



geologia ecologia agricoltura
di S. Ghilardi & C. s.n.c.

Sede Amministrativa e Ufficio:
24020 RANICA (Bergamo)
Via Tezze, 1a
Telefono e Fax: 035/340112
E-mail gea@mediacom.it



COMUNE DI VERTOVA (BG)

Nuovo Modulo S.P.A.

**Studio idrogeologico e idraulico con verifica di compatibilità
dell'intervento ed individuazione delle eventuali opere di mitigazione**

PROGETTO DEFINITIVO

Ranica, 26 Gennaio 2005

A CURA DI:

Dott. Geol. Sergio Ghilardi

e

Dott. Ing. Francesco Ghilardi

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO	6
3	LA CARTA LITOLOGICA	9
3.1	SUBSTRATO ROCCIOSO	9
3.2	DEPOSITI SUPERFICIALI	15
4	LA CARTA GEOMORFOLOGICA	18
4.1	METODOLOGIA	18
5	LA CARTA DELLA PERMEABILITÀ DEI VERSANTI	24
6	LA CARTA DELL'USO DEL SUOLO AD ORIENTAMENTO VEGETAZIONALE	26
7	RICERCA EVENTI STORICI	27
8	RILIEVO DI CAMPAGNA DI CARATTERE GEOMORFOLOGICO E IDRAULICO IN CUI SONO STATI EVIDENZIATE LE SITUAZIONI DI MAGGIOR CRITICITA'	30
8.1	TORRENTE VALLORCIO	30
8.2	TORRENTE VERTOVA	48
9	STUDIO IDROLOGICO	64
9.1	STUDIO MORFOMETRICO DEI BACINI DEL T. VERTOVA E DEL RIO VALLORCIO	64



9.2	PRECIPITAZIONI DI BREVE DURATA E FORTE INTENSITA' E CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA.....	90
9.2.1	Premessa.....	90
9.2.2	Raccolta Dati.....	91
9.2.3	Calcolo delle curve iso (a) e iso (n) per diversi tempi di ritorno	92
9.3	IETOGRAMMA SINTETICO DI PROGETTO E DEPURAZIONE DELLE PERDITE	100
9.3.1	Ietogramma di progetto	100
9.3.2	Depurazione delle perdite.....	101
9.4	CALCOLO DELLA PORTATA DEI TORRENTI.....	107
9.4.1	Descrizione delle formule utilizzate.....	109
9.4.2	Valutazioni sul trasporto solido sul Rio Vallorcio.....	119
10	VERIFICHE IDRAULICHE	122
10.1	VERIFICA IDRAULICA TORRENTE VERTOVA.....	122
10.1.1	Determinazione modello idraulico.....	122
10.1.2	Scelte progettuali di calcolo	127
10.2	VERIFICA DI PORTATA DEL NUOVO TOMBOTTO NEL CASO DI MOTO A PELO LIBERO (MODELLAZIONE A MOTO PERMANENTE) ..	132
11	INDICAZIONI PROGETTUALI E CONCLUSIONI.....	134



3 LA CARTA LITOLOGICA

L'esame della natura litologica delle rocce, inserito nel contesto di un'analisi territoriale articolata, diviene la logica fase di avvio e di supporto dell'indagine.

La carta litologica è infatti il risultato di un rilevamento di dettaglio sul terreno atto ad individuare sia le unità del substrato roccioso , sia quelle dei depositi superficiali.

A tale scopo sono stati eseguiti raggruppamenti o disaggregazioni, sia per il substrato roccioso che per i depositi superficiali.

I raggruppamenti sono avvenuti, per il substrato roccioso, in base alle affinità di composizione e di tessitura delle rocce, tenendo principalmente conto dei parametri geomeccanici e geotecnici e per i depositi superficiali in base alle loro caratteristiche litologiche e genetiche ciò in particolare per quanto riguarda i terrazzi fluviali e i depositi di origine antropica.

3.1 SUBSTRATO ROCCIOSO

Frequentemente la roccia è ricoperta da un terreno di alterazione poco potente e discontinuo che in genere fa corona a veri e propri affioramenti a meno che questi ultimi non siano dovuti alla erosione di fondovalle o ad interventi dell'uomo.



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

Caratteristica è l'area interessata dall'affioramento della Dolomia Principale, in cui la roccia è quasi ovunque poco lontana dalla superficie, sempre molto incisa e poco protetta da una stentata vegetazione.

La stessa roccia in queste condizioni presenta elementi morfologici di tutto rilievo, come la presenza di guglie e pinnacoli rocciosi che conferiscono al paesaggio un aspetto selvaggio, ma piacevole.

Dolomia Principale

In questa Zona la Dolomia Principale presenta diverse facies sedimentarie.

Una facies è quella massiccia costituita da dolomie e dolomie calcaree da grigie a nere, in genere fetide alla percussione, a stratificazione indistinta in grossi banchi dello spessore di 2 -3 metri. questa facies è quella più diffusa e si sviluppa nella zona più a Nord.

L'altra facies meno diffusa, è costituita da roccia Dolomitica e calcareo dolomitica ben stratificata, in strati da 5 a 50 cm, di colore da grigio chiaro a nero, fetida alla percussione. Presenta talora una laminazione parallela con alternanze di bande di colore diverso.

La presenza della facies stratificata è quasi sempre rilevabile in prossimità del limite inferiore con il Calcere di Zorzino.



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

Il limite inferiore della formazione, che nelle Prealpi lombarde centro - orientali è rappresentato dal passaggio alla formazione di san Giovanni Bianco, non presente nella zona studiata. è invece presente quello superiore con il Calcarea di Zorzino.

Altrove , sopra la dolomia stratificata è presente un'alternanza di calcarea, calcari dolomitici e dolomie in strati da 2 a 50 cm.

Questa facies , avente uno spessore massimo di 50 cm, rientra già nella formazione del Calcarea di Zorzino ed il limite con la dolomia è stato posto in corrispondenza con il primo strato calcareo.

Nella zona in esame il limite è difficilmente visibile a causa di disturbi tettonici, che caratterizzano il contatto con le unità superiori.

Argillite Di Riva Di Solto

Questa formazione è costituita da argilliti e argilliti marnose grigio nerastre, finemente laminate ed irregolarmente alternate a strati sottili di micriti nere ben stratificate.

Le intercalazioni calcaree e calcareo marnose sono più frequenti nella parte alta della formazione

L3Argillite di Riva di Solto giace in concordanza sopra il calcarea di Zorzino e la Dolomia Principale. Superiormente il passaggio al calcarea di Zu è molto



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

graduale, per convenzione il limite è posto dove le intercalazioni calcaree diventano prevalenti rispetto alle argilliti e alle marne argillose.

Affiora principalmente nella parte bassa della Val Vertova, dove sono anche più evidenti gli effetti geomorfici legati alla potenza dello strato di alterazione regolitico.

Calcarea Di Zu

Questa formazione è costituita da calcari e calcari debolmente marnosi grigia scuri, grigio bruni o grigio nerastri, compatti, a stratificazione massiccia, ai quali sono spesso intercalate marne, argilliti marnose ed argilliti nerastre. Queste intercalazioni sono più frequenti alla base dell'unità.

Inferiormente , come detto in precedenza il Calcarea di Zu passa gradualmente all'Argillite di Riva di Solto. Superiormente è a contatto con la dolomia a Conchodon in cui da calcari grigio scuri, grigio bruni e grigio nerastri si passa a calcari oolitici, calcari e calcari dolomitico di colore più chiaro ed a stratificazione massiccia indistinta.

Affiora sulle pendici del M. Cavlera e nella zona compresa tra Aviatico e il Monte Poieto.



Dolomia a Conchodon

Questa formazione è costituita da calcari e calcari dolomitici, talora saccaroidi, a stratificazione indistinta o in grossi banchi, alternati con calcari oolitici, spesso a laminazione parallela il colore è grigio chiaro, grigio - bruno, nocciola, in superficie è generalmente presente una patina di alterazione biancastra.

Morfologicamente la Dolomia a Conchodon da luogo a ciglioni rilevati, rupi a picco e banconi fessurati ed erosioni ai piedi dei quali sono localmente abbondanti i detriti di falda.

Quest'ultimi possono costituire dei veri e propri coni come ai piedi del M. Cedrina.

La Dolomia a Conchodon giace in concordanza sopra il Calcare di Zu e sotto il Calcare di Sedrina.

Il limite inferiore è piuttosto graduale ed è già stato descritto. Anche il passaggio al Calcare di Sedrina è graduale, i calcari grigio-bruni, nocciola o grigio scuri, dapprima a stratificazione indistinta, si presentano superiormente in banchi di potenza decrescente e passano ai calcari grigio-bruni a stratificazione media e sottile, con noduli di selce del Calcare



Calccare di Sedrina

Il Calccare di Sedrina è costituito da calcari e calcari selciferi micro cristallini compatti, con interstrati marnosi e argillosi, di colore grigio scuro nerastro, a stratificazione media o sottile, la frattura è scheggiata e la patina di alterazione grigio chiara.

Particolarmente abbondanti sono le intercalazioni di selce nera in noduli e in liste; sul Monte Cavlera è stato rinvenuto, in questa formazione, un livello di selci biancastre assai compatte dello spessore di circa 2 metri, costituite in prevalenza da quarzo microcristallino.

Il limite inferiore è rappresentato dalla Dolomia a Conchodon. Il passaggio è graduale e avviene in modo inverso a quello precedentemente descritto come limite superiore per la Dolomia a Conchodon. Superiormente la formazione ~ a contatto con il Calccare di Moltrasio. Il limite è più graduale del precedente; dai calcari grigio bruni o grigio neri a stratificazione media o sottile, ricchi di selce nera, si passa ai calcari selciferi grigio scuri o neri a stratificazione media con intercalazioni di colore marrone a noduli di selce nera del Calccare di Moltrasio.

Questa formazione è presente sul Monte Cavlera e sul Monte Cedrina.



3.2 DEPOSITI SUPERFICIALI

Depositi eluviali

I depositi eluviali, rappresentano il mantello superficiale che ricopre il substrato roccioso nelle aree in cui il litotipo presente è più soggetto ai fenomeni di disgregazione da parte dei fattori climatici locali.

Sono costituiti da limi argillosi contenenti sparsi frammenti di rocce calcaree marnose o dolomitiche che derivano dall'alterazione chimico fisica del substrato roccioso.

Sui litotipi argillitici o marnosi, questi depositi sono spesso ,oggetti a movimenti di soliflusso che talvolta generano in limitati smottamenti. :

Depositi colluviali

Costituiscono la fascia di raccordo tra i versanti più ripidi e le aree terrazzate del fondovalle, sono generate dal lento scivolamento verso valle e dall'accumulo al piede del versante delle parti detritiche più fini dei materiali prodotti dal disfacimento delle rocce.

