YPF – Young Professional Forum

ITCOLD

Italian Committee on Large Dams

OPEN DAY ON DAMS

2024 Dam Day

Dighe e serbatoi in Italia

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

DICEA DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Dighe e cambiamento climatico: quali sinergie?

Scuola di Ingegneria – Università degli Studi di Firenze – Aula 45

Via di Santa Marta, 3 – Firenze 31 maggio 2024 – ore 8.30 - 13:30

Relazione sul tema:

«La Diga di Montedoglio sul Fiume Tevere e i lavori di ripristino dello scarico di superficie»

Ing. Remo Chiarini

(www.chiariniassociati.com)

CHIARINI ASSOCIATI

INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

cooprogetti

IL «PIANO GENERALE IRRIGUO PER L'ITALIA CENTRALE» (Prof. ARREDI)

Nel 1963 fu varato il **Piano Generale Irriguo** affidato ad un gruppo di lavoro guidato dal **Prof. Filippo Arredi.** Un programma di irrigazione che interessava parte delle province di Perugia, Arezzo, Terni e Siena per circa **170.000 ettari** totali.



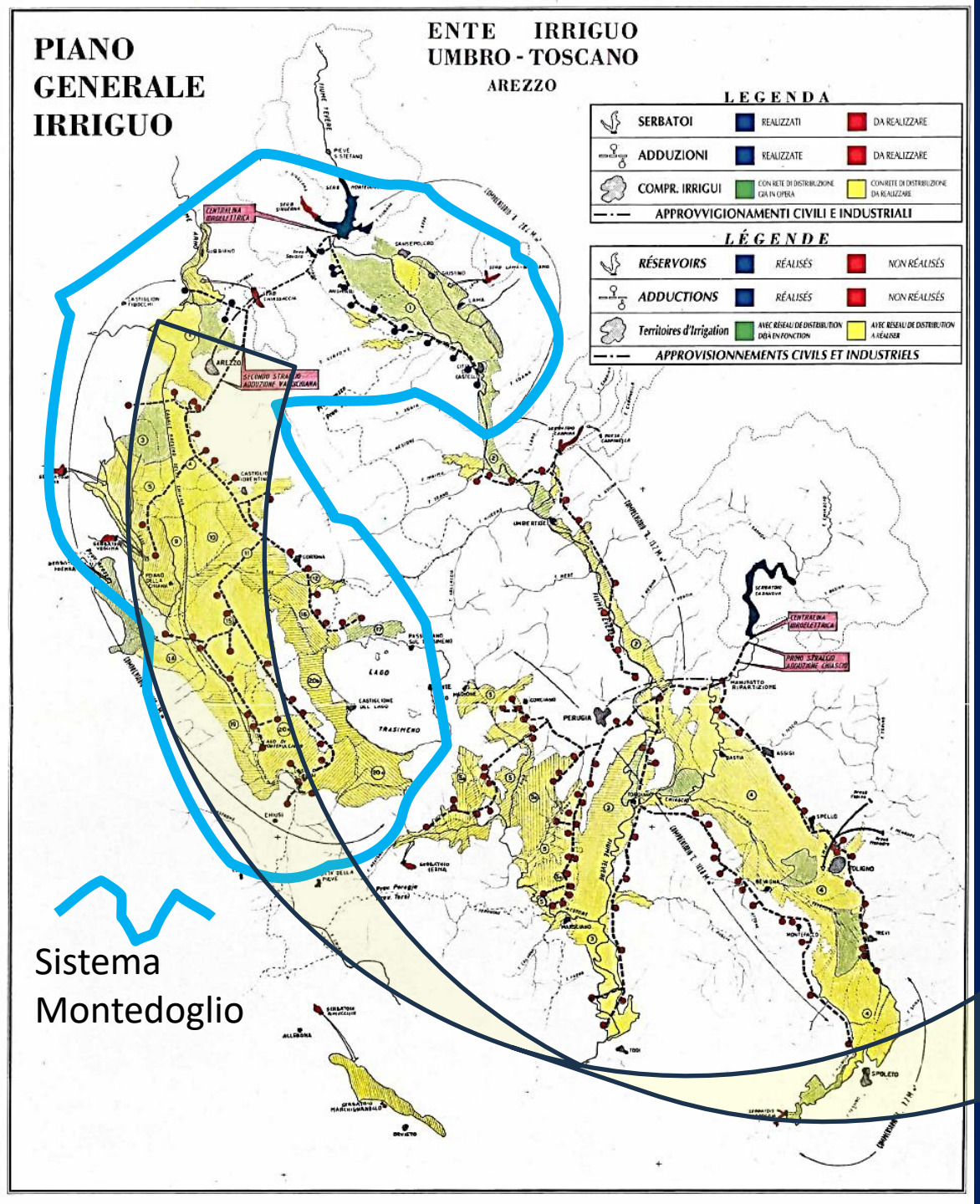
Nei primi anni '70 l'Ente Irriguo ottenne la **concessione per settanta anni di circa 400 milioni di metri cubi di acqua ad uso irriguo dal bacino del Tevere**, da accumulare in un sistema di medi e grandi invasi. I lavori furono avviati nel 1977.

	TOSCANA	UMBRIA
- AREZZO	Ha. 303.253	
- PERUGIA		Ha. 633.409
- SIENA	Ha. 155.696	
- TERNI		Ha. 212.196
TOTALI	Ha. 458.949	Ha. 845.605
TOT. GENERALE	Ha. 1.304.554	

Da un esame delle isoipse del comprensorio di operatività si può rilevare la seguente distribuzione per fascie altimetriche:

	Ha	%
-superficie con altitudine inferiore a 300 mslm	774.905	59,40
-superficie con altitudine tra 300 e 500 mslm	309.179	23,70
-superficie con altitudine tra 500 e 1000 mslm	152.633	11,70
-superficie con altitudine super. a 1000 mslm	67.633	5,20
	1.304.554	100,00

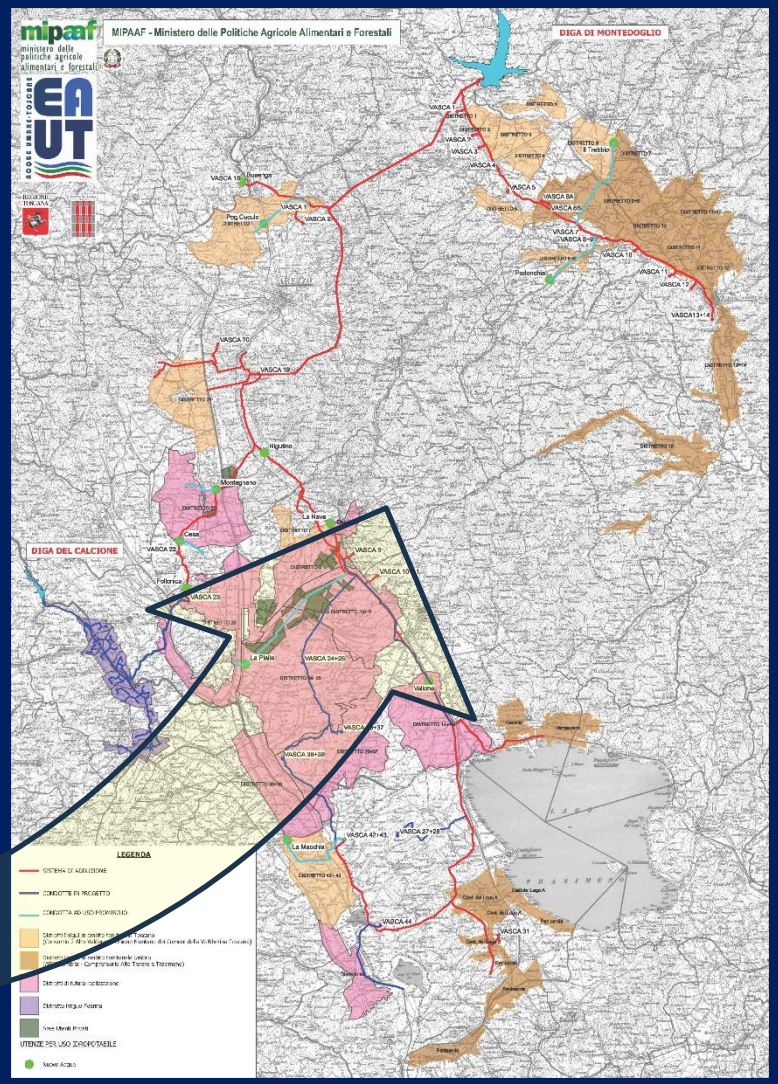
Circa 130 Kmq!!



Sistema Montedoglio

←L'aggiornamento del Piano Generale Irriguo (1991)

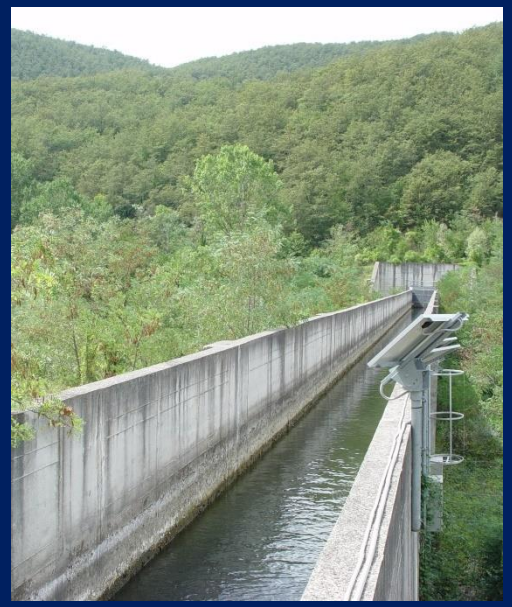
Sistema occidentale			Sistema orientale		
Provincia di AREZZO	Ha.	37.400	Provincia di PERUGIA	Ha.	89.000
Provincia di SIENA	Ha.	8.150	Provincia di AREZZO	Ha.	5.200
Provincia di PERUGIA	Ha.	13.750			
Totale	Ha.	59.300	Totale	Ha.	94.200



ACQUE UMBRE-TOSCANE

←L'attuazione del piano del Sistema Montedoglio al 2024

LE GALLERIE DI DERIVAZIONE DELL'ADDUZIONE PRIMARIA DEL SISTEMA MONTEDOGLIO



Ponte canale sul torrente Chiassaccia



Ponte canale sul torrente Chiassaccia e imbocco della galleria "Castellaccio" durante l'esecuzione dei lavori



Interno di una galleria



La T.B.M. abbatte l'ultimo diaframma di una galleria



Imbocco della galleria "Castellaccio" durante l''esecuzione dei lavori

GALLERIE REALIZZATE AD OGGI:

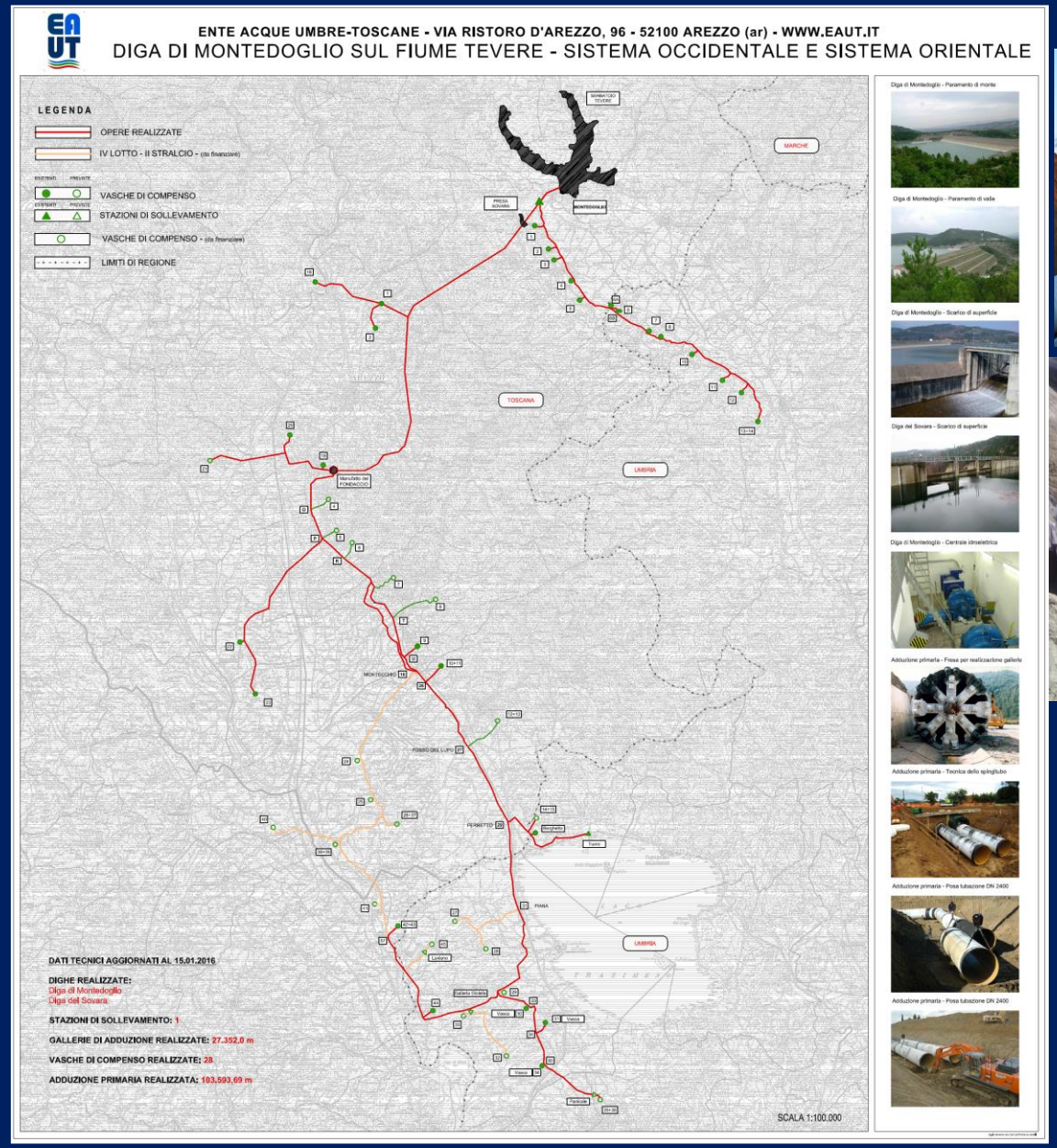
1. Galleria di valico
2. Galleria Castellaccio
3. Galleria Tondo
4. Galleria S. Firenze
5. Galleria Giostra
6. Galleria Saccione
7. Galleria Fondaccio

TOTALE 28'288 m



Testa della fresa scudata

IL COMPRENSORIO ALIMENTATO DALL'INVASO DI MONTEDOGLIO SUL FIUME TEVERE



LE CONDOTTE DI ADDUZIONE IN PRESSIONE









CONDOTTE REALIZZATE:
Svil. Tot. = 102,595 Km

Diametro	Lunghezza	Diametro	Lunghezza
DN 400	1'621 m	DN 1200	5'011 m
DN 450	5'176 m	DN 1300	2'160 m
DN 500	2'240 m	DN 1700	4'290 m
DN 600	4'932 m	DN 1800	8'778 m
DN 700	7'397 m	DN 2000	7'029 m
DN 800	5'318 m	DN 2200	6'436 m
DN 900	5'546 m	DN 2400	20'829 m
DN 1000	8'491 m	DN 3000	4'743 m
DN 1100	2'598 m		

PRELIEVO MEDIO ANNUO DALLA DIGA DI MONTEDOGLIO SUL FIUME TEVERE

GESTIONI IRRIGUE:

- AREA ALTA VALLE DEL TEVERE UMBRA E TOSCANA (Unione Montana Valtiberina toscana ed A.F.O.R. UMBRIA: 9.500.000 mc/anno per 4100 ha irrigati)
- VALDICHIANA (Consorzio 2 Alto Valdarno e utenze private: 3.500.000 mc/anno per 1400 ha irrigati)

FORNITURE PER USI ACQUEDOTTISTICI A GESTORI DEL SERVIZIO IDRICO INTEGRATO:

- NUOVE ACQUE S.p.A.: alimentazione dei comuni di Arezzo, Monterchi, Civitella in Valdichiana, Subbiano, Capolona, Castiglion Fiorentino, Cortona, Foiano, Monte San Savino, Sansepolcro, Marciano della Chiana, Montepulciano a (circa 10.500.000 mc/anno)
- UMBRA ACQUE S.p.A.: ALIMENTAZIONE COMUNI DI SAN GIUSTINO, CITTÀ DI CASTELLO, UMBERTIDE (circa 2.600.000 mc/anno)

