



Regione Lombardia



COMUNE DI
VEZZA D'OGLIO



Provincia di Brescia

REVISIONE STUDIO GEOLOGICO COMUNALE IN ADEGUAMENTO ALLA L.R.12/05, ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' CONOIDE VALLE SAN CLEMENTE E VAL GRANDE, DEFINIZIONE DEL RETICOLO IDRICO MINORE

03 ZONAZIONE PERICOLOSITA' SAN CLEMENTE

03.1

RELAZIONE

01 RELAZIONE GENERALE
02 RETICOLO IDRICO MINORE
03 ZONAZIONE PERICOLOSITA' SAN CLEMENTE

04 ZONAZIONE PERICOLOSITA' VAL GRANDE
05 REVISIONE CARTA FATTIBILITA' GEOLOGICA
06 ADEGUAMENTO STUDIO GEOLOGICO L.R. 12/05

Scala: Data: *aprile 2008* N° progetto: *0609709* Redatto da:

AGGIORNAMENTI E REVISIONI		Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
	c					
	b					
	a					

I professionisti:

Dott. Geol. Luca Maffeo Albertelli

Progettazione, coordinamento, implementazione dati e grafica:



Uffici: Via Montegrappa, 41 - 24060 Rogno (BG) Tel. e fax 035 4340011
Sede amministrativa: Piazza Mercato, 5 - 25051 Cedegolo (BS)
Tel. e fax 035 4340011- C.F. e P.I.: 02 179 460 981

www.cogeo.info
e-mail: cogeo@cogeo.info

SOCIETA' CERTIFICATA
ISO 9001 / UNI EN ISO 9001 - ED.2000



GEOLOGIA - GEOTECNICA - GEOLOGIA AMBIENTALE INDAGINI GEOTECNICHE E GEOGNOSTICHE

INDICE

1	PREMESSA	2
2	DATI STORICI.....	2
3	ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI.....	3
4	ANALISI DEL BACINO: ASPETTI MORFOMETRICI	4
5	CALCOLO DELLE PORTATE	7
5.1	METODO RAZIONALE	7
5.2	METODO RAZIONALE (Modificato da Bacchi, Ranzi, Rossini e Armanelli Università di Brescia)	9
5.3	METODO DEL CURVE NUMBER (U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE) .	10
5.4	METODO AFFLUSSI-DEFLUSSI.....	11
6	CONSIDERAZIONI FINALI SULLE PORTATE LIQUIDE	13
7	CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO.....	13
8	CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' NELLE AREE DI CONOIDE	14
9	VINCOLI E PRESCRIZIONI	15

ALLEGATI

<i>ALLEGATO 1</i> : Fogli di calcolo portate	18
<i>ALLEGATO 2</i> : Curve di durata portate	23
<i>ALLEGATO 3</i> : Grafici confronto portate	27
<i>ALLEGATO 4</i> : Scheda di calcolo conoide	31

1 PREMESSA

La presente relazione illustra le analisi e verifiche condotte sul bacino della Valle San Clemente, nel comune di Vezza D'Oglio, allo scopo di ricavare le portate di massima piena da utilizzare nei calcoli e nelle verifiche dei deflussi liquidi e liquido-solidi lungo il torrente e definire quindi le condizioni di pericolosità dell'apparato di conoide.

L'analisi è stata condotta per punti successivi analizzando in ordine i seguenti aspetti:

- *caratteristiche morfologiche e morfometriche del bacino;*
- *analisi delle portate di massima piena impiegando i più noti metodi presenti in letteratura;*
- *analisi del trasporto solido e magnitudo del bacino;*
- *perimetrazione della pericolosità lungo la conoide e definizione della pericolosità finale.*

Lo studio e la zonazione della pericolosità generata da possibili colate di detrito e trasporto in massa lungo l'apparato di conoide è stata condotta considerando le indicazioni contenute nell'allegato 2 – 4 della L.R. 12/2005 e nel quaderno regionale di ricerca n.34 (Regione Lombardia).

Oltre all'analisi delle condizioni di rischio sottese all'apparato di conoide sono stati proposti una serie di interventi di sistemazione idraulica che possono apportare dei rilevanti benefici nella riduzione del rischio di esondazione delle aree perimetrate.

Il risultato finale dello studio è una carta di fattibilità che si propone come modifica alle precedenti previsioni adottate dal Comune di Vezza d'Oglio, nonché una proposta di fattibilità conseguente le eventuali opere di sistemazione del sito.

Inoltre si propone l'aggiornamento dell'elaborato n.2 del PAI (Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici).

2 DATI STORICI

In tabella si riportano i dati storici degli eventi alluvionali del comune di Vezza d'Oglio desunti dai Quaderni Camuni (n.43 del 1988).

Eventi storici				
Localizzazione	fonte	data	danni	fenomeno
Vezza d'Oglio	Putelli, Franzoni	agosto 1520	Varie rovine	Inondazione fiume Oglio
Vezza d'Oglio	Putelli, Ormanico	25 ottobre 1614	Varie rovine	Inondazione fiume Oglio
Vezza d'Oglio	Putelli	18 ottobre 1738	Distruzione ponti	Inondazione fiume Oglio
Vezza d'Oglio	Putelli	dicembre 1739	Varie rovine	Inondazioni
Vezza d'Oglio	Putelli, Favallini	agosto 1757	Varie rovine	Inondazioni
Vezza d'Oglio	Il Camuno, Nardini, Rizzi	4 ottobre 1852		Inondazione causata da frane cadute nel torrente
Vezza d'Oglio	Il Camuno, Nardini, Rizzi	20 agosto 1864		Inondazione causata da frane cadute nel torrente
Vezza d'Oglio	Sina, Rosa	1878	Varie rovine	Inondazioni

3 ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

Geologicamente l'area del bacino del torrente della Valle San Clemente e la zona di conoide sono caratterizzati dalla presenza delle seguenti litologie:

- *Depositi di conoide*

Si tratta di terreni generatisi dalla deposizione del materiale detritico fluitato dalle correnti di piena del corso d'acqua, che nel tempo hanno portato la sovrapposizione di più eventi di esondazione sino alla formazione dell'apparato di conoide oggi inciso dall'asta torrentizia. Si tratta di terreni dalla granulometria prevalentemente grossolana (sabbie e ghiaie), con alternanza di livelli o orizzonti a granulometria fine corrispondenti agli eventi di deposizione per correnti di morbida del corso d'acqua. La dinamica di deposizione delle acque di piena risulta complessa e variabile sia in profondità, nell'apparato di conoide, sia arealmente: in particolare si possono distinguere la parte alta della conoide, quella intermedia e quella terminale.

- *Depositi di falda*

Si tratta di depositi detritici e depositi di frana legati all'attività gravitativa dei versanti e alla naturale evoluzione degli stessi che comprende fenomeni di naturale degradazione e fenomeni di rapida evoluzione come nel caso dei fenomeni franosi in roccia e terreno: anche in questo caso i depositi sono caratterizzati dalla presenza di terreni eterogenei con granulometrie variabili.

- *Depositi glaciali*

Occupano la parte settentrionale del bacino idrografico del torrente e si possono distinguere in base alla posizione e alla conformazione morfologica in detrito glaciale, perlopiù diffuso lungo i versanti, e cordoni morenici, allungati per lo più parallelamente allo sviluppo vallivo o con sviluppo ad arco convesso nel senso di scorrimento delle lingue glaciali. I depositi sono caratterizzati, a seconda della posizione, da ghiaie e ciottoli poligenici immersi in matrice spesso abbondante fine costituita da miscele di sabbie, limi e argille. Spesso sono presenti all'interno delle successioni stratigrafiche massi erratici di dimensioni anche metriche, talora affioranti sulla superficie dei depositi.

- *Substrato roccioso*

Il substrato roccioso affiorante o subaffiorante risulta localizzato prevalentemente nella porzione medio-bassa del bacino idrografico ed è caratterizzato dalla presenza delle formazioni rocciose appartenenti al basamento cristallino Austroalpino formato da due unità tettoniche distinte: gli "Scisti del Tonale" e la sottostante "Falda dell'Ortles".

Gli Scisti del Tonale sono costituiti dalla "Serie del Tonale" e dalla "Serie della Val d'Ultimo": si tratta di paraderivati di alto grado metamorfico (Kinzigiti, migmatiti e granuliti) di età varisca, con intercalazioni di quarziti, marmi, ortogneiss, anfiboliti, metagabbri e peridotiti a granato e spinello, talora serpentizzate; la Falda dell'Ortles è formata da micascisti e filladi con intercalazioni di metabasiti e di corpi aplitico-pegmatitici.

4 ANALISI DEL BACINO: ASPETTI MORFOMETRICI

L'analisi morfometrica è stata effettuata utilizzando la cartografia della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 e ricercando i principali parametri geometrici che caratterizzano il bacino idrografico.

Per bacino idrografico si intende l'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla sezione di chiusura. La sezione di chiusura viene considerata a una quota di 1120 m s.l.m. punto di apice della conoide.

Caratteristiche del bacino	
Forma	Allungata in direzione N-S
Sviluppo	Da quota 1120m s.l.m. fino a 2490m s.l.m. circa
Area	2.03 Km ²
Perimetro	6.9 Km
Lunghezza asta principale	2.2 Km

Sono stati valutati inoltre i parametri del bacino in termini di proprietà areali. Tra questi i più importanti sono:

- **Rapporto di circolarità R_c :** è definito come rapporto tra la superficie del bacino e l'area del cerchio avente lo stesso perimetro del bacino.
- **Fattore di compattezza R_k :** è definito come rapporto tra il perimetro del bacino e la circonferenza del cerchio avente una superficie pari a quella del bacino.



