

I progettisti
Arch. Enrico Bonandrini
Arch. Carlo Macalli

Dott. Geol. Sergio Ghilardi

Elaborato 4

COMUNE DI ARDESIO

Provincia di Bergamo

STUDIO DI DETTAGLIO DEL CONOIDE IN VIA DI SPESS

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE E ALLEGATI

N. PRATICA	TIPOLOGIA	FASE PROG	SCALA	ELABORATO
08_053	GEOL	-	-	**4**

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE
0	Giugno 2012	Prima emissione
1		
2	-	-
3	-	-

PROGETTISTI

di S. Ghilardi & C. s.n.c.
24020 RANICA (Bergamo)
Via Tezze, 1
Telefono e Fax: 035.340112
E - Mail: gea@mediacom.it

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI
iscritto all' O.R.G. della Lombardia n° 258

Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI

COMUNE DI ARDESIO

Provincia di Bergamo

STUDIO DI DETTAGLIO DEL CONOIDE IN VIA DI SPESS

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE TECNICA

N. PRATICA	TIPOLOGIA	FASE PROG	SCALA	ELABORATO
08_053	GEOL	-	-	**4-A**

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE
0	Giugno 2012	Prima emissione
1		
2	-	-
3	-	-

PROGETTISTI

di S. Ghilardi & C. s.n.c.
24020 RANICA (Bergamo)
Via Tezze, 1
Telefono e Fax: 035.340112
E - Mail: gea@mediacom.it

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI
iscritto all' O.R.G. della Lombardia n° 258

Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI

INDICE

PREMESSE 5

1 INTRODUZIONE 5

1.1 Normative di riferimento per lo studio di dettaglio dell'area 8

1.2 Procedura seguita per la zonazione 8

2 SITUAZIONE ATTUALE 9

2.1 Analisi storica fotointerpretativa 14

INQUADRAMENTI GEOGRAFICI, GEOAMBIENTALI E INDIVIDUAZIONE DEI DISSESTI 19

3 INQUADRAMENTI 19

3.1 Premessa 19

3.2 Inquadramento geomorfologico del bacino 20

3.3 Inquadramento geomorfologico del conoide 26

3.4 Inquadramento geologico del bacino e del conoide 30

3.5 Inquadramento idrografico e idrogeologico 34

RICERCA STORICA, INDIVIDUAZIONE PUNTI CRITICI E COMPILAZIONE SCHEDA CONOIDI 37

4 RICERCA STORICA 37

4.1 Ricerca bibliografica e testimonianze sui dissesti verificatesi in epoche precedenti 37

5 INDIVIDUAZIONE E DESCRIZIONE DEI PUNTI CRITICI E CENSIMENTO

DELLE OPERE IDRAULICHE NELL'AMBITO DEL CONOIDE INDIVIDUATO 39

5.1 Punti critici in ambito di conoide 39

5.2 Opere idrauliche presenti sul conoide 40

5.3 Punti critici e opere idrauliche presenti sul bacino 40

6 COMPILAZIONE SCHEDA CONOIDI 42

ANALISI SULLA PERICOLOSITÀ DEL CONOIDE CON VALUTAZIONI IDROLOGICHE E IDRAULICHE 43

7 PREMESSA 43

8 STUDIO IDROLOGICO 43

8.1 Stima dei principali parametri morfometrici 43

8.1.1 Analisi morfologica delle reti di drenaggio naturali finalizzata alla caratterizzazione della risposta idrologica, ... 43

8.1.2 Descrizione dei principali parametri morfologici 46

8.2 Curve di possibilità pluviometrica 49

8.2.1 Elaborazioni PAI 49

8.3 Ietogramma sintetico di progetto e depurazione delle perdite 50

8.3.1 Ietogramma di progetto 50

8.3.2 Depurazione delle perdite 51

8.4 Calcolo della portata massima di piena 53

8.4.1 Descrizione delle formule utilizzate 55

8.5 Considerazioni finali sui valori di portata al colmo considerati 61

9 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA COLATE DETRITICHE 63

9.1 Valutazione della possibilità di accadimento di una colata detritica 64

9.1.1 Metodo dell'indice di Melton 64

9.1.2 Metodo di Aulitzky 65

9.1.3 Considerazioni sui risultati di pericolosità ottenuti 71

e-mail: gea@mediacom.it

9.2 Valutazione della possibile magnitudo di una colata detritica per mezzo di metodi speditivi 72
9.2.1 Bottino, Crivellari e Mandrone [1996] ... 73
9.2.2 Crosta, Ceriani, Frattini e Quattrini [2000] ... 73
9.2.3 D'Agostino et al. [1996] ... 74
9.2.4 Tropeano e Turconi [1999] ... 76
9.2.5 Bianco e Franzi [1999] ... 77
9.2.6 Rickenmann e Zimmermann [1993] ... 78
9.2.7 Kronfellner-Kraus [1984,1985] ... 80
9.2.8 Takei [1984] ... 81
9.2.9 D'Agostino e Marchi [2001] ... 81
9.2.10 D'Agostino et al. [2004] ... 81
9.2.11 Marchi e Tecca [1996] ... 82
9.2.12 Considerazioni finali sul valore della magnitudo ... 83
9.4 Portata di picco di una colata 86
9.4.1 Valutazione di Takahashi ... 86
9.4.2 Valutazione di Mizuyama ... 88
9.4.3 Valutazione di Rickenmann ... 88
9.4.4 Valutazione di Bovis & Jacob ... 89
9.4.5 Considerazioni finali sulla portata di picco ... 89

CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI ANALISI ALLO STATO DI FATTO ... 90

10 RIASSUNTO E CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI ... 90
10.1 Riassunto 90
10.2 Zonazione della pericolosità allo stato di fatto 92

PROPOSTA DI INTERVENTI MIGLIORATIVI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO RESIDUO ... 95

11 INTERVENTI DI REGIMAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE ... 95

11.1 Pulizia alveo (ordinaria e straordinaria) 97

12 BIBLIOGRAFIA 99

TAVOLE ALLEGATE ALLA RELAZIONE 107

e-mail: gea@mediacom.it

PREMESSE

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è inerente allo studio di dettaglio del conoide sito in Via di Spess ai sensi della D.g.r. 30 novembre 2011, n. 2616 "*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. ...*"

Lo studio è nato dalla richiesta dell'Amministrazione Comunale di rivalutare la pericolosità dello stesso, e più in generale di approfondire l'ambito compreso tra Via Fortino Basso, Via Plazza, Via di Spess e Viale Locatelli, caratterizzato dalla presenza di due conoidi considerati "parzialmente protetti", dei quali uno è appunto quello oggetto del presente studio.

Sulla base delle risultanze, verrà valutata l'eventuale necessità di realizzare o meno opere di regimazione idraulica indispensabili al raggiungimento di un adeguato livello di sicurezza.

La valutazione dei processi in atto e delle tendenze evolutive è importante sia ai fini di una corretta salvaguardia delle opere e dei terreni oggetto di studio, sia per la progettazione e la gestione delle eventuali opere di ingegneria idraulica.

e-mail: gea@mediacom.it

L'area di studio è sita nel territorio comunale di Ardesio, ed in particolare tra le vie Fortino Basso, Plazza, di Spess e Locatelli, oltre alla zona di bacino a monte.

La quota di riferimento è attorno a 600 m s.l.m. circa.

L'ubicazione indicativa dell'area è visibile nello stralcio di C.T.R. in figura.

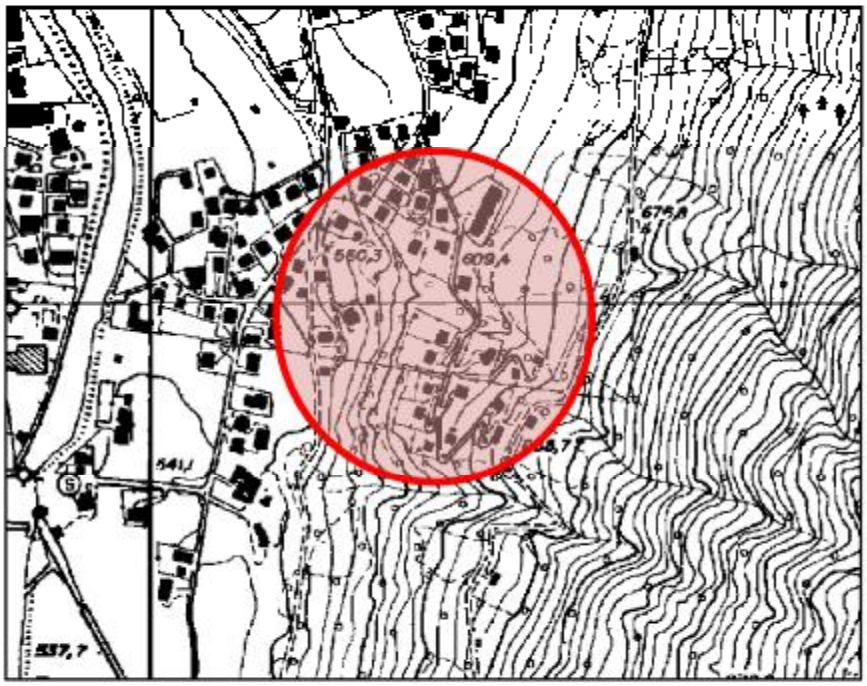


Figura 1 - Corografia dell'area di studio
Cerchiata in rosso l'area indicativa di studio

e-mail: gea@mediacom.it

Il bacino di riferimento è visibile nella figura seguente.

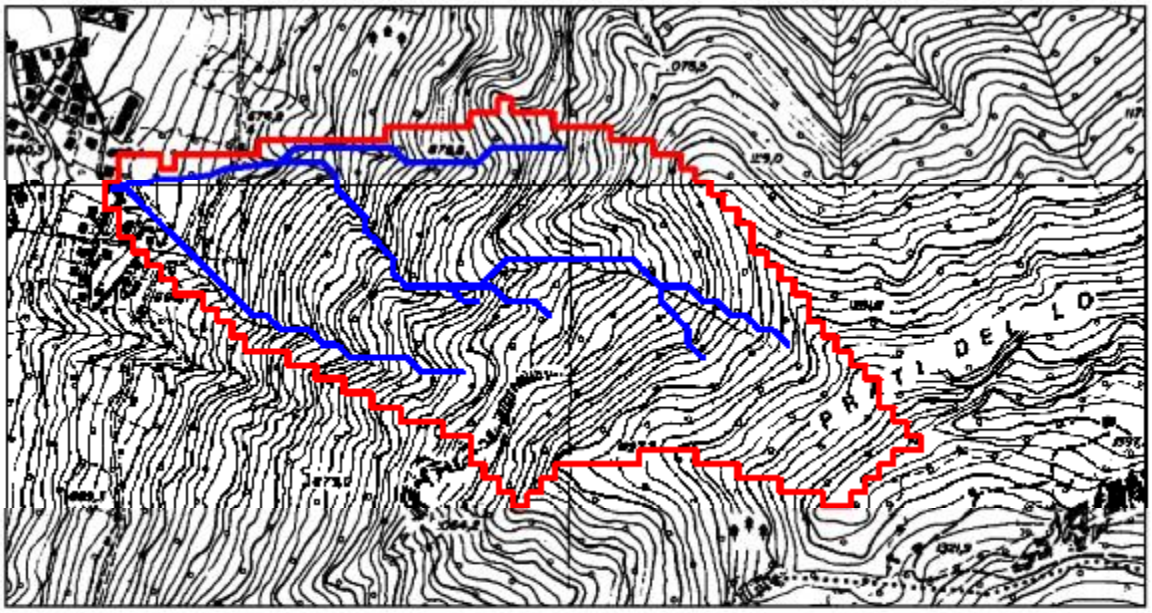


Figura 2 - Corografia del bacino oggetto di studio su base CTR 1 : 10 000.

È stato così realizzato uno studio di dettaglio che ha consentito di definire una **corretta individuazione della reale pericolosità attuale del sito**.

e-mail: gea@mediacom.it

1.1 Normative di riferimento per lo studio di dettaglio dell'area

La normativa di riferimento indica la procedura da seguire che prevede la predisposizione di studi di dettaglio condotti secondo le metodologie di cui agli allegati 2 – Parte II, 3 e 4 della direttiva regionale approvata con D.g.r. 30 novembre 2011, n. 2616 "*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n.15, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374*".

1.2 Procedura seguita per la zonazione

Per meglio comprendere la dinamica fluviale è necessario conoscere l'evoluzione del corso d'acqua. Lo studio di pericolosità delle aree risulta possibile valutando gli elementi geomorfologici del conoide e le caratteristiche di pericolosità e magnitudo delle colate detritiche interessanti il bacino, definite in base ai metodi (empirici, semi-empirici, statistici, ecc.) maggiormente accreditati in letteratura. Come per le frane, si evidenzia che per determinare lo stato di un conoide si ritiene preferibile valutare, nel loro insieme, tutti quei fattori (geologici, geomorfologici, idrogeologici, di pericolosità, climatici, temporali, ecc.) che concorrono a caratterizzare lo stato del dissesto, non assumendo la data dell'ultima riattivazione come unico parametro discriminante. È stata così valutata la pericolosità geomorfologica dei fenomeni di dissesto sia dai rilievi in campo, sia sulla scorta degli elementi geomorfologici del conoide e delle caratteristiche di pericolosità e magnitudo delle colate detritiche interessanti il bacino. Successivamente è stata eseguita un'analisi idrologica - idraulica di dettaglio per la definizione delle portate solido/liquide in gioco. Alla luce di ciò si è riusciti a valutare lo stato del dissesto e a prevedere le opere idrauliche necessarie per ridurne la pericolosità.

e-mail: gea@mediacom.it

2 SITUAZIONE ATTUALE

Prima di analizzare nel dettaglio le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito e di entrare nel merito degli aspetti idrologico-idraulici, è opportuno fare una breve digressione sulle varie fasi che hanno condotto all'attuale attribuzione "Cp" del conoide in oggetto.

La prima "zonizzazione" risale allo *Studio geologico di supporto al Piano Regolatore Generale* di Geoter (D. Ravagnani) del 1993, quindi parecchio antecedente l'entrata in vigore della L.R. 41/1997.
In questo studio, ed in particolare nelle cartografie geomorfologiche e litologiche, il conoide era già individuato ed aveva già una sua perimetrazione generale. Nella Carta della Fattibilità Geologico-Tecnica di Piano, il conoide non aveva una vera e propria zonizzazione, tuttavia la parte lungo l'alveo attivo era già classificata in fattibilità 4, mentre il resto ricadeva in classe 3. Verso valle, le classi 3 e 4 non si spingevano al di sotto di Via di Spess, suggerendo che la dinamica del conoide si esaurisse inferiormente lungo la strada, senza interferire con gli edifici più a valle.

Poco tempo dopo, il P.R.G. è stato oggetto di una variante generale, supportata da uno studio geologico specifico eseguito dallo scrivente (*Piano Regolatore Generale – Studio geologico di supporto alla variante generale*). In questo studio, il limite tra le classi di fattibilità 3 e 4 nella zona è stato ridefinito con considerazioni di carattere morfologico; tuttavia, la configurazione generale delle classi 3 e 4 è stata sostanzialmente mantenuta.

Nei primi anni duemila, è stato introdotto l'Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione Lombardia (GeoIFFI). All'interno di questo strumento, il conoide di Spess è stato tracciato con un certo perimetro, peraltro diverso da quello indicato in

e-mail: gea@mediacom.it

precedenza sia da Geoter che da G.E.A., ed è stato identificato come "conoide quiescente".



Figura 3 - Conoide di Spess così come perimetrato sul GeoIFFI (marrone)

Il GeoIFFI è stato poi utilizzato anche come strumento di supporto per la redazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Bergamo, pertanto il conoide quiescente in oggetto è stato introdotto anche negli elaborati del P.T.C.P.

Nel febbraio 2003, lo scrivente ha redatto l'*Integrazione all'indagine geologica di supporto al Piano Regolatore Generale*, secondo le direttive della L.R. 41/1997 e predisponendo anche la Carta del Rischio secondo la legenda del P.A.I.
In assenza di criteri precisi per correlare, all'epoca, lo stato di attività indicato dal GeoIFFI (quiescente) alle voci della legenda P.A.I., il conoide è stato tracciato come "*conoide attivo parzialmente protetto*" (Cp).

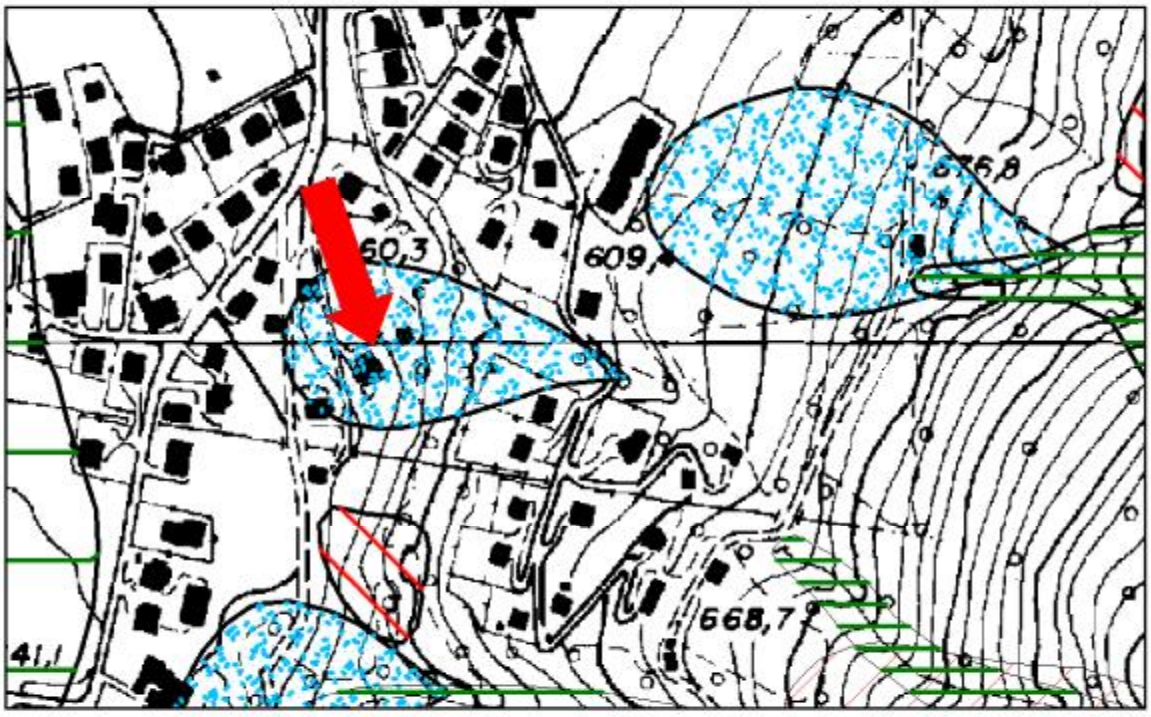


Figura 4 – Quadro del dissesto proposto prima del presente studio di approfondimento

e-mail: gea@mediacom.it

Nella Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano dell'epoca, tuttora vigente (al di là degli aggiornamenti del 2008, che riguardavano però solo le aree a rischio idrogeologico molto elevato), al conoide Cp è stata assegnata la classe di fattibilità 3, al di là della porzione più prossimale all'alveo e della parte apicale, che hanno continuato ad ereditare la perimetrazione di classe 4 già presente nella cartografia degli anni Novanta.

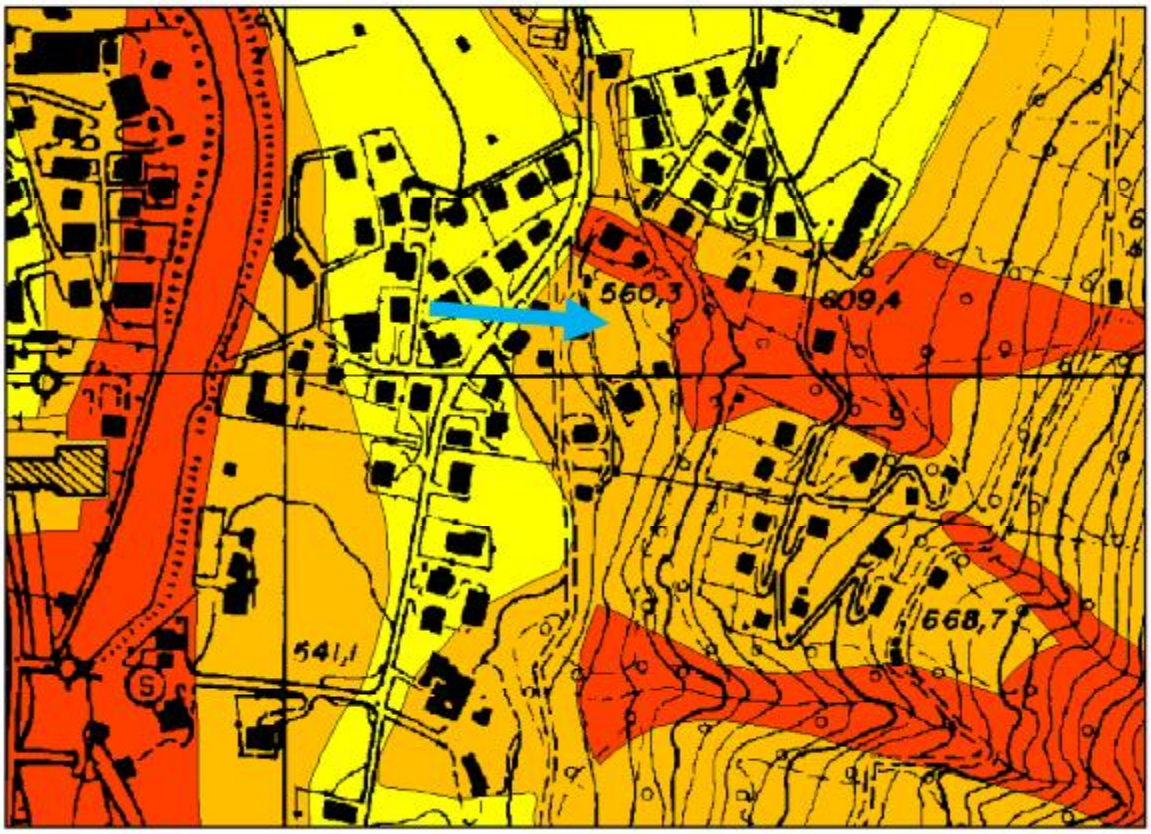


Figura 5 – Carta della Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano prima del presente studio
La freccia azzurra indica la zona del conoide attivo parzialmente protetto

e-mail: gea@mediacom.it

Questa perimetrazione di rischio e di fattibilità rappresenta lo stato di fatto attuale per il conoide di Spess.

Ciò che emerge da questo excursus storico è, dunque, l'assenza di studi di dettaglio e di zonizzazioni specifiche sul conoide fino ad oggi. L'attuale perimetrazione deriva esclusivamente dall'Inventario dei Fenomeni Franosi, che, all'epoca, è stato recepito integralmente come "conoide Cp" nello studio geologico del P.R.G., senza ulteriori suddivisioni e considerando una corrispondente classe di fattibilità 3.

Alla luce di quanto detto, il presente studio rappresenta a tutti gli effetti la prima analisi di approfondimento sul conoide e la prima zonizzazione eseguita secondo criteri rigorosi.

e-mail: gea@mediacom.it

2.1 *Analisi storica fotointerpretativa*

È stata eseguita anche un'analisi fotointerpretativa temporale mediante utilizzo di foto aeree.

