
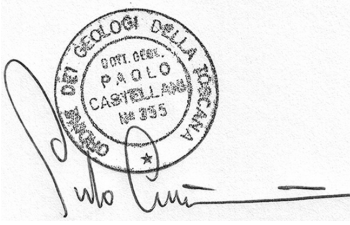


RELAZIONE IDRAULICA

**PER VERIFICA E DIMENSIONAMENTO DEL NUOVO SFIORATORE E CANALE
 FUGATORE DI UN INVASO DA RIPRISTINARE DENOMINATO "LAGO MILANO"
 IN LOC. L'IMPOSTINO – VEDETTA A CASTIGLION DEL BOSCO
 NEL COMUNE DI MONTALCINO (SI)**



<p>Il Tecnico Responsabile:</p> 	<p>Il Geologo:</p> 	<p>Committente:</p> <p>CASTIGLION DEL BOSCO AGRICOLA SRL</p> <p>GRUPPO DI LAVORO: Dott. Geol. Paolo Castellani, Dott. Geol. Stefano Nastasi, Dott. Geol. Damiano Guarguaglini, Dott. Geol. Annalisa Fontanelli, Dott. Geol. Andrea Castellani</p> <p>COLLABORATORE: Dott. Geol. Riccardo Cortigiani, Dott. Geol. Aurora Martini, Dott. Matteo Rumachella</p>
		<p>Lavoro nr. 6.250</p>

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. ASPETTI GENERALI.....	2
3. VERIFICA E DIMENSIONAMENTO DELLO SFIORATORE	5
3.1 <i>Analisi idrologica e stima degli idrogrammi di piena</i>	5
3.2 <i>Modello idraulico per verifica dello sfioratore.....</i>	9
4. CONCLUSIONI.....	14

1. PREMESSA

La presente relazione di calcolo è redatta a supporto del **progetto per l'adeguamento dell'invaso artificiale denominato "Milano"** ubicato nel Comune di Montalcino, di proprietà della società Castiglion del Bosco Hotel srl.

Essa ha ad oggetto la verifica idraulica finalizzata al dimensionamento del nuovo sfioratore e canale fuggatore dell'invaso.

Il nuovo sfioratore dovrà garantire lo smaltimento della portata duecentennale prodotta dal bacino insistente sull'invaso in condizioni di massima ritenuta con un franco di sicurezza pari ad almeno 1 metro rispetto al coronamento dello sbarramento.

Tramite un rilievo topografico appositamente realizzato sono stati acquisiti i principali elementi geometrici dell'invaso e dei suoi organi di regolazione allo stato attuale, e calibrato il progetto di adeguamento e potenziamento dell'invaso, ivi compreso il rifacimento dello sfioratore di superficie di cui alla presente relazione.

2. ASPETTI GENERALI

L'invaso denominato "Milano" è situato in posizione collinare, su un versante ad elevata pendenza, non lontano dal crinale, pertanto drena un bacino di ridotte dimensioni.

Allo stato attuale esso risulta poco profondo, per l'effetto dell'interrimento che nel tempo ha subito.

Il progetto prevede il potenziamento della capacità di accumulo di questo invaso solo mediante scavo al suo interno.

Lo sbarramento non verrà modificato, solo leggermente regolarizzato in quota.

E' previsto però l'adeguamento dello sfioratore, che attualmente consta semplicemente di una leggera depressione del coronamento dell'argine di sbarramento.

L'invaso intercetta un piccolo fosso appartenente al reticolo idrografico regionale (codice TS24565), che ha origine appena a monte dell'invaso stesso, come mostra la seguente figura.

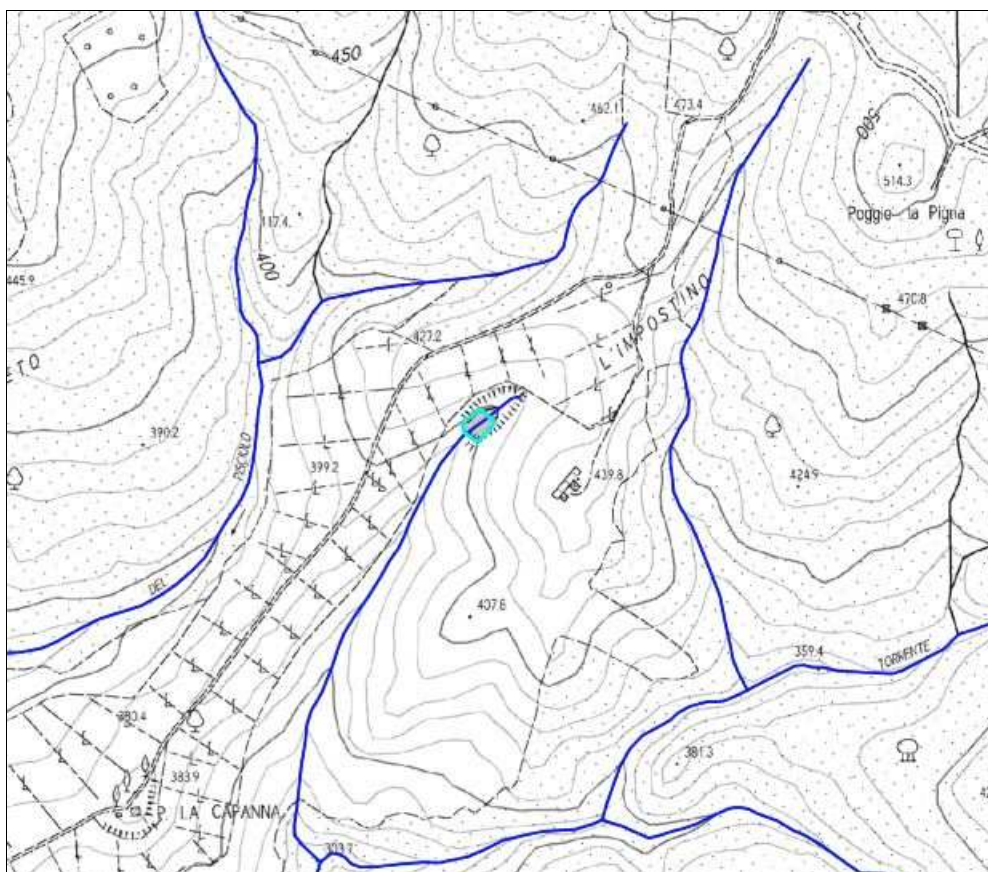


Fig. 1 – Invaso Milano su C.T.R. 1:10.000 con reticolo idrografico regionale

Come detto, il bacino afferente all'invaso è di dimensioni molto ridotte, pari a circa 64.900 mq (≈ 6.5 ha), ed è mostrato nella successiva figura.