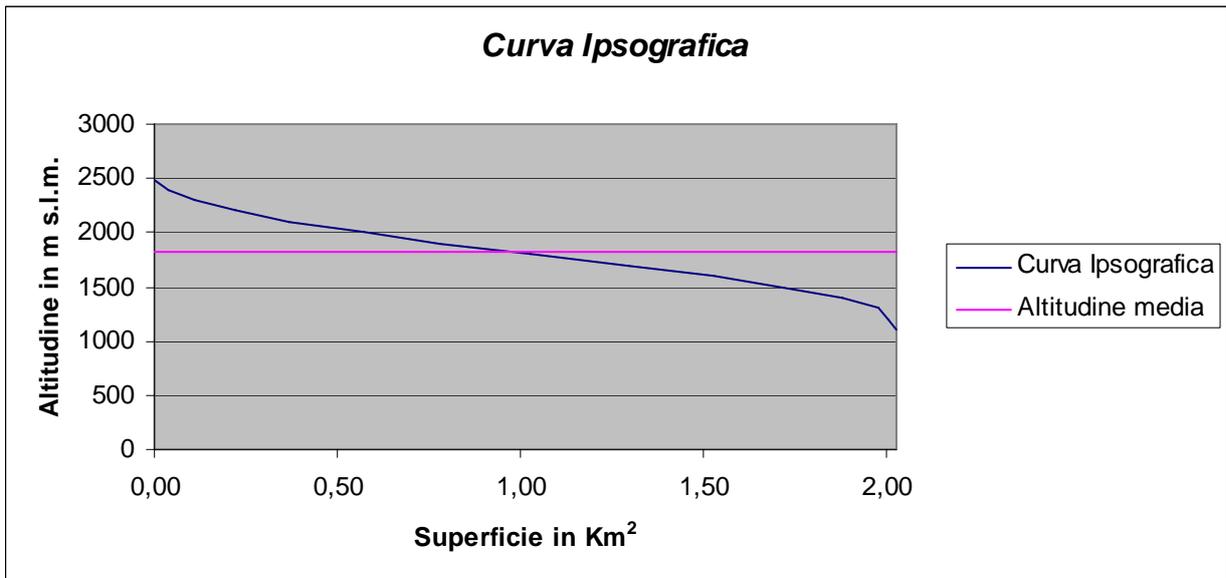
Un bacino avrà una forma circolare regolare quando i parametri R_c e R_k si avvicinano all'unità. In caso contrario il bacino avrà forma allungata e conseguentemente i tempi di deflusso della piena risultano più dilatati.

Nel caso del bacino della Valle San Clemente il rapporto di circolarità è pari a 0.53 mentre il fattore di compattezza è pari a 1.37 evidenziando proprio la sua forma allungata.

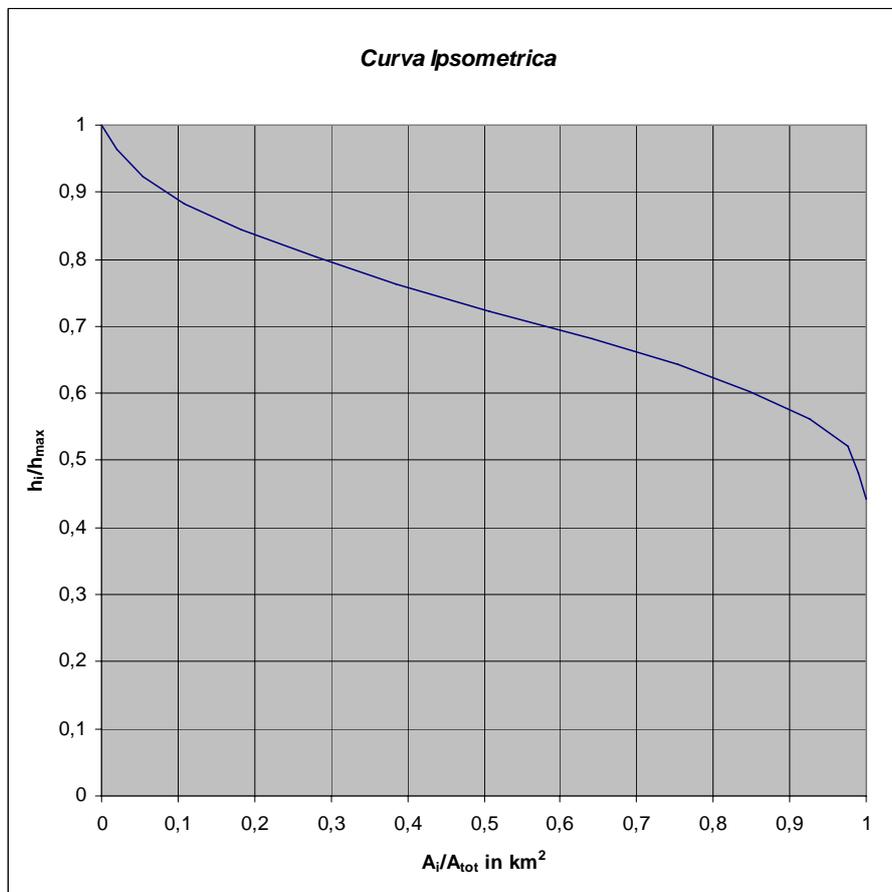
Assume particolare importanza nelle analisi l'individuazione delle curve ipsografica, ipsometrica e clinometrica del bacino.

Intervallo tra le isoipse	Superficie parziale		Superficie progressiva	
	km ²	%	km ²	%
2500-2400	0,04	1,97	0,04	1,97
2400-2300	0,07	3,45	0,11	5,42
2300-2200	0,11	5,42	0,22	10,84
2200-2100	0,15	7,39	0,37	18,23
2100-2000	0,20	9,85	0,57	28,08
2000-1900	0,21	10,34	0,78	38,42
1900-1800	0,25	12,32	1,03	50,74
1800-1700	0,27	13,30	1,30	64,04
1700-1600	0,23	11,33	1,53	75,37
1600-1500	0,19	9,36	1,72	84,73
1500-1400	0,16	7,88	1,88	92,61
1400-1300	0,10	4,93	1,98	97,54
1300-1200	0,03	1,48	2,01	99,01
1200-1100	0,02	0,99	2,03	100,00

La curva ipsografica è la rappresentazione altimetrica di un bacino: essa si ottiene riportando in un diagramma i punti le cui ordinate e ascisse rappresentano la quota e la superficie delle porzioni di bacino che si trovano a quote superiori di questa, perciò a quota massima abbiamo superficie nulla e viceversa a quota minima abbiamo l'area di tutto il bacino. I dati per il tracciamento delle curve si ottengono planimetrando le aree delimitate dalle curve di livello.

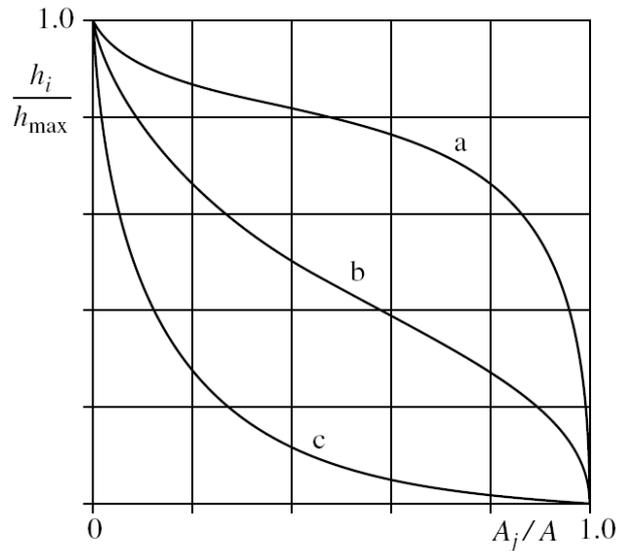


La curva ipsometrica viene rappresentata su un diagramma dimensionale che riporta, in ordinata, la quota H_i rapportata al valore massimo H_{max} e, in ascissa, la superficie A_i posta a quota maggiore o uguale ad H_i rapportata all'area dell'intero bacino.



Dall'andamento di questa curva è possibile stabilire il grado di maturità del bacino. A titolo esemplificativo viene riportato a lato un grafico delle diverse forme della curva ipsometrica. La curva di tipo a rappresenta lo stadio giovanile (bacino in erosione), quella di tipo b la fase di maturità (condizione d'equilibrio) e la c la fase di senilità.

La curva ipsometrica del bacino della Valle San Clemente evidenzia uno stadio di quasi stabilità.



5 CALCOLO DELLE PORTATE

Nello studio idraulico di un corso d'acqua la variabile fondamentale è la portata di massima piena. Tale variabile deve essere associata ad un tempo di ritorno T_r che indica il numero di anni in cui la portata è raggiunta o superata in media una sola volta. Il T_r va scelto in base alle normative vigenti, al rischio e al tipo di sistemazione del bacino. In questo studio sono stati considerati tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni utilizzando i seguenti metodi per la stima della portata di massima piena:

1. Metodo Razionale;
2. Metodo Razionale con le modifiche Università di Brescia (studio Ranzi, Mariani, Rossini e Armanelli);
3. Metodo Curve-Number (metodo CN dell'U.S. Soil Conservation Service);
4. Metodo afflussi-deflussi con istogrammi costanti e triangolari.

5.1 METODO RAZIONALE

Il metodo indiretto di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi, come indicato dalle direttive PAI dell'autorità di Bacino del Po - legge 18 maggio 1989 n.183, è condotto utilizzando la seguente formula per il calcolo della portata critica Q (assumendo nota la precipitazione temibile di assegnato tempo di ritorno) :

$$Q = \Phi \cdot A \cdot i(d_c, T_r, r) \cdot \varepsilon$$

ϕ indica il coefficiente di deflusso di progetto, A l'area del bacino in km^2 , i è l'intensità di precipitazione in funzione della durata critica d_c , del tempo di ritorno T_r e del coefficiente di ragguaglio r , ε il coefficiente di laminazione.