Di seguito si riportano alcune delle foto analizzate.

ORTOFOTO 1988-1989



e-mail: gea@mediacom.it

ORTOFOTO 1994-1996



e-mail: gea@mediacom.it

ORTOFOTO 2000



e-mail: gea@mediacom.it

ORTOFOTO - 2006



e-mail: gea@mediacom.it

ORTOFOTO - 2007



Dalla disamina delle ortofoto realizzate in date diverse, non si notano apprezzabili differenze con la situazione odierna dell'area, né in termini di distribuzione della vegetazione, né in termini di edificazione complessiva, e soprattutto nemmeno dal punto di vista della morfologia del conoide (per quanto si possa stimare o intuire dalle fotografie).

INQUADRAMENTI GEOGRAFICI, GEOAMBIENTALI E INDIVIDUAZIONE DEI DISSESTI

3 INQUADRAMENTI

3.1 Premessa

Al fine di definire le condizione idrogeologiche e geomorfologiche del conoide e della parte più accessibile del bacino a monte, è stato eseguito un rilevamento geomorfologico di dettaglio, lavorando con base topografica in scala 1:2000.

Il rilevamento è stato condotto con la finalità di individuare la perimetrazione del conoide, nonché le principali morfologie legate alle acque superficiali, ai movimenti di versante, all'azione antropica ed all'influenza strutturale, controllando nel contempo lo stato degli alvei dei corsi d'acqua, acquisendo utili informazioni e adeguato materiale fotografico.

Le risultanze del rilevamento sono sintetizzate nella Carta Geomorfologica di Dettaglio allegata al presente studio, redatta utilizzando gli standard grafici suggeriti dalla D.G.R. 15-01-1999 n. 6/40996.

e-mail: gea@mediacom.it

3.2 *Inquadramento geomorfologico del bacino*

Il conoide oggetti di studio trae alimentazione da due distinti impluvi (denominati convenzionalmente "**impluvio nord**" e "**impluvio sud**"), entrambi discendenti dalle creste rocciose dei Prati del Lo – Monte Fortino, che si congiungono all'altezza del tombotto di Via Plazza.

L'impluvio nord, denominato anche Valle Torta, è diviso in vari rami; il principale di essi raggiunge quota 1300 m s.l.m. circa.
L'impluvio sud ha uno sviluppo più modesto, raggiungendo quota 1000 m s.l.m. circa.

Il bacino è molto impervio, costituito da pareti e balze rocciose alternate a pendii estremamente ripidi, con frequenti coperture detritiche. Questa configurazione morfologica e geologica è dovuta ad una intensa dinamica di versante che, in effetti, caratterizza tutti i pendii del Monte Fortino (basti pensare alle cadute massi della strada della Cunella, che corre alla base di questo rilievo), ed è connessa a motivazioni litologiche e tettoniche.

e-mail: gea@mediacom.it

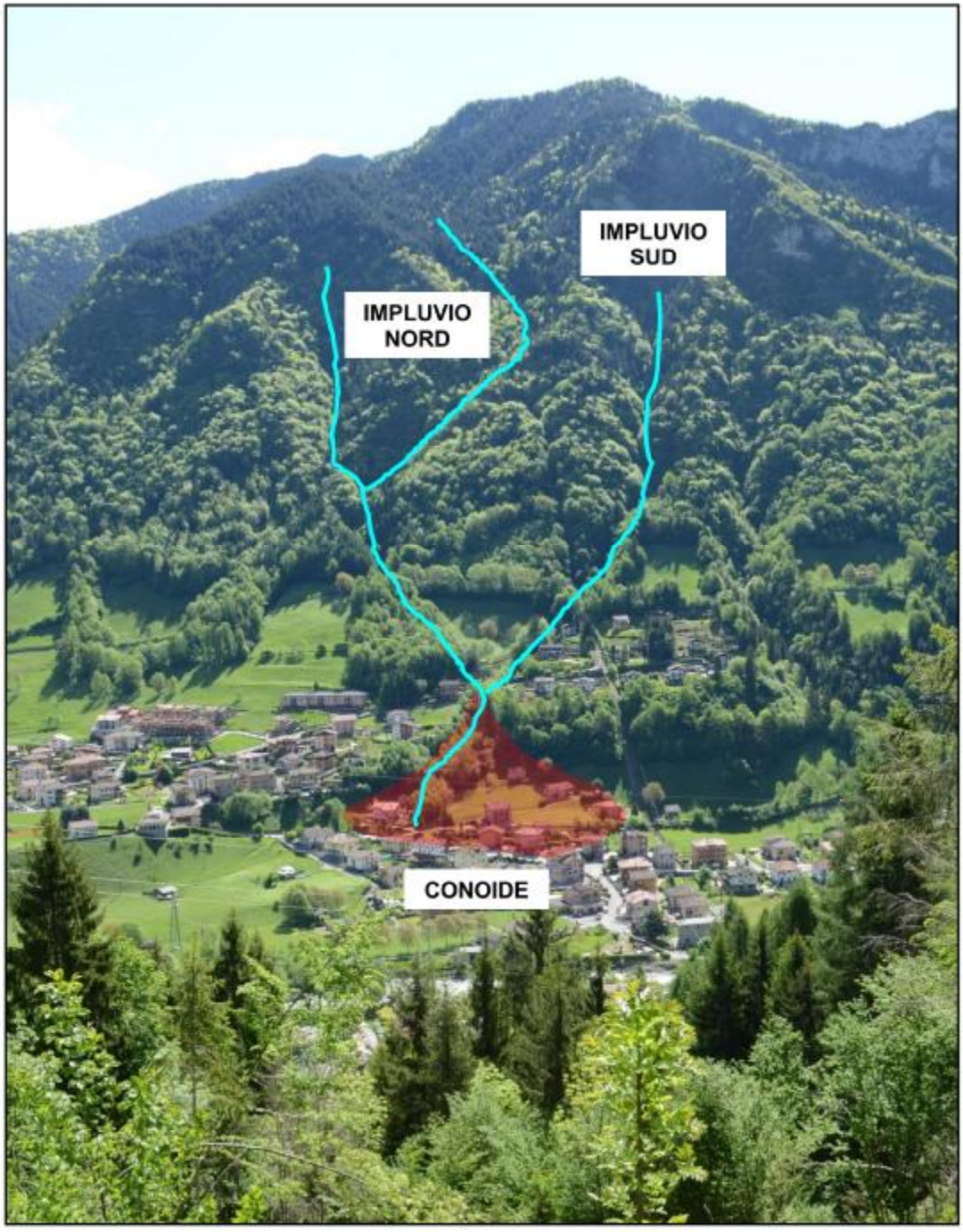


Figura 6 - Conoide di Via di Spess con bacino e impluvi di alimentazione (gli elementi disegnati sono del tutto indicativi)

e-mail: gea@mediacom.it

L'impluvio nord, come si evince dalla cartografia di dettaglio allegata al presente studio, presenta una ricchezza geomorfologica maggiore, soprattutto a partire da quote prossime al centro abitato. In particolare, attorno a quota 700 m s.l.m., il corso d'acqua, peraltro regimato con una serie di briglie in legna e pietrame, sviluppa un conoide detritico-torrentizio di significative dimensioni, appoggiato sul pendio sin quasi alla sottostante Via Fortino Basso.

Questo conoide (che è differente e separato dal conoide di Via di Spess, e non è oggetto di studio) presenta, in linea di massima, una porzione meridionale boscata e con abbondante detrito in superficie, attraversata dal torrente, ed una porzione settentrionale stabilizzata, prativa e senza detrito in superficie.

È possibile che, anticamente (Pleistocene), la deposizione di materiale entro questo conoide più alto abbia, nel tempo, determinato la deviazione del torrente, sino alla sua cattura da parte dell'impluvio sud. Il conoide di Spess, pertanto, potrebbe essere stato inizialmente costruito dal solo impluvio sud, con un apporto soltanto successivo da parte dell'impluvio nord, dotato di un bacino più vasto e quindi con maggiore disponibilità di materiale mobilizzabile.

e-mail: gea@mediacom.it



Figura 7 - Impluvio nord (tratto terminale)



Figura 8 – Zona del conoide posto lungo l'impluvio nord

e-mail: gea@mediacom.it

L'impluvio sud non presenta particolari morfologie, tuttavia va segnalato che, attorno a quota 655-660 m s.l.m., esso viene letteralmente tagliato da una condotta forzata idroelettrica, senza un efficace sistema di attraversamento. In corrispondenza della condotta, l'impluvio originario compiva una brusca curva, incanalandosi in un alveo largo e ora apparentemente inattivo, che si congiunge entro breve con **l'impluvio nord**, all'altezza del tombotto di Via Plazza.

Di fatto, nella situazione attuale la condotta forzata cattura ormai completamente l'impluvio sud, perciò il conoide Spess è, di fatto, alimentato soltanto dall'impluvio nord.



Figura 9 - Impluvio sud (tratto intermedio)

e-mail: gea@mediacom.it



Figura 10 - Punto di intersezione dell'impluvio sud (freccia azzurra) con la trincea della condotta forzata; senza un efficace sistema di attraversamento, il detrito proveniente dal corso d'acqua si accumula all'interno della trincea, e l'acqua viene catturata dalla trincea stessa

3.3 *Inquadramento geomorfologico del conoide*

Il conoide vero e proprio di Via di Spess ha il proprio apice a valle del tombotto lungo Via Plazza. Inizia pertanto con una sorta di canale ben inciso nel terrazzo di Plazza, per poi aprirsi a ventaglio circa 70 m più a valle, più o meno in corrispondenza dell'orlo del suddetto terrazzo.

Mentre a monte del tombotto di Via Plazza si riconoscono alvei ben incisi ed evidenti sia nell'**impluvio nord** che in quello **sud**, a valle dello stesso il corso d'acqua si disperde in varie incisioni, di cui la principale (sempre ben marcata) è utilizzata anche come sentiero; tra l'altro, l'alveo è del tutto privo di un recapito finale (tombotto o quant'altro).



Figura 11 – Zona apicale del conoide attivo, appena sotto il tombotto di Via Plazza

e-mail: gea@mediacom.it

Dal punto in cui inizia ad aprirsi, il conoide si mostra suddivisibile in due porzioni, una più settentrionale, attorno al corso d'acqua, boscata e caratterizzata da depositi detritici attivi e visibili in superficie, ed una più meridionale, prativa e più ampia, priva di depositi detritici visibili in superficie. Quest'ultima porzione, in particolare, sembra rappresentare un episodio di sedimentazione a sé, più antico, mostrando un apice distinto rispetto a quello del conoide attivo (cfr. fotografia).



Figura 12 – Zona mediana del conoide principale, presso l'apice della porzione più antica di conoide (la freccia rossa indica il corso d'acqua principale del conoide attivo, parzialmente nascosto dalla vegetazione, la freccia blu indica la direzione del settore di conoide più antico)

e-mail: gea@mediacom.it

A causa dell'elevata urbanizzazione, non è possibile stabilire con accuratezza il limite inferiore originario del conoide, tuttavia esso può essere ragionevolmente tracciato attorno al Viale Locatelli, grazie a considerazioni essenzialmente topografiche.



Figura 13 - Zona terminale del conoide, appena a monte di Via di Spess

e-mail: gea@mediacom.it

La porzione terminale del corso d'acqua è caratterizzata da uno sbocco incontrollato su Via di Spess. L'impluvio, per quanto è stato possibile verificare in sito, non è dotato, nella sua parte terminale, di nessun tombotto, caditoia o altro manufatto idoneo a convogliare le acque verso il Serio o qualsiasi altro corpo idrico recettore. Di conseguenza, il materiale trasportato durante gli eventi meteorici si spande semplicemente sulla strada, creando accumuli di ghiaia senza nessun tipo di regimazione o controllo (come si evince dalla fotografia).



Figura 14 – Sbocco del corso d'acqua su Via di Spess, con materiale di accumulo, in parte accatastato da azioni antropiche

Le caratteristiche geomorfologiche dettagliate del conoide sono contenute nella cartografia allegata al presente studio, redatta mediante rilevamento sul terreno in scala 1:2000.

3.4 Inquadramento geologico del bacino e del conoide

L'area si inquadra nell'ambito dell'alta Val Seriana, a sud della Linea Valtorta-Valcanale, ed è caratterizzata dalla presenza di formazioni triassiche prevalentemente carbonatiche, localmente coperte da depositi superficiali quaternari di varia origine.

L'area di intervento, nella fattispecie, si colloca sull'unità nota come Formazione di Gorno (26), ed è localmente interessata dalla presenza di depositi quaternari appartenenti al Complesso di Oltressenda – Unità di Villa d'Ogna (89) ed all'Unità Postglaciale (119). Il terrazzo fluvioglaciale su cui il conoide si appoggia, in basso, appartiene alla dinamica del Serio ed è ascrivibile al Complesso di Piario – Unità di Groppino (90).

La Formazione di Gorno è un'unità carnica inferiore costituita da calcari, calcari marnosi e marne grigio-scure con strati di spessore da decimetrico a metrico. Come si evince sia dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo che, in parte, dalla Carta Litostrutturale e Litotecnica dello studio geologico di supporto al P.R.G. comunale (D. Ravagnani), questa unità costituisce praticamente l'unica formazione dell'intero bacino di alimentazione del conoide, tranne piccole porzioni molto in alto, appartenenti alla Formazione di Breno, sempre di natura calcareo-dolomitica.

Le unità quaternarie sono state distinte dalla cartografia litostrutturale e litotecnica del P.R.G. in "detriti di falda colonizzati" (dti) e "depositi di conoide" (co).

e-mail: gea@mediacom.it

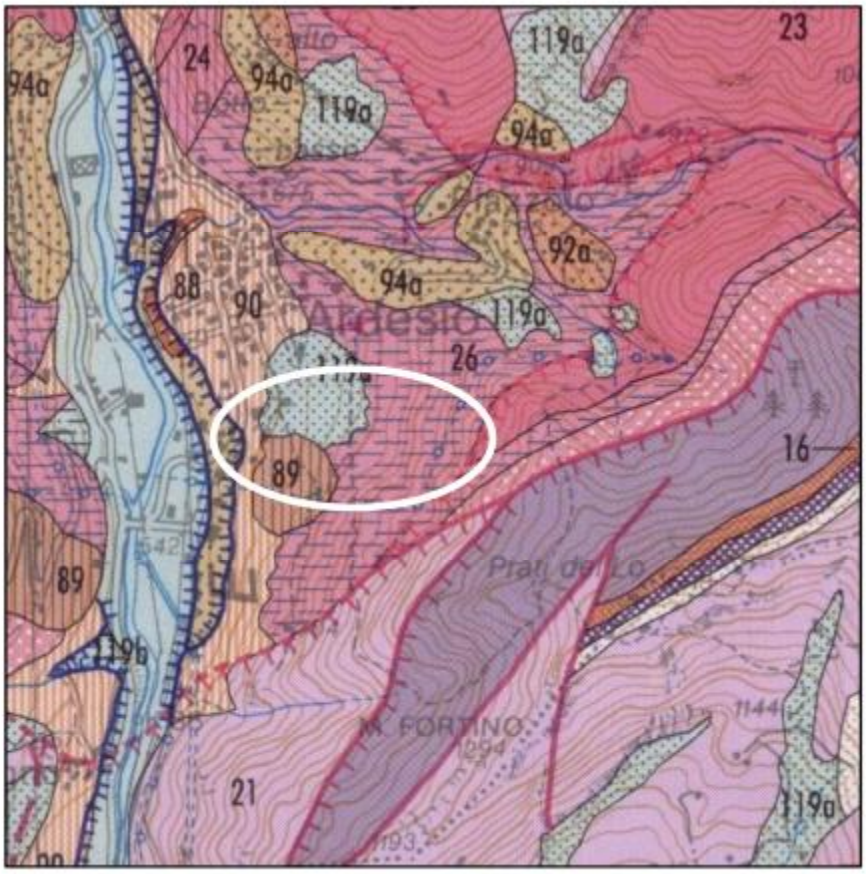


Figura 15 - Stralcio della Carta Geologica della Provincia di Bergamo
Indicata in bianco l'area di studio

e-mail: gea@mediacom.it

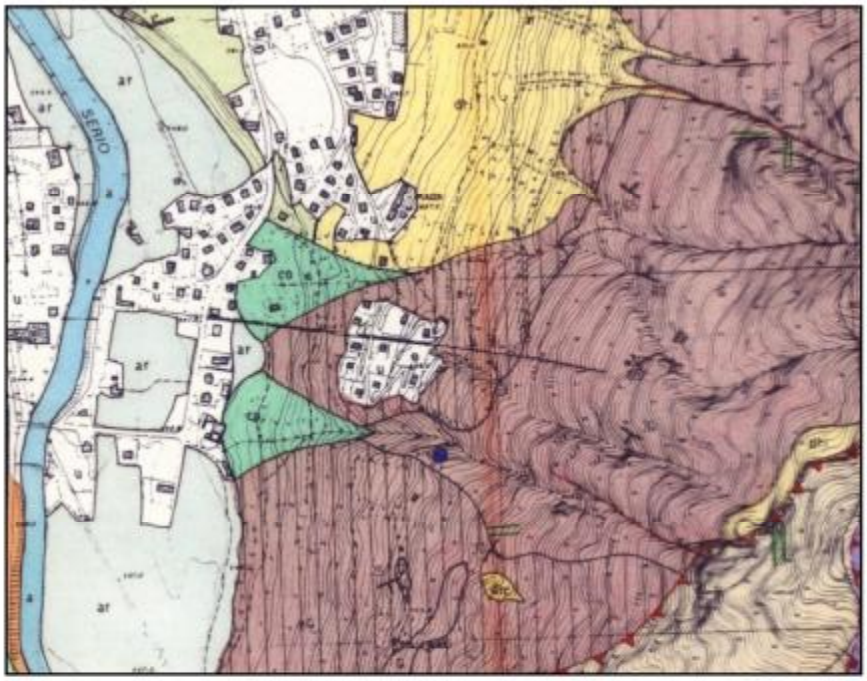


Figura 16 - Stralcio della Carta Litostrutturale e Litotecnica dello studio geologico di supporto al P.R.G. di Ardesio (D. Ravagnani)
Le sigle in carta indicano: eG = coperture eluviali su Formazione di Gorno; dti = detriti di falda colonizzati; co = depositi di conoide; u = aree urbanizzate

e-mail: gea@mediacom.it



Figura 17 – Affioramenti di substrato roccioso (Formazione di Gorno) nel bacino di monte del conoide Plazza, contiguo a quello del conoide di Spess



Figura 18 - Depositi di conoide lungo l'alveo dell'impluvio a monte di Via di Spess

e-mail: gea@mediacom.it

3.5 *Inquadramento idrografico e idrogeologico*

Il conoide oggetto di studio è formato dalla confluenza di due impluvi (denominati nei paragrafi precedenti "**impluvio nord**" e "**impluvio sud**"), ambedue discendenti dai contrafforti del Monte Fortino e dei Prati di Lo, rilievi che fanno da spartiacque tra la Valle del Rino e la Valzurio.

Si tratta di due corsi d'acqua di modesta entità (anche in termini di bacini di alimentazione), discretamente incisi, scarsamente gerarchizzati, molto ripidi, normalmente privi di deflusso idrico superficiale tranne durante eventi meteorici eccezionalmente lunghi e/o intensi.

Come già accennato, l'impluvio nord è parzialmente regimato con briglie in legna e pietrame, ed ha costruito anche ad un altro conoide, posto più a monte rispetto a quello oggetto di studio. La regimazione è stata realizzata sulla base del *Progetto esecutivo dei lavori di bonifica idrogeologica della Valle Torta in località Plazza* (GeoTer e Dott. Ing. Franco Pezzola, settembre 1999); le opere ad oggi avrebbero bisogno di manutenzione, e l'alveo in generale dovrebbe essere sottoposto ad interventi di pulizia.

L'impluvio sud, d'altro canto, presenta un punto critico in corrispondenza del suo passaggio alla trincea della condotta forzata, dove, per quanto è stato possibile verificare sul terreno, non esiste un efficace attraversamento ed il materiale trasportato tende ad accumularsi nella trincea stessa. In conseguenza di questo fatto, il tratto di alveo che va dalla condotta forzata sino al tombotto di Via Plazza risulta, di fatto, abbandonato, e tagliato a metà da una mulattiera; in altre parole, l'impluvio sud non alimenta più il conoide.

e-mail: gea@mediacom.it

Negli alvei dei due impluvi sono occasionalmente presenti ostruzioni come tronchi abbattuti e materiale di sovralluvionamento.
Ad eccezione di alcuni punti limitati, non si riscontrano però, quanto meno nei settori bassi, tratti particolarmente in erosione, né con dissesti spondali importanti.



Figura 19 - Ostruzione d'alveo con tronchi abbattuti nell'impluvio nord (foto eseguita da monte verso valle)

Dal punto di vista idrogeologico, non sono segnalate sorgenti o altri elementi significativi all'interno dell'area di conoide.

e-mail: gea@mediacom.it

Per quanto attiene alla conducibilità idraulica dei terreni, data la natura delle rocce e dei depositi superficiali presenti nel sito, si possono stimare valori di permeabilità da intermedi ad elevati, ed anche molto elevati laddove prevalga il detrito sciolto in superficie. L'acclività del pendio, inoltre, impedisce la formazione di acquitrini e ristagni.

RICERCA STORICA, INDIVIDUAZIONE PUNTI CRITICI E COMPILAZIONE SCHEDA CONOIDI

4 RICERCA STORICA

4.1 Ricerca bibliografica e testimonianze sui dissesti verificatesi in epoche precedenti

L'analisi storica permette di avere un quadro spaziale e temporale dei fenomeni che hanno interessato nel tempo l'area oggetto di studio dando indicazioni sulla frequenza degli eventi, le variazioni delle caratteristiche dell'alveo e sull'incidenza antropica sulla conoide.

Per la ricerca storica si è proceduto sia ad eseguire interviste in loco sia a ricercare presso l'amministrazione comunale e altri enti competenti, documentazione comprovante il verificarsi di fenomeni di dissesto e alluvionale.

Dalle ricerche effettuale, ed in particolare dalla consultazione della "*Relazione geologica sui terreni interessati dai dissesti idrogeologici verificatisi nelle prime ore del giorno 14 Novembre 1996*" redatta dallo scrivente e dello "*Studio dei dissesti geologici del territorio della Comunità Montana Valle Seriana Superiore*" redatto da GeoTer nel 1997, è emerso che il pendio compreso tra Balatroni e Plazza è stato interessato nel corso degli anni da una serie di fenomeni.
In particolare, nel **settembre 1993** si sono verificati fenomeni di esondazione e trasporto in massa sugli edifici di Balatroni, Plazza e sulla strada provinciale; lo stesso si è ripetuto nel **novembre 1996**. Sempre nel novembre 1996 in località

e-mail: gea@mediacom.it

Spess si è anche verificato un piccolo smottamento. Dalla bibliografia non è chiara l'entità esatta dei danni provocati da questi fenomeni, tuttavia, dal materiale fotografico consultato e dalle informazioni a disposizione, appaiono essere modesti.



Figura 20 – Esondazione della valletta di Spess sulla strada (dalla pubblicazione di GeoTer, 1997)

Da notare che la scheda dissesti n. 15 della suddetta pubblicazione evidenzia e conferma in buona sostanza le medesime problematiche emerse dal presente studio.