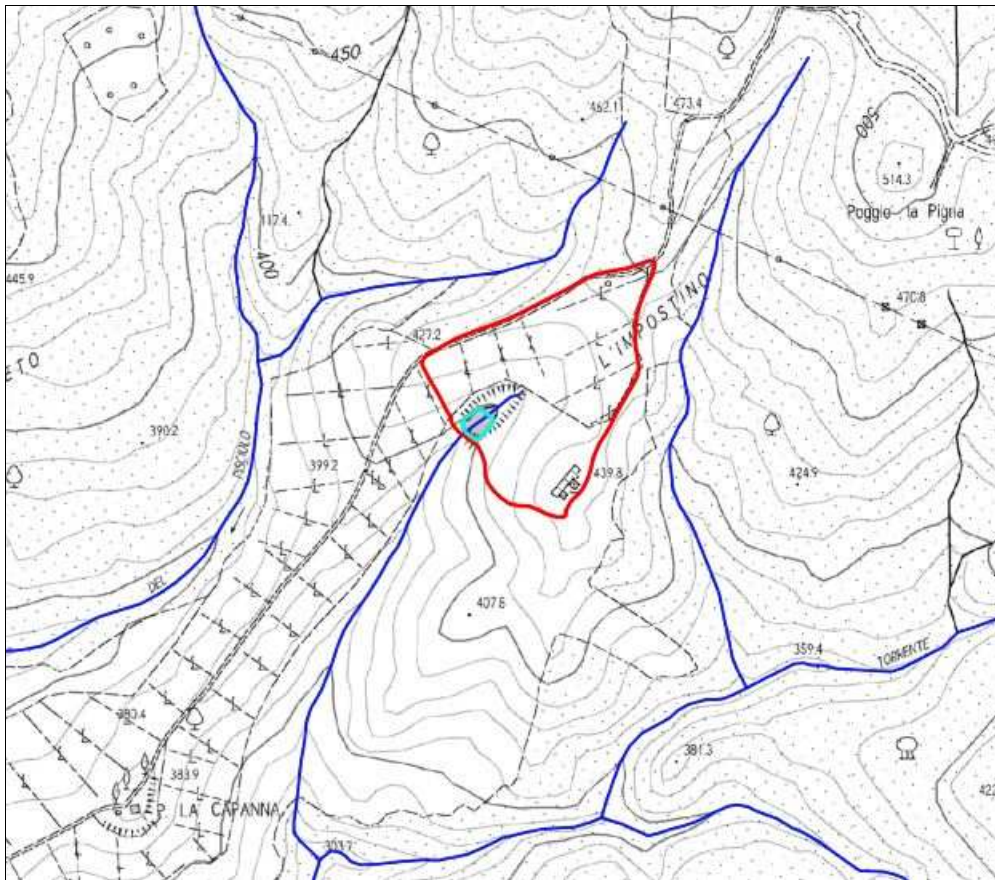


Fig. 2 – Invaso Milano su C.T.R. 1:10.000 con reticolo idrografico regionale e bacino

Il bacino interessa per lo più terreni coltivati a vigneto, ed anche una porzione incolta del versante, come evidenzia la successiva foto aerea.



Fig. 3 – Invaso Milano su foto aerea con reticolo idrografico e bacino

La figura successiva mostra nel dettaglio l'area dell'invaso con i punti rilevati e la ricostruzione delle curve di livello.



Fig. 4 – Invaso Milano su foto aerea con rilievo topografico

3. VERIFICA E DIMENSIONAMENTO DELLO SFIORATORE

Nel presente capitolo sono affrontati gli aspetti inerenti il funzionamento idraulico dell'invaso.

In particolare, è effettuata la verifica idraulica dello sfioratore, ovvero la verifica del battente massimo raggiunto in corrispondenza dello sfioratore in occasione del passaggio dell'onda di piena duecentennale in condizioni di invaso pieno alla quota di massima regolazione.

Dal momento che allo stato attuale lo sfioratore è appena "abbozzato", è apparso fin da subito evidente che si dovesse procedere al suo adeguamento.

La verifica che segue è stata condotta sia con riguardo allo stato attuale (a dimostrazione dell'inadeguatezza di detto organo di regolazione) che allo stato di progetto.

3.1 Analisi idrologica e stima degli idrogrammi di piena

Per la verifica dello sfioratore è necessario eseguire un'analisi idrologica del bacino afferente all'invaso per ricavare l'idrogramma da introdurre nella modellazione idraulica, di cui al paragrafo successivo.

L'analisi idrologica è affrontata mediante l'implementazione di uno schema di calcolo di uso comune e condiviso, idoneo per la stima degli idrogrammi anche per bacini di piccole dimensioni.

A partire dai dati pluviometrici caratteristici del sito di interesse (ricavati dalle *LSPP* della Regione Toscana, 2014), per la stima delle precipitazioni nette sul bacino è stato adottato il modello di trasformazione del metodo *SCS*, fondato sul parametro *CN*.

Come modello di trasferimento è stato applicato il metodo della corrivazione, previa valutazione del tempo di corrivazione mediante alcune formulazioni empiriche di uso comune. Il procedimento adottato è di seguito illustrato.

Innanzitutto, come anticipato, si è provveduto ad estrarre i *raster* dei parametri *a* ed *n* delle linee segnalatrici nella più recente versione prodotta dalla Regione Toscana, per il tempo di ritorno di 200 anni.

Attraverso la relazione $h = a \cdot t^n$ è stata quindi ricavata, in ambiente *gis*, la distribuzione delle relative altezze di pioggia sul territorio regionale, in funzione di alcune durate di pioggia.

La seguente figura mostra un esempio della distribuzione dell'altezza di pioggia con *Tr*200 anni e durata di 30 minuti sul territorio regionale.

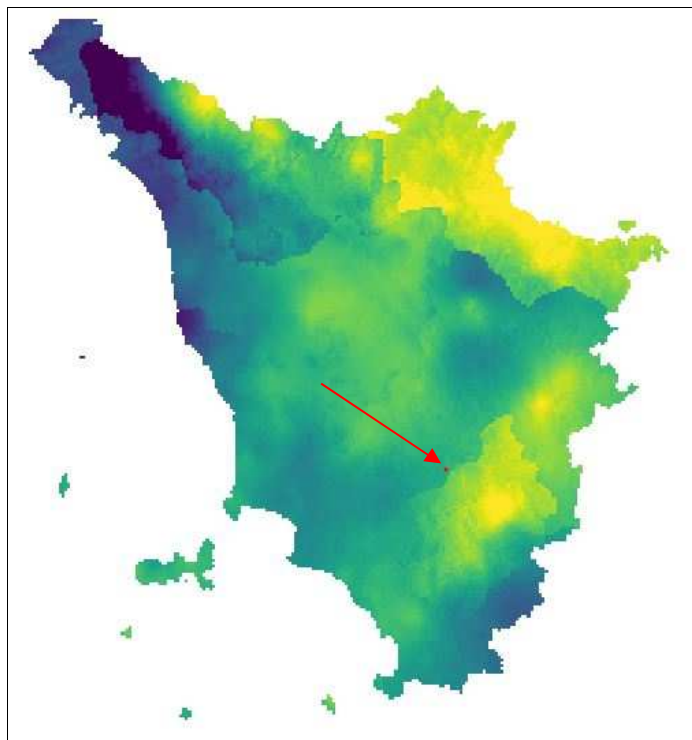


Fig. 5 – Altezza di pioggia per *Tr*200 anni e durata di 30 minuti sul territorio regionale

Il database regionale fornisce i dati su celle di 1 kmq.