Il tempo di corrivazione T_c viene calcolato con la formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{(H_m - H_0)}}$$

S indica la superficie del bacino in km^2 , L la lunghezza dell'asta principale, H_m l'altezza media del bacino in m s.l.m., H_0 la quota della sezione di chiusura in m s.l.m..

Le altezze di pioggia vengono calcolate utilizzando la relazione tra i parametri a e n della stazione pluviometrica di riferimento (Temù):

$$h_{(t)} = at^n$$

t indica il tempo di progetto in ore posto pari al tempo di corrivazione.

La portata di massima piena viene quindi così calcolata:

$$Q_c = 0.278 \frac{ch_{(t)}S}{T_c}$$

c indica il coefficiente di deflusso.

Le elaborazioni svolte sono riportate in allegato. Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO RAZIONALE	
TEMPO DI RITORNO (<i>anni</i>)	PORTATA DI MASSIMA PIENA (<i>mc/sec</i>)
50	9.97
100	10.78
200	11.62

5.2 METODO RAZIONALE (Modificato da Bacchi, Ranzi, Rossini e Armanelli Università di Brescia)

L'analisi è stata condotta con riferimento alle indicazioni dello studio di Ranzi, Mariani, Rossini, Armanelli e Bacchi sull'Analisi e sintesi delle piogge intense nel territorio Bresciano (1999), nel quale l'altezza di pioggia viene ipotizzata appartenere ad una popolazione la cui funzione di probabilità è la distribuzione asintotica del massimo valore, nota come distribuzione di Gumbel. Di seguito si riportano le formule che hanno portato alla stima della portata.

Per il calcolo delle altezze di pioggia si utilizzi la seguente relazione:

$$h = a_T T_c^{n_1}$$

Posto:

$$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[\varepsilon + \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \right\} \quad (\text{T è il tempo di ritorno ed } \varepsilon \text{ il numero di Eulero})$$

$$T_c = \frac{3.3\sqrt{A + 3.2L}}{\sqrt{Q_{med} - Q_{min}}} \quad (\text{A è l'area del bacino e L la lunghezza dell'asta principale})$$

Per il calcolo della portata si utilizzi invece la seguente relazione:

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot \phi \cdot r \cdot A \cdot a_T \cdot T_c^{n_1-1}$$

Dove ϕ rappresenta il coefficiente di afflusso locale, e r un coefficiente che dipende dall'area del bacino e dal tempo di corrivazione.

Le elaborazioni svolte sono riportate in allegato. Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO RAZIONALE <small>(Modificato)</small>	
TEMPO DI RITORNO <small>(anni)</small>	PORTATA DI MASSIMA PIENA <small>(mc/sec)</small>
50	9.90
100	10.84
200	11.78

5.3 METODO DEL CURVE NUMBER (U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE)

Il metodo dell'U.S. Soil Conservation Service prevede l'utilizzo del modello SCS-CN. Con tale modello vengono depurati i dati di pioggia dalle perdite che si hanno a causa dell'infiltrazione e dell'accumulo temporaneo negli strati superficiali del suolo attraverso la seguente formula:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{(h_{lorda} + S - I_a)}$$

I_a indica l'assorbimento iniziale ed è posto pari a $I_a = 0.2S$.

Il valore di S si ricava dalla formula:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Il parametro *CN* rappresenta l'attitudine di un bacino a produrre deflussi e può assumere valori che variano da 0 a 100 in base alle caratteristiche idrologiche dei suoli, alla copertura vegetale del bacino in esame e alla condizione di umidità del terreno agli inizi dell'evento meteorico (denotata con *Antecedent Moisture Condition, AMC*).

Nel caso in esame il bacino è stato suddiviso in aree a diversa copertura distinguendo tra:

- Roccia;
- Deposito Glaciale;
- Deposito detritico e alluvioni.

Per ognuna di queste aree è stato attribuito un valore di CN preliminare arrivando così a calcolare un valore medio ponderato del bacino.

Successivamente si è proceduto scegliendo come condizione di umidità del terreno agli inizi dell'evento meteorico la AMC di classe III corrispondente a situazioni molto umide (situazione più cautelativa).

Per questa classe le altezze di pioggia nei 5 giorni precedenti all'inizio dell'evento sono poste pari a 58mm per il periodo vegetativo, e 28 mm per il periodo di riposo.

Per stimare la portata è necessario calcolare il tempo di corrivazione T_c ed il tempo di ritardo T_r . L'US del Soil Conservation Service propone queste formule:

$$T_c = \frac{100L^{0.8} \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{1900s^{0.5}}$$

$$T_l = 0.342 \cdot \left(\frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \right) \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

L indica la lunghezza dell'asta principale e s la pendenza media dei versanti.

Con questi due parametri è possibile calcolare il tempo di accumulo T_a pari a $T_a = 0.5T_c + T_l$.

Il calcolo finale della portata è effettuato utilizzando la seguente formula:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{V \cdot A}{T_a}$$

A indica la superficie del bacino e V il volume di deflusso e si calcola come:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

P indica la precipitazione critica calcolata per assegnati valori di tempo di ritorno.

Le elaborazioni svolte sono riportate in allegato. Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti:

METODO CURVE NUMBER	
TEMPO DI RITORNO (<i>anni</i>)	PORTATA DI MASSIMA PIENA (<i>mc/sec</i>)
50	7.51
100	10.88
200	14.87

5.4 METODO AFFLUSSI-DEFLUSSI

Per avere una panoramica più completa dei valori stimati di portata è stato impiegato l'apposito software HEC-HMS elaborato dall'U.S. Army Corps of Engineers. Tale software è in grado di simulare processi relativi alla trasformazione afflussi-deflussi di bacini idrografici, fornendo al sistema i parametri morfologici del bacino e quelli specifici del tipo di modello scelto per la trasformazione, stimando la portata al colmo di piena della sezione di chiusura. Per quanto riguarda il metodo di calcolo delle perdite superficiali si è utilizzato il metodo SCS Curve Number, secondo il quale le perdite vengono rappresentate mediante un fattore di assorbimento iniziale (Initial Loss). Naturalmente non si ha precipitazione efficace fino a che non viene raggiunto il valore di Initial Loss. Per stimare i parametri richiesti dal modello sono stati

analizzati i dati relativi alla tipologia ed all'utilizzo del suolo, ricavando un valore CN medio dal quale si è poi calcolato il valore delle perdite iniziali. Sempre attraverso l'utilizzo di questo software sono stati elaborati, a parità di tempo di ritorno e durata di pioggia, svariati ietogrammi a ciascuno dei quali compete una diversa onda di piena. In particolare sono stati utilizzati ietogrammi costanti e ietogrammi triangolari di durate variabili (mezz'ora, un'ora e due ore), e con tempo di ritorno di 50, 100 e 200 anni.

I risultati finali delle elaborazioni sono di seguito schematizzati:

MODELLO	TEMPO DI RITORNO (anni)	DURATA PRECIPITAZIONE	PORTATA DI MASSIMA PIENA (mc/sec)
COSTANTE	50	30 minuti	8.90
		1 ora	10.49
		2 ore	7.61
	100	30 minuti	10.43
		1 ora	11.72
		2 ore	8.50
	200	30 minuti	12.00
		1 ora	12.93
		2 ore	9.37
TRIANGOLARE	50	30 minuti	9.01
		1 ora	13.81
		2 ore	13.72
	100	30 minuti	10.75
		1 ora	15.72
		2 ore	15.34
	200	30 minuti	12.54
		1 ora	17.57
		2 ore	16.90

Dall'esame dei valori di portata sopra riportati si ricava immediatamente che le analisi condotte con il modello triangolare sono a favore della sicurezza sovrastimando i valori di portata di massima piena. I valori che si ritiene possano avvicinarsi alla condizione reale con maggior precisione sono quelli elaborati con il modello triangolare per durate prossime a quelle del tempo di corrivazione ovvero considerando durate di 30 minuti.

6 CONSIDERAZIONI FINALI SULLE PORTATE LIQUIDE

Le verifiche eseguite hanno evidenziato i seguenti aspetti:

- ✓ Tra i metodi razionali non vi sono variazioni significative nel calcolo della portata.
- ✓ Il metodo CN fornisce dei risultati che si scostano da quelli ottenuti utilizzando le formule razionali nel caso di tempi di ritorno di 50 e 200 anni, mentre fornisce risultati del tutto confrontabili con gli altri nel caso di tempo di ritorno di 100 anni.
- ✓ L'applicazione dei modelli afflussi-deflussi con ietogrammi di varia forma consente di ricostruire i valori di portata massima per durate prossime al tempo di corrivazione del bacino con valori simili a quelli calcolati con le formule razionali.

Dovendo comunque adottare un valore di portata di massima piena di progetto si può ipotizzare di fissare tale valore all'interno dell'area nella quale ricadono tutte le portate calcolate con i diversi metodi, adottando così:

$Q_{\max Tr 50} = 9 \text{ mc/sec}$
$Q_{\max Tr 100} = 10.5 \text{ mc/sec}$
$Q_{\max Tr 200} = 12 \text{ mc/sec}$

I valori ottenuti dallo studio in esame ben concordano con i valori forniti dal Sistema Informativo Bacini e Corsi d'Acqua della Regione Lombardia (SIBCA), che per il bacino della Valle San Clemente di Vezza d'Oglio risultano essere pari a $Q_{\max Tr 50} = 9.67 \text{ mc/sec}$ e $Q_{\max Tr 100} = 10.76 \text{ mc/sec}$.