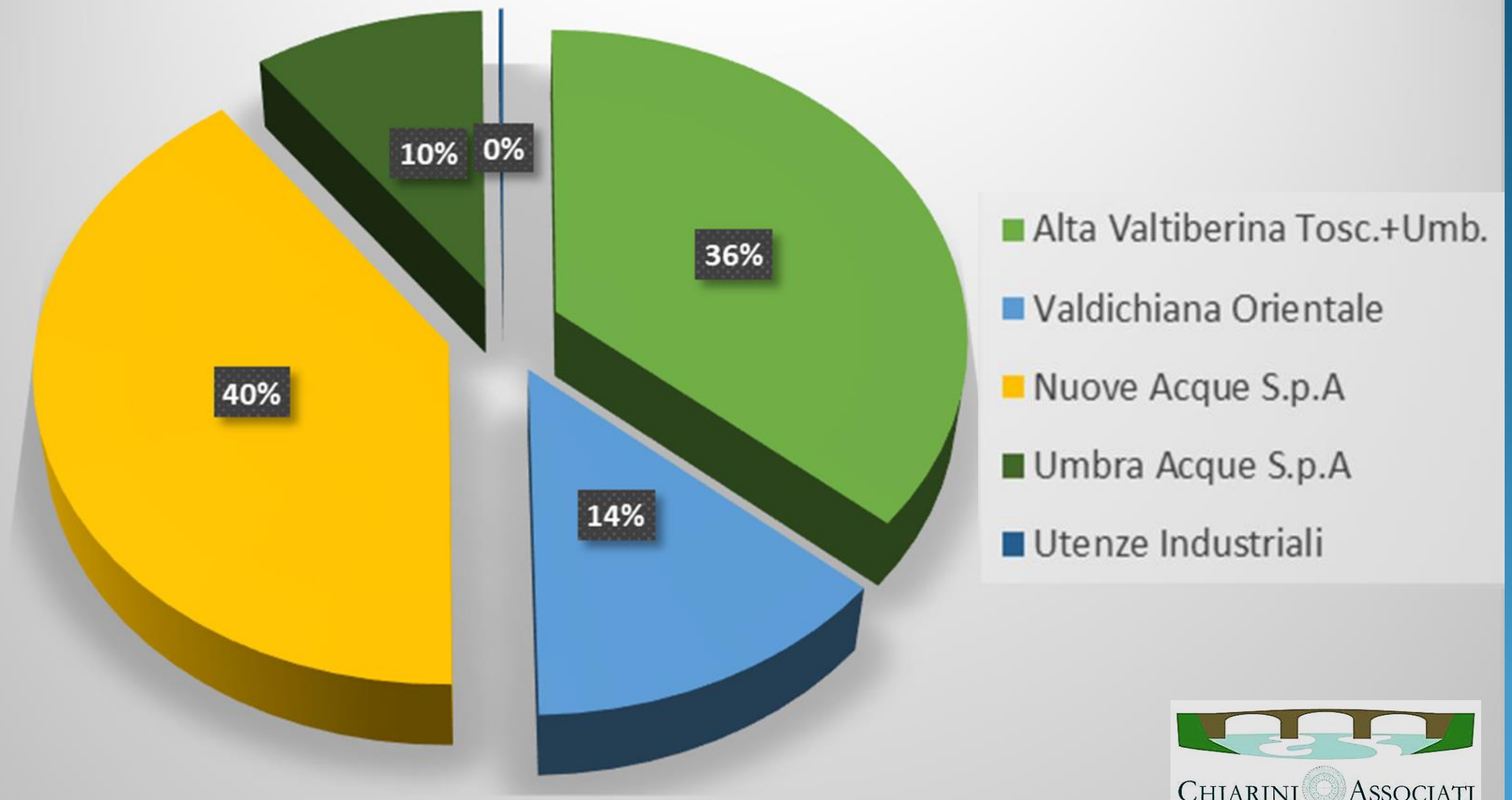
UTENZE INDUSTRIALI

- (UnoAerre S.p.A., Prada, etc): circa 50.000 mc/anno

TOTALE PRELIEVI IRRIGUI + IDROPOTABILI + INDUSTRIALI: CIRCA 26,1 Mmc/anno

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Ripartizione % dei prelievi annui dalla diga



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

L'INVASO DI MONTEDOGLIO SUL F. TEVERE



N.B.: Il lago artificiale di MontedoglIlio è il più grande lago della Toscana. Alla quota di massima regolazione Il suo volume è circa pari ad 1/4 del volume del Lago Trasimeno.

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

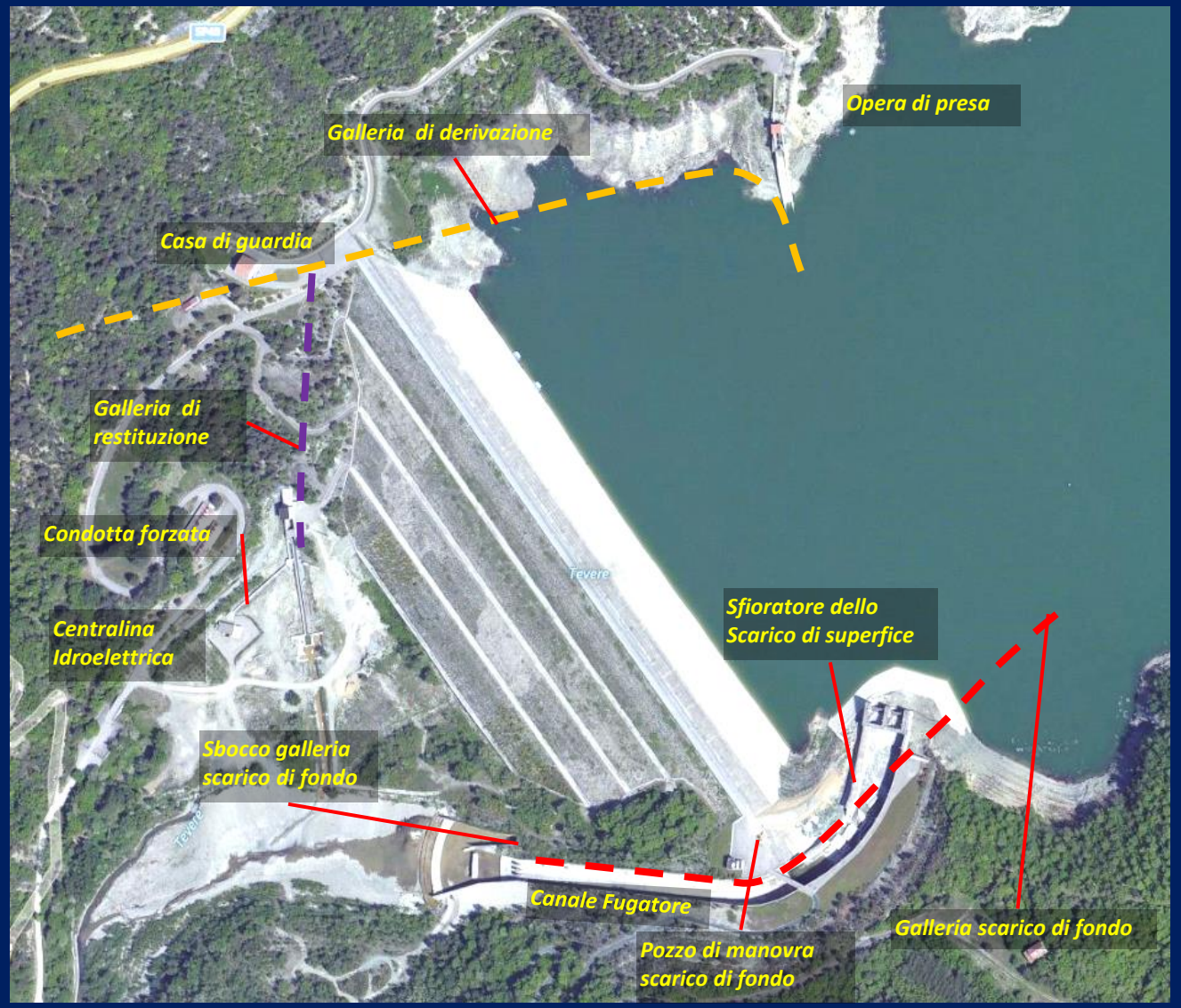
(ALLA QUOTA DI MASSIMA REGOLAZIONE):

•Bacino Sotteso	275.8	Kmq
•Distanza dalla sorgente	35.5	Km
•Sup. lago max. regolazione	7.7	Kmq
•Quota max regolazione prog.	394.60	m slm
•Quota Max. reg. a fine lavori	393,60	m slm
•Quota max invaso	396.30	m slm
•Max volume invaso	168.0	Mmc
•Volume max regolazione	142.5	Mmc
•Volume max reg. futuro	134,8	Mmc
•Vol. medio annuo utilizzabile	102.0	Mmc





LA DIGA E LE OPERE COMPLEMENTARI



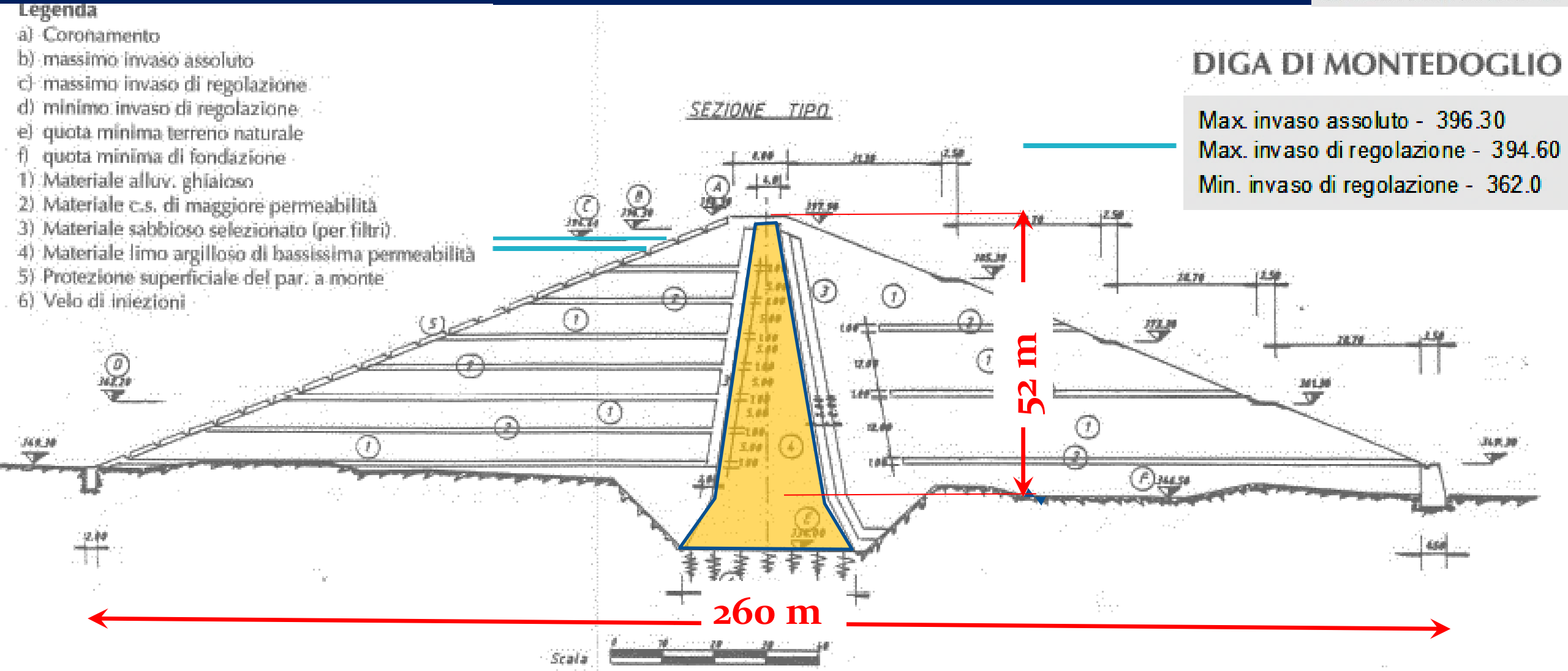
- Tipologia sbarramento: diga zonata in materiali sciolti
- Altezza dello sbarramento 64.30 m
- Larghezza coronamento (a 398,30 m.s.m.) 8.00 m
- Larghezza massima in fondazione (334,00 m.s.m) 258.00 m
- Lunghezza coronamento in sommità 556,00 m
- Volume del rilevato 2.705.301,00 mc
- Massimo volume d'invaso 168.0 Mm^3
- Volume di laminazione piene 15.00 Mm^3
- Tempo di realizzazione (1977- 1993) 16 anni
- Costi (1993) 120 Mld £
- Costi attualizzati (Istat: Giu. 1993-Dic. 2016) 100 Mil €



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Diga di Montedoglio - Sezione maestra

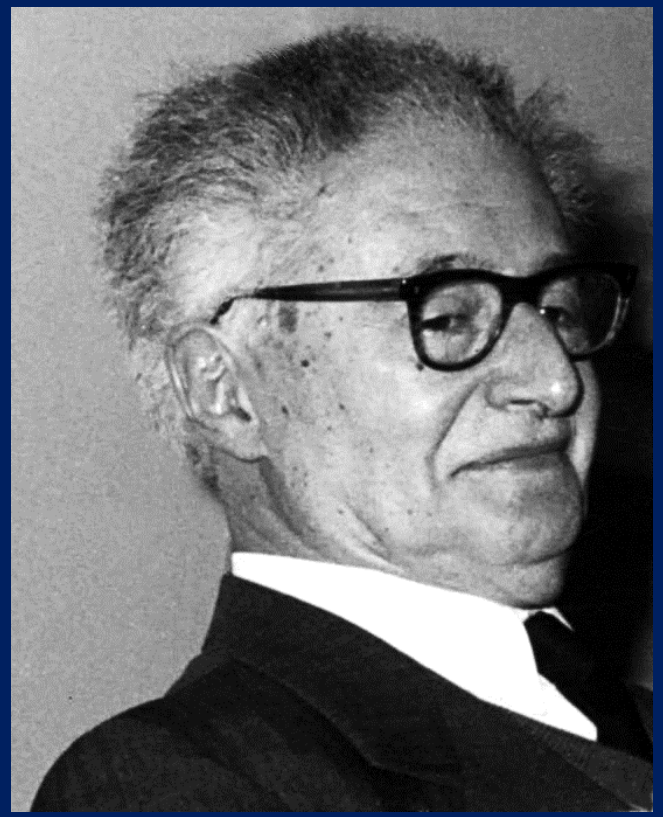
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

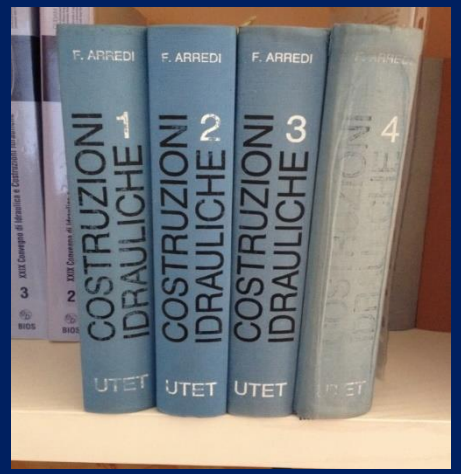


Diga zonata in materiali sciolti

Volume totale del rilevato: **2'638'000 mc** di cui **314'000 mc** contenuti nel nucleo in argilla

