CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

ORDINE INGEGNERI LIVORNO

Federazione Regionale degli Ordini degli Ingegneri della Toscana
Ordine degli Ingegneri della provincia di Livorno
con il patrocinio di
Consiglio Nazionale Ingegneri e Associazione Idrotecnica Italiana

Seminario:

IL RISCHIO IDROGEOLOGICO IN TOSCANA: LA PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO (2ª ed.)

(NH Grand Hotel Palazzo, Livorno, Viale Italia 195 - 30 Ottobre 2015 ore 9:15)

*Danni arrecati al ponte sulla SS 540 in località Bucine – **Alluvione 3-4 nov.1966**.*

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Campagna a nord dell'abitato di Ambra: il livello della piena lambisce il ciglio della SR 540 (in secondo piano) durante l'evento del ***6-8 ottobre 1993***

*Evento del **6 – 8 Ottobre 1993**: SR 540 invasa dalle acque nel tratto che attraversa l'abitato di Ambra.*

Alluvione sul T. Lusignana (affluente del T. Ambra) ***21 settembre 2002****.*

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

*Alluvione sul T. Lusignana (affluente T. Ambra) - **21 settembre 2002**.*

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Tabella 3

RAPPORTI CARATTERISTICI TRA LE PRECIPITAZIONI DI OTTOBRE E NOVEMBRE 1966 E LE MEDIE DEL PRECEDENTE PERIODO DI OSSERVAZIONE

BACINO e STAZIONE	Precipitazioni novembre 1966			Precipitazioni 1966		Precipitazioni medie periodo precedente (fino al 1965)			Rapporti			
	4	5	4+5 a	Ottobre b	Novembre c	Ottobre d	Novembre e	Annue f	a/e	a/f	b/d	c/e
Bacini minori tra Magra e Serchio												
Massa	75,2	30,6	105,6	322,8	184,8	159,0	166,9	1217,8	0,63	0,087	2,03	1,11
Serchio												
Borgo a Mozzano	98,6	43,4	142,0	424,2	348,0	195,2	213,6	1608,6	0,66	0,088	2,17	1,63
Lucca	82,2	30,2	111,4	367,6	269,6	158,7	164,0	1234,9	0,68	0,090	2,32	1,64
Bacini minori fra Serchio e Arno												
Pisa	79,4	29,8	109,2	281,8	271,4	142,3	123,6	954,8	0,88	0,114	1,98	2,20
Arno												
Vallucciole	176,0	60,3	236,3	222,0	359,8	150,8	155,9	1303,6	1,52	0,181	1,47	2,31
Stia	167,0	52,0	219,0	183,4	322,8	131,0	129,3	1055,3	1,69	0,207	1,40	2,50
Montemignaio	232,0	50,0	282,0	298,1	457,9	172,0	194,9	1587,9	1,45	0,178	1,73	2,35
Camaldoli	83,2	58,8	242,0	328,2	450,2	216,9	219,7	1741,5	1,10	0,139	1,51	2,05
Villastrada Umbra	3,0	19,8	22,8	230,2	105,6	94,6	100,5	763,0	0,23	0,030	2,43	1,05
Badia Agnano	338,7	98,5	437,2	183,8	558,0	100,3	99,8	855,1	4,38	0,511	1,83	5,59
Montevarchi (Circonvallazione)	174,2	35,6	209,8	145,7	298,9	102,9	106,7	859,0	1,97	0,244	1,42	2,80
Vallombrosa	158,4	61,0	219,4	262,0	336,2	155,9	162,5	1379,9	1,35	0,159	1,68	2,07
Pian di Sco	200,2	37,8	238,0	184,3	342,9	118,6	120,0	958,2	1,98	0,248	1,55	2,08
Cavallina	172,3	47,2	219,5	212,1	349,9	151,4	164,5	1248,1	1,33	0,176	1,40	2,13
S. Agata di Mugello	165,3	44,5	209,8	189,3	317,9	133,2	137,6	1093,8	1,52	0,192	1,42	2,31
Borgo S. Lorenzo	135,8	30,0	165,8	150,0	272,6	132,4	142,9	1080,8	1,16	0,153	1,13	1,91
Firenze (Osservatorio Ximeniano)	131,6	56,0	187,6	180,8	275,4	108,8	106,1	834,5	1,77	0,225	1,66	2,60

In occasione dell'evento catastrofico del **4-5 Nov. 1966** (alluvione di Firenze), nella stazione di **Badia Agnano** (bacino T. Ambra) **in circa 27 ore caddero 437 mm** di pioggia. **Metà dell'altezza media annua** di precipazione del periodo antecedente.

segue *Tabella 9*

N° d'ord.	Bacino principale	Corso d'acqua	STAZIONE DI MISURA	Periodo di osservazione	Superficie km²	Permeabilità %	Altitudine media m s.m.	Quota della Stazione m s.m.	Portate al colmo m³/s	Portate al colmo m³/s km²	Data
23	Arno	Nievole	Molino al piano di Serravalle	—	37,7	—	390	25,00	241,00	6,40	20 ag. 1952
24											
25											
26											
27											
28											
29	Arno	Arno	Stia	39-66	62,0	6	891	443,11	312,00	5,03	4 nov. 1966
30	»	»	Subbiano	30-66	738,0	14	720	249,95	2.250,00	3,05	4 nov. 1966
31	»	Chiana	Ponte Ferrovia Firenze-Roma	11-66	1.272,0	3	409	229,80	326,00	0,26	4 nov. 1966
32	»	Ambra	Molino di Montorzi	—	158,0	—	—	185,00	726,00	4,59	4 nov. 1966
33	»	Arno	Montevarchi	—	2.676,0	—	—	135,00	2.580,00	0,96	4 nov. 1966
34	»	»	S. Giovanni Valdarno	—	2.781,0	—	430	125,00	2.640,00	0,95	4 nov. 1966
35	»	Sieve	Ponte del Bilancino	64-66	150,0	—	475	220,00	546,00	3,64	4 nov. 1966
36	»	»	Fornacina	21-66	831,0	5	490	92,47	1.340,00	1,61	4 nov. 1966
37	»	Arno	Nave di Rosano	19-66	4.083,0	4	450	72,33	3.540,00	0,87	4 nov. 1966
38	»	Bisenzio	Praticello	59-66	54,0	—	684	262,00	85,00	1,57	4 nov. 1966
39	»	»	Gamberame	57-66	150,0	—	565	92,98	302,00	2,01	4 nov. 1966
40	»	Pesa	Ponte di Cerbaie	—	211,0	—	—	75,00	595,00	2,82	4 nov. 1966
41	»	Elsa	[illegible]	50-66	806,0	—	243	46,00	612,00	0,76	4 nov. 1966
42	»	[illegible]	. . . . .	63-66	337,0	1	225	25,00	380,00	1,13	4 nov. 1966
43			. . . . .	22-66	8.186,0	5	330	6,78	2.290,00	0,28	4 nov. 1966

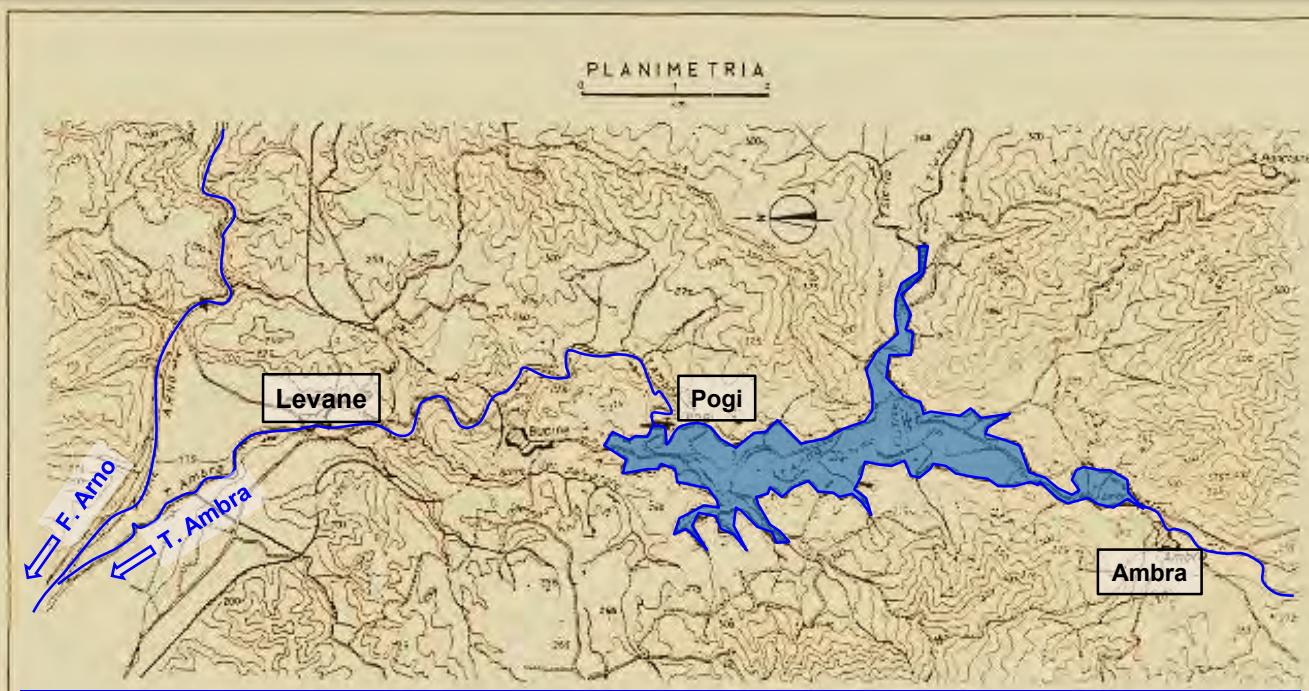
In occasione dell'evento catastrofico del 4-5 Nov. 1966 (alluvione di Firenze), anche il contributo unitario per Kmq (4,59 mc/s/Kmq) in una sezione intermedia (Molino di Montorzi 158 Kmq), appare molto elevato in relazione all'estensione del bacino ed alla sua altitudine media: del tutto paragonabile a quello dell'Arno a Stia (62 Kmq)

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

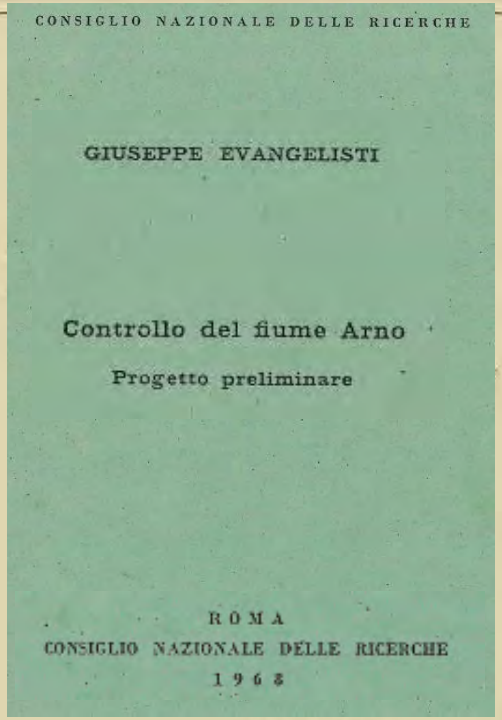
Principali studi pregressi per la moderazione delle piene del Fiume Arno che contemplano interventi strutturali nel bacino del Torrente Ambra

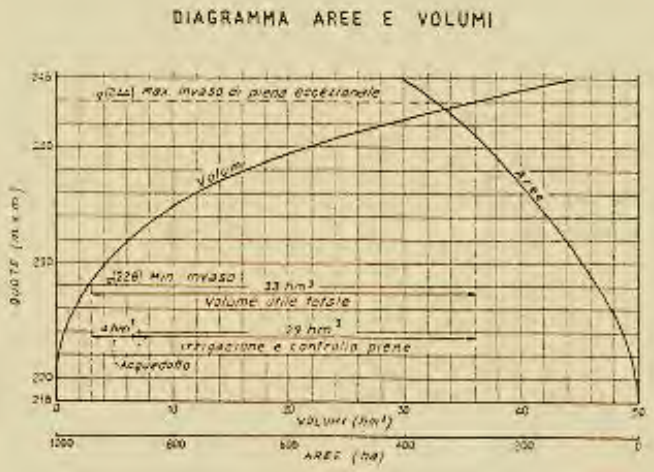
- **1968: Prof. Giuseppe Evangelisti, "Controllo del Fiume Arno, progetto preliminare", CNR Roma;**
- **1970: Prof. Giulio Supino, "La sistemazione del Fiume Arno", atti della COMMISSIONE INTERMINISTERIALE PER LO STUDIO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA E DELLA DIFESA DEL SUOLO – (Commissione DE Marchi), Roma;**
- **1973: Prof. Carlo Lotti, "Progetto Pilota per la sistemazione del Bacino dell'Arno" (Piano Lotti), Regione Toscana, Firenze;**
- **1994: Ing. Remo Chiarini, «Osservazioni ed ipotesi alternative al sovralzo delle dighe Enel di Levane e La Penna per il controllo delle piene nel Valdarno Superiore», Amministrazione Provinciale di Arezzo, Arezzo.**

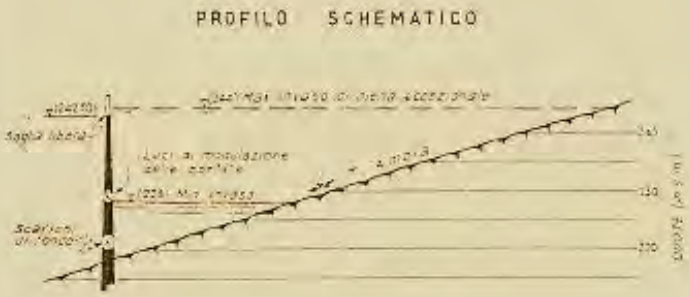
Il progetto preliminare del Prof. Evangelisti (1968) contiene la proposta di un invaso di laminazione da 46 Mmc a Pogi per moderare le piene dell' Ambra



Invaso di laminazione di Pogi – volume **max invaso 46 Mmc**, utile 35 Mmc, **H_{diga} = 34 m**







CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Considerazioni e proposte del Prof. Giulio Supino circa la moderazione delle piene del Torrente Ambra

dagli Atti della «Commissione de Marchi» – Roma 1970

COMMISSIONE INTERMINISTERIALE PER LO STUDIO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA E DELLA DIFESA DEL SUOLO

II Sottocommissione - Sistemazione idraulica dei bacini idrografici

M II 187

GIULIO SUPINO

Presidente e Relatore del Gruppo di Lavoro per l'Arno e il Serchio

LA SISTEMAZIONE DEL BACINO DELL'ARNO

Estratto dagli *Atti della Commissione*

Il Prof. Supino propone tre serbatoi sull'Ambra

Dopo Laterina si ha la confluenza de l'Ambra in Arno. Nella parte montana del bacino dell'Ambra possono essere progettati tre serbatoi: quelli di Molino di Capraia (su l'Ambra, bacino imbrifero 35,1 kmq), di Villa S. Umberto (sul Torr. Lusignana, bacino 17,5 kmq) e del Mulino Bianco (sul Torr. Trove - 13,1 kmq).

Sito prossimo a quello d'indagine (Castello di Montalto)

Supino stima in ben 1030!! mc/s il contributo dell'Ambra alla confluenza in Arno in occasione dell'evento 1966

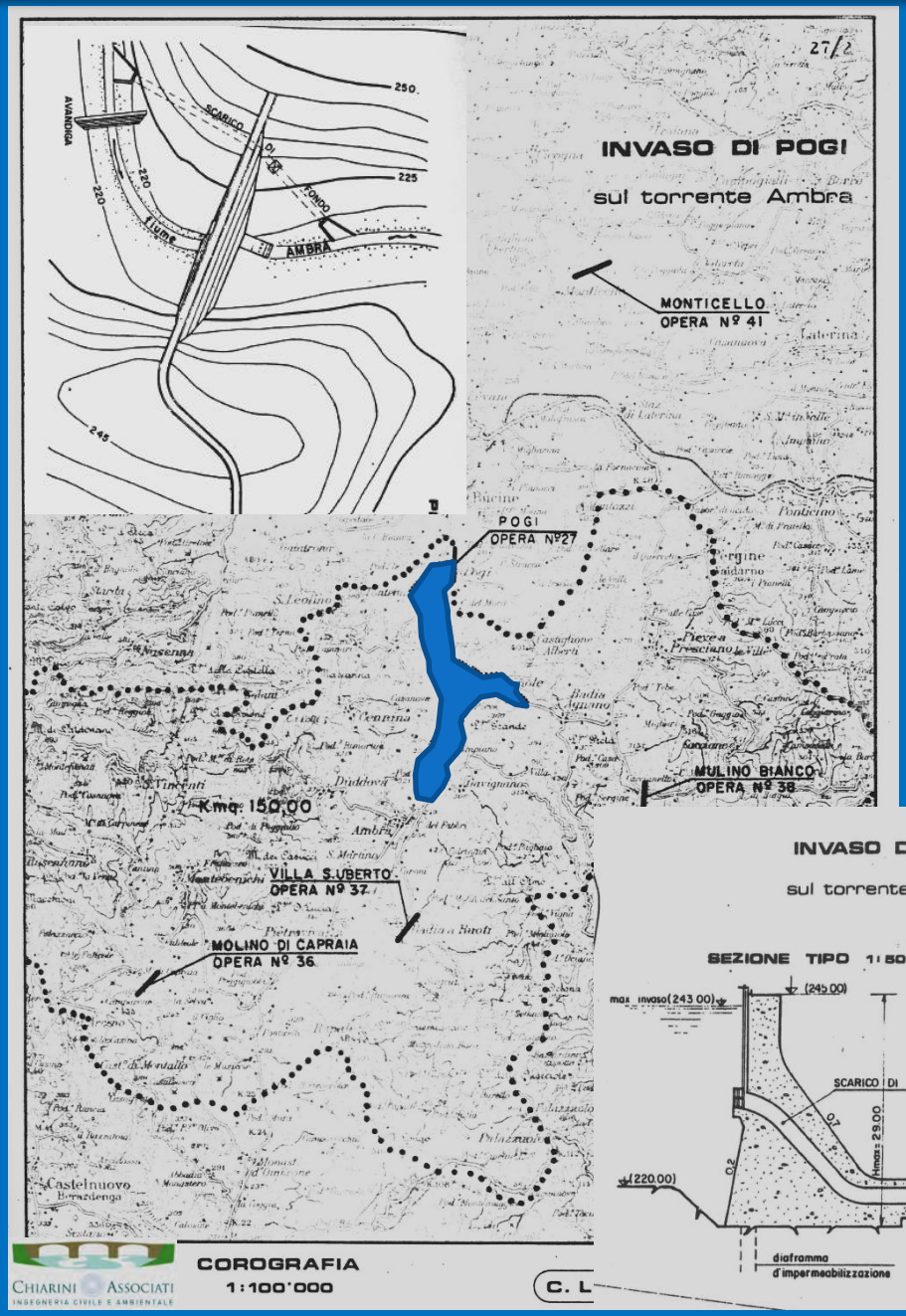
La portata massima dell'Ambra che nel 1966 fu di 1030 mc/sec verrà pertanto ridotta per il fatto che il contributo di piena di 62,5 kmq viene ridotto a 37 mc/sec, mentre l'afflusso dovuto ai rimanenti 87,5 kmq non sarà — come allora — di quasi 7 mc/sec per kmq in quanto la zona da considerare è zona di prevalente pianura. Riducendo la portata unitaria di questa zona a 4 mc/sec per kmq, si ottiene che la portata totale del bacino dell'Ambra si aggirerà sui 390 mc/sec.

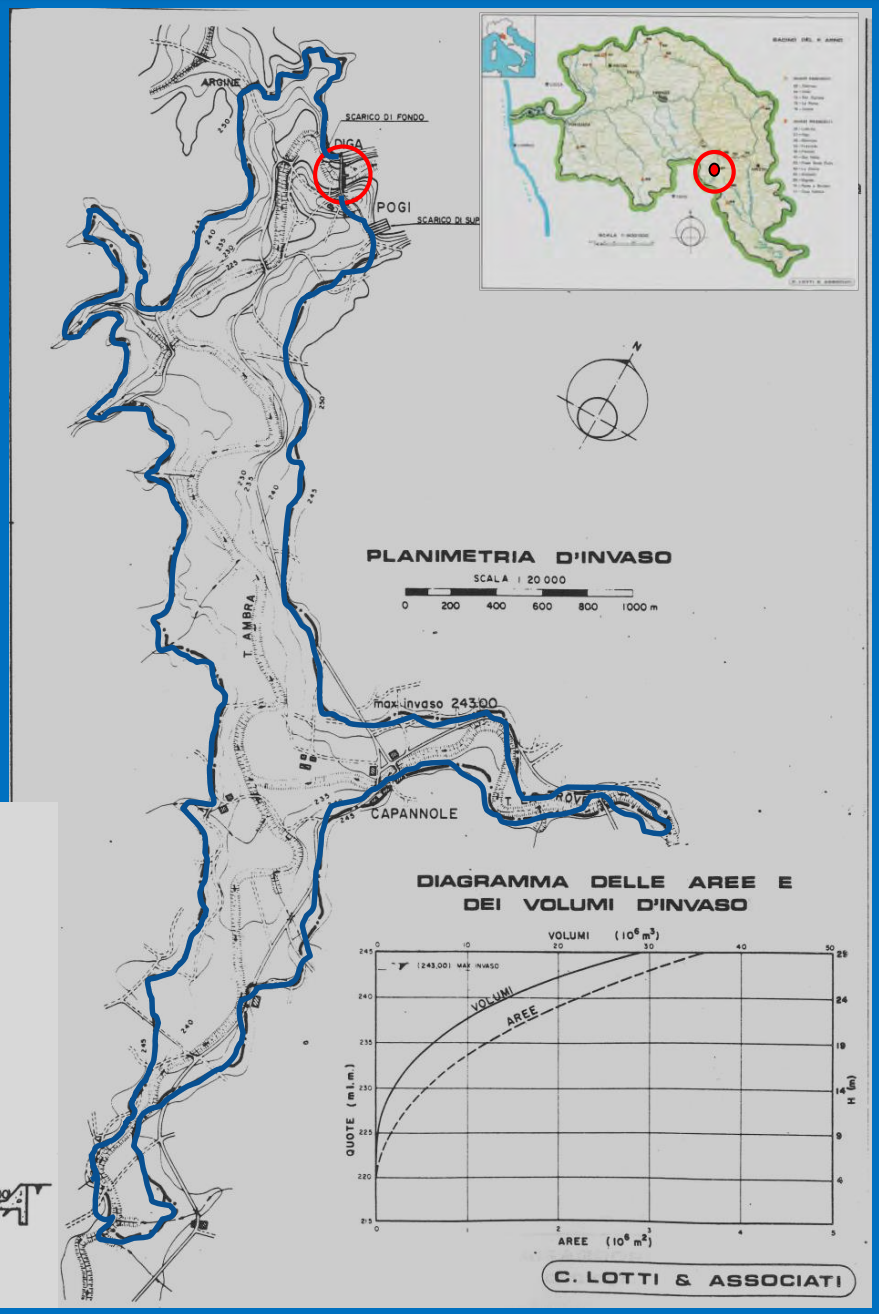
Certo sarebbe più utile il serbatoio di Pogi, ma i geologi ne sconsigliano in modo assoluto l'esecuzione (parere del prof. Livio Trevisan e dei consulenti geologici dell'Ente Irrigazione).

Fonte: http://www.censu.it/relazione-de-marchi/

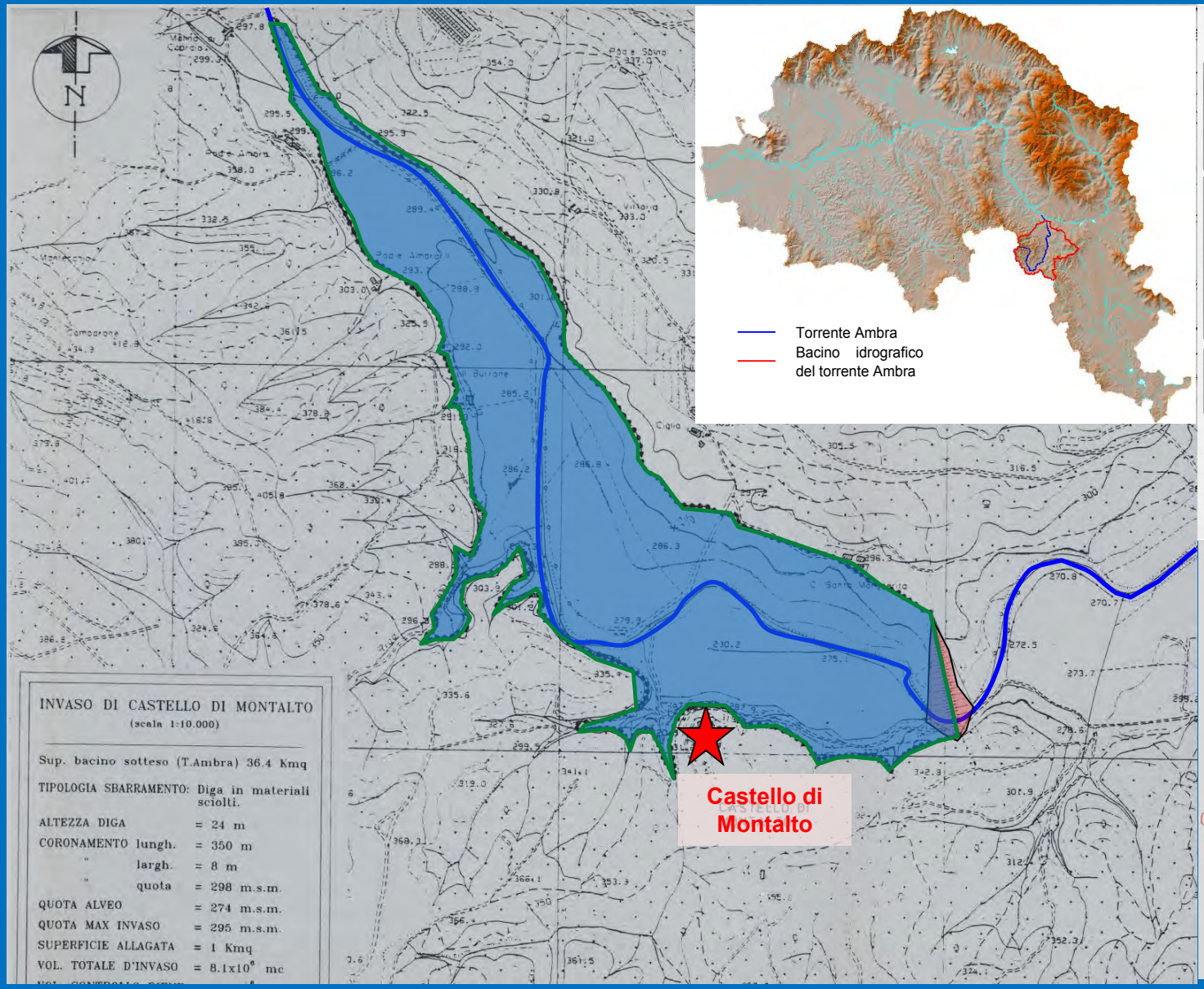
N.B.:Supino registra l'infattibilità geologica dell'invaso di Pogi

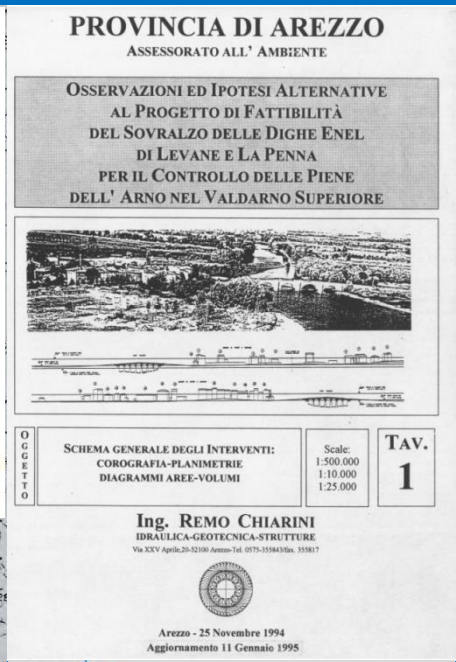
Prof. Carlo Lotti nel «Progetto Pilota per la sistemazione del Bacino dell'Arno» - Regione Toscana 1973 propone sbarramento su medesima localizzazione Evangenisti, ma Hdiga 29 m, Volume max invaso 30 M mc