Il Sistema Informativo si prefigge di creare un approccio per la definizione di scenari di rischio idrogeologico all'interno di bacini idrografici alpini e allo sbocco dei corsi d'acqua sui conoidi. Lo scopo finale è quello di calcolare in modo semi-automatico la massima portata liquida e la magnitudo di un bacino idrografico costruito partendo da un punto qualunque del reticolo idrografico, scelto dall'utente.

7 CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO

A partire dai parametri morfometrici del bacino e del conoide, e dalla stima della portata liquida per un tempo di ritorno di 100 anni, sono state valutate la tipologia di trasporto solido e la magnitudo attesa attraverso l'applicazione di formule empiriche tratte da letteratura.

La tipologia attesa di trasporto solido prevalente è stata dedotta dalla relazione tra pendenza media del conoide e indice di Melton ed è stata confermata dai rilievi su campo come colata detritica (il bacino è a rischio di debris-flow).

Per la valutazione della magnitudo (volume mobilitabile) si è fatto ricorso all'applicazione di alcune formule empiriche tra le quali quelle di Ceriani et al. (2000), Bottino et al. (1996). I risultati ottenuti dimostrano che il volume detritico mobilitabile risulta compreso tra 9749 mc e 29900 mc.

Dalla portata di massima piena calcolata con i metodi precedentemente descritti, si è ricavata la portata massima di piena della miscela liquido-solido che risulta essere pari a 105 mc/sec per tempo di ritorno di 100 anni.

Al fine di verificare la possibile interferenza della colata detritica con l'area in esame si è proceduto calcolando l'estensione massima longitudinale del deposito, pari a 175 m. Tutte le elaborazioni sono riportate nell'allegato 4.

8 CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' NELLE AREE DI CONOIDE

La valutazione della pericolosità geomorfologica dei settori di conoide è stata condotta in riferimento al metodo proposto da Aulitzky (1973). In particolare è risultata una pericolosità da esondazione nel conoide medio – alta.

La perimetrazione della pericolosità è stata rappresentata in scala 1:2000 (cfr tavola 03.7 03.8), facendo riferimento alla esondazione della sola fase liquida (tavola 03.7) e alla possibile formazione di colata detritica (tavola 03.8). Per quest'ultimo caso si è proceduto utilizzando le metodologie di analisi proposte dalla Regione Lombardia e contenute nell'allegato 2 della legge regionale 12 del 2005, "Zonazione della pericolosità generata da colate di detrito e trasporto in massa lungo le conoidi alpine".

Sono stati considerati 5 gradi di pericolosità, secondo la classificazione individuata nelle direttive regionali, e più precisamente:

H5	Pericolosità molto alta	Comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide.
H4	Pericolosità alta	Area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosione di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido, con danneggiamento di opere e manufatti.
H3	Pericolosità media	Area interessata nel passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su base storiche; area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione) ed a erosioni di sponda. In particolare si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiali sabbioso-ghiaiosi.
H2	Pericolosità bassa	Area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opera di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di interventi estremi con basse probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto.
H1	Pericolosità molto bassa	Area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto.

In riferimento alle indicazioni contenute nella normativa di riferimento, ed in particolare nei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione all’art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, N.12” della Regione Lombardia, si propone la corrispondenza tra le classi di pericolosità e le classi di fattibilità geologica per le azioni di piano secondo il seguente schema:

Classi di pericolosità	Classi di fattibilità geologica per le azioni di Piano
H5	4
H4	4
H3	3
H2	2
H1	2

La fattibilità riportata in tabella si riferisce ai soli aspetti riguardanti i fenomeni di alluvione relativi ai conoidi. Nel caso di interventi da realizzare nella zona in esame si dovrà procedere a verificare gli altri aspetti di carattere geologico e sismico.

9 VINCOLI E PRESCRIZIONI

La normativa, “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione all’art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, N.12” della Regione Lombardia, prevede per ogni diversa classe di fattibilità i seguenti vincoli:

✓ **Classe 4 – Fattibilità con gravi limitazioni**

L’alta pericolosità e vulnerabilità comporta gravi limitazioni all’utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d’uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall’art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l’adeguamento alla normativa antisismica.

✓ **Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni**

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all’utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d’uso per le condizioni di pericolosità e vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

✓ **Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni**

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

✓ **Classe 1 – Fattibilità senza particolari limitazioni**

La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dal d.m. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".

Per le aree individuate in questo studio con pericolosità H3, H2 e H1 risulta necessaria la specifica di accorgimenti finalizzati a mitigare le condizioni di rischio rendendo così possibile la realizzazione di interventi di nuova edificazione.

Di seguito si riportano alcuni dei possibili accorgimenti che dovranno essere presi in considerazione e alcune delle prescrizioni necessarie a garantire la compatibilità degli interventi di trasformazione territoriale così come indicato nell'allegato n.4 della l.r. 12/2005:

a) *Misure per evitare il danneggiamento dei beni e delle strutture*

- ✓ realizzare le superfici abitabili, le aree sede dei processi industriali, degli impianti tecnologici e degli eventuali depositi di materiali sopraelevate rispetto al livello della piena di riferimento;
- ✓ realizzare le aperture degli edifici situate al di sotto del livello di piena a tenuta stagna; disporre gli ingressi in modo che non siano perpendicolari al flusso principale della corrente;
- ✓ progettare la viabilità minore interna e la disposizione dei fabbricati così da limitare allineamenti di grande lunghezza nel senso dello scorrimento delle acque, che potrebbero indurre la creazione di canali di scorrimento a forte velocità;
- ✓ progettare la disposizione dei fabbricati in modo da limitare la presenza di lunghe strutture trasversali alla corrente principale;
- ✓ favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo.

b) *Misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni*

- ✓ opere drenanti per evitare le sottopressioni idrostatiche nei terreni di fondazione; qualora il calcolo idraulico non consenta di differenziare il valore della velocità nelle diverse porzioni della sezione, il grafico viene letto in funzione della velocità media nella sezione. Si intende che le condizioni idrauliche così definite si mantengano invariate su tutto il tronco a cavallo della sezione;
- ✓ opere di difesa per evitare i fenomeni di erosione delle fondazioni superficiali;

- ✓ fondazioni profonde per limitare i fenomeni di cedimento o di rigonfiamento di suoli coesivi.

- c) *Misure per facilitare l'evacuazione di persone e beni in caso di inondazione*
 - ✓ uscite di sicurezza situate sopra il livello della piena di riferimento aventi dimensioni sufficienti per l'evacuazione di persone e beni verso l'esterno o verso i piani superiori;
 - ✓ vie di evacuazione situate sopra il livello della piena di riferimento.

- d) *Utilizzo di materiali e tecnologie costruttive che permettano alle strutture di resistere alle pressioni idrodinamiche*

- e) *Utilizzo di materiali per costruzione poco danneggiabili al contatto con l'acqua.*

In particolare si suggeriscono i seguenti interventi (cfr tavola 03.10):

- ✓ Ampliamento della sezione di deflusso del torrente con sezione utile pari ad almeno 2 mq, per tutti i tratti di torrente a valle della quota 1120 m s.l.m.;
- ✓ Realizzazione di uno sghiaiatore a monte del tombotto posto a quota 1090 m s.l.m. al fine di limitare il trasporto solido nel tratto a valle dello stesso. Saranno opportune le periodiche operazioni di manutenzione e pulizia dello sghiaiatore al fine di garantire la sua adeguata efficienza;
- ✓ Rifacimento dei tombotti di attraversamento delle strade al fine di garantire una sezione pari ad almeno 2 mq;
- ✓ Rinaturalizzazione dell'alveo dalla quota 1044 m s.l.m. alla quota 1020 m s.l.m. abbandonando l'attuale tracciato tombinato. Lungo questo nuovo tratto si consigliano opere di regimazione dell'asta torrentizia tramite la realizzazione di soglie e salti al fine di ridurre la velocità della corrente.

ALLEGATO 1

Fogli di calcolo portate

STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

Descrizione : Valle San Clemente - Vezza D'Oglio

Punto di sezione :

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO		DATI RISULTANTI
S ⇒ 2.03	[Km ²] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione $T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(Hm - Ho)}} \Rightarrow \mathbf{0.43}$ [ore]
L ⇒ 2.2	[Km] Lunghezza asta principale	
Hm ⇒ 1817	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.	
Ho ⇒ 1120	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA	
Curva di probabilità pluviometrica	$h_{(t)} = at^n$
	h _(t) = massima precipitazione in mm al tempo t t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione a = fattore della curva relativo ad un determinato Tr n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)

DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE
(Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)

Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 50	n Tr 50	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200
			23.82	0.538	25.9	0.544	27.97	0.547

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr	h(t)	
50	15.05	h _(t) = massima precipitazione in mm al tempo t t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] 0.43 Tr = tempo di ritorno
100	16.28	
200	17.54	

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE

$$Q_c = 0.278 \frac{ch_{(t)}S}{T_c}$$

dove

Q_c	⇒	0.5	portata al colmo
c	⇒	0.5	coefficiente di deflusso
$h_{(t)}$	⇒		massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)
S	⇒	2.03	[Km ²] Superficie Bacino
T_c	⇒	0.43	[ore] Tempo di corrivazione

RISULTATI

Tr		Q _c [mc/sec]	
50	⇒	9.968	Tr = tempo di ritorno [anni]
100	⇒	10.784	
200	⇒	11.616	

Analisi delle portate con la formula razionale

Torrente Valle San Clemente

STAZIONE	
Nome:	TEMU'
m1:	14.67
n1:	0.46
Cv:	0.319

PARAMETRI BACINO			
Area A Km ² :	2.03	Quota media Q_{med.} :	1817
Lungh. Asta L Km:	2.2	Q. media relativa:	685
Q. massima Q_{max}:	2490		
Q. minima Q_{min}:	1120		