Il progettista: Prof. Ing. Filippo Arredi





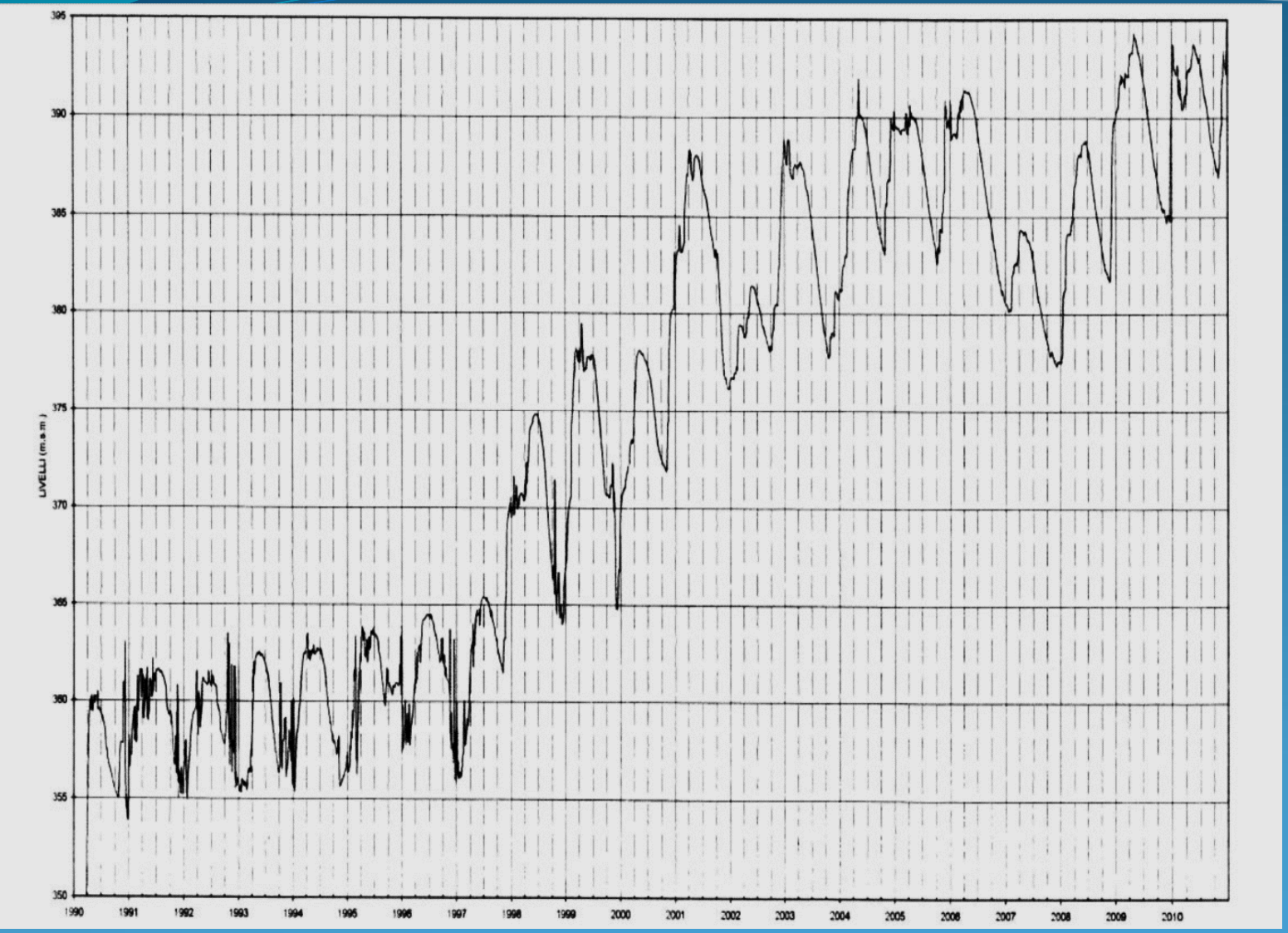
Il trattato di Arredi
«Costruzioni idrauliche»
UTET, Torino 1972

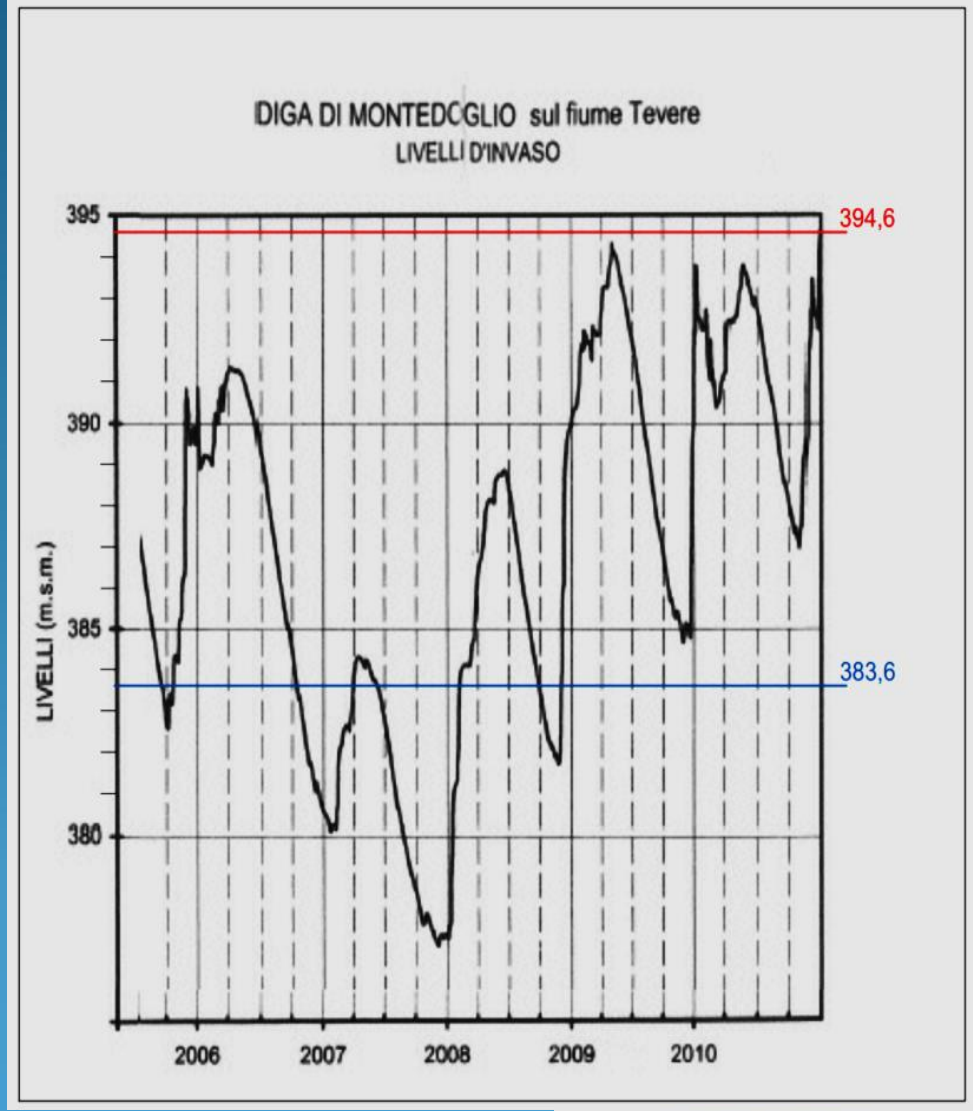
Il modello fisico degli scarichi di superficie e di fondo della Diga di Montedoglio



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Andamento del livello del serbatoio durante gli invasi sperimentali (dal Gen. 1990 – al 29 Dic. 2010)





CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Aprile 2009 – Il livello del lago è a circa 1 m dalla soglia di sfioro (394.60 m slm)



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Montedoglio, 29 dicembre 2010, ore 16:30. Tutto procede normalmente……



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Poi, improvvisamente
…….l’imponderabile…


TG3



Cedimento strutturale dello sfioratore di superficie della diga di Montedoglio. Analisi forense del crollo avvenuto in data 29.12.2010

Ing. Sossio DEL PRETE – Suburbia.Mode S.r.l., Caserta



Cedimento strutturale dello sfioratore di superficie della diga di Montedoglio. Analisi forense del crollo avvenuto in data 29.12.2010

Ing. Sossio DEL PRETE – Suburbia.Mode S.r.l., Caserta



Cedimento strutturale dello sfioratore di superficie della diga di Montedoglio. Analisi forense del crollo avvenuto in data 29.12.2010

Ing. Sossio DEL PRETE – Suburbia.Mode S.r.l., Caserta

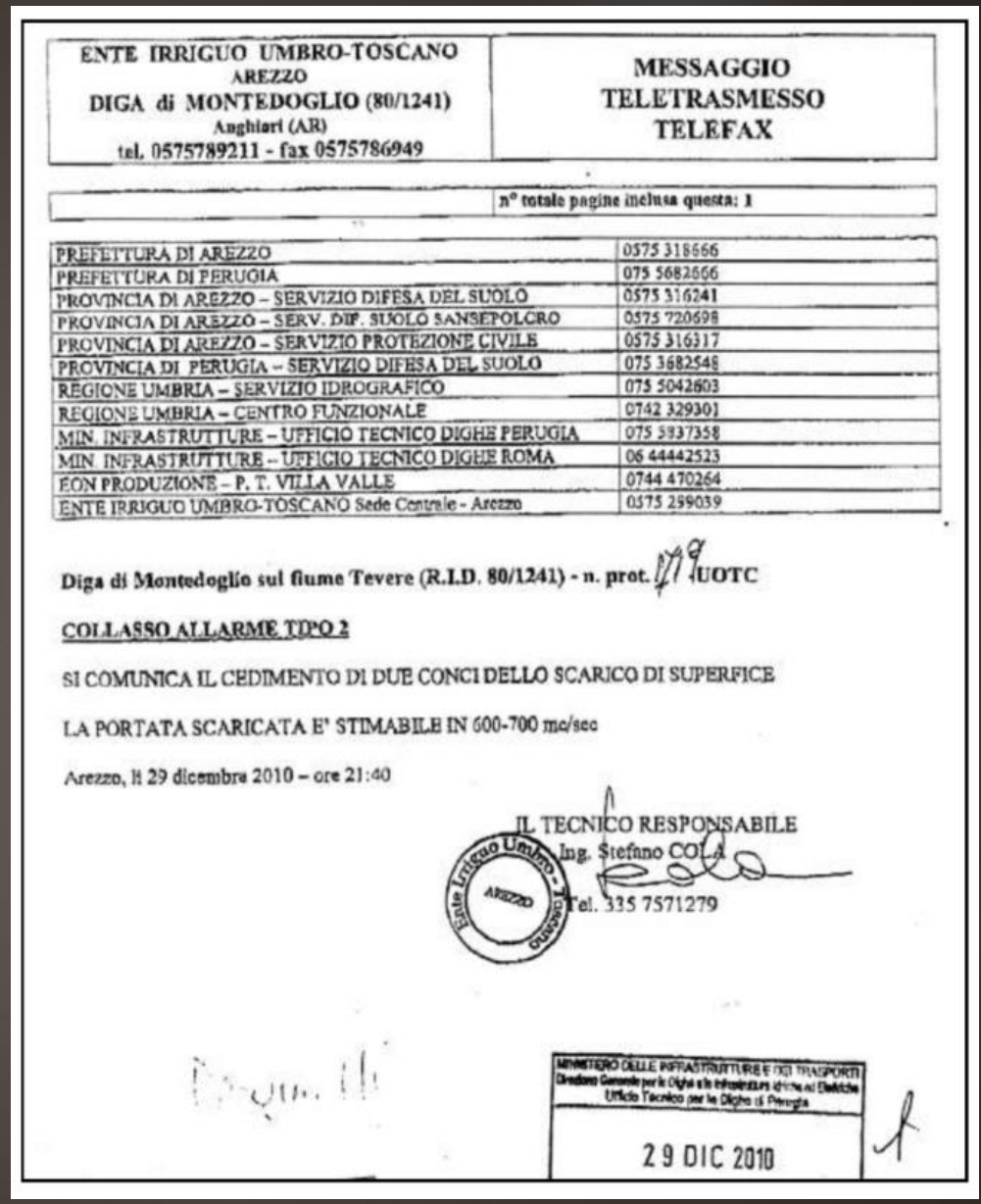
Ore 20:00 – 20:30

Avviene il collasso di una porzione del muro dello sfioratore di superficie mentre il livello di invaso ha raggiunto la quota 394,84 m s.l.m.
(+24 cm rispetto alla quota di regolazione).

La comunicazione fax delle ore 21:40 riferisce dell'avvenuto *«cedimento di due conci dello Scarico di Superficie»*
e di una portata rilasciata a valle di «circa 600-700 mc/s», portata che in breve allaga le aree golenali a valle della Diga

Dalle rilevazioni della rete sismografica non risultano eventi sismici concomitanti con il crollo

Nessuna azione eccezionale



ENTE IRRIGUO UMBRO-TOSCANO
AREZZO
DIGA di MONTEDOGLIO (80/1241)
Anghiari (AR)
tel. 0575789211 - fax 0575786949

MESSAGGIO
TELETRASMESSO
TELEFAX

n° totale pagine inclusa questa: 1

PREFETTURA DI AREZZO	0575 318666
PREFETTURA DI PERUGIA	075 5682666
PROVINCIA DI AREZZO – SERVIZIO DIFESA DEL SUOLO	0575 316241
PROVINCIA DI AREZZO – SERV. DIF. SUOLO SANSEPOLCRO	0575 720698
PROVINCIA DI AREZZO – SERVIZIO PROTEZIONE CIVILE	0575 316317
PROVINCIA DI PERUGIA – SERVIZIO DIFESA DEL SUOLO	075 3682548
REGIONE UMBRIA – SERVIZIO IDROGRAFICO	075 5042603
REGIONE UMBRIA – CENTRO FUNZIONALE	0742 329301
MIN. INFRASTRUTTURE – UFFICIO TECNICO DIGHE PERUGIA	075 3937358
MIN. INFRASTRUTTURE – UFFICIO TECNICO DIGHE ROMA	06 44442523
EON PRODUZIONE – P. T. VILLA VALLE	0744 470264
ENTE IRRIGUO UMBRO-TOSCANO Sede Centrale - Arezzo	0575 299039

Diga di Montedoglio sul fiume Tevere (R.I.D. 80/1241) - n. prot. 1719 /UOTC

COLLASSO ALLARME TIPO 2

SI COMUNICA IL CEDIMENTO DI DUE CONCI DELLO SCARICO DI SUPERFICE

LA PORTATA SCARICATA E' STIMABILE IN 600-700 mc/sec

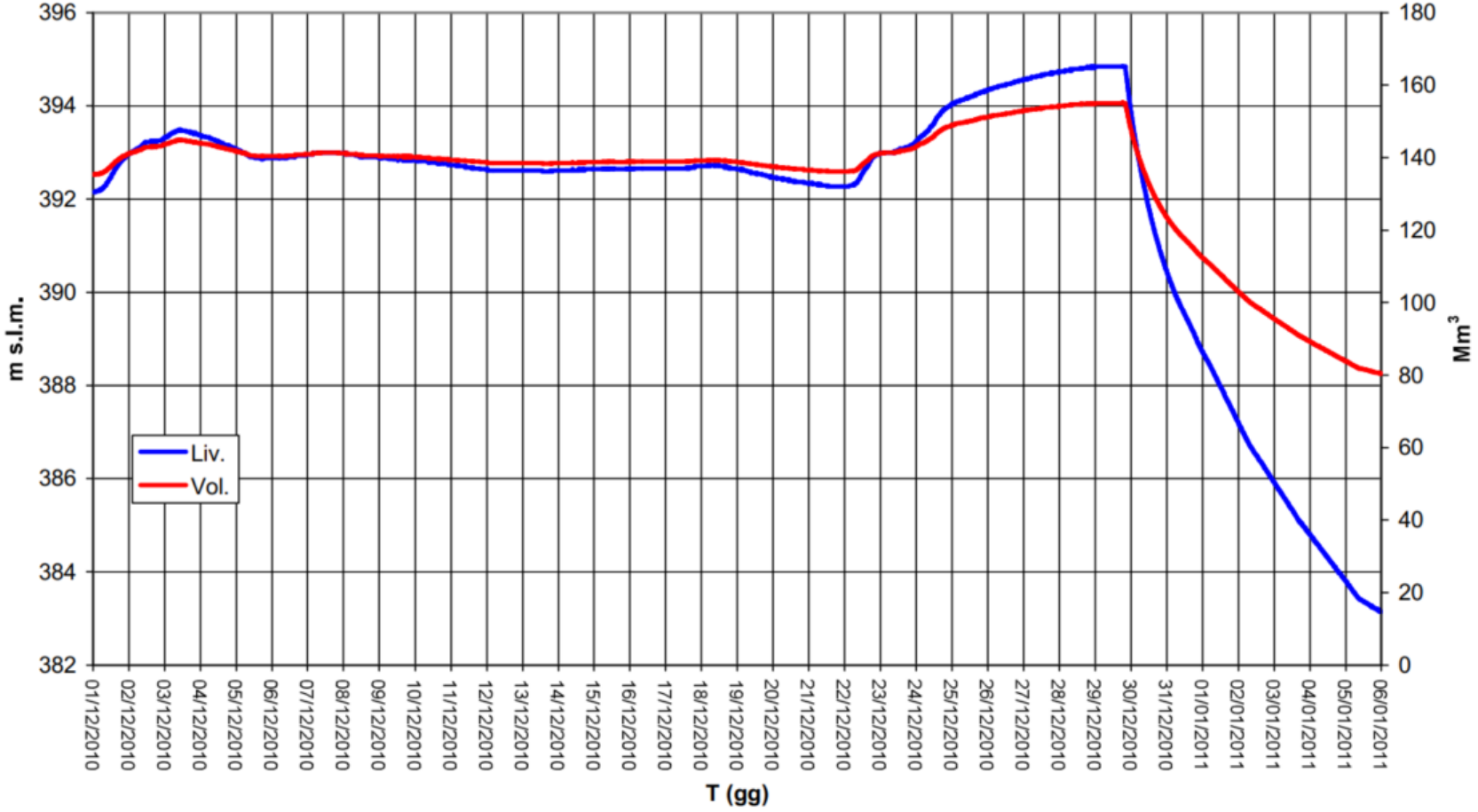
Arezzo, li 29 dicembre 2010 – ore 21:40

IL TECNICO RESPONSABILE
Ing. Stefano COLA
Tel. 335 7571279

Ente Irriguo Umbro - Toscano AREZZO

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche
Ufficio Tecnico per le Dighe di Perugia
29 DIC 2010

Per effetto del parziale cedimento dello sfioratore le sponde e la diga hanno subito di fatto un collaudo imprevisto e con esito favorevole in condizioni di «rapido svaso» - Infatti, in soli 7 gg, il volume invasato è passato da 160 Mmc a 80 Mmc ed il livello del lago da 394.84 a 383.60 mslm !!