L'origine è identica a quella dei materiali eluviali, si è aggiunto in questo caso, il trasporto per gravità e la selezione. Il risultato è quindi una fascia spesso potente di sedimenti fini che orla, al piede, i versanti fungendo da raccordo



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

morfologico tra l'evoluzione dei territori montuosi ed il fondovalle.

Detriti di falda

Sono situati in un'ampia fascia sulle pendici meridionali del Monte Alben e su quelle occidentali del Monte Cedrina.. Sono derivati dall'accumulo del materiale che cade dagli affioramenti che caratterizzano il crinale e che sale verso la cima.

Sono costituiti da clasti spigolosi di roccia dolomitica, con subordinata matrice limoso sabbiosa, addensata soprattutto negli strati superficiali e nelle porzioni distali del deposito e i detriti di falda sono stati distinti in:

- attivi, cioè attualmente in alimentazione,
- Parzialmente colonizzati, dove ha avuto inizio una copertura vegetale erbacea e/ o arbustiva non ancora affermata (vegetazione pioniera)
- Colonizzati, dove la vegetazione ha ormai ricoperto in modo continuo la coltre detritica tanto da renderne difficoltosa la determinazione litologica.

Depositi fluviali

Si tratta di materiali fluitati dall'azione dei principali torrenti e depositati, in modo sparso sotto forma di isole alluvionali, o al bordo o al centro dei principali corsi d



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

acqua.

Sulla base della loro genesi formazionale sono stati distinti in attuali, costituiti da ghiaie: e sabbie fresche, recenti o antichi, dove è dimostrata la non interferenza con la dinamica fluviale.

Conoidi di deiezione

Pur essendo attribuibili anche agli elementi geomorfologici, i conoidi di deiezione rappresentano una caratterizzazione ben specifica e per questo motivo sono stati indicati anche nella carta litologica.

Sono costituiti da materiale alluvionale, più grossolano alla sommità e più fine nella parte terminale, sono generalmente colonizzati da vegetazione arborea o arbustiva, e presentano l'incisione torrentizia nel punto in cui manifestano la loro episodica e continua attività.



4 LA CARTA GEOMORFOLOGICA

4.1 METODOLOGIA

Nella carta sono indicate le tracce di tutti i processi geomorfici rilevati , cioè' quei fenomeni che soprattutto nel passato e attualmente, agiscono modificando le forme originali del suolo.

Alcuni di questi processi sono legati al ciclo normale dell'erosione e possono essere considerati congeniti nella morfologia del territorio in esame e non pericolosi per la loro stabilita'.

Altri, sono invece indici di processi patologici che stanno alterando rapidamente la fisionomia del territorio grazie a cause diverse, molte delle quali dovute ad incuria e cattiva gestione del territorio stesso.

I fenomeni osservati sono stati cartografati con i simboli più comunemente usati in geomorfologia.

Gli stessi sono stati raggruppati a seconda delle loro caratteristiche genetiche; primi fra tutti .compaiono quelli dovuti all'azione della gravita' consistenti in movimenti più' o meno accelerati del suolo e dei manufatti.



Forme dovute all'azione della gravità

Fronti di frana attivi e stabilizzati, le frane hanno in genere nicchie di distacco ben definite.

Rigonfiamenti, movimenti interni con o senza traslazione della coltre eluvio - colluviale:

Sono effetti del soliflusso su. un intero versante o su un'area estesa, in genere favoriti da pendenze elevate.

Aree decorticate da erosione superficiale diffusa:

Sono aree in cui avviene, od e' avvenuto un processo di asportazione della vegetazione, del suolo e della coltre detritica e viene intaccato il substrato roccioso con erosione diffusa e conseguente formazione di una fitta rete di canali di ruscellamento .

Aree di svuotamento (avvenuto o in atto) della coltre eluvio colluviale :

Si tratta di aree di alimentazione privilegiata dai sedimenti colluviali pedemontani o aree di distacco di antiche frane, caratterizzate da una forma concava del pendio.

Rigonfiamenti e spanciamenti e pressioni su manufatti:



Si tratta. di segni di pressione e movimento senza. cedimento del manufatto.

Avvallamenti su manufatti:

Sono linee di avvallamento su fondi stradali come segno di incipiente cedimento per carico eccessivo o movimento della coltre.

Soliflusso

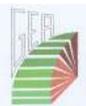
Consiste in un movimento lento del terreno che tende per gravità e per l'azione del gelo e disgelo a scivolare verso valle.

Nel caso di terrazze in movimento, tende comunque a ripristinare il profilo naturale di equilibrio del versante.

Forme dovute all'intervento antropico

Fronti di cava, scavi, accumuli di cava, discariche,

Si tratta di cave ed ambiti di pertinenza delle stesse , accumuli di discarica di varia origine che differiscono nettamente dagli accumuli naturali per la loro sistemazione a ripiano distante dai fronti di Cava



Aree degradate per cause antropiche

In genere si tratta di denudamenti su piste da motocross., sui quali possono innestarsi fenomeni erosivi naturali.

Si tratta per lo più , di smottamenti che interessano la coltre detritica al disopra della roccia e solo raramente comportano il crollo di blocchi lapidei.

Aree deurate dal pascolo

Sono aree decorticate da carico eccessivo di animali su un forte pendio con instaurazione di un suolo a terrazzette erbose in movimento. .

Forme dovute all'azione erosiva delle acque incanalate

Ruscellamento con erosione accelerata

Si tratta di tracce dello scorrere selvaggio delle acque dilavanti che asportano la cotica erbosa e talora mettono a nudo il substrato roccioso.

Erosione di sponda

E' un fenomeno erosivo localizzato lungo aste torrentizie caratterizzate da forte attività erosiva lungo le sponde.



Possono produrre scarpate in arretramento sulle quali tendono ad innestarsi altri agenti di dissesto.

Forme di genesi non specifica

Linea di cresta : linea congiungente i punti di massima elevazione fra due bacini contigui.

Orli di terrazze, margini esterni di ripiani erosivi o deposizionali di origine varia.

Rotture di Pendio, cambiamenti bruschi nell'inclinazione propria del pendio sul punto considerato.

Scarpate tratti di pendio con superficie sub - verticale

Orli di aree in depressione, consistono in aree depresse o rialzate dovute a terrazzamenti e altre opere antropiche, a forte erosione fluviale o a movimenti tettonici. .

Depressioni, si tratta di .avvallamenti di piccole dimensioni nella coltre detritica a volte ,:con risorgenza. talora sono situati in corrispondenza di cavità carsiche del substrato calcareo marnoso

Cavita' :si tratta di aggrottamenti di varia origine generalmente antropica.



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

Come si può notare nella carta geomorfologica la maggior concentrazione di fenomeni geomorfici e di dissesti è situata all'inizio della vallata e in prossimità delle strade o dei manufatti.

Ciò attribuisce maggior valore all'ipotesi espressa in, premessa, in cui si afferma che una delle maggiori cause del dissesto idrogeologico ~ da attribuire allo scorretto uso del territorio da parte dell'uomo.

Non bisogna tuttavia dimenticare che la fragilità manifestata dall'area in quei punti, è dovuta anche alla struttura litologica del substrato e dei depositi superficiali, costituiti principalmente da argilliti con potenti strati regolitici. a maggior ragione perciò sarà necessario adottare tutte le precauzioni per un più corretto utilizzo del territorio.



5 LA CARTA DELLA PERMEABILITÀ DEI VERSANTI

L'analisi della carta della permeabilità dei suoli riveste un carattere di grande importanza nello studio dei idraulico dei bacini montani, infatti nella maggior parte delle formule accreditate per il calcolo delle portate viene richiesto il valore di permeabilità dei suoli e delle rocce per definire un corretto coefficiente di deflusso.

L'analisi della cartografia prodotta evidenzia come la parte alta del bacino, per una superficie superiore al 50%, sia interessata da rocce estremamente permeabili (Dolomia Principale) , in grado di assorbire una notevole quantità d'acqua.

A riprova del grande serbatoio d'acqua che costituiscono le pendici orientali dell'Alben sono le sorgenti che si collocano sul fondovalle al contatto con la formazione delle Argilliti di Riva di Solto.

Queste sorgenti, completamente captate per uso civile, hanno una portata di 87 l/sec con una portata di più di 300 mc d'acqua /ora

Queste informazioni sono state utilizzate nel capitolo dei calcoli idrologici del bacino per la determinazione del coefficiente di deflusso con il metodo del " CN - SCS" e quindi per la depurazione dello ietogramma di progetto.

La carta evidenzia il reticolo idrico superficiale , le venute d'acqua principali e i valori di permeabilità sia delle coperture superficiali che delle rocce.

I valori di permeabilità sono stati divisi in tre categorie:



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

Permeabilità	Substrato roccioso	depositi superficiali
Alta	H	h
Media	M	m
Bassa	L	l

L'ambito ad elevata permeabilità a cui si è fatto riferimento, è costituito da rocce dolomitiche vacuolari e intensamente fratturate e da detriti di falda variamente colonizzati.



6 LA CARTA DELL'USO DEL SUOLO AD ORIENTAMENTO VEGETAZIONALE

Potrebbe apparire strano che sia stata utilizzata la carta dell'uso del suolo ad orientamento vegetazionale per la determinazione della verifica idraulica di un bacino, invece, come per la carta della permeabilità, diventano estremamente importanti i fattori legati all'uso del suolo.

Infatti, sempre per la determinazione del coefficiente di deflusso, che normalmente viene solamente stimato sulla base dell'esperienza, si possono raggiungere valori decisamente più attendibili con l'ausilio del metodo già citato nella descrizione della Carta della Permeabilità .

Tale metodo permette di costruire una matrice di incrocio, tra i valori di permeabilità e le tipologie d'uso del suolo e di attribuire ad ogni categoria degli specifici valori .

Nel nostro specifico caso, in cui sono presenti diverse tipologie di suolo e diverse utilizzazione forestali, agronomiche e urbane, il valore del coefficiente di deflusso è stato ottenuto calcolando per ciascuna area uniforme il valore e quindi realizzando la media ponderata in funzione dell'estensione. (Vedi paragrafo specifico nel capitolo relativo ai calcoli idrologici)



8 RILIEVO DI CAMPAGNA DI CARATTERE GEOMORFOLOGICO E IDRAULICO IN CUI SONO STATI EVIDENZIATE LE SITUAZIONI DI MAGGIOR CRITICITA'

8.2 TORRENTE VERTOVA

Oltre alle indagini eseguite in modo dettagliato su tutto il bacino, del Vertova, di cui alla cartografia allegata, per meglio comprendere la condizioni idrogeologica dello stesso e definire i parametri più corretti per le valutazioni di carattere idrologico – idraulico; è stato anche eseguito un sopralluogo puntuale sull'ultimo tratto del corso del Vertova che risulta fortemente antropizzato e interessato da numerosi attraversamenti e coperture d'alveo.