Dal momento che il bacino in esame è di superficie pari a soli 6.5 ha, esso ricade in un'unica cella; i relativi parametri delle *LSPP* sono i seguenti:

- $a = 76.789$ (mm/h)
- $n = 0.29837$.

Per le ridotte dimensioni del bacino si suppongono tempi di corrivazioni assai brevi, quindi gli eventi di piena presi in considerazione sono quelli con durata pari a 15, 30, 45 e 60 minuti.

Per il bacino di interesse le altezze di precipitazione relative al tempo di ritorno duecentennale risultano rispettivamente pari a 50.78 mm ($d = 15$ minuti), 62.44 mm (30), 70.47 mm (45) e 76.79 mm (60).

Necessitando di depurazione per effetto delle perdite di immagazzinamento superficiale ed infiltrazione nel terreno, tali altezze di pioggia sono state trasformate da lorde a nette mediante il metodo *SCS*.

Questo metodo richiede la stima del parametro del *Curve Number* caratteristico del bacino imbrifero di riferimento.

Il metodo *SCS* assegna un valore di *CN* ad ogni porzione di bacino avente caratteristiche di permeabilità del suolo e di uso del suolo omogenee.

Per la permeabilità del suolo il metodo stabilisce 4 distinte classi (da A, molto permeabile, a D, quasi impermeabile).

Per l'uso del suolo il metodo *SCS* adotta classificazioni che, per la Regione Toscana, lo studio "Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC" (DICEA-Regione Toscana, 2014) ha consentito di derivare e rapportare alle classi di uso del suolo regionali.

Il medesimo studio fornisce direttamente anche i valori del *Curve Number* sul territorio regionale, disponibili nella banca dati della Difesa del Suolo, sul sito istituzionale.

La seguente figura mostra la distribuzione, sul bacino di interesse, dei valori del parametro *CN*.



Fig. 6 – Distribuzione del *CN* sul bacino

Dalla precedente figura si osserva una non perfetta aderenza tra la distribuzione del *CN* secondo il database regionale e l'effettivo uso dei suoli; del resto, si tratta di un bacino di piccolissime dimensioni.

Però si osserva anche che la superficie recante un valore di *CN* superiore (colore verde) eccede abbondantemente la superficie effettiva dei vigneti, quindi si ritiene che la distribuzione di Fig. 6 sia cautelativa.

Inoltre, sempre in via cautelativa, si è preferito adottare condizioni di elevata umidità del suolo, ovvero di suolo saturo (CN III).

Per fare ciò ai valori di CN del database regionale è stata applicata la seguente correzione:

$$CN III = 23 \text{ CN II} / (10 + 0,13 \text{ CN II})$$

Il valore medio di CN III sul bacino in esame risulta pari a 94.58.

Una volta determinato il valore caratteristico di CN è possibile attuare la depurazione delle precipitazioni mediante l'implementazione del metodo SCS.

Quest'ultimo prevede che la precipitazione netta cumulata sia legata a quella lorda secondo la seguente relazione:

$$P_n = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S) \quad \text{se } P > I_a, \text{ altrimenti } P_n = 0 \text{ se } P \leq I_a.$$

I_a rappresenta la cosiddetta perdita iniziale ed è legata ad S dalla relazione $I_a = 0,2 \cdot S$, mentre S (massimo volume d'acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione) è legato al CN mediante la seguente relazione:

$$S = 254 \cdot (100 - CN) / CN.$$

Una volta depurate le piogge secondo il metodo appena descritto, si è applicato il metodo della corrivazione per la trasformazione afflussi-deflussi. Per il calcolo ci si è avvalsi del software *Urbis* (Paoletti, 2003).

Preliminarmente si è però reso necessario valutare il tempo di corrivazione del bacino.

Per fare ciò sono state messe a confronto alcune formulazioni empiriche di uso comune, fondate su dati geomorfologici caratteristici del bacino idrografico.

I tempi di corrivazione (h) sono stati calcolati mediante i seguenti metodi:

SCS

$$T_c = 0,342 \cdot L_{\max}^{0,8} \cdot (1000/CN-9)^{0,7} \cdot i_{\text{bac}\%}^{-0,5}$$

PEZZOLI

$$T_c = 0,55 \cdot L \cdot i_{\text{asta}\%}^{-0,5}$$

PUGLISI

$$T_c = 6 \cdot L^{2/3} \cdot (H_{\max} - H_0)^{-1/3}$$

FERRO

$$T_c = 0,675 \cdot A^{0,5}$$

GIANDOTTI

$$T_c = (4 \cdot A^{0,5} + 1,5 \cdot L_{\max}) / (0,8 \cdot \Delta H_{\text{mean}0}^{0,5})$$

KIRPICH

$$T_c = (0,0662 \cdot L_{\max}^{0,77} \cdot i_{\text{perc}\max\%}^{-0,385})$$

in cui L_{\max} (km) rappresenta la massima distanza percorsa dall'acqua, L (km) la lunghezza dell'asta principale, A (kmq) la superficie del bacino, $i_{\text{perc}\max}$, $i_{\text{asta}\%}$ e $i_{\text{bac}\%}$ rispettivamente le pendenze medie, espresse in percentuale, della massima distanza percorsa dall'acqua, dell'asta principale e del bacino, H_{\max} e H_0 (m s.l.m.) rispettivamente l'altitudine massima del bacino e l'altitudine alla sezione di chiusura, e $\Delta H_{\text{mean}0}$ (m) l'altezza media sulla sezione di chiusura.

Mediante analisi geomorfologica del bacino in ambiente *Gis* sono stati calcolati tutti i parametri necessari per applicare le formulazioni sopra riportate; per la pendenza media del bacino si è fatto riferimento al D.T.M. idrologico della Regione Toscana a maglia 10 x 10 m, costruito sulla C.T.R. in scala 1:10.000.