Andamento dei livelli e dei volumi di invaso nel periodo 01/12/2010 – 06/01/2011

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

By courtesy of: Ing. Sossio DEL PRETE – Suburbia.Mode S.r.l., Caserta

Perché tre conci dello sfioratore sono collassati?

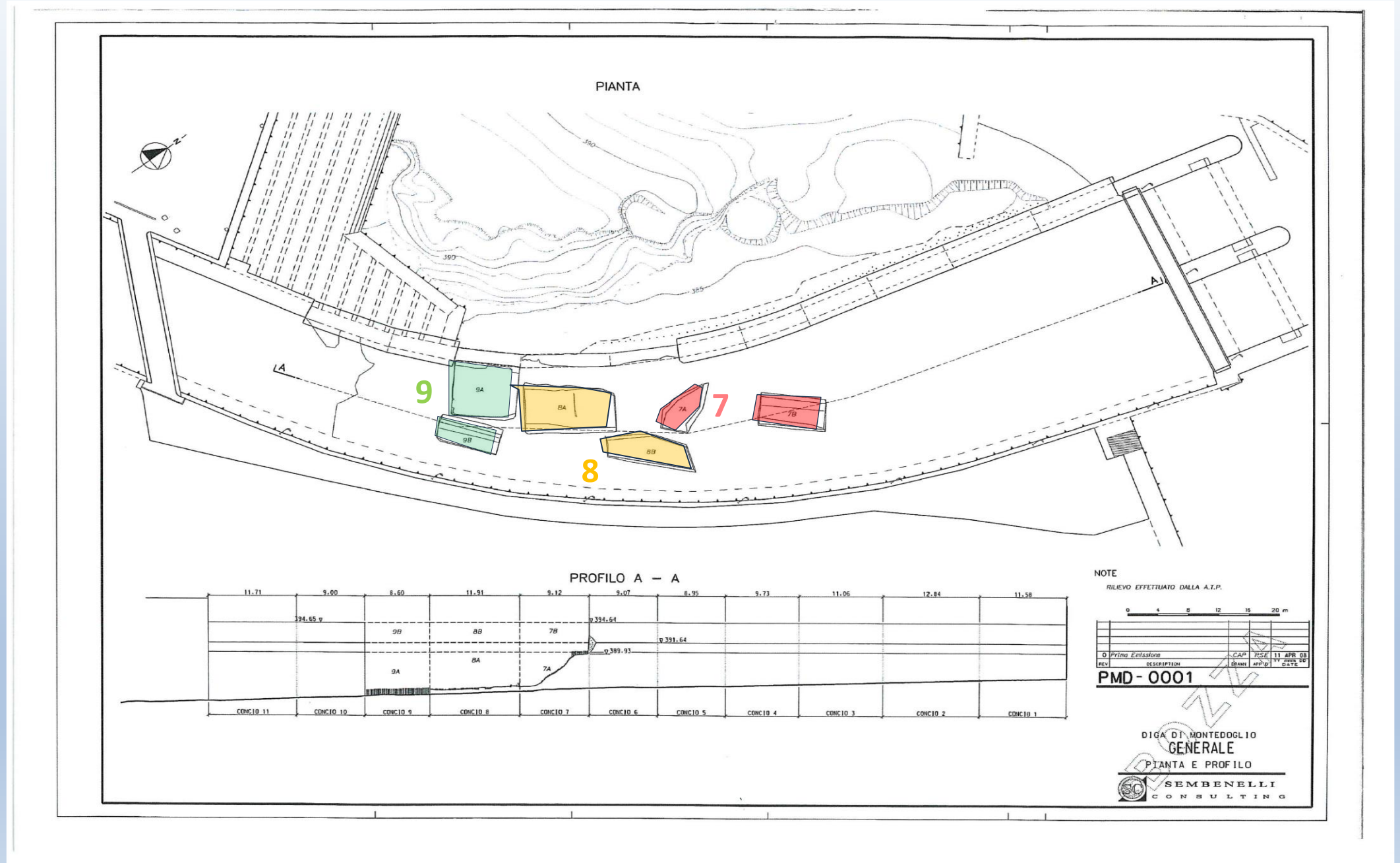
Procedimenti giudiziari seguiti al crollo

- Procedimento penale dinanzi al Tribunale Penale di Arezzo (1° grado);
- Procedimento dinanzi al Tribune Regionale delle Acque Pubbliche (T.R.A.P. di Firenze);
- Ricorso in appello (da parte del PM) presso la Corte d'Appello di Firenze (2° grado).

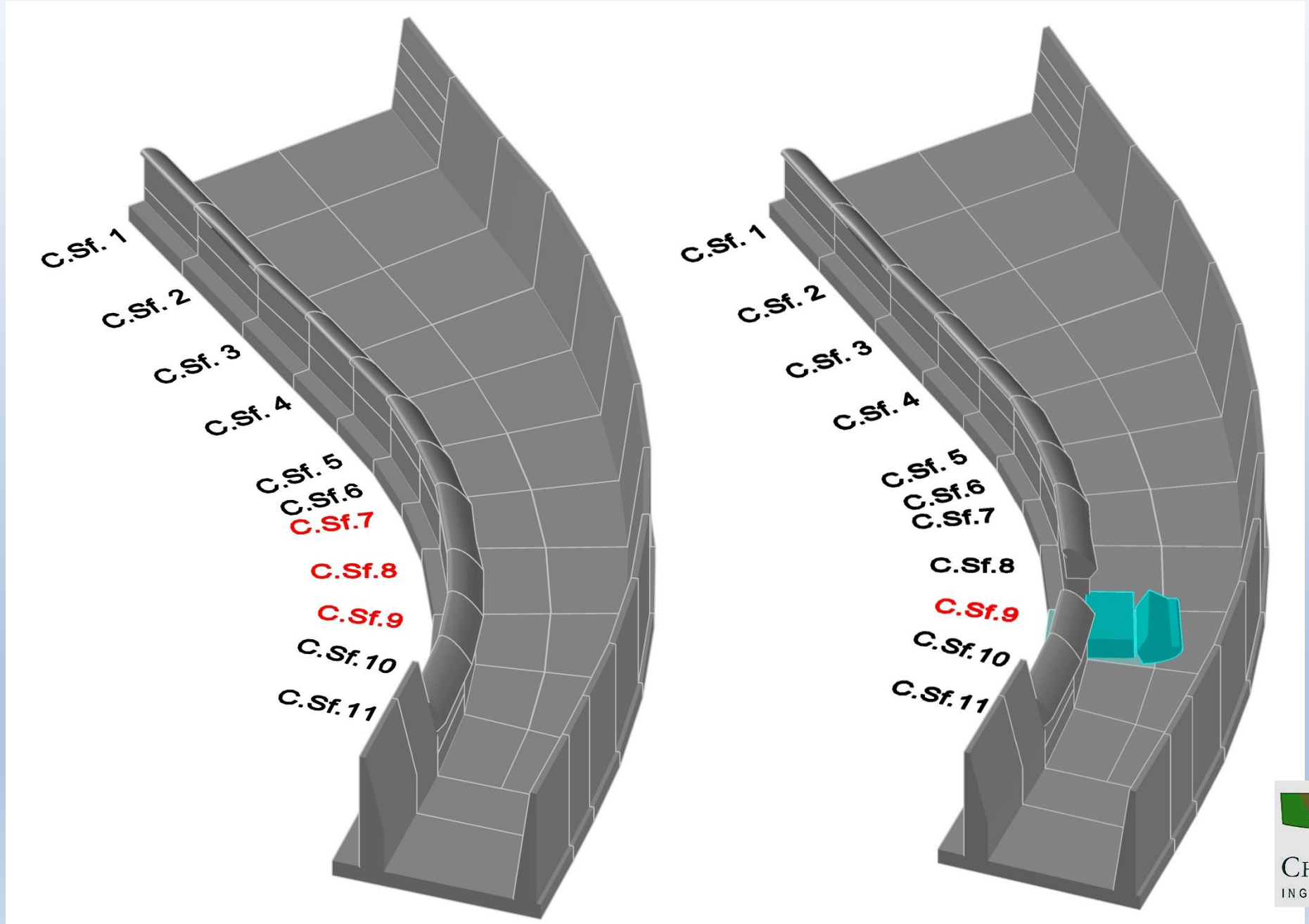
Documentazione tecnica ufficiale disponibile:

- Relazione del Gruppo di Lavoro nominato dal MIT;
- Consulenza Tecnica per conto del PM (resa dai periti nel giudizio di 1° grado);
- Consulenza Tecnica d'Ufficio resa nel procedimento presso il T.R.A.P. di firenze;
- Consulenza tecnica del perito del giudica resa nel procedimento in Corte di Appello (FI);
- Consulenze tecniche di parte rese in entrambi i giudizi penali ed in quello al T.R.A.P. (FI)

Posizione in pianta dei relitti dei conci 9, 8 e 7 dopo il crollo

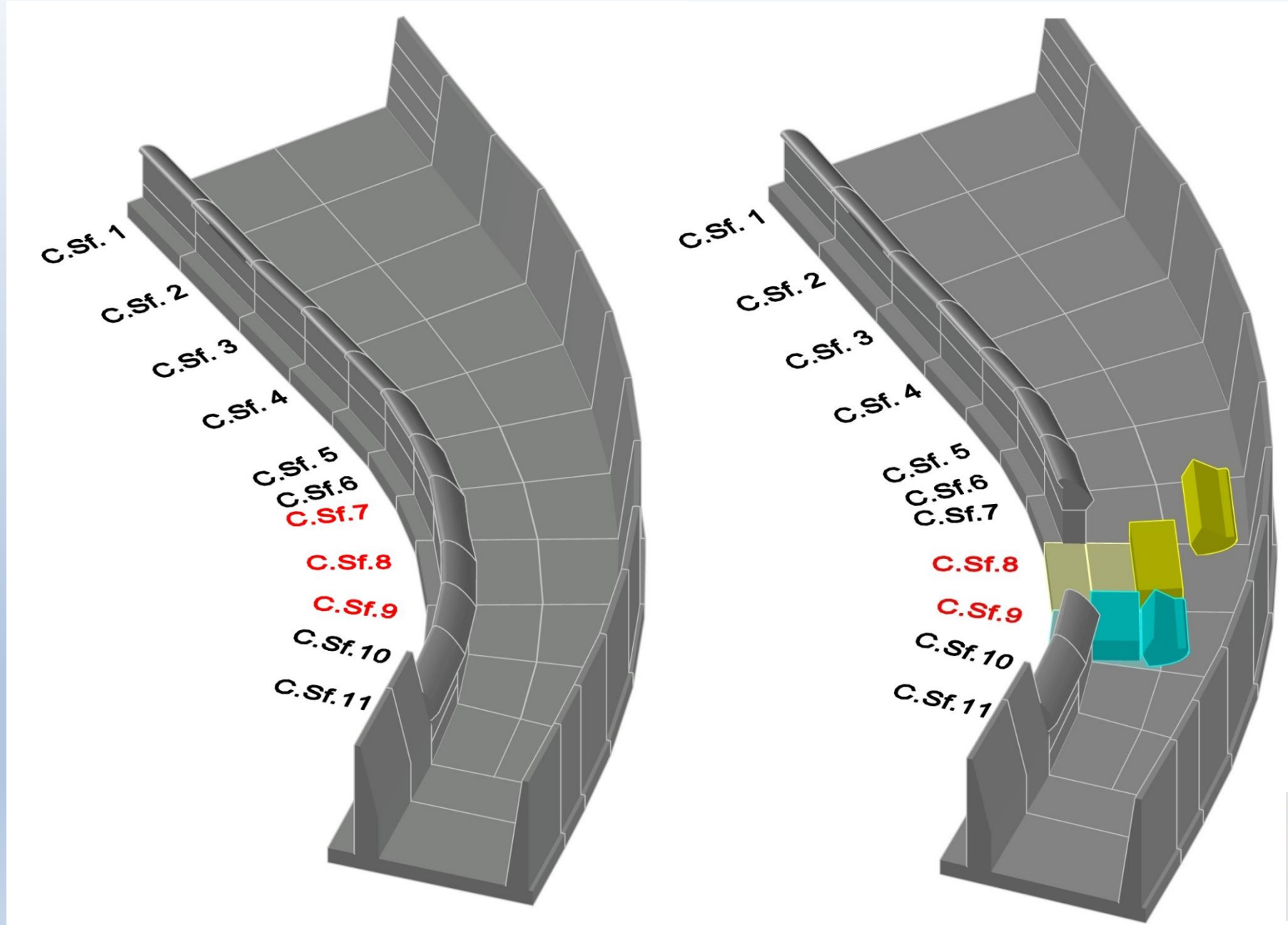


Successione delle probabili fasi di collasso dei conci 9,8 e 7



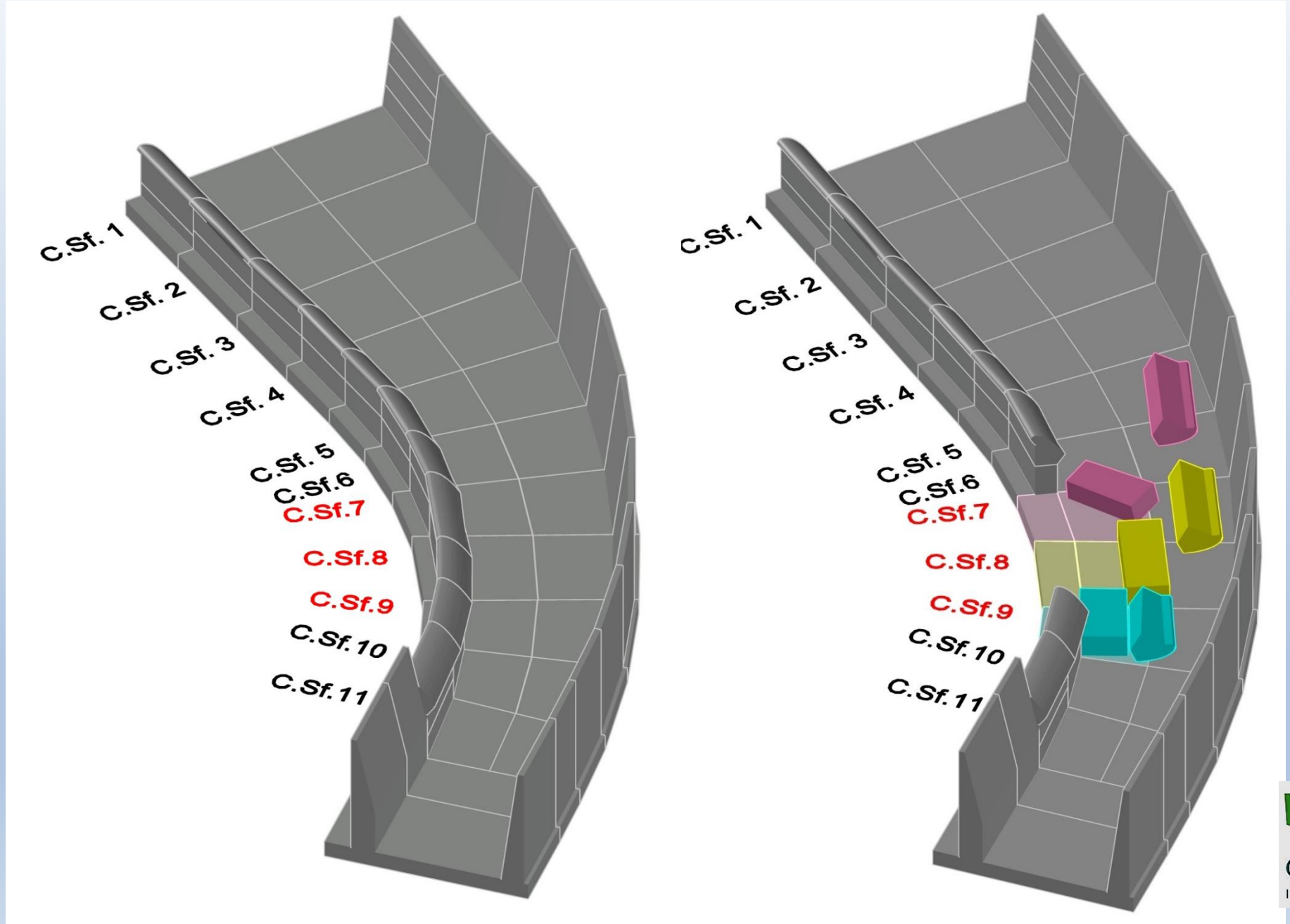
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Successione delle probabili fasi di collasso dei conci 9,8 e 7