L'invaso sul T. Ambra a Castello di Montalto (Chiarini, 1994)




PROVINCIA DI AREZZO
ASSESSORATO ALL' AMBIENTE

OSSERVAZIONI ED IPOTESI ALTERNATIVE AL PROGETTO DI FATTIBILITÀ DEL SOVRALZO DELLE DIGHE ENEL DI LEVANE E LA PENNA PER IL CONTROLLO DELLE PIENE DELL' ARNO NEL VALDARNO SUPERIORE

OGGETTO: SCHEMA GENERALE DEGLI INTERVENTI: COROGRAFIA-PLANIMETRIE DIAGRAMMI AREE-VOLUMI

Scale: 1:500.000 1:10.000 1:25.000

TAV. 1

Ing. REMO CHIARINI
IDRAULICA-GEOTECNICA-STRUTTURE
Via XXV Aprile,20-52100 Arezzo-Tel. 0575-355843/fax. 355817

Arezzo - 25 Novembre 1994
Aggiornamento 11 Gennaio 1995

Sup. Bac. Sotteso = 36.4 Km^2, Volume max invaso 8 Mmc, H_{diga} = 24 m

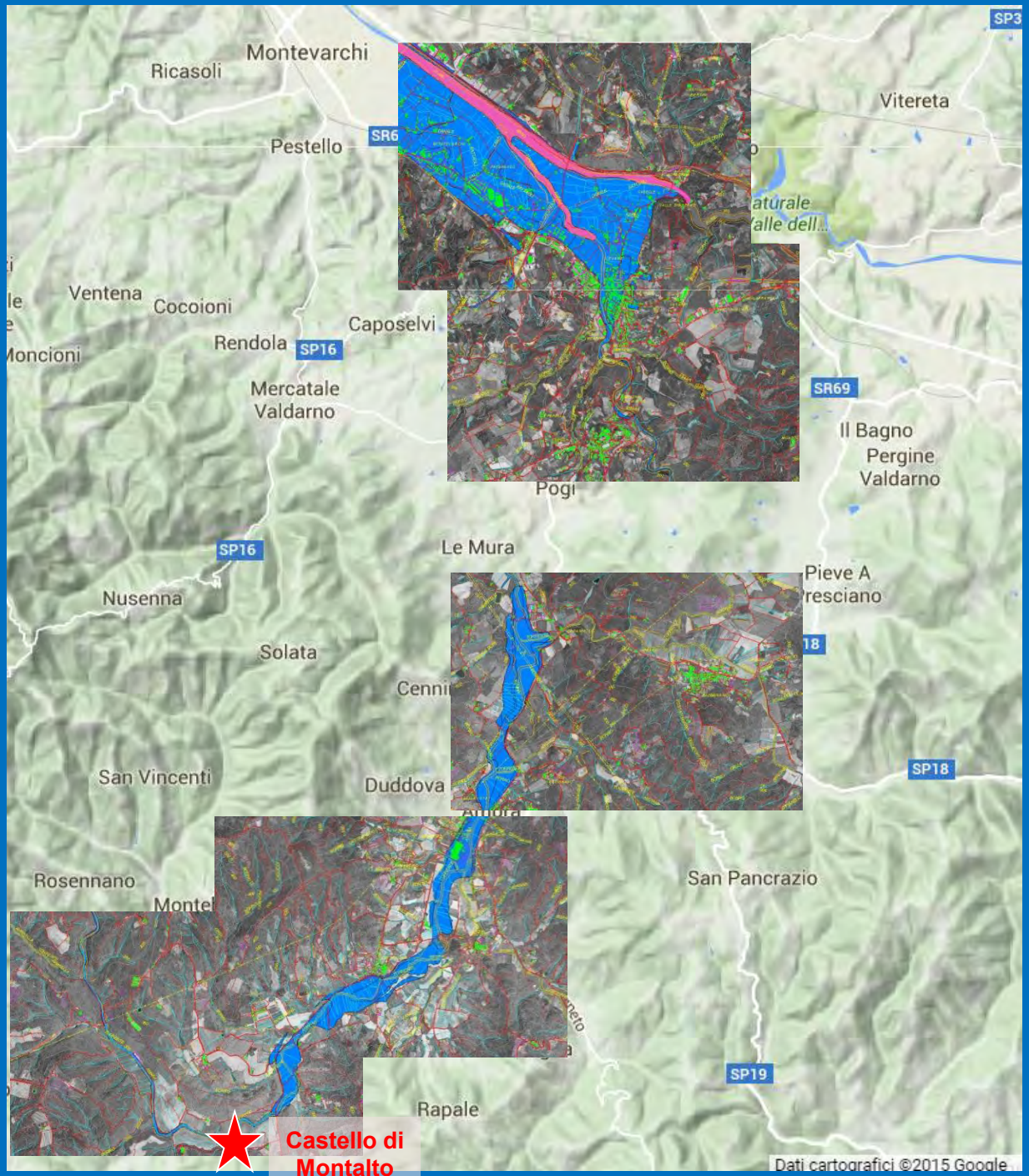
CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

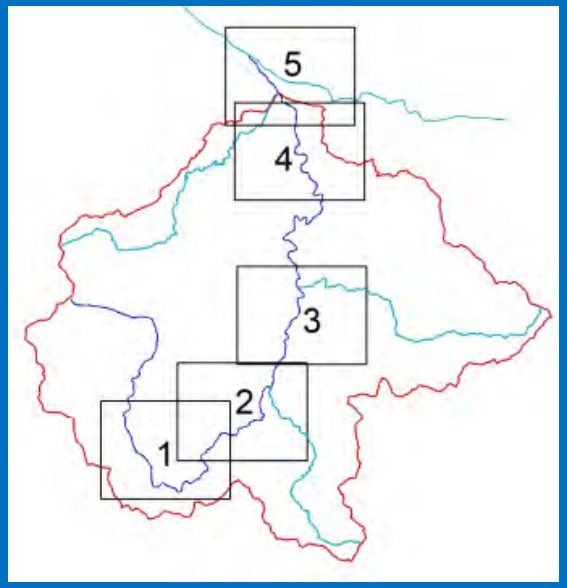
A.d.B. Arno

Piano Stralcio per la riduzione del Rischio Idraulico (DPCM 5.11.1999)

-

Carta guida aree allagate (Bacino torrente Ambra)





Superfici allagate:

Eventi Eccezionali: 4.72 Kmq

Eventi 91-92-93: 4.44 Kmq

Totale: 9.16 Kmq

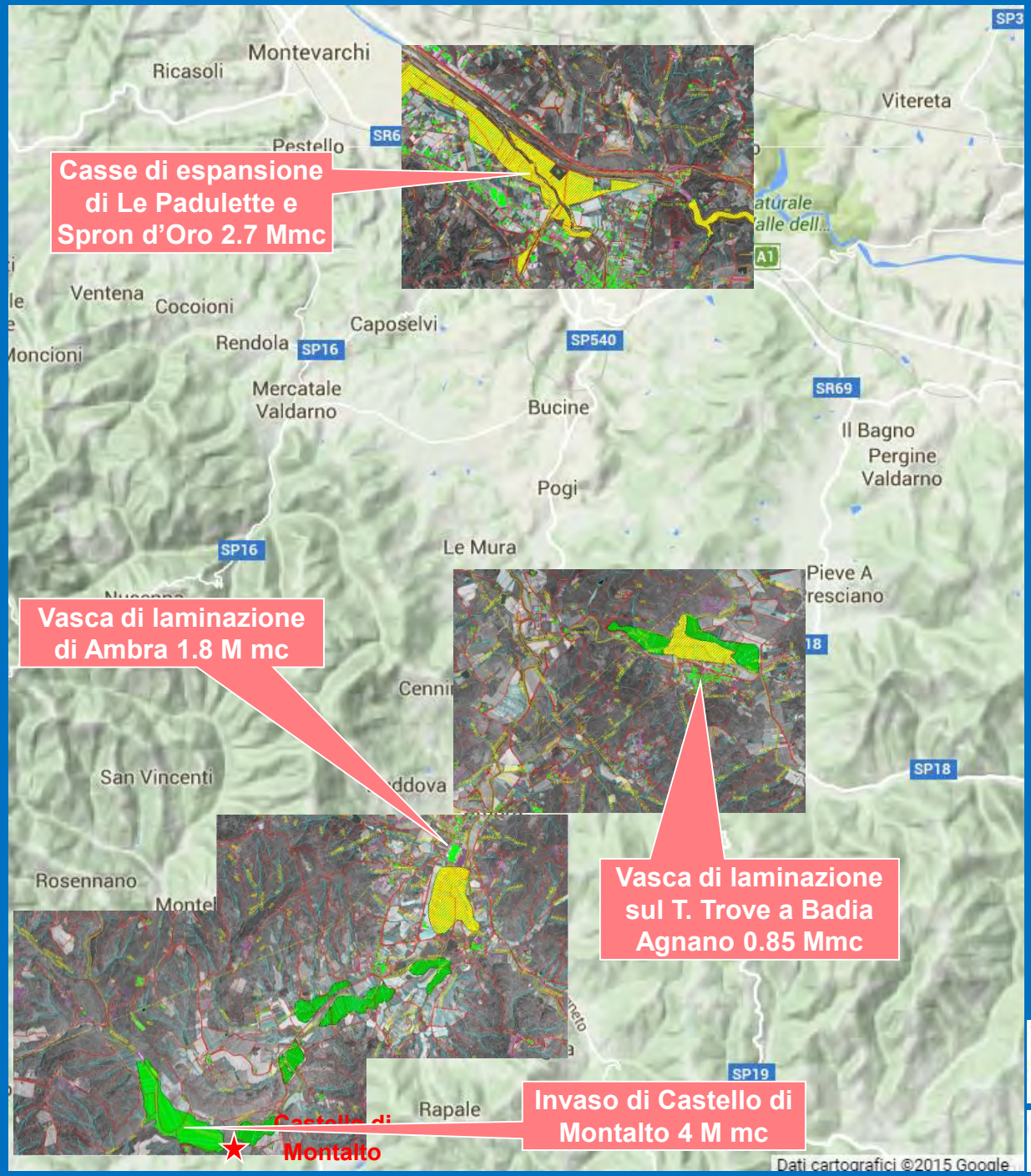
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

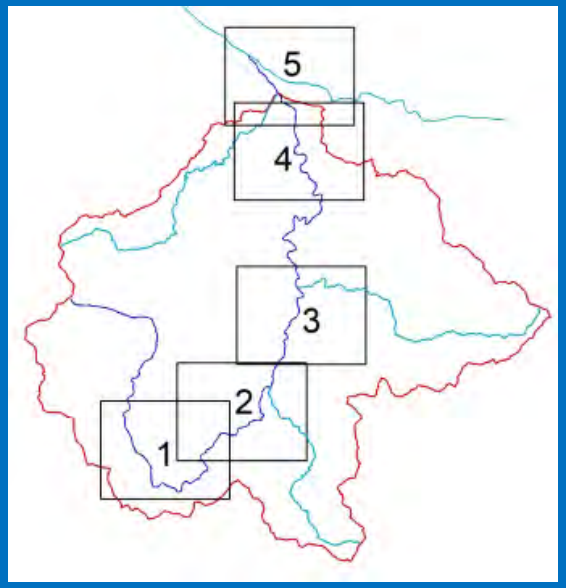
A.d.B. Arno

Piano Stralcio per la riduzione del Rischio Idraulico (DPCM 5.11.1999)

-

Le opere di laminazione delle Piene (Bacino torrente Ambra)





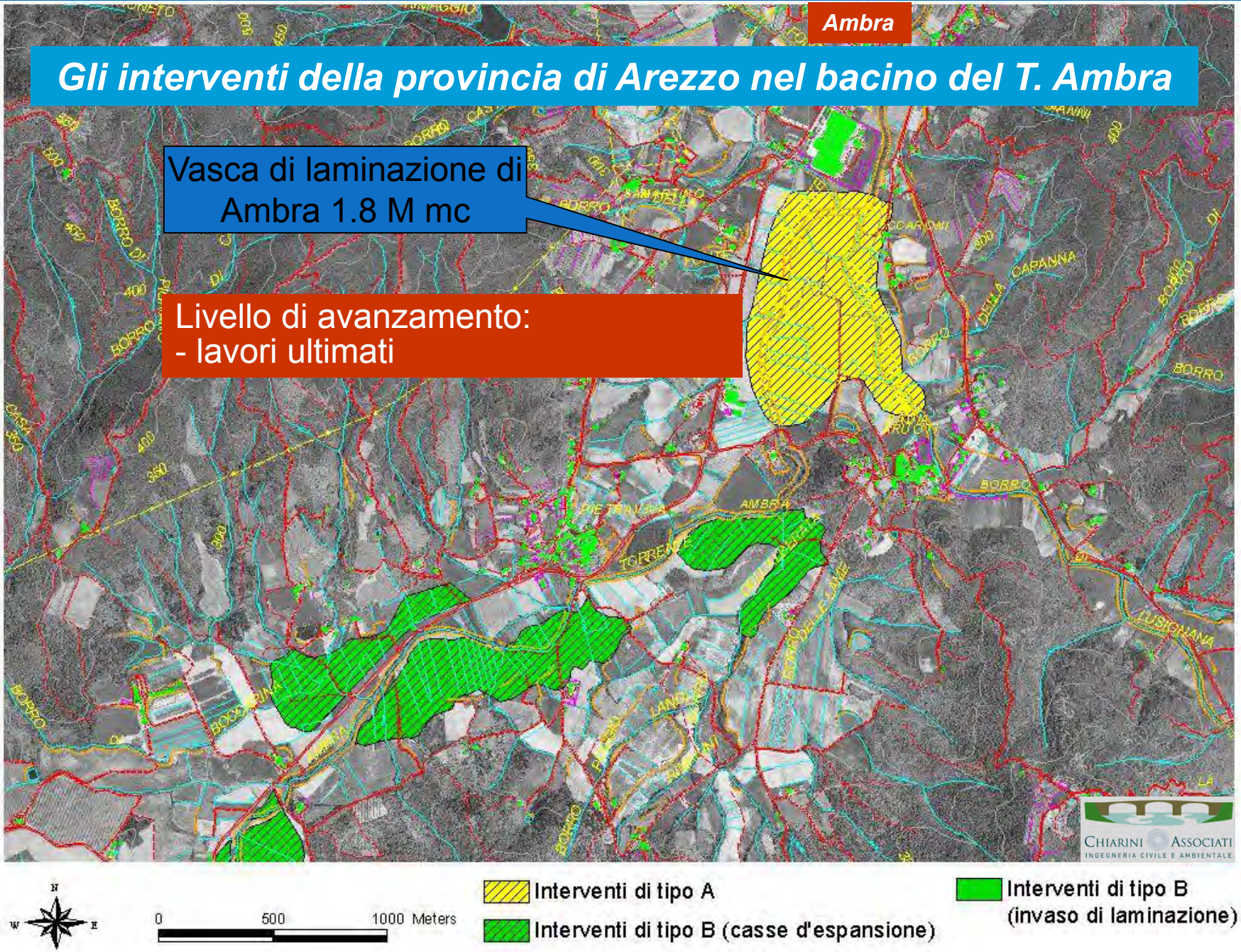
Interventi di tipo A

Interventi di tipo B (casse d'espansione)

Interventi di tipo B (invaso di laminazione)

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Il piano di Bacino (D.P.C.M. 5.11.1999): le opere di laminazione delle piene



Vasca di laminazione di Ambra

Varianti migliorative e Progetto costruttivo per l'impresa appaltatrice: Ing. Remo Chiarini (ottobre 2007)

evento 24.10.2013: la bocca tarata è rigurgitata e si è in presenza di deflusso a battente

→ segue)

Cassa espansione di Ambra

Evento 24.10.2013: efflusso a battente a valle della bocca tarata

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Il piano di Bacino (D.P.C.M. 5.11.1999): le opere di laminazione delle piene

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Gli interventi della provincia di Arezzo nel bacino del T. Ambra

Livello di avanzamento:
- progetto preliminare approvato + superamento verifica procedura di VIA

N W E S

0 500 1000 Meters

Interventi di tipo A

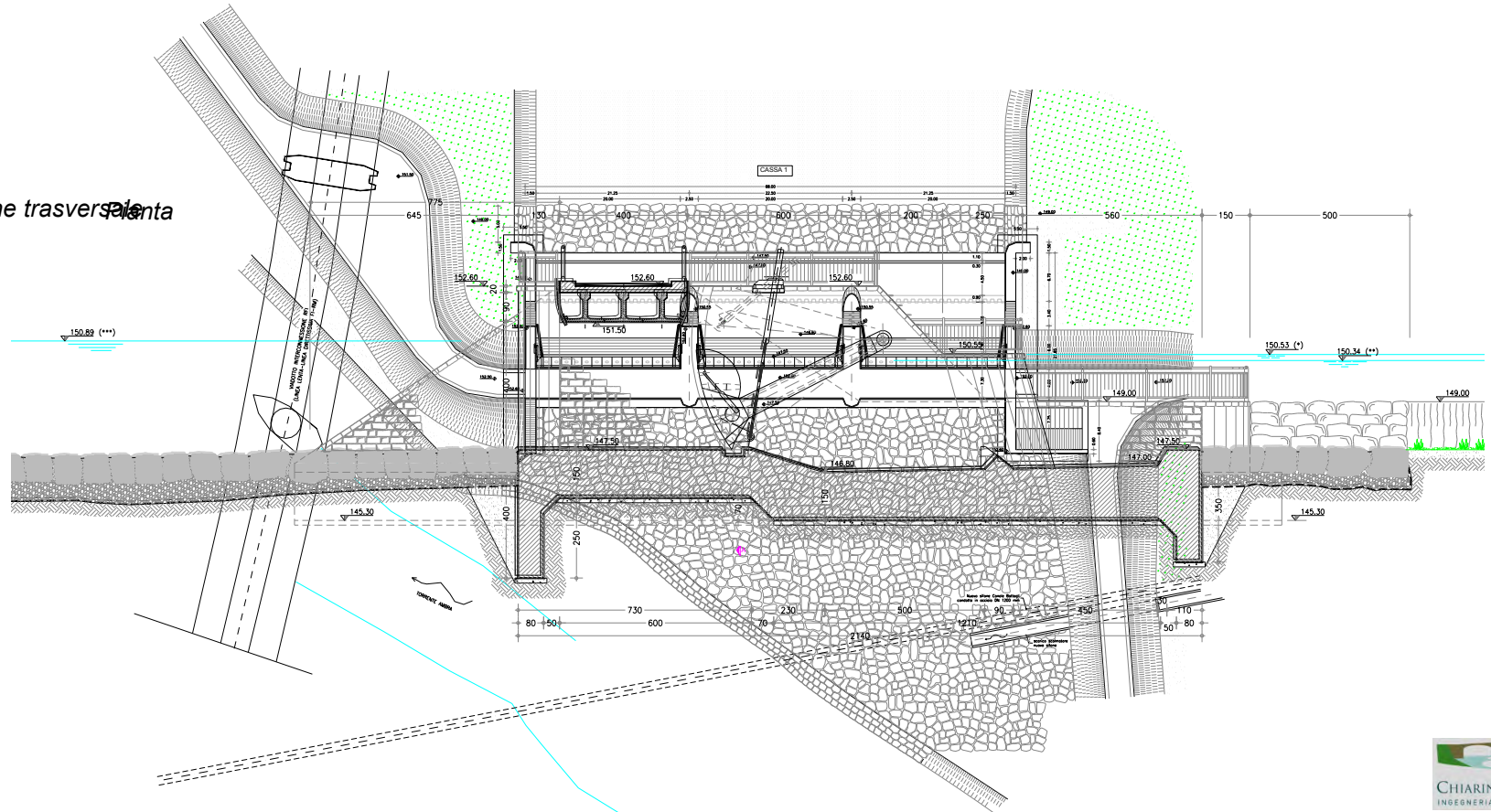
Interventi di tipo B (casse d'espansione)

Interventi di tipo B (invaso di laminazione)

Vista panoramica della zona di ubicazione dell'opera di immissione della cassa in destra idrografica del torrente Ambra ("cassa 1").

Sezione trasversale

Pianta



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

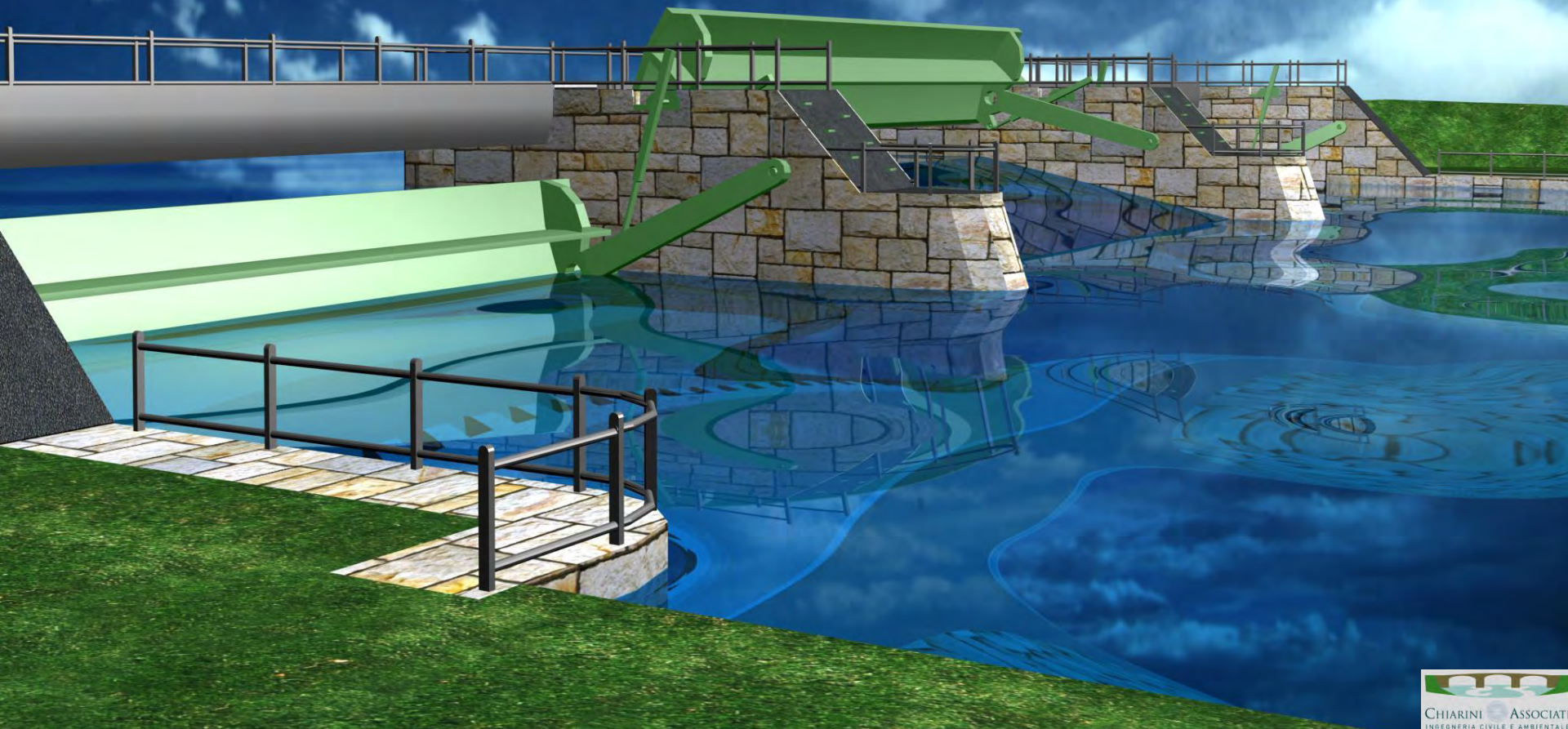
Opera d'immissione ad organi mobili prevista per la cassa 1 (Spron d'Oro) sul T. Ambra a «Le Padulette» -

Progetto preliminare
Ing. Remo Chiarini (2003)

in raggruppamento temporaneo con

Net Engineering e Studio Altieri

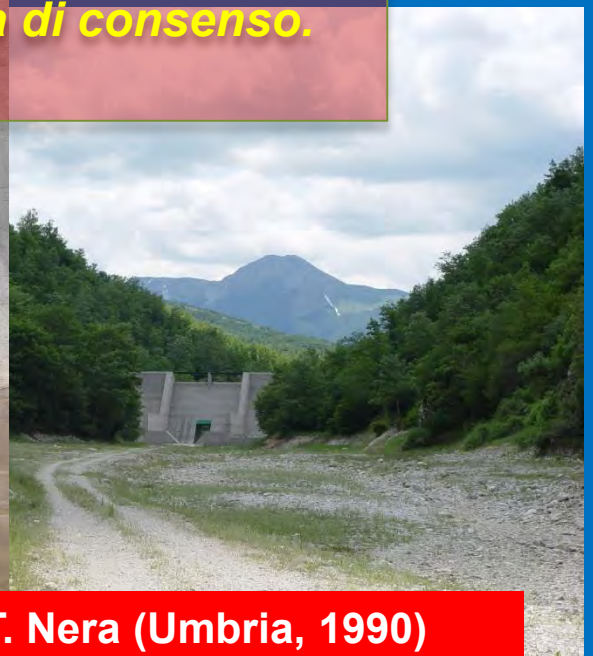
(Vista dall'interno della cassa 1 «Spron d'Oro», con una sola paratoia aperta)



Perché un invaso ad usi plurimi?

Perché oggi opere come questa, di esclusiva laminazione, sono più difficilmente negoziabili in quanto:

- *La loro funzionalità ed efficacia non è immediatamente percepita dalle popolazioni che le vedono entrare in funzione troppo rararamente;*
- *Presentano costi economici ed ambientali troppo elevati rispetto ai benefici attesi;*
- *Il decisore fatica ad accettarle per carenza di consenso.*



Vasca di laminazione a bocca tarata su un affluente del T. Nera (Umbria, 1990)

Esempio di un invaso ad usi plurimi, in esercizio, simile e vicino, a 45 anni dalla costruzione……..

La diga in materiali sciolti sul T. Foenna a Calcione

Il coronamento ed il lago

- Realizzatore e Gestore:

  Ente Irriguo Umbro Toscano

  (Oggi **ENTE ACQUE UMBRE TOSCANE**)
- Comune: Lucignano (AR)
- Bacino sotteso: 20,4 Km^2
- Volume d'invaso: 4,85 Mmc
- Altezza diga: 23,5 m
- Anno di costruzione 1969
- Uso prevalente IRRIGUO
- Altri USI: Laminazione, Idropotabile, pesca sportiva.

