COMUNE DI COMO

COMUNE DI COMO

Via Vittorio Emanuele II – n. 97
COMO

STUDIO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO PER LA DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DEL TORRENTE COSIA CON RIDETERMINAZIONE DEI CONTENUTI RELATIVI ALL'ART. 106 DELLE DISPOSIZIONI ATTUATIVE DEL PGT

OTTOBRE 2014

	NOME	FIRMA	DATA
REDAZIONE	O. Cella		
VERIFICA	G.B.Peduzzi		
APPROVAZIONE	G.B.Peduzzi		

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA PROFESSIONALE:

CAPOGRUPPO/MANDATARIO:

Dott. Geol. STEFANO FRATI

Studio Frati
geologia applicata

Via P. M. Faverio n° 4
22079 Villa Guardia CO
Tel e fax 031-563148
E-mail frati@geologi.it

MANDANTE

ETATEC
STUDIO PAOLETTI
ETATEC STUDIO PAOLETTI S.r.l.
SOCIETA' DI INGEGNERIA
Via Bassini, 23 – 20133 MILANO (IT)
Tel.+39 02 26681264 – Fax +39 02 26681553
etatec@etatec.it – etatec@pec.etatec.it
www.etatec.it

Sistema Certificato UNI EN ISO 9001 SC 08-647/EA 34

UN DIRETTORE TECNICO :

Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

MANDANTE

Dott. Ing. SIMONE MELOCCHI

Via Don Minzoni, 3
24040 Arcene (BG)
Tel. 3291979160
simone.melocchi@ingpec.eu

ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di Bergamo
n. 3717

TITOLO

RELAZIONE IDROLOGICA

Revisioni	N°	Descrizione	Data
	1		
	2		

I N D I C E

1. PREMESSA....2
2. DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO....3
2.1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO....3
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO....5
2.3 ANALISI GEOMORFOLOGICA....6
3. ANALISI DELLA PECIPITAZIONE INTENSE....10
3.1 IETOGRAMMA DI PROGETTO....12
3.2 RAGGUAGLIO ALL'AREA DELLA PRECIPITAZIONE DI PROGETTO....13
4. ANALISI IDROLOGICA....14
5. TRASPORTO SOLIDO NEL BACINO DEL TORRENTE COSIA....17
5.1 DESCRIZIONE DEL METODO GAVRILOVIC-ZEMLJIC....17
5.2 APPLICAZIONE DEL METODO DI AL BACINO DEL TORRENTE COSIA....18

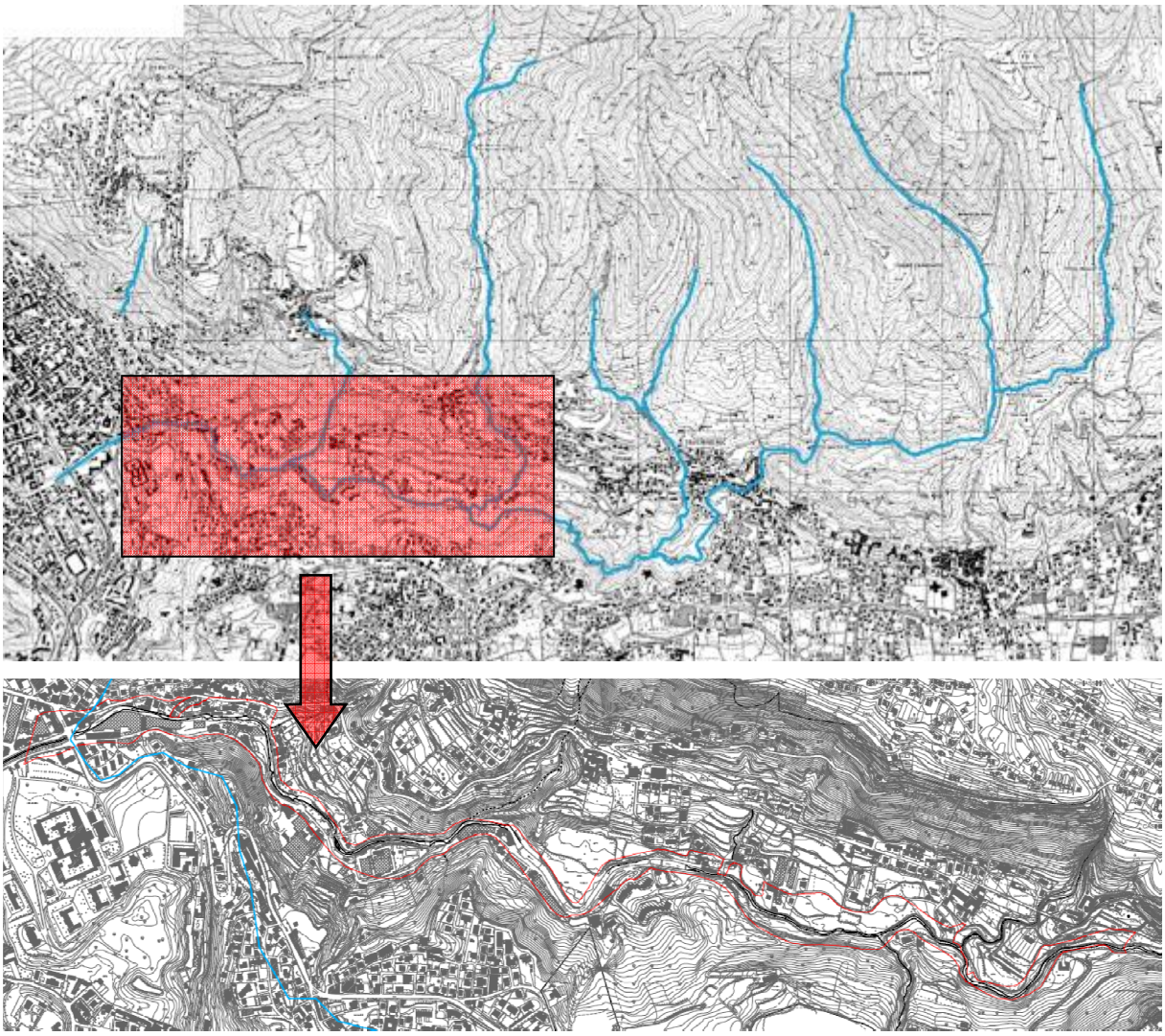
RELAZIONE IDROLOGICA

1. PREMESSA

Il presente elaborato riguarda lo "*Studio geologico, idrogeologico ed idraulico per la definizione della pericolosità del torrente Cosia con rideterminazione dei contenuti relativi all'Art.106 delle disposizioni attuative del PGT*".

L'areale di studio coincide con i settori attribuiti alla classe di fattibilità 3.e.1 nel vigente Studio Geologico comunale, relativi al torrente Cosia per un tratto di circa 3,5 km, compreso tra i confini territoriali del Comune di Tavernerio a monte ed il tratto tombinato che sbocca nel Lago di Como a valle. Tale tratto fluviale è classificato in III categoria idraulica ai sensi del D.L. 19 aprile 1917, n. 2213.

Figura 1 – Corografia della zona in studio e settori attribuiti alla classe di fattibilità 3.e.1 nel vigente Studio geologico comunale



Lo studio è stato effettuato ai sensi dell'Allegato 4 - Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da esondazione – della DGR n.9/2616 del 30-11-11.

Come richiesto dall'Allegato 4 della DGR n.9/2616 del 30-11-11, la seguente relazione idrologica:

- descrive le caratteristiche dell'area per cui si intende valutare il rischio di esondazione;
- individua la/e grandezza/e idrologica di riferimento (altezza di precipitazione, portata al colmo di piena, volume di piena, forma dell'onda di piena, portata solida, accumulo di detrito movimentabile sotto forma di colata o altro);
- discute e giustifica la scelta del tempo di ritorno o del livello di rischio accettato per il dimensionamento dell'intervento.

Nell'ambito dello studio in oggetto è stata effettuata l'analisi dei processi di trasporto di sedimenti e l'analisi di eventuali fenomeni di debris flow che si potrebbero innescare lungo il tratto oggetto d'indagine. In particolare, con l'intervento congiunto e coordinato delle professionalità dell'Ingegnere Idraulico e del Geologo, è stato possibile caratterizzare le dinamiche di trasporto di massa che interessano il torrente Cosia ed individuare i tratti torrentizi che per la loro morfologia possono essere interessati da fenomeni di debris flow, così come accaduto nei pressi del Comune di Tavernerio nel 1951, allorché una frana formò un invaso temporaneo, ed il successivo crollo dello sbarramento effimero causò un'onda di piena che investì 10 edifici nel comune di Tavernerio, provocando 16 vittime, danni all'acquedotto comunale e alla strada provinciale Como-Lecco.

2. DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO

In questo capitolo sono fornite le informazioni sulla morfologia, la geologia, l'idrografia, la climatologia del bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse; il capitolo riporta e ordina tutte le informazioni utilizzate in seguito nello studio idrologico.

2.1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il torrente Cosia costituisce il principale elemento idrografico che drena l'estrema porzione sud-occidentale del Triangolo Lariano. Le sorgenti del Cosia sono poste lungo le pendici meridionali del Monte Bollettone, in comune di Albavilla. Il corso d'acqua mostra decorso Nord- Sud per circa 2,5 km. In prossimità del confine comunale con Albese con Cassano si osserva una decisa variazione di tracciato. Da tale punto, e sino quasi la foce, posta nel lago di

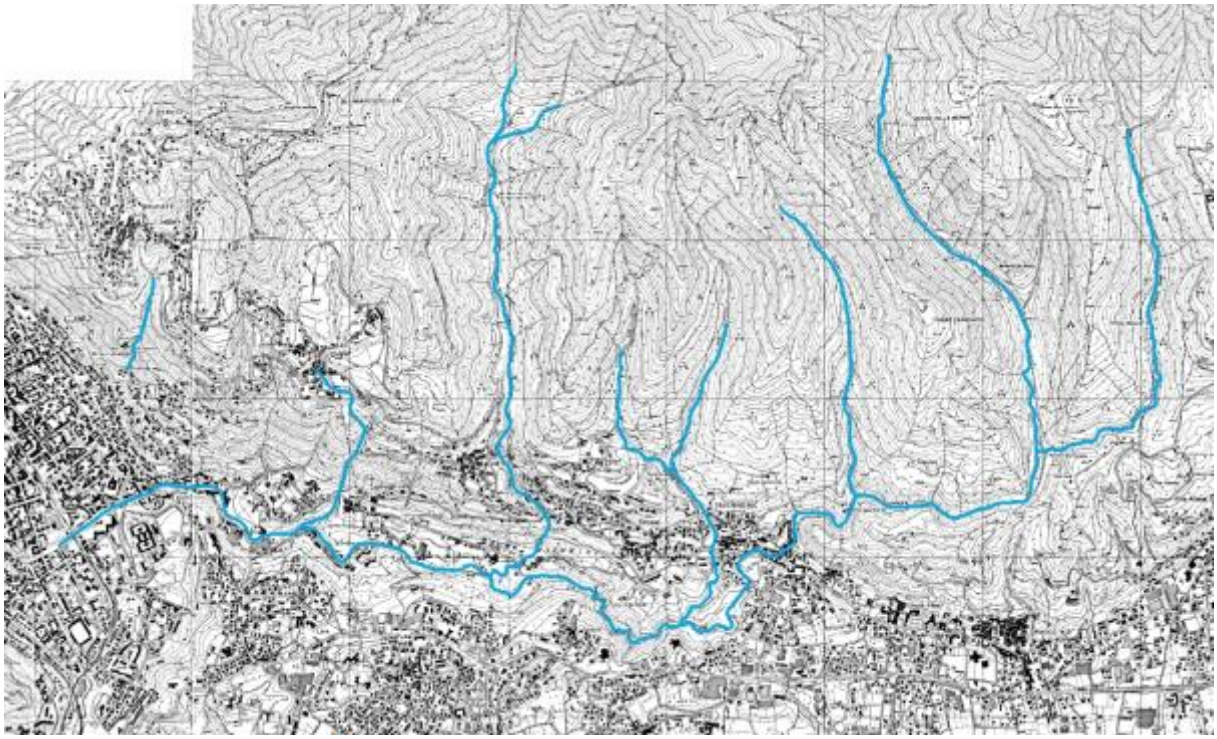
Como, il corso d'acqua mostra prevalente orientazione Est-Ovest. Tale peculiare conformazione del tracciato del corso d'acqua è da ricollegarsi all'assetto strutturale del substrato roccioso. Nella fascia pedemontana il substrato roccioso mostra giacitura regionale della cosiddetta "flessura pedemontana": gli strati rocciosi si inflettono cioè verso Sud, in direzione delle pianure. La presenza di rocce con giacitura monoclinale a franapoggio determina l'instaurazione di reticolato idrografico con pattern ortoclinale, in cui i torrenti descrivono brusche curve ad angolo retto. Si susseguono cioè tratti in cui il torrente scorre parallelamente alla direzione di massima pendenza degli strati (Nord-Sud), a tratti paralleli alla direzione della stratificazione (Est-Ovest). Ove l'alveo scorre in roccia nel verso di immersione degli strati si vengono a formare delle vasche naturali di pochi metri di lunghezza, localmente chiamate "bottini".

Una ulteriore conseguenza di questa chiara impronta strutturale del reticolato idrografico è riscontrabile nel fatto che il torrente Cosia riceve i maggiori apporti dagli affluenti siti in destra idrografica. Tali corsi d'acqua presentano sviluppo assai maggiore rispetto agli affluenti in sinistra idrografica, che sono caratterizzati da brevi aste ad andamento rettilineo e con lunghezza massima di poche centinaia di metri. In sponda destra: numerosi torrenti identificabili con il nome delle valli che essi percorrono, tra cui val Rondina, valle di Tavernerio, valle Piatellina, valle di Ponzate; in sponda sinistra non vi sono torrenti di particolare rilievo, ma l'apporto di copiose acque di drenaggio provenienti dei versanti dei comuni di Albese con Cassano, Tavernerio, Lipomo.

Nei pressi dell' I.T.I.S. P. Carcano (via Castelnuovo) inizia il tratto coperto, che si snoda sotto le vie Giulio Cesare, F.D. Roosevelt ed Innocenzo XI, per poi sfociare a lago nella zona dei Giardini. Nel tratto coperto, il Cosia riceve le acque del Fiume Aperto (viale G. Cesare), a valle del ponte S. Martino. Poco dopo tale confluenza si immette nel Cosia anche lo scarico dello sfioratore di piena interno al depuratore della Comodepur, ubicato tra i trattamenti primari ed il settore biologico, con la funzione di preservare i trattamenti secondari e terziari da sovraccarichi di portata in occasione di eventi meteorici significativi.

Alla sezione di chiusura, posta in prossimità dello sbocco nel lago, il torrente Cosia mostra un'asta torrentizia di lunghezza paria a circa 11 km contraddistinta da una pendenza media del 7 %.

Figura 2 – Reticolo idrografico del torrente Cosia alla sezione di imbocco del tratto tombinato



2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La valle del Cosia è scavata in gran parte nelle rocce sedimentarie di origine marina risalenti all'era Mesozoica, in molte delle quali – come il Calcare di Moltrasio ed il Rosso Ammonitico – si possono rinvenire fossili di antichi molluschi. I successivi movimenti di sollevamento delle Alpi, in conseguenza dello scontro tra la placca continentale africana con quella europea, hanno portato queste rocce ad emergere, formando così le attuali Prealpi calcaree. Nella porzione pedemontana sono presenti anche formazioni successive, in particolare conglomerati derivati dallo smantellamento ad opera dei fiumi della catena Alpina in formazione.

In tempi geologici più recenti, durante l'era Quaternaria, la zona è stata modellata dall'azione dei ghiacciai e soprattutto dallo stesso Cosia, che ha inciso e plasmato la valle dove scorre. Evidenti tracce delle diverse fasi glaciali si possono leggere nella stessa forma arrotondata e priva di spigolosità dei versanti dei rilievi del Triangolo Lariano, determinate dall'azione erosiva dai ghiacciai, e anche nella presenza di alcuni massi erratici di notevoli dimensioni depositati nella valle. Per quanto riguarda invece la morfologia determinata dall'azione fluviale, in particolare, nell'area sottostante il paese di Tavernerio il torrente ha scavato forre profonde fino a 25 metri, imponenti e scenografiche, dal notevole valore paesaggistico. Sulle

ripide scarpate è possibile leggere le tracce lasciate dal torrente, che in epoche passate scorreva a quote più elevate dell'attuale.