Anche a causa di questi fenomeni, è stato redatto nel 1999 il già citato progetto esecutivo per la sistemazione della Valle Torta ("impluvio nord").

5 INDIVIDUAZIONE E DESCRIZIONE DEI PUNTI CRITICI E CENSIMENTO DELLE OPERE IDRAULICHE NELL'AMBITO DEL CONOIDE INDIVIDUATO

5.1 Punti critici in ambito di conoide

Dai sopralluoghi effettuati, è stato possibile individuare i punti critici sul conoide, dovuti ad esempio a sezioni ristrette, attraversamenti, curve e via discorrendo.

Il conoide ha uno sviluppo piuttosto limitato, ed il punto critico individuato è soltanto uno.

Si tratta, in particolare, della zona terminale del corso d'acqua, al limite inferiore della porzione attiva del conoide. Come già detto ed evidenziato nelle fotografie, in questo punto, che corrisponde all'intersezione con Via di Spess, non è stato rilevato nessun elemento in grado di raccogliere le acque e convogliarle più a valle (tombotti, pozzetti, caditoie o altro). L'acqua e il materiale di trasporto, perciò, si disperdono semplicemente sulla strada sterrata (Via di Spess) e nelle sue immediate pertinenze, senza nessun controllo, andando in questo modo a colpire anche la sottostante Via Locatelli e le strutture nelle vicinanze.

e-mail: gea@mediacom.it

5.2 Opere idrauliche presenti sul conoide

Nell'ambito di conoide non è stata rilevata nessuna opera idraulica.

5.3 Punti critici e opere idrauliche presenti sul bacino

Il bacino di alimentazione del conoide è caratterizzato da una serie di punti critici, e sono inoltre presenti anche alcune opere idrauliche.
Per quanto concerne i primi, si segnalano principalmente:

- IMPLUVIO NORD. Punto di ostruzione per presenza di tronchi abbattuti attorno a 660-670 m s.l.m.
- IMPLUVIO NORD. Ponte di legno sulla mulattiera a quota 625 m s.l.m. circa. La luce del ponte è circa 1,00 m.
- IMPLUVIO SUD. Attraversamento inefficace della condotta forzata attorno a quota 655 m s.l.m. Come già spiegato, l'impluvio sud interseca diagonalmente la condotta forzata; l'assenza di un sistema di passaggio efficace determina accumuli di detrito nella trincea della condotta e sostanziale abbandono della porzione di alveo più a valle. Dato che la condotta forzata compie un brusco salto appena a valle di questo punto ed è interamente in trincea, è possibile che sia l'acqua che il materiale trasportato possano essere convogliati nella trincea stessa, ponendo in potenziale pericolo le strutture poste più a valle. In corrispondenza di questo punto, oltre all'attraversamento inefficace della condotta, è da segnalare anche una brusca piega dell'alveo in direzione nord.
- IMPLUVIO SUD. Intersezione con Via Plazza a quota 620 m s.l.m. circa. L'alveo del torrente, anche se praticamente abbandonato in quanto "catturato" dalla trincea della condotta forzata più a monte, in questo punto interseca la strada e viene convogliato in una sorta di canaletta artificiale che indirizza le

e-mail: gea@mediacom.it

acque verso la caditoia del vero e proprio tombotto, spostato verso l'impluvio nord. La canaletta appare sottodimensionata e ostruita, e comunque questa intersezione sembra generalmente critica.

- IMPLUVI NORD E SUD (apice del conoide). Tombotto lungo Via Plazza a quota 620 m s.l.m. circa. Il tombotto, a sezione circolare di diametro circa 150 cm, appare in buono stato, tuttavia raccoglie potenzialmente sia le acque dell'impluvio nord, sia quelle dell'impluvio sud (benché ormai abbandonato), queste ultime provenienti dalla canaletta di raccolta di cui al punto precedente.

e-mail: gea@mediacom.it

6 COMPILAZIONE SCHEDA CONOIDI

Dalle risultanze delle analisi, delle verifiche precedentemente illustrate e dopo aver effettuato sopralluoghi mirati, si è proceduto alla compilazione della scheda conoidi, secondo i dettami della Regione Lombardia.

Nella figura seguente si riporta in planimetria il conoide delimitato.

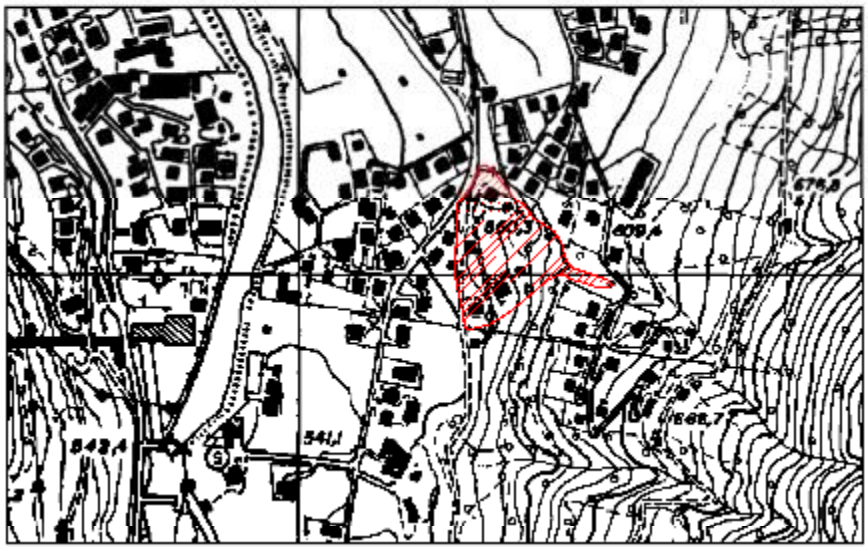


Figura 21 - Conoide individuato

e-mail: gea@mediacom.it

SCHEDA CONOIDI - REGIONE LOMBARDIA

SCHEDA CONOIDE "VIA DI SPESS"

Id conoide	VIA DI SPESS	Data compilazione	15-05-2012	Rilevatore	Studio G.E.A.
Nome località	VIA DI SPESS – VIA FORTINO BASSO	Nome torrente	-		
Comuni	ARDESIO	Provincia	BERGAMO		
C.T.R.	C4e2				

Dati morfometrici della conoide

Superficie (km^2)	0,0145	Larghezza max (m)	185
Volume (m^3)	36000	Pendenza media (%)	31
Quota massima (m slm)	616	Pendenza media alveo (%)	28
Quota minima (m slm)	560	Lunghezza alveo (m)	200
Lunghezza max (m)	200	Indice di Melton	0,47

Dati morfometrici del bacino

Superficie (km 2)	0,38	Pendenza media alveo princip.(%)	57
Quota minima (m slm)	616	Lunghezza tot. rete idrografica(km)	2,45
Quota massima (m slm)	1384	Densità di drenaggio (km/km 2)	6,45
Lunghezza alveo principale (km)	1,14	Indice di Melton	1,25

			FOTO
Dimensione max del materiale (m^3)	apice	0,07	1
	zona mediana	0,07	2
	zona distale	0,07	3

Sviluppo del collettore rispetto all'apice	bisettrice	
	destra	
	sinistra	

Caratteristiche della soglia	In roccia	
	In materiale incoerente	1-2-3
	Mista	

Presenza di uno o più paleoalvei	Si	
	No	

Presunta migrazione del canale attivo

sin-centro	sin-dx	dx-sin
dx-centro	centro-dx	centro-sin

Dinamica dell'alveo

Apice	Mediana	Distale	
			approfondimento
			equilibrio
			innalzamento

Caratteristiche dell'apice

Pendenza tratto a monte (%)	57
Pendenza tratto a valle (%)	28

Caratteristiche del canale attivo sul conoide

	FOTO	Apice	FOTO	Zona mediana	FOTO	Zona distale
canale poco inciso			5		6	
canale inciso	4					
canale pensile						
canale pensile per intervento antropico						
canale regimato con opere di difesa						
torrente canalizzato e/o impermeabilizzato						
alveo tombinato						
canale assente						

SCHEDA CONOIDI - REGIONE LOMBARDIA

Opere presenti sulla conoide

NESSUNA

E	= efficiente
I	= inefficiente

Briglia	quota (m)																	
Soglia	quota (m)																	
Traversa	quota (m)																	
Repellente	quota (m)																	

Difese spondali	quota (m)			quota (m)			quota (m)			quota (m)								
	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E						
	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I						
Difese spondali	quota (m)			quota (m)			quota (m)			quota (m)								
	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E						
	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I						
Difese spondali	quota (m)			quota (m)			quota (m)			quota (m)								
	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E						
	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I						
Selciatone di fondo	quota (m)			quota (m)			quota (m)			quota (m)								
	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E						
	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I						
Scogliere	quota (m)			quota (m)			quota (m)			quota (m)								
	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E						
	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I						
Tombinatura	quota (m)			quota (m)			quota (m)			quota (m)								
	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E	lunghezza (m)		E						
	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I	lunghezza (m)		I						

Vasca d'espans. (m^3)

Punti critici sul conoide

	FOTO		quota
Ponti, attraversamenti		1	
		2	
		3	
		4	

	FOTO		quota
Briglie e/o opere idrauliche che interferiscono con i deflussi		1	
		2	
		3	
		4	

	FOTO		quota
Sezioni obbligate, sezioni ristrette, curve		1	
		2	
		3	
		4	

	FOTO		quota
Possibili superamenti di argine		1	
		2	
		3	
		4	

	FOTO		quota
Possibili rotture di argini		1	
		2	
		3	
		4	

Note

Il punto terminale del corso d'acqua (565 m s.l.m. circa) rappresenta un punto critico (foto 7) per assenza di tombotto o altro collettamento.

Indicazioni di intervento

Gabbionate		Muri di protezione		Demolizioni	
Pulizia alveo		Impermeabilizz. dell'alveo		Rilevati	
Tombinature		Briglie		Briglie selettive / reti per debris flow	
Soglie		Difese spondali/argini		Scogliere	
Repellenti		Sistemazione frane in atto		Vasche di espansione	
Ingegneria natural		Delocaliz. infrastrutture		Vasche di laminazione e collettamento	

SCHEDA CONOIDI - REGIONE LOMBARDIA

Eventi storici

Localizzazione	Attendibilità	Data	Danni	Fenomeno
Via di Spess – Viale Locatelli	Alta	Settembre 1993	n/d	Esondazione e detrito sulla strada
Via di Spess – Viale Locatelli	Alta	Novembre 1996	n/d	Esondazione e detrito sulla strada
Via di Spess – Viale Locatelli	Alta	Ultimo decennio	n/d	Esondazione e detrito sulla strada

Note

Sul conoide non è presente nessuna opera idraulica. Nel bacino a monte, invece, sono presenti alcune opere lungo l'impluvio nord (briglie in legna e pietrame).
Nel bacino a monte sono altresì presenti numerosi punti critici, descritti nella relazione tecnica a cui si rimanda, sia lungo l'impluvio nord che lungo l'impluvio sud. Il tombotto lungo Via Plazza è il punto critico del bacino più prossimo all'apice della conoide.
I punti critici sul bacino, comunque, non interferiscono con la pericolosità del conoide.

Gli eventi storici riportati si riferiscono all'intero ambito tra Balatroni, Spess e Plazza; le informazioni a disposizione non permettono di stabilire se gli eventi del 1993 e del 1996 hanno interessato nello specifico anche il conoide Plazza.

FOTO ALLEGATE



Figura 1 - Materiale in alveo in zona apicale



Figura 2 - Materiale in alveo in zona mediana



Figura 3 - Materiale in alveo in zona distale



Figura 4 - Incisione dell'alveo nella zona apicale



Figura 5 - Incisione dell'alveo nella zona mediana



Figura 6 - Incisione dell'alveo nella zona distale



Figura 7 – Punto critico: punto terminale dell'alveo su Via di Spess senza nessuna opera di collettamento e con deposizione di sedimenti ostruenti allo sbocco (come visibile in fotografia, il materiale depositato dal corso d'acqua in occasione di eventi meteorici intensi viene poi rimosso dalla Via di Spess ed accumulato nel punto di sbocco della valletta ad opera dell'uomo)

ANALISI SULLA PERICOLOSITÀ DEL CONOIDE CON VALUTAZIONI IDROLOGICHE E IDRAULICHE

7 PREMESSA

Si segnala sin d'ora che le valutazioni e i calcoli successivi tengono conto del bacino complessivo afferente all'apice del conoide e quindi ricomprendono anche *l'impluvio Sud*, anche se a tutti gli effetti allo state attuale le acque derivanti da tale sottobacino non afferiscono all'ambito della conoide (riducendo l'estensione del bacino di circa il 25%).

8 STUDIO IDROLOGICO

Innanzi tutto occorre determinare, nella sezione di interesse, le portate di piena affluenti al bacino in esame per differenti tempo di ritorno. Questa determinazione può essere fatta in molteplici modi, si riporta di seguito la procedura seguita nel presente studio.

8.1 Stima dei principali parametri morfometrici

8.1.1 Analisi morfologica delle reti di drenaggio naturali finalizzata alla caratterizzazione della risposta idrologica,

In tempi recenti si vanno sempre più diffondendo le tecniche di delimitazione del bacino idrografico e di identificazione della rete che si fondano sull'utilizzazione della cartografia numerica e la rappresentazione digitale della struttura orografica del bacino.

e-mail: gea@mediacom.it

Le informazioni contenute in un convenzionale supporto cartaceo sono convertibili in formato numerico ottenendo un modello digitale del terreno (Digital Terrain Model, DTM) cioè un modello capace di rappresentare la variazione continua di una determinata variabile (pendenza, uso del suolo, geologia ecc.) per una superficie di interesse. Nel caso particolare in cui la variabile considerata sia la quota dei punti costituenti la superficie in esame il modello prende il nome di DEM (Digital Elevation Model) che, pertanto, deve essere considerato come un particolare DTM. La rappresentazione dei valori della variabile di interesse (quota, pendenza, esposizione ecc.) può essere effettuata facendo ricorso a un modello di tipo vettoriale o di tipo raster. Il modello vettoriale deriva generalmente da tecniche di acquisizione semiautomatica delle informazioni (per esempio, conversione della cartografia cartacea in numerica mediante digitalizzazione) e gli elementi cartografici vengono definiti con un insieme di punti di cui sono definite le coordinate mediante una terna numerica. Il modello raster, o cellulare, deriva generalmente da una procedura di scansione automatica e opera una suddivisione del territorio in celle regolari. Questo tipo di modello consente una rappresentazione di tipo matriciale e la struttura spaziale è deducibile considerando per ciascuna cella quelle ad essa adiacenti.

Per il bacino in studio, a partire da un DEM a maglie regolari si può procedere alla generazione del reticolo idrografico mediante una tecnica automatica capace di individuare la rete sia seguendo il processo di formazione del deflusso sia rispettando l'altimetria del territorio. In quest'ambito ha trovato frequente applicazione l'algoritmo di O'Challagan e Mark che definisce per ogni cella la direzione del deflusso sulla base della massima differenza di quota calcolata considerando le otto celle ad essa circostanti e che considera come cella appartenente al reticolo idrografico quella che drena a monte un'area superiore a un prefissato valore soglia. I reticoli estratti secondo questa tecnica sono ovviamente dipendenti sia dalla dimensione della maglia adottata per costruire il DEM sia dal valore minimo di area

drenata prescelto per classificare una certa maglia come appartenente alla rete.

Infatti l'analisi di reti di drenaggio naturali estratte dai Modelli Digitali di elevazione del Terreno (DTM) viene attuata in misura coerente con i concetti di geomorfologia fluviale tramite un filtro basato su una relazione del tipo ASk > soglia o a soglia costante.
Nelle regioni caratterizzate da una pendenza locale (S) maggiore, è sufficiente un'area contribuente (A) minore per formare e mantenere la canalizzazione, ciò produce strutture drenanti la cui densità di drenaggio, correlata ad area contribuente, pendenza, clima e proprietà del suolo, in generale, non potrà essere considerata costante se non per bacini di modesta estensione caratterizzati da proprietà del suolo uniformi, al contrario di ciò che si otterrebbe con un filtro basato sul solo valore dell'area contribuente usato come soglia.

Una tale descrizione della rete idrografica, permette di individuare il reticolo idrografico nelle sue parti essenziali, canali e versanti.
In questo modo, la risposta idrologica complessiva risente del carattere più spiccatamente montano, o vallivo, delle singole componenti, consentendo una ottima capacità di riproduzione delle caratteristiche principali dell'idrogramma di piena – portata e tempo al picco – in diversi ambienti morfologici.

Lo sviluppo verso monte dei drenaggi superficiali naturali è infatti limitato da una soglia di canalizzazione, che costringe il versante ad assumere una lunghezza tale da permettere la formazione ed il sostentamento del drenaggio alveato. Diversamente, la variabilità spaziale nelle caratteristiche del territorio si riflette nell'eterogeneità della lunghezza dei versanti e della densità dei drenaggi. La struttura idrografica ottenuta mette in evidenza le componenti del deflusso superficiale alveate e non, e permette di introdurre informazioni relative alla

e-mail: gea@mediacom.it

cinematica dei processi che hanno rispettivamente luogo per le due componenti.

La Regione Lombardia ha provveduto a coprire tutto il territorio regionale con un modello di elevazione del terreno a passo 20x20 metri ottenuto a partire dalla cartografia 1:10.000.
Tale modello di elevazione del terreno appare, per il suo notevole dettaglio spaziale, un ottimo punto di partenza per l'effettuazione di calcoli finalizzati alla individuazione di quantità che siano di interesse nella gestione del territorio.
Su modello di elevazione regionale sopracitato, è stato utilizzato uno specifico algoritmo di calcolo che consente l'estrazione del bacino idrografico e la ricostruzione del reticolo di drenaggio.
Utilizzando tale modello di elevazione, sono stati calcolati i principali parametri morfologici del bacino oggetto di studio.

8.1.2 Descrizione dei principali parametri morfologici

L'area planimetrica del bacino è la somma delle celle del modello di elevazione, moltiplicate per l'area elementare della cella.

L'area effettiva del bacino è basata sull'area della superficie inclinata la cui proiezione è l'area della cella del DEM.

La *lunghezza totale della rete permanente* è la lunghezza complessiva del reticolo canalizzato, Ltot.

e-mail: gea@mediacom.it

La *pendenza media*, che condiziona il valore della velocità di ruscellamento, può essere determinata con un procedimento semplice anche se piuttosto laborioso.

$$i_m = e\frac{\sum li}{S}$$

dove:

e = equidistanza delle isoipse

li = lunghezza della i-esima striscia delimitata da due generiche isoipse

S = superficie del bacino

Altitudine media (h_m)

Per ricavare tale informazione morfometrica è necessario suddividere la superficie A del bacino in aree parziali Aj comprese tra due curve di livello, assegnando una quota media hj pari alla media delle quote delle due curve di livello che la delimitano. L'altitudine media del bacino è la media pesata delle quote medie hj con peso la superficie parziale:

L'altitudine media è riferita al livello del mare.

$$h_m = \frac{1}{S}\sum_{1}^{k} S_i z_i$$

dove S_i = area tra due curve di livello; z_i =altitudine media dell'area S_i.

e-mail: gea@mediacom.it

RIASSUNTO PARAMETRI

PARAMETRO GEOMORFOLOGICO	*VALORE*
Area planimetrica del bacino [Kmq]	0,38
Area effettiva del bacino [Kmq]	1,09
Lunghezza del perimetro del bacino [Km]	3,68
Altezza media [m]	1010
Altezza massima [m]	1384
Altezza minima [m]	616
Pendenza media bacino [m/m]	0,79
Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0,57
Lunghezza dell'asta principale [m]	1,14
Lunghezza totale della rete idrografica [m]	2,45

e-mail: gea@mediacom.it

8.2 Curve di possibilità pluviometrica

(Tratto in parte dagli studi condotti dal Prof. Paoletti all'interno del gruppo di lavoro per gli studi di settore al P.T.C.P. relativo al settore ambientale e di cui il sottoscritto era il coordinatore)

8.2.1 Elaborazioni PAI

Le curve di possibilità pluviometrica per il bacino in esame sono dedotte dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) che suddivide il bacino in celle di ciascuna delle quali fornisce i parametri. La curva è data nella forma:

$$h = a \cdot \theta^n$$

dove:

h è l'altezza di pioggia attesa, in [mm];

θ è la durata di pioggia, in [h];

a, n sono parametri che dipendono dal tempo di ritorno dell'evento T, dati per ciascuna cella e riportati nella seguente tabella.

Il totale è di 1 celle; poiché ciascuna cella è quadrata di lato 2 km, la superficie coperta è di 4 km^2, superiore a quella del bacino complessivo. In altri termini, il bacino complessivo rimane, come è corretto che sia, all'interno dell'area discretizzata dalla celle selezionata.

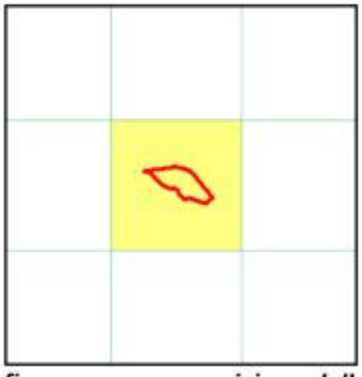


Figura 22 - Bacino idrografico con sovrapposizione delle celle PAI sottese (gialle).

e-mail: gea@mediacom.it

Si costruiscono le curve di possibilità pluviometrica semplicemente effettuando una media sui valori.

8.3 Ietogramma sintetico di progetto e depurazione delle perdite

8.3.1 Ietogramma di progetto

Lo ietogramma è *"un istogramma che rappresenta, per intervalli di tempo di assegnata durata Δt, il valore dell'altezza di pioggia (o dell'intensità) verificatesi in ciascuno di tali intervalli"* (Maione, 1995).

Lo ietogramma sintetico delle piogge lorde, viene ricavato e dedotto direttamente, in mancanza di dati di pioggia diretti riferiti ad uno specificato evento, dalle curve di possibilità pluviometrica, con analisi statistiche più o meno complesse.

Ad uno ietogramma di progetto è associato un certo tempo di ritorno, o meglio qualche parte dello ietogramma (volume totale, intensità di picco, ecc.) presenta quel tempo di ritorno.

Si è scelto in fase progettuale di utilizzare uno ***ietogramma di tipo Chicago*** per il calcolo dell'idrogramma di piena.

Questo tipo di ietogramma, ha la proprietà che, se si considera una durata parziale all'interno della durata complessiva della pioggia, l'intensità del massimo scroscio relativo a tale durata è congruente con la curva di possibilità pluviometrica. Ha inoltre la qualità di essere poco sensibile alla variazione della durata di base d.

e-mail: gea@mediacom.it

Non è così indispensabile trovare la durata critica dell'evento, essendo sufficiente che lo ietogramma abbia una durata maggiore o uguale alla durata critica presumibile per il bacino.

Un parametro di fondamentale importanza per questo tipo di ietogramma è la posizione del picco. Si è scelto di porlo a 3/8 della durata complessiva dell'evento sintetizzato.

Si è scelto di non ragguagliare gli ietogrammi con la procedura Wallingford.

8.3.2 Depurazione delle perdite

Un passo importante per la determinazione della pioggia di progetto, è quello di depurare lo ietogramma *lordo* dalle cosiddette "perdite", in modo da riuscire a individuare uno ietogramma *netto* che sia il più possibile congruo con la situazione studiata.

Lo ietogramma lordo prima dedotto è stato depurato delle perdite idrologiche mediante il ***metodo CN-SCS***, sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS) del dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti.