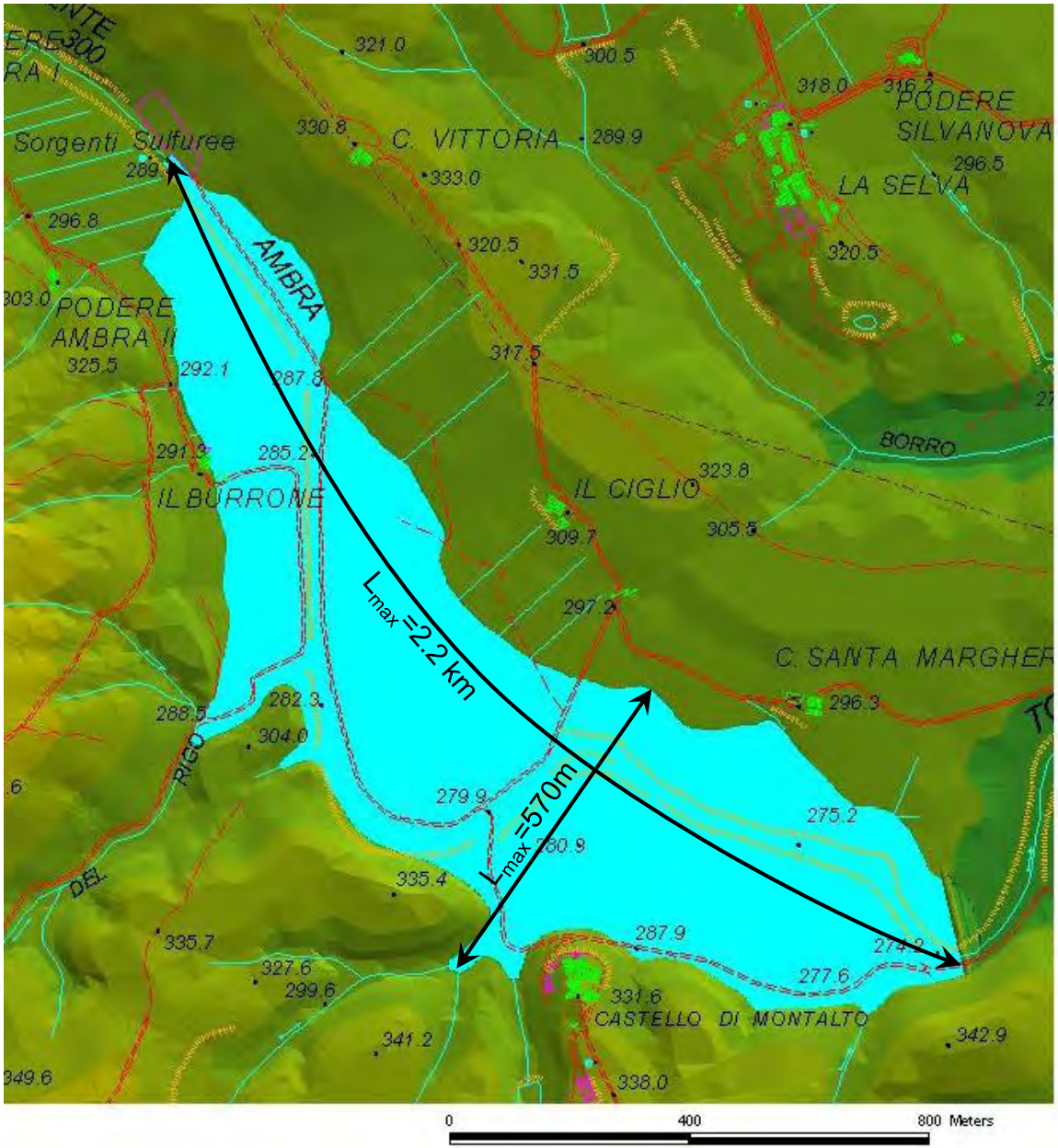
Il paramento di valle

Il canale di scarico

Il paramento di valle

CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

INVASO DI CASTELLO DI MONTALTO per USI PLURIMI
(studio di fattibilità 2010)



Sup. Bacino Sotteso:	**36.6 Km²**
Quota coronamento:	**295.40 m slm**
Altezza diga (D.M. 24-03-1982):	**28.80 m**
Altezza diga (L. n° 584/1994):	**21.40 m**
Livello max invaso: (piena millenaria)	**291.5 m slm**
Franco netto:	**3.22 m**
Volume massimo invasabile: (piena millenaria)	**≈ 5 M mc**
Livello max regolazione:	**290.0 m slm**
Sup. lago al livello max regolazione:	**66 ha**
Volume utile (max regolazione):	**4 Ml mc**

di cui
1÷3 M mc per laminazione delle piene.

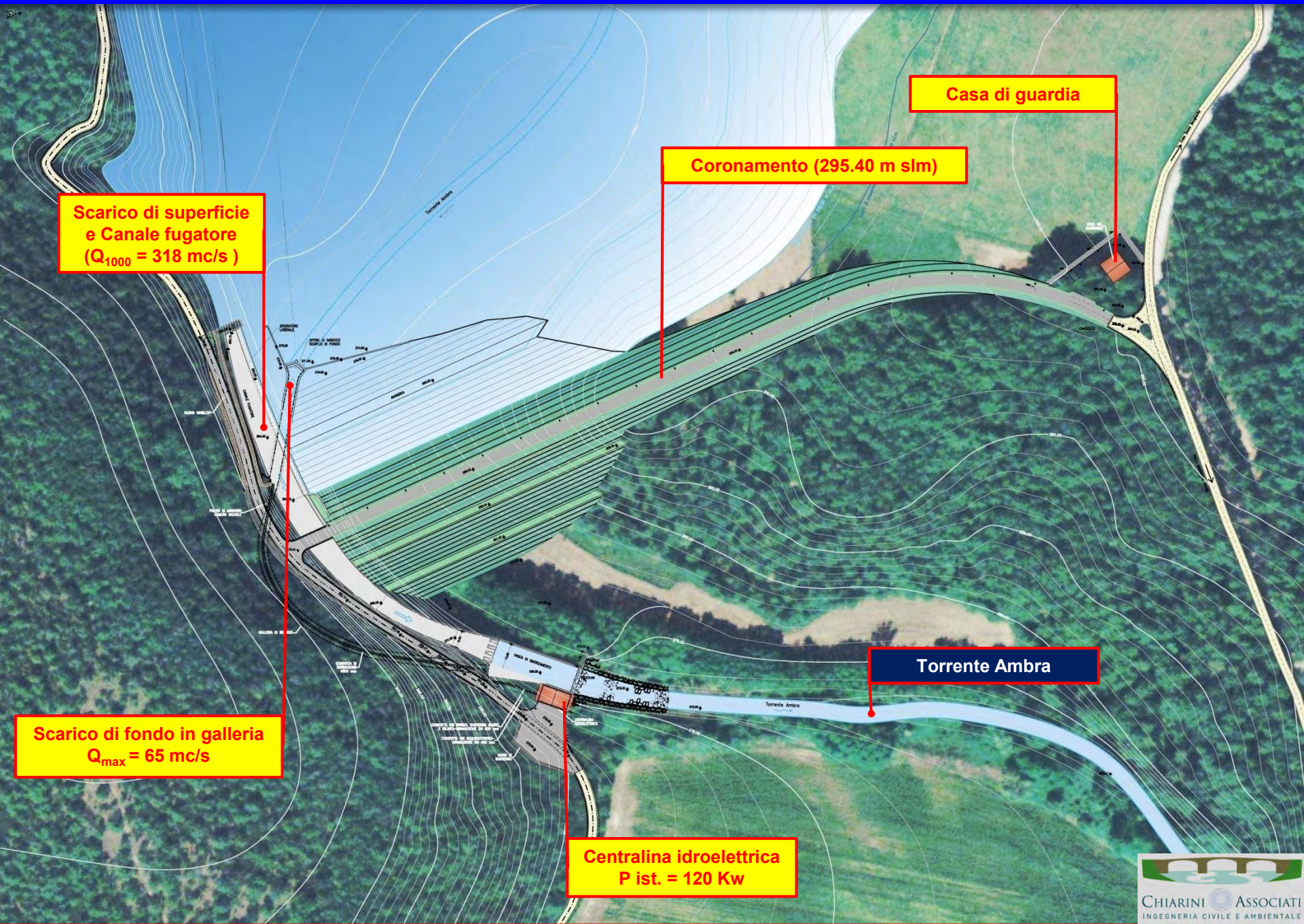
CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Principali elementi progettuali dello studio di fattibilità dell'Invaso artificiale di Castello di Montalto sul Torrente Ambra

Vista a volo d'uccello sul lago artificiale alla quota di massima regolazione

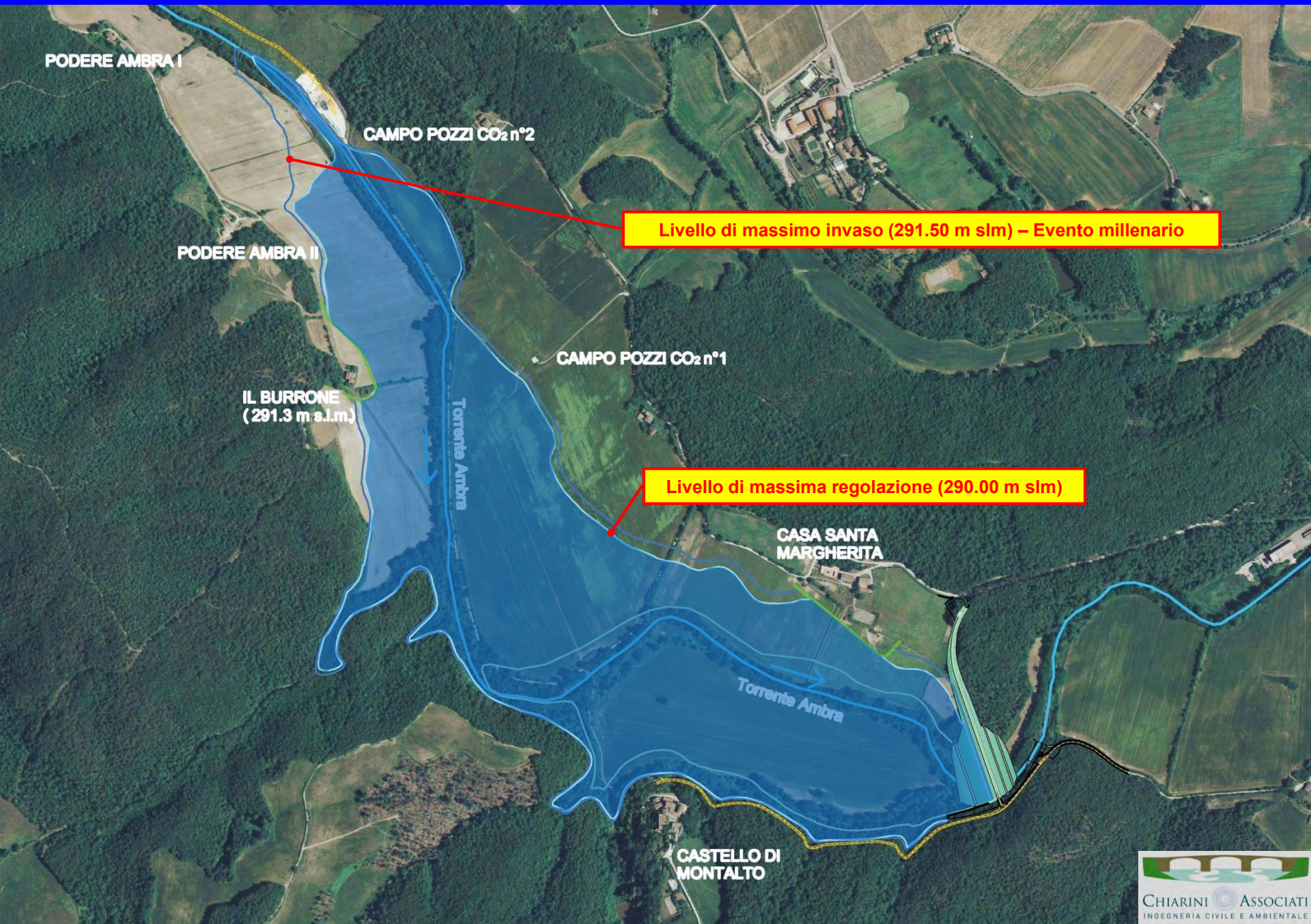
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Planimetria dell'opera di sbarramento

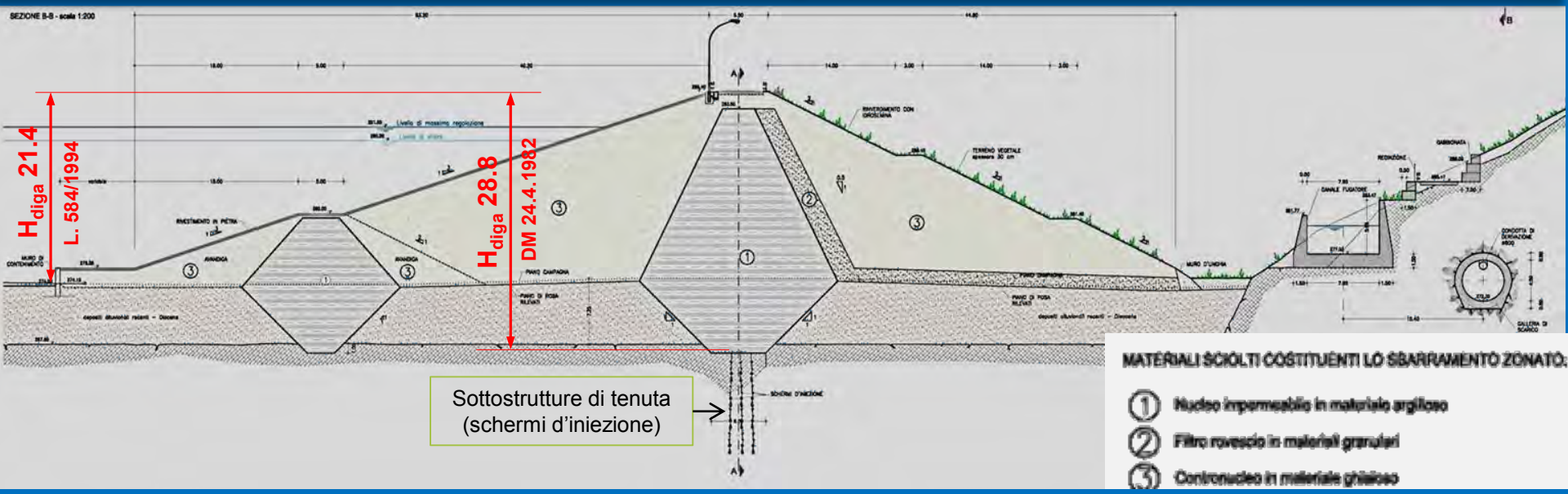


CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

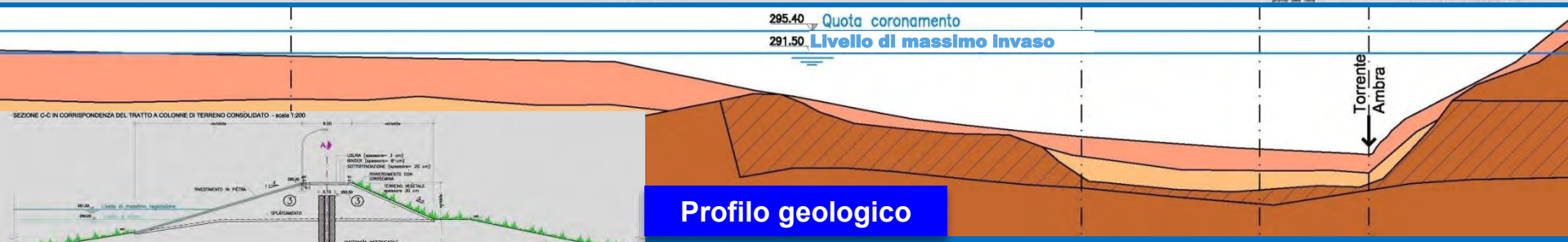
Planimetria dell'invaso



Sezione maestra della diga (zonata in materiali sciolti)

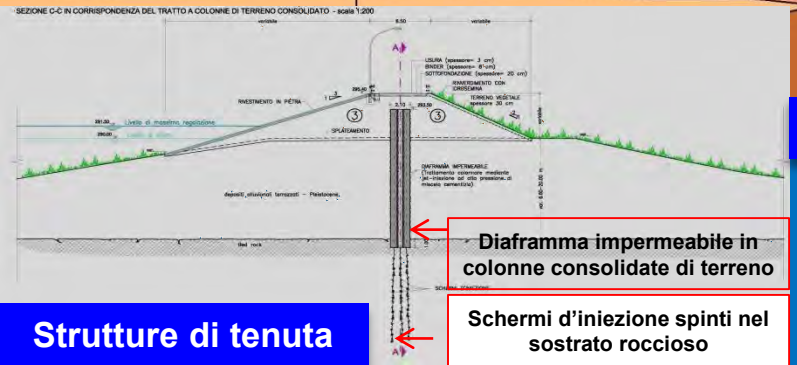


Profilo in asse coronamento



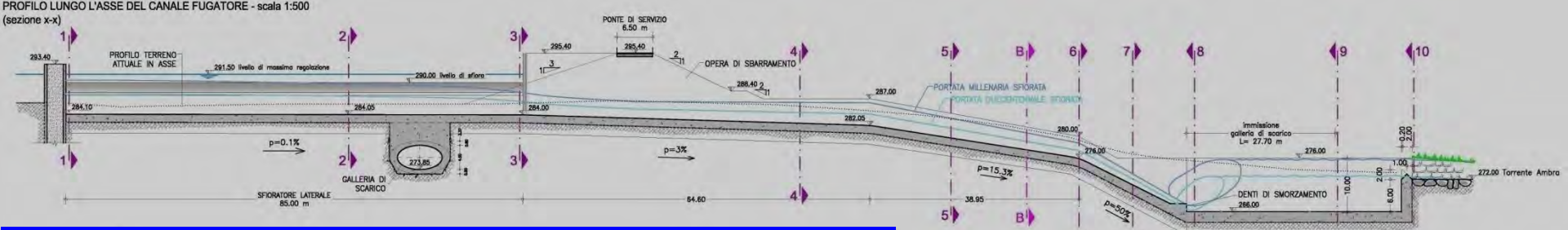
Profilo geologico

- Ghiaie e sabbie fluviali con prevalenza di ciottoli centimetrici in matrice sabbioso-limosa (Depositi alluvionali recenti - Olocene)
- Sabbie prevalenti in matrice limoso - argillosa (Depositi alluvionali terrazzati - Pleistocene)
- Bed rock densamente fratturato (Macigno - Oligocene sup.-Miocene inf.)
- Bed rock da compatto a debolmente fratturato (Macigno - Oligocene sup.-Miocene inf.)

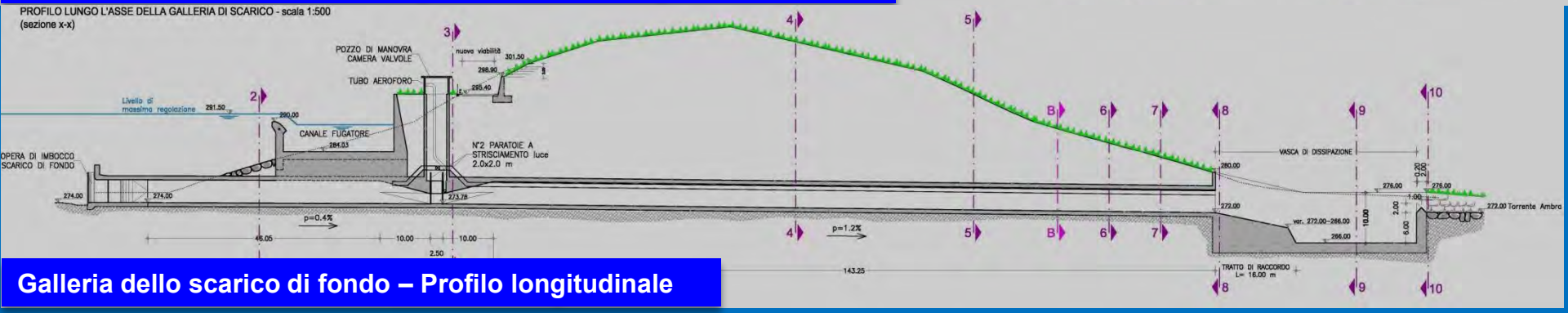


Strutture di tenuta

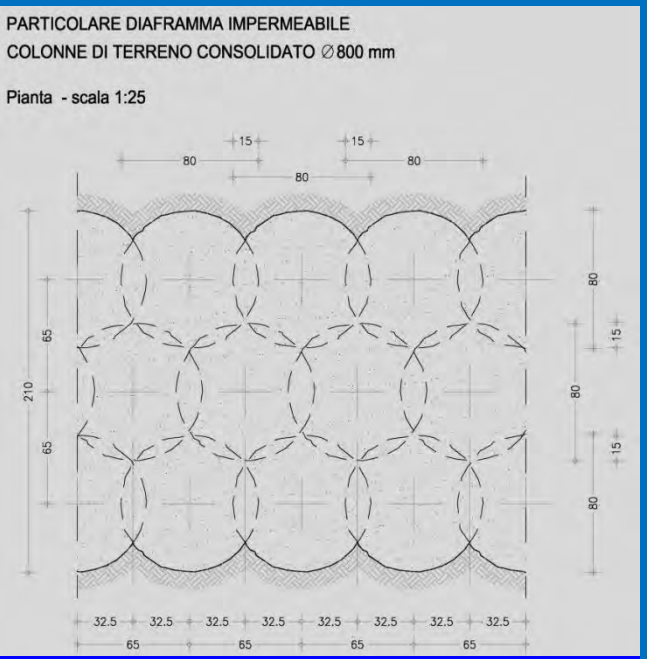
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE



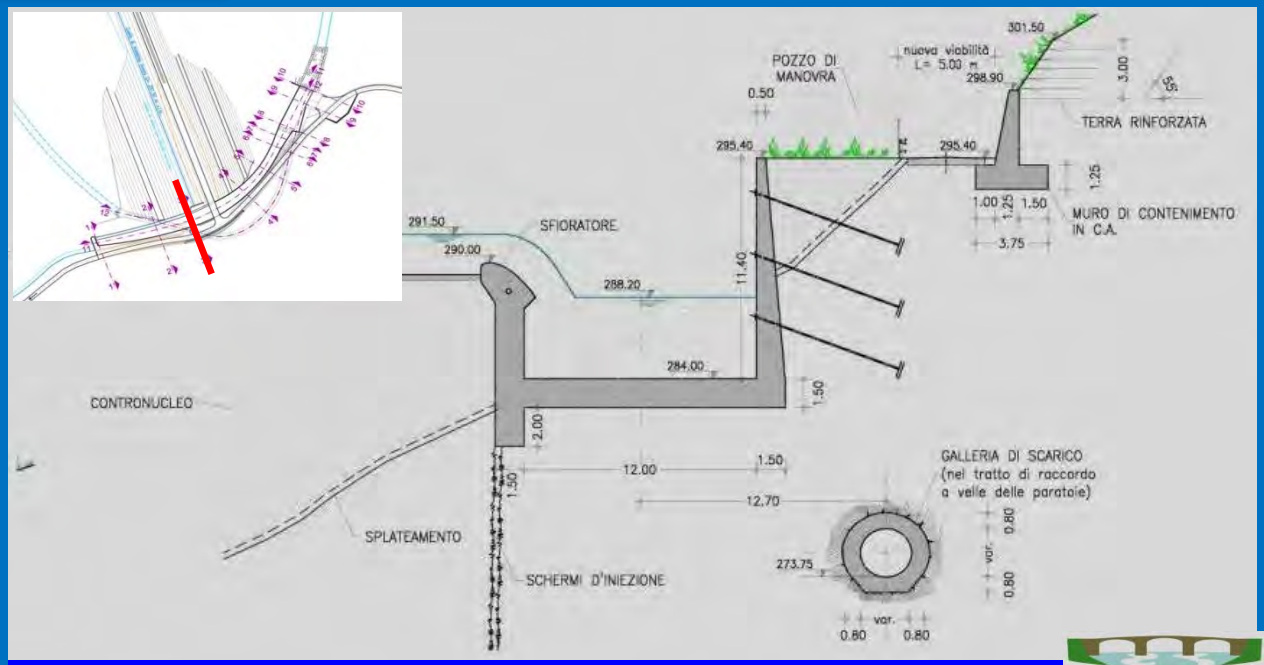
Scarico di superficie e canale fugatore – Profilo longitudinale



Galleria dello scarico di fondo – Profilo longitudinale



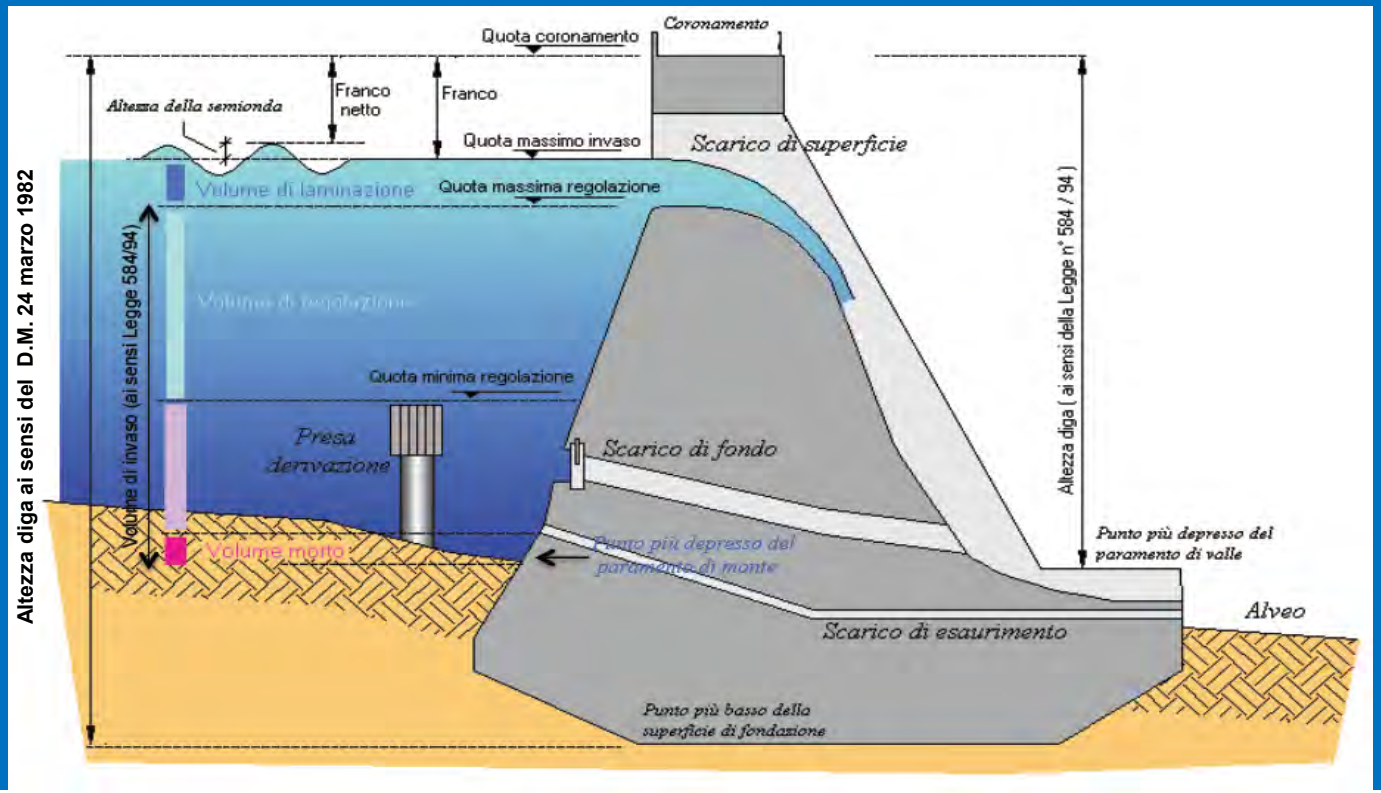
Diaframma di tenuta (Jet grouting)



Sezione canale fugatore e sfioratore con profilo Creager

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Determinazione del franco della diga zonata in materiali sciolti (D.M. 24.03.1982)



Parametri per la determinazione del franco minimo secondo il D.M. 24 Marzo 1982

Quota fondazione	Quota coronam.	Altezza sbarram.	Franco minimo	Incremento per sisma	Cedimento previsto	Franco netto	Semi-ampiezza onda massima	Franco
[m slm]	*[m slm]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*	*[m]*
266,60	295,40	28,80	2,42	0,67	0,13	3,22	0,68	3,90

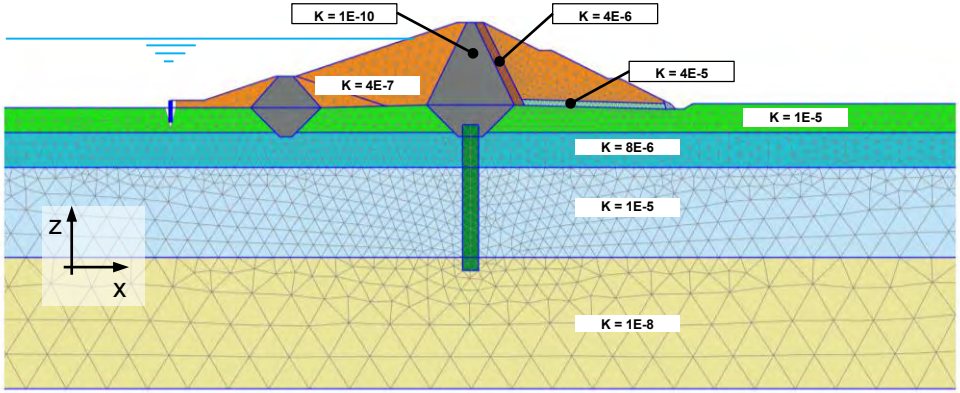
Per quanto concerne poi la larghezza del coronamento, la normativa impone che essa non sia inferiore al doppio del franco netto calcolato (6.44 m): il valore prescelto è stato di 6.50 m.

