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 IDRAULICA

Revisioni	N°	Descrizione	Data
	1		
	2		

INDICE

1. PREMESSA 1
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE 2
3. MODELLAZIONE IDRAULICA 5
3.1 SCHEMATIZZAZIONE IDRAULICA DELL'ALVEO 5
3.2 CONDIZIONI AL CONTORNO 6
3.3 DELIMITATORI D'ALVEO 7
3.4 SCABREZZA 7
3.5 SCENARI DI RIFERIMENTO 7
4. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE 8
4.1 SCENARIO T100 ANNI 9
4.2 SCENARIO T200 ANNI 13
5. VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO IDRAULICO 16
6. TRASPORTO SOLIDO NEL BACINO DEL TORRENTE COSIA E POTENZIALE ONDA DOVUTA A COLLASSO DI SBARRAMENTO IN ALVEO 18
6.1 DESCRIZIONE DEL METODO GAVRILOVIC-ZEMLJIC 19
6.2 APPLICAZIONE DEL METODO DI AL BACINO DEL TORRENTE COSIA 20

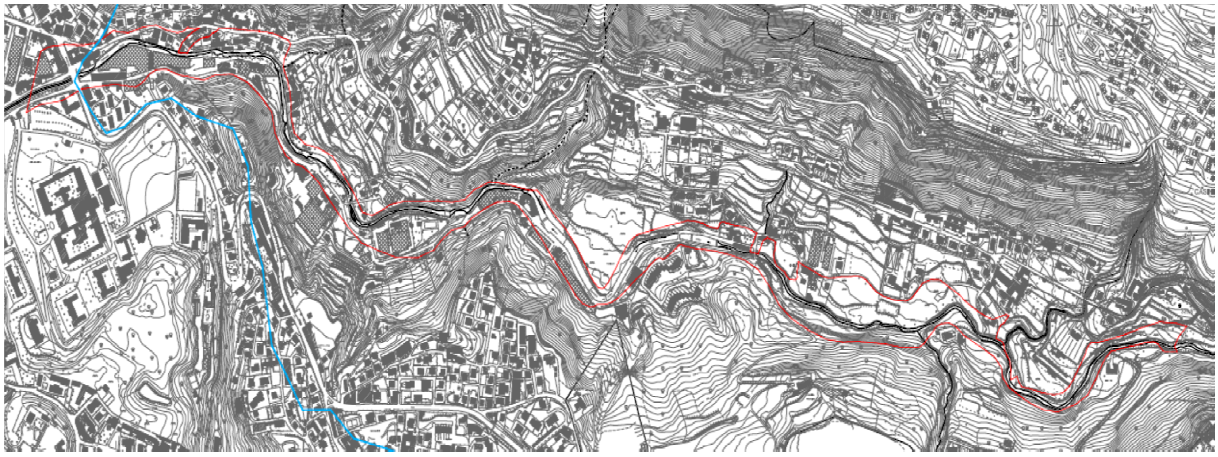
RELAZIONE IDRAULICA

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*".

In particolare la presente relazione descrive l'attività di modellazione idraulica condotta, attraverso il codice di calcolo MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute, al fine di definire il profilo di piena centennale e duecentennale del torrente Cosia nel tratto di circa 3,5 km compreso tra il confine con il Comune di Tavernerio ad Est e l'inizio del tratto tombinato in Como, con particolare riferimento alle aree attribuite alla classe di fattibilità 3.e.1 nel vigente Studio geologico comunale. Tale tratto fluviale è classificato in III categoria idraulica ai sensi del D.L. 19 aprile 1917, n. 2213

Figura 1 – Tratto 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.

Il T. Cosia è stato oggetto di analisi idrauliche da parte di AIPO nell'ambito del progetto esecutivo compreso nel programma triennale di manutenzione 2007÷2009, annualità 2007, deliberato dal Comitato di Indirizzo dell'A.I.PO, nella seduta del 1/3/2007.

Le valutazioni idrauliche dello Studio AIPO sono avvenute attraverso l'uso di una modellazione monodimensionale a fondo fisso in regime stazionario, preceduta da un rilievo topografico ad hoc che ha riguardato il tratto di torrente di competenza dell'Ufficio A.I.Po di Cremona sino all'ingresso del tratto cittadino tombinato per un tratto di circa 6 km.

Per conseguire una più precisa e puntuale rappresentazione delle caratteristiche geometriche del corso d'acqua, e di conseguenza poter ricavare un profilo di piena di maggior dettaglio per l'area di interesse, è stato effettuato un rilievo topografico che comprendeva le sezioni AIPo e ulteriori sezioni del torrente, opportunamente localizzate per approfondire gli ambiti più critici. Attraverso il modello idraulico implementato con le sezioni 67 topografiche e utilizzando i valori delle portate di piena ricavate dallo studio idrologico – idraulico condotto in questa fase di studio, sono state effettuate due simulazioni monodimensionale a fondo fisso in regime di moto vario considerando eventi di tempo di ritorno T100 anni e T200 anni, riferite allo scenario attuale dell'asta torrentizia. Tali verifiche hanno permesso di valutare le eventuali aree di allagamento e caratterizzare l'areale rientrante nella classe di fattibilità 3.e.1 dal punto di vista della pericolosità idraulica e del rischio idraulico.

Inoltre, nell'ambito delle attività di studio ed in base a quanto emerso dagli studi geologico e idrologico annessi, sono state esaminate le situazioni a rischio di formazione di colate detritiche o di trasporto solido iperconcentrato, specialmente se con pericolo di sovralluvionamento e/o occlusione di opere di attraversamento.

Si riporta di seguito una descrizione delle attività svolte e dei risultati ottenuti con le simulazioni idrauliche.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

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. Il bacino, all’ingresso del tratto tombinato, presenta un'estensione complessiva pari a circa 25 km^2. Il corso d'acqua si sviluppa per circa 11 km (percorso di drenaggio più lungo riscontrato 13 Km), con una pendenza media del 7 % (Figura 2). La quota massima del bacino è pari a circa 1.400 m s.m., mentre alla sezione di chiusura la quota è pari a 296 m s.m. Il bacino contribuente può essere suddiviso in 7 sottobacini (Figura 3) le cui caratteristiche principali sono riportate nella *Relazione Idrologica*.

Dal punto di vista geologico 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. 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.