L'individuazione dei punti di criticità, oltre che servire per disegnare degli eventuali scenari di rischio idrogeologico, si pone come obiettivo principale, la segnalazione di quelle situazioni che in vario modo possono costituire punti in cui, il materiale preso in carico dal corso d'acqua durante gli eventi di piena, può venire trattenuto in modo consistente, riducendo in questo modo l'effetto del trasporto solido nella zona di confluenza del Vallorcio.

Partendo dall'apice del conoide si nota che l'alveo del T. Vertova è ricoperto da un industria e presenta luci decisamente insufficienti a smaltire la massima piena calcolata e utilizzata per le verifiche idrauliche alla confluenza del Vallorcio.



**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**



Si noti la sezione ristretta situata appena a monte della Piazza di Vertova



Particolare della sezione di cui sopra, questa sezione per smaltire circa 200 mc/sec dovrebbe essere almeno 3,50 metri di altezza



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

Altre situazioni simili si riscontrano risalendo il corso d'acqua, in cui sono presenti numerose ostruzioni d'alveo.



Questa struttura, molto bassa sull'alveo può trattenere alberi o materiale preso in carico dalla piena



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

Altre situazioni simili si riscontrano risalendo il corso d'acqua, in cui sono presenti numerose ostruzioni d'alveo.



Questa struttura, molto bassa sull'alveo può trattenere alberi o materiale preso in carico dalla piena



Altro punto sul T. Vertova in cui la sezione è decisamente disturbata sia per il passaggio delle portate liquide calcolate, sia per il trattenimento di una certa quantità di materiale preso in carico dal corso d'acqua

**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**



Altro punto sul Vertova dove la sezione dell'alveo è decisamente insufficiente sia per lo smaltimento della portata liquida che della portata solida



Traversa per la derivazione d'acqua per usi industriali.

A monte di questa traversa è presente un piccolo laghetto che può funzionare da cassa di laminazione delle piene (riduzione del colmo di piena) e contenere inoltre una ingente quantità di materiale

***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***



Area di potenziale accumulo di materiale monte della derivazione



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***



Traversa per la derivazione d'acqua per usi industriali.

A monte di questa traversa è presente un piccolo laghetto che può funzionare da cassa di laminazione delle piene (riduzione del colmo di piena) e contenere inoltre una ingente quantità di materiale

**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**



Area di potenziale accumulo di materiale monte della derivazione



Altro punto posto a poche centinaia di metri a monte dell'abitato di Vertova in cui la sezione del corso d'acqua è particolarmente ridotta e in grado di accumulare materiale preso in carico dalla piena



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***



Vista di un altro ponticello che può essere tranquillamente sopra avanzato dalla piena, ma che sicuramente può trattenere una buona quantità di materiale



Un altro esempio di strozzatura del Vertova con la sezione di un ponte sotto dimensionato e sovralluvionato



**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**



Particolare del ponte prima evidenziato in lontananza.

Questa si presenta come la situazione più critica ed è posta a circa 300 metri dalla Piazza Principale.



Vista da Valle dello stesso ponte



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***



Vista del ponte che raggiunge la piazza dal punto di sbocco del Vallorcio,



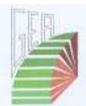
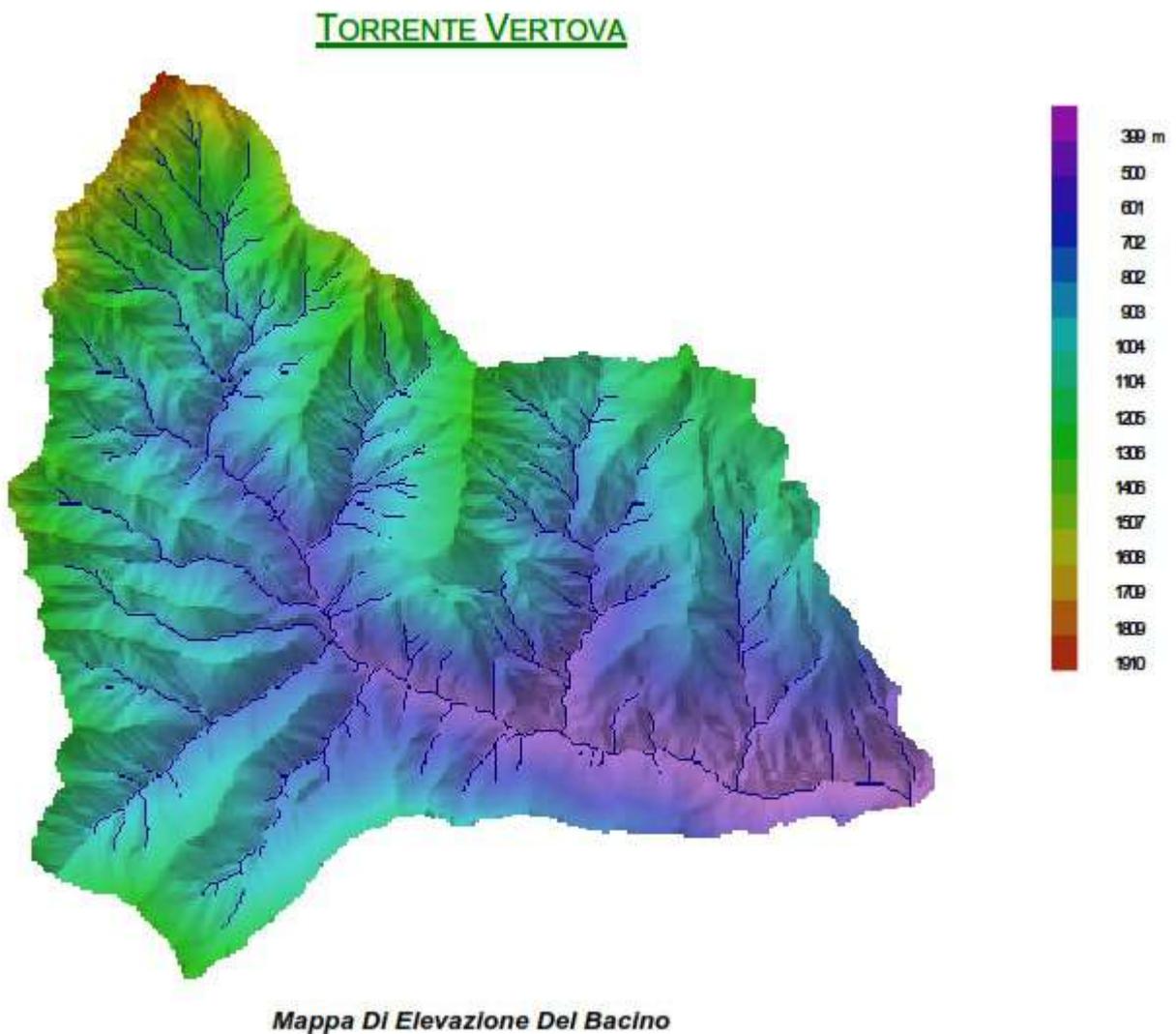
Vista dalla Piazza verso monte , in cui si può osservare , oltre alla sezione ristretta e insufficiente già citata nelle prime foto, anche il deposito alluvionale che riduce sensibilmente la sezione dell'alveo.



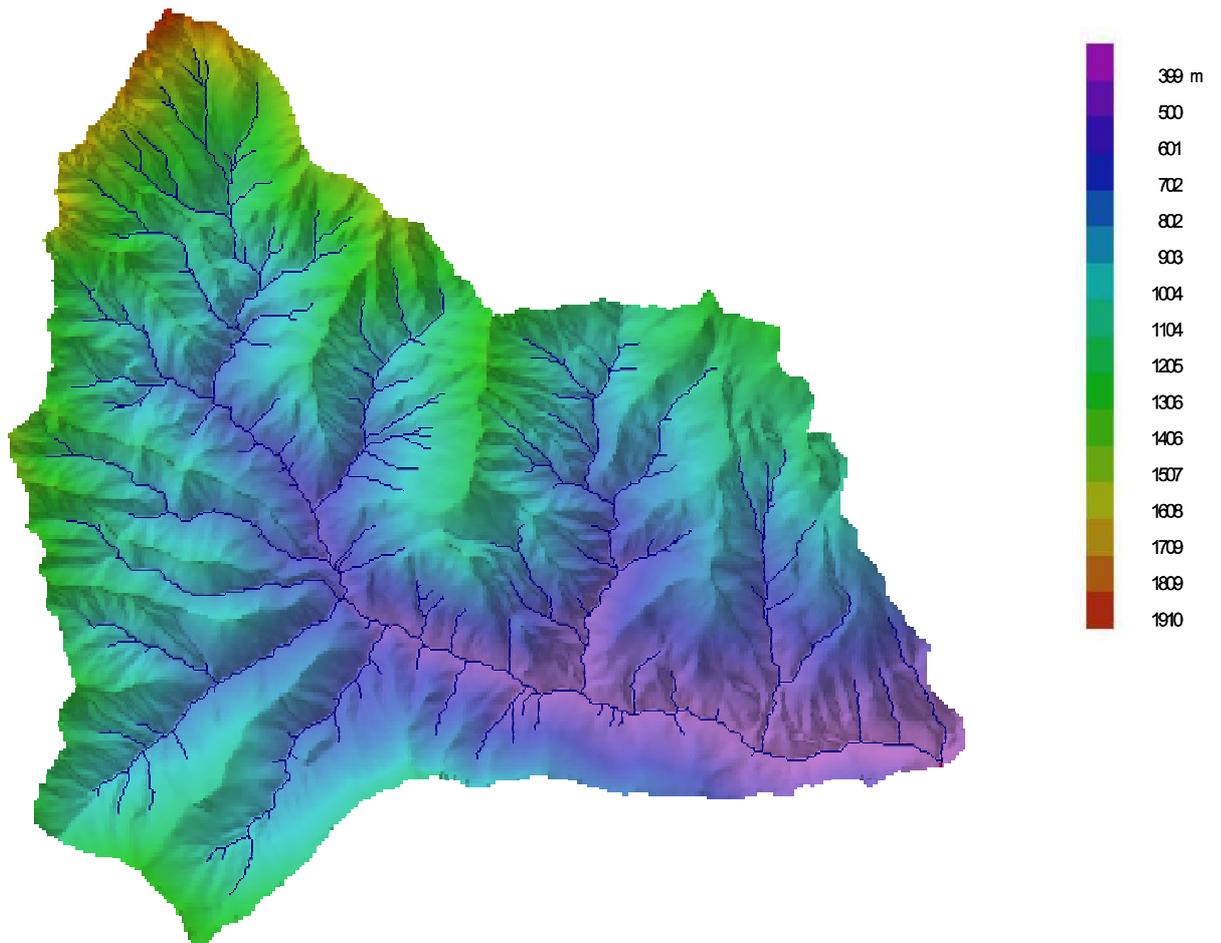
Substrato roccioso affiorante in alveo allo sbocco del Vallorcio,

9 STUDIO IDROLOGICO

9.1 STUDIO MORFOMETRICO DEI BACINI DEL T. VERTOVA



TORRENTE VERTOVA



Mapa Di Elevazione Del Bacino



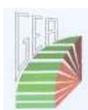
**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**

Dati relativi a bacino estratto con soglia dipendente dalla pendenza, secondo il criterio:

$$A > aS^{-e}$$

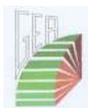
con A = area drenata; $a=0.02$ [kmq]; S = pendenza locale; $e = 1.7$.