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

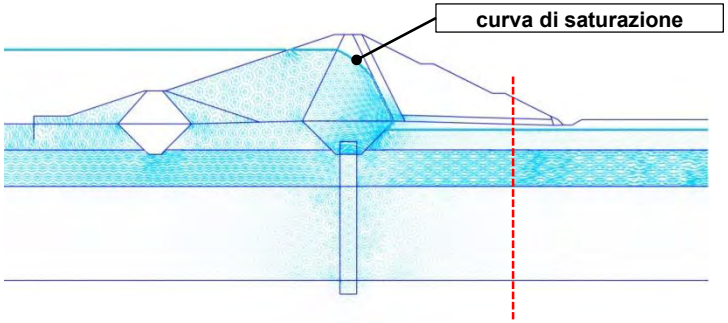
Reticolo idrodinamico e valutazione della portata di filtrazione

Scenario massima regolazione (filtrazione in moto stazionario)

Soluzione numerica dell'equazione di Laplace $\nabla^2\left(z+\frac{u}{\gamma_w}\right)=0$ mediante modello agli elementi finiti.

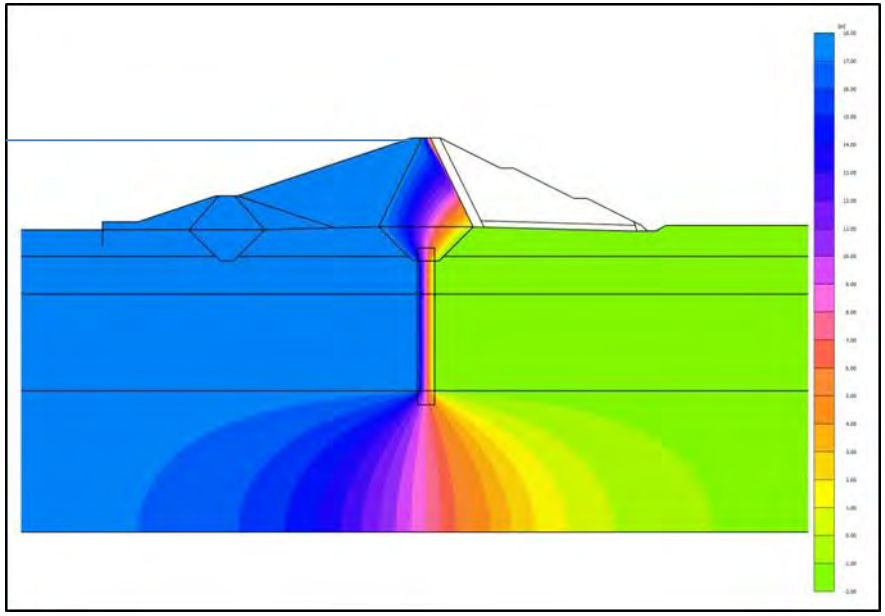


Coefficienti permeabilità [m/s] e mesh (solutore PLAXIS 2D v.2015 R01)

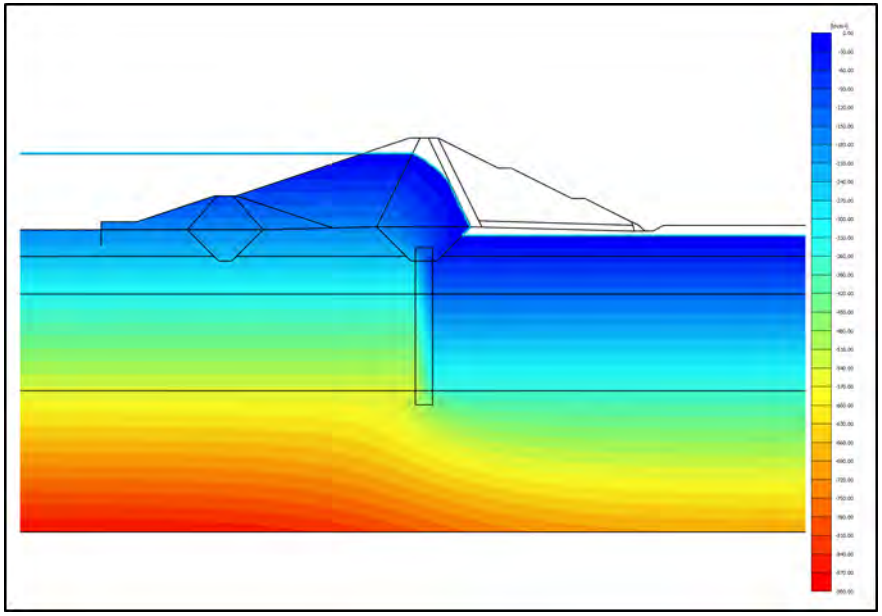


Portata totale di filtrazione Q_f = 1.65 l/m/die

Campo di moto v(x,z) e portata filtrante per metro



Linee equipotenziali del carico piezometrico h(x,z) [m]

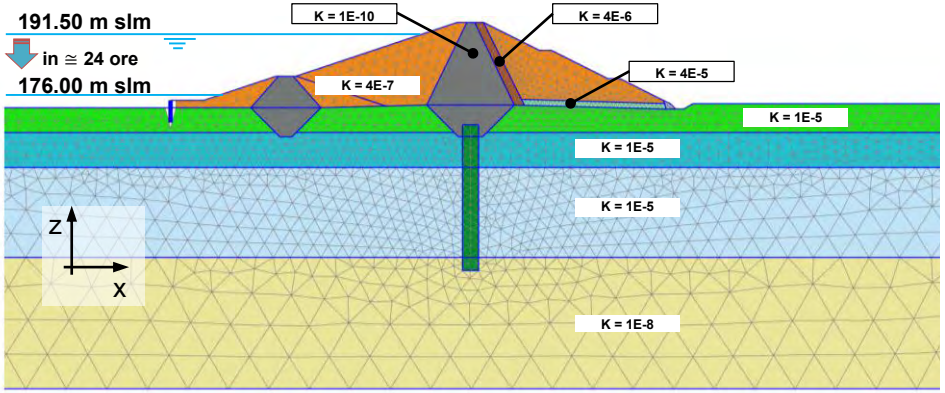


Andamento delle pressioni neutre u(x,z) [step cromatico 3 m c.a.]

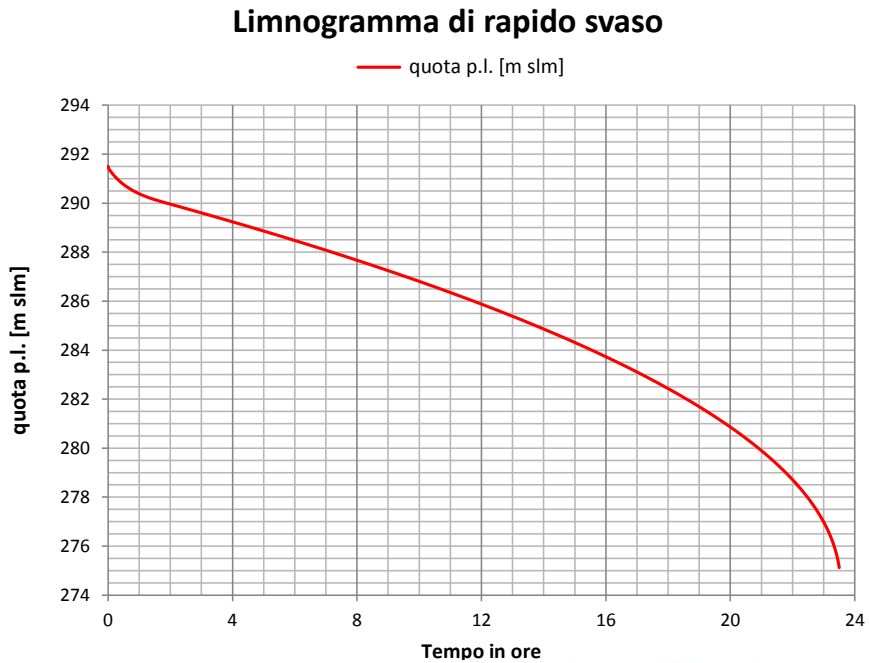
Reticolo idrodinamico e valutazione effetti di rapido svaso

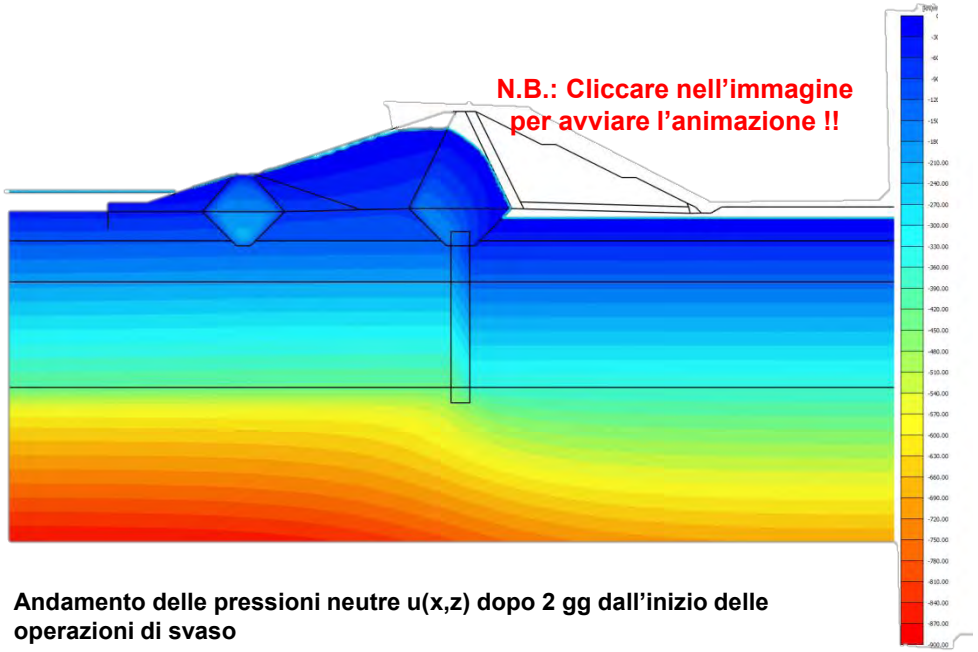
*Scenario **rapido svaso** (filtrazione in moto vario)*

Dal livello di massimo (+291.5 mslm) a minimo invaso (+

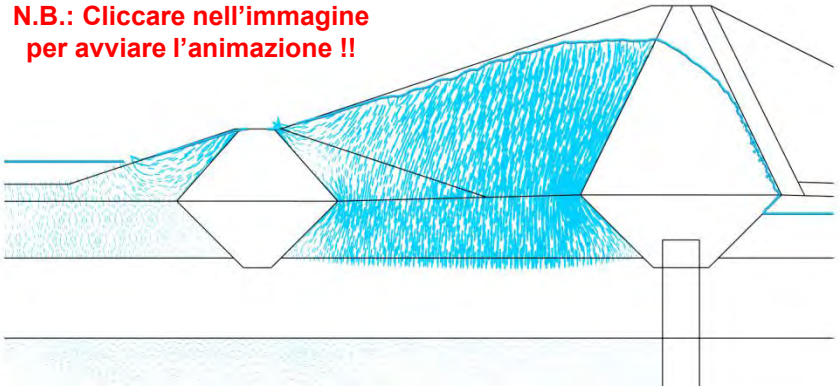


Mesh di calcolo e Coefficienti permeabilità [m/s] (solutore PLAXIS 2D v.2015 R01)





Andamento delle pressioni neutre u(x,z) dopo 2 gg dall'inizio delle operazioni di svaso



Campo di moto v(x,z) dopo 2 gg dall'inizio delle operazioni di svaso

Verifiche di stabilità del corpo diga (DM. 26 giugno 2014 - MIT)

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

VERIFICHE DI STABILITÀ ALL'EQUILIBRIO LIMITE

(Approccio 1 – Combinazione 2 – A2 M2 R2)

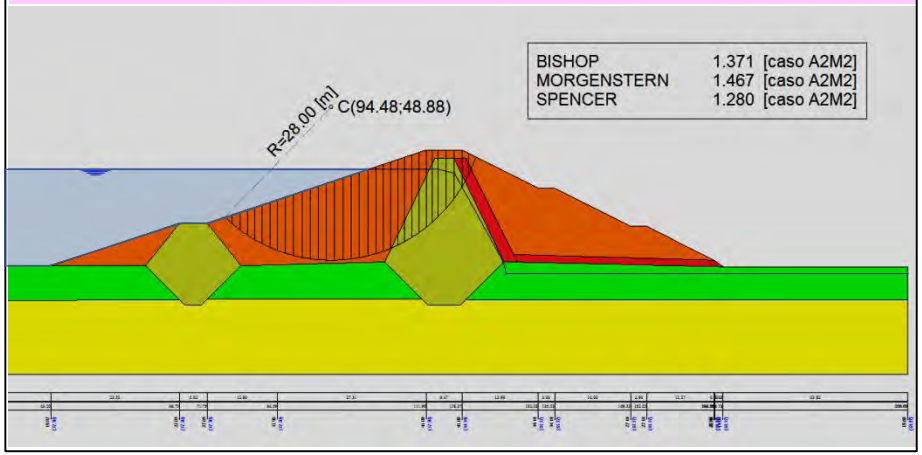
Esercizio / Azioni	Max. regol.	Max invaso	Rapido svaso
Statiche	x	x	x
Sismiche	x		

Vita nominale	Coeff. uso	Periodo di riferimento
V_N (anni)	C_U	V_R (anni)
100	2	200

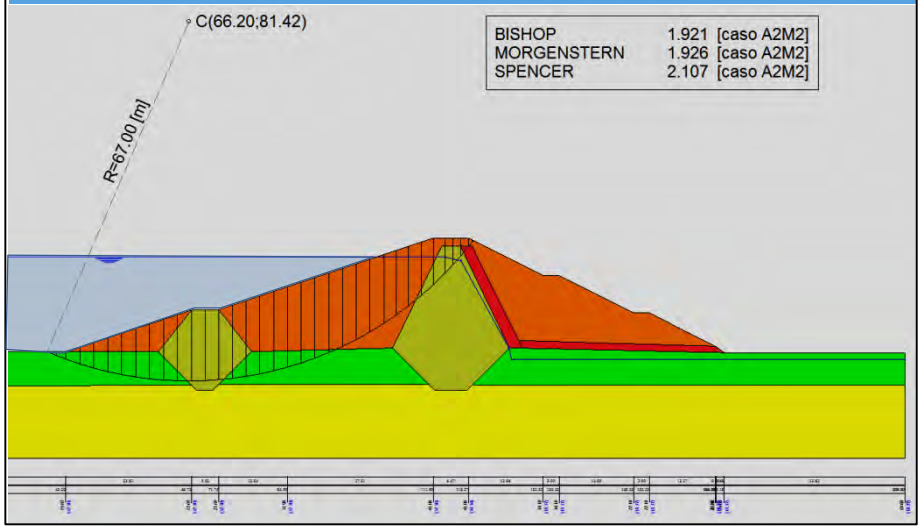
Classe suolo	Cat. Topog.	S_s	S_T
E	T1	1.44	1.2

	Tempo ritorno	Acc. Suolo	Fatt. ampl.	Temp. car.	Acc. Massima	Coeff. rid. acc.	Coeff. sis. oriz.
Stato limite	T_R	a_g/g	F0	T_C*	a_{max}/g	β_{max}	k_h
[-]	[anni]	[g]	[-]	[s]	[g]	[-]	[-]
SLO	120	0.073	2.626	0.280	0.126	0.20	2.52%
SLD	200	0.088	2.605	0.287	0.152	0.20	3.04%
SLV	1900	0.194	2.423	0.300	0.335	0.24	8.05%
SLC	**2475**	0.210	2.422	0.303	0.363	0.28	**10.16%**

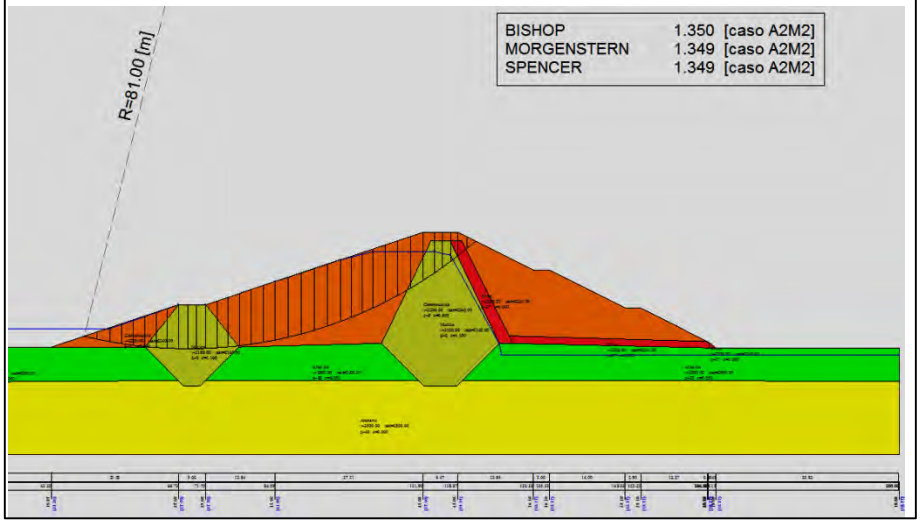
Scenario 1: Max. regolazione (+290.0 m slm) con sisma SLC k_h = 10.16%
FS_{min} = 1.28 > 1.20



Scenario 2: Max. invaso (+291.5 m slm) senza sisma
FS_{min} = 1.921 > 1.20

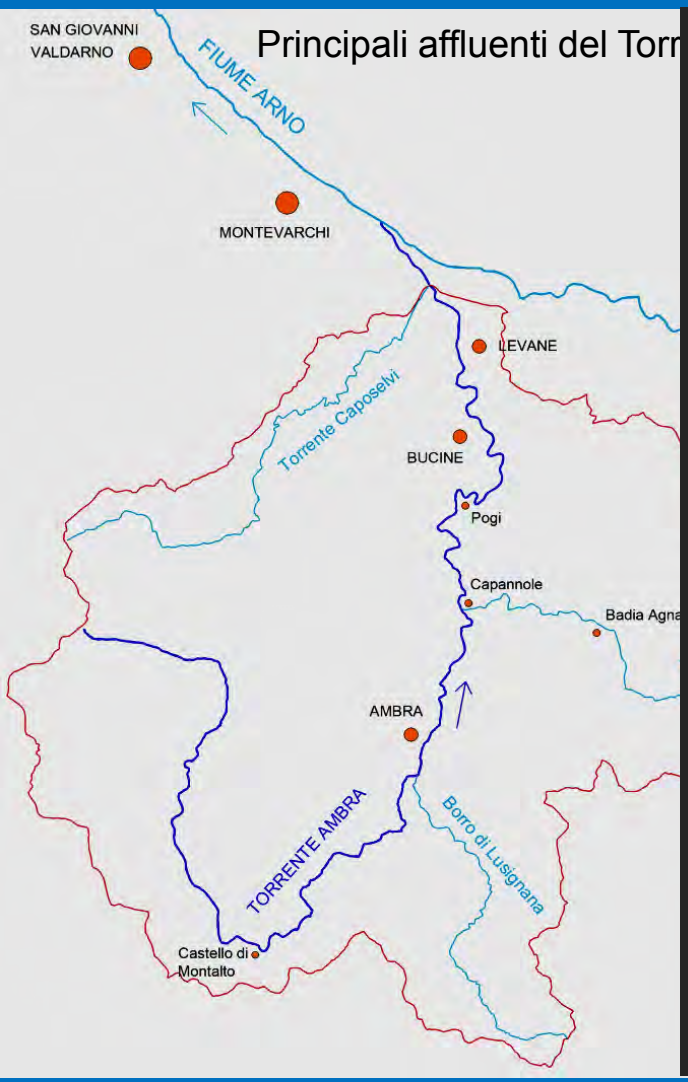


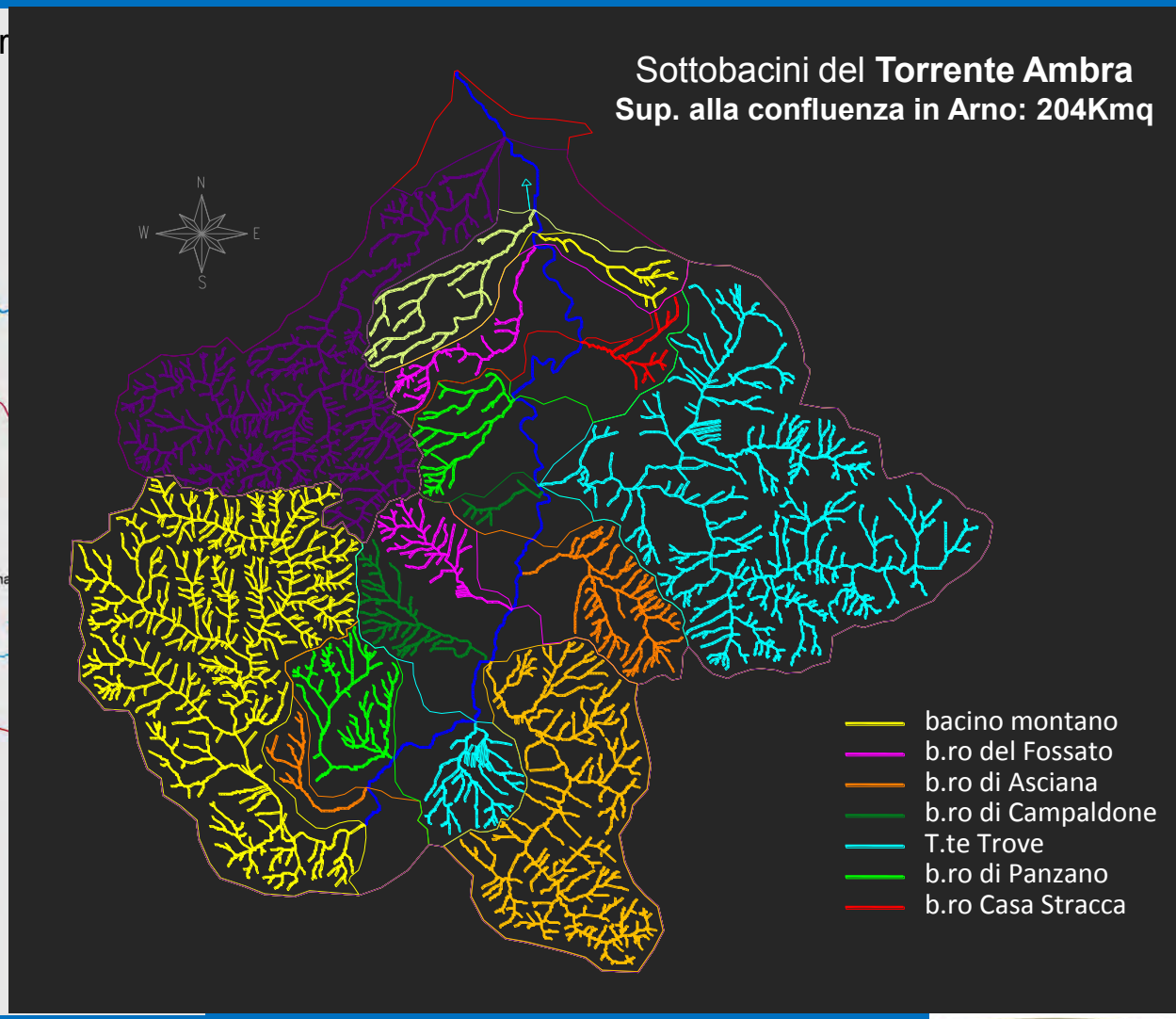
Scenario 3: Rapido svaso no sisma
FS_{min} = 1.349 > 1.10



(Analisi realizzate tramite STAP Full rev.12 - Aztec Informatica)

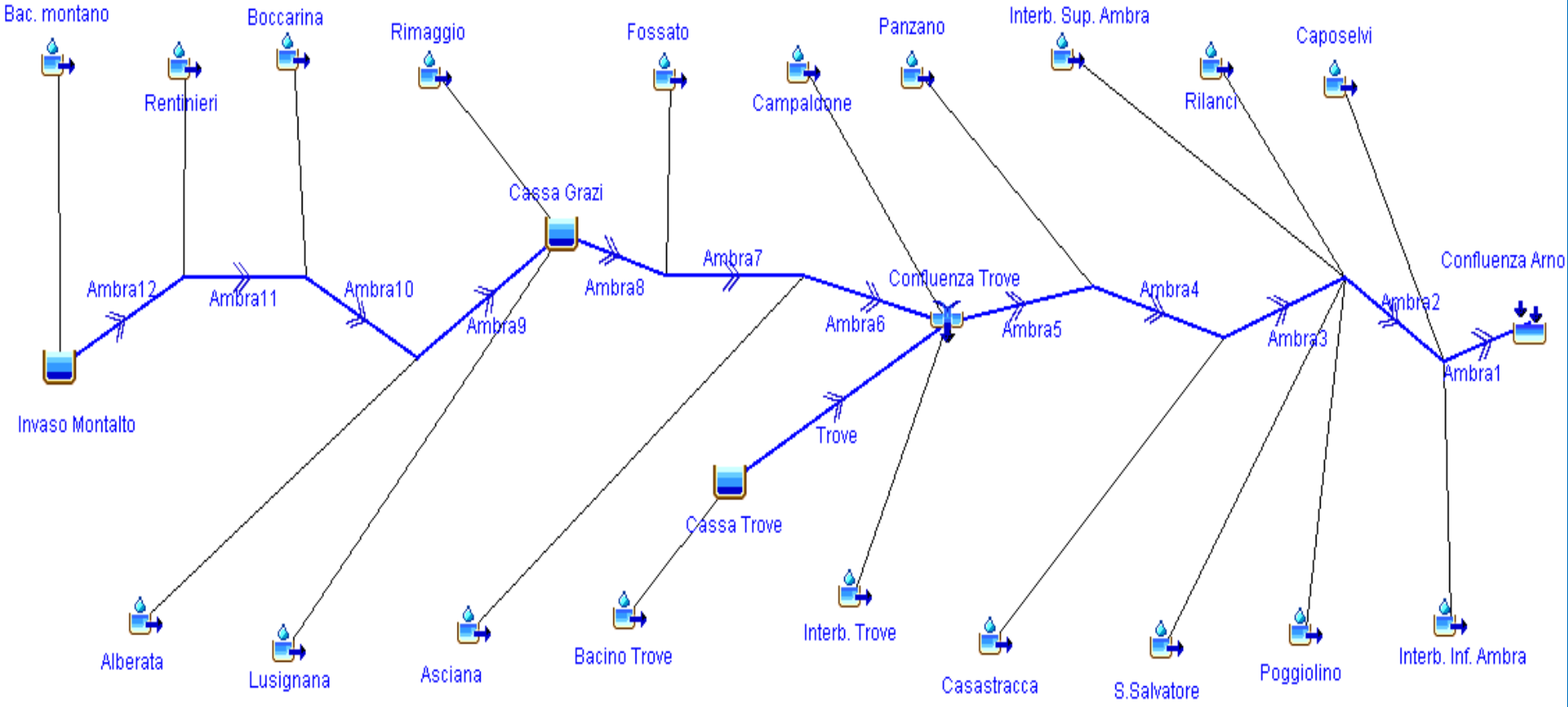
Il modello (HMS) per la simulazione della formazione e propagazione delle onde di piena nel bacino del T. Ambra e per lo studio degli effetti combinati delle opere di laminazione previste nel Piano Str. Rischio Idraulico





CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Il modello (HMS) per la simulazione della formazione e propagazione delle onde di piena nel bacino del T. Ambra e per lo studio degli effetti combinati delle opere di laminazione previste nel Piano Str. Rischio Idraulico



Grafo dei sottobacini ed interbacini utilizzato per la schematizzazione del modello idrologico di formazione e propagazione delle piene del T. Ambra, comprensivo delle opere di laminazione previste o già realizzate.