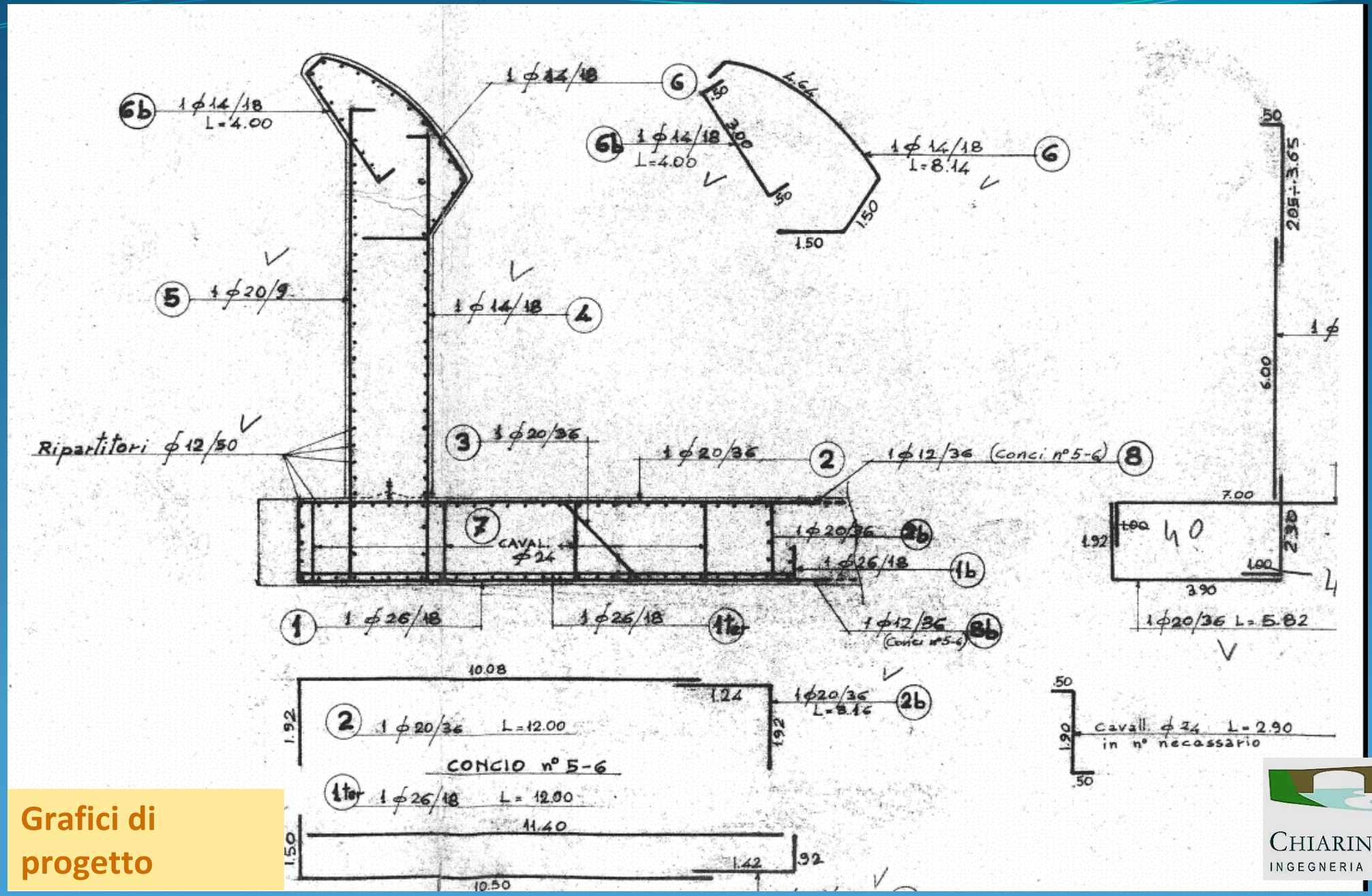
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Successione delle probabili fasi di collasso dei conci 9,8 e 7

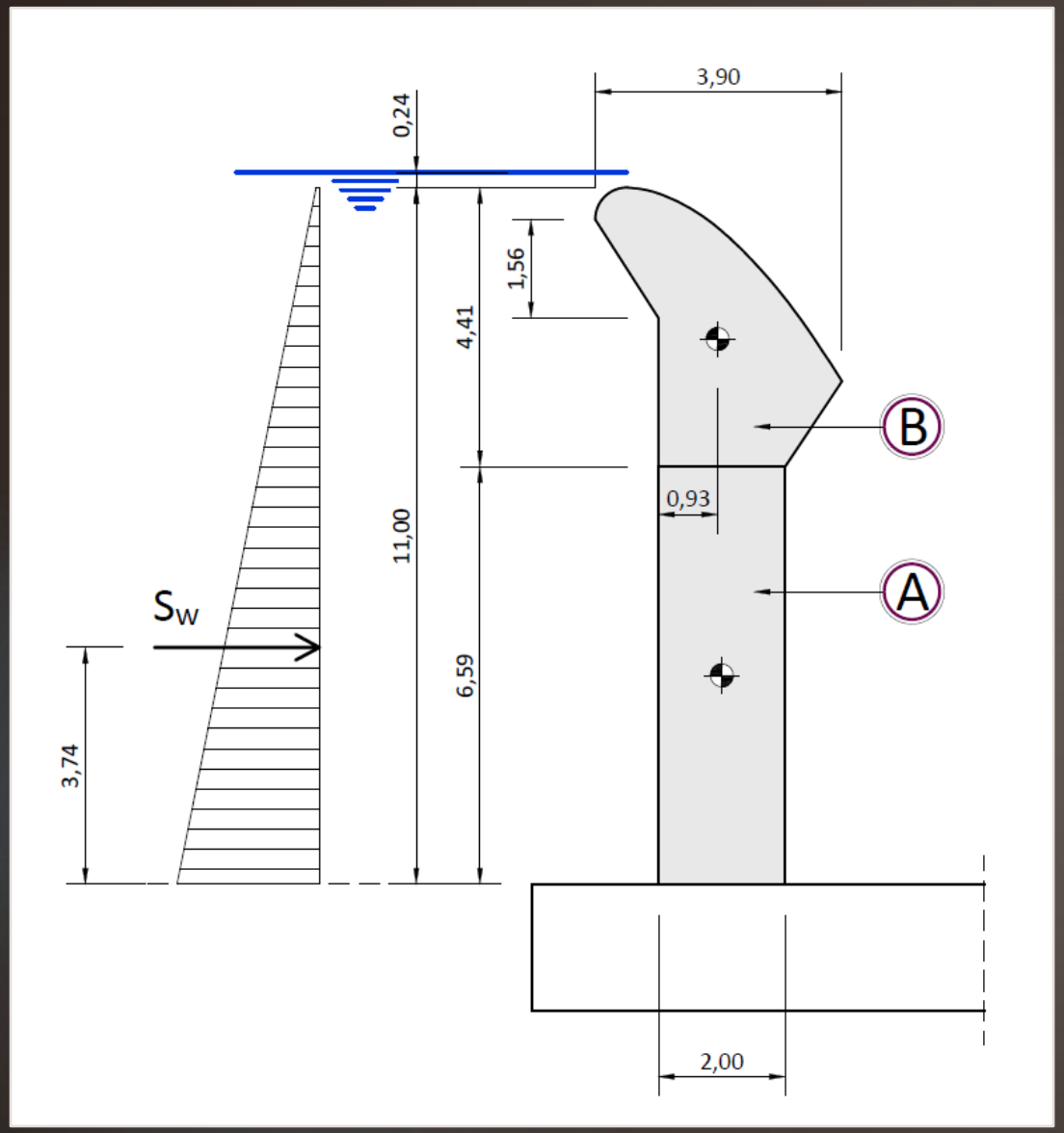


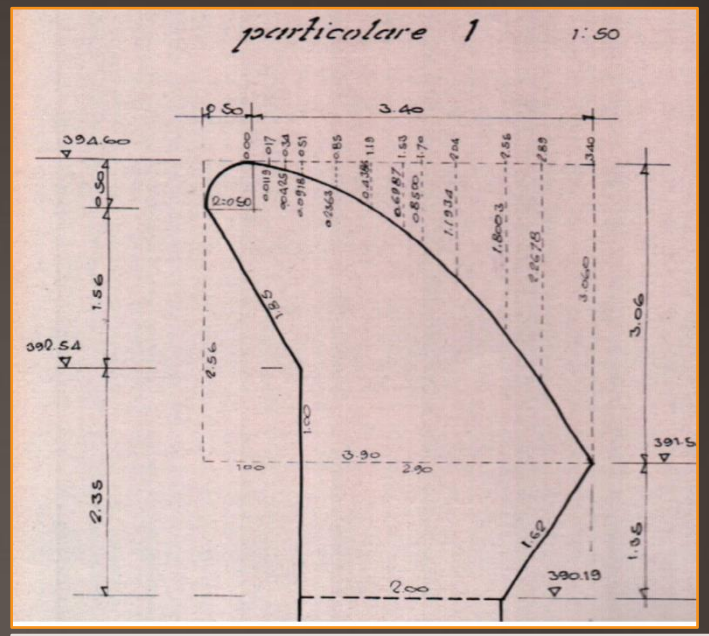
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

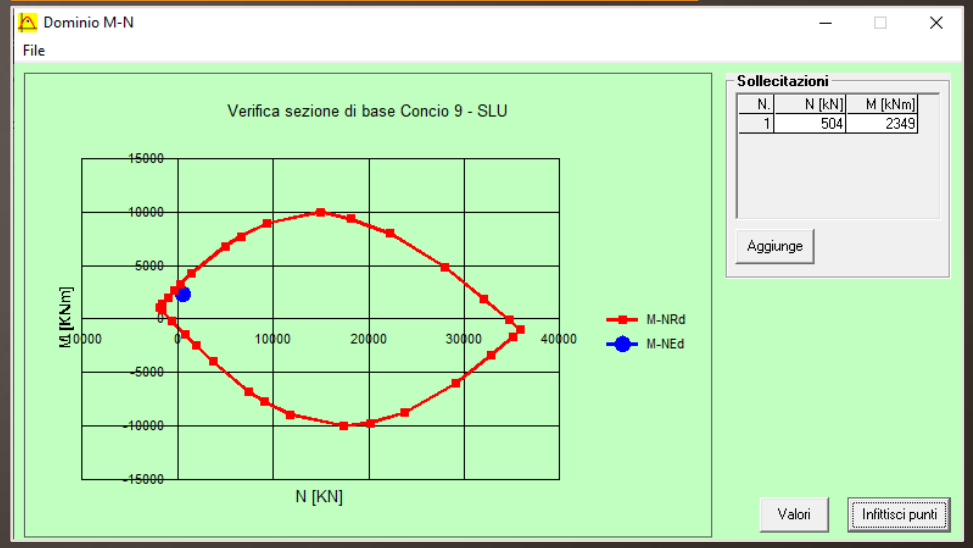
RILIEVI TECNICI PER LA RICERCA DELLE CAUSE DEL COLLASSO



Esecuzione di analisi e verifiche strutturali







Cedimento strutturale dello sfioratore di superficie della diga di Montedoglio. Analisi forense del crollo avvenuto in data 29.12.2010

Ing. Sossio DEL PRETE – Suburbia.Mode S.r.l., Caserta

Influenza del progresso della conoscenza e delle modifiche normative

– verifica al taglio

$T = S_{ls} = 57\,000$ kg

$$\tau_{max} = \frac{T}{0.9 \times 195 \times 100} = 3.25 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}\, c0$$

– verifica al taglio

$T = S_{ls} = 46\,080$ kg

$$\tau_{max} = \frac{T}{0.9 \times 195 \times 100} = 2.63 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\tau}\, c0$$

Verifiche di progetto del muro dello scarico di superficie (T. A.) – Documenti di progetto

Verifica a Taglio

La verifica viene effettuata secondo la modalità prevista dalla norma per gli elementi "non armati a taglio" verificando che la tensione tangenziale massima risulti minore del valore τ_{b0}, funzione della resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo.

$$\tau = \frac{T}{0{,}9 \cdot h \cdot b} = \frac{63200}{0{,}9 \cdot 190 \cdot 100} = 3{,}70\ kgf/cmq$$

Il valore limite (τ_{b0}) si determina con la seguente espressione:

$$\bar{\tau}_{b0} = 4 + \frac{R'_{bk} - 150}{75} \ [\text{kg/cm}^2]$$

e vale:

- Per il Calcestruzzo R'bk 250 -> 5,33 kg/cm²
- Per il Calcestruzzo R'bk 200 -> 4,67 kg/cm²

Verifica a taglio (T. A.) – Verifica Concio 9 al momento del crollo

Influenza del progresso della conoscenza e delle modifiche normative

L'espressione utilizzata delle vigenti NTC2018 (punto 4.1.2.3.5.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio) è la seguente:

$$V_{Rd} = \max\left\{\left[0{,}18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}\right] b_w \cdot d;\ (v_{\min} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d\right\}$$

Espressione della verifica a taglio allo SLU secondo NTC 2018

Verifica a taglio - D.M. 17-01-2018 - punto 4.1.2.3.5.1

Materiali		Geometria sezione		Parametri di verifica		Sollecitazioni di calcolo	
Calcestruzzo	*C16/20*	bw [mm]	1000	k	1,324	N_{Ed} [kN]	504,0
Rck [MPa]	20,0	h [mm]	2000	v_{min}	0,2174	V_{Ed} [kN]	632,0
fck [MPa]	16,6	c [mm]	100	ρ_l	0,0018		
fcd [MPa]	14,1	d [mm]	1900	σ_{cp}	0,2520	VERIFICA Sezione NON Armata a Taglio	
Acciaio	*Feb 44k*	Armatura longitudinale		Resistenze [4.1.23]			
fyk [MPa]	430	n° barre	11	V_{Rd} 1	691,9	V_{Rd} [kN]	691,9
fyd [MPa]	430,0	d [mm]	20	V_{Rd} 2	484,8		Verificato
		Area [mmq]	3454			D/C	0,91

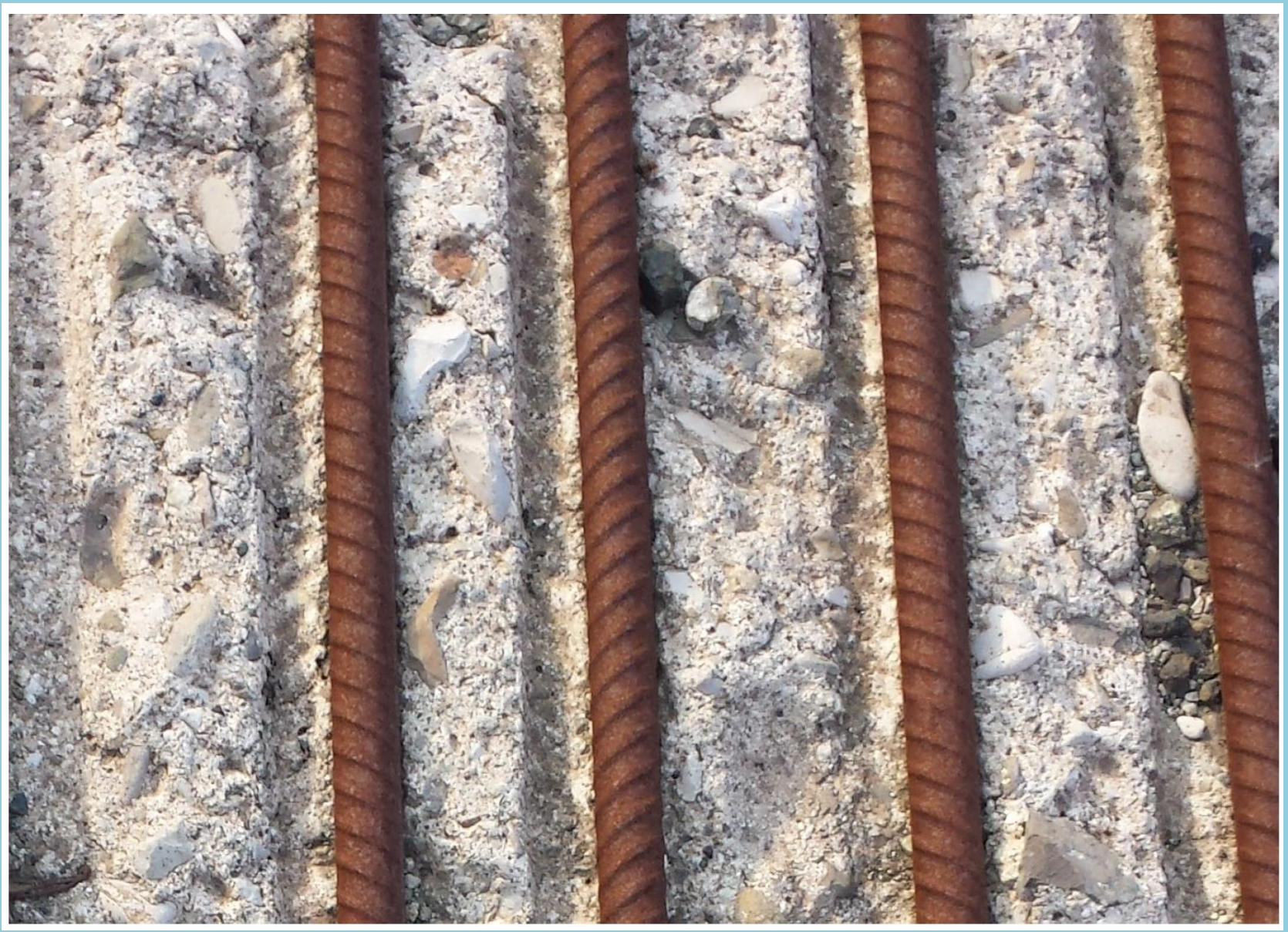
Il contributo dell'effetto spinotto è essenziale per garantire la verifica positiva nelle condizioni in cui si trova il Concio 9 sotto il carico idrico del serbatoio in fase di sfioro.