Un'altra forma dovuta all'erosione fluviale è quella delle "marmitte dei giganti", chiamate localmente "bottini", ovvero cavità profonde e levigate, scavate nelle rocce calcaree che costituiscono il letto del torrente. Per la caratterizzazione geomorfologica e geologica del bacino e del tratto di alveo interessato dalle opere si rimanda all'allegata Relazione Geologica.

2.3 ANALISI GEOMORFOLOGICA

Le caratteristiche morfologiche e idrologiche poste alla base della successiva analisi idrologico - idraulica del bacino del torrente Cosia sono state individuate mediante un processo di Analisi geomorfologica che, mediante l' elaborazione di immagini digitali del terreno (DTM), ha permesso di realizzare un'analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche del bacino idrografico, con ovvie applicazioni in termini idrologici.

In particolare, le elaborazioni compiute sul DTM 20 x 20 m dell'area in studio è stato possibile caratterizzare il bacino principale del torrente Cosia ed i suoi sottobacini, individuandone la pendenza, le direzioni di drenaggio, i percorsi di drenaggio e la rete di drenaggio del bacino. Questo processo ha avuto un'importanza cruciale in quanto la rete così individuata determina la risposta idrologica del bacino, influenzando direttamente i meccanismi di corrivazione e di concentrazione dei deflussi.

Di seguito si riportano i principali risultati ottenuti dall'analisi geomorfologica effettuata sulla base del DTM 20x20 dell'area in studio.

In Figura 3 è riportato il bacino idrografico del torrente Cosia, di estensione complessiva pari a 25 Km^2 calcolata all'inizio del tratto tombinato e la sua suddivisione in n.7 sottobacini utili per il successivo calcolo delle portate idrologiche.

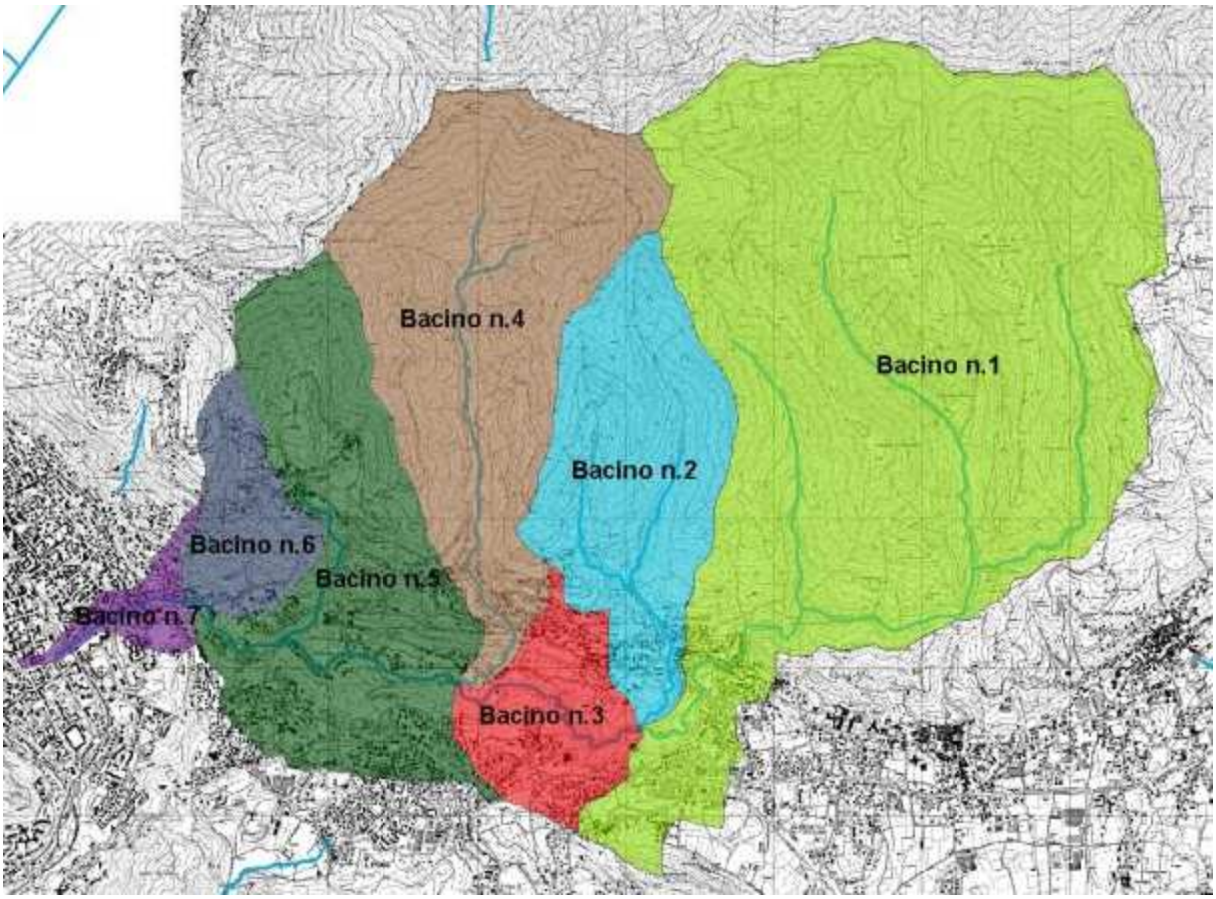
Tabella 1 - Caratteristiche principali del bacino del torrente Cosia

Superficie	Quota max	Quota min	Quota med	Pendenza	Dist. max
Kmq	m s.m.	m s.m.	m s.m.	m/m	km
25	1316	229	696	0,07	11,4

Tabella 2 - Superficie dei sottobacini afferenti al torrente Cosia

Bacino	A (Kmq)
1	14,52
2	1,24
3	4,09
4	3,79
5	0,56
6	0,41
7	0,39

Figura 3 – Bacino idrografico del torrente Cosia suddiviso in sottobacini

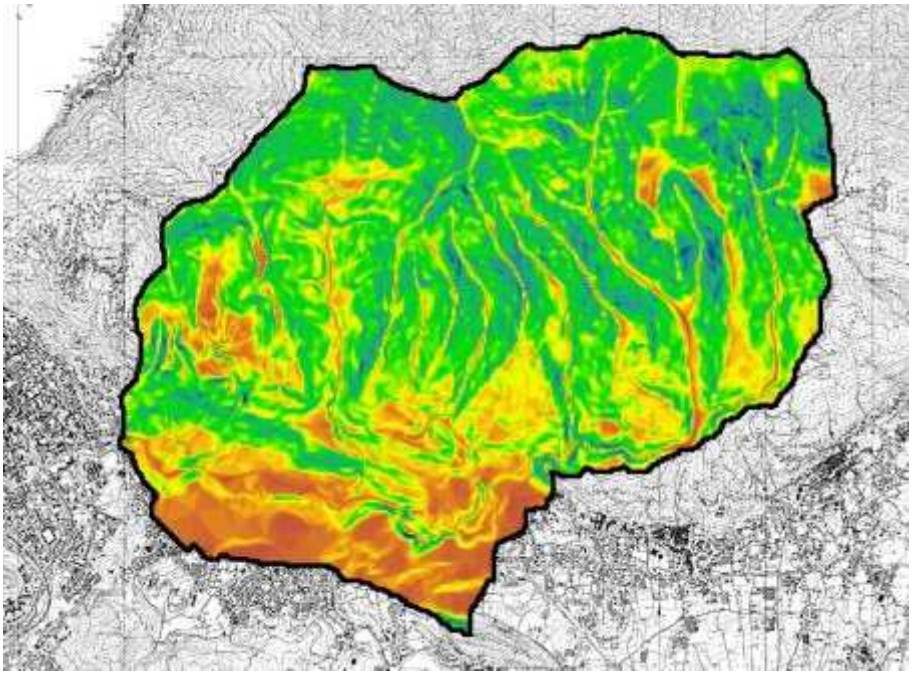


In Figura 4 sono riportate indicativamente le pendenze di versante del bacino del torrente Cosia (Blu = pendenze maggiori; marrone = pendenze minori) dalle quali si deduce che il bacino idrografico del torrente Cosia è caratterizzato dalla presenza di una pronunciata acclività dei versanti soprattutto nella parte alta.