PARAMETRO GEOMORFOLOGICO	VALORE	DEFINIZIONE
Area planimetrica del bacino [Kmq]	23.79	È la somma delle celle del modello di elevazione, moltiplicate per l'area elementare della cella.
Area effettiva del bacino [Kmq]	48.10	È basata sull'area della superficie inclinata la cui proiezione è l'area della cella del dem.
Coordinate baricentrali del bacino	1562305.798 E 5075047.399 N	Centro geometrico del bacino.
Lunghezza del perimetro del bacino, P [Km]	29.28	
Altezza media [m]	961.87	
Altezza massima [m]	1910	
Altezza minima [m]	399.41	
Dev. standard delle altezze e coefficiente di variazione	271.81; 0.28	



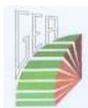
**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**

Relief totale (rilievo del bacino) [m]	1510.60	Elevazione del punto più alto nel bacino rispetto alla quota della sezione di chiusura.
Relief ratio (rapporto di rilievo) [m/Km]	150.16909	Elevazione del punto più alto nel bacino rispetto alla quota della sezione di chiusura, diviso per la massima distanza lungo il reticolo coprente del bacino.
Pendenza media nella direzione di drenaggio [m/m]	0.68243	Pendenza calcolata lungo il reticolo di drenaggio coprente.
Pendenza massima [m/m]	3.85833	
Pendenza minima [m/m]	0	
Dev. standard delle pendenze e coefficiente di variazione	0.29; 0.43	
Pendenza media dell'asta principale [m/m]	0.12766	
Pendenza 10-85 dell'asta principale [m/m]	0.09331	Pendenza dell'asta principale calcolata tra i punti a distanza 10%L e 85%L dalla sezione di chiusura. L è la massima distanza lungo il reticolo permanente.



**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**

Diametro [-]	52	Distanza topologica massima.
Magnitudo [-], M	166	Numero di link del primo ordine, o sorgenti della rete.
Rapporto di circolarità	0.348814	$A/(P^2/(4\pi))$
Massima distanza lungo il reticolo canalizzato, L [Km]	9.704800	
Massima distanza lungo il reticolo coprente [Km]	10.059320	
Distanza topologica media [-]	29.13	N/M dove N indica il numero totale di link; in sostanza, è il numero di rami (di cui il primo esterno) mediamente compresi nel percorso che unisce la sorgente alla chiusura.



**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**

Indice di Melton	0.309661	
T corrivazione (Giandotti)	1.795721	$\frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_{media}}}$ <p>dove h_{media} rappresenta l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura, in metri.</p>
Fattore di forma [-]	0.23	A/L^2
Coefficiente di forma	3.34	$\pi L^2/(4A)$

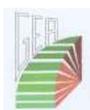
	ordine	#segmenti	area media	L media	pendenza media
Numero di segmenti, area, lunghezza e pendenza media per ogni ordine di Horton	1	166	0.139581	0.208754	0.024975
	2	32	0.468463	0.679482	0.021911
	3	7	2.073829	1.201764	0.012262
	4	1	23.79720 0	6.780975	0.002256

Rapporti di Horton	Rb : 5.40 Ra : 5.42 Rl : 3.01 Rs : 2.18
---------------------------	--



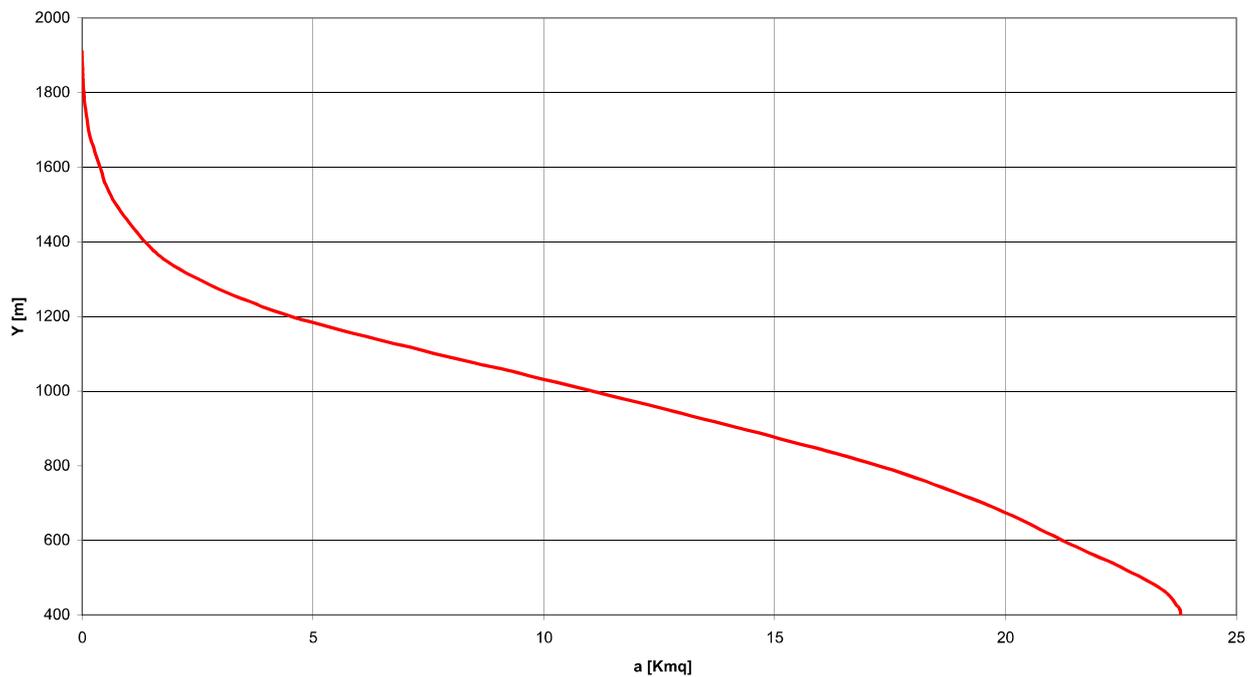
***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

Numero totale di segmenti nella rete permanente	206	
Lunghezza totale della rete permanente [km]	71.5899	Lunghezza complessiva del reticolo canalizzato, L_{tot}
Densità di drenaggio [1/Km]	3	L_{tot} / A
Lunghezza media del deflusso superficiale [Km]	0.166	$A / (2 L_{tot})$



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

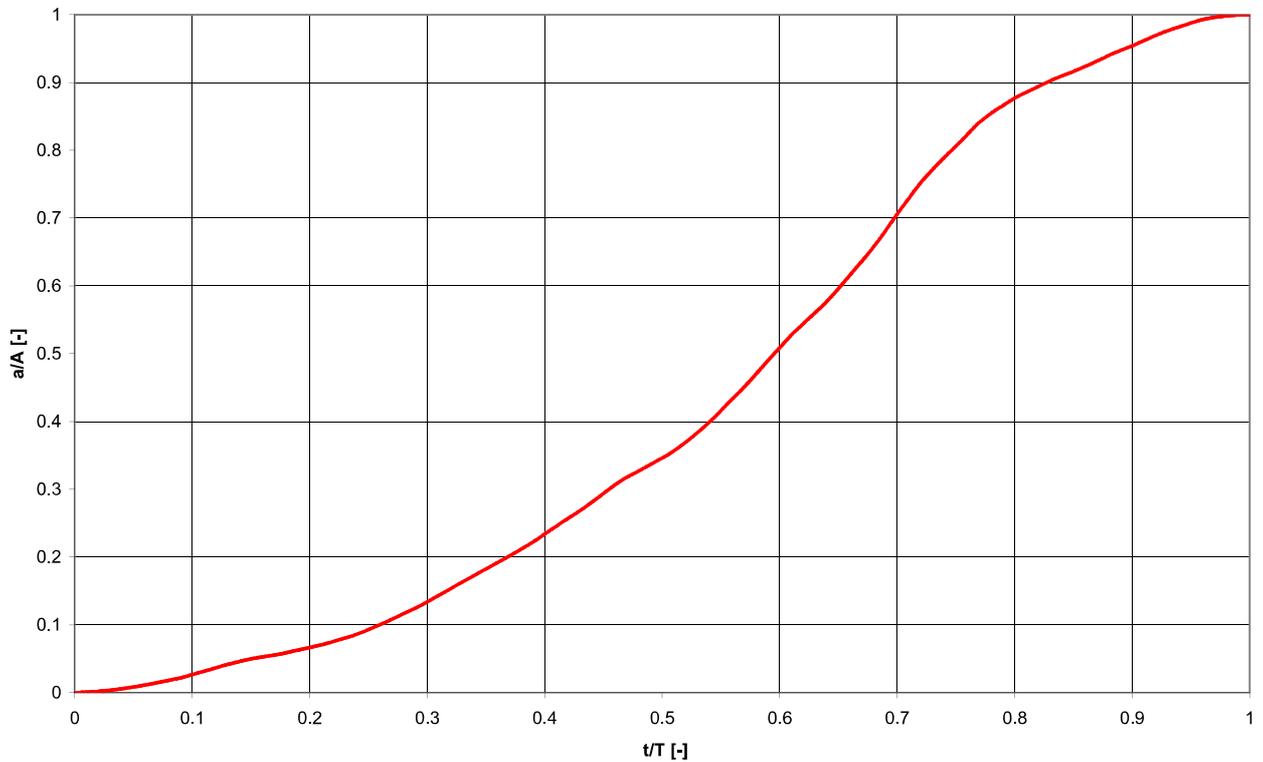
Spesso è utile conoscere come varia l'estensione del bacino in funzione della quota. Per questo motivo si costruisce la curva ipsografica, riportando in ascissa la superficie ed in ordinata la quota s.l.m.