La seguente Tab. 1 mostra i valori dei parametri suddetti, la successiva Tab.2 riporta i tempi di corrivazione valutati con ciascuna delle precedenti formulazioni.

A (kmq)	H _{max} (m slm)	H ₀ (m slm)	H _{mean} (m slm)	ΔH _{mean0} (m)	L _{max} (km)	L (km)	i _{percmax} (%)	i _{asta%} (%)	i _{bac%} (%)	CN
0.0965	450.25	399.41	423.35	23.29	0,404	0,202	8	8	20	94.58

Tab. 1 - principali parametri geomorfologici del bacino in esame

T _c SCS	T _c Pezzoli	T _c Puglisi	T _c Ferro	T _c Giandotti	T _c Kirpich	T _c MEDIO
0.05 [ORE]	0.04	056	0.17	0.34	0.09	0.21
3 [MIN]	2	33	10	20	5	12.44

Tab. 2 - tempi di corrivazione

Le precedenti formulazioni restituiscono risultati entro un *range* tra 2 e 33 minuti.

Pur ritenendo il valore minimo un po' troppo basso e quello massimo un po' troppo alto, la media dei valori suddetti è apparsa verosimile.

Per questo motivo è stato assunto come tempo di corrivazione di progetto **T_c=12 min.**

Gli idrogrammi di piena per il tempo di ritorno di 200 anni sono mostrati nella successiva figura.

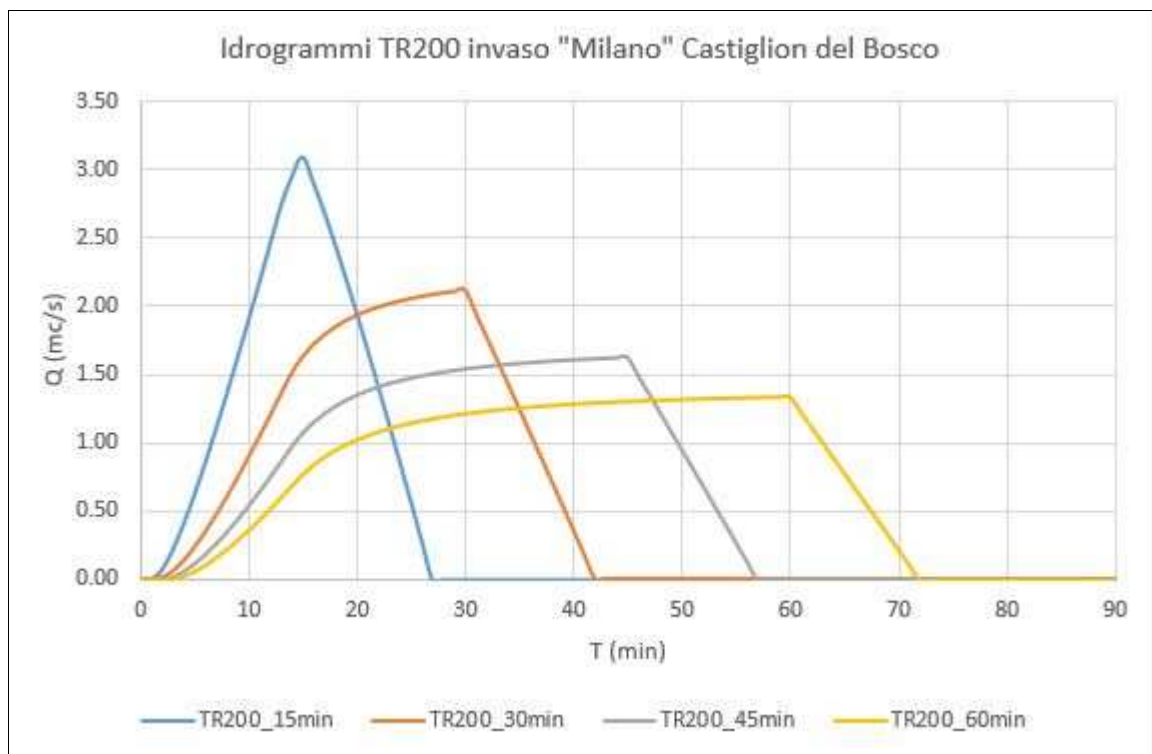


Fig. 7 - idrogrammi di piena per TR200

Ai fini della verifica dello sfioratore dell'invaso, come anticipato, è stato adottato l'idrogramma duecentennale critico (d = 15 minuti), il cui valore di picco di portata risulta pari a **3.10 mc/s.**

3.2 Modello idraulico per verifica dello sfioratore

Una volta definita la portata di piena in ingresso al lago si è proceduto a predisporre una verifica idraulica del funzionamento dell'invaso, prima allo stato attuale e, successivamente, allo stato di progetto per la verifica dello sfioratore.

La verifica idraulica è stata condotta solo per lo scenario di precipitazione con tempo di ritorno di 200 anni e durata critica 15 minuti.

Per fare ciò è stata ricostruita una modellazione bidimensionale dell'intera area dell'invaso oggetto di rilievo topografico mediante il software HecRas 5.0.7, modellando la geometria dell'organo di superficie con un oggetto del tipo *2DSAconnection* posto sul coronamento dell'argine, e tutto il restante dominio in puro bidimensionale con un'unica *2DFlowArea*.

L'input idrologico è stato applicato direttamente sulla base 2D a monte dell'invaso mediante *BCline*, ed a valle della *2DFlowArea*, sulla frontiera del modello, è stata posta una condizione di deflusso libero (*normal depth*), sempre attraverso un'apposita *BCLine*.

Questo schema di modellazione è stato applicato sia per la verifica di stato attuale che per quella di progetto.

Con il rilievo topografico non sono stati battuti punti sul fondo del lago; le quote più basse coincidono con quelle del perimetro dello specchio d'acqua attuale.

Quindi la verifica di stato attuale non ha tenuto conto della profondità del lago, e quindi del suo effetto di invaso e laminazione.

Ma anche per quanto riguarda quella di progetto non si è reso necessario modellare il fondo del lago con lo scavo previsto, dal momento che la verifica è effettuata in condizioni di massima regolazione dell'invaso (livello idrometrico esattamente corrispondente con quello della soglia di sfioro) e che la quota della soglia di sfioro di progetto è stata fatta corrispondere esattamente a quella dello specchio d'acqua al momento del rilievo (399.50 m slm).

La seguente figura mostra lo schema geometrico della modellazione idraulica, valido sia per stato attuale sia per stato di progetto.