Retta segnalatrice di possibilità pluviometrica

$$aT = m1 \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[\varepsilon + LnLn \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} =$$

TR				
10	20	50	100	200
mm/h	mm/h	26.81 mm/h	29.36 mm/h	31.90 mm/h

Tempo di corrivazione

$$T_c = \frac{3.3\sqrt{A} + 3.2L}{\sqrt{Q_{med} - Q_{min}}} = \mathbf{0.44} \text{ ore}$$

Altezza di pioggia critica (h=at^n)				
TR				
10	20	50	100	200
mm	mm	18.4666 mm	20.222 mm	21.97 mm

Calcolo portata

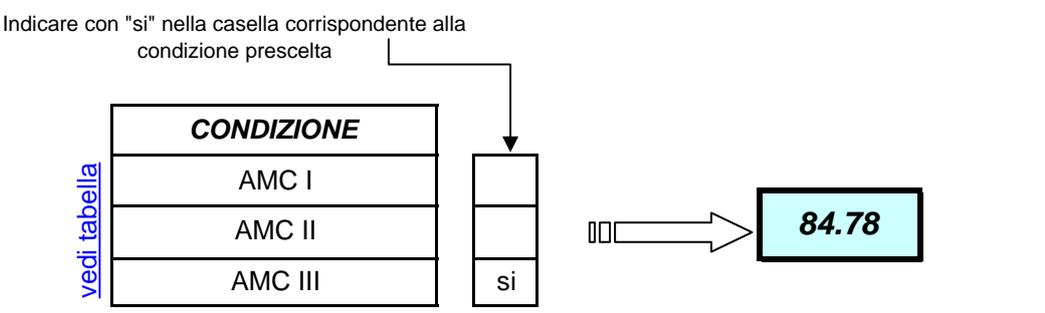
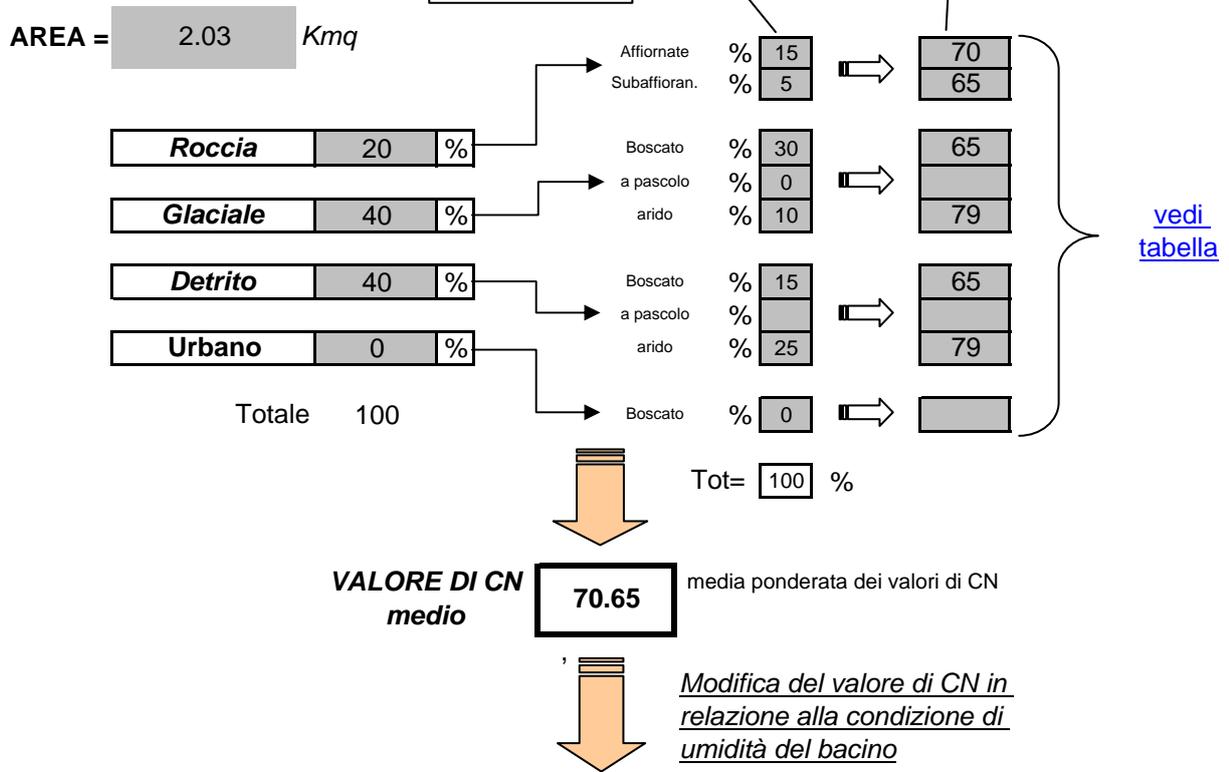
$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot \phi \cdot r(A, d) \cdot A \cdot aT \cdot T_c^{n1-1} =$$

dove si assume:

$\phi =$	0.50	coefficiente di afflusso locale
$T_c =$	0.44	ore
$A =$	2.03	Kmq
$aT =$	variabile con TR	
$n1 =$	0.46	
	$r(A,d) =$	0.845857

	TR				
	10	20	50	100	200
Q (mc/sec,)			9.90	10.84	11.78

CALCOLO DEL CN DEL BACINO E VOLUME DI DEFLUSSO



Calcolo del massimo invaso al suolo Perdite iniziali I_a

$$S = 25 \cdot 4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) = 45.6 \quad I_a = 0.2 \cdot S = 9.12$$

Evento di pioggia $P = 16.21$ mm ← Inserire $h = atn$ l'altezza critica per assegnato TR

Volume di deflusso

$$V = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P + 0.8 \cdot S} = 0.95 \text{ mm} \xrightarrow{\text{Volume tot}} V_{Tot} = \frac{(V)}{1000} \cdot A \cdot 10^6 = 1900$$

$$Q_{ct} = \frac{28 \cdot V \cdot A}{tp} =$$

**CALCOLO PORTATA DI MASSIMA PIENA
E VOLUME DI DEFLUSSO PER TR**

Area bacino Km^q Lunghezza asta Km Pendenza versanti

		<i>Tempo di ritorno TR</i>			
		20	50	100	200
Parametri caratteristici rette	a		23.82	25.9	27.97
di possibilità pluviometrica	n		0.538	0.544	0.547

Calcolo del tempo di ritardo TI e del tempo di corrivazione Tc

$$Tl = 0.342 * \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} * \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} = \text{0.24} \text{ ore} \implies Tc = \text{0.40} \text{ ore}$$

Calcolo del tempo di accumulo Ta

$$Ta = 0.5 * tc + tl = 0.44 \text{ ore}$$

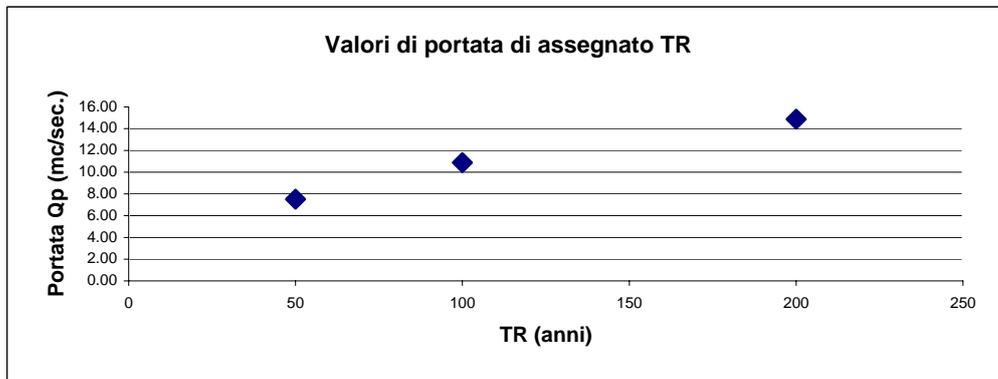
		<i>Tempo di ritorno TR</i>				
		20	50	100	200	
Calcolo della precipitazione critica per assegnato TR	P	0	14.58	15.77	16.979	mm

Calcolo del volume di deflusso V ad assegnato tempo di ritorno

		<i>Tempo di ritorno TR</i>				
		20	50	100	200	
$V = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} =$	V		0.58	0.85	1.16	mm