Nella verifica viene considerato l'effetto benefico della compressione dovuta al peso proprio della parete e del capitello.

Particolare dell'armatura al piede del CONCIO 9



Immagine che prova la delaminazione (distacco) del copriferro, con le orme dei ferri di chiamata perfettamente integre



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

RICOSTRUZIONE DELLE CAUSE DEL CROLLO

CAUSA PRINCIPALE E CONCAUSE

La "**Causa Principale**" del crollo del Concio 9 della parete dello scarico di superficie della Diga di Montedoglio è costituita dalla cattiva esecuzione del giunto di base della parete (cd. "*ripresa di getto*"). La mancata attenzione riservata al momento della costruzione, sebbene destinataria di specifici interventi richiesti dal CSA, ha minato in maniera occulta ed irreparabile la sicurezza della struttura.
La spinta idrostatica dell'acqua giunta fino al suo limite superiore innesca il distacco e lo scivolamento della parete rispetto alla platea fondazione. In queste condizioni gli unici meccanismi resistenti effettivamente in grado di assicurare l'assorbimento dello sforzo di taglio sono costituiti dalle tensioni tangenziali presenti nella parte compressa della sezione parzializzata (estesa per circa ¼ dell'intera superficie) e dai meccanismi secondari, primo fra tutti l'effetto spinotto delle armature di attesa. In questa maniera la stabilità del concio viene assicurata fino ad un istante prima del crollo, ossia fino a che la sovrasollecitazione generatasi nel copriferro, proprio a causa dell'effetto spinotto delle armature rivolte verso il serbatoio, non ne produce il completo distacco (sfondellamento/delaminazione), privando l'armatura tesa del necessario ancoraggio e condannando, irrimediabilmente, il Concio 9 al crollo.

RICOSTRUZIONE DELLE CAUSE DEL CROLLO

Il meccanismo di crisi è stato favorito da una serie di **concause** a diverso titolo intervenute, ma tutte agenti in maniera sinergica e concordi nell'erodere i residui margini di sicurezza della struttura fino al suo completo collasso.

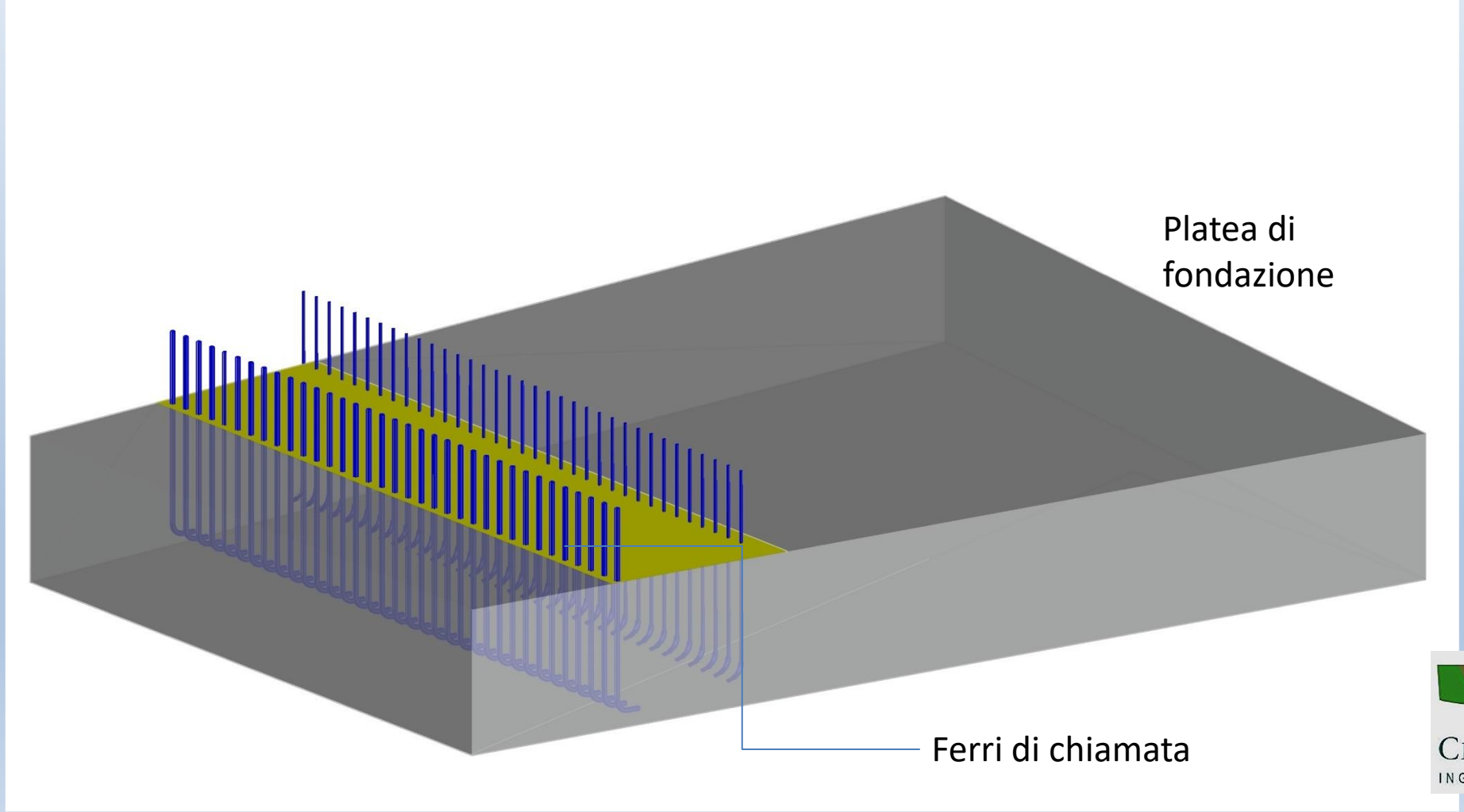
Le concause individuate sono di seguito elencate:

- La ripresa dell'armatura non venne eseguita in conformità della norma e delle previsioni di capitolato (mancato sfalsamento e assenza di collegamento tra le barre con legature, manicotti o saldatura).
- L'inefficacia del water-stop di base che ha determinato una sottospinta che ha influito negativamente sulla già limitata capacità di trasmissione del taglio alla base mediante meccanismi di tipo attritivo (ingranamento tra le due superfici).

- Errata scelta del diametro dell'armatura tesa dimensionata in maniera poco accorta – non prediligendo l'impiego di barre di dimensione maggiore (riduzione interferro e conseguente resistenza del copriferro alla delaminazione).
- Erroneo posizionamento delle barre di ripresa affiancate di lato e non posteriormente all'armatura di attesa (ulteriore riduzione dell'interferro).
- Mancata osservanza della norma prevista dal§ 4.5 del D.M. 1976 che prescriveva, per i copriferri di spessore superiore ai 4 cm, l'adozione di "*opportuni provvedimenti intesi ad evitare il distacco*" (reti di armatura, legature).

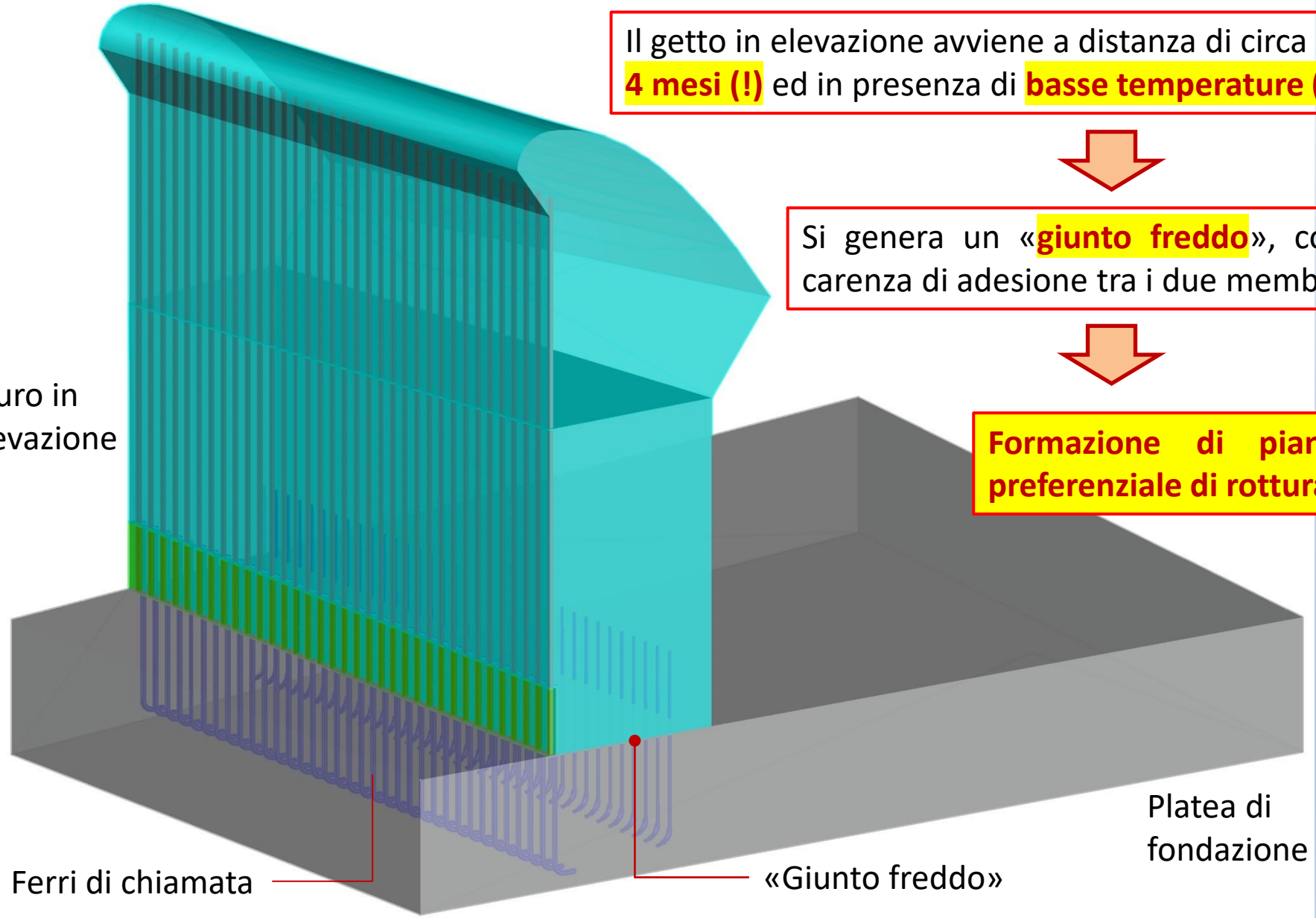
Cause primarie del collasso del concio 9

1. cattiva esecuzione della ripresa di getto tra la platea di fondazione e il muro in elevazione («giunto freddo»)
2. Lunghezza e ancoraggio dei ferri di chiamata insufficienti



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Completamento del muro in elevazione



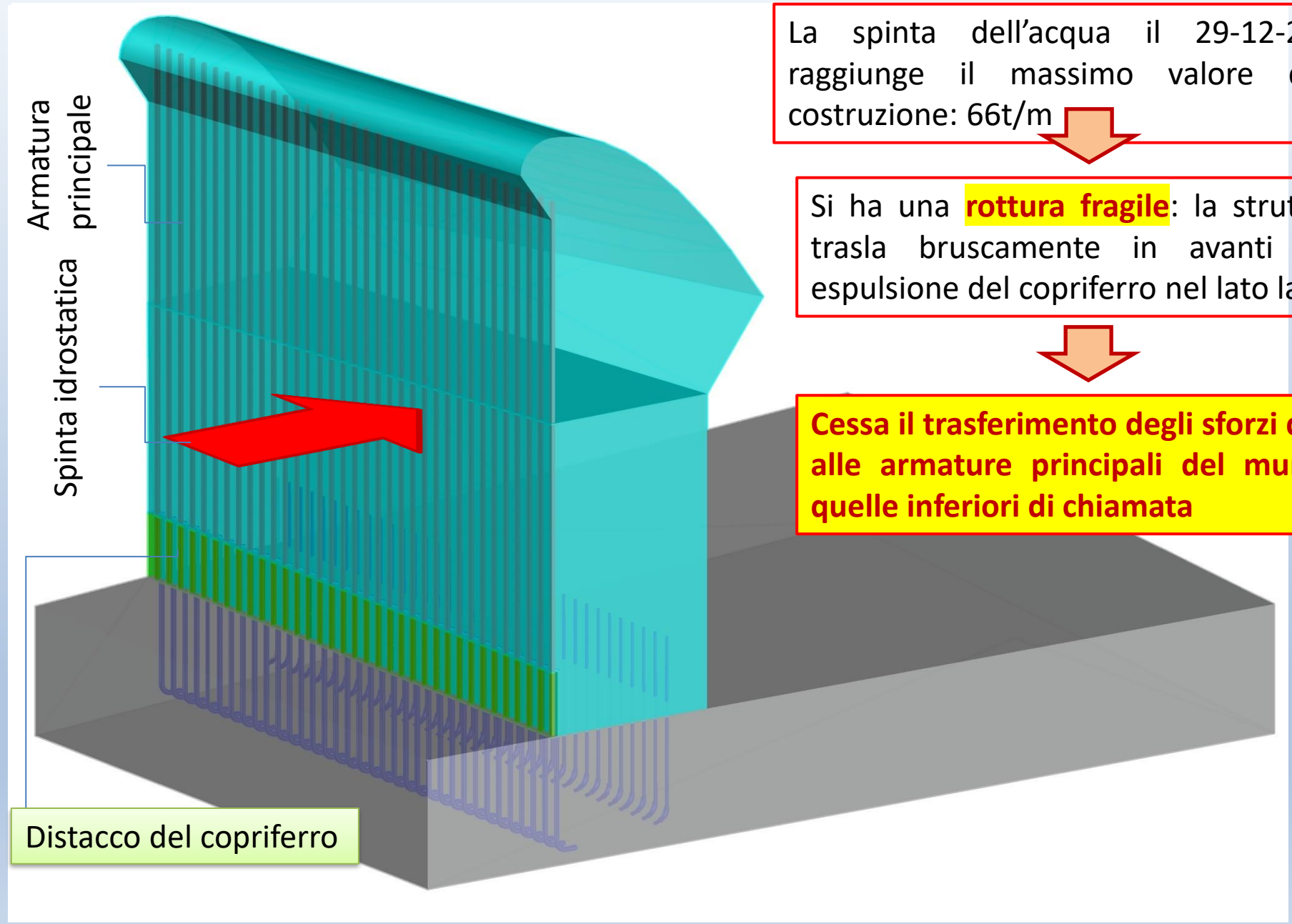
Il getto in elevazione avviene a distanza di circa **4 mesi (!)** ed in presenza di **basse temperature (!)**