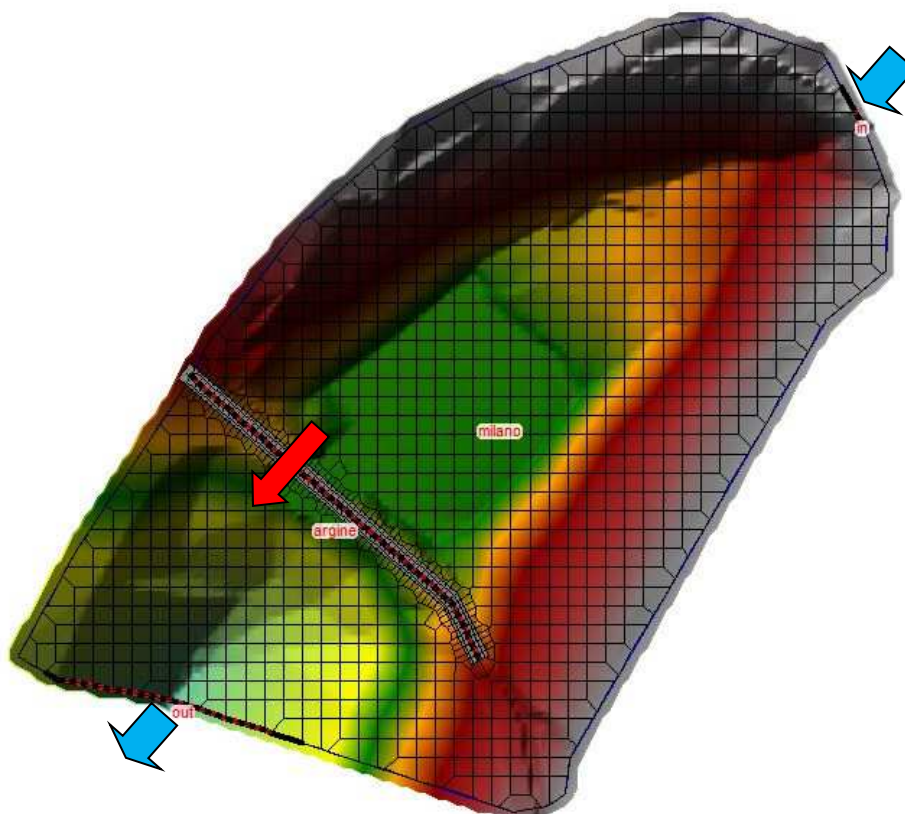


Fig. 8 – Schema geometrico del modello idraulico (attuale e progetto)

Le seguenti figure mostrano rispettivamente i profili del coronamento allo stato attuale (assenza di sfioratore propriamente detto) e con lo sfioratore di progetto secondo la schematizzazione del software HecRas.

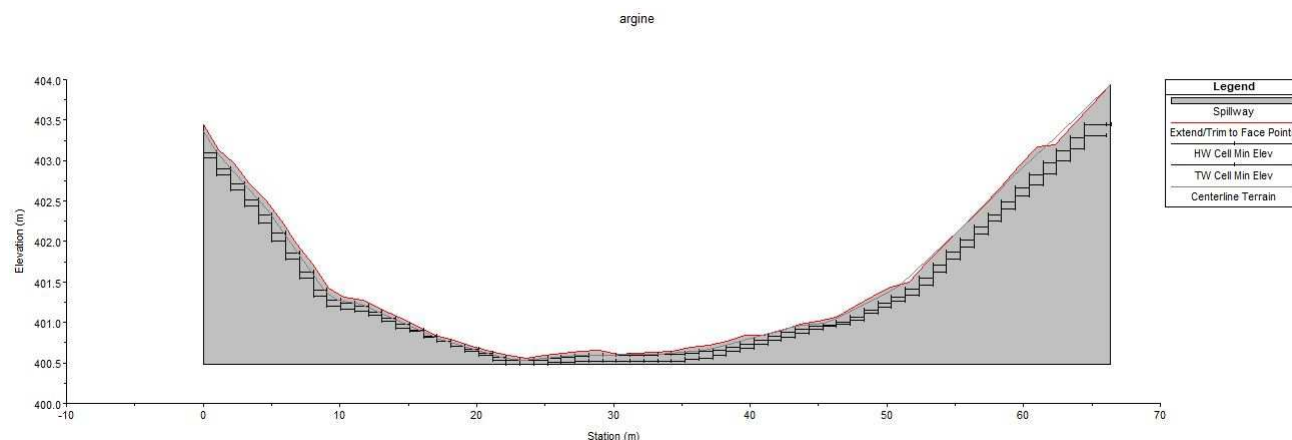


Fig. 9 – Profilo del coronamento allo stato attuale

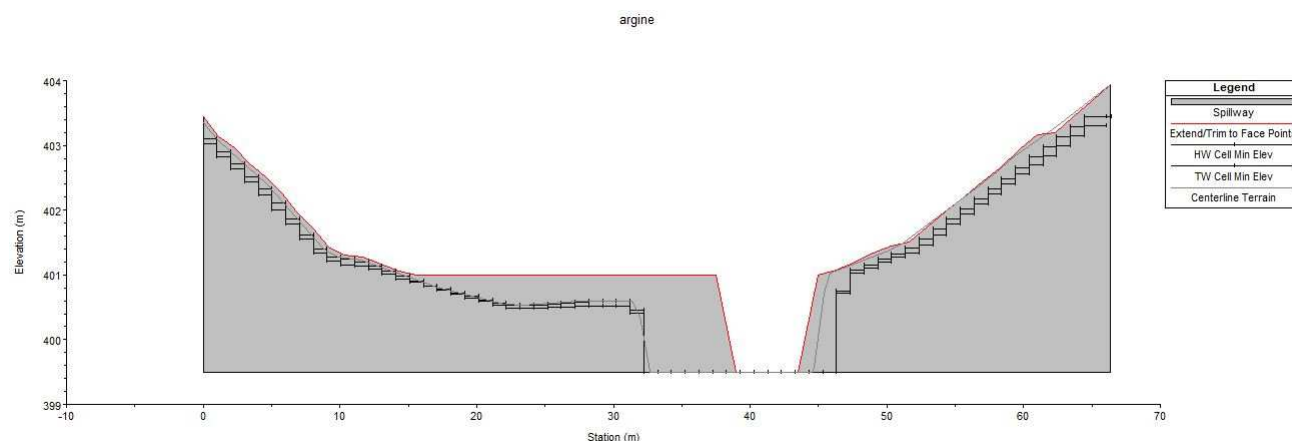


Fig. 10 – Profilo del coronamento con sfioratore di progetto

Sono state eseguite numerose simulazioni al fine di trovare la geometria corretta dello sfioratore, ovvero quella che consentisse il transito della portata duecentennale con un'altezza sullo sfioro - quota massimo invaso - non superiore a 50 cm (ovvero una di quota 400 m slm), in modo da garantire un franco minimo di 1 metro rispetto al coronamento dell'argine (progettualmente fissato pari a 401 m slm, ovvero pari, salvo leggera riprofilatura e livellamento, alla quota dell'argine attuale).