La forte acclività dei versanti unita ad una relativamente modesta estensione superficiale contribuiscono a delineare il carattere prettamente impulsivo dei fenomeni di formazione e

propagazione delle piene, con picchi elevati e tempi di corrivazione modesti.

Figura 4 – Pendenze dei versanti lungo il bacino del torrente Cosia (Blu = pendenze maggiori; marrone = pendenze minori)



Le elaborazioni effettuate hanno permesso di individuare i percorsi di drenaggio principali lungo i versanti del bacino idrografico (vedi Figura 5) dai quali è stato possibile caratterizzare le isocorrive o linee ad eguale tempo di percorrenza dalle quali è possibile dedurre il tempo di corrivazione del bacino e dei suoi sottobacini (vedi Figura 6).

Figura 5 – Percorsi di drenaggio del bacino del torrente Cosia

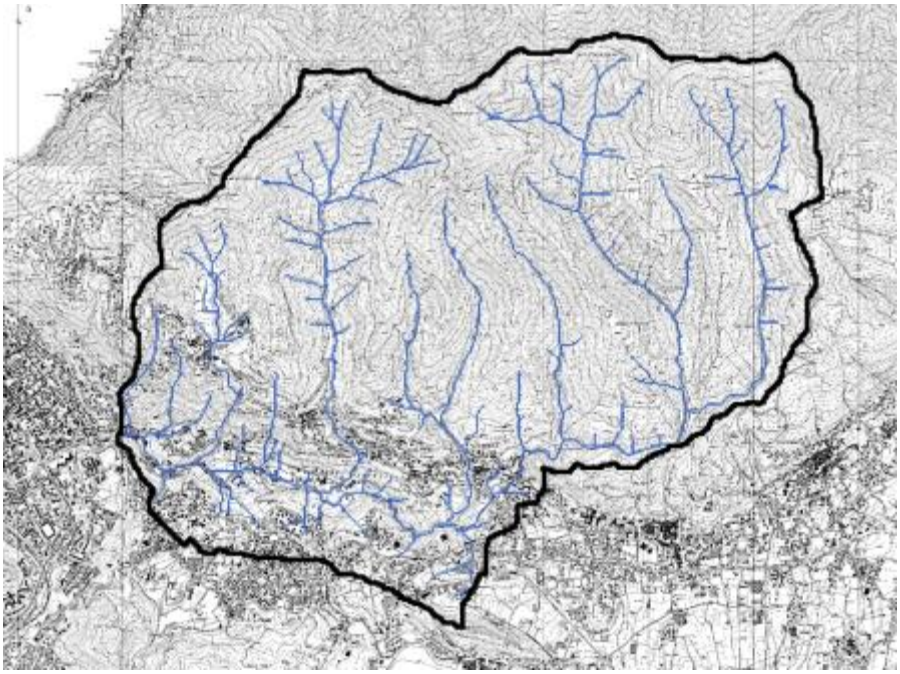
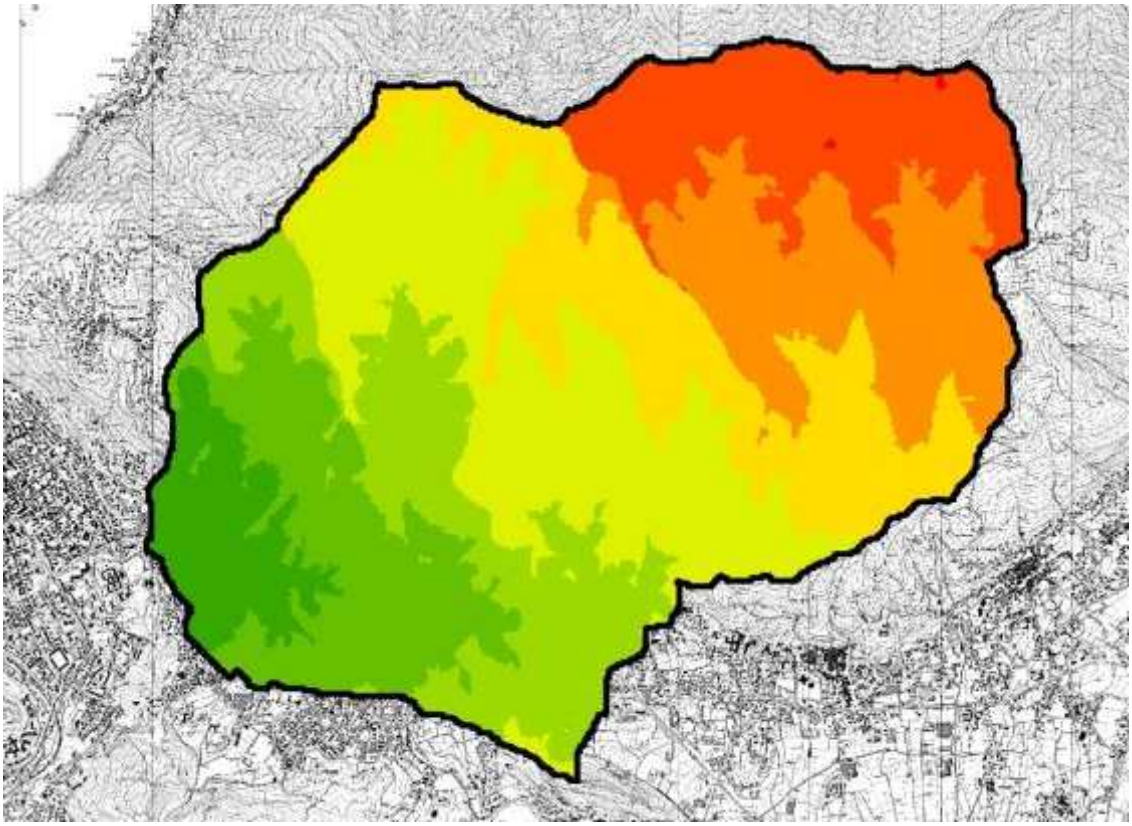


Figura 6 – Carta delle isocorrive o tempi di corrivazione del bacino del torrente Cosia (verde = 0-20 min; rosso 120-140 min)



Per verificare la bontà delle elaborazioni effettuate, il Tempo di corrivazione determinato con le analisi geomorfologiche è stato confrontato con il valore del tempo di corrivazione calcolato con la formula di Giandotti.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\overline{H} - H_0}}$$

dove A è l'area del bacino espressa in Km^2, L è la lunghezza dell'asta principale, mentre $\overline{H}$ rappresenta la quota media del bacino e H_0 la quota alla sezione di chiusura del bacino. Considerando la superficie S pari a 25 km^2, la lunghezza L pari a 11,4 km e l'altezza media pari a 696 m s.m. e l'altezza minima alla sezione di chiusura di 229 m s.m., si ottiene un Tc pari a circa 126 minuti. Inoltre è stato calcolato il tempo di corrivazione con la formula di Pezzoli (Tc=0,055*L/(1^0,5)) dalla quale considerando una pendenza media del 7% si ottiene un tempo di corrivazione pari a 141 minuti. Tali formule conducono a valori del tempo di corrivazione molto simili al valore di 2h 20 min. ottenuto con l'analisi geomorfologica.