Curva Ipsografica Del Torrente



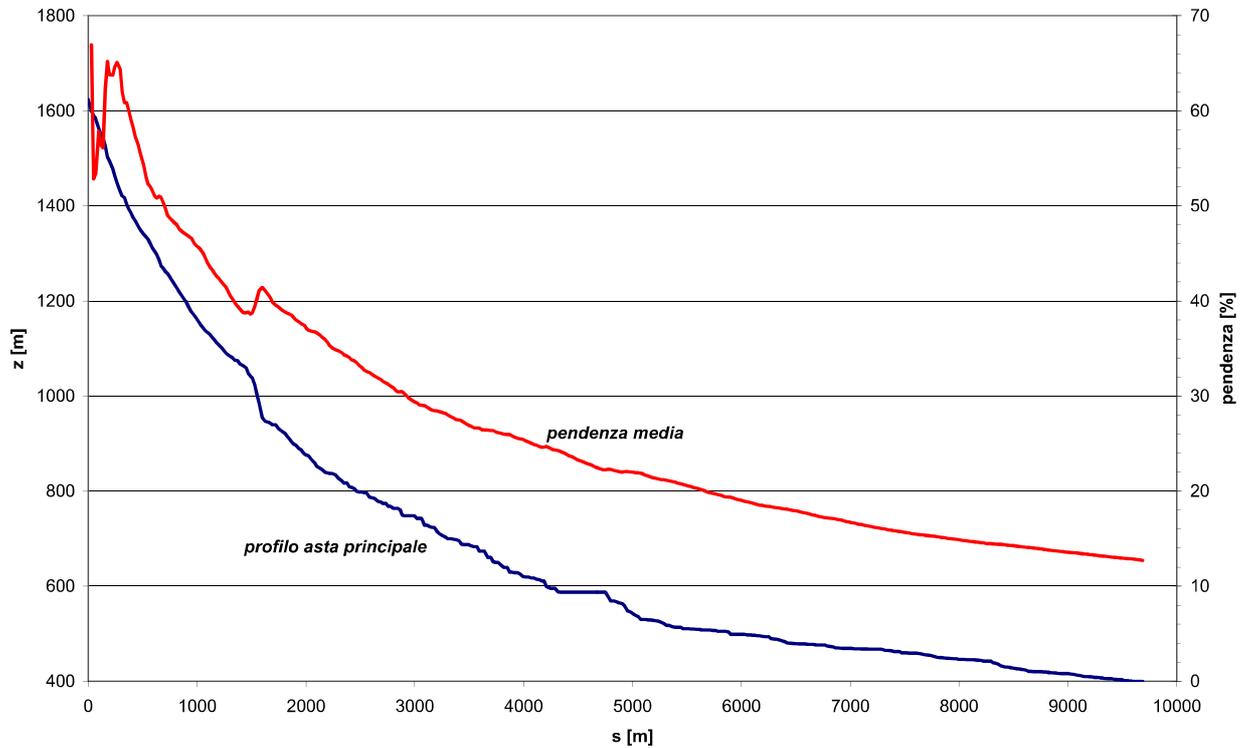
**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**



Curva area-tempi del bacino del torrente (T=1.79 ore)



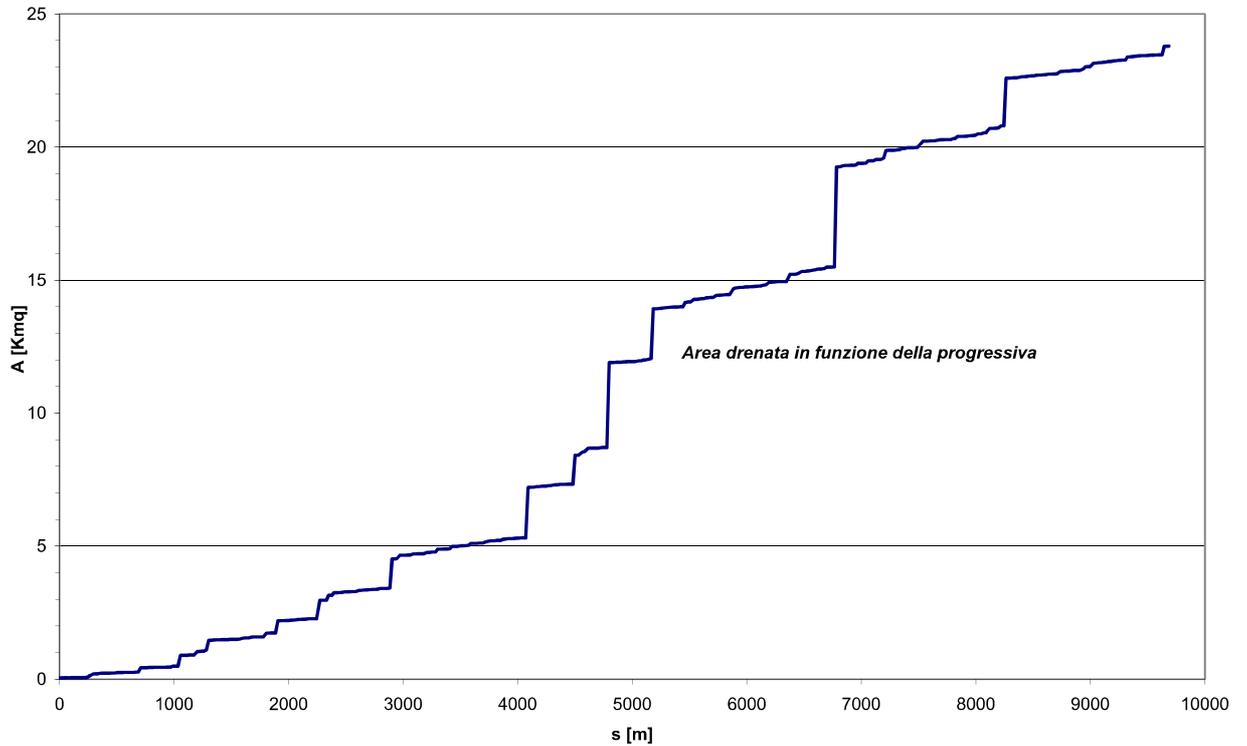
**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**



Andamento Altimetrico Dell'asta Principale Del Torrente



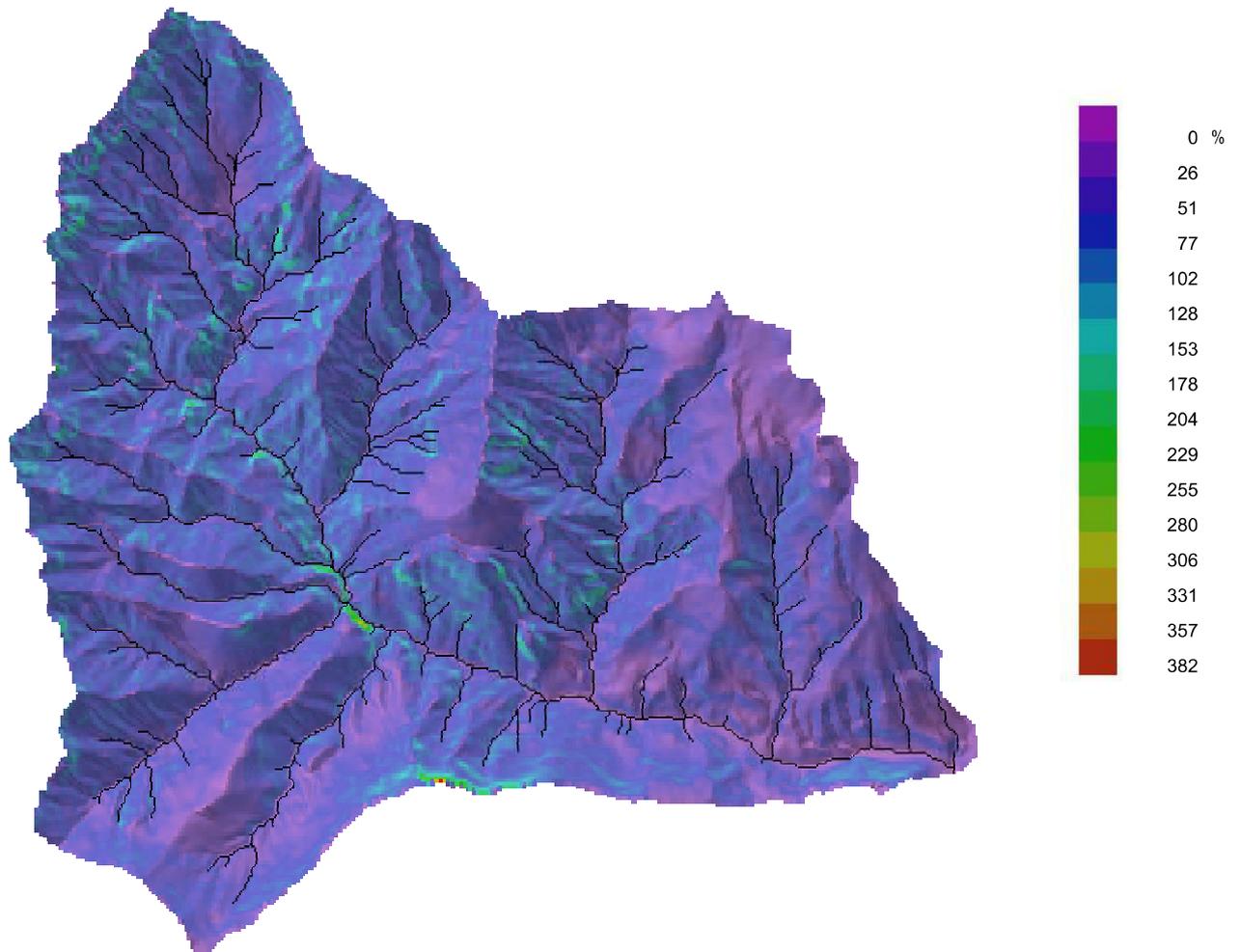
**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**



Area Drenata In Funzione Della Progressiva Lungo L'asta Principale Del Torrente



**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE**



Mappa di pendenza locale percentuale



9.3 IETOGRAMMA SINTETICO DI PROGETTO E DEPURAZIONE DELLE PERDITE

9.3.1 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 Costante e** uno **ietogramma di tipo Chicago** per il calcolo dell'idrogramma di piena.

Questo ultimo 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 .

Non è così indispensabile trovare la durata critica dell'evento, essendo



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

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.