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

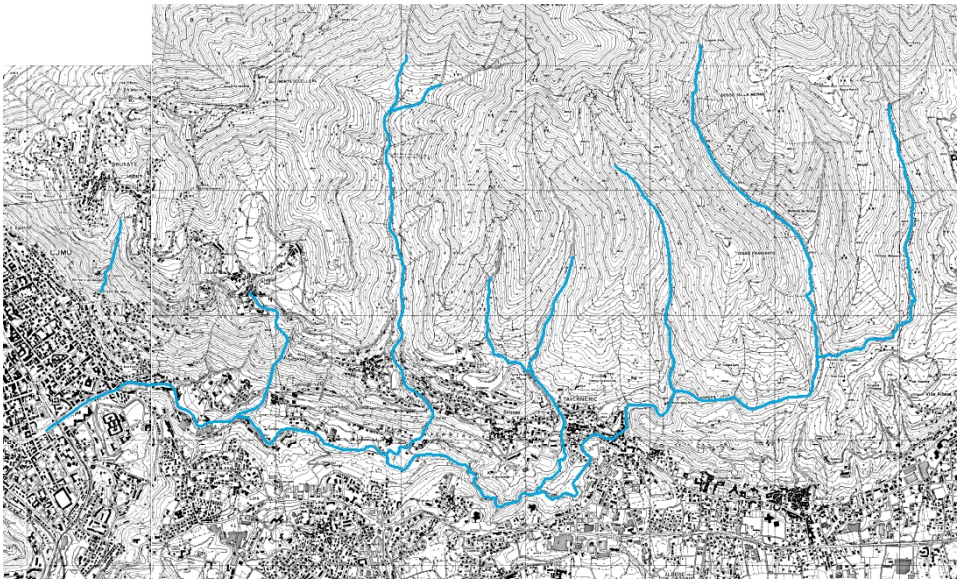
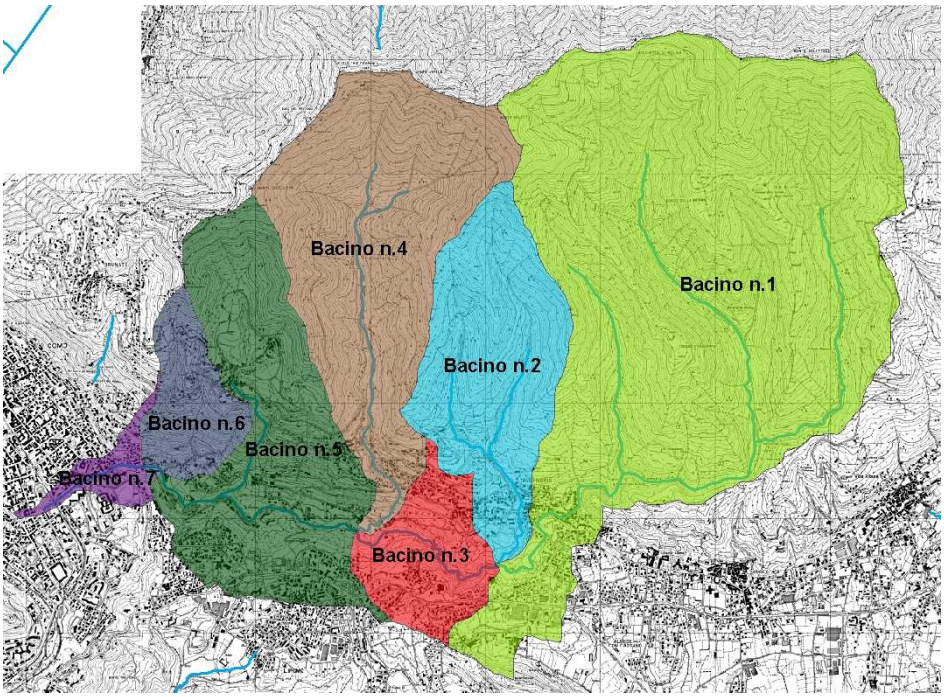


Figura 3 – Bacino idrografico del torrente Cosia suddiviso in sottobacini



3. MODELLAZIONE IDRAULICA

Per conseguire le migliori possibilità di rappresentazione della dinamica fluviale che si sviluppa nell'asta principale del torrente Cosia in occasione delle piene, si è utilizzato il codice di calcolo MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute. In particolare il modulo idraulico HD, tramite la risoluzione delle equazioni differenziali di De Saint-Venant, consente di determinare i profili di corrente sia in condizioni di moto vario, che di moto permanente. Il modello è in grado di simulare il flusso monodimensionale e quasi-bidimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei, in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali.

Considerate le caratteristiche geometriche e morfologiche del tratto di torrente analizzato, nella modellazione seguente si è preferito optare per una modellazione di tipo monodimensionale ed in moto vario. Eventuali disalvei (peraltro contenuti come evidenziato nel seguito) sono analizzati con modellazioni dedicate in funzione del contesto: con modello fluviale nel caso in cui siano interessate golene e/o zone naturali contigue al corso d'acqua, con modello di deflusso in ambito urbano nel caso in cui le vie di scorrimento si allontanino dal corso d'acqua. In quest'ultimo caso infatti le strade costituiscono le vie preferenziali di deflusso mentre case ed altri elementi urbani costituiscono ostacoli e aree di puro allagamento. Come detto i risultati ottenuti hanno consentito di limitare tali analisi ad ambiti estremamente contenuti.

3.1 SCHEMATIZZAZIONE IDRAULICA DELL'ALVEO

Come premesso, la modellazione idraulica è stata condotta su un tratto di torrente Cosia di lunghezza pari a circa 3,5 km, dal confine comunale ad Est sino all'inizio del tratto tombinato in Como.