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Il modello matematico di formazione della piena di tipo semidistribuito e di propagazione è stato implementato mediante il software Hec-HMS (rel. 3.01), adottando i seguenti criteri operativi:

- **Suddivisione del bacino in 19 unità idrografiche (sottobacini + interbacini);**
- **Forzanti meteoriche desunte dal modello di regionalizzazione AlTo 2000;**
- **Valutazione delle perdite per infiltrazione secondo il metodo Curve Number dell' USDA SCS;**
- **Trasformazione afflussi – deflussi in ogni singolo sottobacino o interbacino mediante l'applicazione dell'idrogramma unitario SCS, particolarizzato con la stima del parametro t_{lag};**
- **Propagazione dell'onda di piena in moto vario secondo il metodo "*modified puls routing*".**

Gli scenari di simulazione che seguono analizzano la risposta del bacino agli idrogrammi naturali in ingresso, considerando gli effetti di laminazione indotti dalle opere di controllo delle piene programmate e coesistenti nelle diverse possibili combinazioni di realizzazione (± invaso di Castello di Montalto ± Cassa Ambra ± Cassa Trove) in occasione di eventi estremi distinti per:

- **tempi di ritorno (100, 200, 1000(*) anni);**
- **ietogrammi (costanti o a blocchi alternati);**
- **durate critiche di precipitazione;**
- **assetto dello scarico di fondo dell'invaso (aperto/chiuso);**
- **volume invasato e livello iniziale del lago.**

(*) Solo per la verifica dello scarico di superfice della diga

CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Laminazione delle piene a valle dell' invaso

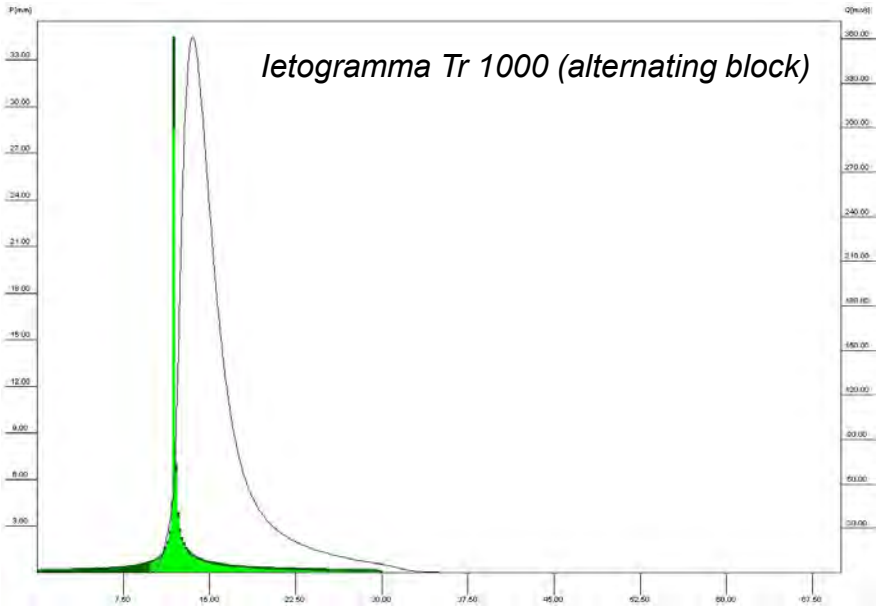
EVENTO DI PIENA MILLENARIA
durata evento meteorico = 30 ore

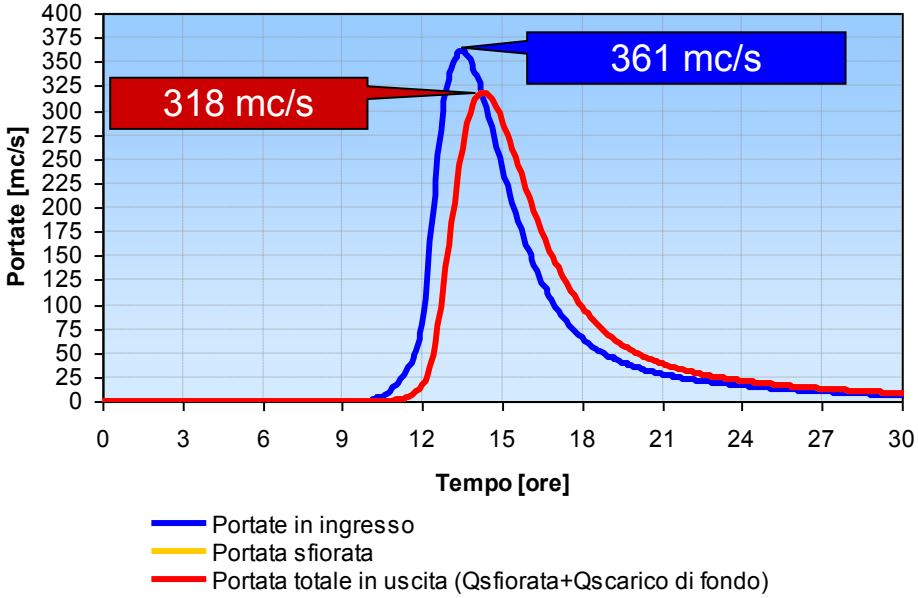
CONDIZIONI INIZIALI SCENARIO SIMULATO:

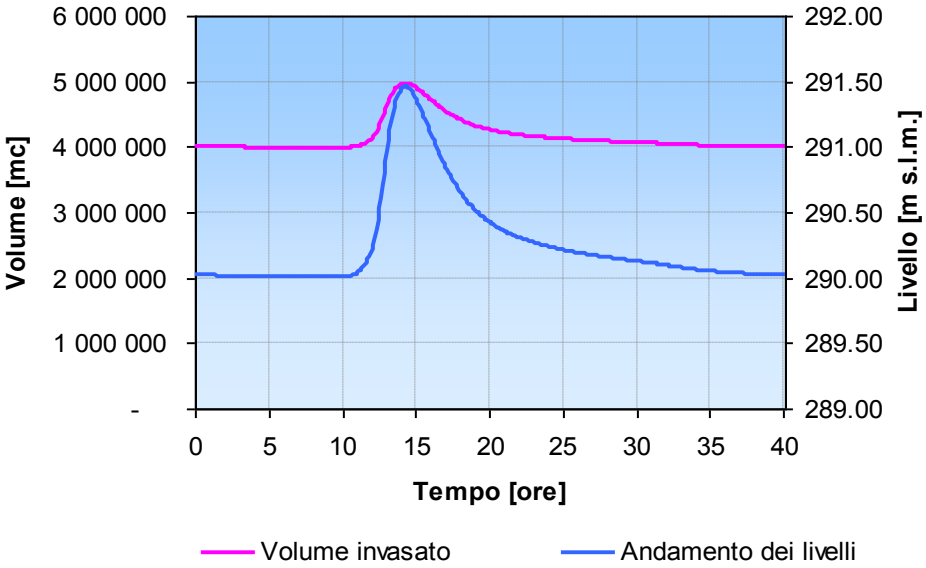
Livello del lago: 291.50 m s.l.m
Volume iniziale: 4 000 000 mc
Portata di picco: **361 mc/s**
Scarico di fondo: **chiuso**

RISULTATI:

Portata massima sfiorata: 318.13 mc/s
Portata massima in uscita: 318.13 mc/s
Efficienza di laminazione: 12%







CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Laminazione delle piene a valle dell' invaso

EVENTO DI PIENA TIPO 1966
Durata evento meteorico = 22 ore

CONDIZIONI INIZIALI SCENARIO SIMULATO:

Livello del lago: 286.19 m s.l.m

Volume iniziale: 2000000 mc **(metà capacità)**

Portata di picco: 242.58 mc/s

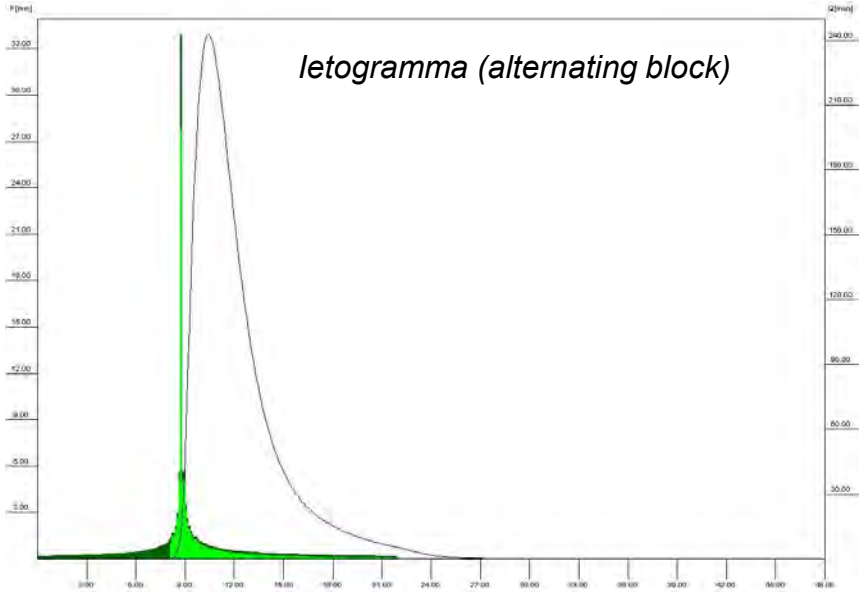
Scarico di fondo: **aperto**

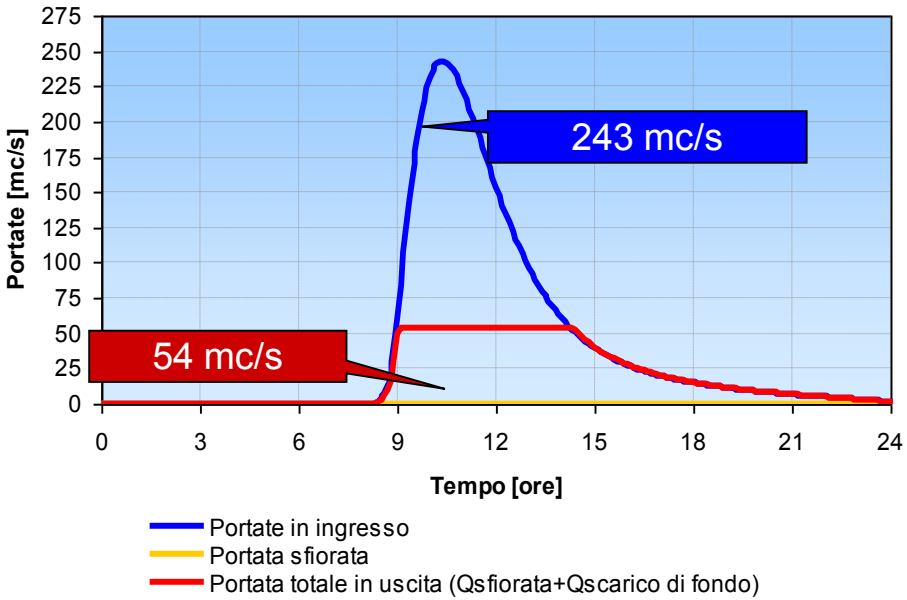
RISULTATI:

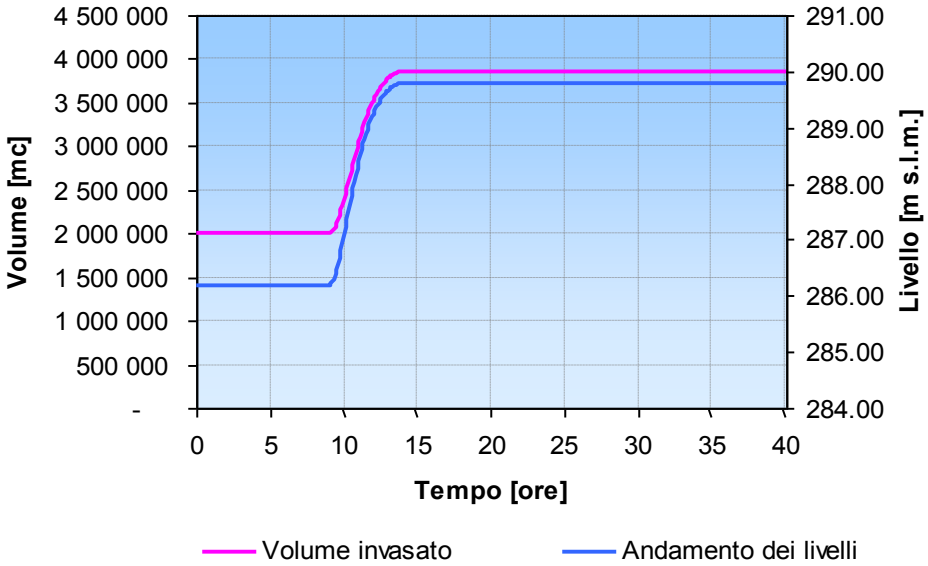
Portata massima sfiorata: 0 mc/s

Portata massima in uscita: 54 mc/s

Efficienza di laminazione: 78%







CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Laminazione delle piene a valle dell' invaso

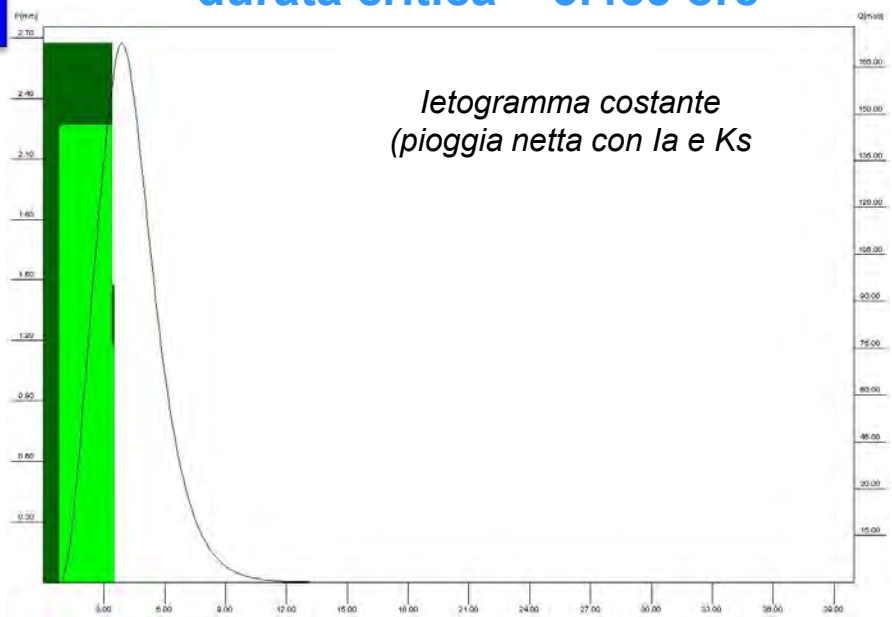
EVENTO DUECENTENNALE
durata critica = 3.455 ore

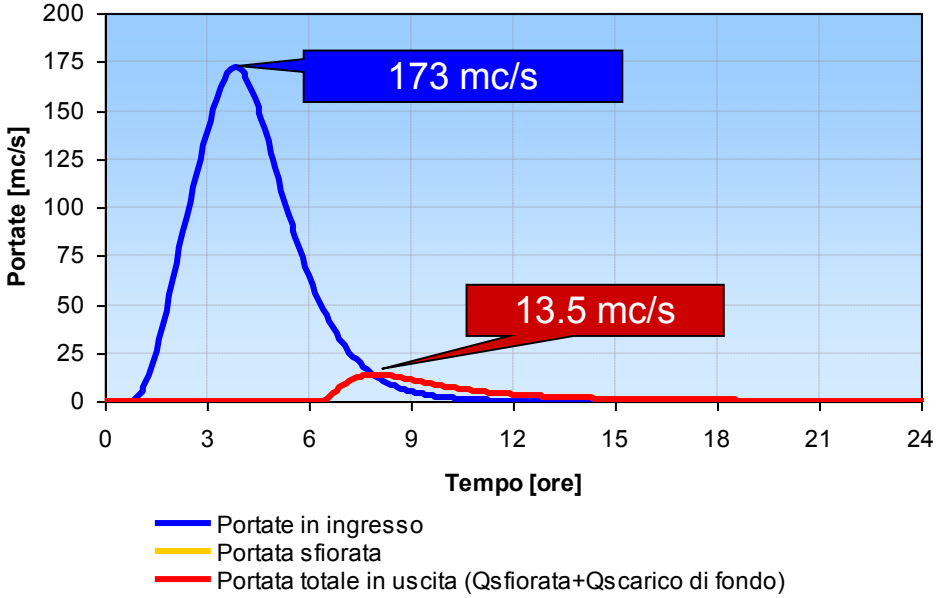
CONDIZIONI INIZIALI:

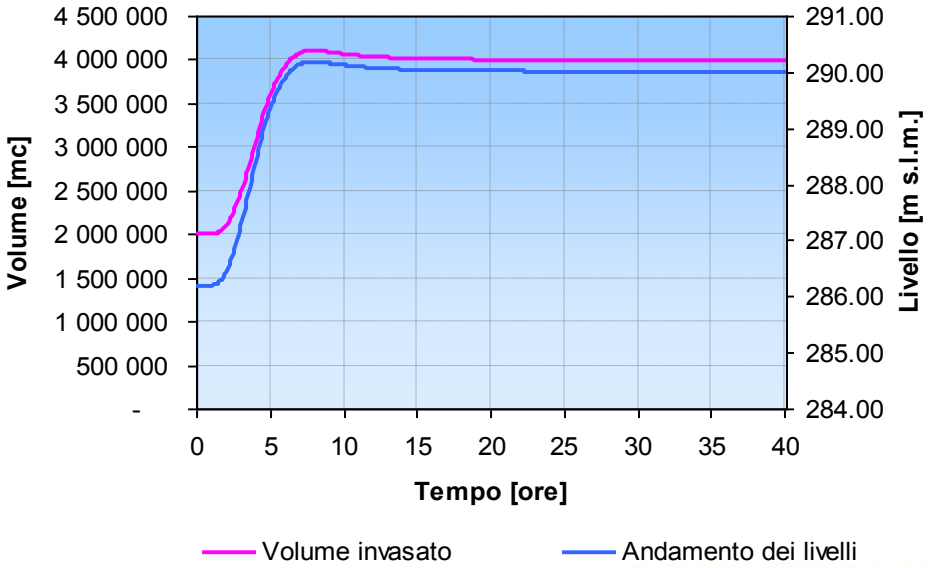
Livello del lago: 286.19 m s.l.m
Volume iniziale: 2000000 mc
Portata di picco: 172.61 mc/s
Scarico di fondo: **chiuso**

RISULTATI:

Portata massima sfiorata: 13.53 mc/s
Portata massima in uscita: 13.53 mc/s
Efficienza di laminazione: 92%







CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Laminazione delle piene a valle dell' invaso

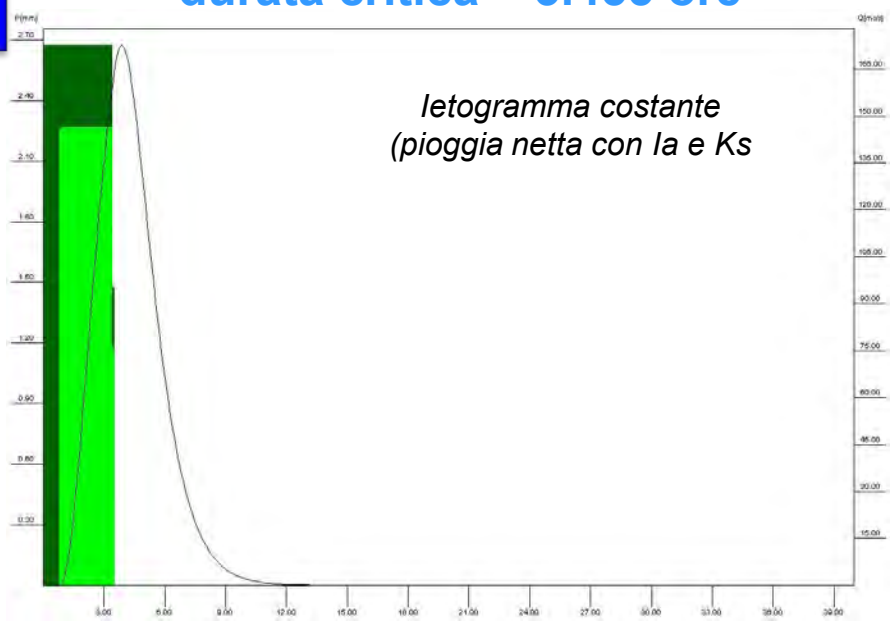
EVENTO DUECENTENNALE
durata critica = 3.455 ore

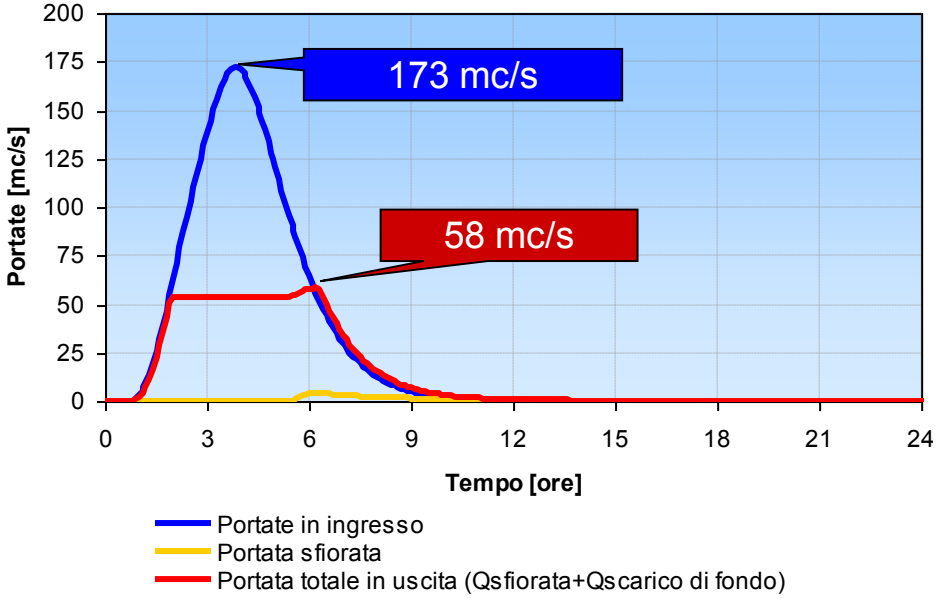
CONDIZIONI INIZIALI:

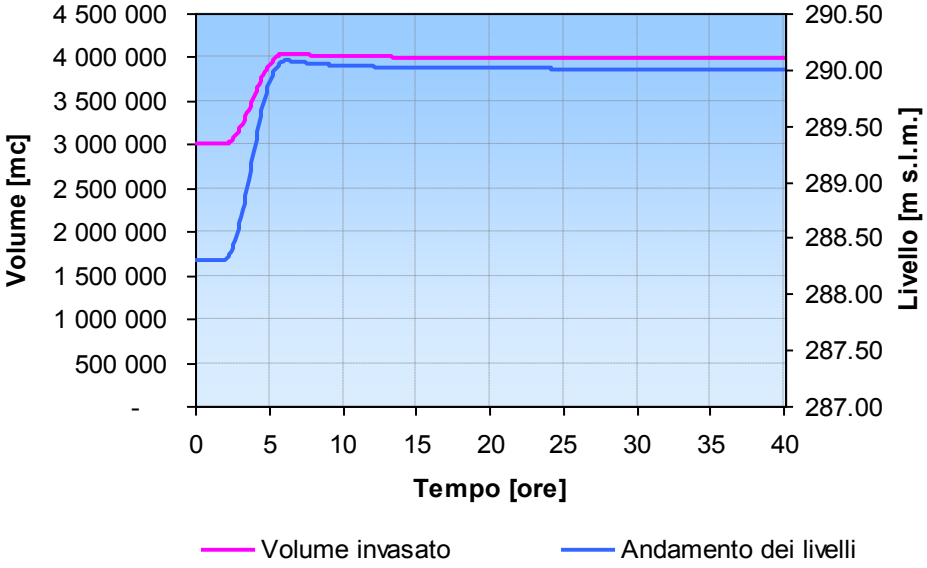
Livello del lago: 288.30 m s.l.m
Volume iniziale: 3000000 mc
Portata di picco: 172.61 mc/s
Scarico di fondo: **aperto**

RISULTATI:

Portata massima sfiorata: 4.25 mc/s
Portata massima in uscita: 58.25 mc/s
Efficienza di laminazione: 66%



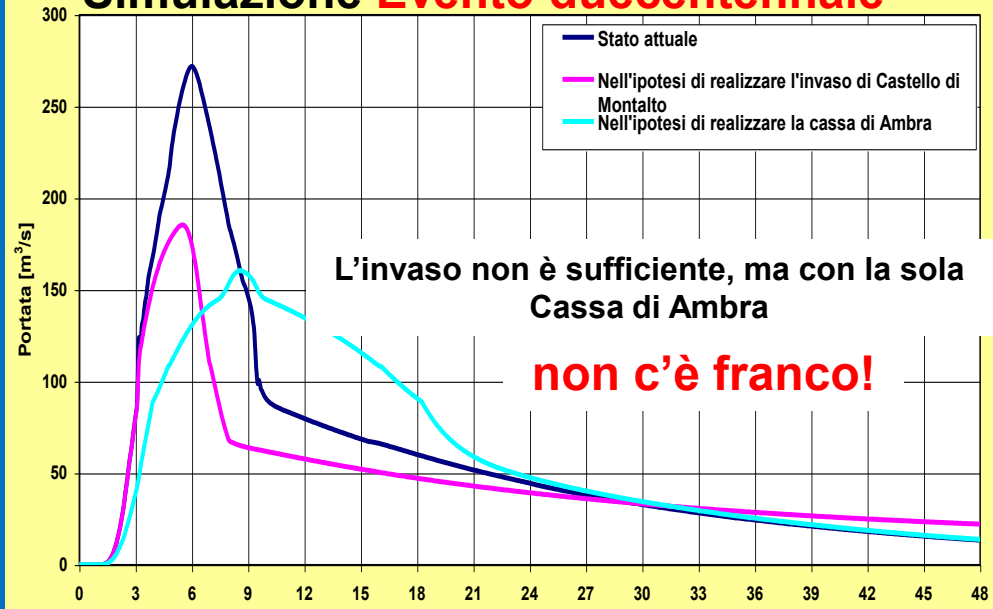




CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Sezione di Chiusura **ad Ambra**

Simulazione Evento duecentennale



L'invaso non è sufficiente, ma con la sola Cassa di Ambra

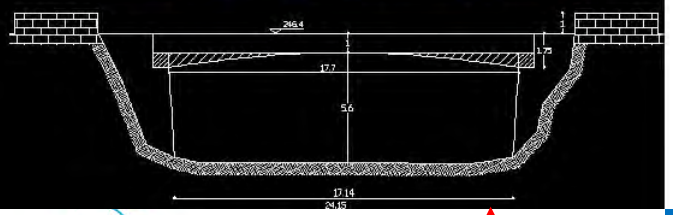
non c'è franco!