3. ANALISI DELLA PECIPITAZIONE INTENSE

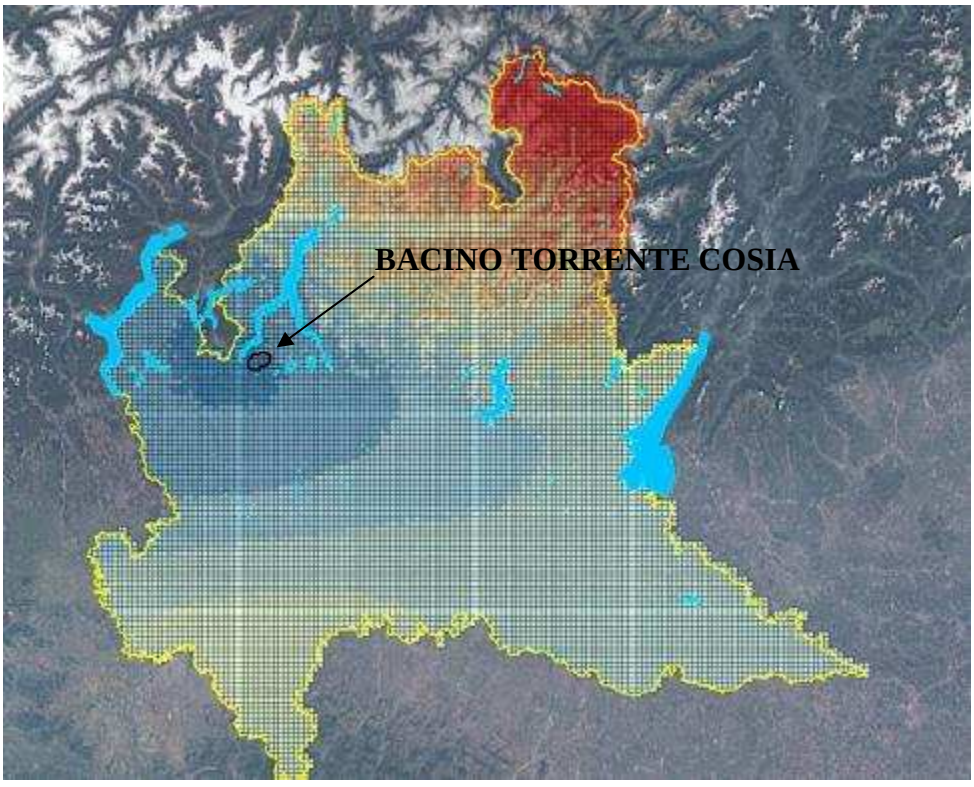
L'analisi della precipitazione intensa permette la definizione della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica, strumento che come ben noto caratterizza la frequenza delle portate calcolate con metodologia indiretta.

La curva di possibilità pluviometrica è espressa nella forma $h_T(D) = a_1 w_T D^n$, in cui D rappresenta la durata dell'evento meteorico, T il tempo di ritorno, mentre a_1 (coefficiente pluviometrico orario), w_T (quantili normalizzati per i diversi tempi di ritorno espressi in anni) e n (esponente di scala) sono i parametri delle curve che variano spazialmente.

I valori dei diversi parametri sono estrapolabili dal sito internet dell'ARPA (http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml) dove sono presenti delle mappe in formato raster di tutta la regione.

I parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica riferite al bacino del torrente Cosia per i tempi di ritorno considerati sono stati ricavati dalla media dei valori contenuti nelle tabelle di "Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense" relativi alle celle ricadenti all'interno del bacino stesso (vedi Fig.7).

Figura 7 – Distribuzione spaziale del parametro a1 delle LSP redatta da ARPA Lombardia



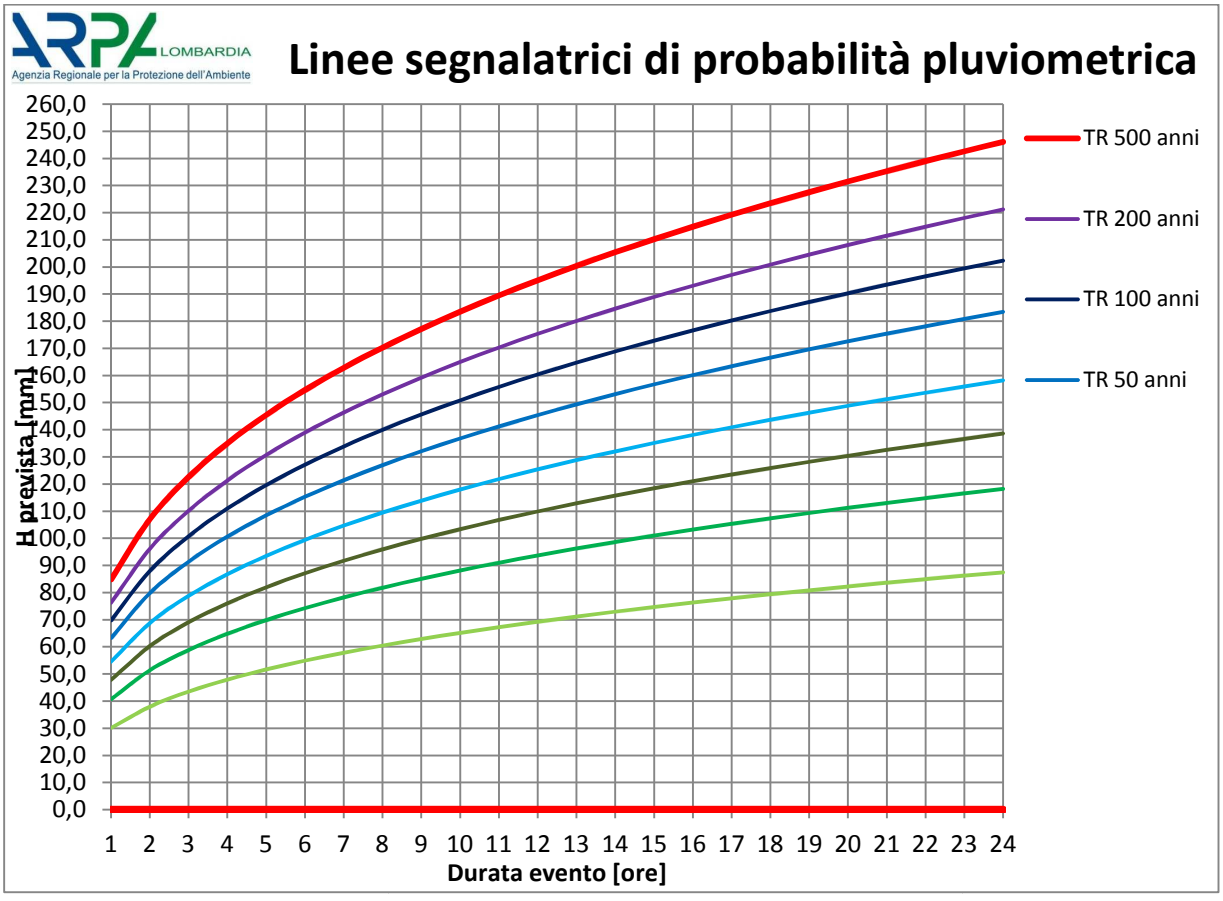
Di seguito si riportano i parametri medi delle LSPP ricavati dai dati riportatati da ARPA Lombardia per ogni singola cella in cui è composto il bacino idrografico del torrente Cosia.

Tabella 3 – Media dei parametri delle LSPP del bacino del torrente Cosia

A1	N	alpha	kappa	epsilon
32.08	0.342	0.2934	0.0044	0.8319
32.13	0.334	0.2887	-0.0029	0.8325
32.10	0.336	0.2908	0.0009	0.8324
32.18	0.331	0.2886	-0.0071	0.8312
32.02	0.340	0.2959	0.0062	0.8311
32.14	0.333	0.2921	0.0005	0.8316
32.11	0.330	0.2899	-0.0038	0.8315
32.03	0.338	0.2978	0.0083	0.8306
32.13	0.332	0.2939	0.0016	0.8308
32.10	**0.335**	**0.2923**	**0.0009**	**0.8315**

Di seguito si riportano le LSPP di progetto relative al bacino del torrente Cosia per tempi di ritorno di 100, 200 e 500 anni.

Figura 8 – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) T10 – T500 anni



3.1 IETOGRAMMA DI PROGETTO

Tra i diversi tipi di piogge sintetiche più o meno utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, si è deciso di adoperare lo ietogramma cosiddetto Chicago, che presentando andamenti temporali non costanti, consente una migliore rappresentazione del fenomeno meteorico intenso, che è normalmente caratterizzato dalla presenza di picchi di intensità di pioggia. Tale diversa distribuzione di pioggia conduce a valutare differentemente la portata al colmo, se vengono considerati operatori non lineari per il calcolo delle perdite idrologiche e per la trasformazione afflussi netti-deflussi.

La principale caratteristica di questo ietogramma consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione dedotta dallo ietogramma stesso è congruente con quella definita dalla curva di possibilità climatica. Esso presenta il vantaggio di essere poco sensibile alla variazione delle durata di base, in quanto, per durate progressivamente maggiori, la parte centrale dello ietogramma rimane la stessa mentre si aggiungono delle code all'inizio e alla fine dell'evento.