Calcolo della portata di massima piena Qp assegnato tempo di ritorno

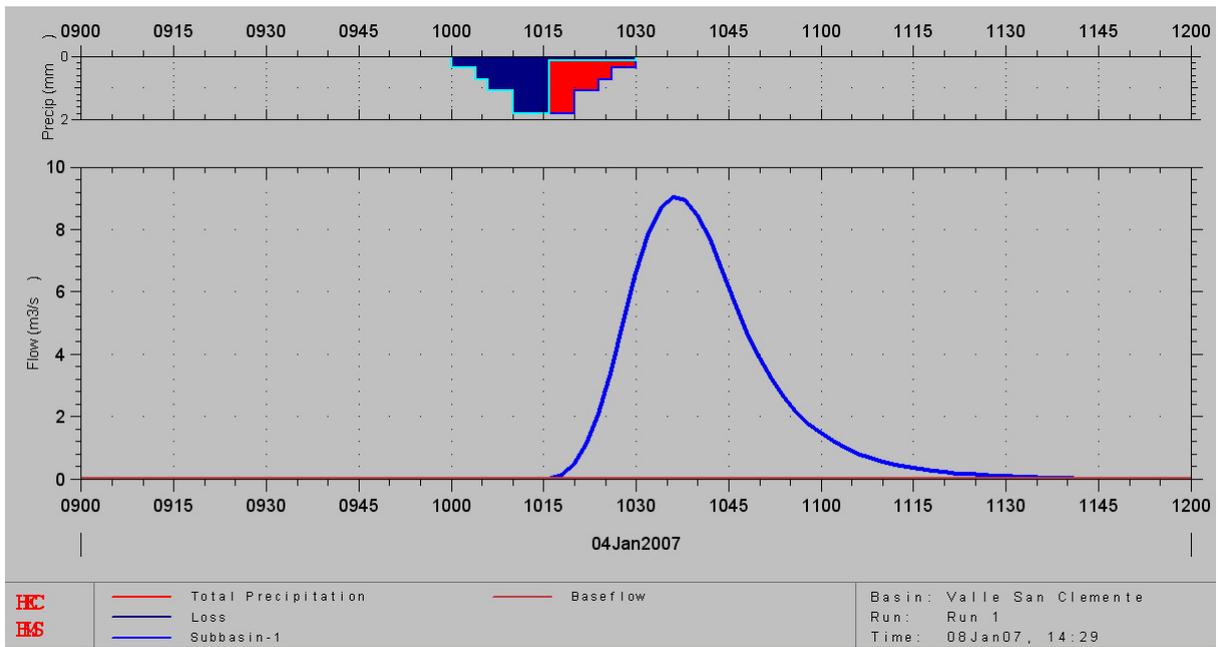
		<i>Tempo di ritorno TR</i>				
		20	50	100	200	
$Qp = 0.208 * \frac{VA}{ta} =$	Qp		7.51	10.88	14.87	mc/sec.



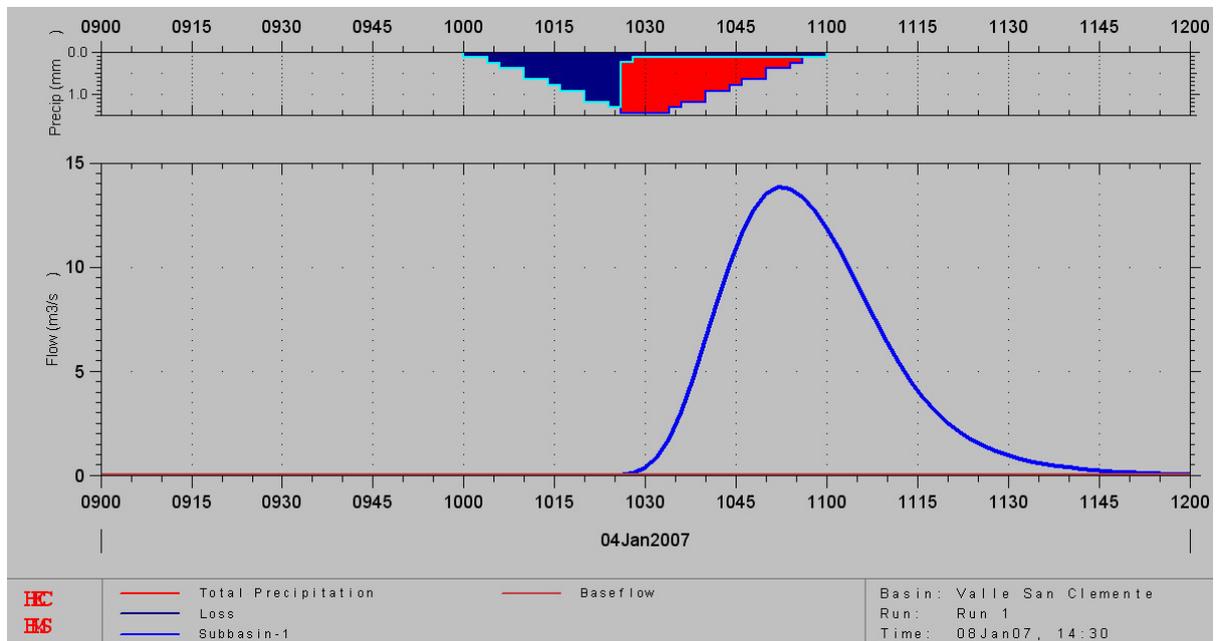
ALLEGATO 2

Curve di durata portate

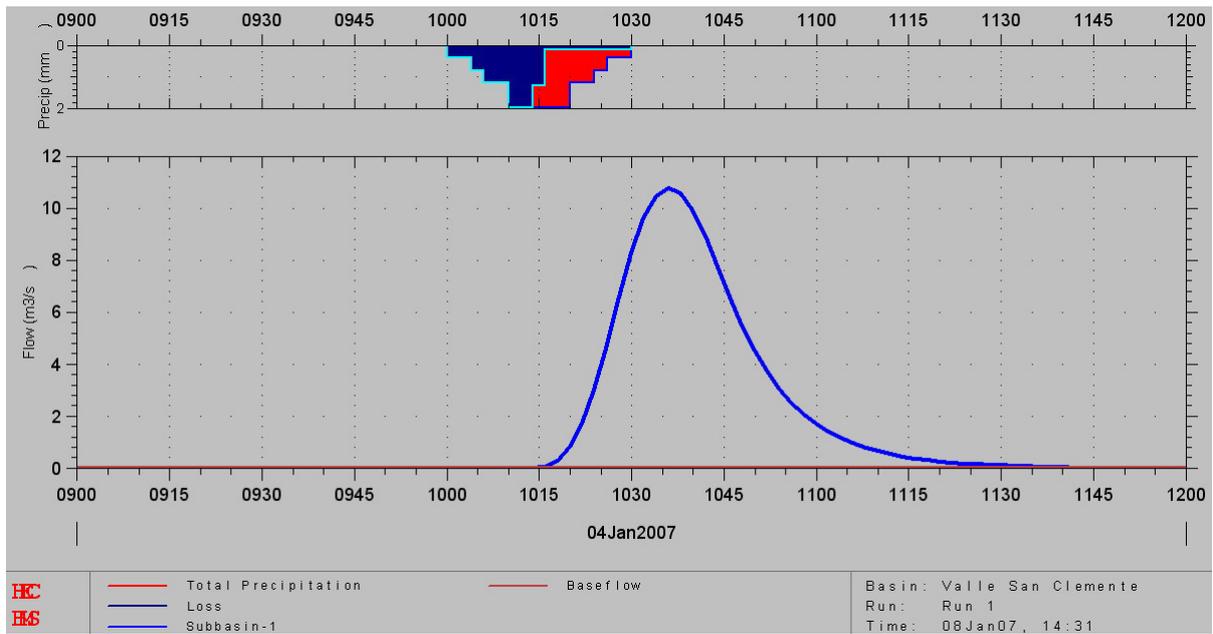
IETOGRAMMA TRIANGOLARE Tr= 50 anni durata 30 minuti



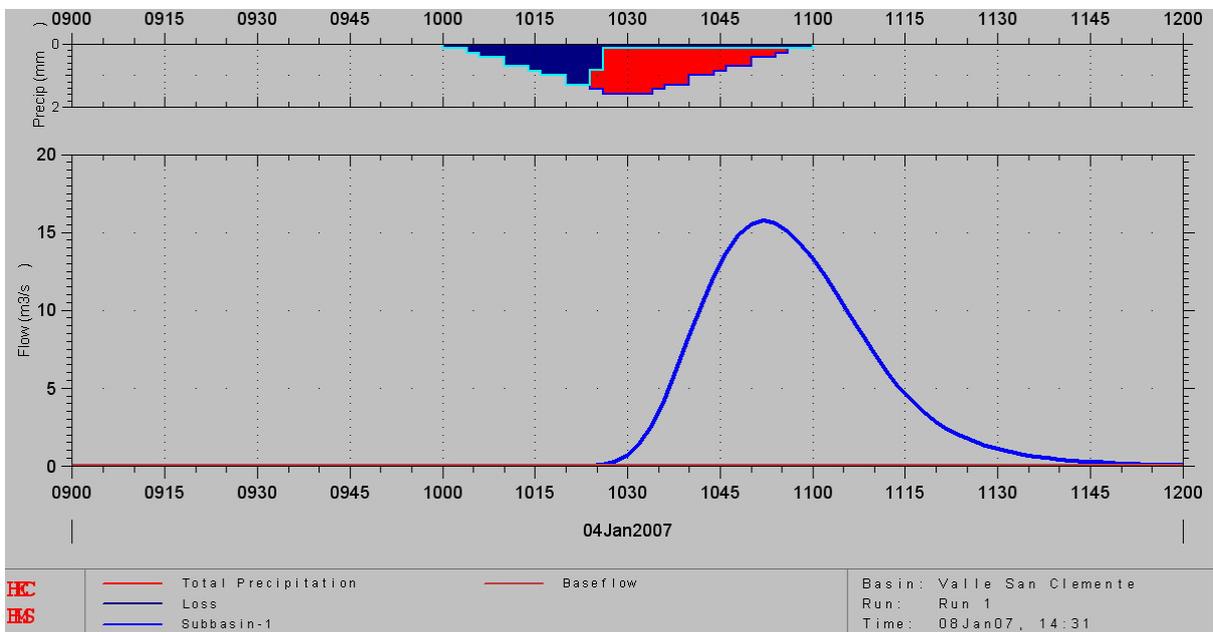
IETOGRAMMA TRIANGOLARE Tr= 50 anni durata 1 ora