Ponte n°10

Ambra (SS 540)

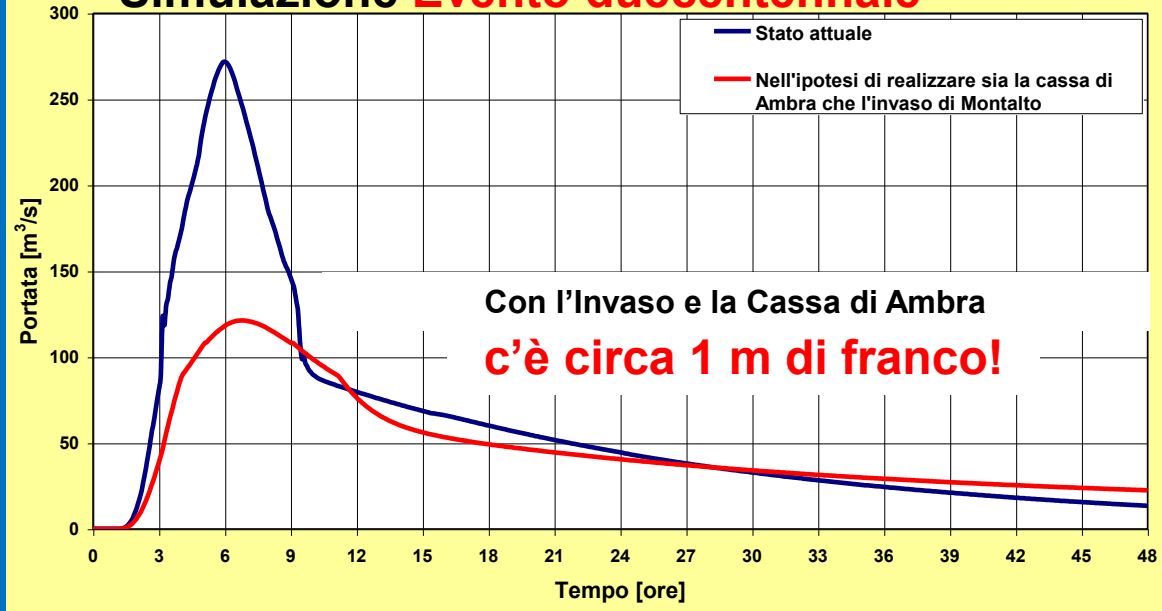
- Sezione utile: *97.68 mq*
- Battente massimo: *5.60 m*
- Larghezza: *7.6 m*

Q_{max} comp. = 160 mc/s



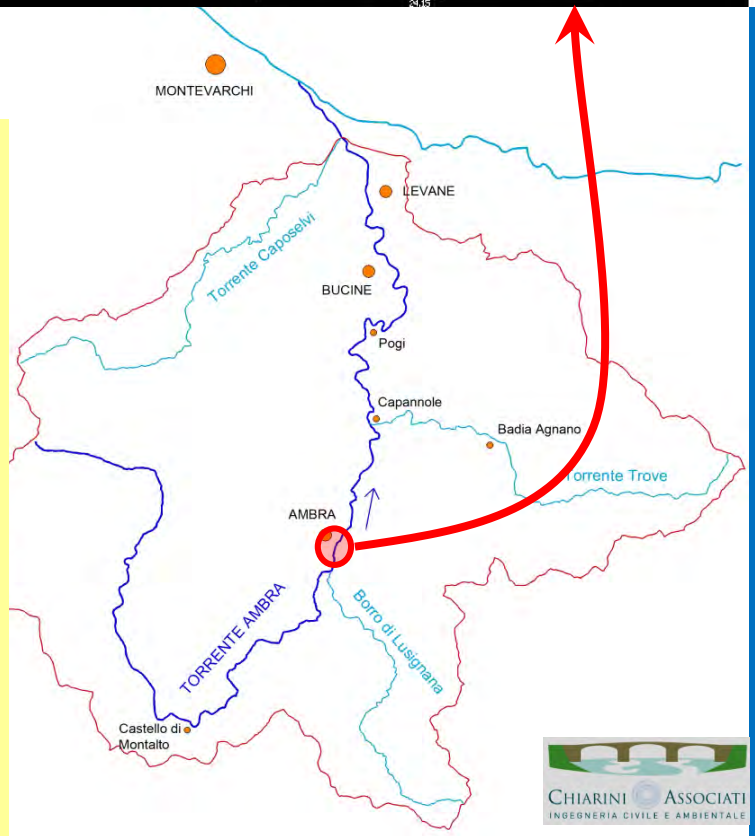
Sezione di Chiusura **ad Ambra**

Simulazione Evento duecentennale



Con l'Invaso e la Cassa di Ambra

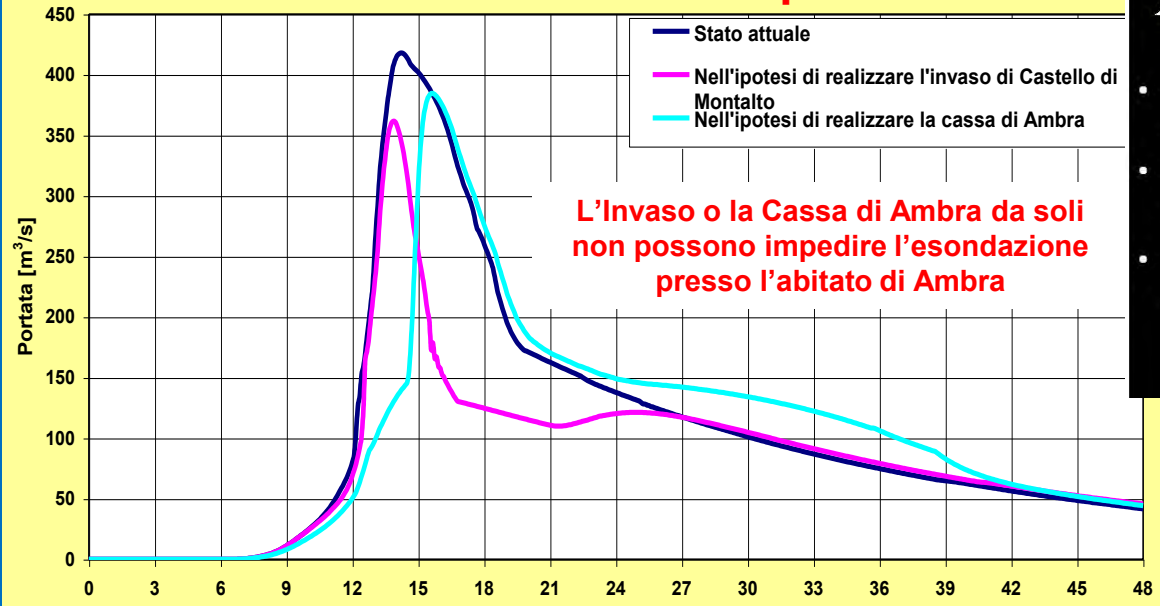
c'è circa 1 m di franco!



CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Sezione di Chiusura **ad Ambra**

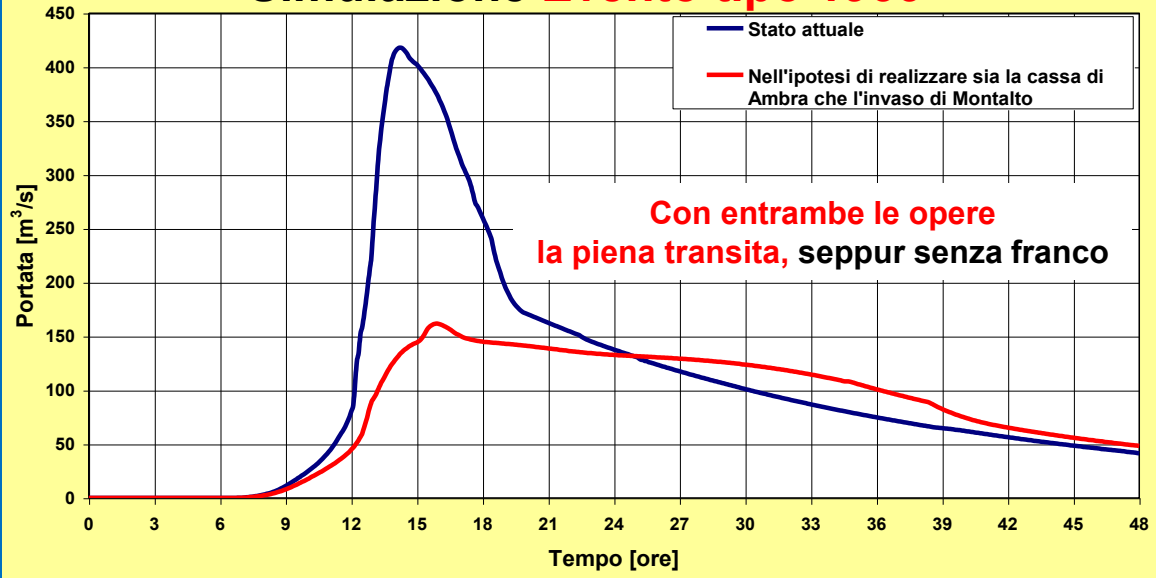
Simulazione Evento tipo 1966



L'Invaso o la Cassa di Ambra da soli non possono impedire l'esondazione presso l'abitato di Ambra

Sezione di Chiusura **ad Ambra**

Simulazione Evento tipo 1966

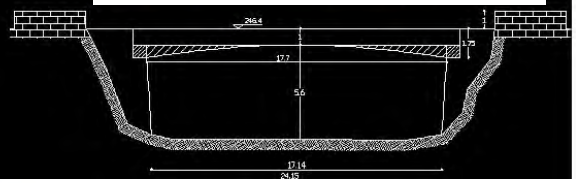


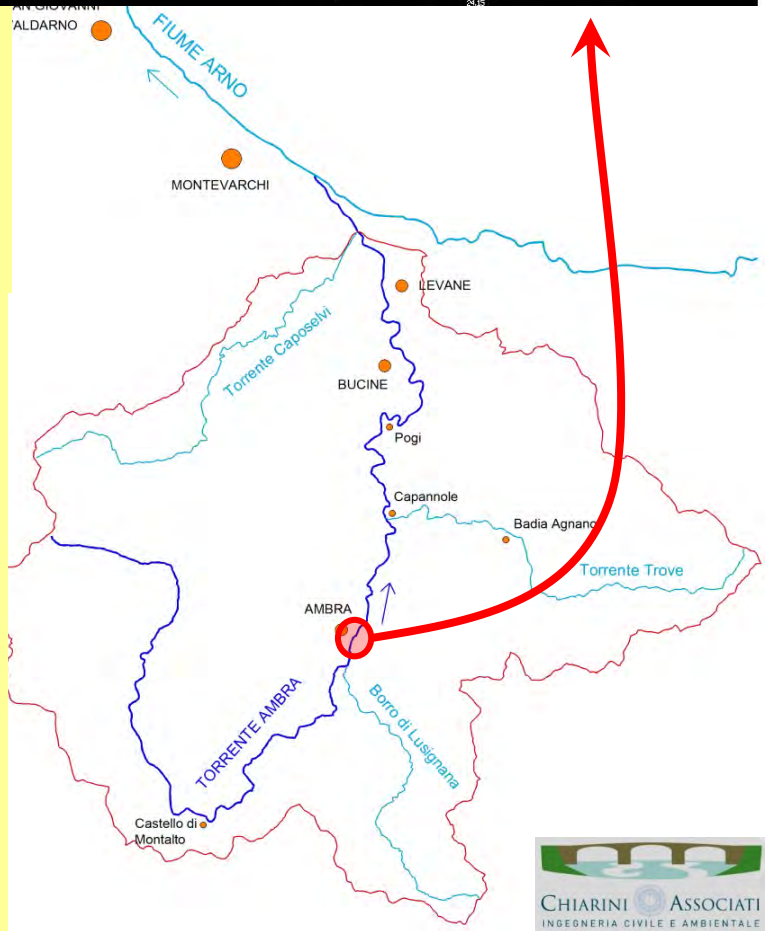
Con entrambe le opere la piena transita, seppur senza franco

Ponte n°10
Ambra (SS 540)

- Sezione utile: *97.68 mq*
- Battente massimo: *5.60 m*
- Larghezza: *7.6 m*

Q_{max} comp. = 160 mc/s



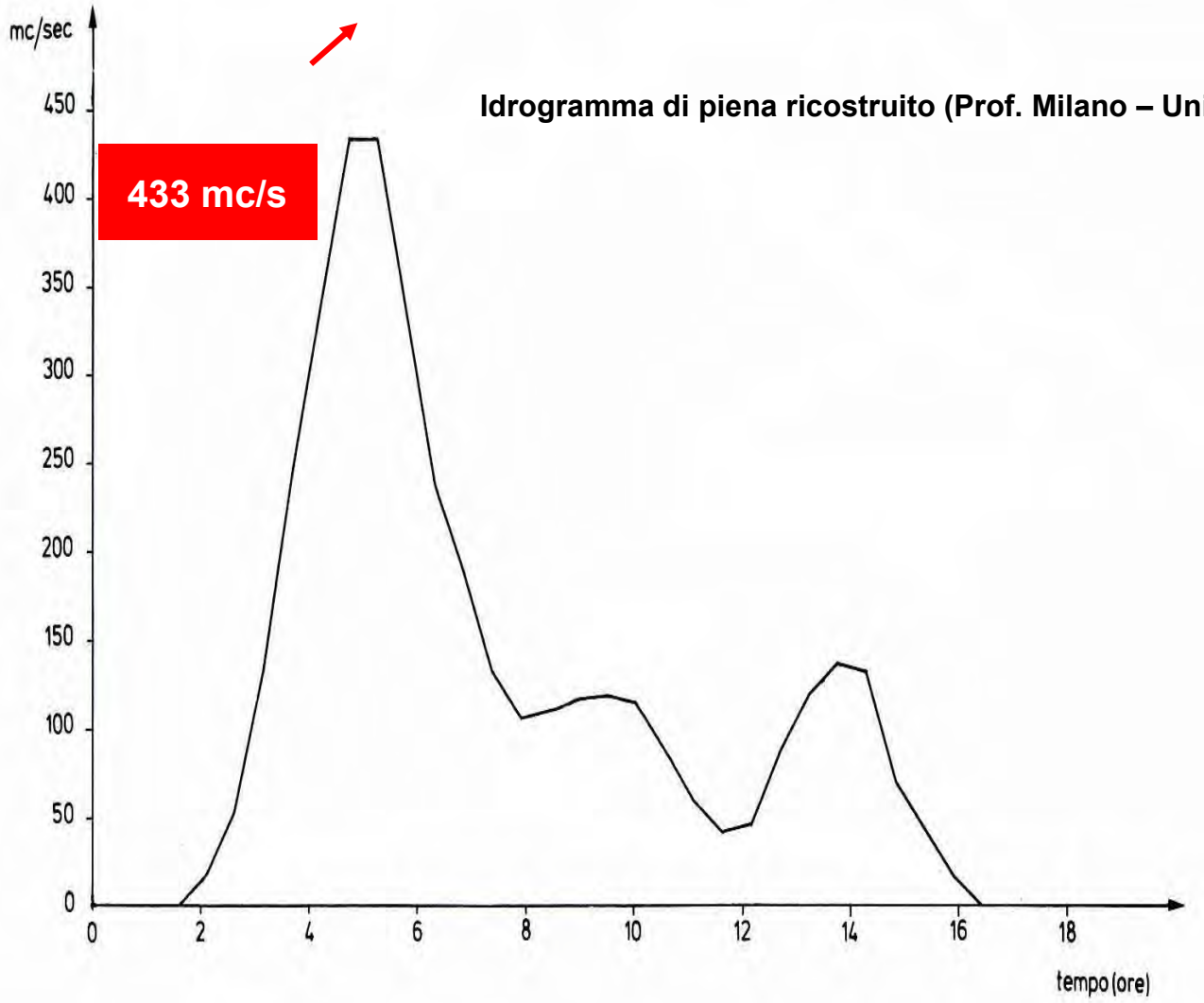


CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

La piena del 4-5 novembre 1966 nel Torrente Ambra – secondo Prof. Milano

Piano di Bacino del fiume Arno - Stralcio Rischio Idraulico

T. Ambra ad Ambra
80 Km²

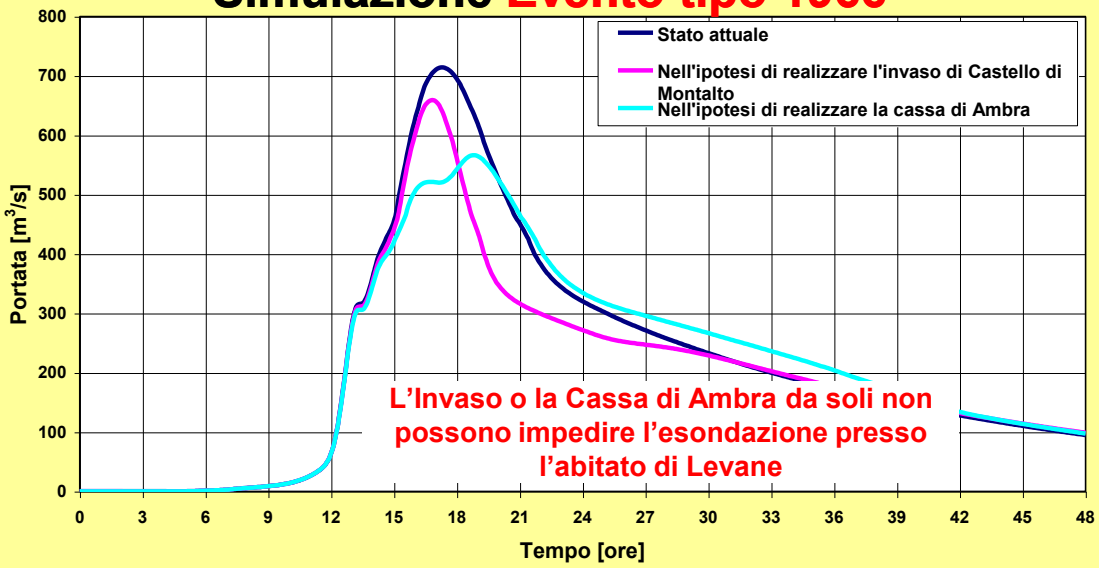


Idrogramma di piena ricostruito (Prof. Milano – Univ. Pisa)

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

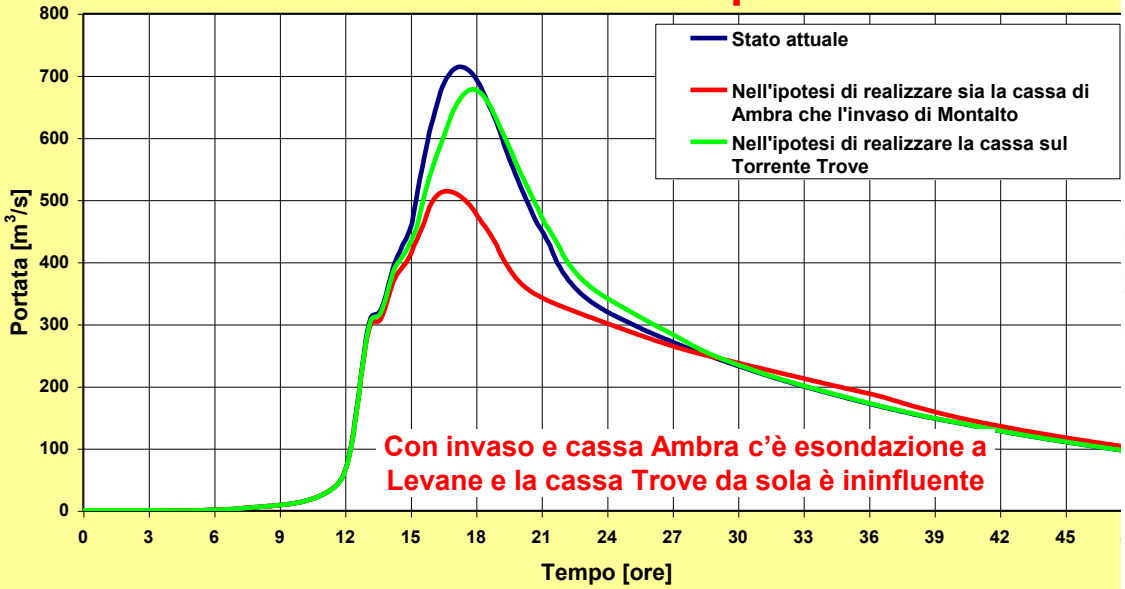
Sezione di Chiusura a Levane

Simulazione Evento tipo 1966



Sezione di Chiusura a Levane

Simulazione Evento tipo 1966

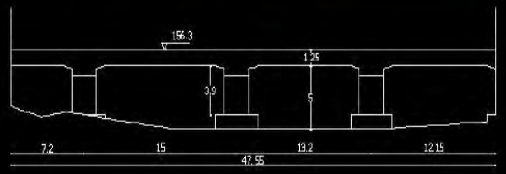


Ponte n° 1

Levane

- Sezione utile: *181.84 mq*
- Battente massimo: *5.00 m*
- Larghezza: *6.8 m*

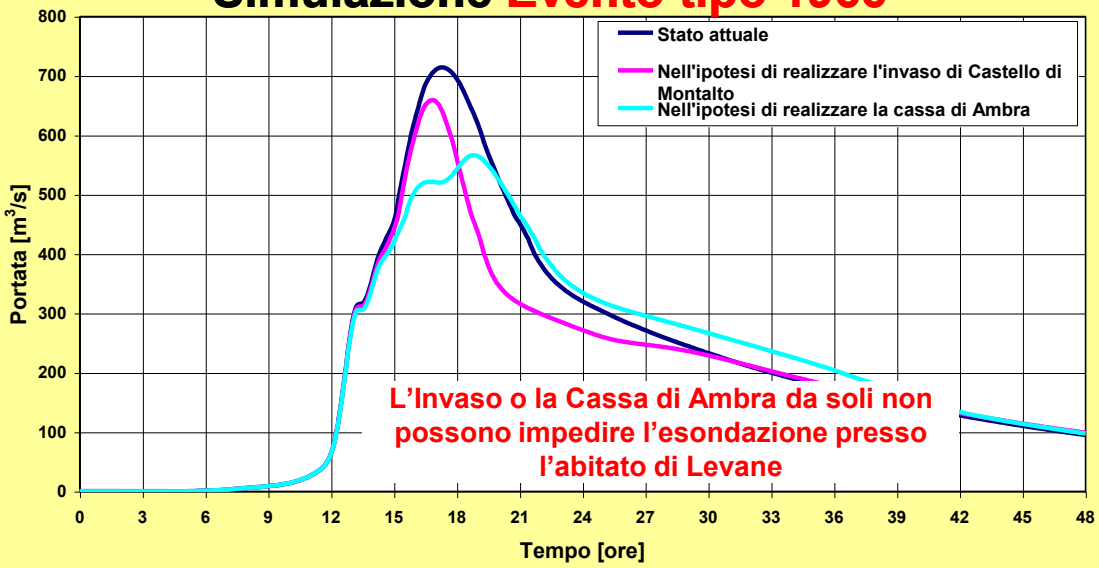
Qmax = 470 mc/s (senza franco)



CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

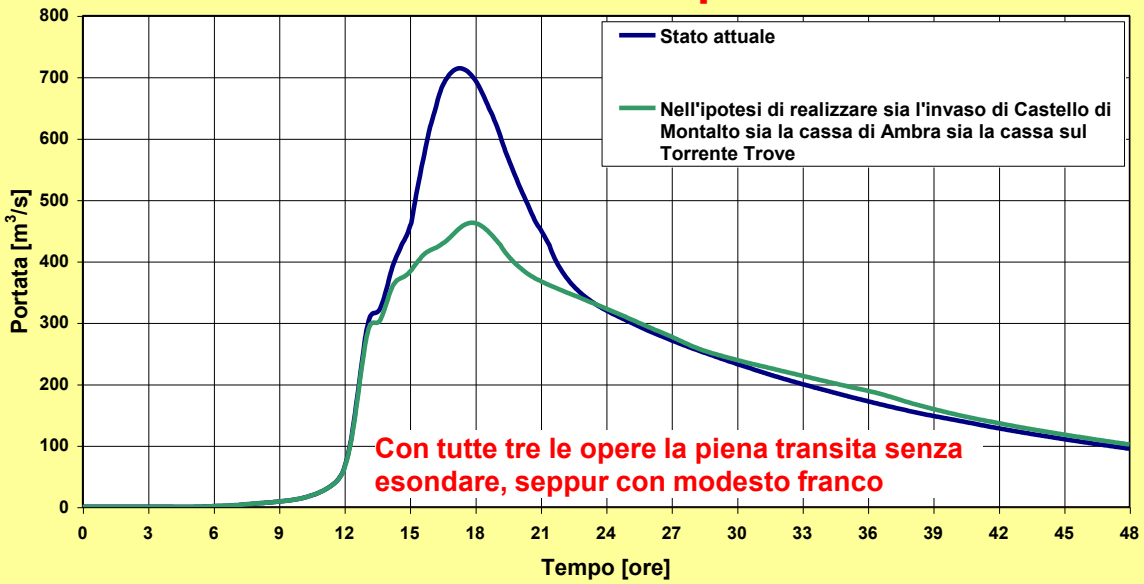
Sezione di Chiusura a Levane

Simulazione Evento tipo 1966



Sezione di Chiusura a Levane

Simulazione Evento tipo 1966

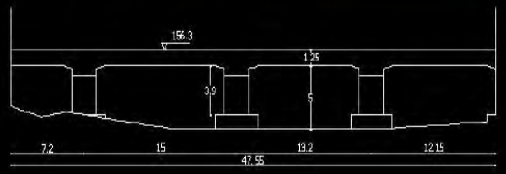


Ponte n° 1

Levane

Qmax = 470 mc/s (senza franco)

- Sezione utile: *181.84 mq*
- Battente massimo: *5.00 m*
- Larghezza: *6.8 m*

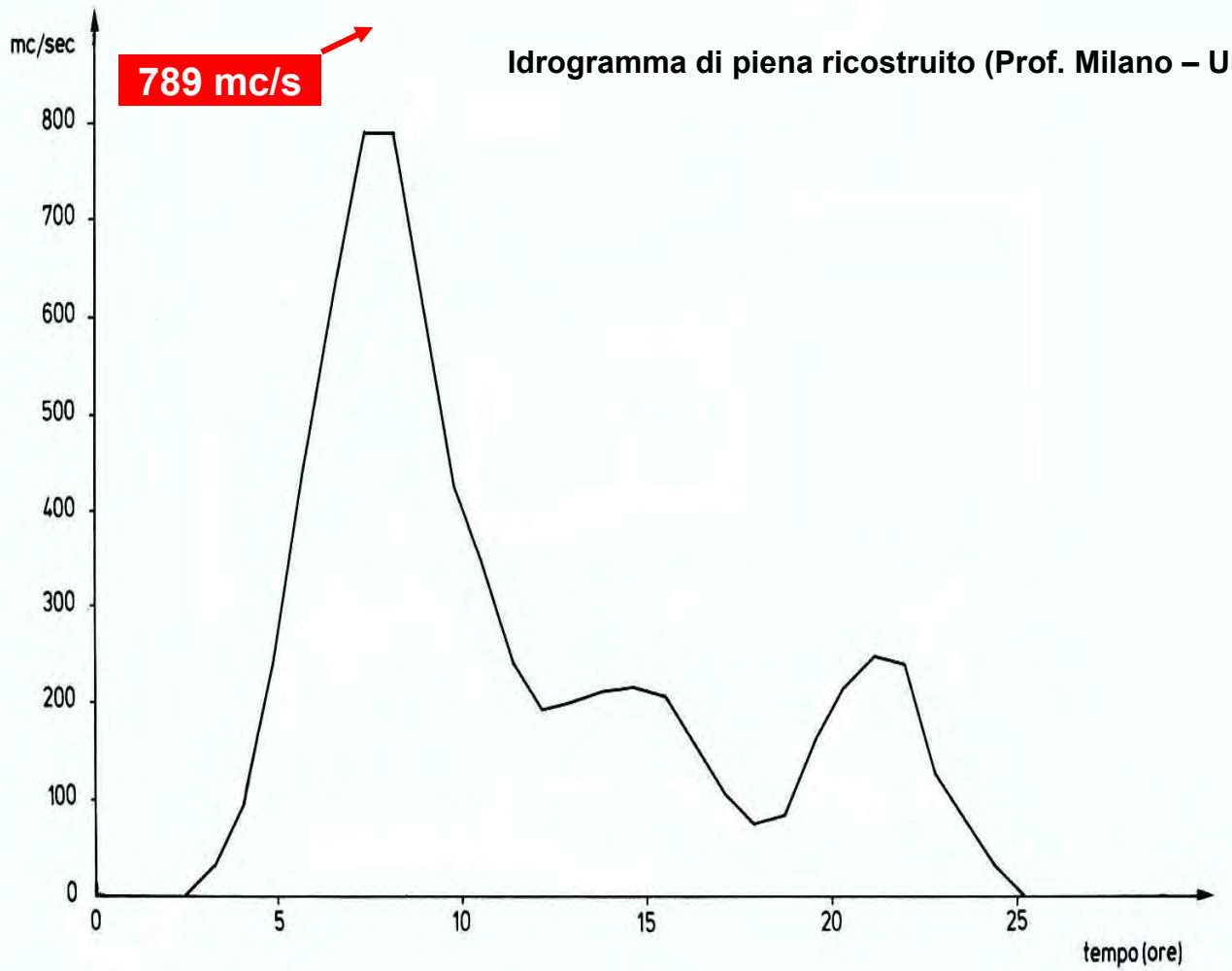


CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

La piena del 4-5 novembre 1966 nel Torrente Ambra – secondo Prof. Milano

Piano di Bacino del fiume Arno - Stralcio Rischio Idraulico

T. Ambra a Bocca d'Ambra
204 Km²



Idrogramma di piena ricostruito (Prof. Milano – Univ. Pisa)

Ma il Prof. G. Supino **(UNI_BO) stimò per l'Ambra nel 1966 un contributo in Arno di 1030 mc/s.**

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Gli usi plurimi compatibili che possono rendere sostenibile l'invaso

- Laminazione delle piene (funzione primaria);

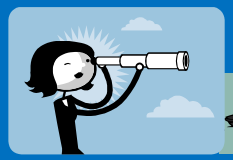
- Riserva idropotabile;

- Riserva per usi irrigui;

- Sostegno delle magre;

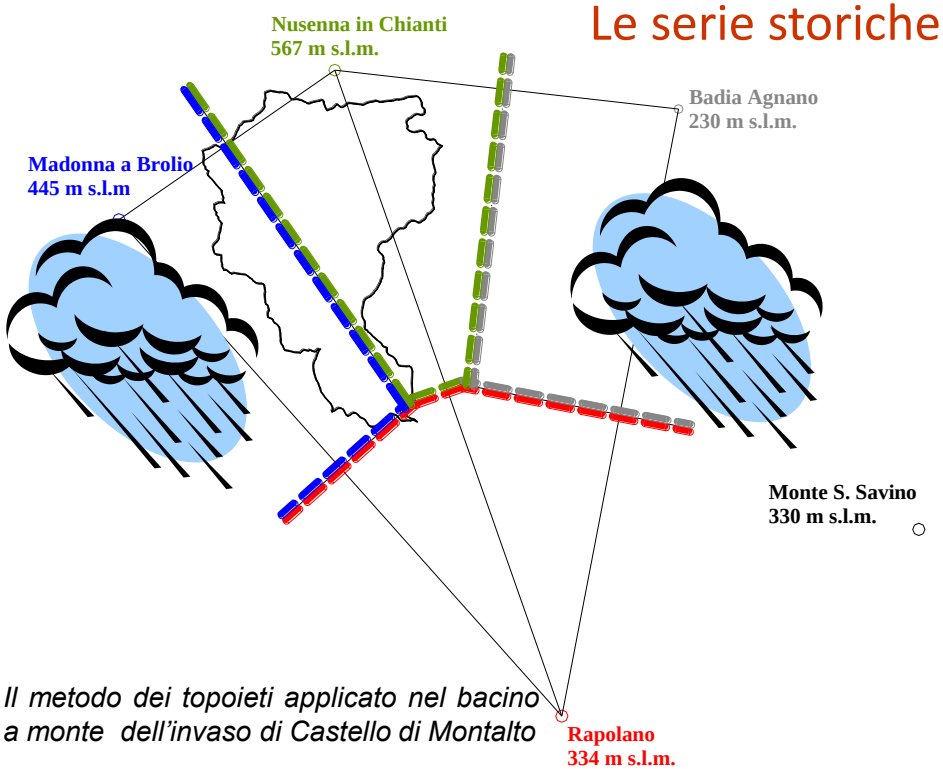
- Produzione idroelettrica;

- Usi turistico-ricreativi (balneazione, canoa, windsurf, pesca sportiva, bird watching, ecc.)