Si genera un «**giunto freddo**», con carenza di adesione tra i due membri

Formazione di piano preferenziale di rottura

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Il 29 dic. 2022 l'acqua raggiunge la soglia di sfioro



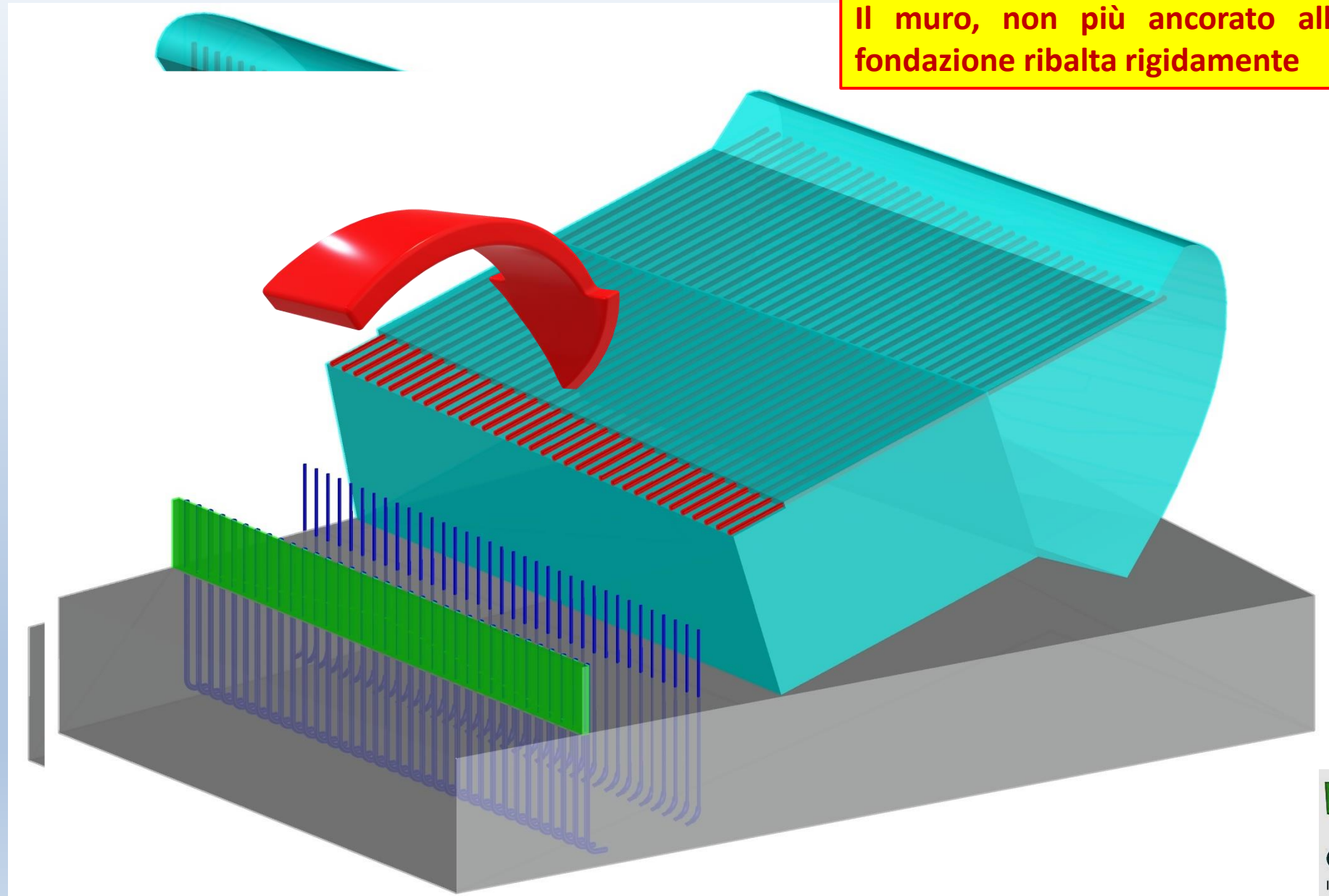
La spinta dell'acqua il 29-12-2010 raggiunge il massimo valore dalla costruzione: 66t/m

Si ha una **rottura fragile**: la struttura trasla bruscamente in avanti con espulsione del copriferro nel lato lago

Cessa il trasferimento degli sforzi dalle alle armature principali del muro a quelle inferiori di chiamata

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

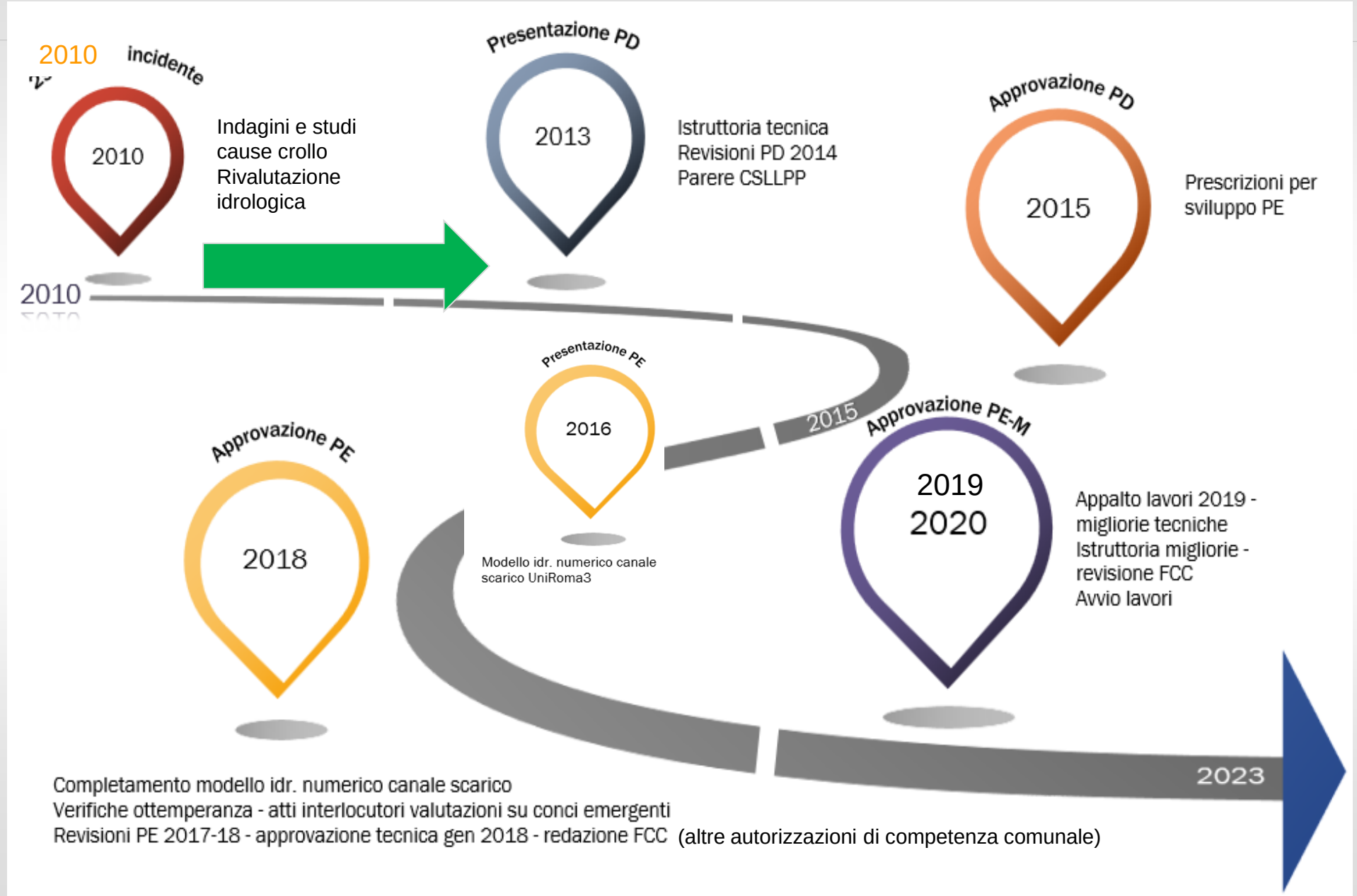
Il collasso del concio 9 che ha innescato quelli successivi dei conci 8 e 7



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

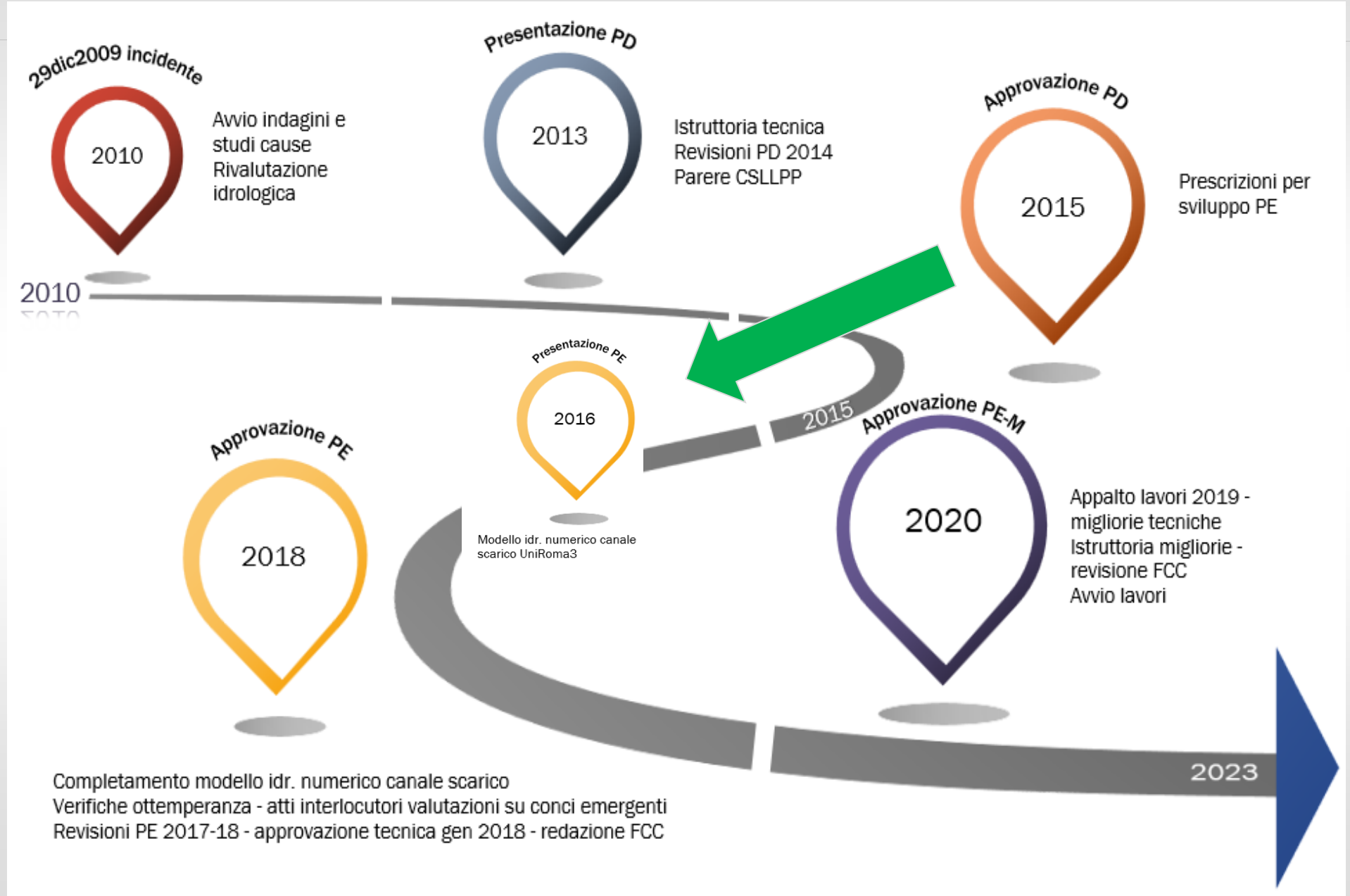
Intervento di ripristino - Iter progettazione e approvazione tecnica

(by courtesy of: Ing. Vincenzo Chieppa – DGD – MIT)



Intervento di ripristino - Iter progettazione e approvazione tecnica

(*by courtesy of: Ing. Vincenzo Chieppa – Direzione Generale Dighe – MIT*)



Lavori di ripristino e messa in sicurezza dello scarico di superficie

I Progettisti

Progetto definitivo

PROGETTAZIONE
Ing. Stefano COLA

GEOLOGIA
Dr. Filippo RONDONI

CONSULENZA GEOTECNICA
Prof. Ing. Alessandro GHINELLI

SUPPORTO TECNICO E SICUREZZA
CHIARINI & ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
Dott. Ing. Remo CHIARINI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Ing. Andrea CANALI

CONSULENZA IDRAULICA
Prof. Ing. Alberto NOLI

CONSULENZA STRUTTURALE
Prof. Ing. Luigi Annibale MATERAZZI

Progetto esecutivo

PROGETTAZIONE GENERALE
Ing. Stefano COLA

GEOLOGIA
Dr. Filippo RONDONI

ATTIVITÁ SPECIALISTICA SVILUPPO ESECUTIVO DEI CALCOLI
S2R SEISMIC RISK REDUCTION
Spin–Off Università degli Studi di Firenze
Start–Up Innovativa

RESP. PROCEDIMENTO
Ing. Thomas CERBINI

IDRAULICA
Prof. Ing. Alberto NOLI

GEOTECNICA
Prof. Ing. Andrea VIGNOLI

STRUTTURE
Prof. Ing. Luigi Annibale MATERAZZI

IMPRESA ESECUTRICE
krea COSTRUZIONI
KREA COSTRUZIONI S.r.l.
Via della Doga, 71
05036 Narni Scalo – TERNI

PROGETTAZIONE GEOTECNICA E STRUTTURALE PER L'IMPRESA
AGiS Ingegneria
AGiS Ingegneria S.r.l.
Via Sabotino, 46 – 00195 ROMA
Ing. Giuseppe Panetta

Varianti tecniche-migliorie

Consulenze

CNR IRPI PG e UniPG Dip. Ingegneria civile e ambientale (idrologia 2006-08)

UniRomaTre – Prof. Giorgio Bellotti et al. (modellaz. idr. 3D 2016-2017)

Finanziamento intervento MiPAAF (ora MASAF)