9.3.2 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, I_a

☞ sia verificata la continuità della massa,

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

$$R = ((P-I_a)^2)/(P-I_a+S) \quad \text{per } P > I_a$$

$$R = 0 \quad \text{per } P < I_a$$



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

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.

Nel nostro caso il valore di I_a , così come consiglia il Wisner (1983), non è stato considerato uguale al 20% di S, che molte volte porta ad una sottostima dei volumi di piena, ma è stato considerato pari a 2 mm.

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

Per la descrizione delle due carte si rimanda al relativo capitolo.

La scelta del valore da assegnare ai singoli incroci è stata fatta confrontando i valori tabulati nella corposa bibliografia disponibile con quelli ricavati dall'analisi dei due bacini.

Di seguito viene riportata una tabella in cui vengono restituiti i valori assegnati a



ciascun incrocio in funzione della legenda delle carte dell'uso del suolo e della carta idrologica prima descritta.

VALORI DI CN PER LE VARIE CLASSI

Uso del suolo (vedi legenda carta)						Permeabilità			
						H - h	M - m	L - l	
			S	L	V	71	78	81	
					P5	79	86	89	
			P4	N6	N7	61	74	80	
B2	B3	B7	N8	N9	I3	I4	66	77	83
			B1	B4	B5	B6	55	70	77
					P3		61	74	80
			N3	I1	I2		69	79	84
				N4	N5		79	86	89
					R		88	91	93
					U		92	94	95
					A		98	98	98

Il calcolo del CN del bacino va fatto secondo la media pesata

(Area singolo incrocio * valore singolo incrocio)/(area totale)

Esempio

Area Totale Bacino	0.85	
Area arancio	0.7	kmq
Risultato CN incrocio area arancio	85	
Area azzurra	0.15	kmq
Risultato CN incrocio area azzurra	55	

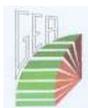


CALCOLO $(85*0,7+55*0,15)/(0,7+0,15)$ = **80**



**STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE****T. VERTOVA**

gruppo uso suolo	classe permeabilità	Kmq	CN	CN*A
P5	h	0.2675	79	21.13
P5	l	0.0648	89	5.76
P5	m	0.3290	86	28.29
P4 N6 N7	h	0.8778	61	53.55
P4 N6 N7	l	0.1047	80	8.38
P4 N6 N7	m	0.3241	74	23.99
B2 B3 B7 N8 N9 I3 I4	h	9.0438	66	596.89
B2 B3 B7 N8 N9 I3 I4	l	1.2890	83	106.99
B2 B3 B7 N8 N9 I3 I4	m	2.2482	77	173.11
B1 B4 B5 B6	m	0.0007	70	0.05
P3	h	0.3561	61	21.72
P3	l	0.6884	80	55.07
P3	m	0.9837	74	72.80
N3 I1 I2	h	6.5461	69	451.68
N3 I1 I2	l	0.0180	84	1.51
N3 I1 I2	m	0.0712	79	5.63
R	h	0.1444	88	12.71
R	l	0.0007	93	0.07
R	m	0.0020	91	0.18
U	h	0.1089	92	10.01
U	l	0.0245	95	2.32
U	m	0.0759	94	7.13

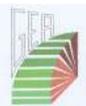
CN CALCOLATO**70.4**

***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

Utilizzando questi valori con gli ietogrammi di progetto esposti nel capitolo successivo, si perveniva ad un risultato, secondo gli scriventi, troppo conservativo, risultando un coefficiente di deflusso pari a:

- per il T. Vertova $\phi = 0.44$

Si è così deciso, anche per esperienze maturate su bacini simili, di utilizzare, come depurazione delle perdite, il **metodo percentuale**, assegnando un **coefficiente di deflusso pari a 0,6**, sicuramente a favore di sicurezza.



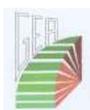
9.4 CALCOLO DELLA PORTATA DEI TORRENTI

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 Torrente, 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



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

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 nel capitolo 2.

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

Empiriche

- ◆ Forti

Regionalizzazione

- ◆ Paoletti (P.T.C.P.)

Modello afflussi-deflussi (stima portata critica)

- ◆ Formula razionale

Modelli lineari afflussi-deflussi (ricostruzione idrogramma)

- ◆ Metodo dell'invaso lineare
- ◆ Metodo di Nash
- ◆ Metodo di Nash con i parametri geomorfologici del Rosso



9.4.1 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.

Di seguito sono riportati i calcoli con i relativi risultati.



☞ 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 $\varepsilon(d_c)$:

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

dove con d_c 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:

$$h(d) = m(d) \quad (2)$$

$$i(d) = \frac{h(d)}{d}$$

La prima delle quali da come risultato l'altezza di pioggia complessiva in mm



***STUDIO IDROGEOLOGICO – IDRAULICO CON VERIFICA DI COMPATIBILITA'
DELL'INTERVENTO ED INDIVIDUAZIONE DELLE EVENTUALI OPERE DI MITIGAZIONE***

dell'evento caratterizzato dalla durata d , mentre la seconda fornisce l'intensità media di tale evento e dove:

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

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

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

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, $\varepsilon(d_c)$, 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 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)

$$T_c = \frac{L_{ap}^{0.8} [(1000/CN - 9)]^{0.7}}{20 i_{media}^{0.5}}$$

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:

$$q(t) = \int_0^t u(t-\tau) \cdot p(\tau) \cdot dt \quad (1)$$

La funzione $u(t)$ è definita I.U.H. (Instantaneous Unit Hydrograph) idrogramma unitario istantaneo.

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



☞ 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:

$$u(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-t/k} \quad (2)$$

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:

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

☞ 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:

$$u(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-t/k} \quad (4)$$

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



$$t_p = k \cdot (n - 1) \quad (5)$$

dove t_p è da assumere approssimativamente pari a metà del t_c .

Per n si assumono valori non elevati, di solito $n=3$.

☞ Metodo di Nash con i parametri geomorfologici del Rosso

Il metodo è come quello prima esposto, ma i parametri del modello (n , k) sono stimati dai parametri geomorfologici, così come indicato dal prof. Renzo Rosso.

$$h(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{n}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}}$$

con

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.78} R_l^{0.07} \quad e \quad k = 0.7 \left(\frac{R_a}{R_b R_l}\right)^{0.48} \cdot \frac{L_c}{V_m}$$



DATI BACINO

Bacino Torrente Vertova

DATI

Parametri geo-morfologici

A	23.79	Km ²	Area
L	9.70	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
h max	1910.00	m s.l.m.	Altitudine massima del bacino
h med	961.87	m s.l.m.	Altitudine media del bacino
h min	399.41	m s.l.m.	Altitudine sezione di chiusura

Parametri pluviometrici

T=100	a	74.39	-	Parametro della ccp (funzione del tempo di ritorno)
	n	0.31	-	Parametro della ccp
T=200	a	81.11		Parametro della ccp (funzione del tempo di ritorno)
	n	0.31		Parametro della ccp

Coefficiente di afflusso (x metodo razionale)

ϕ	0.60	-
--------	------	---

CALCOLI

Calcolo del tempo di corrivazione (Giandotti)

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - h_0}}$$

T_c 1.796 ore

Calcolo ragguglio pioggia all'area (Wallingford)

f₁ 0.12
 f₂ (A<20) 0.393
 f₂ (20<A<100) 0.392
 ARF 0.85 per T = T_c

FORMULA DI FORTI

Bacino Torrente Vertova

DATI

A	23.79	Km ²	Area
---	-------	-----------------	------

Per bacini si superficie A inferiore a 1000 km²

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

CALCOLI

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

$$q_c = 8.06 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2)$$

$$Q = 191.77 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$q_c = 11.92 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2)$$

$$Q = 283.61 \text{ m}^3/\text{s}$$

De Marchi

c) Bacini soggetti a piogge elevatissime (400 mm in 12 ore e oltre) e di superficie fino a circa 150 km²

$$q_c = 25.16 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2)$$

$$Q = 598.62 \text{ m}^3/\text{s}$$

Scelta del valore che interessa

$$Q = 191.77 \text{ m}^3/\text{s}$$

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 giorno d'oggi.

FORMULA DI PAOLETTI

Bacino Torrente Vertova

DATI

A	23.79	Km ²	Area
---	-------	-----------------	------

CALCOLI

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

$$q_c = 4.468508 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2)$$

$$Q = 106.31 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

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 METODI RAZIONALI (afflussi - deflussi) - T = 100 anni

Bacino Torrente Vertova

DATI

A	23.790	Km ²	Area
L	9.705	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
hm	961.87	mslm	Altitudine media del bacino
ho	399	mslm	Altitudine sezione di chiusura
ε	1.00	-	Coefficiente di laminazione
φ	0.60	-	Coefficiente di deflusso
a	74.39	-	Parametro funzione del tempo di ritorno
n	0.31	-	Parametro

Per il calcolo del Tempo di
Corrivazione (Tc)

(Da carte o analisi statistiche)