Nell'ipotesi che:

- esista proporzionalità tra il deflusso netto, R, e l'afflusso meteorico lordo, P, depurato dalle perdite iniziali per detenzione superficiale, la
- sia verificata la continuità della massa,

e-mail: gea@mediacom.it

si dimostra che il volume specifico di pioggia efficace R, conseguente alla precipitazione di altezza generica P, risulta

$R = ((P-Ia)^2)/(P-Ia+S)$ per P>Ia

$R = 0$ per P<Ia

nella quale la rappresenta la perdita iniziale, frutto del complesso di fenomeni di intercettazione ed imbibimento che si attuano nella fase iniziale della precipitazione, ed S rappresenta il massimo volume specifico che può essere invasato dal terreno, in funzione delle sue caratteristiche di permeabilità e dell'uso che di esso viene fatto.

Il valore di S è determinato in base a quello del parametro CN secondo la relazione:

$$S = S_0(100/CN - 1)$$

Con S_0 = 254 nel caso in cui S si esprima in mm. Le altezze di pioggia per un generico Δt restano perciò determinate sottraendo all'altezza di pioggia netta, R, calcolata nell'istante $(t+\Delta t)$ quella calcolata nell'istante t.

I valore del CN viene desunto da un'analisi incrociata tra il tipo idrologico di suolo e la tipologia di uso del territorio.

Utilizzando questi valori si perviene ad un risultato comparabile con le esperienze di altri bacini simili, risultando un coefficiente di deflusso di circa 0,45-0,50.

e-mail: gea@mediacom.it

8.4 Calcolo della portata massima di piena

Quando l'oggetto di studio è costituito da bacini idrografici privi di misure di portata, o dove queste siano insufficienti per una stima diretta con metodi statistici della distribuzione di probabilità della portata al colmo, quest'ultima deve essere stimata indirettamente a partire dalle informazioni pluviometriche, generalmente di maggiore disponibilità. In seguito si illustrano in sintesi alcune classiche metodologie che consentono di valutare la portata al colmo alla sezione di chiusura del bacino attesa note le caratteristiche pluviometriche della zona in esame.

È importante sottolineare che, operando la stima della portata al colmo a partire dalla precipitazione, si ritiene implicitamente valida l'ipotesi che la frequenza di accadimento degli eventi meteorici estremi caratterizza direttamente quella della portata al colmo; questa ipotesi, sebbene discutibile, è applicabile in prima approssimazione a bacini montani di piccole dimensioni simili a quello in esame.

Quindi, per il calcolo della portata di piena del corso d'acqua, in mancanza di misurazioni dirette di portata al colmo, si sono utilizzate varie formule che sono usualmente accettate per il dimensionamento e la verifica delle opere idrauliche.

Tra queste, alcune sono di natura empirica ed hanno un certo interesse per valutazioni speditive di prima approssimazione; altre sono derivate da calcoli indiretti delle portate (*razionale*), altre ancora seguono un approccio più modellistico (*invaso lineare, Nash, corrivazione*).

Per l'utilizzo di queste espressioni occorre conoscere alcuni parametri tipici del bacino interessato, in particolare quelli descritti nei capitoli precedenti.

e-mail: gea@mediacom.it

Nel nostro caso si è scelto di utilizzare le seguenti formule:

Empiriche

- ***Forti***
- ***Paoletti***
- ***Anselmo***

Modello afflussi-deflussi (stima portata critica)

- ***Formula razionale***

Modelli lineari afflussi-deflussi (ricostruzione idrogramma)

- ***Metodo di Nash***
- ***Metodo dell'Invaso***

e-mail: gea@mediacom.it

8.4.1 Descrizione delle formule utilizzate

- ***Forti - De Marchi***

Formula empirica che associa la portata solo all'area del bacino, non dedotta con considerazioni di carattere statistico.
E' utile per avere dei confronti con le altre formule.

- ***Prof. Paoletti***

Ci si è avvalsi inoltre dei dati risultanti dallo studio relativo al P.T.C.P. redatto dal Prof. Paoletti.
In questo studio sono stati analizzati vari bacini, per riuscire a ricavare una relazione empirica che legasse i valori di portata al colmo alla superficie. In particolare sono stati analizzati i valori di portata centennale e duecentennale per vari bacini di diverse dimensioni.
Tale relazione è espressa dalla formula:

$$u = 15.38 * S^{-0.39}$$

dove:
u = contributo unitario di piena per chilometro quadrato.
S = superficie del bacino idrografico interessato
E' da tenere in considerazione che questa espressione è stata ricavata per un tempo di ritorno pari a cento anni.

e-mail: gea@mediacom.it

- ***Anselmo***

Formula empirica riportata nel capitolo di *zonazione della pericolosità generata da colate di detrito,* dei criteri attuativi della legge regionale 12/05 per il governo del territorio e sue successive modifiche. Anche in questo caso, il parametro richiesto è dato dal solo bacino imbrifero in esame.

- ***Formula Razionale***

E' stata utilizzata, come detto in precedenza, la formula razionale (una delle varie espressioni del modello afflussi – deflussi), che raccoglie diversi parametri e considera uno ietogramma ad intensità costante.

La Formula Razionale esprime la portata al colmo di piena come prodotto tra l'intensità di precipitazione, i, di assegnata durata d, il coefficiente di afflusso ϕ, la superficie del bacino A il coefficiente di attenuazione ε(dc):

$$Q_c = A\,\Phi(d_c)\,i(d_c)\,\varepsilon(d_c) \qquad (1)$$

dove con dc si è indicato il valore di durata critica, ossia la durata di pioggia che da luogo alla massima portata di piena.
L'intensità di precipitazione che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica. Questa esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione, d. Tale curva è riportata dalla letteratura tecnica secondo le due forme equivalenti:

e-mail: gea@mediacom.it

$$h(d) = m(d)$$
$$i(d) = \frac{h(d)}{d} \qquad (2)$$

La prima delle quali da come risultato l'altezza di pioggia complessiva in mm dell'evento caratterizzato dalla durata d, mentre la seconda fornisce l'intensità media di tale evento e dove:

$$m(d) = a_1 d^n \qquad (3)$$

Dove a_1 è un parametro, corrispondente alla altezza di pioggia di durata oraria, dipendente dalla rarità dell'evento considerato. I parametri di tali formule, note come linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, sono stimati in funzione della posizione geografica sito per sito.

La durata di pioggia critica (dc), necessaria per determinare dalla (2) l'altezza di pioggia, è assunta pari al tempo di corrivazione (tc) ossia quel tempo per cui tutta l'area del bacino contribuisce alla formazione della piena alla sezione di chiusura.

$$d_c = t_c \qquad (4)$$

Tale tempo di corrivazione può essere ricavato tramite opportune espressioni empiriche, a partire dai parametri morfologici del bacino. Con tale metodo, il valore del coefficiente di attenuazione, $\varepsilon(dc)$, viene posto pari ad uno, ossia si assume che il bacino non eserciti alcuna azione di attenuazione sulla piena (modello cinematico). Tale approssimazione è adatta in particolare per bacini montani, che non esercitano

e-mail: gea@mediacom.it

rilevanti effetti di invaso e laminazione.

Formula di Giandotti (1934)	$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{DH}}$
Formula del Soil Conservation Service-*CN* (1975)	$T_c = \frac{L_{ap}^{0.8}\left[(1000/CN - 9)\right]^{0.7}}{20\, i_{media}^{0.5}}$

Tabella : Formule utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione. Dove i media è la pendenza media del bacino espressa in numero percentuale (es. 22% = 22) e DH il dislivello medio riferito all'incile in metri.

Modelli parametrici lineari (Invaso, Nash, corrivazione)

Simulano il comportamento dei bacini idrografici con un insieme di canali e serbatoi. La caratteristica più importante è quella della proporzionalità tra ingresso e uscita.
La portata uscente è definita dall'integrale di convoluzione:

$$q(t) = \int_0^t u(t-\tau) \cdot p(\tau) \cdot dt$$

La funzione *u(t)* è definita I.U.H. (Istantaneus Unit Idrograph) idrogramma unitario istantaneo.

La forma dello I.U.H. dipende dal modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato.

Metodo di Nash

Simula il comportamento del bacino mediante n serbatoi posti in serie caratterizzati dalla medesima costante temporale k e nessun canale.
Il suo I.U.H. è così rappresentato:

$$u(t) - \frac{1}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-t/k}$$

E' caratterizzato da una curva avente il colmo al tempo:

$$t_p = k \cdot (n-1)$$

dove *tp* è da assumere approssimativamente pari a metà del *tc*.
Per n si assumono valori non elevati, di solito n=3.

- ***Metodo dell'invaso lineare***

Si basa sull'ipotesi che durante la piena in tutti i canali costituenti la rete idrografica del bacino la superficie libera della corrente muti la sua posizione traslando parallelamente a se stessa (funzionamento sincrono).

La formazione della piena si ipotizza avvenga per fenomeni di invaso simili a quelli che hanno luogo in un serbatoio soggetto ad afflussi variabili nel tempo ed a deflussi dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della bocca di uscita.
Il suo I.U.H. è così rappresentato:

$$u(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-t/k}$$

dove k è un parametro che rappresenta le caratteristiche del bacino.

In mancanza di tarature di eventi noti, che consentono la stima del valore di k, si ricorre a formulazione derivanti numerose tarature e riscontri.

Nel nostro caso si è scelto l'utilizzo del modello URBIS (Paoletti e Mignosa 1986) che propone di stimare la costante k in funzione del tempo di corrivazione come:

$$k = 0.7 \cdot Tc \qquad (3)$$

e-mail: gea@mediacom.it

DATI E GRAFICI DEI CALCOLI DI PORTATA DEL CORSO D'ACQUA

- ***Scheda riassuntiva dei dati del bacino***
- ***Formula del Paoletti (T = 100 anni)***
- ***Formula del Forti (T = 100 anni)***
- ***Formula di Anselmo (T = 100 anni)***
- ***Formula Razionale (T = 20, 100, 200 anni)***
- ***Metodo di Nash (T = 20, 100, 200 anni)***
- ***Metodo dell'Invaso (T = 20, 100, 200 anni)***

e-mail: gea@mediacom.it

DATI BACINO

Bacino Ardesio - Loc. Via di Spess

DATI

Parametri geo-morfologici

A	0.38	Km^2	Area
L	1.14	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
h max	1384	m s.l.m.	Altitudine massima del bacino
h med	1010	m s.l.m.	Altitudine media del bacino
h min	616	m s.l.m.	Altitudine sezione di chiusura

Parametri pluviometrici

a	62.89	-	Parametro della ccp (funzione del tempo di ritorno)
n	0.40	-	Parametro della ccp

Coefficiente di afflusso

ϕ	0.45	-

CALCOLI

Calcolo del tempo di corrivazione (Giandotti)

$$Tc = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - ho}}$$

Tc	0.26	ore
	15.00	min

Calcolo del parametro k (Metodo dell'invaso)

k	0.18	ore
	10.50	min

Calcolo dei parametri k e n (Metodo di Nash)

n	3.00	
k	0.07	ore
	3.94	min

FORMULA DI FORTI

Bacino Ardesio - Loc. Via di Spess

DATI

A	0.38	Kmq	Area

Per bacini di superficie A inferiore a 1000 km^2

$$q\ \max = \frac{500 \cdot b}{A + 125} + a$$

CALCOLI

a) Bacini con pioggia massima giornaliera mai registrata **< 200 mm/giorno**

qc	9.47	$m^3/(s*Km^2)$
Q	**3.60**	**m^3/s**

b) Bacini con pioggia massima giornaliera mai registrata **< 400 mm/giorno**

qc	13.96	$m^3/(s*Km^2)$
Q	**5.31**	**m^3/s**

De Marchi

c) Bacini soggetti a pioggie elevatissime (**400 mm in 12 ore** e oltre) e di superficie fino a circa 150 kmq

qc	28.93	$m^3/(s*Km^2)$
Q	**10.99**	**m^3/s**

Scelta del valore che interessa

Q	**3.60**	**m^3/s**

NOTE

La formula ha un interesse per lo più storico, in quanto dedotta in epoca ormai remota e quindi a partire da una base di dati idrometrica molto meno ampia di quella disponibile al giono d'oggi.

FORMULA DI PAOLETTI

Bacino Ardesio - Loc. Via di Spess

DATI

A	0.38	Km^2	Area

CALCOLI

$$qc = 15.38 \cdot (A^{-0.39})$$

qc	22.43059	$m^3/(s*Km^2)$
Q	**8.52**	**m^3/s**

Note: Formula ricavata dall'analisi di vari bacini nello studio del P.T.C.P.

FORMULA METODI RAZIONALI (afflussi - deflussi)

Bacino Ardesio - Loc. Via di Spess

DATI

A	0.38	Km^2	Area
L	1.14	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
hm	1010.00	mslm	Altitudine media del bacino
ho	616.00	mslm	Altitudine sezione di chiusura
ε	1.00	-	Coefficiente di laminazione
ϕ	0.45	-	Coefficiente di deflusso
a	62.89	-	Parametro funzione del tempo di ritorno
n	0.40	-	Parametro

Per il calcolo del Tempo di Corrivazione (Tc)

(Da carte o analisi statistiche)

CALCOLI

Calcolo del tempo di corrivazione

$$Tc = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - ho}}$$

Tc 0.26 ore

Calcolo della portata

$$qc = \frac{1}{3.6} \cdot \phi \cdot \varepsilon \cdot A \cdot a \cdot Tc^{n-1}$$

Q **6.66** **m^3/s**

N.B. 3.6 è un fattore di conversione per le U.M.

NOTE

La formula del tempo di corrivazione è quella di ***Giandotti***

FORMULA DI ANSELMO

Bacino Ardesio - Loc. Via di Spess

DATI

A	0.38	Km^2	Area

CALCOLI

$$Q = \left[\frac{200}{A + 28} + 0.6\right] \cdot A$$

q	7.65	$m^3/(s*Km^2)$
Q	**2.91**	**m^3/s**

Note: Formula riportata nei criteri attuativi della L.R. 12/05 per il governo del territorio (d.g.r. n. 8/7374 - 28/05/08)

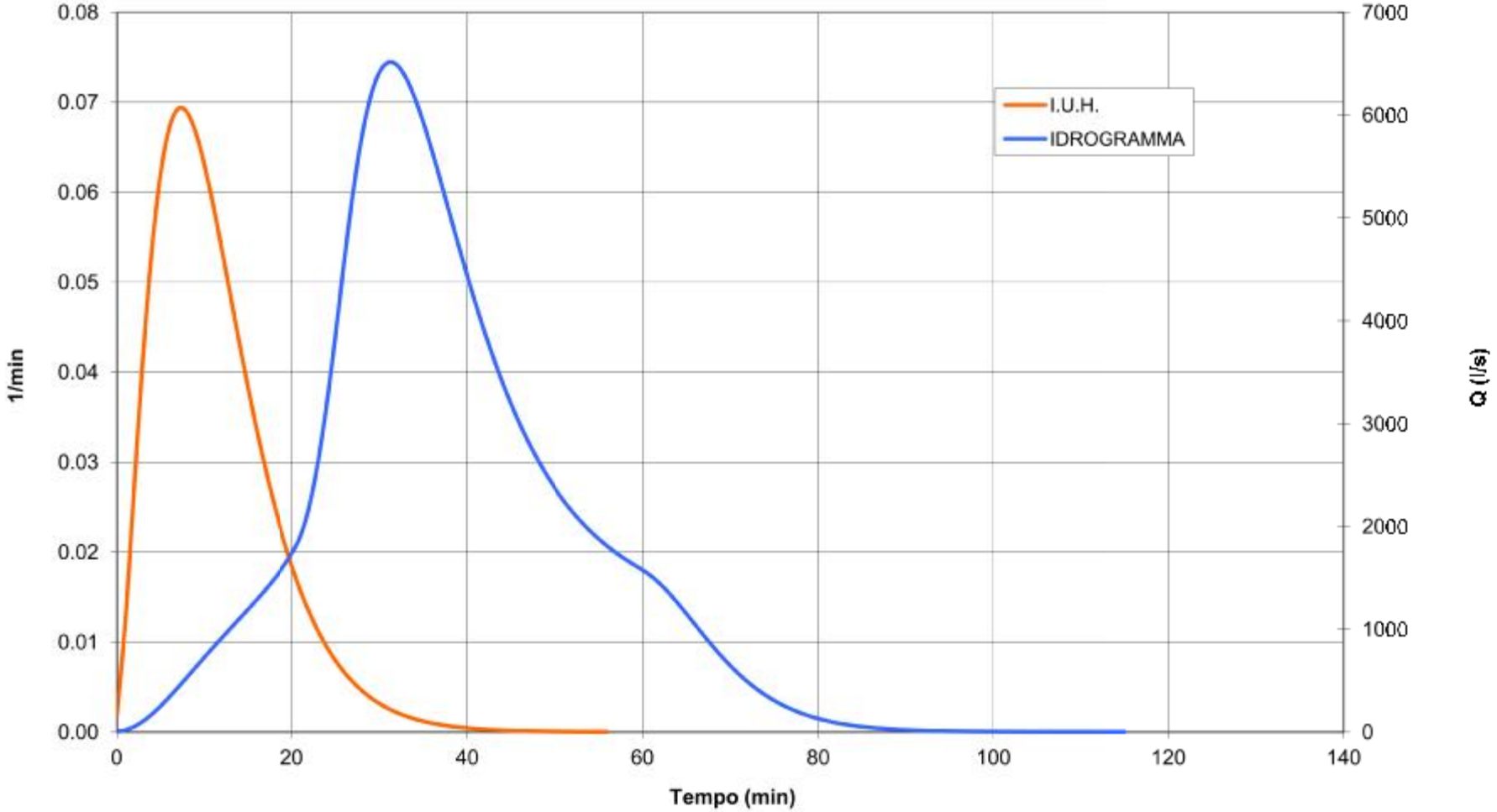
FORMULA METODO DI NASH

Bacino Ardesio - Loc. Via di Spess

TEMPO	I.U.H. 1/min	IDROGRAMMA l/s
0	0.00185376	2.243
1	0.01291039	17.926
2	0.02775104	52.004
3	0.04208990	104.404
4	0.05384052	172.553
5	0.06223748	252.914
6	0.06726603	341.868
7	0.06930013	436.183
8	0.06887979	533.227
9	0.06657997	631.028
10	0.06293865	728.257
11	0.05842207	824.165
12	0.05341280	918.515
13	0.04820962	1011.515
14	0.04303726	1103.771
15	0.03805524	1196.274
16	0.03337040	1290.420
17	0.02904772	1388.102
18	0.02512013	1491.916
19	0.02159683	1605.590
20	0.01847017	1734.982
21	0.01572109	1903.487
22	0.01332334	2190.076
23	0.01124673	2622.205
24	0.00945943	3188.629
25	0.00792968	3860.081
26	0.00662689	4585.969
27	0.00552237	5253.603
28	0.00458979	5795.318
29	0.00380530	6183.641
30	0.00314766	6417.739
31	0.00259807	6511.355
32	0.00214013	6485.528
33	0.00175956	6363.751
34	0.00144409	6168.029
35	0.00118320	5922.245
36	0.00096789	5641.372
37	0.00079056	5341.251
38	0.00064484	5033.691
39	0.00052525	4727.750
40	0.00042729	4430.106
41	0.00034718	4145.447
42	0.00028176	3876.840
43	0.00022841	3626.079
44	0.00018497	3393.975
45	0.00014964	3180.606
46	0.00012094	2985.527
47	0.00009766	2807.926
48	0.00007878	2646.760
49	0.00006350	2500.652
50	0.00005115	2368.963
51	0.00004116	2249.850
52	0.00003310	2142.303
53	0.00002660	2045.166
54	0.00002136	1957.362
55	0.00001714	1877.894
56	0.00001375	1805.651
57		1740.396

58		1680.605
59		1626.415
60		1574.440
61		1513.478
62		1438.784
63		1350.814
64		1252.527
65		1147.775
66		1040.398
67		933.760
68		830.557
69		732.784
70		641.789
71		558.367
72		482.862
73		415.279
74		355.363
75		302.694
76		256.740
77		216.906
78		182.499
79		153.024
80		127.898
81		106.573
82		88.547
83		73.459
84		60.798
85		50.208
86		41.376
87		34.028
88		27.931
89		22.884
90		18.715
91		15.279
92		12.452
93		10.131
94		8.228
95		6.671
96		5.399
97		4.362
98		3.516
99		2.829
100		2.271
101		1.817
102		1.450
103		1.153
104		0.913
105		0.720
106		0.564
107		0.438
108		0.337
109		0.256
110		0.191
111		0.139
112		0.097
113		0.064
114		0.038
115		0.017
	Σ IUH	**Portata al colmo**
	1.0	**6511.36** **l/s**
		6.51 **m^3/s**

IDROGRAMMA CALCOLATO CON IL METODO DI NASH



Studio G.E.A. di S. Ghilardi C.
Via Tezze 1/A 24020 Ranica (BG)
Tel. e Fax. 035340112 e-mail: gea@mediacom.it