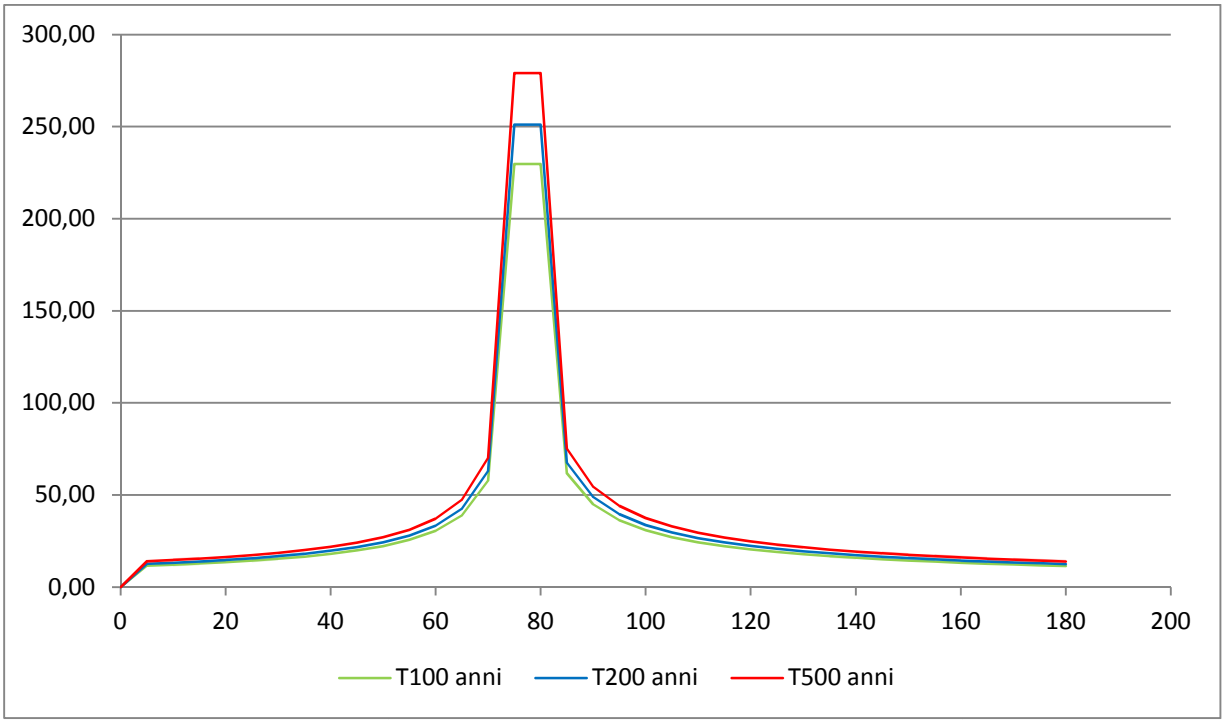
Inoltre imponendo che la durata della pioggia sia maggiore del tempo di corrivazione del bacino, si ottiene, proprio per la caratteristica prima detta, che lo "scroscio" critico è certamente contenuto nella pioggia di progetto. La costruzione dello ietogramma Chicago è stata eseguita numericamente, ad intervalli di 5 minuti, attraverso la sua espressione:

$i = (t) = n\ a(T)\ (tb/r)n-1$	prima del picco	(11)
$i = (t) = n\ a(T)\ (ta/(1-r)n-1$	dopo il picco	(12)

dove i(t) è l'intensità all'istante t; a(T) e n i parametri della curva di possibilità climatica; ta e tb i tempi contati rispettivamente dal picco verso la fine dell'evento e dal picco verso l'inizio dello stesso; r è la posizione del picco lungo l'asse dei tempi, rapporto tra il tempo di picco e la durata totale dell'evento.

In Figura 9 è riportata la rappresentazione grafica dello ietogramma Chicago di progetto riferito ai tempi di ritorno di 100, 200 e 500 anni considerando una durata complessiva pari a 3 ore.

Figura 9 – Ietogrammi di progetto durata 3 ore T100, T200 e T500 anni



A partire da queste piogge sintetiche si è proceduto alla determinazione delle onde di piena prodotte nel bacino scolante attraverso la trasformazione afflussi-deflussi eseguita mediante l'adozione di un modello idrologico UHM in grado di fornire la risposta del bacino alle sollecitazioni meteoriche.

3.2 RAGGUAGLIO ALL'AREA DELLA PRECIPITAZIONE DI PROGETTO

A causa dell'elevata variabilità spaziale del fenomeno meteorico, il volume affluito complessivamente per un bacino di drenaggio risulta tuttavia minore di quello che si otterrebbe distribuendo uniformemente sull'area del bacino stesso l'altezza di precipitazione caduta nel centro di scroscio. Questa circostanza indica la necessità di ragguagliare all'area di interesse il valore dell'altezza di pioggia calcolato nel centro di scroscio per un assegnato periodo di ritorno.

Valutate le LSPP per il bacino del torrente Cosia si è poi proceduto al ragguaglio dei valori ottenuti con l'uso del coefficiente di riduzione dato dalla formula, valida per bacini di area compresa fra 5 e 800 km^2 e per durate di pioggia variabili fra 15 minuti e 12 ore, (Moisello – Papiri, 1986):

$$r(A,d) = 1 - e^{\left[-2.472 A^{-0.242} d^{0.6 - e^{\left(-0.643 A^{0.235}\right)}}\right]}$$

Tabella 4 – Coefficienti di ragguaglio delle precipitazioni per i sottobacini afferenti al T. Cosia

Bacino	A (Kmq)	r
1	14,52	0,83
2	1,24	0,93
3	4,09	0,88
4	3,79	0,89
5	0,56	0,95
6	0,41	0,95
7	0,39	0,96

4. ANALISI IDROLOGICA

Nell'ambito del presente studio è stato adottato come modello di simulazione idrologica ed idraulica il modello MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute. Tale software è in grado, attraverso diversi moduli, di integrare il modello afflussi – deflussi con la propagazione dell'onda di piena lungo i diversi tratti del reticolo idrografico naturale e artificiale.

La determinazione dell'onda di piena ritenuta critica è stata condotta impiegando le metodologie classiche per la trasformazione afflussi-deflussi partendo da piogge sintetiche critiche dedotte dalle curve di possibilità climatica e assumendo che la piena così ottenuta abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha prodotta.

L'analisi idrologica, condotta utilizzando il modulo idrologico UHM (Unit Hydrograph Module) di Mike 11 della DHI, che permette di ricavare l'andamento delle portate, il tempo di corrivazione del bacino (ovvero il tempo di picco), ed il valore della portata al colmo per ogni evento simulato.