Il modello idrologico per la stima dei deflussi mensili

Le serie storiche pluviometriche mensili disponibili



Il metodo dei topoieti applicato nel bacino a monte dell'invaso di Castello di Montalto

Serie storiche di precipitazione mensile (discontinue) utilizzate per la generazione di serie sintetiche complete

Cod.	Stazione	Comune	UTM [f32]	Quota	Anni di misurazione
810	Badia Agnano	Bucine (AR)	E 714 365 N 4 812 880	230 m s.l.m.	1921-95
2642	Madonna a Brolio	Gaiole in Chianti (SI)	E 698880 N 4810000	445 m s.l.m.	1922-39, 1948-53, 1955-59, 1961-71
830	Nusenna in Chianti	Gaiole in Chianti (SI)	E 704 885 N 4 814 160	567 m s.l.m.	1934-35, 1937-39, **1948-88**
820	Fattoria Migliarina	Bucine (AR)	E 712 780 N 4 818 825	256 m s.l.m.	1974-99
740	Monte S. Savino	Monte S. Savino (AR)	E 721 130 N 4 801 390	330 m s.l.m.	1916-35, 1937-45,1947, 1949-91, 1993-2000
2616	Rapolano	Rapolano (SI)	E 711 200 N 4796 200	334 m s.l.m.	1934-39, 1945-46, 1948, 1950-69

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Il modello idrologico per la stima dei deflussi mensili

La scelta del "Bacino Campione" per la stima dei coefficienti deflusso mensili:

Il T. Foenna alla diga del Calcione

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Il modello idrologico per la stima dei deflussi mensili

BACINO CAMPIONE: Bacino del T. Foenna chiuso alla diga del Calcione

N.B.: Il bacino campione, che è già strumentato, grazie alla sua affinità a quello di studio per prossimità geografica, estensione, caratteristiche geolitologiche, uso del suolo, caratteristiche meteoclimatiche, consente una stima adeguata dei coefficienti di deflusso medi mensili e di quello annuo, da applicare poi al bacino di studio.

CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Le equazioni del modello di Thomas Fiering (Maione, Moisello 1999) per la generazione delle serie sintetiche di afflussi mensili

Indicato con $x_{j,i}$ il deflusso del mese *j*-esimo dell'anno *i*-esimo, definite le variabili standardizzate

[1] $$u_{j,i} = \frac{x_{j,i} - \mu(x_j)}{\sigma(x_j)}$$

il modello risulta espresso dalle relazioni:

[2] $$u_{j,i} = \rho(x_j)\, u_{j-1,i} + \varepsilon_{j,i} \sqrt{1-\rho^2(x_j)} \qquad j = 1,12$$

Dove :

- $\mu(x_j)$ è la media del mese *i* ;
- $\sigma(x_j)$ è la standard deviation del mese *i*;
- $\rho(x_j)$ e $\rho^2(x_j)$, sono i coeff. di autocorrelazione possono essere stimati a partire dalla serie storica reale.

dove $\varepsilon_{j,i}$ è il rumore bianco, distribuito secondo una *Normale Standard*. Poiché la somma di due popolazioni normalmente distribuite è anch'essa normalmente distribuita, sia la variabile $u_{j,i}$ sia di conseguenza i deflussi mensili hanno distribuzione *Normale*: sono perciò possibili per i deflussi anche valori negativi, che si dovranno considerare come nulli.

Per ovviare a quest'ultimo inconveniente e considerato che la serie storica effettiva sembra essere **meglio approssimata da una funzione di distribuzione Gamma** a due parametri (limitata inferiormente al valore zero), piuttosto che da una distribuzione Normale, si è scelto di applicare alla distribuzione di **Thomas Fiering** la seguente **trasformazione inversa di Wilson Hilferty** (che conserva media e varianza), in modo da ottenere la corrispondente distribuzione Gamma a due parametri per la generazione dei deflussi sintetici mensili.

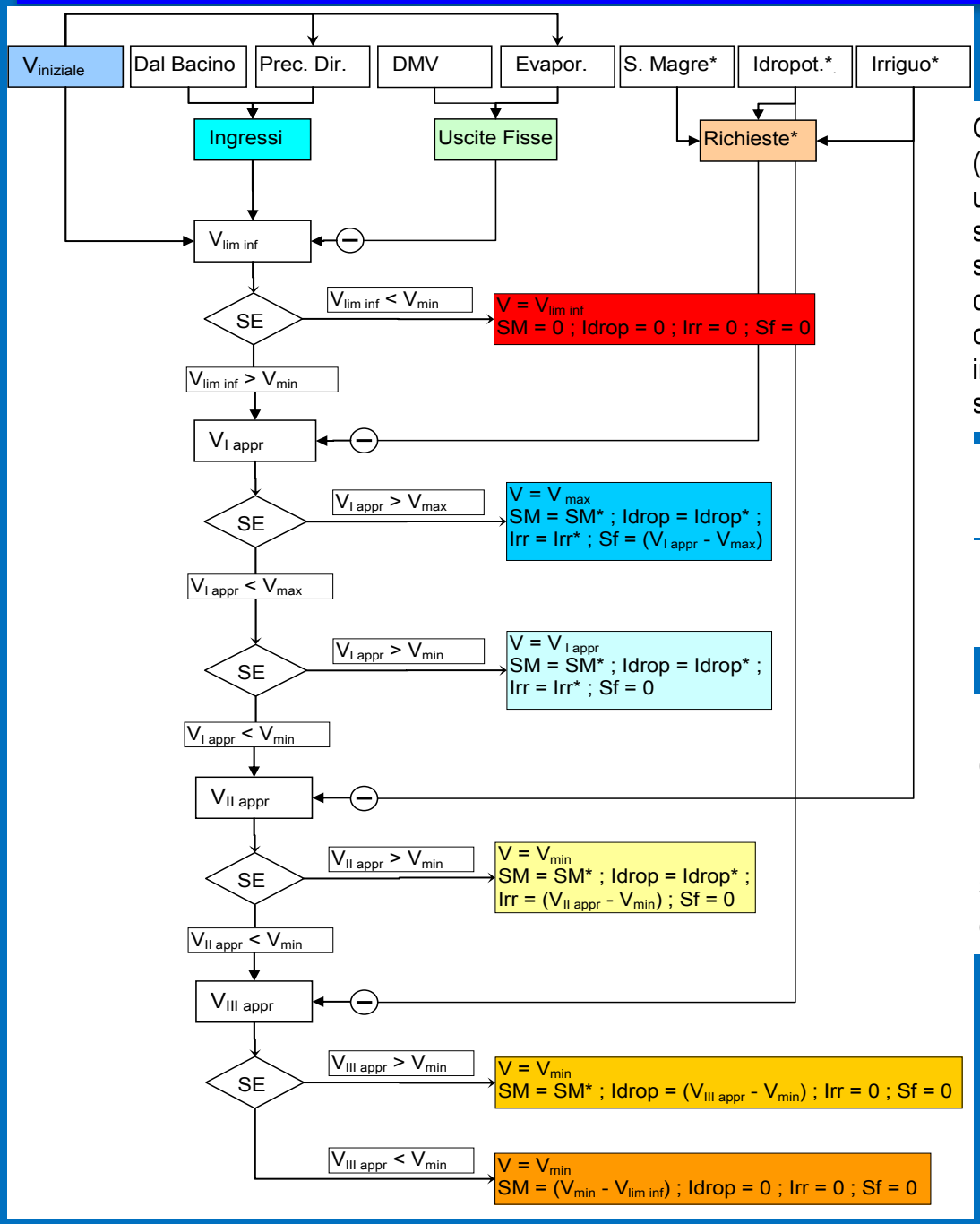
[3] $$x_{j,i} = \left(\frac{u_{j,i} \cdot \sigma(x_j)}{3 \cdot \mu(x_j)} + 1 - \left(\frac{\sigma(x_j)}{3 \cdot \mu(x_j)} \right)^2 \right)^3 \cdot \mu(x_j)$$

Infine, poiché la distribuzione dei totali annuali di precipitazione (x_i) anticipatamente calcolata sempre secondo una distribuzione Gamma di fatto non fornisce valori identici alla somma degli afflussi mensili generati per lo stesso anno *(i)*, i valori ottenuti dall' equazione [3] sono stati ricalibrati per ciascun anno applicando la correzione seguente:

[4] $$x^*_{j,i} = x_{j,i} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{12} x_{j,i}}{x_i}$$

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Il modello di simulazione del bilancio mensile dell'invaso



Generata la serie sintetica di degli afflussi mensili (xj,i) per un periodo si simulazione pari a 70 anni, utilizzando i coefficienti medi di deflusso mensile CDj stimati mediante l'analisi del bacino campione, è stato allestito un foglio di calcolo in grado di determinare il volume invasato Vj,i al termine di ciascun mese effettuando il bilancio mensile degli ingressi e uscite dal lago, secondo il semplice schema:

$$V_{j,i} = V_{j-1,i} + \Delta V_{j,i}$$

con:

$$\Delta V_{j,i} = \sum Ingressi_{j,i} - \sum Uscite_{j,i}$$

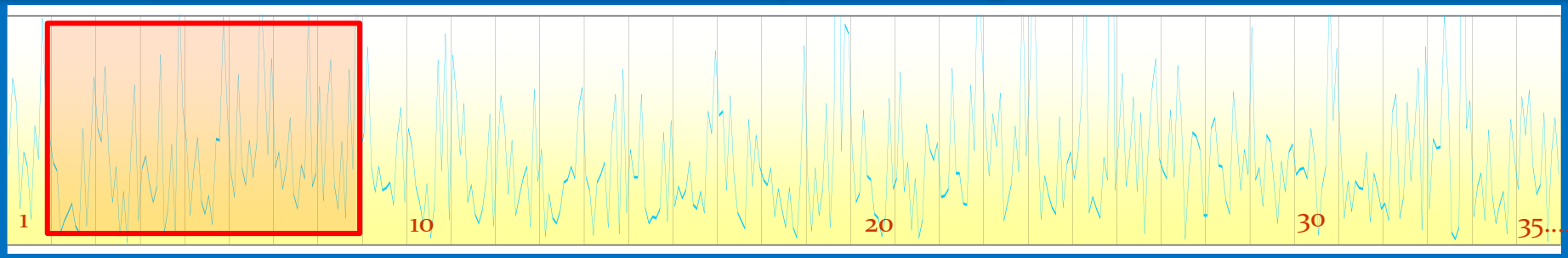
In cui ingressi (Deflussi a monte + Afflussi diretti) ed uscite (Sfiori di superficie, DMV, Evaporazione, Sostegno Magre, Prelievo Idropotabile, Usi irrigui) sono somministrati secondo le regole assegnate nel diagramma di flusso a lato.

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

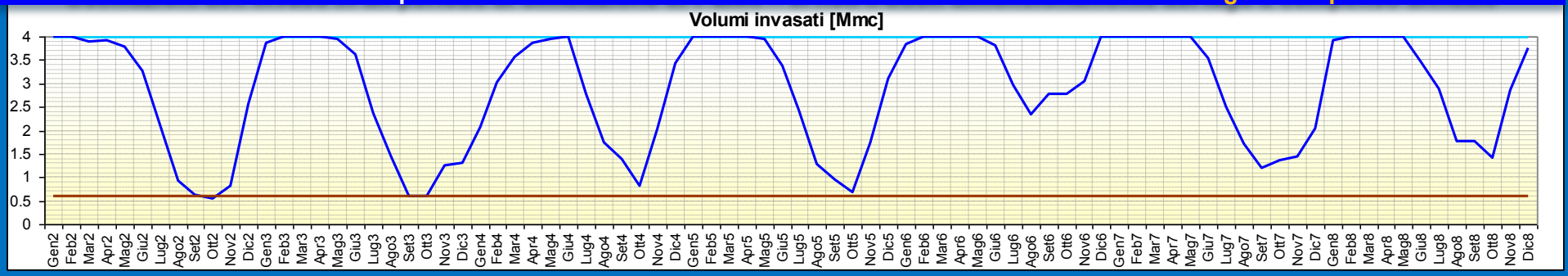
Il modello idrologico per la stima dei deflussi mensili

la generazione delle **serie sintetiche di afflussi mensili al lago (per un arco di 70 anni)** ha consentito di **testare l'incidenza dei casi di fallanza** (insufficienza della risorsa rispetto ai prelievi previsti) e ricercare le politiche di gestione ottimale dell'invaso

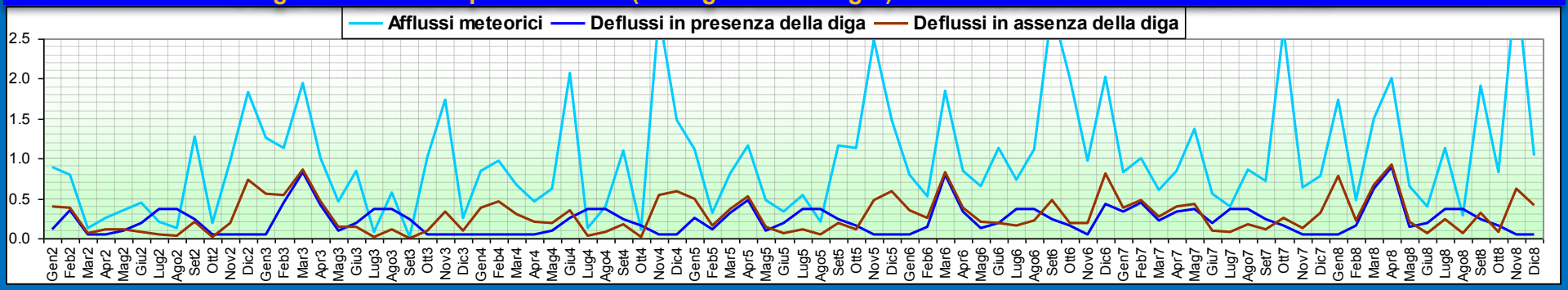
Afflussi mensili in ingresso al bacino artificiale generati sinteticamente per un periodo di lunghezza a piacere e che presentano le stesse caratteristiche di intensità, periodicità e stagionalità della serie storica reale



Oscillazioni dell'invaso in un periodo di simulazione di 7 anni – si noti il buon dimensionamento del lago a compenso annuale

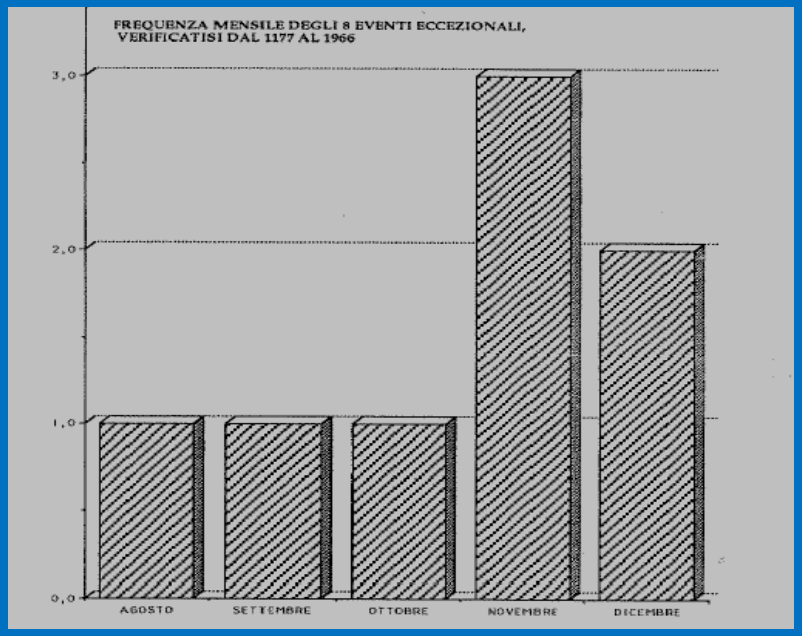


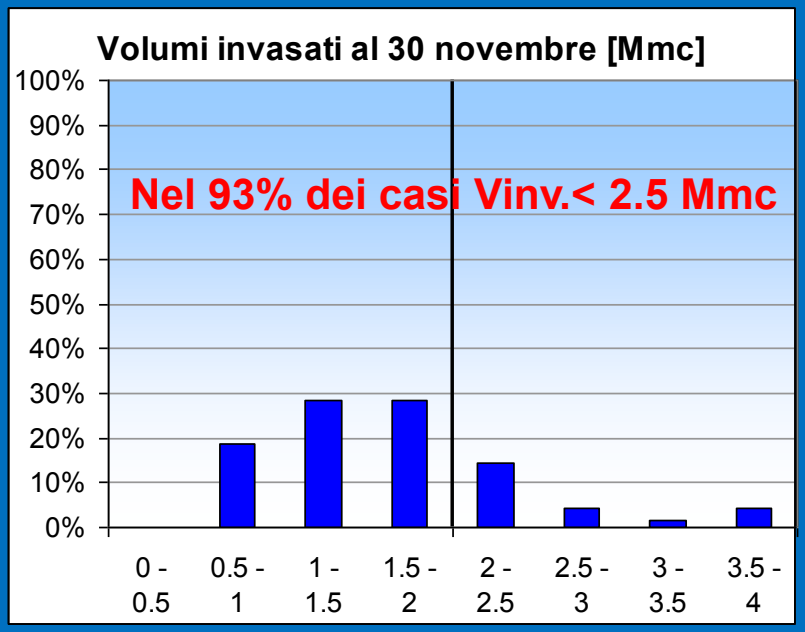
Oscillazioni stagionali della portata in un periodo di simulazione di 7 anni
il lago incrementa le portate estive (sostegno delle magre) e modera i deflussi autunnali/invernali



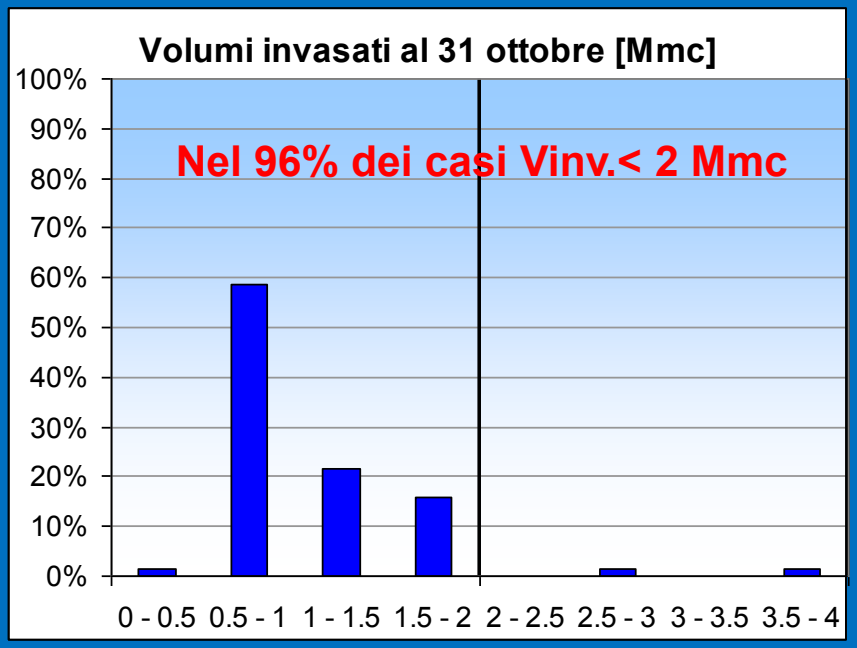
Il modello idrologico per la stima dei deflussi mensili consente anche la stima del valore atteso del volume statisticamente disponibile per la laminazione delle piene al variare del momento stagionale

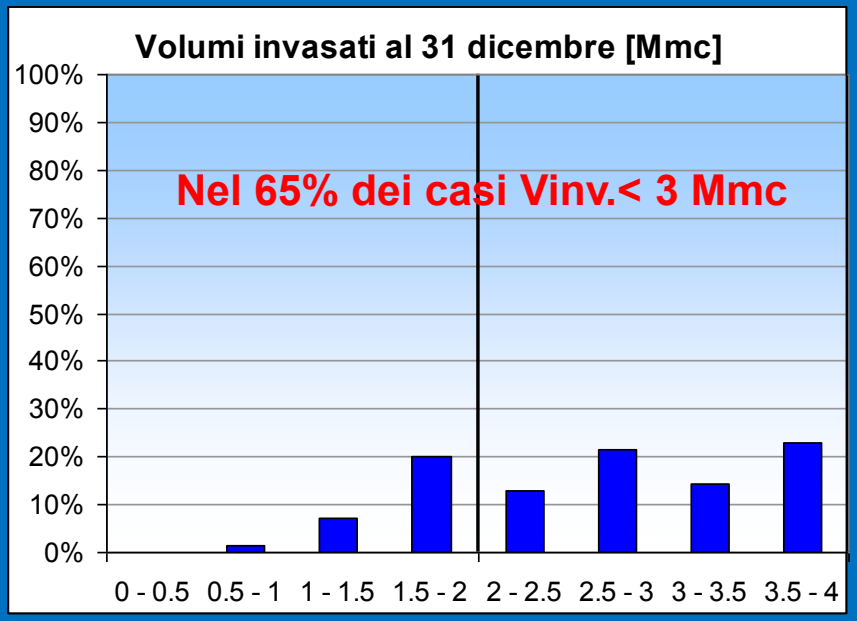
Frequenza storica stagionale delle piene catastrofiche del F. Arno





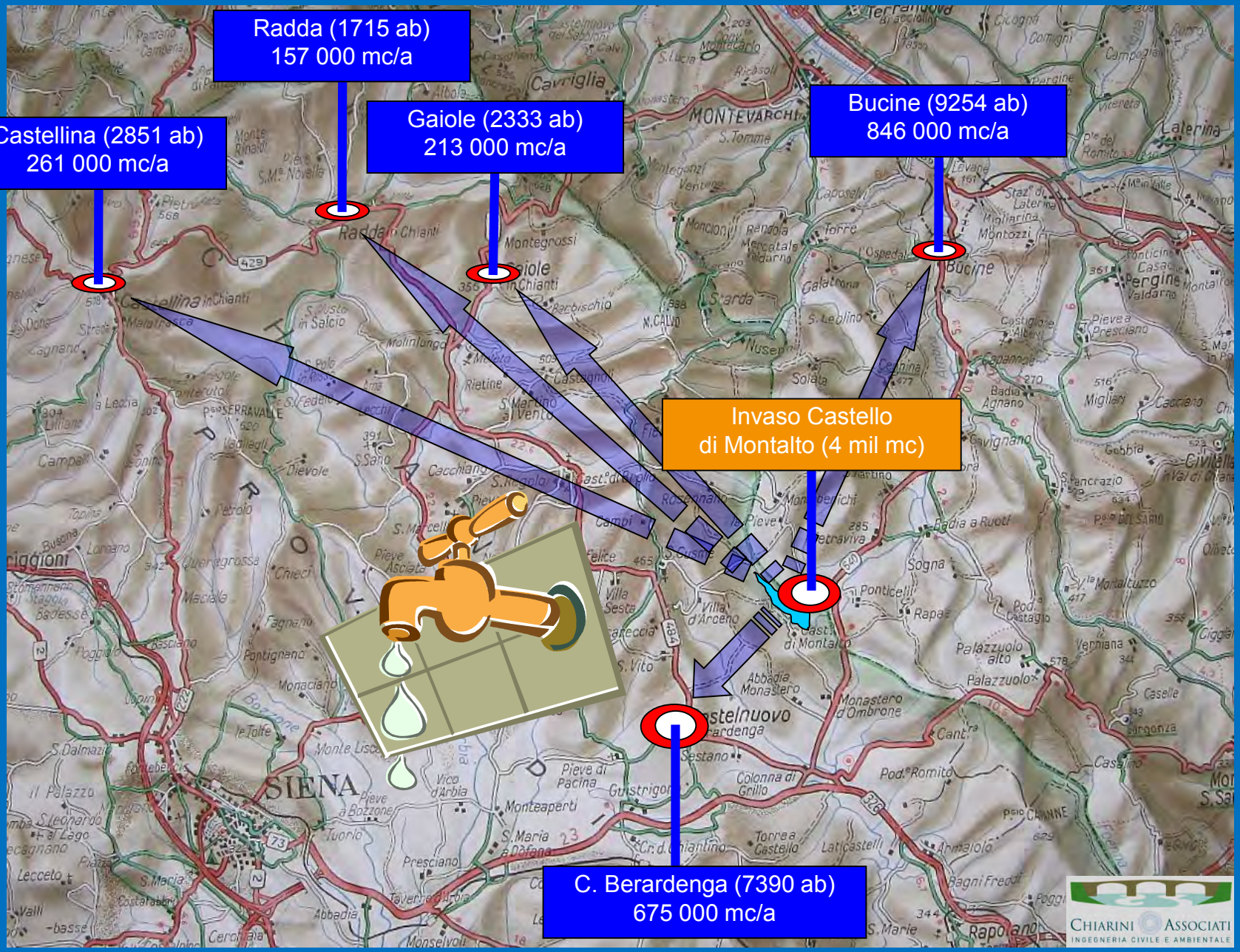
Significativa compatibilità della laminazione con gli altri usi





CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Possibili destinazioni in provincia di Siena (ATO 6) della Riserva Idropotabile annuale resa disponibile dall'invaso (2 150 000 mc/anno)



Volume idropotabile mensile erogabile per i comuni alimentabili dall'invaso (dotazione: 250 l/abxg)

	Grado di copertura del fabbisogno	Coefficiente variazione Mensile	V_{POT} Castelnuovo Ber. (7390 ab.)	V_{POT} Castellina in Chianti (2851 ab.)	V_{POT} Radda in Chianti (1715 abitanti)	V_{POT} Gaiole in Chianti (2333 abitanti)	V_{POT} Bucine (9254 abitanti)
Mese	*[-]*	*[-]*	*[mc]*	*[mc]*	*[mc]*	*[mc]*	*[mc]*
Gen	100%	70%	40 090.8	15 466.7	9 303.9	12 656.5	50 203.0
Feb	100%	70%	36 534.3	14 094.6	8 478.5	11 533.8	45 749.5
Mar	100%	75%	42 954.4	16 571.4	9 968.4	13 560.6	53 788.9
Apr	100%	85%	47 111.3	18 175.1	10 933.1	14 872.9	58 994.3
Mag	100%	100%	57 272.5	22 095.3	13 291.3	18 080.8	71 718.5
Giu	100%	130%	72 052.5	27 797.3	16 721.3	22 746.8	90 226.5
Lug	100%	140%	80 181.5	30 933.4	18 607.8	25 313.1	100 405.9
Ago	100%	150%	85 908.8	33 142.9	19 936.9	27 121.1	107 577.8
Set	100%	140%	77 595.0	29 935.5	18 007.5	24 496.5	97 167.0
Ott	100%	85%	48 681.6	18 781.0	11 297.6	15 368.6	60 960.7
Nov	100%	75%	41 568.8	16 036.9	9 646.9	13 123.1	52 053.8
Dic	100%	80%	45 818.0	17 676.2	10 633.0	14 464.6	57 374.8
Tot.			**675 769.3**	**260 706.1**	**156 826.0**	**213 338.3**	**846 220.5**

Totale abitanti

23'253

Totale volume medio annuo da erogare

2 152 860 mc/anno

Possibile ricavo dalla cessione di acqua grezza: 0.15€/mc x 2'185'860 mc = 322'929 €

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

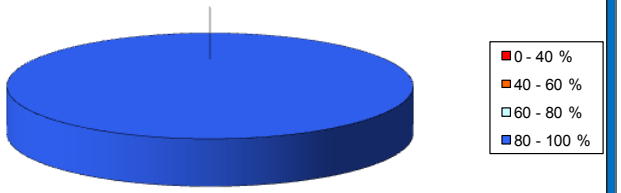
Analisi delle fallanze sulla copertura del fabbisogno idropotabile

Castelnuovo B.ga:	7 390 ab	→	675 769 mc/anno;
Castellina:	2 851 ab	→	260 706 mc/anno;
Radda:	1 715 ab	→	156 826 mc/anno;
Gaiole:	2 333 ab	→	213 338 mc/anno.
Bucine:	9 254 ab	→	846 220 mc/anno.
Totale:	23 543 ab	→	2 152 860 mc/anno.