FORMULA METODO DELL'INVASO

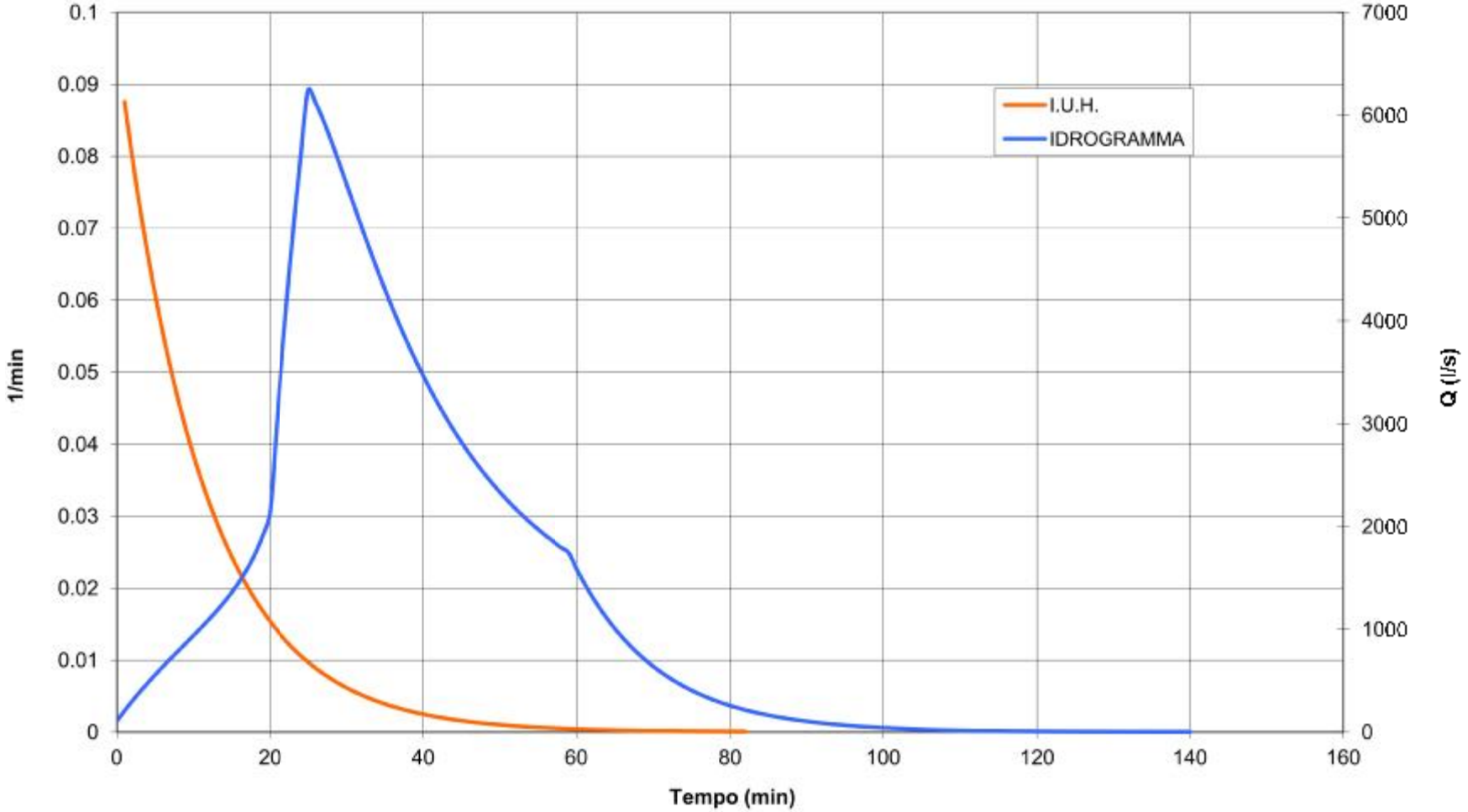
Bacino Ardesio - Loc. Via di Spess

TEMPO	I.U.H. 1/min	IDROGRAMMA l/s
0		105.937
1	0.087555191	205.548
2	0.079693481	299.611
3	0.072902225	398.875
4	0.066522755	474.054
5	0.060701535	555.844
6	0.055389713	634.933
7	0.050542714	712.017
8	0.046119862	787.808
9	0.042084042	863.060
10	0.038401385	938.603
11	0.035040587	1015.353
12	0.031974648	1094.390
13	0.029176636	1177.017
14	0.02662347	1264.681
15	0.024293724	1360.159
16	0.022167849	1465.683
17	0.020228002	1586.547
18	0.018457906	1729.351
19	0.016842706	1907.158
20	0.015368848	2147.162
21	0.014023563	3120.894
22	0.012796765	4009.418
23	0.011676956	4020.190
24	0.010655138	5560.014
25	0.009722737	6235.097
26	0.008871927	6115.515
27	0.00809557	5947.598
28	0.007387149	5753.241
29	0.00674072	5545.142
30	0.006150859	5331.199
31	0.005612614	5116.531
32	0.00512147	4904.527
33	0.004673304	4697.442
34	0.004264357	4496.765
35	0.003891195	4303.452
36	0.003550687	4118.078
37	0.003239976	3940.947
38	0.002956455	3772.169
39	0.002697744	3611.711
40	0.002461672	3459.439
41	0.002246258	3315.147
42	0.002049694	3178.577
43	0.001870331	3049.439
44	0.001706664	2927.421
45	0.001557318	2812.198
46	0.001421042	2703.442
47	0.00129669	2600.824
48	0.001183221	2504.020
49	0.00107968	2412.713
50	0.0009852	2326.595

51	0.000698888	2245.372
52	0.00082032	2168.757
53	0.000748536	2096.480
54	0.000683034	2028.282
55	0.000623264	1963.916
56	0.000568724	1903.150
57	0.000518856	1845.763
58	0.000473544	1791.547
59	0.000432105	1740.306
60	0.000394293	1688.017
61	0.000359789	1448.054
62	0.000328305	1322.251
63	0.000299576	1206.545
64	0.000273361	1100.963
65	0.00024944	1004.621
66	0.000227612	916.709
67	0.000207695	836.491
68	0.00018952	763.292
69	0.000172935	696.498
70	0.000157802	635.550
71	0.000143994	579.934
72	0.000131393	529.186
73	0.000119895	482.878
74	0.000109404	440.623
75	9.98299E-05	402.065
76	9.10941E-05	366.882
77	8.31227E-05	334.777
78	7.58489E-05	305.482
79	6.92115E-05	278.750
80	6.3155E-05	254.357
81	5.76285E-05	232.099
82	5.25856E-05	211.731
83		193.143
84		176.180
85		160.700
86		146.572
87		133.678
88		121.911
89		111.170
90		101.366
91		92.417
92		84.247
93		76.768
94		69.976
95		63.755
96		58.071
97		52.877
98		48.126
99		43.779
100		39.793
101		36.131
102		32.746
103		29.244
104		26.048
105		23.132
106		20.471
107		18.043

108		16.251
109		14.609
110		13.152
111		11.839
112		10.655
113		9.584
114		8.616
115		7.741
116		6.948
117		6.230
118		5.580
119		4.992
120		4.458
121		3.975
122		3.538
123		3.141
124		2.782
125		2.457
126		2.163
127		1.896
128		1.655
129		1.437
130		1.239
131		1.061
132		0.900
133		0.754
134		0.622
135		0.503
136		0.396
137		0.299
138		0.212
139		0.134
140		0.063
	Σ IUH	**Portata al colmo**
	1.0	**6235.1** **l/s**
		6.24 **m^3/s**

IDROGRAMMA CALCOLATO CON IL METODO DI INVASO



Studio G.E.A. di S. Ghilardi C.
Via Tezze 1/A 24020 Ranica (BG)
Tel. e Fax. 035340112 e-mail: gea@mediacom.it

8.5 Considerazioni finali sui valori di portata al colmo considerati

Di seguito vengo riassunti i valori delle portate al colmo per i differenti tempi di ritorno.

Tr = 20 anni:

Tipo Formula	*Denominazione*	*PORTATA T = 20 anni*	*[u.m.]*
Afflussi – deflussi (Qc)	**Razionale**	**5,27**	**[m^3/s]**
Modelli Lineari	**Metodo Nash Iet. Chicago**	**5,16**	**[m^3/s]**
	Metodo Invaso Iet. Chicago	**4,94**	**[m^3/s]**

Tr = 100 anni:

Tipo Formula	*Denominazione*	*PORTATA T = 100 anni*	*[u.m.]*
Empirica	**Forti – De Marchi**	**3,60**	**[m^3/s]**
	Anselmo	**2,91**	**[m^3/s]**
Regionalizzazione	**Prof. Paoletti**	**8,52**	**[m^3/s]**
Afflussi – deflussi (Qc)	**Razionale**	**6,66**	**[m^3/s]**
Modelli Lineari	**Metodo Nash Iet. Chicago**	**6,51**	**[m^3/s]**
	Metodo Invaso Iet. Chicago	**6,24**	**[m^3/s]**

e-mail: gea@mediacom.it

Tr = 200 anni:

Tipo Formula	*Denominazione*	*PORTATA T = 200 anni*	*[u.m.]*
Afflussi – deflussi (Qc)	**Razionale**	**7,26**	**[m^3/s]**
Modelli Lineari	**Metodo Nash Iet. Chicago**	**7,10**	**[m^3/s]**
	Metodo Invaso Iet. Chicago	**6,80**	**[m^3/s]**

In definitiva, considerando che le formule empiriche e di regionalizzazione non prevedono l'utilizzo di dati diretti del bacino, se non la sola area, si può stimare una portata per i diversi tempi di ritorno, a favore di sicurezza, pari a:

TEMPO DI RITORNO	PORTATA	*[u.m.]*
Tr = 20 anni	**5,0**	[m^3/s]
Tr = 100 anni	**6,0**	[m^3/s]
Tr = 200 anni	**7,0**	[m^3/s]

Si ricorda che i calcoli tengono conto del bacino complessivo afferente all'apice del conoide e quindi ricomprendono anche *l'impluvio Sud*, anche se a tutti gli effetti allo state attuale le acque derivanti da tale sottobacino non afferiscono all'ambito della conoide riducendo l'estensione del bacino di circa il 25%, con conseguente modifica dei valori di portata realmente transitabili alla sezione di chiusura.

e-mail: gea@mediacom.it

9 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA COLATE DETRITICHE

La caratteristica principale del bacino idrografico in esame riguarda la presenza sulla conoide di accumuli di materiale detritico di granulometria eterogenea, dei quali si vuole individuare l'origine e il volume oltre che il meccanismo fisico attraverso cui i detriti giungono fino a valle, al fine di individuare le migliori misure di mitigazione del rischio.

Valutare la pericolosità di una colata detritica significa definire la magnitudo, ovvero il volume di materiale mobilitato e depositato durante un singolo evento e la probabilità di accadimento ad essa associata. La predizione della magnitudo e della probabilità di accadimento di un evento non sono operazioni semplici a causa della complessità del fenomeno e della scarsa disponibilità di dati per validare le metodologie. La complessità del fenomeno è dovuta al fatto che i numerosi fattori geologici, idraulici e pluviometrici connessi alle fasi di innesco, propagazione e deposito di una colata detritica sono caratterizzati da una variabilità sia spaziale che temporale che ne rende difficile la determinazione.

Per stimare la quantità di materiale che potrebbe essere movimentata e soprattutto la pericolosità si è proceduto con un confronto tra i risultati ottenuti in seguito all'applicazione di differenti metodologie, alcune molto semplici, altre più complesse.

e-mail: gea@mediacom.it

9.1 Valutazione della possibilità di accadimento di una colata detritica

Nella prima fase di questa analisi si cerca innanzitutto di stabilire, da un punto di vista qualitativo, se il bacino oggetto di studio è predisposto alla formazione di colate detritiche. La valutazione viene condotta attraverso dei metodi speditivi, in base ad alcune caratteristiche morfologiche del bacino idrografico e della conoide ed in accordo con gli studi effettuati da altri Autori.

9.1.1 Metodo dell'indice di Melton

Un metodo, molto utilizzato e semplice da applicare, per una valutazione preliminare del tipo di processi torrentizi sulle conoidi, è quello basato sull'indice di Melton.
L'indice di Melton è un parametro adimensionale, funzione di alcune caratteristiche morfologiche del bacino, che fornisce un'informazione sulla pendenza media del bacino e che è definito dalla seguente espressione:

$$Mel = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}}$$

dove H_{max} e H_{min} indicano, rispettivamente, l'altitudine massima e minima del bacino, espressi in *km s.l.m.*, e *A* rappresenta la superficie del bacino, espressa in km^2.

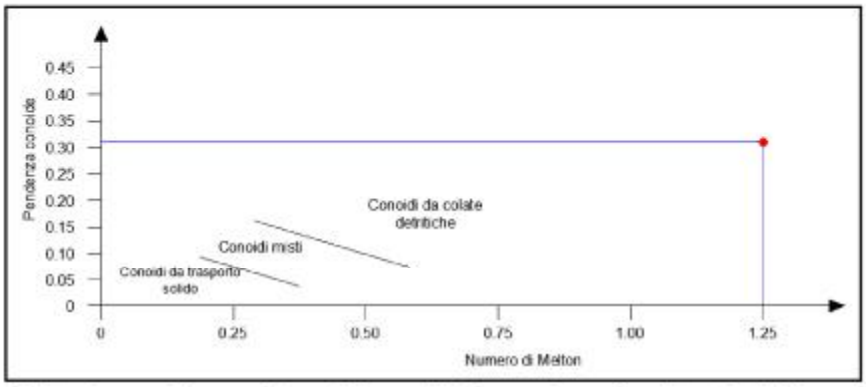


Figura 23 - Valutazione della predisposizione alla formazione di colate detritiche con l'indice di Melton

e-mail: gea@mediacom.it

Il metodo è basato sul confronto tra la pendenza della conoide e l'indice di Melton; inserendo la coppia di valori di questi due parametri nel grafico riportato in figura precedente è possibile ricavare delle informazioni qualitative sul tipo di trasporto a cui può essere soggetta la conoide (trasporto solido, trasporto solido e colate detritiche, colate detritiche).

Dal grafico si può osservare come il conoide oggetto di studio sembrerebbe predisposto alla formazione di colate detritiche, essendo caratterizzato da un indice di Melton pari a 1,25 e da una pendenza media della conoide pari a 31%.

9.1.2 Metodo di Aulitzky

Un secondo metodo per valutare la possibilità che si possano verificare colate detritiche nel bacino in esame è il metodo di Aulitzky;

Il metodo prevede, per ogni zona omogenea da indagare, una risposta a dei quesiti finalizzati all'individuazione nell'area del conoide di quelle zone a maggior grado di pericolo locale (A), e a cinque quesiti relativi all'individuazione del tipo di attività torrentizia da prevedere (B).

e-mail: gea@mediacom.it

A - Zonazione della pericolosità su conoide

Nella tabella seguente si riporta il metodo di Aulitzky modificato da Ceriani e al. [1998]. La metodologia proposta dagli Autori è basata sull'analisi morfologica del bacino idrografico e su una ricerca storica degli eventi di colate detritiche che hanno interessato l'area. Il metodo consiste nell'assegnare un punteggio ad una serie di osservazioni e domande, in funzione delle caratteristiche del bacino idrografico.

	Osservazioni e domande	**Punti**
1	Dimensione massima del materiale trasportato/eroso presente sulla conoide:	
	< 0.01 m^3	1
	0.01 - 0.2 m^3	2
	0.2 - 1.0 m^3	3
	> 1.0 m^3	4
2	Massimo spessore della singola colata che può essere differenziata dallo strato umifero o da uno strato con differente struttura:	
	< 0.1 *m*	1
	0.1 - 0.5 *m*	2
	0.5 - 1.0 *m*	3
	> 1.0 *m*	4
3	Acclività della conoide:	
	0 - 2 %	1
	2 - 7 %	2
	7 – 15 %	3
	> 15 %	4
4	L'attuale copertura vegetale predominante è:	
	• *campi, senza muretti o terrazzamenti, con presenza di pochi e* piccoli sassi sul terreno	1
	• prati e pascoli con presenza di sporadici muretti o terrazze, presenza di piccoli sassi in terra	2

e-mail: gea@mediacom.it

	• formazioni prevalenti di larici, betulle, pini o abeti su substrato grossolano e sassoso	3
	▪ vegetazione in prevalenza rustica su substrato grossolano e sassoso, con possibile presenza di specie quali larici, pini o abeti	4
5	L'andamento del terreno nelle aree di conoide è: • superfici fortemente sopraelevate in confronto al letto del torrente che è incassato e non può esondare	1
	• superfici sopraelevate che possono essere raggiunte dalla colata solo in caso di riempimento o di un'ostruzione dell'alveo	2
	• presenza di poche forme di deposito, disseminate dalla colata di fango oppure investite in occasione del dilagare della colata	3
	• le aree hanno possibilità di essere colpite dalla colata concentrata e compatta ad alta velocità, come testimoniato dai solchi prodotti da grossi massi	4
6	Condizioni di deflusso lungo l'alveo e sulla conoide: • alveo ampio o incassato, che può far scorrere la colata	1
	▪ alveo senza ostacoli significativi, ma poco inciso; sulla conoide altezze idriche minime (dell'ordine dei centimetri)	2
	▪ alveo con possibili sezioni critiche solo in occasione del trasporto di tronchi e grossi massi; sulla conoide altezze idriche ridotte (dell'ordine dei decimetri)	3
	▪ alveo con sezioni critiche (ponti, restringimenti, curve); sulla conoide trasporto di massa e/o portate liquide con elevate capacità erosive e di trasporto	4

Figura 24 - Metodo di Aulitzky (modificato da Ceriani e al., 1998)

Il punteggio complessivo, ottenuto sommando i punteggi parziali assegnati ad ogni osservazione-domanda, consente di individuare il grado di pericolosità suddiviso in tre livelli, come riportato nella tabella successiva.

e-mail: gea@mediacom.it

PUNTEGGIO	PERICOLOSITÀ
< 11,4	bassa
11,4 – 15,6	media
> 15,6	alta

Figura 25 - Classificazione della pericolosità

Nel caso in esame, le valutazioni stimate sono riportate nella tabella successiva.

	Osservazioni e domande	*Punti*
1	Dimensione massima del materiale trasportato/eroso presente sulla conoide	2,0
2	Massimo spessore della singola colata che può essere differenziata dallo strato umifero o da uno strato con differente struttura	2,0
3	Acclività della conoide	4,0
4	Copertura vegetale predominante	2,5
5	Andamento del terreno nelle aree di conoide	2,0
6	Condizioni di deflusso lungo l'alveo e sulla conoide	2,0
	TOTALE	**14,5**

Il punteggio ottenuto per la conoide risulta pari a *14,5*, quindi caratteristico di bacini a pericolosità medio-alta.

e-mail: gea@mediacom.it

B – Attività torrentizia prevedibile

Alle precedenti valutazioni è associata un'ulteriore graduatoria riferita all'attività torrentizia, qui di seguito esposta:

	Osservazioni e domande	**Punti**
7	Danni causati nel territorio da eventi passati	
	• Solo danni materiali a strutture in prossimità del torrente	1
	• Distruzione solo a danno di strutture in prossimità del torrente	2
	• Solo danni materiali senza completa distruzione delle costruzioni	3
	• Considerevoli disastri e vittime nella zona abitata e nelle zone limitrofe al torrente	4
8	Precipitazione giornaliera massima potenziale considerando l'altezza media del bacino e una serie decennale di dati	
	• Meno di 100 mm o meno di 1 mm/minuto per un'ora	1
	• Tra 100 mm e 150 mm o tra 1,0 e 1,5 mm/minuto per almeno un'ora	2
	• Tra 150 mm e 200 mm o tra 1,5 e 2 mm/minuto per almeno un'ora	3
	• Più di 200 mm o più di 2 mm/minuto per almeno un'ora	4
9	Volume potenziale della colata nell'area sorgente	
	• Il tratto a monte del conoide è pianeggiante o il massimo volume mobilitabile è inferiore a 1 000 m^3	1
	• Il tratto di monte del conoide si presenta pianeggiante e può servire come zona di deposito, il volume mobilitabile è compreso tra 1 000 m^3 e 10 000 m^3	2
	• La sorgente è separata dal conoide da una gola molto acclive ma incapace di arrestare la colata, il volume mobilitabile è compreso tra 10 000 m^3 e 100 000 m^3	3
	• La sorgente è posta direttamente sopra il conoide, l'asta ha	

e-mail: gea@mediacom.it

	pendenza superiori a 12°, il volume mobilitabile è superiore a 100 000 m^5	4
10	Trasporto di vegetazione all'interno della colata o della piana • La colata può trasportare solo alberi piccoli e giovani • Il letto del torrente può essere raggiunto solo da ceppi e tronchi di legname • Singoli tronchi di foresta matura possono essere convogliati nella colata o nella piena • Interi tratti di foresta matura possono essere convogliati nella colata o nella piena	 1 2 3 4
11	Materiale nel bacino idrografico • Rocce molto fratturate, rocce carsiche, terreno superficiale di alta permeabilità • Rocce fratturate, sabbie e ghiaie pulite • Scisti argillosi o marnosi, suolo alterato in superficie, detriti colluviali ghiaiosi-sabbiosi • Rocce compatte senza copertura, terreno sabbioso ciottoloso con prevalenza di fine, morena	 1 2 3 4

Anche in questo caso il punteggio complessivo è ottenuto sommando i punteggi parziali assegnati ad ogni osservazione-domanda, e classificato come espresso dalla tabella successiva.

PUNTEGGIO	*ATTIVITÀ*
< 9.5	Piena torrentizia
9.5 – 13.5	Trasporto solido ghiaioso
> 13.5	Colata di fango

Figura 26 - Classificazione dell'attività torrentizia prevedibile

e-mail: gea@mediacom.it

Nel caso in esame, le valutazioni stimate sono riportate nella tabelle successive.

	Osservazioni e domande	*Punti*
7	Danni causati nel territorio da eventi passati	1
8	Precipitazione giornaliera massima potenziale considerando l'altezza media del bacino e una serie decennale di dati	1
9	Volume potenziale della colata nell'area sorgente	1
10	Trasporto di vegetazione all'interno della colata o della piana	2,5
11	Materiale nel bacino idrografico	1
	TOTALE	**6,5**

Il punteggio riferito all'attività torrentizia prevedibile della conoide è stato stimato pari a 6.5, quindi corrispondente alla tipologia delle piene torrentizie.

9.1.3 Considerazioni sui risultati di pericolosità ottenuti

Entrambi i metodi forniscono solo informazioni qualitative senza valutare la probabilità di accadimento piuttosto che l'intensità del fenomeno.

Nonostante non forniscano dati quantitativi, in base ai quali programmare azioni operative per prevenire e mitigare il fenomeno, questi metodi sono comunque utili, almeno nella fase preliminare dello studio, per valutare l'opportunità di effettuare un'analisi più approfondita. Se infatti metodi di questo tipo, semplici e speditivi, dovessero fornire un valore di pericolosità pressoché nulla sarebbe inutile proseguire con ulteriori indagini; viceversa si devono prevedere indagini e studi più approfonditi, così come effettuato nella presente relazione.

9.2 *Valutazione della possibile magnitudo di una colata detritica per mezzo di metodi speditivi*

A questo punto, accertata la predisposizione del bacino idrografico in esame alla formazione di colate detritiche, si procede con la valutazione della magnitudo, ovvero della quantità di materiale solido movimentabile, applicando differenti metodologie in quanto non esiste, purtroppo, una procedura univoca e ben definita per questo tipo di analisi.

In questo paragrafo si mostra l'applicazione di una serie di metodologie empiriche che calcolano la magnitudo di una colata detritica ipotizzando che il volume di materiale mobilitato e depositato, durante un singolo evento, sia funzione di alcune caratteristiche morfometriche e geologiche del bacino idrografico.

Le relazioni tra caratteristiche del bacino e volume di materiale solido movimentabile derivano dall'analisi di dati relativi ad una serie di colate detritiche avvenute in zone considerate omogenee. In generale, per ogni singola zona analizzata, i differenti Autori hanno individuato una curva di inviluppo che definisce il massimo valore della magnitudo di una colata detritica in relazione ad un parametro morfologico del bacino.

e-mail: gea@mediacom.it

9.2.1 Bottino, Crivellari e Mandrone [1996]

Un'altra formula empirica che tiene semplicemente conto della superficie del bacino idrografico [km^2] è quella proposta da Bottino, Crivellari e Mandrone [1996], ottenuta dall'interpolazione di sei valori di volumi di colata detritica misurati in occasione di eventi verificatisi nella zona di Ivrea nel 1993:

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

per cui, per i bacini in esame, si ottengono i valori di magnitudo pari a:

Magnitudo	
Bottino, Crivellari e Mandrone (1996)	
Conoide	**16 200 [m³]**

E' da precisare che la relazione proposta da Bottino, Crivellari e Mandrone [1996] è ritenuta valida solo per piccoli bacini montani caratterizzati da una superficie massima di 0.4 km^2.