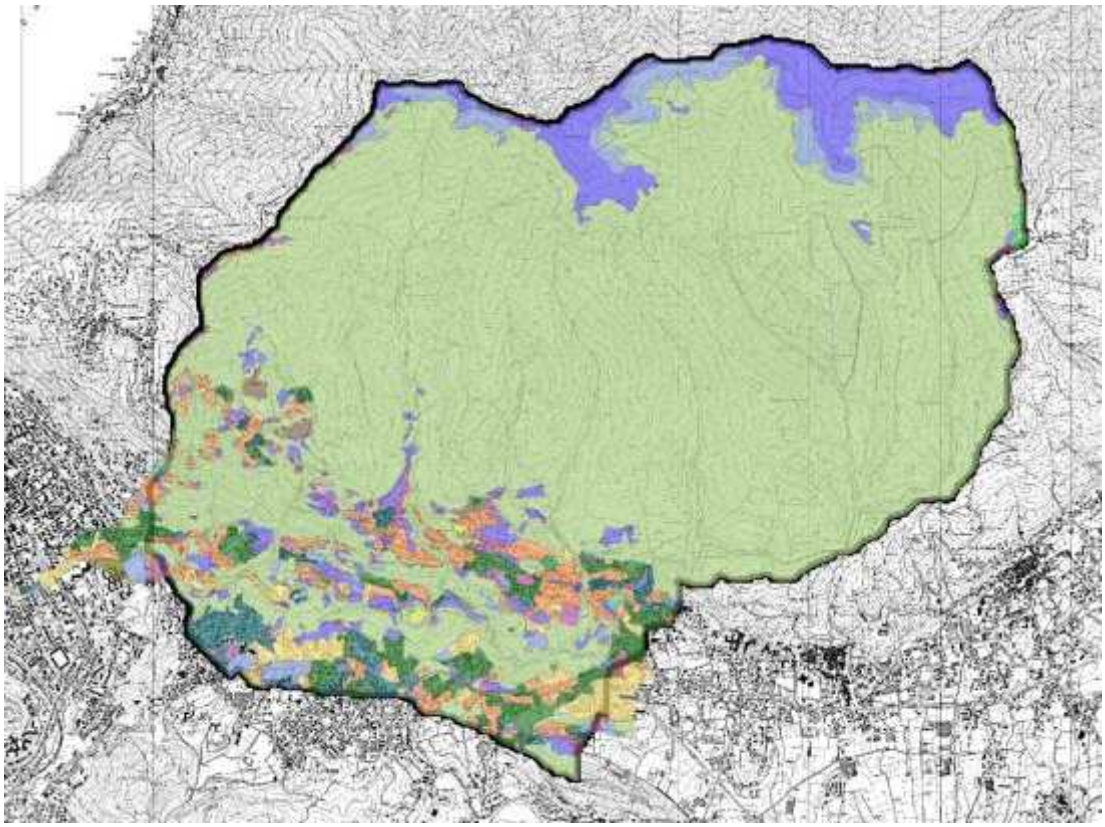
Il modello adottato per la trasformazione afflussi -deflussi si basa sulla teoria lineare dell'idrogramma unitario istantaneo, in cui la trasformazione degli afflussi meteorici depurati delle perdite idrologiche in deflussi viene eseguita numericamente attraverso la convoluzione di un idrogramma unitario istantaneo (IUH) scelto opportunamente tra i diversi tipi esistenti. in particolare, in questo caso di studio l'idrogramma unitario utilizzato è quello proposto dal Soil Conservation Service. Esso rappresenta l'idrogramma di piena che si origina nel bacino in occasione di un singolo impulso di precipitazione in eccesso di durata infinitesima, intensità infinita e volume unitario.

Le perdite idrologiche (infiltrazione sotterranea, evapotraspirazione, ecc.), sono state definite con il metodo non lineare proposto dal Soil Conservation Service (SCS-CN), che calcola un andamento delle portate di perdita caratterizzato da valori massimi, all'inizio dell'evento e poi progressivamente decrescenti, avendo assunto un valore per il numero di curva CN variabile per ogni singolo sottobacino in funzione dell'uso del suolo e della permeabilità dei terreni ed una perdita iniziale di 2 mm, che rientrano tra quelli ammissibili in ambiti idrogeologici simili a quelli di cui trattasi.

Il parametro CN è stato valutato sulla base della carta di uso del suolo, della carta della permeabilità dei suoli e della litologia.

Per quanto riguarda il bacino del torrente Cosia il valore del CN medio è risultato essere pari a 69 (Il valore di riferimento è quello del CNII - AMC II, condizione di media umidità del suolo).

Figura 10 – Distribuzione dell'indice CNII per il bacino del torrente Cosia



Con tali parametri il modello adottato ha permesso di calcolare per vari tempi di ritorno (100, 200 e 500 anni) il contributo di ogni singolo sottobacino afferente al torrente Cosia.

Di seguito si riportano gli idrogrammi di progetto calcolati per i tempi di ritorno di riferimento con il modulo UHM di trasformazione afflussi deflussi.

Figura 11 – Idrogrammi sottobacini afferenti al torrente Cosia T100 anni

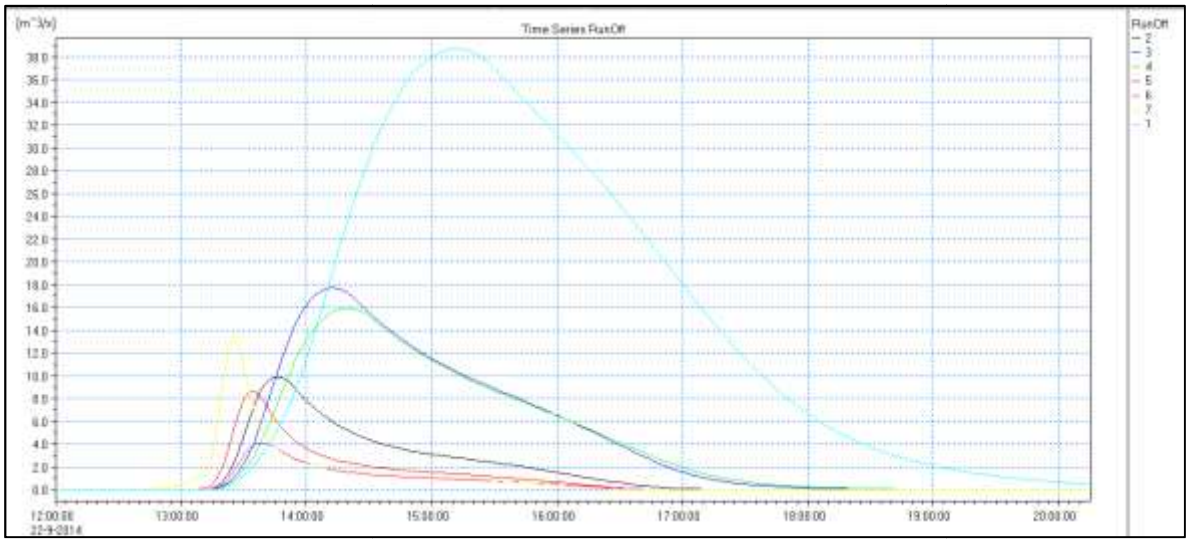


Figura 12 – Idrogrammi sottobacini afferenti al torrente Cosia T200 anni

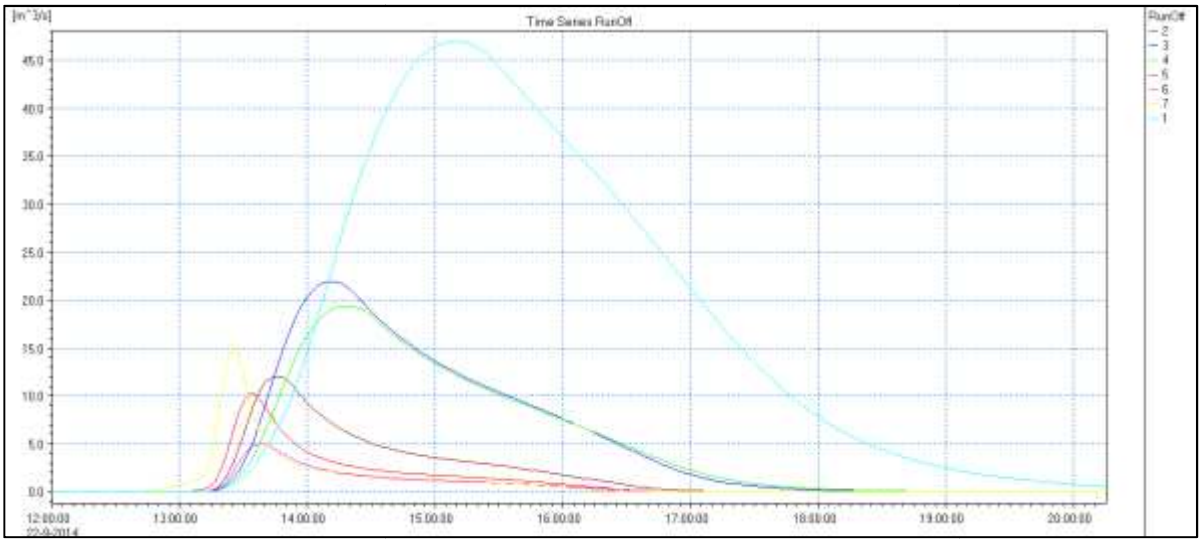
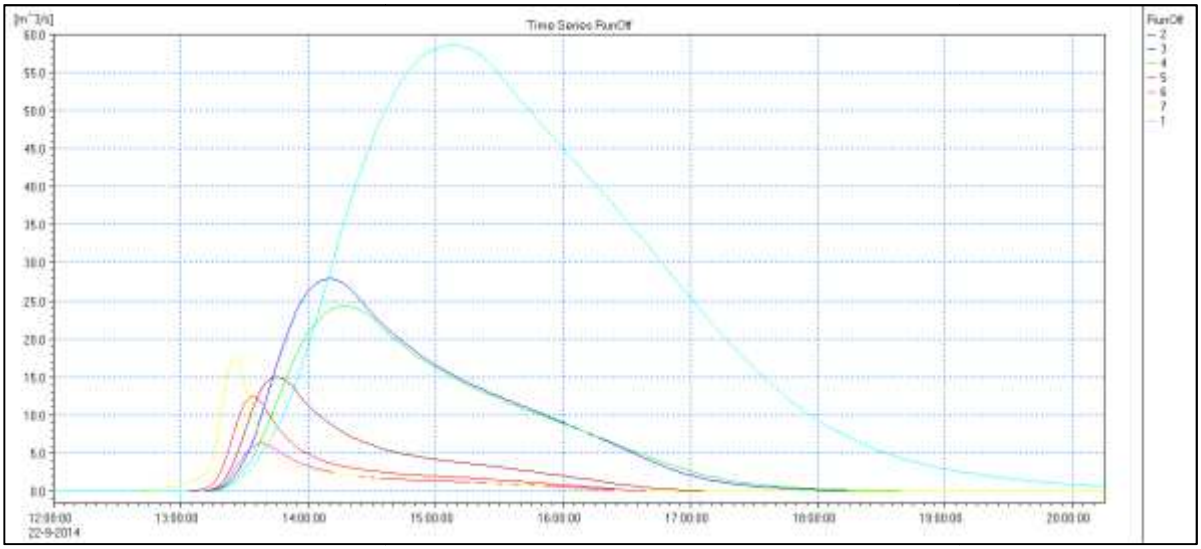