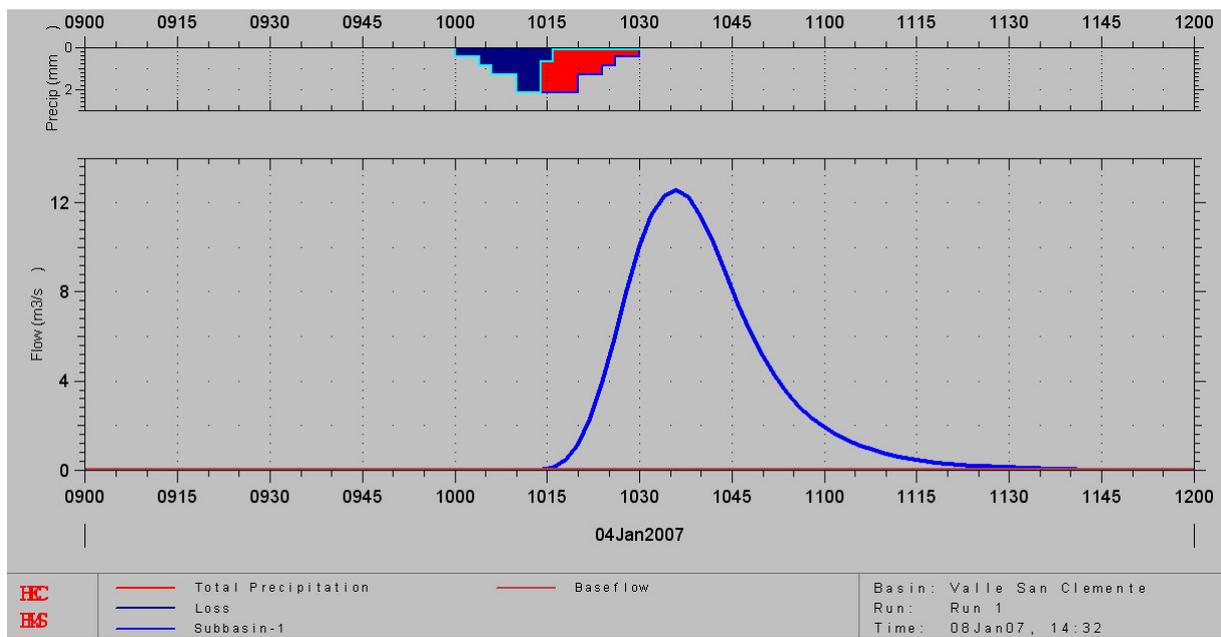
IETOGRAMMA TRIANGOLARE Tr= 100 anni durata 30 minuti



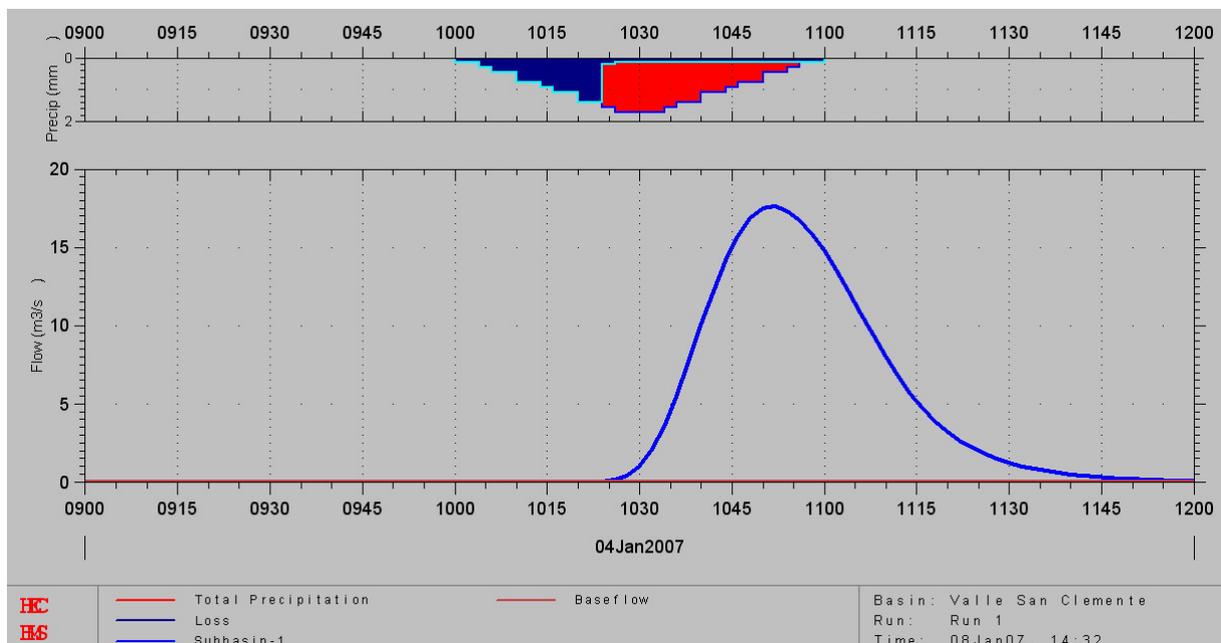
IETOGRAMMA TRIANGOLARE Tr= 100 anni durata 1 ora



IETOGRAMMA TRIANGOLARE Tr= 200 anni durata 30 minuti



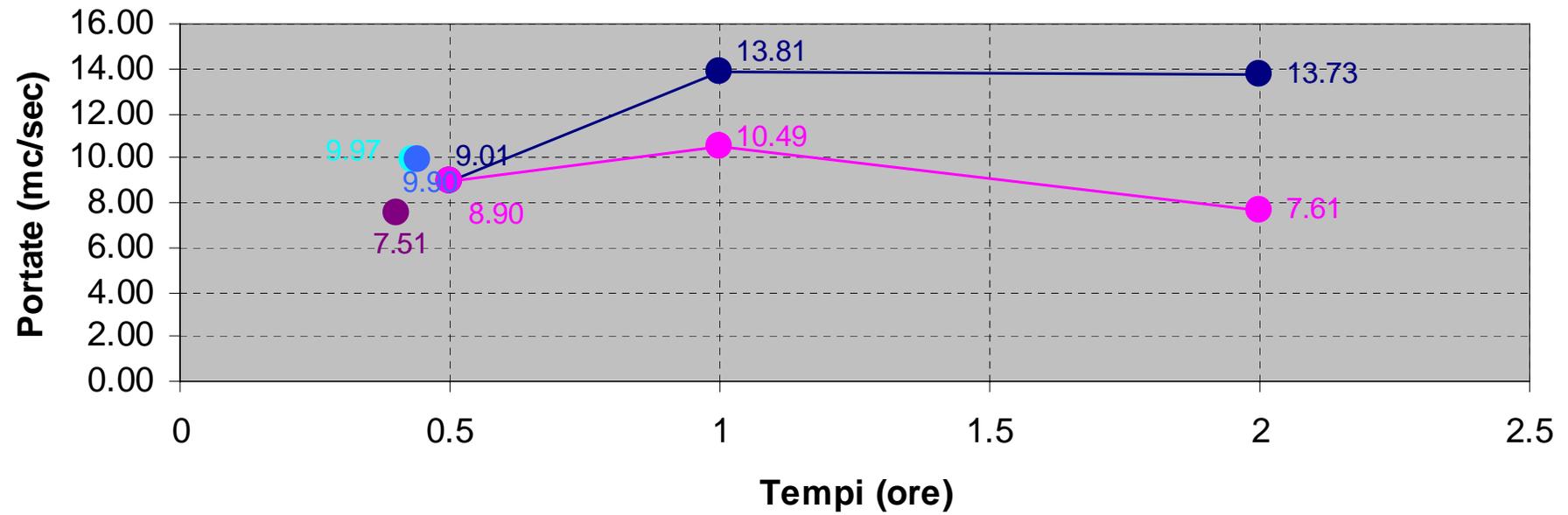
IETOGRAMMA TRIANGOLARE Tr= 200 anni durata 1 ora