9.2.2 Crosta, Ceriani, Frattini e Quattrini [2000]

La relazione a cui si fa riferimento è quella proposta da Crosta, Ceriani, Frattini e Quattrini [2000], basata sullo studio di colate detritiche su conoide avvenute durante differenti eventi alluvionali nell'area alpina e prealpina lombarda. Gli Autori considerano la magnitudo di una colata detritica dipendente dalla superficie A_b [km^2] del bacino idrografico, dall'indice di Melton M_b [–], dalla pendenza del collettore sulla conoide *Scl_c* [%], dall'indice di frana *IF* e dal parametro *k*:

$$M = 1000 \cdot k \cdot A_b \cdot M_b^{0.8} \cdot Scl\_c \cdot IF^{-2}$$

e-mail: gea@mediacom.it

Il parametro *k* è una costante di calibrazione che assume valori differenti a seconda del tipo di fenomeno per cui si verifica il trasporto di sedimenti, in particolare *k* = 3 per fenomeni di bed load e debris flood, mentre *k* = 5.4 per debris flow. Il valore dell'indice di frana *IF* dipende dalle condizioni di dissesto presenti sul bacino idrografico, in particolare vale *1* nel caso di grandi frane attive o riattivabili lungo la rete idrografica, *2* se il bacino è caratterizzato da frane sui versanti ed infine *3* qualora le frane siano di piccoli dimensioni o addirittura assenti.
Sono stati così ricavati i valori pari a:

Magnitudo	
Crosta, Ceriani & Quattrini (2000)	
Conoide	**4240 [m^3]**

9.2.3 *D'Agostino et al. [1996]*

In letteratura esistono inoltre alcune metodologie empiriche che, oltre alle caratteristiche morfologiche del bacino, considerano anche alcune caratteristiche geologiche sia del bacino stesso che della conoide.

Di seguito si propongono due formule empiriche le quali presuppongono la determinazione del cosiddetto indice geologico (*IG*) che esprime l'erodibilità e le caratteristiche litologiche della rete idrografica. Il valore di tale parametro dipende dai litotipi costituenti il bacino e viene calcolato come sommatoria dei prodotti tra gli indici geologici IG_i delle diverse litologie e le aree A_i da esse occupate, rispetto all'area complessiva *A* del bacino:

$$IG = \frac{\sum_{i=1}^{n} IG_i A_i}{A}$$

e-mail: gea@mediacom.it

	IG
Depositi quaternari	5
Scisti e filladi	4
Marna, calcare marnoso, siltite	3
Rocce vulcaniche	2
Dolomie e rocce calcaree	1
Rocce ignee e metamorfiche *	0
Rocce fortemente fratturate e alterate (tutte le litologie)	3 – 5
* per bacini interamente o per la maggior parte costituiti da questa litologia, per cautela si suggerisce di adottare un valore di *IG* pari a 0,5	

Figura 27 - Classi litologiche con relativo indice geologico IG (modificato da D'Agostino e Marchi, 2001)

D'Agostino et al. [1996], elaborando i dati relativi a bacini e corsi d'acqua del Trentino caratterizzati da una superficie inferiore a 45 km^2, una pendenza media dell'alveo compresa tra 11.5% e 71% ed un indice geologico variabile tra 0.5 e 5, definiscono la magnitudo attraverso le relazioni:

$$M_1 = 39 \cdot A_b \cdot Scl^{1.5} \cdot IG \cdot IT^{0.3}$$

$$M_2 = 36 \cdot A_b \cdot Scl^{1.5} \cdot IG \cdot (1 + CS)^{1}$$

in cui *Scl* [%], *IT* [-] e *CS* [-] rappresentano rispettivamente la pendenza dell'asta principale, l'indice di trasporto (che nel caso dei debris flow vale 2), il coefficiente di sistemazione.

Si ottengono così i seguenti risultati:

Magnitudo	
D'Agostino et al. (1996) - formula 1	
Conoide	**8 929 [m^3]**

e-mail: gea@mediacom.it

Magnitudo	
D'Agostino et al. (1996) - formula 2	
Conoide	**5 887 [m^3]**

9.2.4 *Tropeano e Turconi [1999]*

Un ulteriore metodo applicato per valutare la magnitudo di una colata detritica è quello proposto da Tropeano e Turconi [1999]. Si tratta di un metodo cosiddetto geomorfologico in quanto è basato sull'individuazione delle possibili sorgenti di sedimenti per cui si deve definire lo spessore medio *h* [*m*] del materiale mobilizzabile. Per bacini idrografici caratterizzati da una superficie effettiva inferiore a 15 km^2, il valore di *M* si calcola attraverso l'espressione:

$$M = (0.542 \cdot A_e + 0.0151) \cdot 0.019 \cdot h \cdot tg\theta$$

in cui A_e [km^2] e $tg\ \theta$ rappresentano rispettivamente la superficie effettiva e la pendenza media del bacino idrografico.

La relazione, apparentemente semplice da applicare, presuppone di poter conoscere lo spessore degli strati del possibile materiale mobilizzabile in più punti del bacino, al fine di poterne individuare un valore medio *h*. Nel caso del bacino in esame, come nella maggior parte dei casi, non si dispongono di informazioni certe e precise in merito, per la cui conoscenza sarebbe infatti necessario predisporre una campagna di misure difficilmente realizzabile sia per motivi pratici che economici. A causa della difficoltà e dell'incertezza nel determinare questo valore, si è quindi proceduto con il calcolo della magnitudo ipotizzando differenti valori dello spessore, ritenuti comunque verosimili. Nella tabella successiva si riportano i valori di magnitudo associati allo spessore del materiale ipotizzato; è evidente come la magnitudo aumenti linearmente con lo spessore del materiale.

e-mail: gea@mediacom.it

Magnitudo	
Tropeano & Turconi (1996) - h = 0,3 m	
Conoide	**995 [m^3]**

Magnitudo	
Tropeano & Turconi (1996) - h = 0,5 m	
Conoide	**1659 [m^3]**

Magnitudo	
Tropeano & Turconi (1996) - h = 1,0 m	
Conoide	**3 318 [m^3]**

9.2.5 *Bianco e Franzi [1999]*

Un'ulteriore formula in cui la magnitudo dipende anche dalle caratteristiche geologiche del bacino è quella proposta da Bianco [1999], ottenuta a partire da D'Agostino et al. [1996], in cui la magnitudo di una colata è funzione dell'indice geologico *IG*, oltre che dell'area *A* [km^2] del bacino e della pendenza media *i* [*m/m*] dell'asta principale:

$$M = 14000 \cdot i^{(1.5-i)} \cdot IG^{(1+0.1 \cdot IG)} \pm 13000 \cdot A^{0.6}$$

In realtà l'equazione proposta dall'Autore permette di calcolare sia la magnitudo eccezionale che la magnitudo relativa a fenomeni ricorrenti. In questo caso, per poter confrontare il valore di *M* con quelli ottenuti attraverso le formule precedenti, i quali rappresentano valori massimi possibili, si è scelto di considerare solo il valore relativo alla magnitudo eccezionale.
Si ottengono i valore di magnitudo pari a:

Magnitudo	
Bianco & Franzi (1999)	
Conoide	**11 903 [m^3]**

e-mail: gea@mediacom.it

9.2.6 *Rickenmann e Zimmermann [1993]*

Studiando numerosi bacini svizzeri interessati da fenomeni di debris flow nell'estate del 1987, Rickenmann ha analizzato i dati relativi alla magnitudo unitaria (volume di sedimento depositato per unità di lunghezza dell'asta torrentizia) delle colate detritiche, rispetto alla pendenza della conoide alluvionale e ha definito la curva inviluppo riportata nella figura successiva.

La curva inviluppo individuata da Rickenmann è definita da una spezzata costituita da due tratti: un primo tratto ascendente in cui la magnitudo aumenta con l'aumentare dell'acclività della conoide fino al raggiungimento di una pendenza pari al 15% e un secondo tratto discendente in cui la magnitudo diminuisce, nonostante valori di acclività crescenti e superiori al 15%.
Rickenmann attribuisce questa diminuzione, generalmente verificata per piccoli bacini, alla modesta disponibilità di sedimenti nelle unità idrografiche più piccole e con maggiore pendenza, in cui prevalgono gli affioramenti rocciosi.
Nel caso di conoidi con pendenze inferiori al 15% i valori più bassi di magnitudo sono dovuti semplicemente alla minore acclività del bacino idrografico.

e-mail: gea@mediacom.it

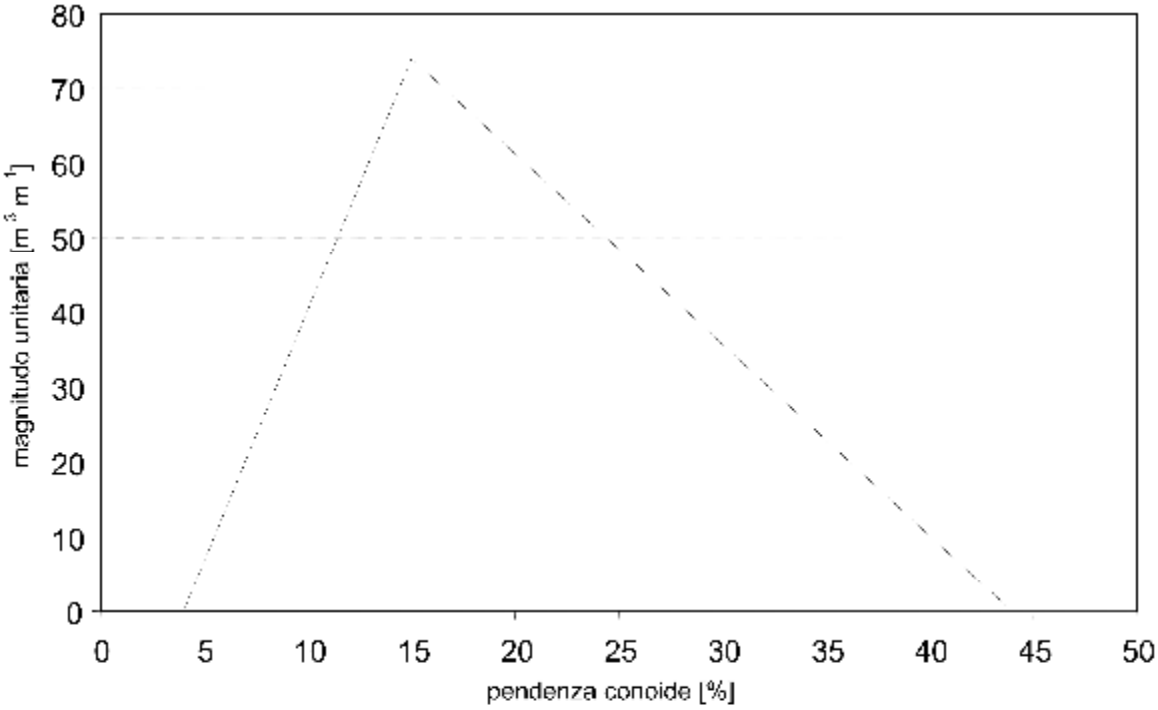


Figura 28 - Valutazione della magnitudo unitaria con la curva d'inviluppo proposta da Rickenmann

Si ottengono i valori di volume massimo movimentabile di circa:

Magnitudo	
Rickenmann e Zimmermann (1993)	
Conoide	**6 500 [m³]**

e-mail: gea@mediacom.it

9.2.7 *Kronfellner-Kraus [1984,1985]*

Un'altra formula empirica è quella proposta da Kronfellner-Kraus [1984,1985] che stima la magnitudo mediante la seguente espressione:

$$M = K \cdot A \cdot S$$

con *K* fattore di torrenzialità, *A* superficie del bacino [km^2] ed *S* la pendenza media dell'asta torrentizia [%]. Il fattore di torrenzialità esprime il complesso dei processi del ciclo erosivo operanti nel bacino; per la stima di questo parametro l'Autore propone un'espressione controllata in Austria, ma in linea di massima a piccoli bacini caratterizzati da una discreta pendenza si può assegnare un valore intorno a 1500, *mentre per bacini relativamente ampi K assume valori prossimi a 500.*

Nel caso in esame, si sono ottenuti i valore di *M* pari a:

Magnitudo	
Kronfellner-Kraus (1984,1985)	
Conoide	**37 647 [m^3]**

e-mail: gea@mediacom.it

9.2.8 Takei [1984]

Takei [1984] definisce la magnitudo di una colata detritica in funzione dell'area *A* del bacino, espressa in km^2 secondo la seguente relazione:

$$M = 13600 \cdot A^{0.61}$$

Nel caso in esame si ottengono i seguenti valori:

Magnitudo	
Takei (1984)	
Conoide	**7 537 [m³]**

9.2.9 D'Agostino e Marchi [2001]

Rispetto al metodo di D'Agostino et al. (1996), è stata ampliata la base regionale anche nella provincia di Bolzano ed il metodo è stato sviluppato sull'analisi di una serie di 84 dati storici.

$$M = 70 \cdot S \cdot i^{1.28} \cdot I.G.$$

Nel caso in esame si ottengono i seguenti valori di magnitudo:

Magnitudo	
D'Agostino & Marchi (2001)	
Conoide	**6 585 [m³]**

9.2.10 D'Agostino et al. [2004]

Successivamente D'Agostino et al. [2004] hanno modificato l'espressione precedente proponendo la seguente relazione in cui il valore della magnitudo *M* è indipendente

e-mail: gea@mediacom.it

dal valore dell'indice geologico *IG*:

$$M = 65000 \cdot A_b^{1.33} \cdot S^{1.7}$$

dove *S* è la pendenza media dell'asta principale. Nel caso in esame si ottengo i seguenti valori di magnitudo:

Magnitudo	
D'Agostino et al. (2004)	
Conoide	**6 770 [m^3]**

9.2.11 Marchi e Tecca [1996]

Marchi e Tecca [1996] hanno studiato le colate detritiche verificatesi sulle Alpi Orientali italiane e, per bacini con superficie compresa tra 0,1 e 20 *km*^{2}, hanno definito la seguente curva inviluppo:

$$M = 70000 \cdot A$$

dove *M* rappresenta l'inviluppo dei valori massimi di magnitudo che possono essere prodotti in un bacino di area *A* espresso in *km*^{2}.
Nel caso in esame, si ottengono i seguenti volumi massimi movimentabili:

Magnitudo	
Marchi & Tecca (1996)	
Conoide	**26 600 [m^3]**

e-mail: gea@mediacom.it

9.2.12 Considerazioni finali sul valore della magnitudo

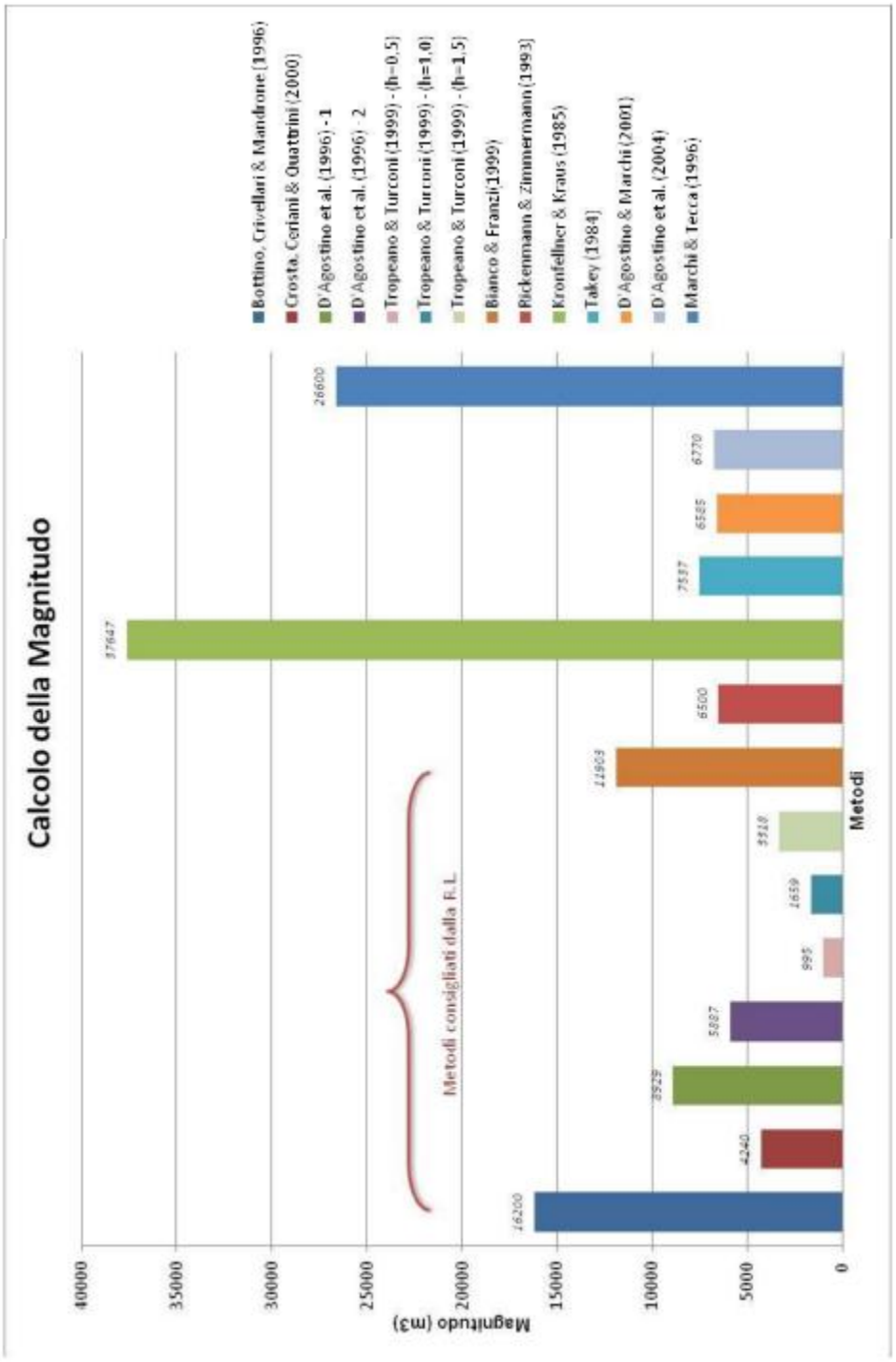
Nella tabella successiva si riassumono i risultati ottenuti con i rispettivi metodi applicati per il conoide considerato.

METODO	MAGNITUDO [m^3]	CONSIGLIATO DA R.L.
Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)	16200	*
Crosta, Ceriani & Quattrini (2000)	4240	*
D'Agostino et al. (1996) - 1	8929	*
D'Agostino et al. (1996) - 2	7493	*
Tropeano & Turconi (1999) - h=0,3 m	995	*
Bianco & Franzi(1999)	11903	*
Marchi & Tecca (1996)	26600	
Rickenmann & Zimmermann (1993)	13000	
Kronfellner & Kraus (1985)	37647	
Takey (1984)	7537	
D'Agostino & Marchi (2001)	6585	
D'Agostino et al. (2004)	6770	

Figura 29 - Risultati dell'applicazione dei diversi metodi speditivi

I risultati mostrano un range di magnitudo molto ampio, tra 995 m^3 e 37 647 m^3.

e-mail: gea@mediacom.it



e-mail: gea@mediacom.it

I valori di magnitudo ricavati dalle diverse formule empiriche (considerando i metodi consigliati dalla R.L.) possono quindi essere ricompresi nel seguente range:

RANGE DELLA MAGNITUDO STIMATO MEDIANTE METODI EMPIRICI (considerando i metodi consigliati dalla R.L.)
1 000 m^3 - 6 000 m^3

C'è da considerare che le equazioni, viste fino ad ora, forniscono una stima della magnitudo in funzione solamente di alcune caratteristiche morfologiche del bacino (superficie, pendenza), senza considerare le caratteristiche pluviometriche dell'evento meteorico o comunque la probabilità di accadimento.

e-mail: gea@mediacom.it

9.4 Portata di picco di una colata

La valutazione della portata di picco relativa alla miscela acqua-detrito, è importante per valutare la capacità dell'alveo di contenere il flusso della colata, anche in sezioni critiche.

9.4.1 Valutazione di Takahashi

È possibile tuttavia procedere ad una determinazione indiretta del valore della portata solido – liquida. Afferma infatti Takahashi (1991) che la portata di debris flow Q_T rispetto alla portata liquida Q_0 è data dalla:

$$\frac{Q_T}{Q_0} = \frac{c_*}{c_* - [S_b + (1 - S_b) \cdot c_*] \cdot c}$$

Dove c_* la concentrazione del materiale solido "impaccato" (usualmente pari a 0.65), c la concentrazione della colata ed S_b il grado di saturazione del letto prima del passaggio della colata detritica.
Inoltre Armanini [1996] stima più semplicemente il suddetto rapporto come:

$$\frac{Q_s}{Q_0} = \frac{c_*}{c_* - c}$$

che evidentemente coincide con la formulazione di Takahashi quando in questa si ponga $S_b = 1$. L'andamento delle funzioni è visibile nella figura successiva.

e-mail: gea@mediacom.it

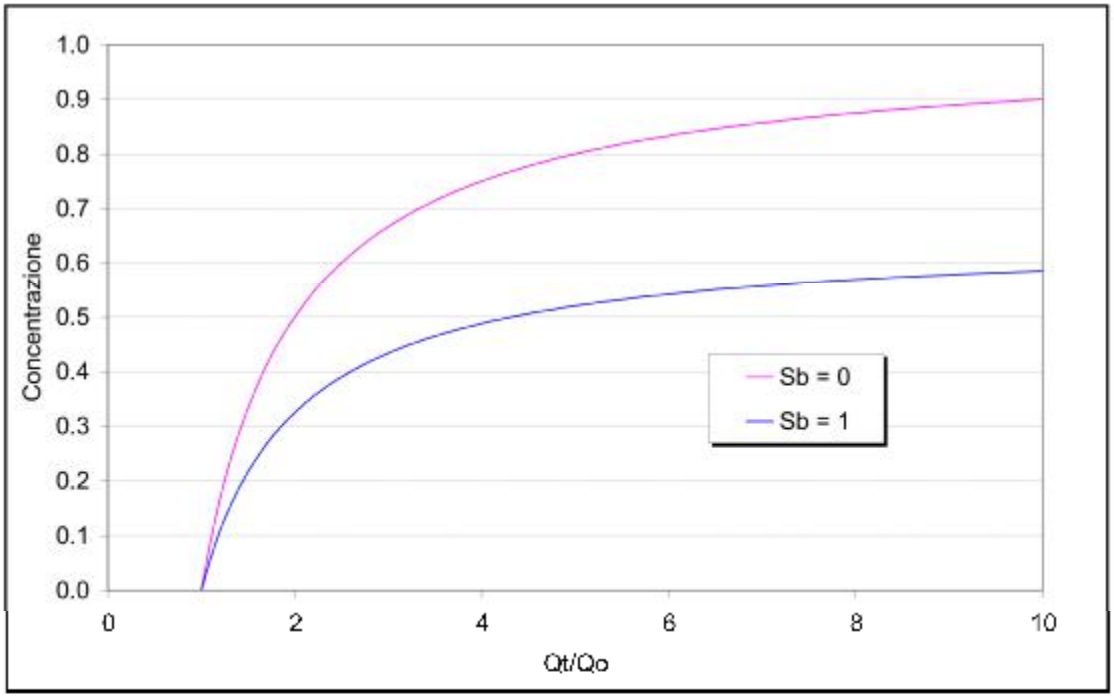


Figura 30 - Funzione che lega la concentrazione delle colate di detriti ed il rapporto tra portata delle colate e portata liquida, al variare del grado di saturazione del terreno prima del passaggio della colata.

Per quello che riguarda la posizione sulla concentrazione c_*, si deve osservare come la concentrazione volumetrica massima possibile c_m per le particelle sferiche coincide con la disposizione definita *a palle di cannone*, pari a $c_m = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 0{,}74$ e mostrata nella figura successiva.

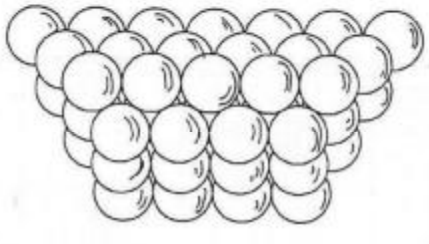


Figura 31 - Disposizione a palle di cannone

e-mail: gea@mediacom.it

In una colata di detriti la concentrazione solida è orientativamente compresa nell'intervallo 0.4 – 0.6.