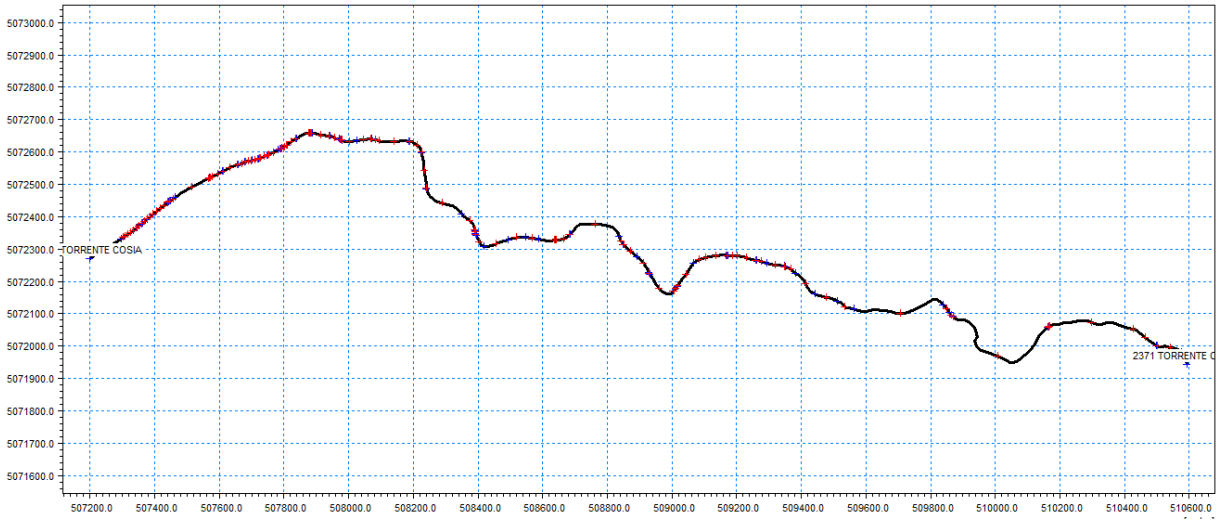
L'attendibilità dei calcoli idraulici dipende in maniera decisiva della corretta caratterizzazione geometrica dell'alveo lungo il tratto analizzato. In particolare, nel caso di un'analisi monodimensionale del comportamento idraulico del fiume, è necessario conoscere sia la configurazione geometrica di un certo numero di sezioni trasversali opportunamente scelte per l'esecuzione dei calcoli, sia la sezione longitudinale dell'alveo lungo il tronco analizzato.

Il tratto in studio è stato schematizzato attraverso 67 sezioni rilevate comprendenti sezioni naturali, briglie e manufatti di attraversamento stradale. Le sezioni dei manufatti sono caratterizzate dal rilievo sia della sezione naturale che delle parti dell'opera.

La caratterizzazione dettagliata del territorio della zona in esame è stata resa possibile

attraverso la verifica e aggiornamento delle sezioni rilevate dall'AIPO nell'ambito del Progetto Esecutivo compreso nel programma triennale di manutenzione 2007÷2009, opportunamente integrate dalle informazioni topografiche restituite dal rilievo di dettaglio realizzato appositamente per questo studio. Il rilievo è stato quindi condotto, come detto, su 67 sezioni, estese alla batimetria, lungo l'asta principale del torrente Cosia ed un ulteriore insieme di punti caratterizzanti il piano campagna nelle zone soggette a maggior criticità ed a una scarsa informazione geometrica. Oltre alla geometria, le attività di campagna hanno consentito di acquisire ulteriori informazioni (stato di conservazione dei manufatti, stato dell'alveo, continuità o meno delle difese e delle pinee di sponda) fondamentali per una corretta modellazione.

Figura 4 – Schema del modello idraulico del torrente Cosia



3.2 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le equazioni del moto vengono risolte numericamente dopo aver definito le condizioni al contorno e quelle iniziali.

Il programma di calcolo ha la possibilità di utilizzare diverse tipologie di condizioni al contorno da definirsi nelle sezioni estreme del tronco in esame, tra le quali si ricordano:

- valore costante del livello idrico o della portata;
- variazione nel tempo del livello idrico o della portata;
- relazioni fra le due variabili h (livello) e Q (portata).

Come condizioni al contorno iniziali sono state inserite lungo l'asta del torrente Cosia le portate generate nel tempo dai sottobacini individuati nello studio idrologico (v. *Relazione*

idrologica).

Come condizione al contorno di valle è stata introdotta la scala delle portate della sezione di imbocco del tratto tombinato. Tale condizione esula dall'eventuale presenza di ostruzioni, sedimenti, restringimenti all'inizio del tratto tombinato. Come descritto in seguito la condizione al contorno di valle non influenza i risultati nell'areale in studio.

3.3 DELIMITATORI D'ALVEO

La definizione del tipo di comportamento idraulico più adatto da attribuire ad uno specifico tronco fluviale viene effettuata delimitando, nelle sezioni del modello, i confini dell'alveo principale e delle aree golenali con appositi delimitatori predefiniti, denominati "marker".

Il modello di calcolo MIKE11 permette di utilizzare svariati tipi di delimitatori, aventi funzionalità differenti. Per la modellazione del tratto di torrente Cosia oggetto di studio sono state utilizzate principalmente solo 3 tipologie:

- marker 1: delimita il confine sinistro della sezione fluviale;
- marker 2: indica il punto più depresso della sezione fluviale "talweg";
- marker 3: delimita il confine destro della sezione fluviale;

I marker 1 e 3, determinano l'ampiezza massima della sezione di calcolo idraulico, la quale risulta confinata verticalmente entro tali delimitatori.

Il marker 2, permette al codice di calcolare la pendenza tra due sezioni adiacenti.

3.4 SCABREZZA

I coefficienti di scabrezza relativi all'alveo inciso sono stati attribuiti tenendo conto delle caratteristiche dell'asta fluviale (presenza di vegetazione spondale, tipologia del fondo alveo, presenza di barre nude e/o vegetate, ecc.), delle indicazioni fornite in letteratura e dei dati di taratura disponibili.

Per ogni singola sezione sono stati utilizzati mediamente 2 valori del coefficiente, uno per caratterizzare l'alveo inciso ed uno per caratterizzare sponde e aree golenali.

I valori dei coefficienti di scabrezza scelti sono risultati sufficientemente attendibili, come si potrà notare più avanti.

3.5 SCENARI DI RIFERIMENTO

Secondo quanto indicato nell' 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 il tempo di

ritorno di riferimento per il torrente Cosia è T 100 anni. In questo caso, considerando che dalle simulazioni effettuate è emerso che in molti punti le difese spondali non disponevano di un adeguato franco di sicurezza ed in considerazione dell'estensione della precedente delimitazione in classe 3.e.1 del PGT comunale, sono stati considerati anche eventi di tempo di ritorno T200 anni. Tale scelta si è resa necessaria per definire al meglio la classe di fattibilità geologica nelle aree non comprese negli allagamenti per eventi di T 100 anni, ma che non disponevano comunque delle soglie di sicurezza imposte dalla normativa (franco minimo di 1 m rispetto la piena di riferimento).