CALCOLI

Calcolo del tempo di corrivazione

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

Tc 1.80 ore

Calcolo della portata

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

Q 196.95 m³/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**

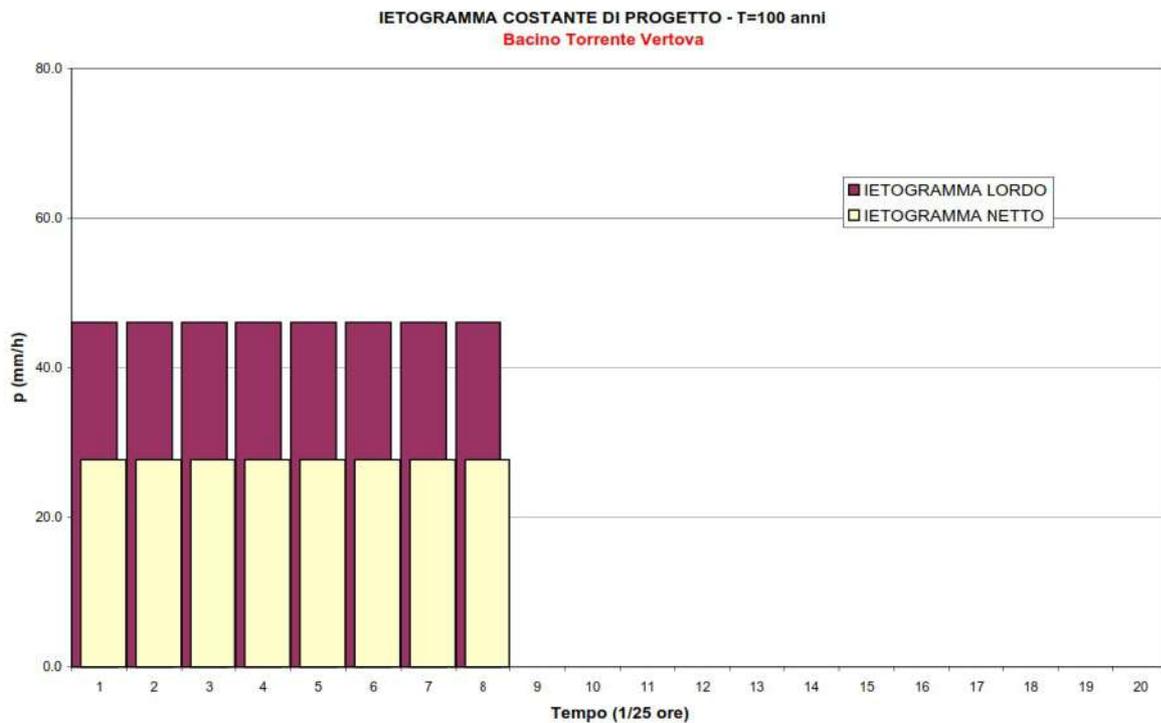
IETOGRAMMA DI PROGETTO - T = 100 anni

TIPO : COSTANTE

PERDITE IDROLOGICHE: METODO PERCENTUALE

Bacino Torrente Vertova

TEMPO h	IETOGRAMMA LORDO mm/h	IETOGRAMMA NETTO mm/h
0.25	46.1	27.7
0.5	46.1	27.7
0.75	46.1	27.7
1	46.1	27.7
1.25	46.1	27.7
1.5	46.1	27.7
1.75	46.1	27.7
2	46.1	27.7



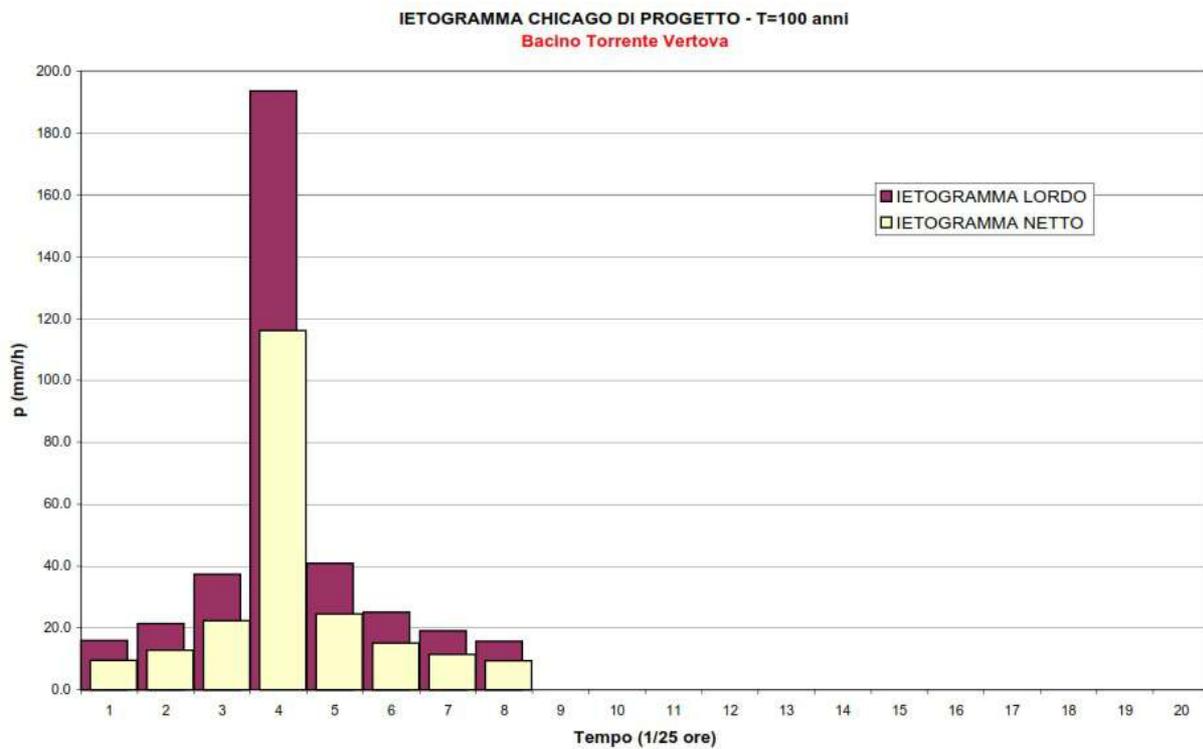
IETOGRAMMA DI PROGETTO - T = 100 anni

TIPO : CHICAGO

PERDITE IDROLOGICHE: METODO PERCENTUALE

Bacino Torrente Vertova

TEMPO	IETOGRAMMA LORDO mm/h	IETOGRAMMA NETTO mm/h
1	15.9	9.5
2	21.4	12.8
3	37.4	22.4
4	193.6	116.2
5	40.9	24.5
6	25.1	15.1
7	19.0	11.4
8	15.6	9.4

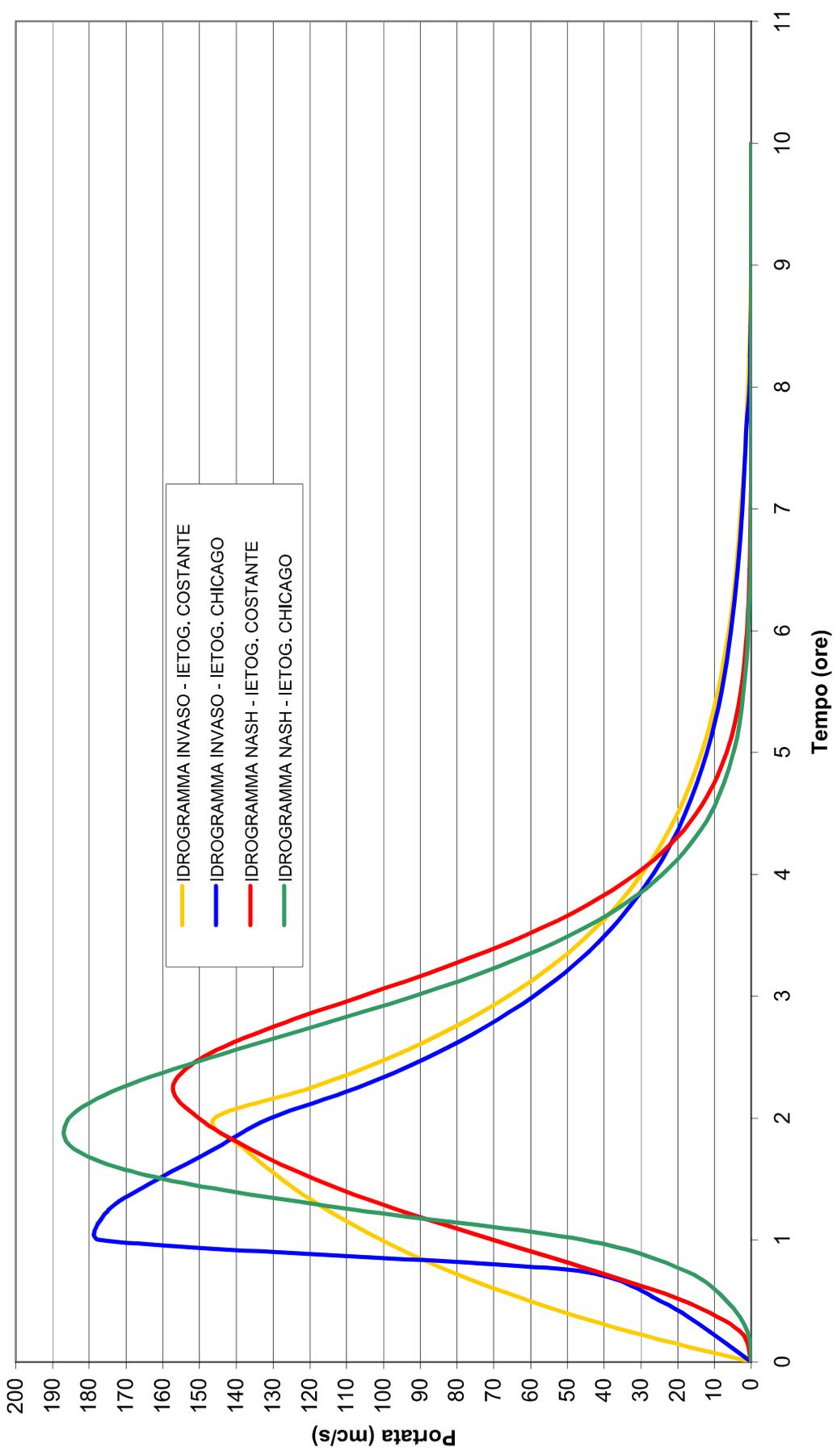


IDROGRAMMA DI PROGETTO - T = 100 anni

Bacino Torrente Vertova

TEMPO h	IDROGR. INVASO (letogr. Cost.)	IDROGR. INVASO (letogr. Chic.)	IDROGR. NASH (letogr. Cost.)	IDROGR. NASH (letogr. Chic.)
0	0	0	0	0
0.25	33.0	11.4	3.0	1.0
0.5	60.1	24.6	18.3	6.7
0.75	82.3	47.0	42.7	17.9
1	100.6	177.2	70.2	45.7
1.25	115.5	174.6	96.3	108.5
1.5	127.7	161.2	118.6	159.8
1.75	137.8	145.8	136.5	184.2
2	146.0	130.8	150.2	185.5
2.25	119.7	107.2	157.3	171.4
2.5	98.2	87.9	149.2	147.0
2.75	80.5	72.1	129.8	118.8
3	66.0	59.1	105.8	91.6
3.25	54.1	48.5	82.1	68.2
3.5	44.4	39.8	61.4	49.3
3.75	36.4	32.6	44.5	34.8
4	29.9	26.7	31.5	24.2
4.25	24.5	21.9	21.9	16.5
4.5	20.1	18.0	15.0	11.1
4.75	16.5	14.7	10.1	7.4
5	13.5	12.1	6.7	4.9
5.25	11.1	9.9	4.4	3.2
5.5	9.1	8.1	2.9	2.1
5.75	7.4	6.7	1.8	1.3
6	6.1	5.5	1.2	0.8
6.25	5.0	4.5	0.7	0.5
6.5	4.1	3.7	0.4	0.2
6.75	3.4	3.0	0.2	0.1
7	2.8	2.5	0.1	0.0
7.25	2.1	2.0	0.0	0.0
7.5	1.6	1.6	0.0	0.0
7.75	1.2	1.2	0.0	0.0
8	0.9	0.4	0.0	0.0
8.25	0.6	0.2	0.0	0.0
8.5	0.3	0.1	0.0	0.0
8.75	0.2	0.1	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0
9.25	0.0	0.0	0.0	0.0
9.5	0.0	0.0	0.0	0.0
9.75	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0
Portata al colmo	146.0 [m ³ /s]	177.2 [m ³ /s]	157.3 [m ³ /s]	185.5 [m ³ /s]