Considerando le condizioni del bacino in esame, la portata della colata detritica potrebbe essere valutata pari a cinque-sei volte la portata liquida.

Si ricava:

Portata di picco	
Takahashi	
Conoide	**30,0 [m^3/s]**

9.4.2 *Valutazione di Mizuyama*

Mizuyama fornisce la seguente equazione:

$$Q_p = 0.135 \cdot M^{0.78}$$

Si ricava:

Portata di picco	
Mizuyama	
Conoide	**50,7 [m^3/s]**

9.4.3 *Valutazione di Rickenmann*

Rickenmann fornisce la seguente equazione:

$$Q_p = 0.1 \cdot M^{0.833}$$

Si ricava:

Portata di picco	
Rickenmann	
Conoide	**56,2 [m^3/s]**

e-mail: gea@mediacom.it

9.4.4 Valutazione di Bovis & Jacob

Bovis & Jacob fornisce la seguente equazione:

$$Q_p = 0.04 \cdot M^{0.50}$$

Si ricava:

Portata di picco	
Bovis & Jacob	
Conoide	**37,4 [m^3/s]**

9.4.5 Considerazioni finali sulla portata di picco

Si riassumono di seguito i risultati ottenuti per il conoide oggetto di studio:

Metodo	Portata di picco miscela solida-liquida	[u.m.]
Takahashi	**36,0**	**m^3/s**
Mizuyama	**50,7**	**m^3/s**
Rickenmann	**56,2**	**m^3/s**
Bovis & Jacob	**37,4**	**m^3/s**
Media pesata portata di picco miscela solida-liquida	**40,0**	**m^3/s**

C'è da considerare comunque che il metodo di Takahashi è fisicamente basato, correlando la portata solida con la portata liquida, mentre gli altri metodi sono correlazioni che derivano da inviluppi massimi di eventi già accaduti. Si è dato quindi un peso maggiore al primo metodo rispetto agli altri.

e-mail: gea@mediacom.it

CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI ANALISI ALLO STATO DI FATTO

10 RIASSUNTO E CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI

10.1 Riassunto

Si riassumono di seguito i risultati delle analisi condotte e le considerazioni in merito.
Innanzitutto sono stati analizzati gli **aspetti geologico – geomorfologici** del bacino e della conoide che hanno permesso di avere un quadro completo sui dissesti presenti e sulle possibili forme di trasporto che da essi possono essere attivati.
Si evince subito dall'analisi eseguita che sul bacino ci possono essere volumetrie mobilitabili, ma di modesta entità.
Tale fatto è supportato anche dall'analisi degli eventi passati e dalle evidenze dei dissesti e del materiale presente in alveo e sulle sponde.

Così come illustrato in precedenza, la ricostruzione geomorfologica ha permesso di ridefinire con maggior dettaglio il conoide.

Successivamente si proceduto a verificare la **predisposizione del bacino alla formazione di colate detritiche**, da un punto di vista qualitativo.
La valutazione è stata condotta attraverso dei metodi speditivi (Indice di Melton e metodo di Aulitzky) ed è risultato che il bacino potenzialmente ha una pericolosità media per il manifestarsi di colate detritiche e il tipo di trasporto previsto è riferito ad una piena torrentizia.

Una volta effettuata tale verifica preliminare sono state fatte le **valutazioni delle possibili magnitudo** mediante vari metodi, alcuni dei quali consigliati dalla Regione Lombardia.

e-mail: gea@mediacom.it

I valori ricavati sono risultati molto diversi tra loro rientrando in un range molto ampio, con valori non corrispondenti alla realtà dei luoghi. Valutando il materiale realmente movimentabile sul bacino in esame si è ritenuto corretto assegnare un valore di magnitudo pari a:

MAGNITUDO CONSIDERATA	
Conoide	2000 [m^3]

Alla luce delle volumetrie dei depositi alluvionali presenti nel bacino e valutando le ricorrenze degli eventi, si ritiene che tali valori siano compatibili con le caratteristiche del bacino in oggetto.

Successivamente è stata stimata, con vari metodi accreditati in letteratura, la **portata di picco della colata solido - liquida.** I valori ricavati dai vari metodi sono risultati mediamente concordanti, portando ad una valore nell'evento più critico pari a circa 40,0 m^3/s. Considerando il bacino in esame, le condizioni dell'alveo e gli eventi storici, tale valore sembra essere largamente sovrastimato. C'è da considerare appunto che i risultati numerici non tengono mai conto delle condizioni idrogeologiche e storiche specifiche dei tratti oggetto di studio.

Nell'ambito di conoide infatti l'acqua che scorre si infiltra immediatamente nel materiale ghiaioso e la circolazione idrica superficiale si realizza solo dopo che i depositi sono saturi.

Si ricorda che tutte le valutazioni sin qui esposte sono, a favore di sicurezza, state effettuate considerando il bacino complessivo, compreso quel 25% di area che attualmente non è "collegata" con la rimanente parte.

e-mail: gea@mediacom.it

10.2 Zonazione della pericolosità allo stato di fatto

Alla luce di tutti i calcoli effettuati e dalle considerazioni sopraesposte, si è proceduto alla **zonazione della pericolosità della conoide**.

La pericolosità della zona è stata valutata in base ai parametri geologici e geomorfologici raccolti, secondo le procedure descritte.
Per la rappresentazione cartografica, si fa riferimento alle **tavole** allegate a tergo della presente relazione.
In particolare, per la pericolosità, sono state individuate le seguenti classi:

- **Pericolosità molto alta (H5)**: comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed, eccezionalmente, porzioni di conoide.

Tale classe è stata individuata in corrispondenza dell'alveo attivo del corso d'acqua. Si tratta di una stretta fascia, che si spinge però a valle sino a Via Locatelli, data l'assenza di tombotto ed essendo stati riscontrati eventi storici di esondazione e trasporto solido sino alla strada.

- **Pericolosità alta (H4)**: area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di trasporto in massa e/o di trasporto solido, con deposizione di ingenti quantità di materiale solido e con danneggiamento di opere e manufatti.

Vista la presenza di alcuni manufatti lungo il conoide attivo (recinzioni e piccole strutture agricole), che potrebbero in qualche modo rallentare un'eventuale colata detritica, si è deciso di assegnare una modesta porzione destra del conoide (in

e-mail: gea@mediacom.it

corrispondenza dell'abitazione e delle soprastanti recinzioni) alla classe di pericolosità H4, che peraltro comporta comunque l'attribuzione dell'ambito di dissesto Ca (area di conoide attivo non protetto), e conseguentemente la classe di fattibilità geologica 4.

- **Pericolosità bassa (H2):** area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica, ritenute idonee anche in caso di eventi estremi, con basse probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto.

La classe H2 è stata assegnata a tutta la rimanente porzione di conoide, cioè alla porzione prativa che si allarga verso sud, in direzione della condotta forzata e delle ultime abitazioni di Via di Spess. In questo ambito, infatti, si riconosce la morfologia di conoide, ma non vi sono tracce che indichino fenomeni di riattivazione.

La classe **H1** non è stata riconosciuta.

Alla luce di tale classificazione, in accordo con le linee guida regionali, sono state assegnati le voci di legenda P.A.I. e le relative classi di fattibilità, così come di seguito riportato.

Si ricorda che le classi di pericolosità e di conseguenza quelle di fattibilità proposte, si riferiscono solo al fenomeno studiato.

e-mail: gea@mediacom.it

Livello di Rischio	Classe di fattibilità	Tipo di dissesto	Norme associate (Titolo 1)
H5	4	Ca	Art. 9 comma 7 delle N.T.A. del PAI
H4	4	Ca	Art. 9 comma 7 delle N.T.A. del PAI
H2	3	Cn	Art. 9 comma 9 delle N.T.A. del PAI

A seguito delle osservazioni effettuate in sito, gli scriventi ritengono utile, ai fini di un miglioramento delle condizioni complessive dell'area di conoide, consigliare la realizzazione di alcuni interventi, descritti nel successivo capitolo.

Tali interventi non sono propedeutici ad una modifica successiva delle condizioni di rischio attuale, ma sono consigliati per mitigare il rischio residuo.

e-mail: gea@mediacom.it

PROPOSTA DI INTERVENTI MIGLIORATIVI PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO RESIDUO

11 INTERVENTI DI REGIMAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE

Sulla scorta dei risultati dello studio eseguito, si è proceduto alla definizione di alcuni interventi non vincolanti alla nuova zonizzazione del conoide, ma migliorativi delle condizioni complessive di sicurezza dell'area.

Le opere sono state valutate considerando l'esigenza di garantire la sicurezza delle persone e delle opere presenti e le caratteristiche paesaggistiche dell'ambito interessato.

Per perseguire questi obiettivi e finalità si è tenuto conto anche dei criteri ed indirizzi contenuti nei documenti redatti dalla regione Lombardia in merito alle opere di ingegneria naturalistica.

Gli interventi che sono stati individuati saranno sostanzialmente ascrivibili alle due categorie degli interventi strutturali e non strutturali.

A) Interventi strutturali.

1. Manutenzione ordinaria o straordinaria della sezione fluviale (pulizia alvei), con particolare riferimento alla Valle Torta.
2. Miglioramento del tracciato d'alveo in ambito di conoide con realizzazione di piccole difese di sponda, prevalentemente in sinistra orografica a partire dall'apice del conoide.

e-mail: gea@mediacom.it

3. Realizzazione di un sistema di smaltimento allo sbocco del corso d'acqua.

B) Interventi non strutturali.

1. Predisposizione dei piani allertamento, di emergenza e di protezione per le popolazioni esistenti, da attuare con l'ausilio del Nucleo di Protezione Civile Comunale.
2. Divulgazione dell'informazione e la formazione a tutti i livelli, soprattutto scolastico.

11.1 Pulizia alveo (ordinaria e straordinaria)

Occorre prevedere una manutenzione ordinaria degli alvei afferenti al conoide, con pulizia delle vegetazione infestante e del materiale di sovralluvionamento, ed una manutenzione straordinaria (dopo eventi di piena) delle opere in alveo, sempre sia sul bacino che sul conoide. In particolare, l'alveo, le briglie ed il ponticello di legno della Valle Torta dovrebbero essere sottoposti ad un generale intervento di manutenzione.

11.2 Realizzazione di piccole difese di sponda e briglie di trattenuta in ambito di conoide

Si consiglia anche la realizzazione di piccole difese di sponda e briglie di trattenuta in ambito di conoide per migliorare il deflusso lungo l'alveo attuale.

11.3 Realizzazione di un sistema di smaltimento allo sbocco

Dato che il corso d'acqua non possiede alcun manufatto di smaltimento in corrispondenza dello sbocco, e spande acqua e materiale sulla strada, si ritiene opportuno realizzare un'opera migliorativa in tal senso. Stante la difficoltà oggettiva di realizzare un tombotto che convogli il corso d'acqua verso il Serio (soluzione più corretta), sarebbe opportuno predisporre, quanto meno, un'ampia vasca, che raccolga almeno una parte del materiale di trasporto solido evitandone lo spandimento sulla strada, e che garantisca sul fondo il drenaggio dell'acqua nel sottosuolo. La vasca dovrebbe naturalmente essere sottoposta a manutenzione periodica, in modo da evitare intasamenti che la renderebbero inefficace all'occorrenza.

e-mail: gea@mediacom.it

Ranica, giugno 2012

Dott. Geol. Sergio Ghilardi

Dott. Ing. Francesco Ghilardi

e-mail: gea@mediacom.it

12 BIBLIOGRAFIA

- M. Arattano, A.M. Deganutti, L. Marchi *Debris flow monitorino activities in a n instrumented watershed of the Italian Alps* in Cheng-lung Chen (ed.) "Debris flow Hazard Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment", New York, 1997
- M. Arattano, P. Gattoni *Using a fixed video camera to measure debris flow surface velocity* Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000
- Armanini *Colate di detrito*. Rapporti di lavoro dell'Istituto Geologico della Repubblica Italiana e del Cantone del Ticino, 1996
- Armanini *Principi di idraulica fluviale* Ed. Bios, Cosenza, 1999
- F. Arredi *Costruzioni idrauliche* vol. 1, Ed. UTET, Torino, 1980
- Bagato, G. Dalla Fontana, C. Gregoretti *Analisi del verificarsi di condizioni d'innesco di colate detritiche per mobilitazione di depositi detritici al fondo di canali naturali* Atti del XXIX Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, 2004
- ECOGEO, D. Marsetti - *Piano di governo del territorio Comune di Cerete - Componente geologica, idrogeologica e sismica*.
- F. Ballio, A. Bianchi, S. Franzetti, F. De Falco, M. Mancini *Vulnerabilità idraulica di ponti fluviali* Atti del XXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Catania, 9-12 settembre 1998
- G. Benini *Sistemazioni idraulico – forestali.*" Ed. UTET, Torino, 1990
- M. Berti, A. Simoni *Experimental evidences and numerical modelling of debris flow initiated by channel runoff* , 2005
- G. Bianco, L. Franzi *Estimation of debris flow volumes from storm events.* Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment,

Balkema, Rotterdam, 2000

- Brath, R. Rosso *Valutazione delle piene nel bacino Padano e nella Liguria Tirrenica* in "La valutazione delle piene in Italia", CNR – Roma, 1994.
- G. Bottino, R. Crivellari, G. Mandrone *Eventi pluviometrici critici e dissesti: individuazione delle soglie d'innesco di colate detritiche nell'anfiteatro morenico di Ivrea.* Atti del Convegno La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo alla ricerca scientifica. Alba, pagg. 201-210, 5 – 7 novembre 1996.
- GEA S.n.c. - *Redazione Cartografie Geoambientali* (R.L., Provincia, C.M.), 1993.
- GEA S.n.c. - *Verifica idrologico - idraulica di un tratto del T. Borlezza in comune di Sovere* - Edilmora Srl, 2005.
- M.J. Bovis, M. Jakob *The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity* Earth Surface Processes and Landforms 24, 1999
- M. Ceriani, G. Crosta, P. Frattini, S. Quattrini *Evaluation of hydrogeological hazard on alluvial fans.* Atti del Convegno INTERPRAEVENT 2000, Villach, Band 2, pagg. 213-225, 2000.
- M. Ceriani, D.Fossati, S. Quattrini *Valutazione della pericolosità idrogeologica sulle conoidi alpine: esempio della metodologia di Aulitzky applicata alla conoide del torrente Re di Gianico-Valcamonica (Bs) – Alpi Centrali.* Atti del XXVI Convegno di idraulica e costruzioni idrauliche, Catania, 1998
- J.C. Chen, C.D. Jan *Debris flow occurrence probability on hillslopes.* Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000
- H.H. Chang *Fluvial Processes in River Engineering* John Wiley and Sons, New York, 1988
- V.T. Chow *Handbook of applied hydrology* McGraw-Hill, New York, 1964

- V.T. Chow *Open channel hydraulics* McGraw-Hill, New York, 1959
- V.T. Chow, D.R. Maidment, L.W. Mays *Applied Hydrology* Mc Graw Hill, New York, 1988
- D. Citrini, G. Noseda *Idraulica* Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1976
- Columbo *La fognatura di Milano* Quaderni della città di Milano, 1960
- V. D'Agostino, M. Cerato, R. Coali *Extreme events of sediment transport in the eastern Trentino torrents.* Atti del Convegno INTERPRAEVENT, Band 1, pagg. 377-386, 1996.
- L. Da Deppo, C. Datei *Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali* Ed. Bios, 1994
- L. Da Deppo, C. Datei, P. Salandin *Sistemazione dei corsi d'acqua* Ed. Libreria Cortina, Padova, 1994
- T.R.H. Davies *Spreading of rock avalanche debris by mechanical fluidization* Rock Mech., 15, pp. 9 – 24, 1982
- V. Ferro *La sistemazione dei bacini idrografici* McGraw-Hill, Milano, 2002
- R. Genevois, P.R. Tecca, M. Berti, A. Simoni *Debris flow in the Dolomites: experimental data from a monitoring system* Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000
- Gregoretti *The initiation of debris flow at high slopes: experimental results* Journal of hydraulic research, vol. 38, No.2, 2000
- HEC-RAS, River Analysis System *Hydraulic Reference Manual* Version 3.0, January 2001, US Army Corps of Engineers, Institute for water resources, Hydrologic engineering center
- HEC-RAS, River Analysis System *User's Manual* Version 3.0, January 2001, US Army Corps of Engineers, Institute for water resources, Hydrologic Engineering Centre
- J. Heumander *Technical debris flow countermeasures in Austria – A review*

Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000

- Y. Itakura, H. Inaba, T. Sawada *A debris flow monitoring devices and methods bibliography* Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 971-977, 2005
- C.J. Keifer, H.H. Chu *Synthetic storm pattern for drainage design* ASCE, Journal of the Hydraulics Division, vol. 83, HY4, 1957
- R.G. Lahusen *Detecting debris flow using ground vibrations* USGS Fact Sheet, 1996
- Laigle, L. Marchi *Example of mud/debris flow hazard assessment, using numerical models*. Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000
- C.N. Liu, R.B. Gilbert *A one dimensional numerical model for evaluating the stability of shallow slopes*. Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000
- U. Maione, U. Moisello *Elementi di statistica per l'idrologia* Ed. La Goliardica Pavese, 1993
- U. Maione *Le piene fluviali* La Goliardica Pavese, Pavia, 1977
- U. Maione, A. Brath *La difesa idraulica del territorio* Ed. Bios, 1996
- U. Maione, A. Brath *La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati* Ed. Bios, 1997
- S. Mambretti *Sui modelli di deflusso superficiale in ambiente urbano* Tesi di Dottorato, Politecnico di Milano, 1995
- G. Mannucci *Monitoraggio dei movimenti franosi*. Atti del Corso di Aggiornamento "La sistemazione dei corsi d'acqua naturali", Politecnico di Milano, 1995
- L. Marchi, V. D'Agostino *Estimation of debris flow magnitudo in the Eastern Italian Alps* Earth Surface Processes and Landforms 29, 2004

- Marchi, A. Rubatta *Meccanica dei Fluidi* Ed. UTET, 1981
- L. Marchi, P.R.Tecca *Magnitudo delle colate detritiche nelle Alpi Orientali Italiane* Geoingegneria Ambientale e Mineraria 33, 1996
- S. Marcial, A.A. Melosantos, K.C. Hadley, R.G. LaHusen, N. Marso *Instrumental lahar monitorino at Mount Pinatubo* in C.G. Newhall, R.S. Punongbayan (eds) "Fire and mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo", Seattle, University of Washington Press, 1996
- J. A. Maza Alvarez *Introduction to river engineering* Università Italiana per stranieri, Advanced course on water resources management, Perugia, 1989
- M. Mazza *Valutazione della magnitudo di una colata detritica in funzione del tempo di ritorno.* Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, 22 dicembre 2005.
- Mazza, I. Valsecchi *Studio di campo delle caratteristiche di bacini soggetti a colate di detriti* Elaborato di Laurea, Politecnico di Milano, A.A. 2004-2005
- P. Mignosa *Sui problemi di dimensionamento delle reti di drenaggio urbano* Tesi di Dottorato, Politecnico di Milano, 1989
- T. Mizuyama, A. Oda, S. Nishikawa, A. Morita, S. Kasai *Structures for controlling debris flows in torrents where debris flow does not occur frequently* Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000
- H. J. Morel-Seytoux e J. P. Verdin, *Extension of the Soil Conservation Service rainfall runoff methodology for ungaged watersheds* Rep. no. FHWA/RD-81/060, Federal Highway Administration, Washington, D. C., 1981
- Paoletti *Lezioni di idraulica fluviale* Istituto di Idraulica del Politecnico di Milano
- C.N. Papadakis, H.C. Preul *Testing of methods for determination of urban runoff* ASCE, Journal of the Hydraulics Division, vol. 99, HY9, 1973
- J.T. Pedersen, J.C. Peters, O.J. Helweg *Hydrographs by single linear model* Journal of the Hydraulic Division, ASCE, HY5, 1980

- Piga, M. Salis, G. Passoni *Analisi statistica delle piogge intense di breve e brevissima durata nell'area metropolitana di Milano* CittàStudi, 1990
- Przedwojski, R. Blazejewski, W.E. Pilarczyk *River Training Techniques. Fundamentals, Design and Applictions*. A.A. Balkema, Rotterdam, 1995
- M. Pulecchi *Colate detritiche non stratificate: modellazione matematica bifase e verifiche sperimentali di laboratorio* Tesi di Laurea, Politecnico di Milano
- A.E. Scheidegger *On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides* Rock Mech. 5, pp. 231 – 236, 1973
- R.L. Shreve *Variation of mainstream length with basin area in river networks* Water Resources Research, vol. 10, n. 7, dicembre 1974
- Soil Conservation Service *Hydrology* National engineering Handbook, sec. 4, Washington D.C., U.S.A., 1956
- Suwa, S. Okuda *Measurement of debris flow in Japan* Proc. Of IV Int. Conf. and field workshop on landslides, Tokio, Japan, Agosto 1985
- Suwa, T. Yamakoshi, K. Sato *Relationship between debris flow discharge and round vibration* Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000
- L. Tianchi *A mathematical model for predicting the extent of a major rockfall* Z. Geomorph. N.F. 7/4, pp. 473 – 482, 1983
- Tognacca, G.R. Bezzolla e H.E. Minor *Thresold criterion for debris-flow initiation due to channel-bed failure* Proc. of Debris Flow Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment, Balkema, Rotterdam, 2000
- Tropeano, L. Turconi L. (1999) *Valutazione del potenziale detritico in piccoli bacini delle Alpi Occidentali e Centrali*. C.N.R., Pubbl. 2058 del G.N.D.C.I., 151 pp, 1999
- G. Veronese *Opere di sistemazione dei corsi d'acqua montani con l'impiego di opere intensive ed estensive.* Atti del Corso di Aggiornamento "Moderni criteri

di sistemazione degli alvei fluviali", Politecnico di Milano, 1994

- R.A. Wooding *An hydraulic model for the catchment stream problem. – I. Kinematic wave theory*. Journal of Hydrology n. 3, 1965
- R.A. Wooding *An hydraulic model for the catchment stream problem. – II. Numerical solutions.* Journal of Hydrology n. 3, 1965
- D.A. Woolhiser, J.A. Ligget *Unsteady, one – dimensional flow over a plane. The rising hydrograph*. Water Resources Research, n. 3, 1967
- Cressie, N. A. C. (1990), The Origins of Kriging, Mathematical Geology, v. 22, p. 239-252.
- Cressie, N. A. C. (1991), Statistics for Spatial Data, John Wiley and Sons, Inc., New York, 900 pp.
- Ackermann F., 1999. Airborne laser scanning present status and future expectations. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2-3), pp. 64-67.
- Axelsson P. 2000. DEM Generation from Laser Scanner data Using Adaptive TIN Models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol.XXXIII, B4. Amsterdam 2000.
- Axelsson P., 2000. Dem generation from laser scanner data using adaptive TIN models. IAPRS. Vol. 33, Part 2.
- Axelsson, P., 1999. Processing of laser scanner data – algorithms and applications. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(1), pp. 138-147
- Baltsavias E.P., 1999. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 , 1999, pp. 199-214.
- Kraus K., Pfeifer N., 1998. Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne laser Scanner data. ISPRS Jornal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol 53 No 4, pp 193-203.