Lo sfioratore di progetto avrà una larghezza alla base pari a 4.5 metri ed altezza pari a 1.5 metri (401 m slm in testa, 399.50 m slm alla base).

I lati dello sfioratore saranno inclinati a 45°, per una larghezza in testa del manufatto pari a $1.5 + 4.5 + 1.5 = 7.5$ metri.

Di seguito sono mostrati i risultati della modellazione in termini di aree allagate / battenti.

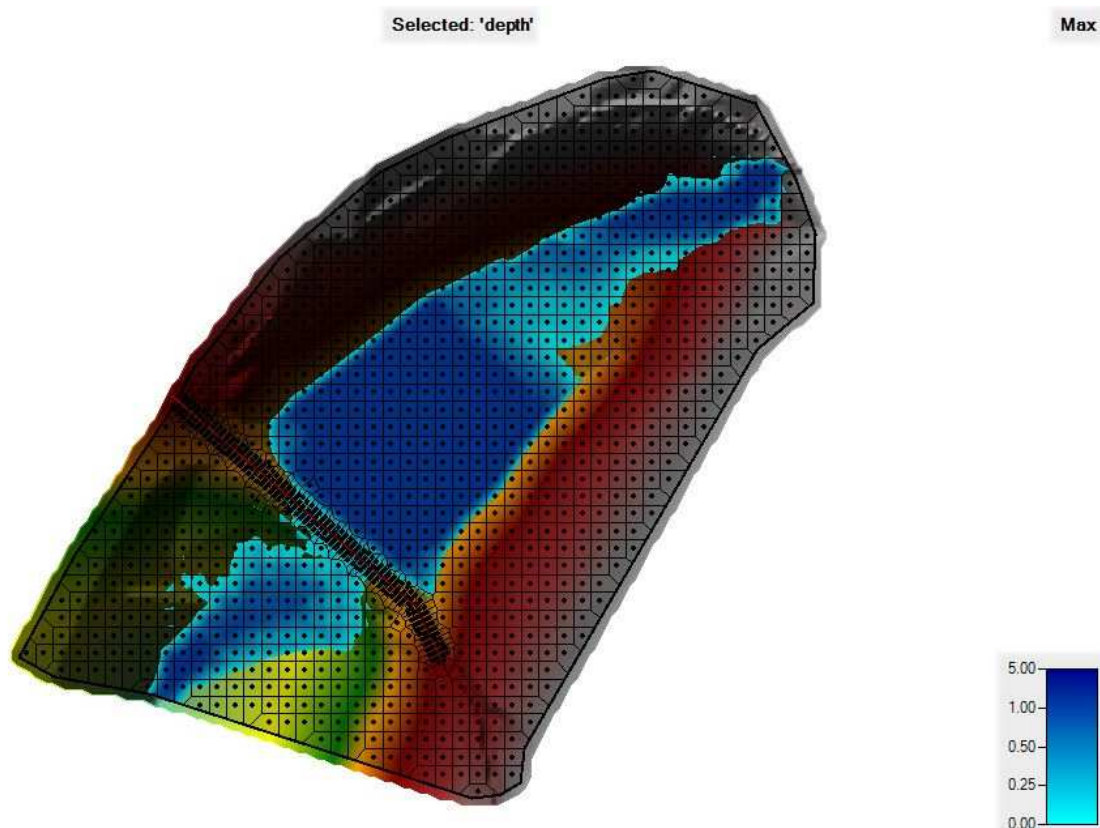


Fig. 11 – Battenti stato attuale

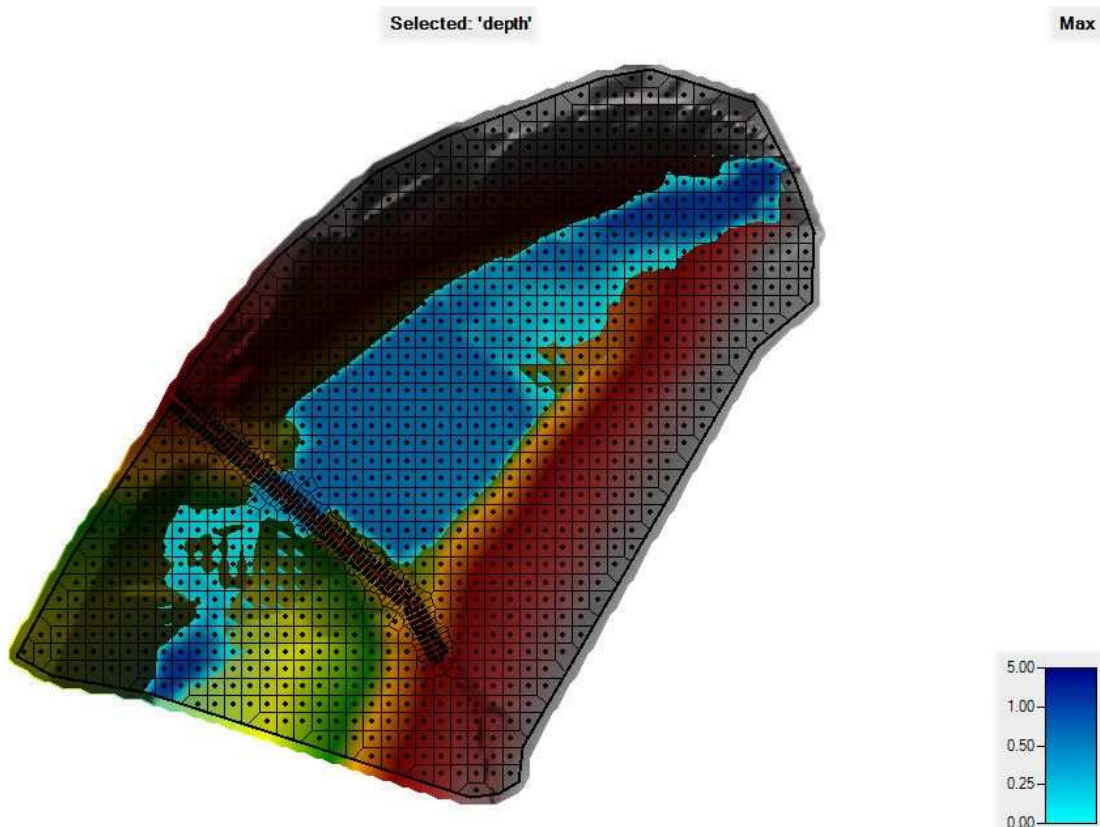


Fig. 12 – Battenti stato di progetto

Dalle precedenti figure si può osservare come allo stato attuale la tracimazione sul coronamento è incontrollata, ed interessa soprattutto la parte centrale dell'argine.