IDROGRAMMI DI PIENA T. VERTOVA - T = 100 anni



Costruzione della funzione risposta di Nash con i parametri geomorfologici del Rosso

$$h(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{n}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}}$$

con

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.78} R_l^{0.07} \quad e \quad k = 0.7 \left(\frac{R_a}{R_b R_l}\right)^{0.48} \cdot \frac{L_c}{V_m}$$

Dati geomorfologici		Tempi di corrvazione [h]	
Ra = rapporto di area	5.42	Puglisi $t_c = 6 L^{0.67} * Hm^{(-0.33)}$	2.329
Rb = rapporto di biforcazione	5.40	R. Rosso $t_p = 1.584(Rb/Ra)^{0.55} * Rl^{(-0.38)} * Lc/Vm$	0.918
Rl = rapporto di lunghezza	3.01	Giandotti $t_p = (4*radq(A)+1.5*L)/(0.8*radq(H))$	1.824
L = max dist percorsa dall'acqua [Km]	10.06		
Lc = lungh. dell'asta princ. [Km]	9.70		1.824
Hf = altezza della foce [m]	399		
Hm = H max sulla foce [m]	1910	Parametri della funzione di risposta	n = 3.544
H = H media del bacino [m]	962		k [h] = 0.365
			Γ(n) = 3.488
Vm = vel media corr. nell'asta [Km/h]	11	Tempo di pioggia assunto [h] =	1.824
Φ = Coeff. di deflusso	0.60	Step di calcolo [h] = tc / 10 =	0.182
A = Area di bacino [Km ²]	23.79		

Area dell'idrogramma unitario	1.00	Ricerca del massimo	h(t) [l/h] = 0.664
			per t [h] = 0.912

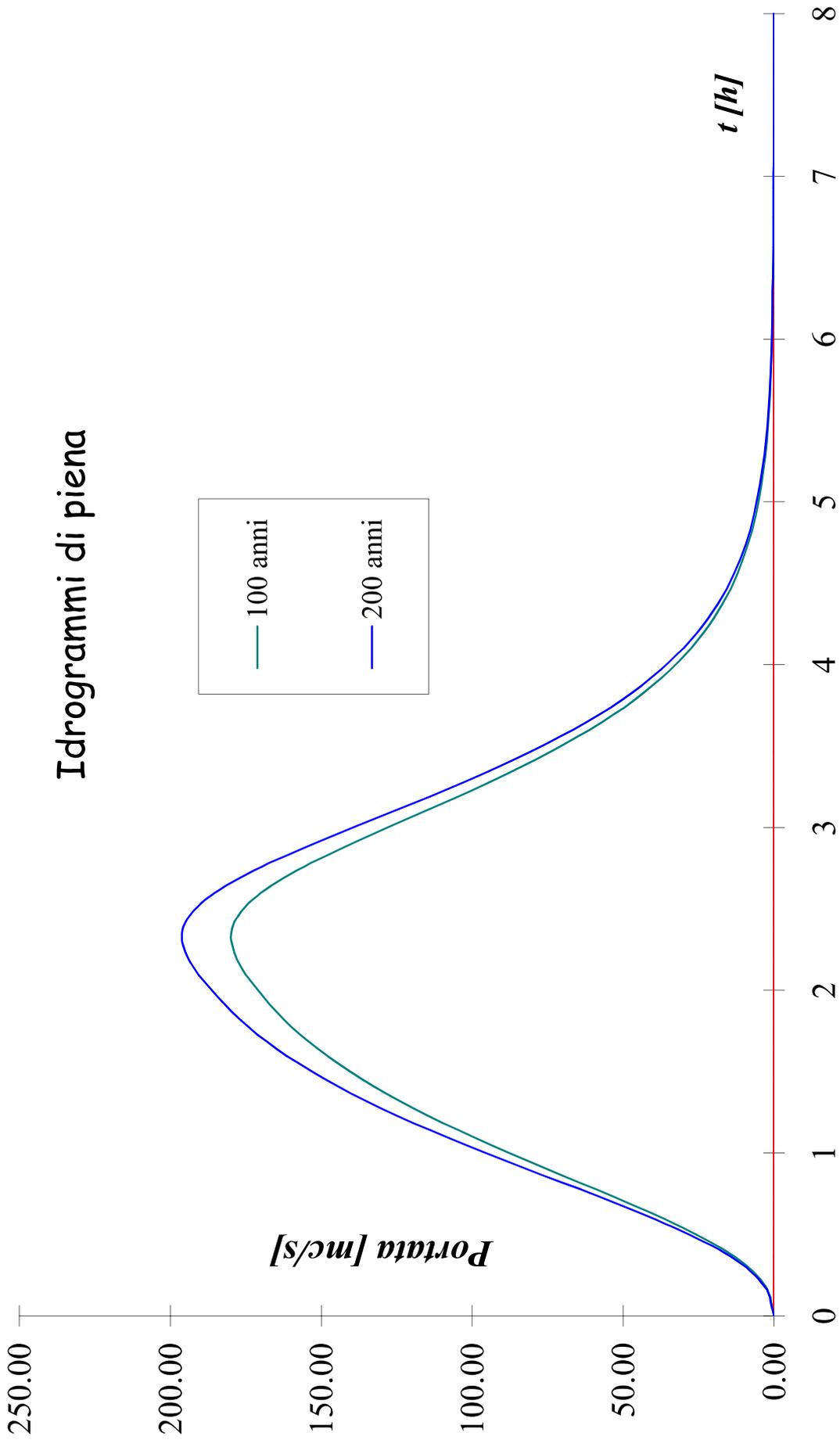
Costruzione degli idrogrammi di piena

Tempo di ritorno Tr	2	5	10	20	50	100	200
a	0.00	0.00	0.00	0.00	67.65	74.41	81.11
v	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.31	0.31
impulso [mm]	0.00	0.00	0.00	0.00	26.98	29.49	32.15
portate max [mc/s]	0.00	0.00	0.00	0.00	164.40	179.74	195.93
per t [h] =	0.00	0.00	0.00	0.00	2.37	2.37	2.37

Idrogrammi di piena

<i>t</i>	<i>h(t)</i>	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni	100 anni	200 anni
0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.182	0.081891	0.00	0.00	0.00	0.00	2.66	2.91	3.17
0.365	0.28952	0.00	0.00	0.00	0.00	12.07	13.20	14.39
0.547	0.492416	0.00	0.00	0.00	0.00	28.08	30.70	33.47
0.729	0.620689	0.00	0.00	0.00	0.00	48.26	52.77	57.52
0.912	0.663931	0.00	0.00	0.00	0.00	69.84	76.36	83.24
1.094	0.640142	0.00	0.00	0.00	0.00	90.66	99.12	108.04
1.277	0.574528	0.00	0.00	0.00	0.00	109.33	119.54	130.30
1.459	0.489292	0.00	0.00	0.00	0.00	125.24	136.93	149.26
1.641	0.400339	0.00	0.00	0.00	0.00	138.25	151.16	164.77
1.824	0.31737	0.00	0.00	0.00	0.00	148.57	162.44	177.06
2.006	0.245246	0.00	0.00	0.00	0.00	156.54	171.16	186.57
2.188	0.185553	0.00	0.00	0.00	0.00	162.58	177.75	193.76
2.371	0.137924	0.00	0.00	0.00	0.00	164.40	179.74	195.93
2.553	0.100984	0.00	0.00	0.00	0.00	158.27	173.04	188.62
2.735	0.072982	0.00	0.00	0.00	0.00	144.63	158.13	172.37
2.918	0.052151	0.00	0.00	0.00	0.00	126.15	137.93	150.34
3.100	0.036896	0.00	0.00	0.00	0.00	105.77	115.64	126.05
3.282	0.025874	0.00	0.00	0.00	0.00	85.80	93.80	102.25
3.465	0.018003	0.00	0.00	0.00	0.00	67.70	74.02	80.69
3.647	0.012438	0.00	0.00	0.00	0.00	52.20	57.07	62.21
3.830	0.008539	0.00	0.00	0.00	0.00	39.46	43.15	47.03
4.012	0.005828	0.00	0.00	0.00	0.00	29.34	32.08	34.96
4.194	0.003957	0.00	0.00	0.00	0.00	21.49	23.50	25.61
4.377	0.002674	0.00	0.00	0.00	0.00	15.55	17.00	18.53
4.559	0.001799	0.00	0.00	0.00	0.00	11.12	12.16	13.26
4.741	0.001205	0.00	0.00	0.00	0.00	7.88	8.61	9.39
4.924	0.000804	0.00	0.00	0.00	0.00	5.53	6.05	6.59
5.106	0.000535	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85	4.21	4.59
5.288	0.000355	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67	2.92	3.18
5.471	0.000235	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83	2.00	2.18
5.653	0.000155	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	1.37	1.49
5.835	0.000102	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.93	1.01
6.018	6.66E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.63	0.69
6.200	4.36E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.42	0.46
6.383	2.85E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.28	0.31
6.565	1.85E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.19	0.21
6.747	1.21E-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.13	0.14
6.930	7.82E-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.09
7.112	5.07E-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.06
7.294	3.28E-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.04
7.477	2.12E-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03
7.659	1.36E-06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
7.841	8.78E-07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
8.024	5.65E-07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
8.206	3.62E-07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.389	2.32E-07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.571	1.49E-07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.753	9.52E-08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.936	6.09E-08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.118	3.89E-08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.300	2.48E-08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9.483	1.58E-08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Idrogrammi di piena



Riassunto valori di portata al colmo:

T. Vertova

Tipo Formula	Denominazione	PORTATA T = 100 anni
Empirica	Forti – De Marchi	191.77 m ³ /s
Regionalizzazione	Paoletti (P.T.C.P.)	106.31 m ³ /s
Afflussi – deflussi (Qc)	Razionale	196.95 m ³ /s
Modelli Lineari	Metodo Invaso letog. Costante let. Chicago	146.0 m ³ /s 177.2 m ³ /s
	Metodo Nash letog. Costante let. Chicago	157.3 m ³ /s 185.5 m ³ /s
	Metodo geomorf.	179.7 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 pari a:

$$Q = 180 \text{ m}^3/\text{sec}$$

(per $T_r = 100$ anni)