Figura 13 – Idrogrammi sottobacini afferenti al torrente Cosia T500 anni



5. TRASPORTO SOLIDO NEL BACINO DEL TORRENTE COSIA

Nel presente studio l'attenzione è stata focalizzata sulla stima dell'apporto solido in termini di produttività media annua di trasporto solido del bacini imbrifero (con metodi e modelli empirici) allo scopo di valutare il materiale potenzialmente movimentabile durante un evento di piena eccezionale.

Le valutazioni in oggetto rivestono notevole importanza ai fini della verifica delle condizioni di trasporto solido che si generano in alveo durante eventi di piena e le eventuali modifiche indotte sul regime idrico straordinario.

La valutazione dei volumi di sedimento movimentabili annualmente dal torrente Cosia è stata effettuata secondo la metodologia riportata nella Relazione Geologica allegata al presente studio che si fonda sullo studio del bacino idrografico di formazione come produttore di sedimento e dell'asta fluviale come collettore e vettore del sedimento stesso. In particolare, lo studio è stato realizzato seguendo il metodo empirico di Gavrilovic-Zemljic, già utilizzato nello studio *"Valutazione quantitativa indiretta dell'erosione in alcuni bacini idrografici del versante orobico valtellinese e considerazioni sull'evento alluvionale del luglio 1987"* eseguito dal prof. R. Pozzi e dai dott. G. Bollettinari e P. Miniutti (estratto da: "*Fenomeni di erosione e alluvionamenti degli alvei fluviali"*, Università degli Studi di Ancona, 14-15 ottobre 1991), dal quale sono state tratte alcune conclusioni significative per lo studio del torrente Cosia. In particolare lo studio ha evidenziato che, nel caso di eventi meteorici estremi, il quantitativo di materiale trasportato si avvicina sensibilmente a quello del materiale disponibile al trasporto. Tali risultati, forniscono un indice di quanto si può concentrare, durante un evento intenso e permettono di considerare il volume di materiale calcolato con il metodo di Gavrilovic come materiale disponibile alla movimentazione durante un singolo evento estremo.

5.1 DESCRIZIONE DEL METODO GAVRILOVIC-ZEMLJIC

Il modello adottato da Gavrilovic, prendendo in considerazione alcuni parametri (di tipo geomorfologico, climatico, litologico, vegetazionale), fornisce una previsione della produzione netta annua di sedimenti nell'ambito di un bacino idrografico. Attraverso un coefficiente di riduzione è quindi possibile passare dalla stima teorica del volume di materiale prodotto per erosione in un bacino idrografico alla determinazione della quantità di detriti trasportati dai corsi d'acqua alla sezione di chiusura del bacino stesso.

La valutazione quantitativa dell'erosione è basata sulla relazione:

W = T h F

dove:

W = quantità annuale media di materiale prodotto per erosione (in m3);

T = coefficiente di temperatura dato dalla ; con t' = isoterma annuale media;

h = altezza di pioggia (in mm) annuale media;

F = area del bacino (in km2);

Z rappresenta il coefficiente di erosione relativa e viene determinato nel modo seguente: Z = X Y ;

dove:

X = fattore di protezione del suolo ad opera della vegetazione;

Y = fattore di erodibilità del suolo;

* = coefficiente che esprime grado e tipologia dei processi erosivi;

I = pendenza media percentuale del bacino.

Il valore ottenuto mediante la formula rappresenta la quantità media annua di materiale prodotto per erosione nel bacino. Per risalire alla quantità (G) di materiale trasportato sino alla sezione di chiusura si rende necessario moltiplicare il valore W per un fattore R di riduzione dato dalla:

R = $[(O \times D)^{0,5} \times (L+Li)]/(L+10) \times F$

dove:

O = perimetro del bacino in km;

D = altezza media, espressa mediante la curva ipsometrica, in km;

F = superficie del bacino in km^2;

L = lunghezza dell'asta principale in km;

Li = lunghezza complessiva degli affluenti in km.

5.2 APPLICAZIONE DEL METODO DI AL BACINO DEL TORRENTE COSIA

L'applicazione del metodo al bacino del torrente Cosia con sezione di chiusura all'altezza dell'inizio del tratto tombinato consente di ottenere un valore medio annuo di materiale solido trasportato pari a 7.300 m^3 circa. Ne consegue quindi un valore di contributo specifico di materiale trasportato pari a 0,29 mm/anno circa, valore simile a quello rilevato per i bacini orobici nello studio sopracitato (*Relazione Geologica*).

È opportuno segnalare che il regime idrologico – idraulico medio del torrente Cosia non è effettivamente in grado di movimentare la volumetria sopra ricavata e calcolata con il modello

di Gavrilovic in corrispondenza della sezione di riferimento. Questa peculiarità è dovuta essenzialmente alla presenza lungo il tratto di valle di numerose strutture di contenimento che consentono di accumulare il materiale movimentato nella parte superiore del bacino. Tuttavia i fenomeni alluvionali intensi, che si sono succeduti negli anni e che hanno interessato il bacino del torrente Cosia, hanno confermato la tendenza da parte dell'asta torrentizia di movimentare in tali occasioni eccezionali il quantitativo di materiale solido disponibile verso la sezione di riferimento o meglio ancora verso la sezione di sbocco a lago. Infatti, in considerazione di ciò e delle tendenze emerse da studi di settore, è plausibile pensare che durante un evento di piena eccezionale tutto il materiale solido trasportato mediamente in un anno possa essere considerato "movimentabile" con dirette conseguenze sul regime idrico in atto. Questa tesi è avvalorata dai riscontri ottenuti in campo che indicano l'assenza lungo il tratto di asta torrentizia in studio di sovralluvionamenti significativi e dalla presenza di sedimenti in prossimità della foce a lago del torrente. Inoltre, anche le verifiche idrauliche effettuate ed esposte nella *Relazione Idraulica* indicano che in condizione di regime straordinario le velocità che si sviluppano in alveo, mediamente superiori a 2 m/s, sono tali da movimentare materiale di diametro anche superiore a 10 cm rendendo l'asta in studio soggetta a trasporto di fondo con limitate zone di accumulo rappresentate dalle briglie esistenti.

Nel caso in studio, considerando l'evento centennale in cui l'onda di piena ha un volume liquido di circa 6 x 10^6 mc, il volume di materiale solido trasportabile pari a 7.300 m^3 rappresenta solo lo 0,1%, per cui anche nel caso in cui tutto questo materiale fosse movimentato in un singolo evento la portata liquida non subirebbe aumenti significativi, per cui anche il campo di moto nell'asta torrentizia non subirebbe variazioni in termini sia di livelli che di velocità idriche.

Milano, 27 ottobre 2014

Dott. Ing. Paduzzi Giovanni Battista

Dott. Ing. Melocchi Simone

Dott. Geol. Frati Stefano