Invece allo stato di progetto lo sfioro si limita alla zona in cui è stato introdotto lo sfioratore.

E' interessante anche verificare che, nonostante l'interno dell'invaso sia il medesimo in entrambi i modelli, allo stato attuale si raggiungono battenti superiori (pari a circa 1.35-1.30 mt, rispetto alla quota minima che, si ricorda, coincide con la quota dello specchio d'acqua rilevato e non con l'effettivo fondo dell'invaso), mentre allo stato di progetto battenti pari a 0.55-0.50 mt, con altezza sullo sfioratore ed a ridosso dell'argine esattamente pari a 0.50 mt, a dimostrazione della miglior regimazione allo stato di progetto.

Si segnala che nella verifica idraulica di progetto non è stato modellato il canale fuggatore, ed è questo il motivo per cui le aree allagate di Fig. 12 appaiono incontrollate; ma si tratta di battenti di modestissima entità, che saranno ricondotti, a valle dello sfioro, all'impluvio esistente, che fungerà da canale fuggatore.

Le figure successive mostrano la traccia di una sezione longitudinale a cavallo dello sfioratore e del canale fuggatore, ed il relativo profilo di corrente allo stato di progetto.

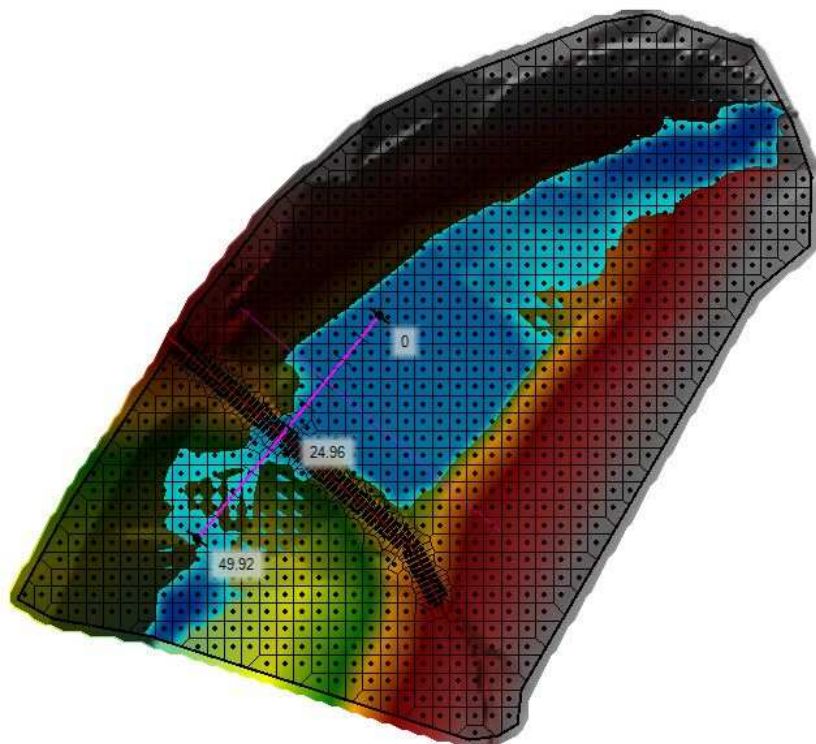


Fig. 13 – Battenti stato di progetto con traccia del profilo longitudinale a cavallo dello sfioratore

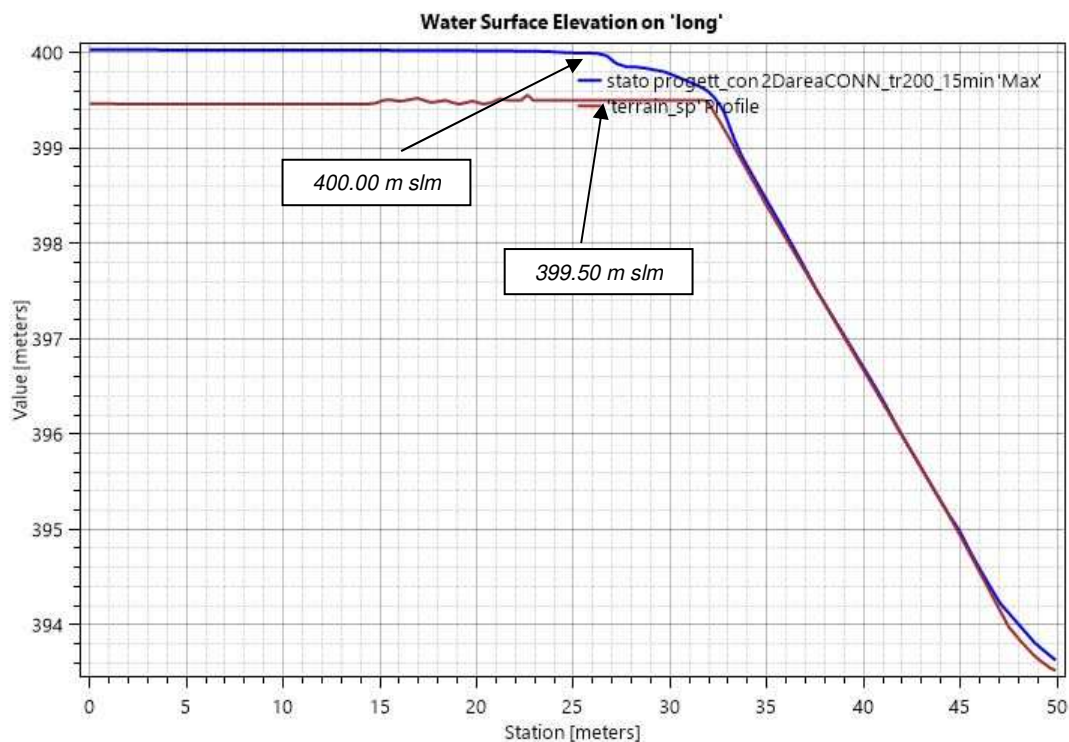


Fig. 14 – Profilo della corrente lungo la sezione longitudinale di Fig. 13, allo stato di progetto

Per completezza è mostrata anche la sezione di progetto lungo l'argine di sbarramento, con il relativo livello idrometrico.