Periodo di massima criticità per l'approvvigionamento idropotabile

Livello di copertura del fabbisogno idropotabile nel mese di agosto

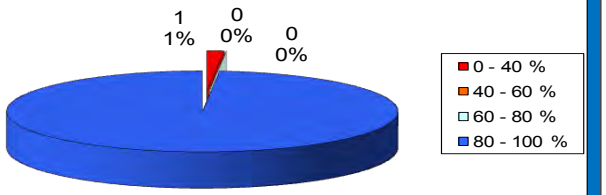
0 fallanze in 70 anni



Agosto: piena copertura 100% del fabbisogno

Livello di copertura del fabbisogno idropotabile nel mese di settembre

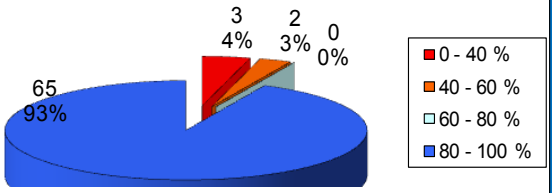
1 fallanza in 70 anni



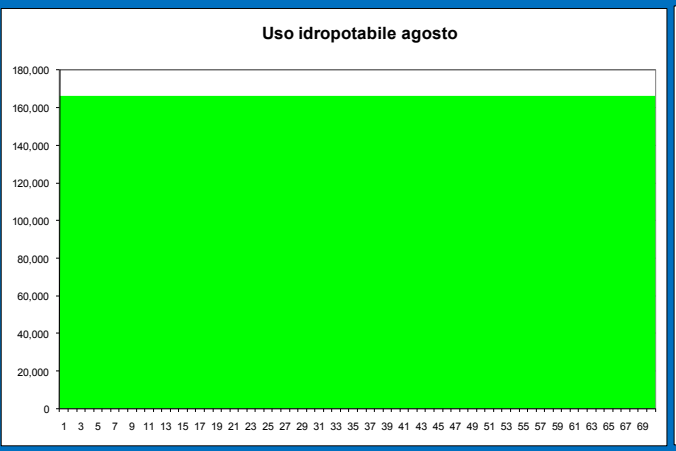
Settembre: 99% copertura del fabbisogno

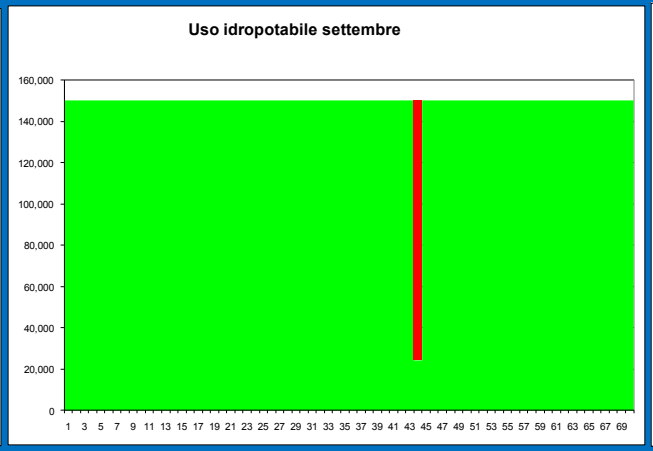
Livello di copertura del fabbisogno idropotabile nel mese di ottobre

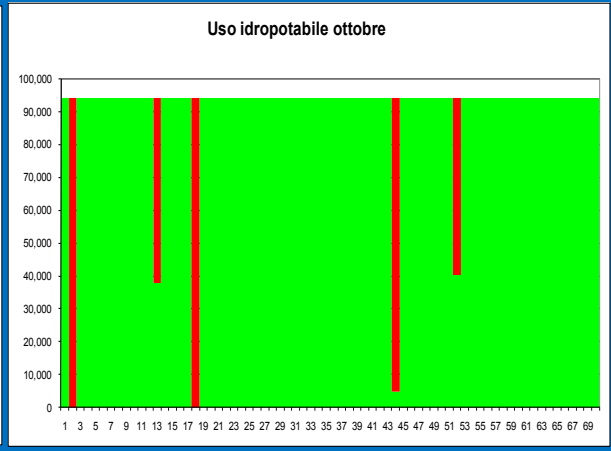
5 fallanze in 70 anni



Ottobre: 93% copertura del fabbisogno

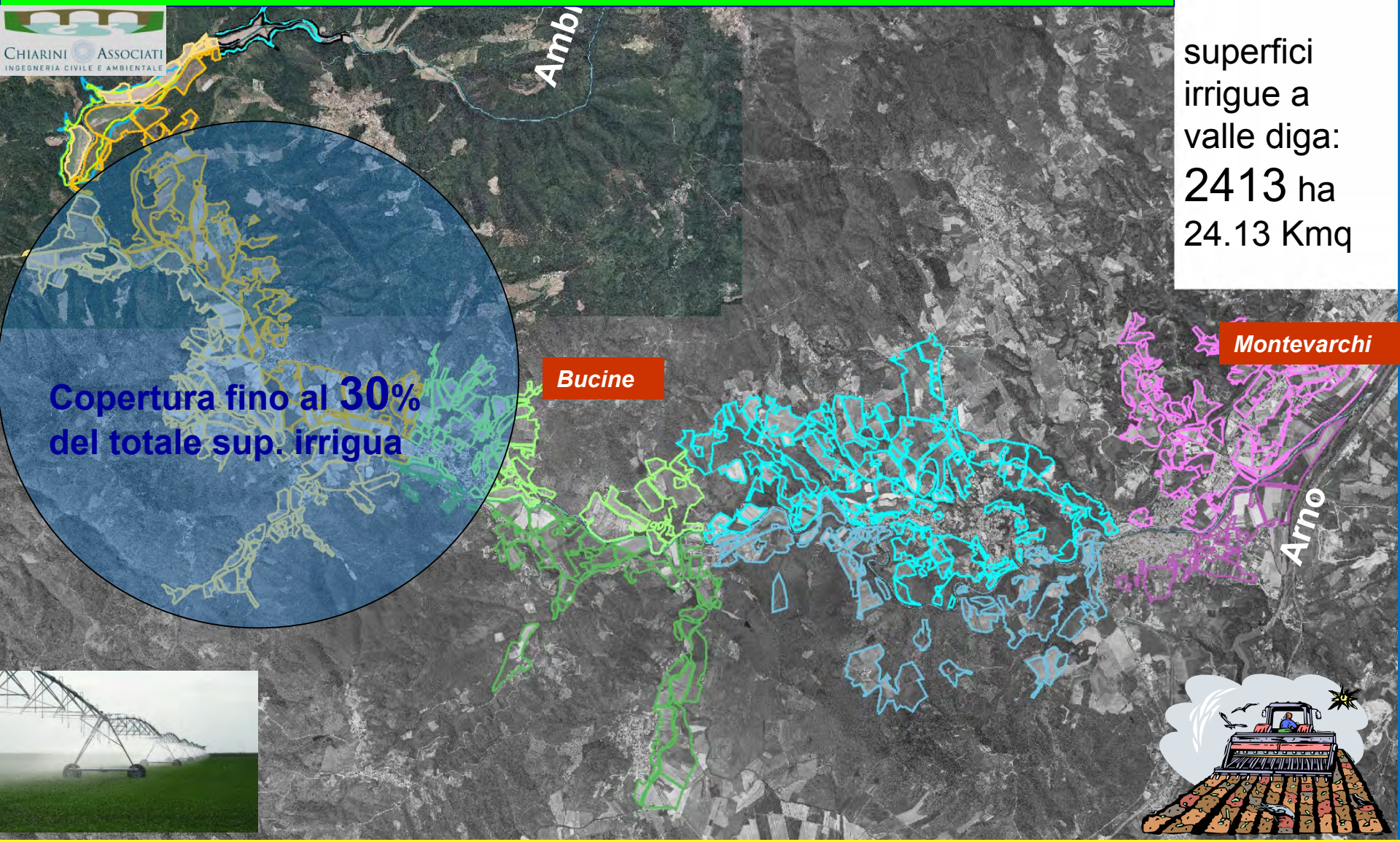






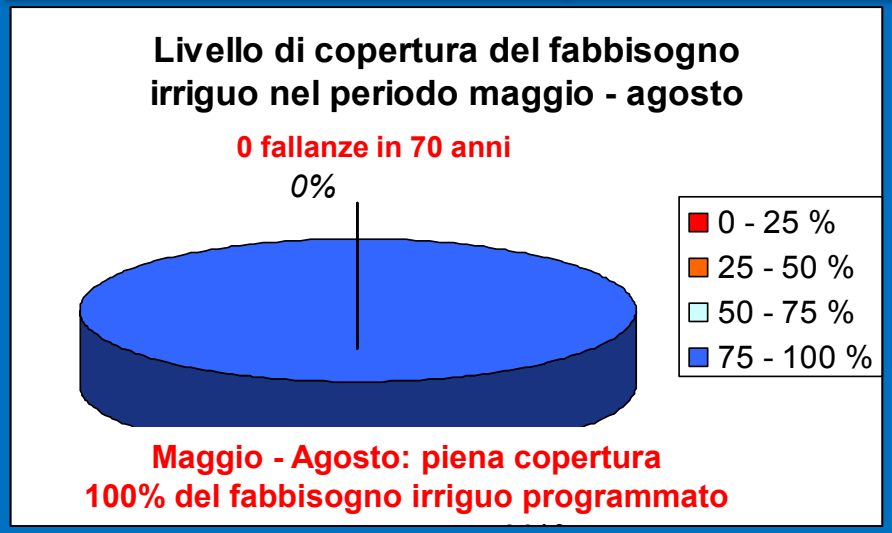
Fabbisogno coperto Deficit + Fabbisogno totale

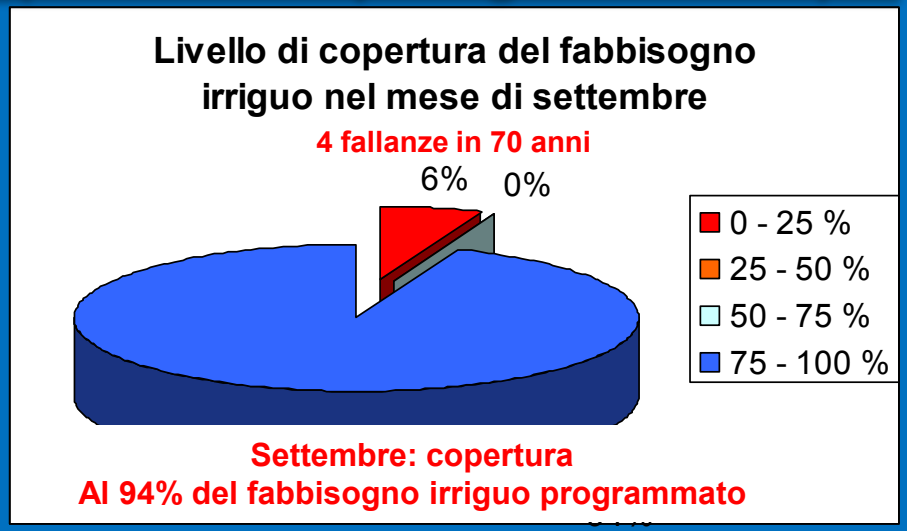
Possibile destinazione
Risorsa Irrigua resa disponibile dall'invaso
(1 800 000 mc/anno)

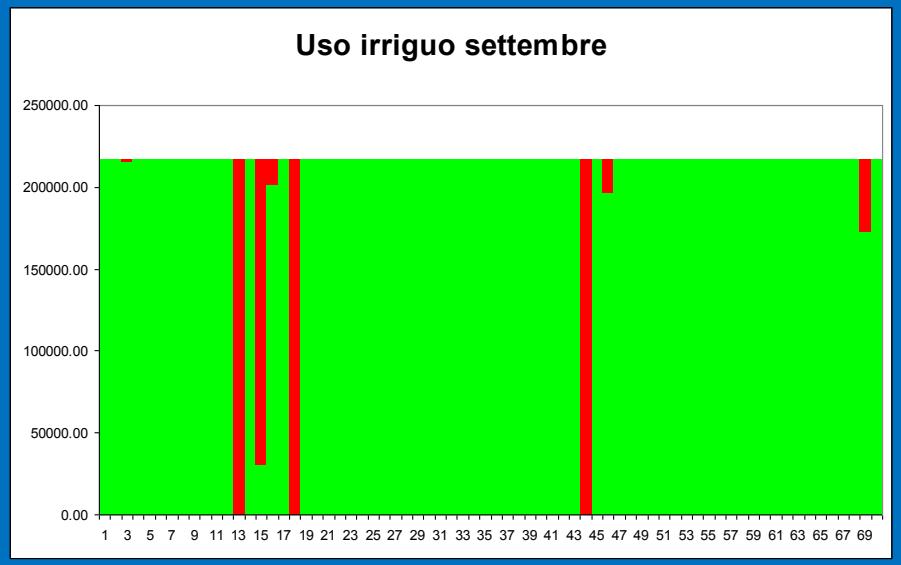


Possibile ricavo dalla cessione di acqua irrigua: 0.10 €/mc x 1'800'000 mc = 180'000 €

Aanalisi delle fallanze sulla copertura del fabbisogno irriguo 2500 mc/anno x ha per circa 724 ha (30% della sup. irrigabile a valle)





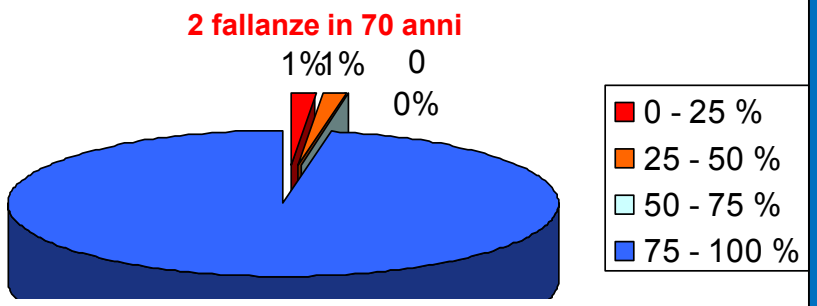


Fabbisogno coperto Deficit + Fabbisogno totale

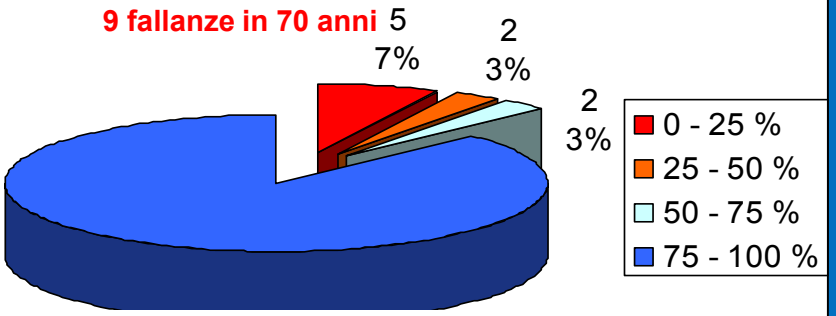
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Analisi delle fallanze sulla copertura del sostegno magre
(rilasci programmati pari a 3.5 volte il M.D.V.)

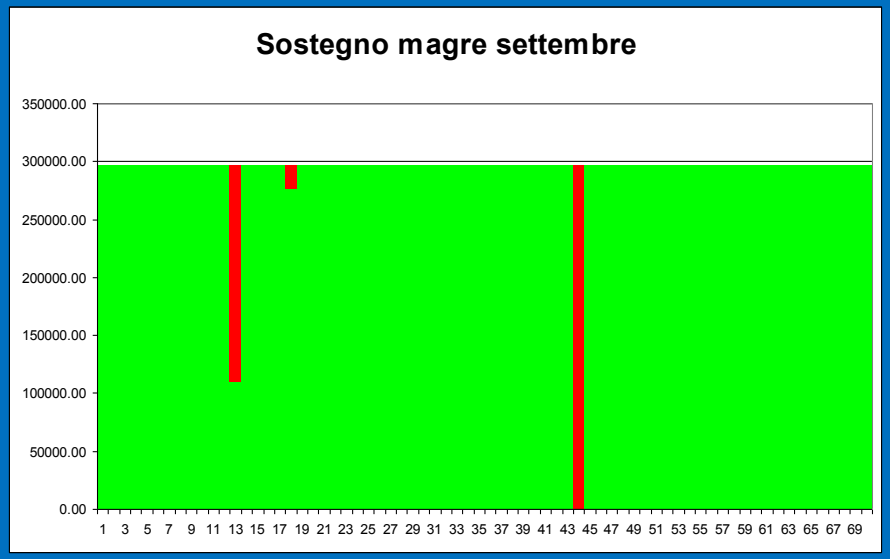
nel periodo di massima criticità stagionale (settembre – ottobre)

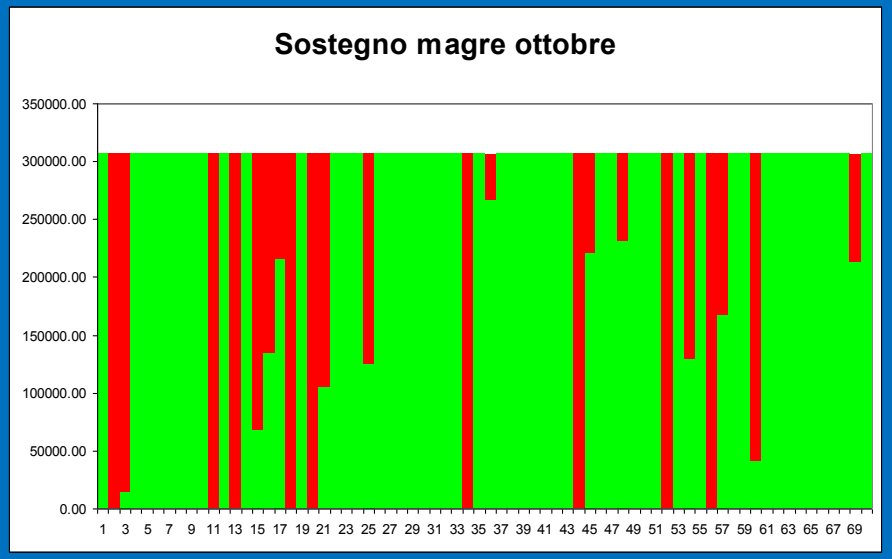


settembre: copertura al 98% del fabbisogno per sostegno magre programmato



ottobre: copertura al 87% del 75% fabbisogno per sostegno magre programmato

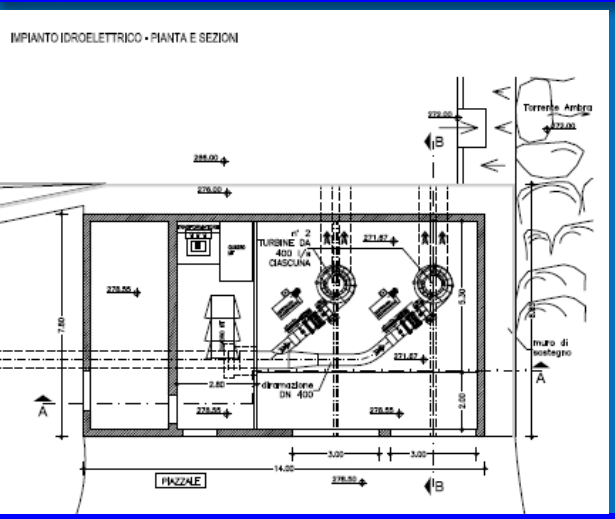


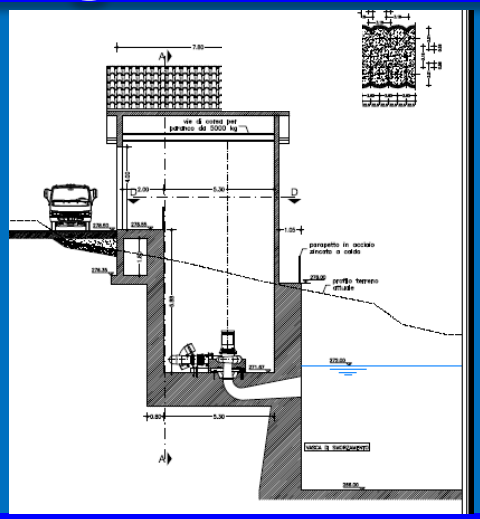


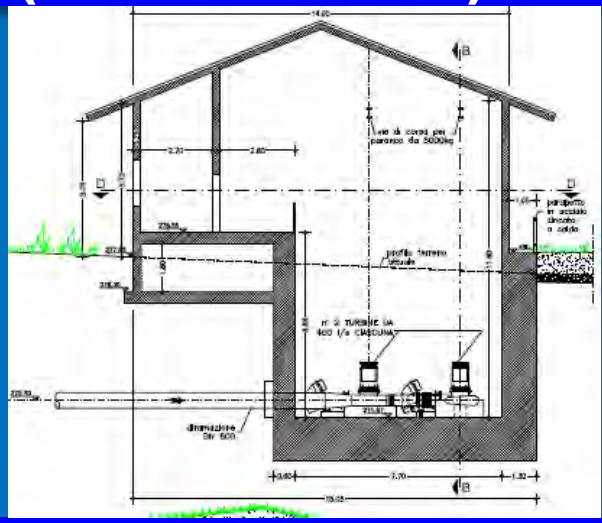
Fabbisogno coperto Deficit + Fabbisogno totale

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Produzione di energia rinnovabile (idroelettrica)







- Salto utile massimo: **16m** Portata massima derivabile: **0.8 mc/s**
- Portata media turbinabile: **DMV + Sostegno magre + Irriguo + Sfiori (in parte)** **0.21 mc/s**
- Macchine idrauliche: due turbine Francis: una da **40** e una da **80 Kw**
- Energia prodotta: **180.000 KWh/anno**
- Costo presunto impianto: **300.000,00 € circa**
- Ricavo medio annuo: **36'000,00 €** (tariffa incentivante[1] 2016: 0.202 €/Kwh)

  [1] valida per i primi 20 anni di esercizio.
- Emissioni evitate di CO_2: **970 t/anno**
- Famiglie potenz. servite: **70**

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

149692
176752

Stima sommaria dei costi di realizzazione e sostenibilità economica dell'opera

	Stima sommaria dell'importo del progetto	
1	***Lavori***	**Importi in €**
	Rilevato	5 918 827
	Scarico di superficie	5 120 114
	Galleria di scarico	2 462 103
	Imbocco galleria	164 660
	Pozzo e camera valvola	283 951
	Sistemazione esterna e mitigazione impatti ambientali	1 115 171
	Opere accessorie	2 332 100
	Opere stradali	684 778
	Totale lavori	**18 081 705**
2	***Oneri per la sicurezza***	560 000
	Sommano	**18 641 705**
3	***Somme a disposizione***	
	Espropri	5 000 000
	Interferenze servizi a rete e infrastrutture	400 000
	Macchinario impianto idroelettrico	180 000
	Spese tecniche	1 300 000
	IVA	4 514 775
	Imprevisti e arrotondamenti	971 954
	Totale somme a disposizione	**12 366 729**
	Totale progetto	**31 008 434**

Sostenibilità economica dell'opera

Ipotizzando:

- ***4+2 anni*** *per l'entrata in servizio dell'invaso;*
- ***4+3 anni*** *per l'entrata in esercizio delle reti idropotabili ed irrigue;*
- ***80 anni*** *di* ***vita utile (economica)*** *dell'opera;*
- ***5 % tasso d'interesse****.*

Stimando:

- ***1'250'000 €/anno*** *di costi evitati per riduzione* ***danno medio annuale*** *da alluvione nel bacino a valle a partire dal 4 anno dall'inizio lavori;*
- ***320'000 €/anno*** *di ricavi per forniture acqua a scopo* ***idropotabile*** *(dopo 7 anni da inizio lavori);*
- ***180'000 €/anno*** *di ricavi per forniture acqua* ***usi irrigui*** *(dopo 7 anni da inizio lavori);*
- ***35'000 €/anno*** *ricavi per* ***cessione energia*** *(dal settimo anno in poi);*
- ***65'000 €/anno*** *per* ***costi esercizio e manutenzione****.*

A 60 anni da fine lavori si ottengono:
V.A.N. > 0 e T.I.R. = 5%

Possibile attivazione di più fonti di cofinanziamento

Poiché **la diga e l'invaso si configurano come opere in grado di fornire importanti ed urgenti risposte ad una pluralità di esigenze socio ambientali** (riduzione rischio idraulico nel bacino del F. Arno, fabbisogno idropotabile ed emergenza idrica, tutela della qualità delle acque, copertura del fabbisogno irriguo, ecc), è del tutto evidente che **il finanziamento delle opere in questione possa trovare copertura attraverso l'attivazione di una sinergia di cooperazioni tra vari Enti Pubblici o Pubblico-economici** aventi competenze territoriali variamente coinvolte, come: i **Settori regionali Prevenzione del Rischio idraulico e idrogeologico e Tutela e gestione delle risorse idriche, l'area di coordinamento regionale Sviluppo Rurale, la Provincia di Arezzo, l'AIT, il Consorzio di Bonifica Alto Valdarno, l'EAUT**, ecc.). Va da sé che una tale opportunità, riducendo i singoli contributi, consentirà un agevole accesso a più fonti di finanziamento sia a carattere comunitario che nazionale.

Arrivederci e grazie per l'attenzione!

www.chiariniassociati.com *info@chiariniassociati.com*