Quindi, gli scenari delle simulazioni condotte in moto vario per il tratto di torrente modellato sono di due tipi:

- Scenario "T100": assetto attuale del torrente Cosia e dell'area in esame per eventi di tempo di ritorno pari a cento anni;
- Scenario "T200": assetto attuale del torrente Cosia e dell'area in esame per eventi di tempo di ritorno pari a duecento anni;

4. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

L'applicazione del modello idraulico prima descritto, per i due scenari di riferimento, ha permesso di determinare i livelli idrici che si instaurano nelle diverse sezioni del tratto di torrente Cosia in studio, in corrispondenza della piena di riferimento di tempo di ritorno pari a 100 anni e a 200 anni.

Sulla base delle risultanze dei calcoli idraulici sono state individuate le aree esondabili con le seguenti modalità:

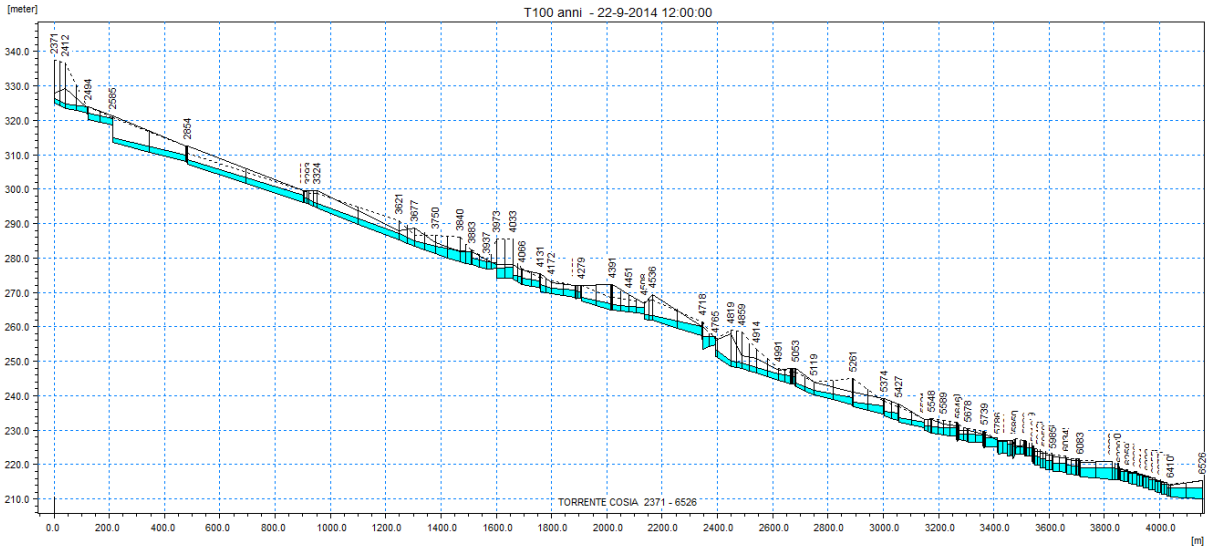
1. confronto dei livelli di piena ottenuti con la morfologia del territorio e tracciamento delle aree esondabili dalla piena di riferimento;
2. confronto critico fra la delimitazione delle aree ottenute al punto precedente con le informazioni disponibili relative a eventi di piena precedenti e con le informazioni di carattere geomorfologico desumibili dall'analisi del territorio.

Inoltre, i risultati ottenuti hanno permesso di valutare la pericolosità idraulica delle aree di allagamento, determinata in funzione dei battenti e delle velocità idriche, e procedere alla classificazione delle aree a differente livello di rischio idraulico in funzione della loro pericolosità e vulnerabilità idraulica.

4.1 SCENARIO T100 ANNI

Nella seguente figura è rappresentato il profilo idrico di piena del torrente Cosia, relativo alla portata di piena centennale ed in base all'attuale assetto dell'alveo e delle aree golenali.

Figura 5 – Profilo idraulico del torrente Cosia T100 anni



Di seguito si riportano sotto forma tabellare i valori dei livelli idrici nelle diverse sezioni.

Progressiva	Livello	Progressiva	Livello
	m s.m.		m s.m.
2583	320.34	5544.5	231.1
2585	314.78	5547.5	230.93
2847.5	309.79	5589	230.72
2850.5	309.76	5635	230.69
2852	309.74	5640	228.96
2854	308.55	5646	228.91
3274.5	298.33	5676	228.79
3277.5	297.59	5678	228.73
3293	296.94	5731	228.61
3324	295.95	5733	227.78
3621	287.09	5739	227.77
3677	285.07	5784	227.75
3750	283.34	5786	226.85
3840	282.06	5819	226.81
3879	281.91	5821	226.06
3883	279.84	5838	226.03
3937	278.88	5840	225.37
3971	278.54	5850	225.33
3973	277.17	5881	225.16
4031	277.23	5883	224.95

Progressiva	Livello	Progressiva	Livello
	m s.m.		m s.m.
4033	274.96	5889	224.86
4062	274.56	5909	224.97
4066	274.05	5911	223.1
4129	273.46	5917	222.97
4131	272.14	5919	222.4
4172	271.34	5938	222.36
4256	270.62	5940	221.75
4258	270.37	5957	221.72
4277	270.26	5959	221.18
4279	268.67	5983	221.14
4383.5	266.85	5985	220.48
4390.5	266.41	6032	220.39
4451	265.83	6034	219.74
4506	265.74	6069	219.71
4508	263.51	6071	219.65
4536	263.33	6081	219.62
4716	260.03	6083	219.03
4718	257.24	6200	218.92
4763	257.14	6220	218.9
4765	253.6	6227	218.8
4819	250.1	6229	218.04
4859	249.39	6257	218.05
4914	248.05	6259	217.54
4991	246.28	6287	217.49
5036	245.92	6289	216.87
5040	245.71	6309	216.85
5051	245.62	6311	216.31
5053	243.79	6331	216.28
5119	241.53	6333	215.71
5259	239.48	6353	215.7
5261	238.2	6355	215.1
5372	237.06	6375	215.08
5374	235.56	6377	214.35
5425	234.87	6396	214.36
5427	233.73	6398	213.32
5519	232.26	6410	213.3
5521	231.23	6526	213.1

Di seguito si riportano sotto forma tabellare i valori delle velocità idriche nelle diverse sezioni.

Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità
	m/s		m/s		m/s		m/s
2583	2.4	4277	3.01	5521	3.41	5957	3.13
2584	3.4	4278	3.75	5532.75	3	5958	4.12
2585	3.01	4279	5.18	5544.5	2.69	5959	3.15
2716.25	2.79	4331.25	3.63	5546	3.56	5971	3.14
2847.5	2.61	4383.5	2.8	5547.5	3.03	5983	3.13
2849	0.59	4387	3.53	5568.25	3.14	5984	4.12
2850.5	2.69	4390.5	3.89	5589	3.25	5985	3.31
2851.25	2.69	4420.75	3.19	5612	2.67	6008.5	3.21
2852	2.72	4451	2.71	5635	2.27	6032	3.13
2853	3.45	4478.5	2.35	5636	3.97	6033	4.12
2854	3.73	4506	2.07	5640	3.86	6034	3.35
3064.25	3	4507	3.4	5643	3.65	6051.5	3.17
3274.5	2.53	4508	3.01	5646	3.46	6069	3.01
3276	3.95	4522	3.9	5661	3.08	6070	2.86
3277.5	5.08	4536	5.6	5676	2.77	6071	3.09
3285.25	4.47	4626	3.11	5677	3.54	6076	3.11
3293	4	4716	2.27	5678	2.4	6081	3.13
3308.5	3.89	4717	3.89	5704.5	2.49	6082	4.12
3324	3.84	4718	1.24	5731	2.6	6083	3.23
3472.5	4.11	4740.5	1.48	5732	3.74	6141.5	2.81
3621	4.43	4763	2.46	5733	1.63	6200	2.48
3649	3.79	4764	3.75	5736	1.65	6210	2.49
3677	3.29	4765	3.04	5739	1.67	6220	2.51
3713.5	3.49	4770	8.26	5740	2.14	6223.5	2.72
3750	3.74	4819	3.96	5784	2.43	6227	2.98
3795	3.3	4839	4.42	5785	3.92	6228	4.43
3840	3.11	4859	4.98	5786	1.66	6229	3.39
3859.5	2.75	4886.5	5.01	5802.5	1.74	6243	3.17
3879	2.51	4914	5.05	5819	1.83	6257	2.98
3881	5.56	4952.5	4	5820	3.88	6258	4.43
3883	5.44	4991	3.31	5821	1.79	6259	2.96
3910	4.67	5013.5	3.04	5829.5	1.87	6273	2.97
3937	4.1	5036	2.81	5838	1.96	6287	2.98
3954	3.23	5038	3.41	5839	3.89	6288	4.43
3971	2.66	5040	3.1	5840	1.87	6289	3.09
3972	3.33	5045.5	3.17	5845	1.98	6299	3.04
3973	2.65	5051	3.25	5850	2.1	6309	2.98
4002	1.76	5052	3.96	5865.5	2.51	6310	4.43
4031	1.32	5053	5.45	5881	3.12	6311	3.02
4032	3.39	5086	5.08	5882	3.89	6321	3
4033	4.56	5119	4.78	5883	2.96	6331	2.98
4047.5	3.76	5189	3.63	5886	3.03	6332	4.43

Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità
	m/s		m/s		m/s		m/s
4062	3.2	5259	2.92	5889	2.98	6333	3.13
4064	3.94	5260	3.76	5899	3.85	6343	3.05
4066	4.39	5261	4.4	5909	3	6353	2.98
4097.5	3.64	5316.5	3.39	5910	5.11	6354	4.43
4129	3.11	5372	2.75	5911	3	6355	3.05
4130	3.81	5373	4.05	5914	3.11	6365	3.01
4131	5.31	5374	5.18	5917	3.12	6375	2.98
4151.5	4.6	5399.5	3.59	5918	4.14	6376	4.43
4172	4.08	5425	2.74	5919	3.15	6377	3.24
4214	3.54	5426	3.73	5928.5	3.14	6386.5	3.1
4256	3.13	5427	5.21	5938	3.13	6396	2.98
4257	3.84	5473	3.62	5939	4.12	6397	4.43
4258	2.54	5519	2.77	5940	3.17	6398	3.97
4267.5	2.76	5520	3.45	5948.5	3.15	6404	3.87

Il confronto critico tra i livelli di piena ottenuti con la morfologia del territorio ha permesso di tracciare le aree di allagamento per eventi di tempo di ritorno di cento anni (Tavola 13). In generale i livelli idrici si mantengono all'interno dell'alveo inciso del torrente ad eccezione di alcune aree di estensione contenuta. Inoltre, in alcuni tratti urbanizzati, il livello idrico pur restando al di sotto della quota spondale non dispone del franco minimo di sicurezza di 1 m. In particolare, si segnalano aree allagabili a valle del ponte 19 – Sezione 25 dove in sponda destra si verifica l'allagamento della sede stradale ed a monte del ponte 39 – Sezione 42 dove a causa della discontinuità del muro in sponda destra si possono verificare localizzati allagamenti degli edifici rivieraschi. A monte del ponte y, in sponda sinistra, i livelli idrici pur mantenendosi all'interno dell'alveo inciso non dispongono del franco minimo di sicurezza rispetto la sommità spondale.