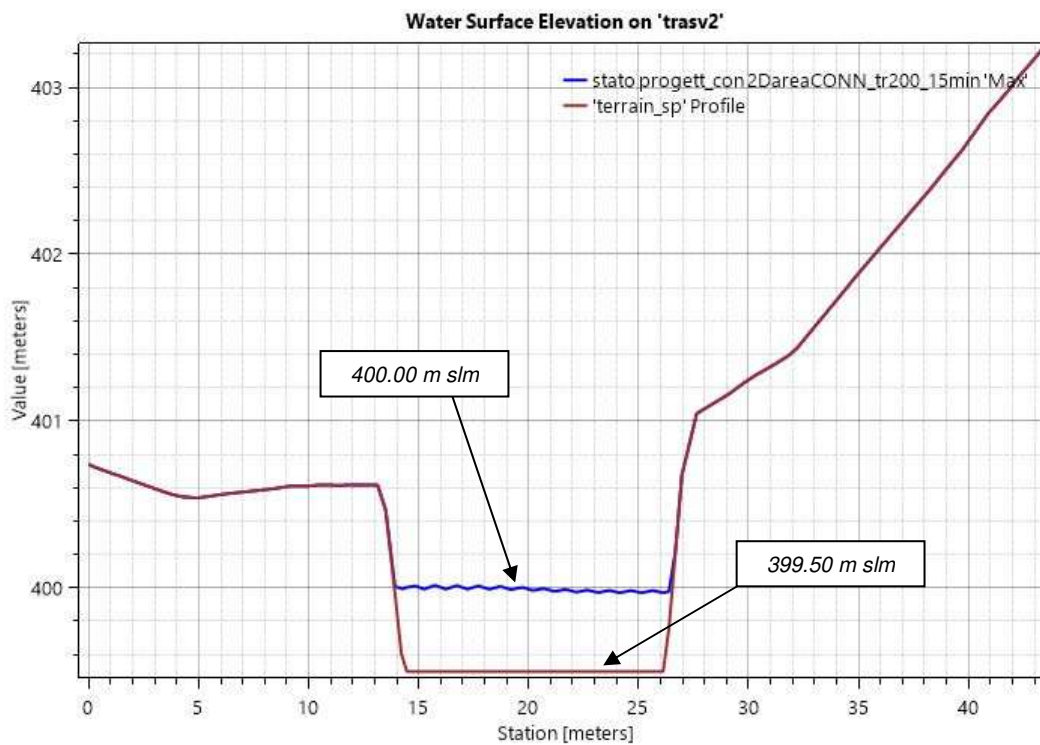


Fig. 15 – Sezione trasversale in corrispondenza dell'argine di sbarramento, allo stato di progetto

Con la presente verifica idraulica si sono potute individuare le corrette dimensioni dell'organo di sfioro dell'invaso denominato "Milano" ai fini del suo adeguamento.

La superficie dello sfioratore sarà rivestita in scogliera, anche sul paramento di monte e su quello di valle per un primo tratto, ad accompagnare le acque verso l'impluvio esistente, che fungerà da canale fagatore.

Di seguito è mostrato un estratto della planimetria dell'invaso allo stato di progetto; in essa sono indicate anche le curve di livello nell'area di invaso frutto dello scavo ivi previsti.

Per maggiori dettagli sugli altri elementi e caratteristiche del progetto si rimanda alla consultazione degli elaborati grafici ad esso allegati.

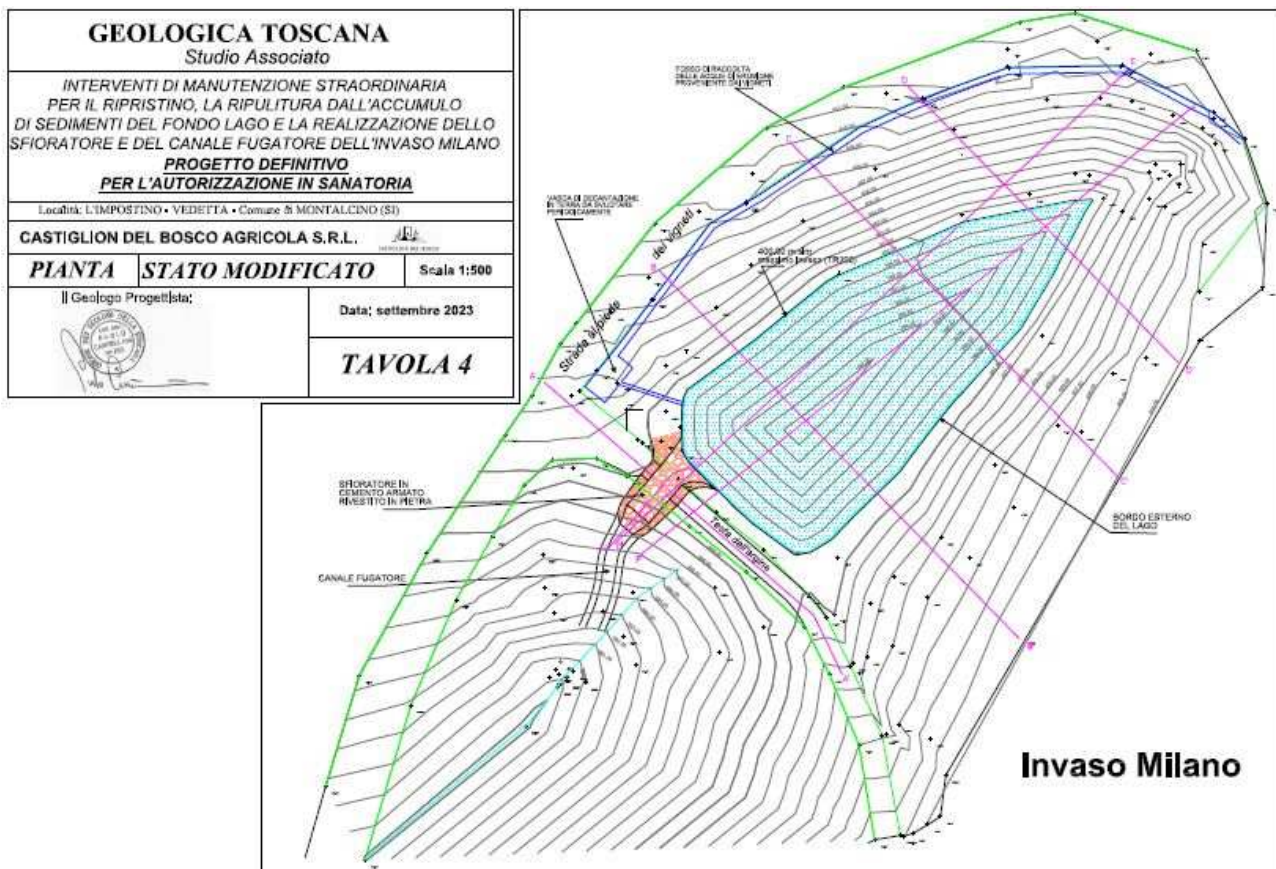


Fig. 16 – Estratto planimetria di progetto invaso “Milano”