- Maas H.-G., Vosselman G., 1999. Two algorithms for extracting models from raw laser altimetry data. ISPRS J. Photogrammetry. Remote Sensing, Vol. 54, No. 2-3, pp. 153-163. TerraScan Manual 2000.
- Carte Geoambientali della Regione Lombardia
- GeoTer e Dott. Ing. Franco Pezzola, 1999. Progetto esecutivo per lavori di bonifica idrogeologica della Valle Torta (località Plazza).
- Vari siti internet

TAVOLE ALLEGATE ALLA RELAZIONE

e-mail: gea@mediacom.it



LE

Inquadramento generale dell'area di studio

COMUNE DI:	Ardesio (Bergamo)
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale
TITOLO:	**COROGRAFIA GENERALE** *Conoide Via di Spess*
N. PRATICA: 08_053	SCALA: 1:2000
DATA: Giugno 2012	Rev: Prima emissione

TAVOLA:
4-B

ENDA

CUPERFICIALI

- Detrito di versante
- Accumulo di frana
- Deposito alluvionale
- Deposito fluvioglaciale
- Deposito di conoide
- Till glaciale

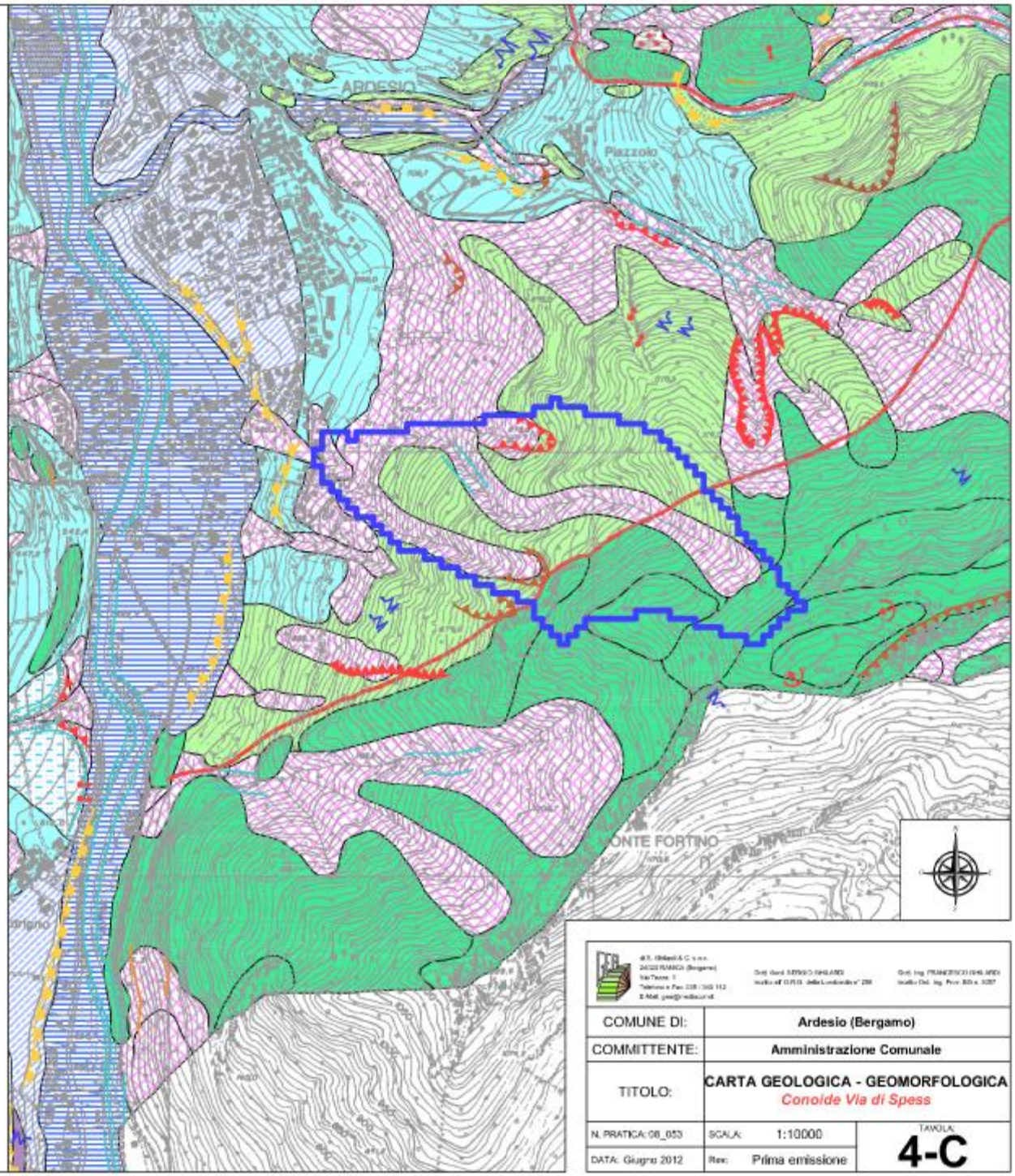
Perimetrazione indicativa del bacino di interesse

SO ROCCIOSO

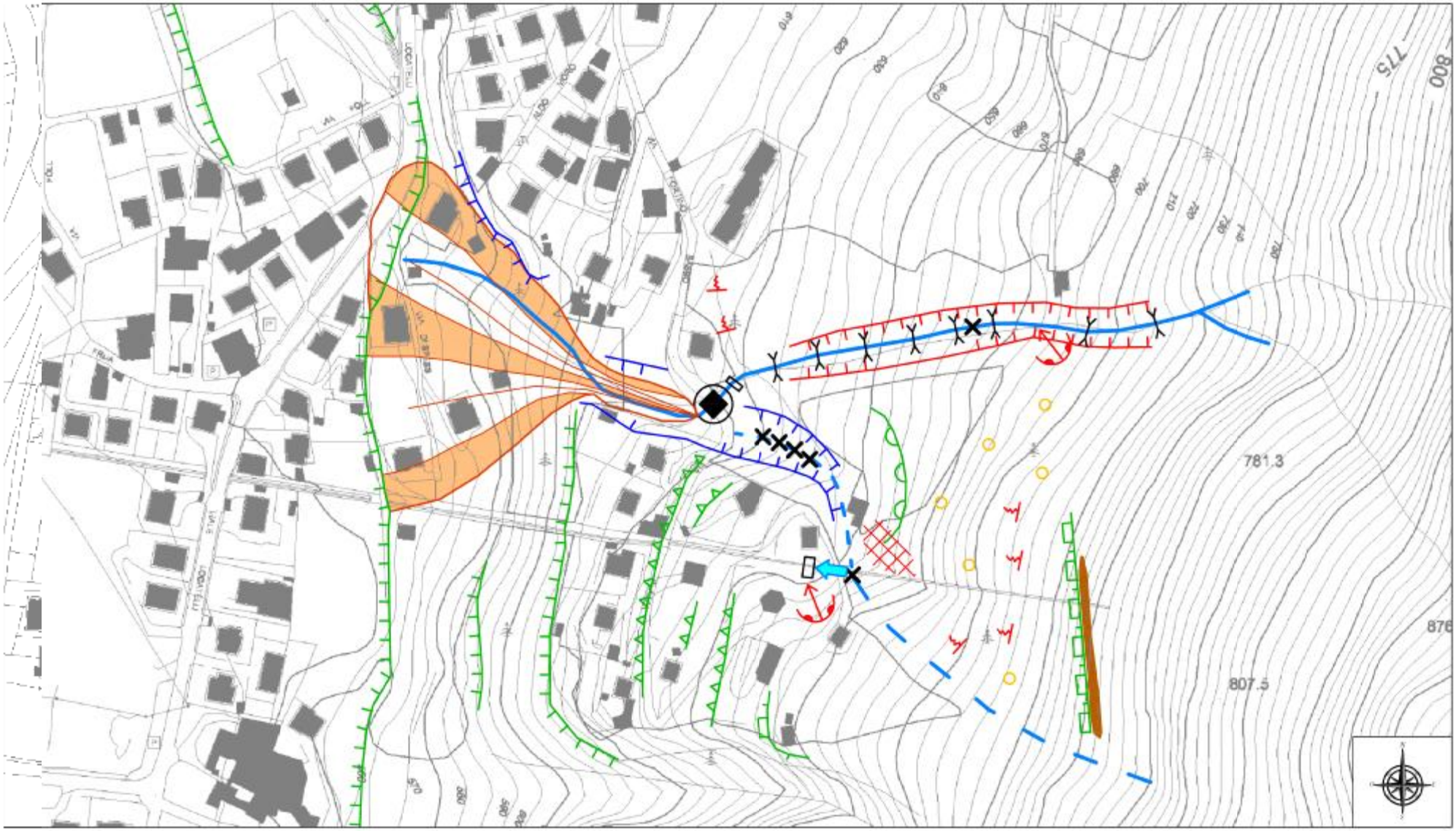
- Calcare
- Marna
- Conglomerati e brecce
- Dolomia
- Rocce effusive basiche

R ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

- Nicchia di frana attiva
- Nicchia di frana inattiva
- Frana non fedelmente cartografabile
- Crollo puntiforme
- Orlo di scarpata di erosione fluviale
- Rottura di cotica erbosa da sovraccarico di pascolo o da transito bestiame
- Orlo di scarpata di origine antropica
- Orlo di scarpata di degradazione o di frana
- Orlo di scarpata modellata da più processi morfogenetici concomitanti
- Tracce di ruscellamento diffuso
- Faglia certa o presunta



COMUNE DI:	Ardesio (Bergamo)
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale
TITOLO:	CARTA GEOLOGICA - GEOMORFOLOGICA *Conoide Via di Spess*
N. PRATICA: 08_053	SCALA: 1:10000
DATA: Giugno 2012	Rev: Prima emissione
	TAVOLA: **4-C**

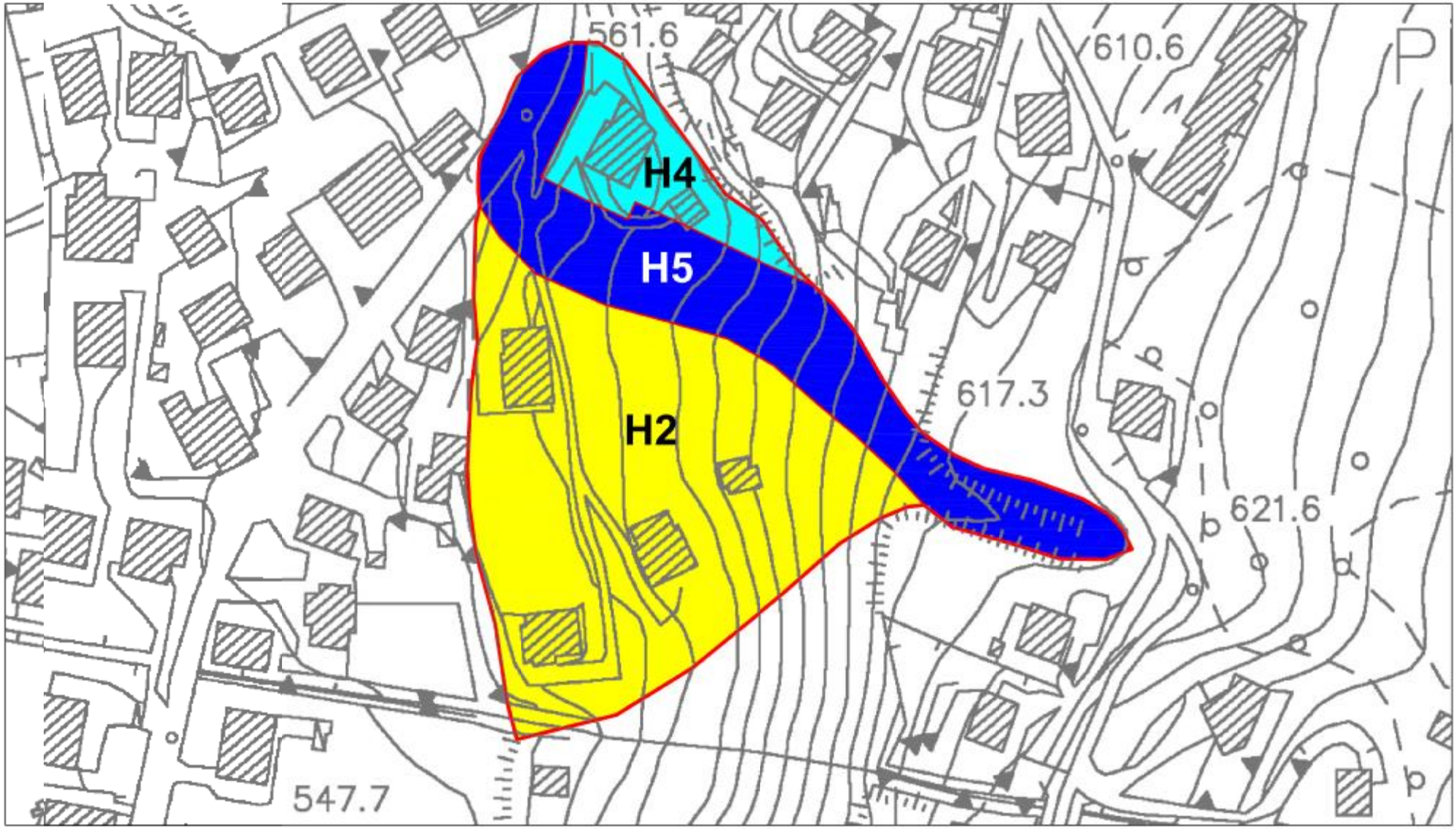


LE

Vedato a parte

COMUNE DI:	Ardesio (Bergamo)
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale
TITOLO:	**CARTA GEOMORFOLOGICA** *Conoide Via di Spess*
N. PRATICA: 08_053	SCALA: 1:2000
DATA: Giugno 2012	Rev: Prima emissione

TAVOLA:
4-D



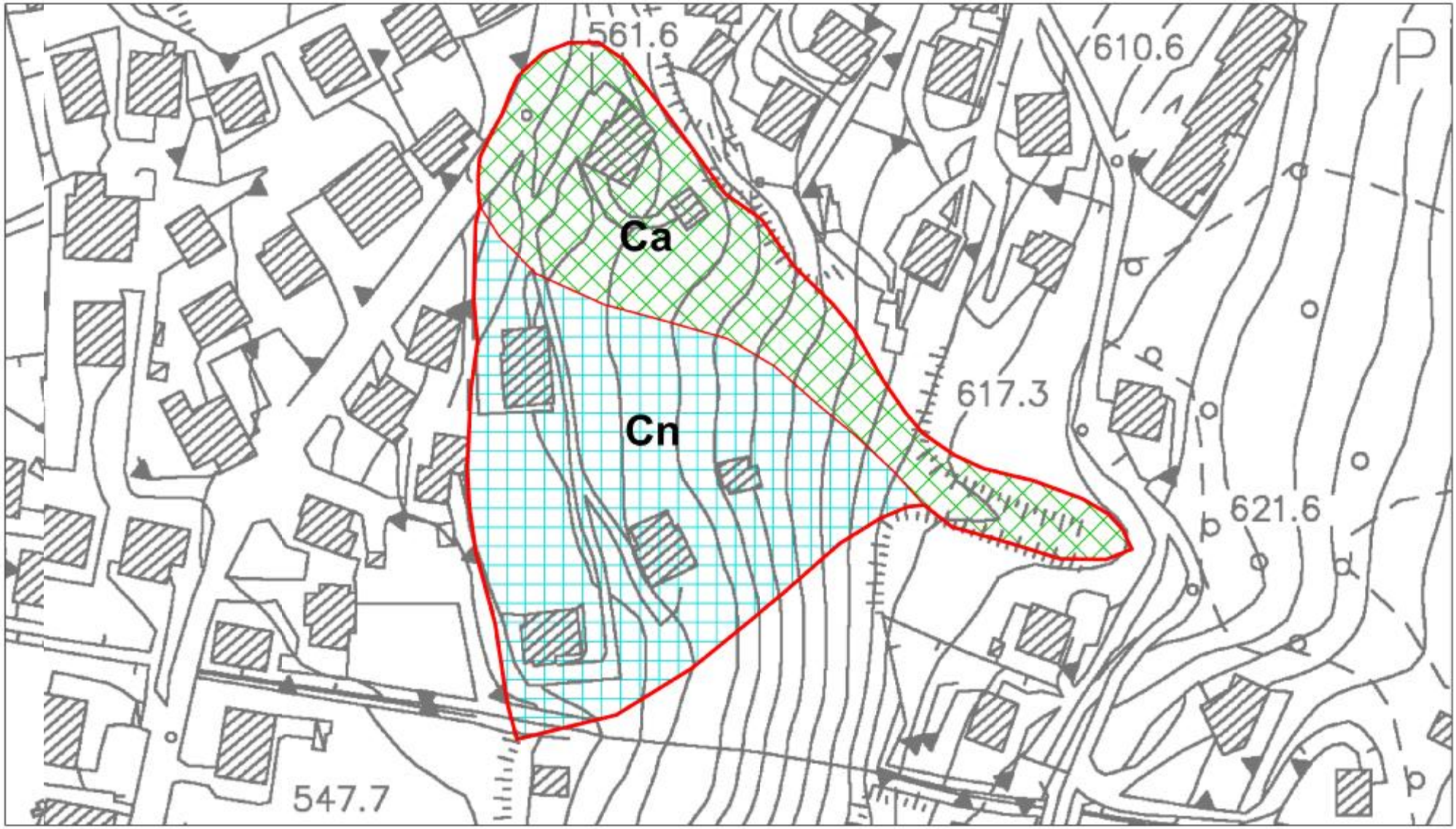
LE

- lasse d per colosità H5
- lasse d per colosità H4
- lasse d per colosità H3 (non presente)
- lasse d per colosità H2
- lasse d per colosità H1 (non presente)

COMUNE DI:	Ardesio (Bergamo)
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale
TITOLO:	CARTA DELLA PERICOLOSITÀ *proposta di modifica*
N. PRATICA: 08_053	SCALA: 1:1000
DATA: Giugno 2012	Rev: Prima emissione
TAVOLA:	4-E

ENDA DELLA CARTA GEOMORFOLOGICA





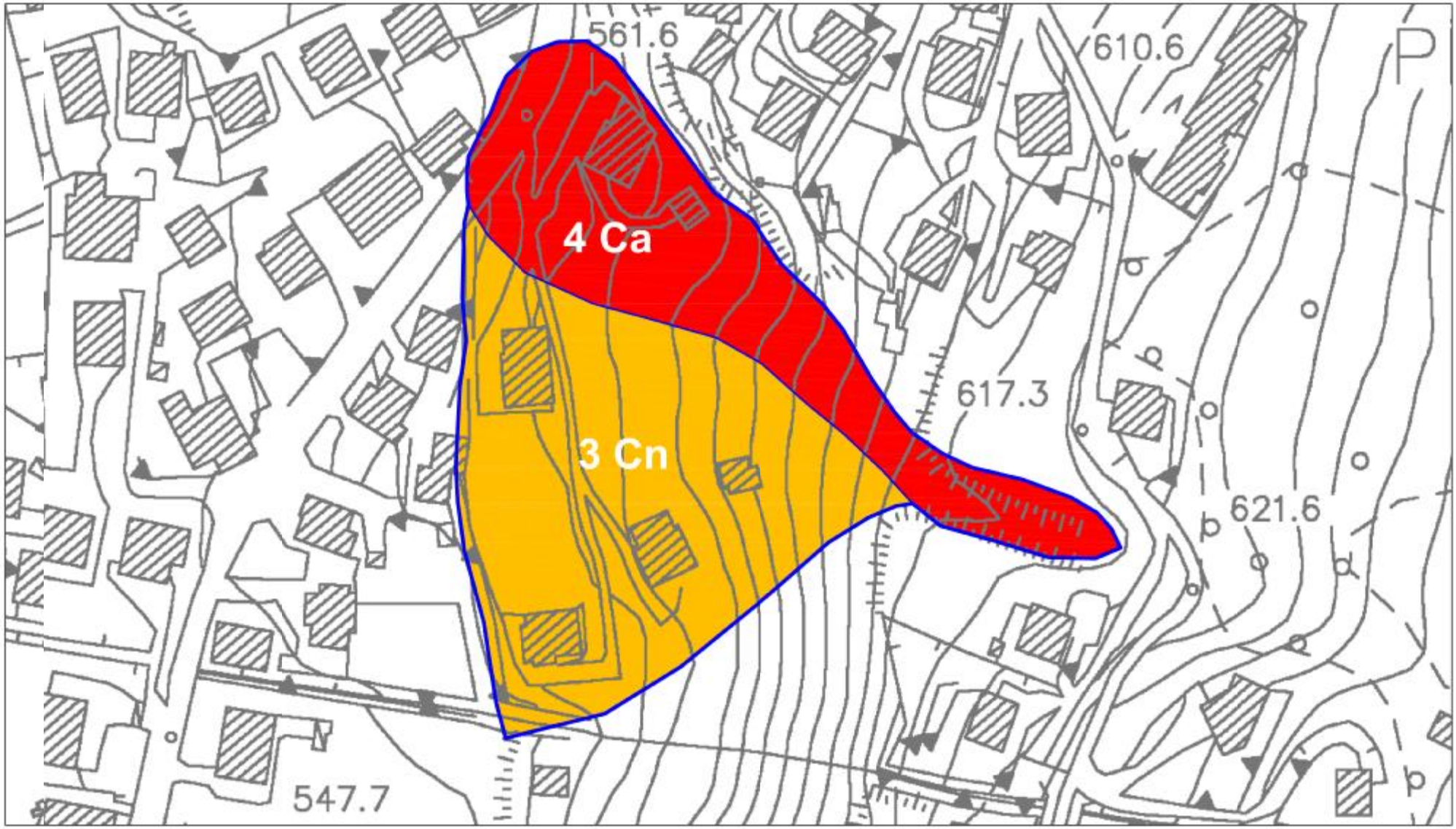
LE

rea di conoide attivo non protetta (Ca)

rea di conoide completamente protetta o non recentemente attivatosi (Cn)

NCarta sono raffigurate esclusivamente le perimetrazioni di dissesto di stretta pertinenza degli ambiti verificati. A queste perimetrazioni si potrebbero sovrapporre, nel quadro delA.I. complessivo, altri dissesti legati a fenomeni diversi. Lo stato definitivo dei dissesti deve, pertanto, essere sempre verificato sulla Carta del Dissesto P.A.I. del P.G.T.

COMUNE DI:	Ardesio (Bergamo)	
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale	
TITOLO:	**CARTA DEL DISSESTO P.A.I.** *proposta di modifica*	
N. PRATICA: 08_053	SCALA: 1:1000	TAVOLA: **4-F**
DATA: Giugno 2012	Rev: Prima emissione	



LE

- lasse di fattibilità 4 Ca
- lasse di fattibilità 3 Cn

NO'sono raffigurate esclusivamente le classi di fattibilità direttamente derivanti dai dissesti P.A.I. verificati nel singolo studio di cettaglio. A queste classi si potrebbero sovrapporre, nella cartografia di fattibilità conclassi legate a fenomeni diversi. La definizione definitiva della fattibilità geologica per ciascun ambito deve, pertanto, essere sempre verificata sulla Carta di Fattibilità Geologica del P.G.T.

COMUNE DI:	Ardesio (Bergamo)
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale
TITOLO:	CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA *proposta di modifica*
N. PRATICA: 08_053	SCALA: 1:1000
DATA: Giugno 2012	Rev: Prima emissione
TAVOLA:	4-G