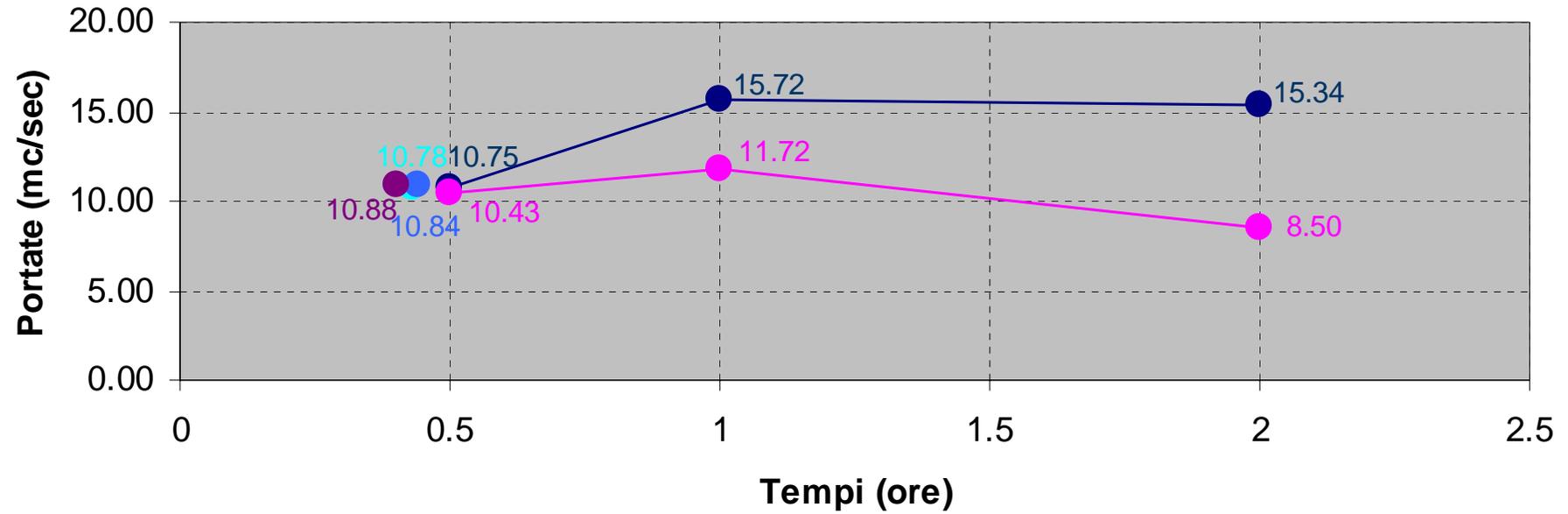
ALLEGATO 3

Grafici confronto portate

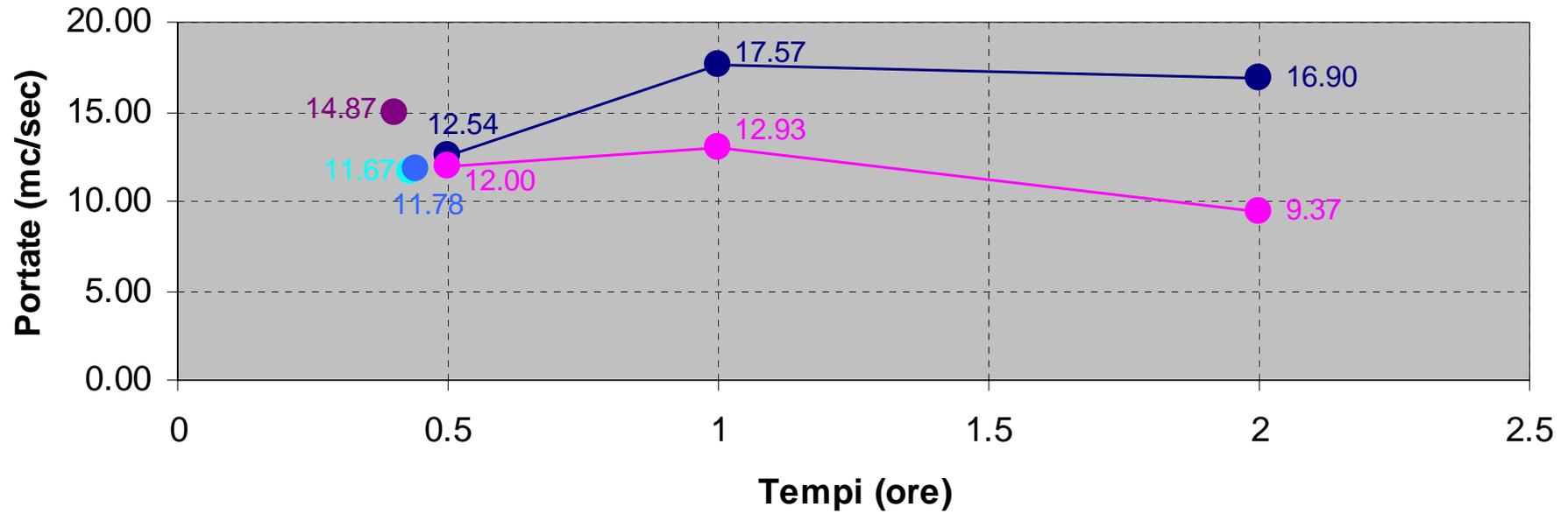
Raffronto Portate Tr 50 anni



Raffronto Portate Tr 100 anni



Raffronto Portate Tr 200 anni



—●— Triangolare —●— Costante —●— Razionale —●— Razionale Modificato —●— Curve Number SCS

ALLEGATO 4

Scheda di calcolo conoide

Scheda di calcolo conoidi

Comune: Torrente: Località:

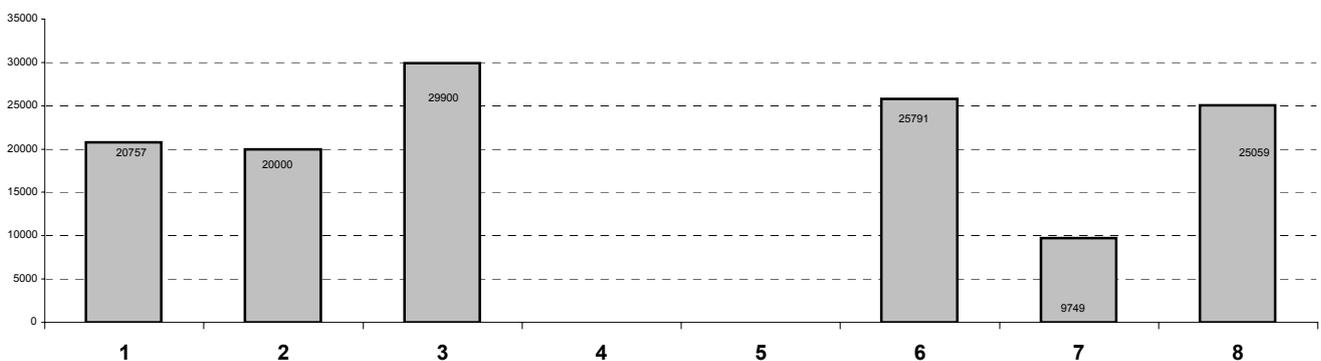
QUANTIFICAZIONE DELLA MAGNITUDO OSSIA DEL VOLUME MASSIMO MOBILITABILE IN UN EVENTO DI TRASPORTO IN MASSA (TR 100anni)

Dati generali calcolo magnitudo

Area bacino	A	2	Kmq
Pend. Media bacino	S	60.00	%
Pendenza conoide	Sc	18	%
Pendenza collettore sul conoide	ScI	15	%
Fattore correttivo na (Yazawa-Mizuyama)	na	0	
Volume specifico Vr (Yazawa-Mizuyama)	Vr	0	
Lunghezza asta sul conoide Lcl	Lcl	460	m
Quota massima del bacino	Hmax	2490	Km
Quota minima del bacino	Hmin	1120	Km
fattore K (Crosta,Ceriani...)	K	3	
spessore medio materiale mobilizzabile	h	2	m
Indice di frana (Crosta, Ceriani,...)	If	3	
Indice di Melton	Mb	0.97	Mb=(Hmax-Hmin)*A^-0,5

Valori di magnitudo

FORMULA	MAGNITUDO (mc)	
1 Takei (1984)	20757	M=13600*A^0.61
2 Marchi & Tecca (1996)	20000	M=10000*A(perA<10)
3 Rickemann e Zimmerman (1997)	29900	M=(110-2,5*Sc)*Lcl
4 Yazawa & Mizuyama		M=na*A*Vr (perA<10)
5 Hampel (1977)		M=150*A*(Sf-3)^2.3 (perA<10)
6 Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)	25791	M=21241*A^0.28
7 Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)	9749	M=(K*A*Mb^0.8*ScI*(1/If)^2
8 Tropeano e Turconi (1999)	25059	M=(0,542*A+0,0151)*0,019*h*S

Valore massimo magnitudo mcValore minimo magnitudo mcValore medio magnitudo mc

CALCOLO DELLA MASSIMA ESTENSIONE LONGITUDINALE DELLA COLATA DETRITICA (METODO DI TAKAHASHI)

Dati generali

Angolo fondo alveo a monte cambio penden:	θ_u	12.50	°
Angolo fondo alveo a valle cambio pendenze:	θ_b	10.00	°
Diametro rappresentativo sedimenti	d	0.1	m
Densità dell'acqua	ρ_l	1000	Kg/mc
Densità dei sedimenti fini	ρ_{pf}	2650	Kg/mc
Densità dei sedimenti grossolani	ρ_{ps}	2650	Kg/mc
Densità del fluido interstiziale acqua e sed.	ρ_{pl}	1200	Kg/mc
Angolo d'attrito interno del materiale	ϕ	35	°
Concentrazione volumetrica del materiale	c^*	0.65	$C^*=1-n$ dove n = porosità
Accelerazione di gravità	g	9.81	
Costante "a _B "	a_B	0.04	
Larghezza a monte cambio pendenza	B_u	4	m
Larghezza media dell'alveo a valle della rottura di pendio	B_d	1.5	m
Portata liquida di piena del corso d'acqua	Q_l	10.5	mc/sec.
Volume massimo in magnitudo dei sediment	V_{max}	29900	mc
Volume minimo in magnitudo dei sedimenti	V_{min}	9749	mc

Calcoli

Concentrazione volumetrica del materiale nella corrente $C_u=C^* \cdot 0,9$	$C_u =$	0.59	
Portata massima della miscela liquido-solido $Q_m=(c^*/(c^*-c_u))^*$	$Q_m =$	105	mc/sec.
Costante di calcolo della velocità	$K =$	1.18	
Velocità della corrente a monte del cambio di pendenza	$U_u =$	7.60	m/sec.
Altezza della corrente a monte del cambio di pendenza	$h_u =$	3.45	m
Velocità nel tratto di conoide dal punto fisso al punto di arresto	$V =$	9.77	m/sec.
Costante di calcolo G	$G =$	1.62	
Tempo di arresto colata	$T_t =$	12.08	sec.
Distanza percorsa dalla colata detritica (calcolo di primo tentativo)	$X_l =$	59	m

Condizioni del conoide per calcolo BD

- 1) il conoide è inciso da un alveo torr. con pendenza θ_b e sezione circa rettangolare larga B_d
- 2) il conoide è approssimabile ad un piano di pendenza



2

Pendenza ω della superficie del deposito $\omega =$ **5.4** °

Valore corretto di ω (viene corretto se $\omega < B_d$, non corretto se maggiore) $\omega' =$ **11.3** °