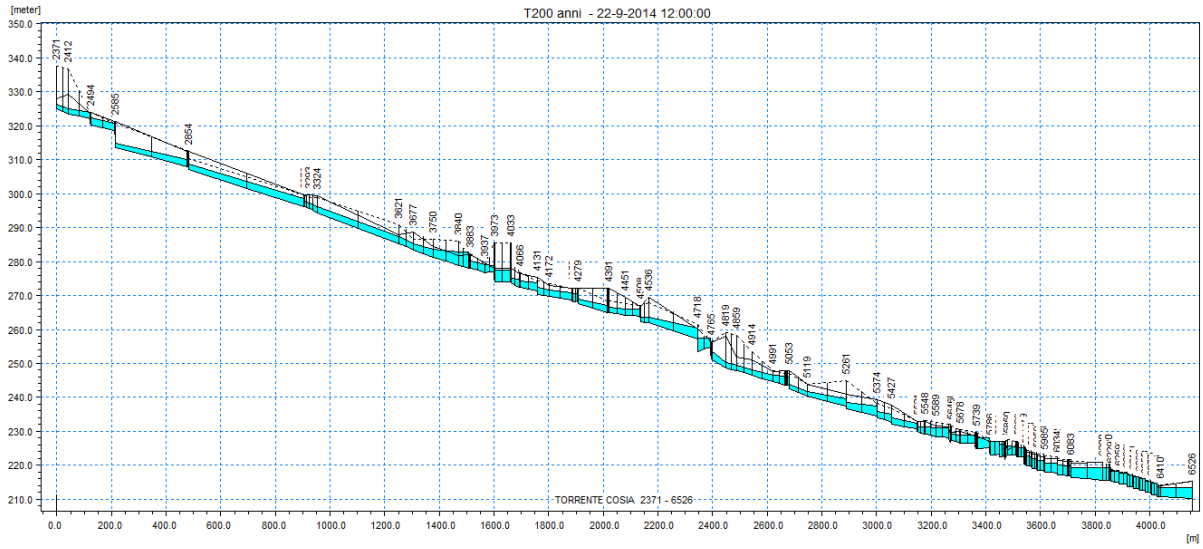
Le velocità in alveo sono risultate essere mediamente superiori a 2-3 m/s ad eccezione di alcuni punti localizzati, conferendo al torrente una elevata capacità di trasporto solido di fondo, in grado di movimentare ciottoli di significative dimensioni (>10 cm).

L'analisi dei risultati delle simulazioni ha permesso inoltre di identificare alcuni manufatti di attraversamento che hanno mostrato insufficienza idraulica ai sensi della Direttiva 4 allegata al P.A.I. dell'Autorità di bacino del fiume Po. In particolare, alcuni di tali manufatti sono risultati essere in pressione ed altri avere funzionamento con franco di sicurezza inferiore al metro.

4.2 SCENARIO T200 ANNI

Nella seguente figura è rappresentato il profilo idrico di piena del torrente Cosia, relativo alla portata di piena duecentennale ed in base all'attuale assetto dell'alveo e delle aree golenali.

Figura 6 – Profilo idraulico del torrente Cosia T200 anni



Di seguito si riportano sotto forma tabellare i valori dei livelli idrici nelle diverse sezioni.

Progressiva	Livello	Progressiva	Livello
	m s.m.		m s.m.
2583	320.74	5544.5	231.24
2585	314.92	5547.5	231.19
2847.5	309.99	5589	230.99
2850.5	309.96	5635	230.98
2852	309.93	5640	229.17
2854	308.7	5646	229.14
3274.5	298.64	5676	229.02
3277.5	297.75	5678	228.96
3293	297.08	5731	228.85
3324	296.08	5733	228.07
3621	287.24	5739	228.06
3677	285.25	5784	228.04
3750	283.65	5786	227.15
3840	282.91	5819	227.11
3879	282.74	5821	226.36
3883	280.03	5838	226.32
3937	279.07	5840	225.62
3971	278.72	5850	225.61
3973	277.44	5881	225.42
4031	277.52	5883	225.29
4033	275.2	5889	225.24

Progressiva	Livello	Progressiva	Livello
	m s.m.		m s.m.
4062	274.9	5909	225.21
4066	274.26	5911	223.27
4129	273.71	5917	223.24
4131	272.3	5919	222.66
4172	271.55	5938	222.62
4256	270.87	5940	222.01
4258	270.62	5957	221.98
4277	270.51	5959	221.44
4279	268.82	5983	221.39
4383.5	267.05	5985	220.74
4390.5	266.58	6032	220.65
4451	266.03	6034	220
4506	265.94	6069	219.97
4508	263.66	6071	219.91
4536	263.48	6081	219.88
4716	260.29	6083	219.33
4718	257.46	6200	219.25
4763	257.35	6220	219.22
4765	253.74	6227	219.13
4819	250.27	6229	218.37
4859	249.57	6257	218.38
4914	248.24	6259	217.86
4991	246.51	6287	217.82
5036	246.19	6289	217.19
5040	245.96	6309	217.18
5051	245.87	6311	216.63
5053	243.93	6331	216.61
5119	241.69	6333	216.04
5259	239.72	6353	216.03
5261	238.41	6355	215.42
5372	237.37	6375	215.4
5374	235.75	6377	214.67
5425	235.11	6396	214.69
5427	233.89	6398	213.6
5519	232.47	6410	213.57
5521	231.39	6526	213.39

Di seguito si riportano sotto forma tabellare i valori delle velocità idriche nelle diverse sezioni.

Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità
	m/s		m/s		m/s		m/s
2583	2.4	4277	3.22	5521	3.68	5957	3.36
2584	3.59	4278	4	5532.75	3.29	5958	4.36
2585	3.22	4279	5.53	5544.5	2.98	5959	3.38
2716.25	2.97	4331.25	3.88	5546	3.67	5971	3.38
2847.5	2.75	4383.5	2.99	5547.5	3.11	5983	3.36
2849	0.72	4387	3.76	5568.25	3.26	5984	4.36
2850.5	2.83	4390.5	4.11	5589	3.41	5985	3.54
2851.25	2.85	4420.75	3.38	5612	2.84	6008.5	3.45
2852	2.87	4451	2.88	5635	2.44	6032	3.36
2853	3.69	4478.5	2.53	5636	4.2	6033	4.36
2854	3.97	4506	2.25	5640	4.08	6034	3.56
3064.25	3.17	4507	3.62	5643	3.85	6051.5	3.39
3274.5	2.67	4508	3.26	5646	3.66	6069	3.24
3276	4.19	4522	4.19	5661	3.32	6070	3.05
3277.5	5.49	4536	5.91	5676	2.99	6071	3.32
3285.25	4.82	4626	3.12	5677	3.83	6076	3.34
3293	4.3	4716	2.27	5678	2.66	6081	3.36
3308.5	4.06	4717	3.99	5704.5	2.66	6082	4.36
3324	3.91	4718	1.41	5731	2.74	6083	3.39
3472.5	4.27	4740.5	1.64	5732	3.93	6141.5	2.98
3621	4.7	4763	2.47	5733	1.78	6200	2.66
3649	3.95	4764	3.79	5736	1.8	6210	2.67
3677	3.37	4765	3.43	5739	1.81	6220	2.69
3713.5	3.5	4770	9.13	5740	2.28	6223.5	2.9
3750	3.76	4819	4.22	5784	2.63	6227	3.14
3795	3.31	4839	4.72	5785	4.73	6228	4.61
3840	3.12	4859	5.34	5786	1.85	6229	3.52
3859.5	2.76	4886.5	5.36	5802.5	1.93	6243	3.32
3879	2.51	4914	5.39	5819	2.03	6257	3.14
3881	5.82	4952.5	4.17	5820	4.13	6258	4.61
3883	5.89	4991	3.41	5821	1.99	6259	3.13
3910	5.01	5013.5	3.21	5829.5	2.07	6273	3.14
3937	4.37	5036	3.02	5838	2.16	6287	3.14
3954	3.45	5038	3.66	5839	4.14	6288	4.61
3971	2.85	5040	3.34	5840	2.1	6289	3.25
3972	3.56	5045.5	3.4	5845	2.13	6299	3.2
3973	2.71	5051	3.47	5850	2.16	6309	3.14
4002	1.9	5052	4.21	5865.5	2.62	6310	4.61
4031	1.46	5053	5.86	5881	3.33	6311	3.18
4032	3.6	5086	5.42	5882	4.14	6321	3.16
4033	4.57	5119	5.07	5883	3.02	6331	3.14
4047.5	3.8	5189	3.84	5886	3.28	6332	4.61

Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità	Progressiva	Velocità
	m/s		m/s		m/s		m/s
4062	3.29	5259	3.09	5889	3.35	6333	3.28
4064	4.3	5260	3.99	5899	4.31	6343	3.21
4066	4.62	5261	4.6	5909	3.32	6353	3.14
4097.5	3.86	5316.5	3.53	5910	5.16	6354	4.62
4129	3.31	5372	2.86	5911	3.31	6355	3.21
4130	4.05	5373	4.28	5914	3.41	6365	3.18
4131	5.6	5374	5.45	5917	3.37	6375	3.14
4151.5	4.86	5399.5	3.79	5918	4.37	6376	4.62
4172	4.31	5425	2.9	5919	3.44	6377	3.38
4214	3.75	5426	3.94	5928.5	3.39	6386.5	3.26
4256	3.32	5427	5.45	5938	3.36	6396	3.14
4257	4.08	5473	3.83	5939	4.36	6397	4.62
4258	2.76	5519	2.95	5940	3.4	6398	4.12
4267.5	2.97	5520	3.67	5948.5	3.38	6404	4.03

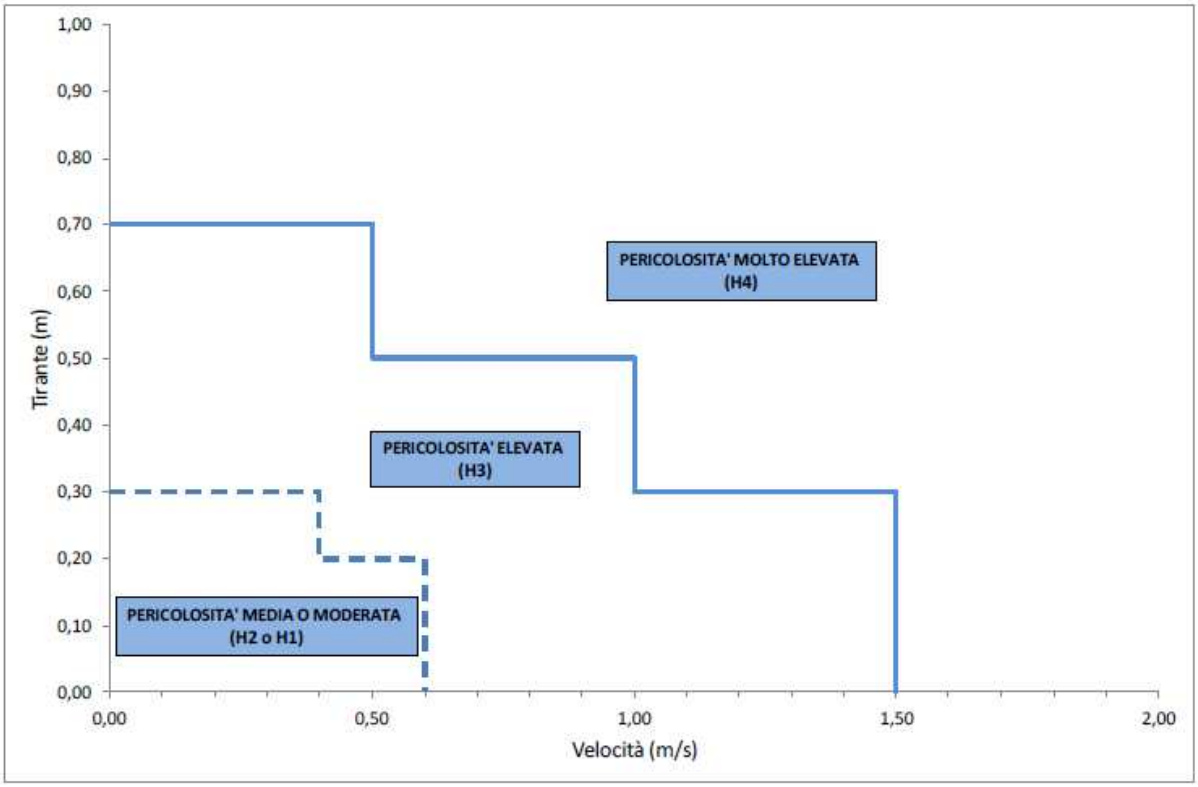
Il confronto critico tra i livelli di piena ottenuti con la morfologia del territorio ha permesso di tracciare le aree di allagamento per eventi di tempo di ritorno di duecento anni (Tavola 13). In generale, come per gli eventi di tempo di ritorno T100 anni, i livelli idrici si mantengono all'interno dell'alveo inciso del torrente ad eccezione di alcune aree di estensione contenuta in cui si verificano allagamenti. In particolare, si segnala un aumento delle aree allagabili rispetto all'evento centennale in prossimità del ponte 19 – Sezione 25, dove in sponda destra si verifica un allagamento a monte della proprietà privata posta a monte del ponte e un allagamento delle abitazioni rivierasche poste a valle del ponte, compresa la sede stradale; a monte del ponte 39 – Sezione 42 dove a causa dell'insufficienza delle difese spondali si possono verificare localizzati allagamenti degli edifici e delle proprietà rivierasche sia in sponda destra che in sponda sinistra. In questo caso si segnalano nuove aree allagabili in sponda sinistra, lungo il tratto d'alveo che per eventi centennali non disponeva del franco minimo di sicurezza pari ad 1 m.

5. VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI RISCHIO IDRAULICO

In ottemperanza a quanto stabilito dall'art. 31**,** comma 5 delle Norme di PAI, è stata eseguita la valutazione delle condizioni di rischio idraulico secondo le modalità di cui al "Metodo approfondito" definito dall'Allegato 4 alla Delibera di approvazione della Giunta Regionale dell'11 dicembre 2001 n. 7/7365.

All'interno delle aree esondabili individuate sono state delimitate le zone a diverso livello di

pericolosità idraulica (H), sulla base, in particolare, dei tiranti idrici e delle velocità di scorrimento (TAVOLA 14). Per la classificazione dei diversi livelli di pericolosità idraulica si è fatto riferimento al grafico seguente.



Seguendo tale procedura, le aree allagabili definite dalle simulazioni T100 anni sono state classificate con indice di pericolosità H3 e H4, in particolare la sede stradale a valle del ponte x è stata classificata come H3 e le aree a monte del ponte y sono state classificate come H4.

Partendo dalle aree a diversa pericolosità idraulica, si è proceduto a una suddivisione in zone a diverso livello di rischio (TAVOLA 15), la cui quantificazione è stata effettuata mettendo in relazione la pericolosità (H), l'entità degli elementi a rischio - o danno potenziale – (E) e la vulnerabilità degli stessi (V) secondo la relazione di natura qualitativa:

$$R = H \times E \times V$$

Ponendo (a favore di sicurezza) la vulnerabilità pari a 1, il rischio idraulico è stato ottenuto dall'intersezione di pericolo e danno potenziale, come di seguito riportato:

	H4	H3	H2	H1
E4	R4	R4	R2	R2
E3	R3	R3	R2	R1
E2	R2	R2	R1	R1
E1	R1	R1	R1	R1

Alle aree allagabili identificate sono stati assegnati i livelli di rischio R4, a monte del ponte y in sponda destra, R3 la strada in sponda destra a valle del ponte x, mentre all'alveo e ad alcune aree golenale è stato assegnato livello di rischio R1.

Le aree caratterizzate da pericolosità idraulica per esondazione H4 sono da ritenersi incompatibili con qualunque tipo di urbanizzazione, e in esse dovranno essere escluse nuove edificazioni. Ad esse viene attribuita, nella carta di fattibilità geologica delle azioni di piano, la classe 4. Nella Carta PAI tali aree sono state inserite in classe di pericolosità Ee.
Le aree caratterizzate da pericolosità idraulica per esondazione H3 possono ritenersi compatibili con l'urbanizzazione a seguito della realizzazione di opere di mitigazione del rischio o mediante accorgimenti costruttivi che impediscano danni a beni e strutture e/o che consentano la facile e immediata evacuazione dell'area inondabile da parte di persone e beni mobili. A tali aree viene attribuita, nella carta di fattibilità geologica delle azioni di piano, la classe 3. Nella Carta PAI tali aree sono inserite in classe di pericolosità Eb.
Le aree caratterizzate da pericolosità idraulica per esondazione H2 sono state inserite in classe di fattibilità geologica 3. Nella Carta PAI tali aree sono state inserite in classe di pericolosità Em.

6. TRASPORTO SOLIDO NEL BACINO DEL TORRENTE COSIA E POTENZIALE ONDA DOVUTA A COLLASSO DI SBARRAMENTO IN ALVEO

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.

6.1 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 = 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.

6.2 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.

Considerando l'evento catastrofico del 1951, in cui morirono alcuni abitanti di Tavernerio a causa di una frana che ostruì l'alveo e della successiva formazione di un'onda di piena dovuta alla rottura dello sbarramento provvisorio creatosi, in questa sede è stata valutata la possibilità di accadimento di un evento simile che interessasse il tratto di torrente in studio ed è stata analizzata la capacità di un simile evento di influenzare il regime idrico del torrente in modo significativo. Le analisi geomorfologiche effettuate hanno condotto gli scriventi a considerare quale punto potenzialmente significativo per la formazione di un movimento franoso in grado di ostruire l'alveo, la zona posta a circa 1,1 km a monte del confine comunale. Per valutare gli effetti dell'ostruzione dell'alveo e della successiva rottura di tale sbarramento provvisorio in materiale sciolto è stato ipotizzato uno sbarramento di detriti di altezza pari a 4 m, in funzione anche della morfologia dell'alveo esistente (vedi sezione 14 di AIPO con briglia), ed è stata calcolata la portata massima dell'onda di piena che si forma a valle dello sbarramento.

Il valore della portata massima dovuta a cedimento dello sbarramento in materiale sciolto, come previsto dall'articolo 9.4 del regolamento di applicazione della Legge Regionale 23 marzo 1998 n° 8, è stato calcolato con la seguente formula:

$$Q_{CROLLO}\,[m^3/s] = K \cdot L \cdot H^{3/2}$$

Dove:

- L [m] è la lunghezza dell'intero coronamento, o la lunghezza della breccia ai sensi dell'art. 4.1 della Circolare 22806/95;
- H [m] è l'altezza dello sbarramento;
- K è un coefficiente che in via semplificativa può essere assunto pari a 0,5 per gli sbarramenti in materiali sciolti (il cui cedimento non è istantaneo), e pari 0,75 per gli sbarramenti in muratura.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che un tale fenomeno defluisce in alveo senza produrre significativi aumenti dei livelli idrici rispetto ai livelli che si determinano per eventi di T 100 anni. La portata di crollo del detto sbarramento è pari infatti a 32 mc/s, inferiore alla portata centennale che all'inizio del tratto in studio corrisponde a 39 mc/s e dopo un chilometro, lunghezza di riferimento indicata nella normativa, corrisponde già a 53 mc/s. Le aree di allagamento interessate quindi da un potenziale evento di sbarramento sono contenute all'interno delle aree perimetrate a seguito di evento centennale.

Milano, 27 ottobre 2014

Dott. Ing. Peduzzi Giovanni Battista

Dott. Ing. Melocchi Simone

Dott. Geol. Frati Stefano