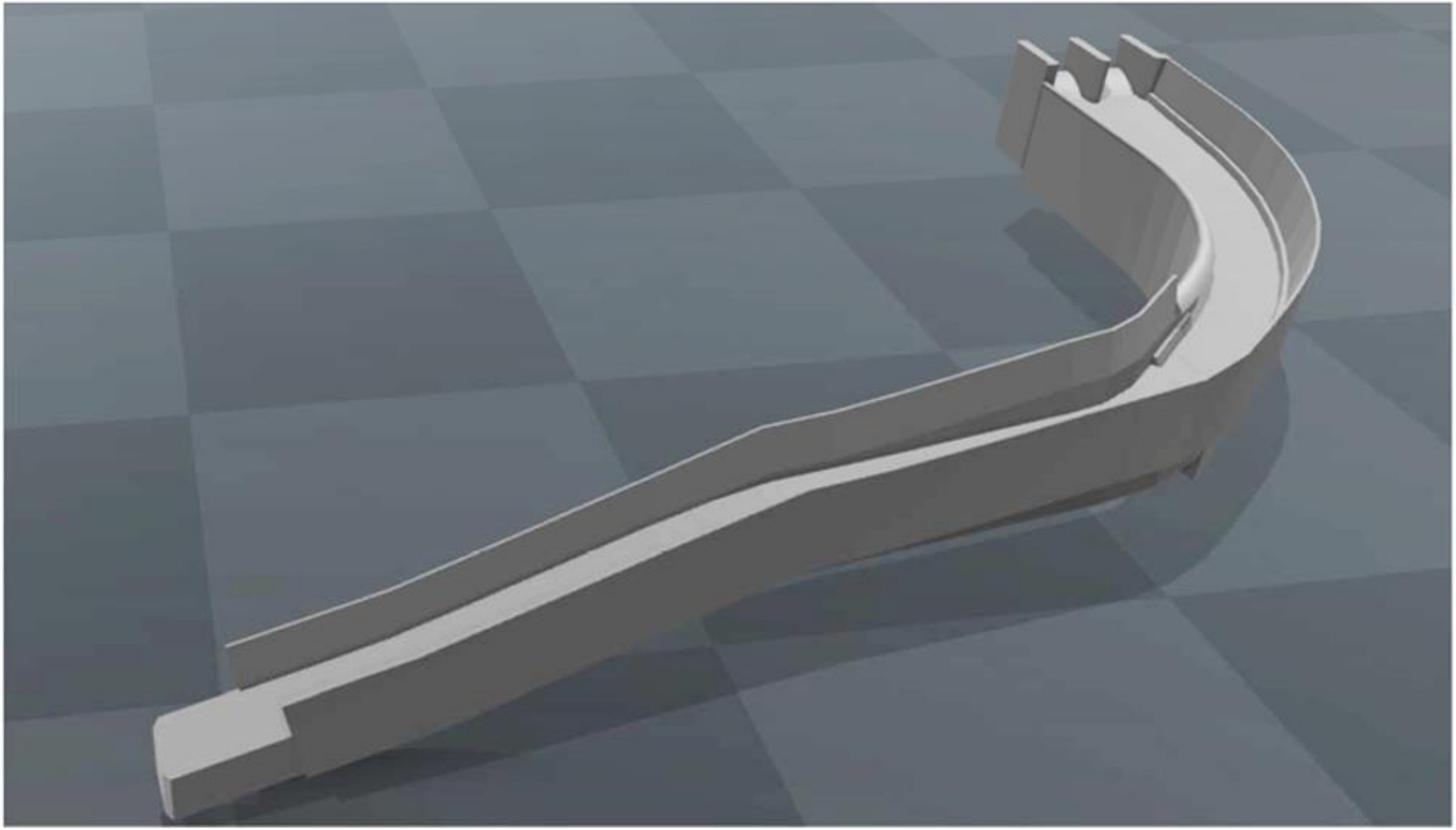
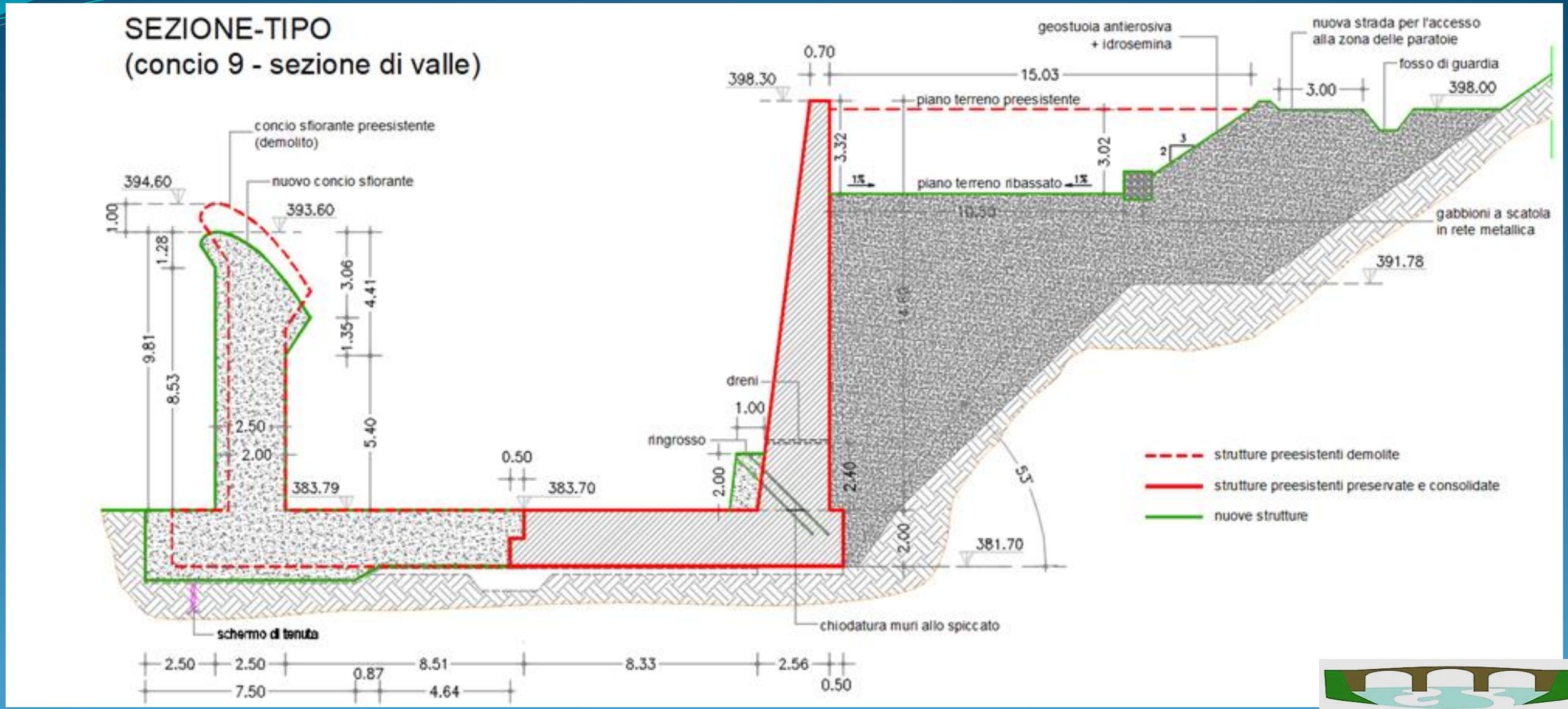


Figura 1 – Modello geometrico del manufatto di sfioro: sono visibili i due ringrossi in sinistra e destra idraulica.

Confronto tra lo stato di progetto e lo stato originario



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

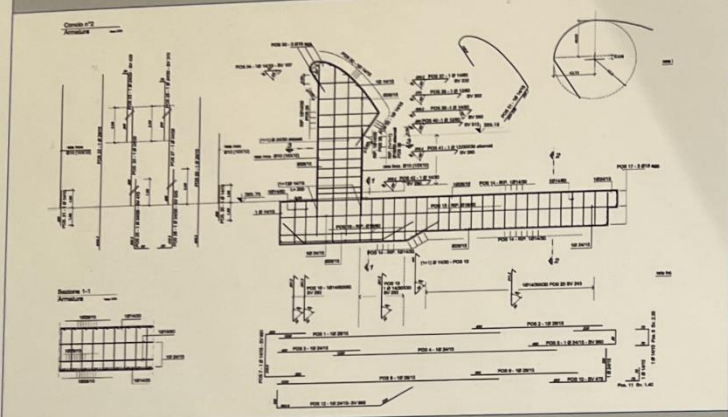
mipaaf ministero delle politiche agricole alimentari e forestali

EAUT

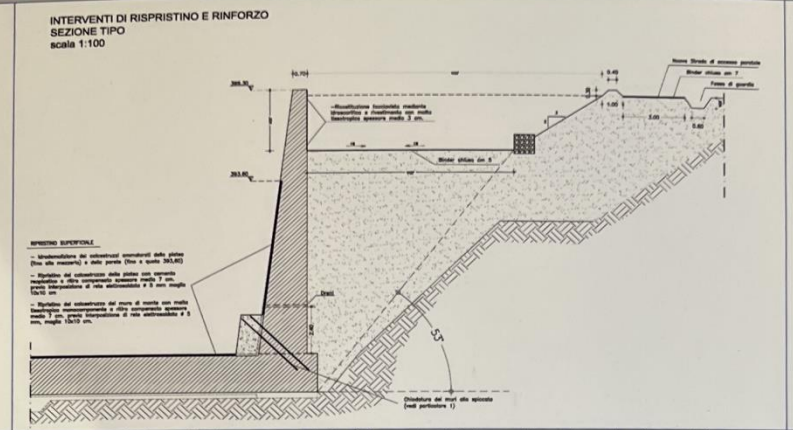
ENTE ACQUE UMBRE-TOSCANE - www.eaut.it - Via Ristoro d'Arezzo,96 - Arezzo

Diga di Montedoglio - *"Interventi per il ripristino delle strutture cementizie dello scarico di superficie"*

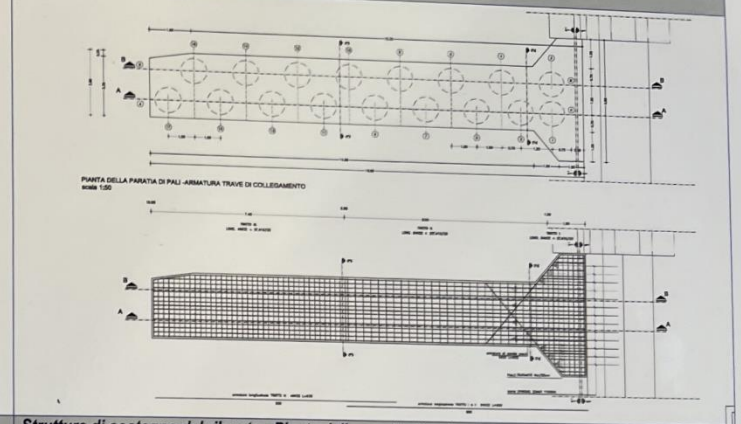
krea COSTRUZIONI



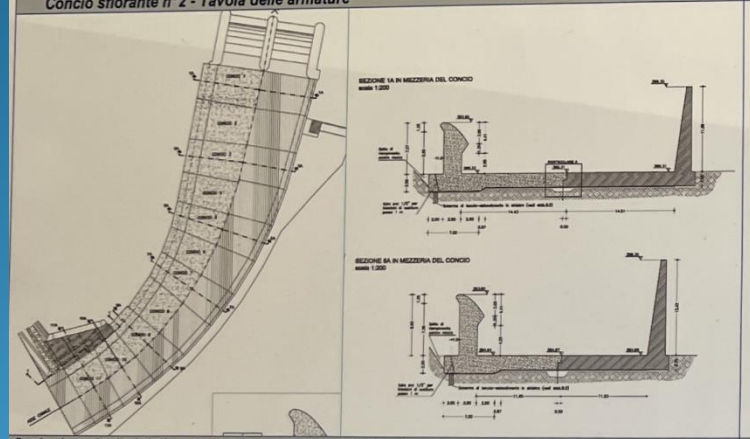
Concio sfiorante n°2 - Tavola delle armature



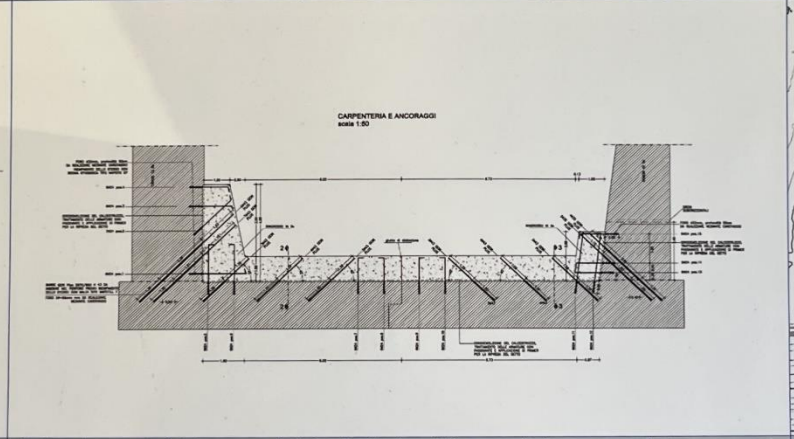
Sezione e particolare del ringrosso al piede del muro in sinistra e alleggerimento a tergo del muro



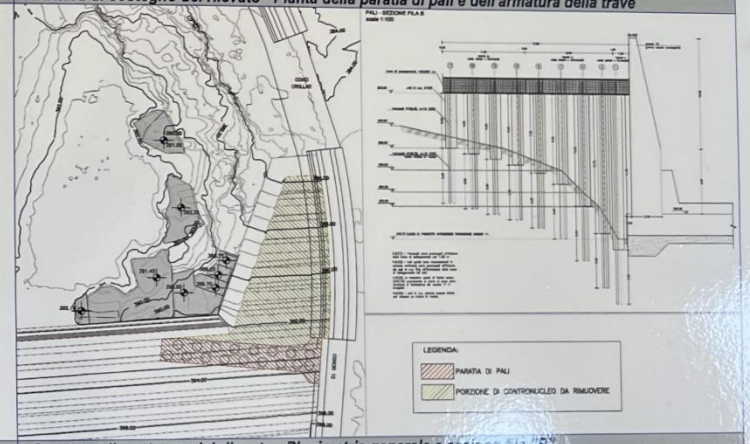
Struttura di sostegno del rilevato - Pianta della paratia di pali e dell'armatura della trave



Sezioni particolari dello scarico di superficie ristrutturato



Sezione trasverale del ringrosso al piede - Particolare delle carpenterie e ancoraggi



Struttura di sostegno del rilevato - Planimetria generale e sezione fila "B"







Verifiche idrauliche sul nuovo assetto dello scarico di superficie

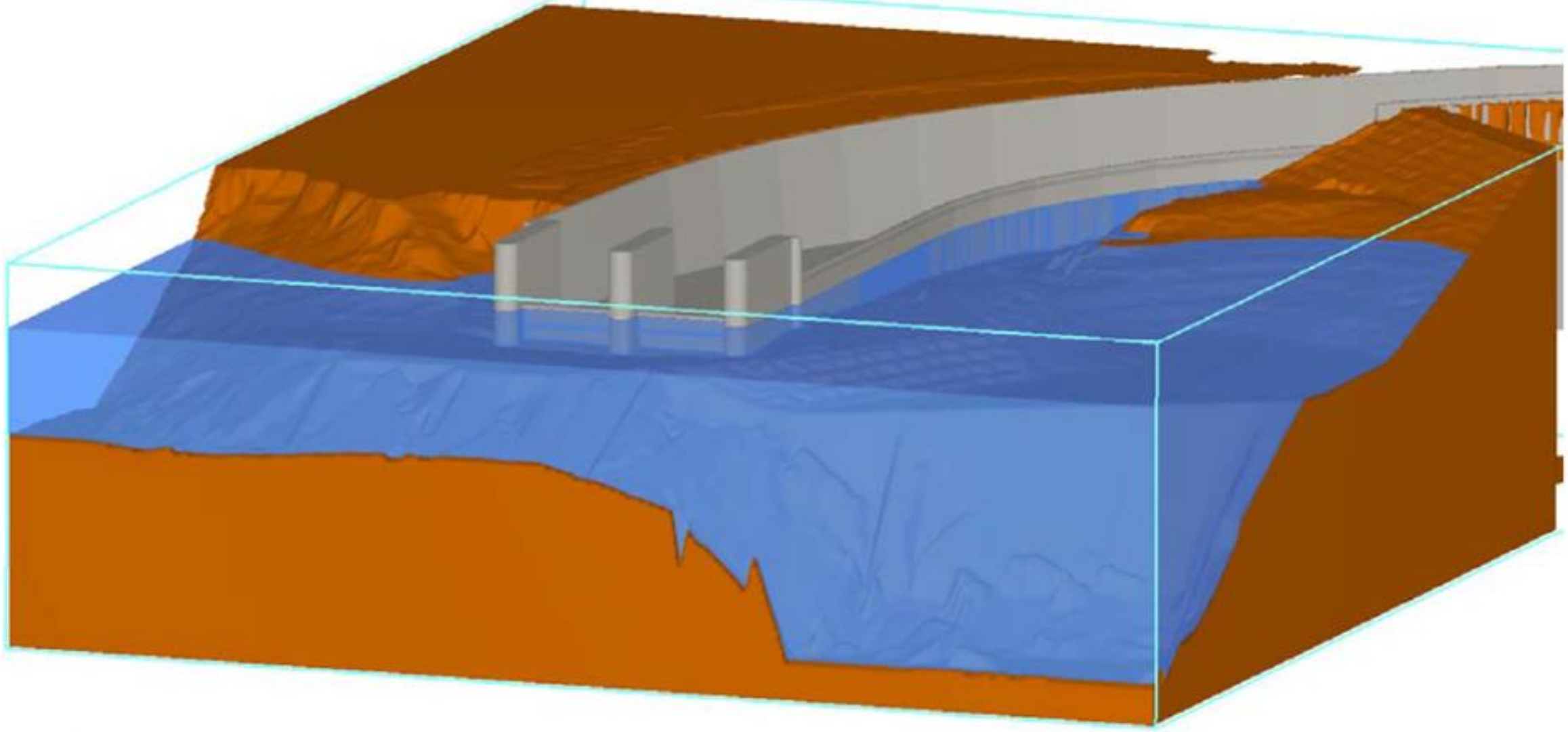


Figura 5 - Vista del blocco 1 della griglia computazionale utilizzata nelle simulazioni

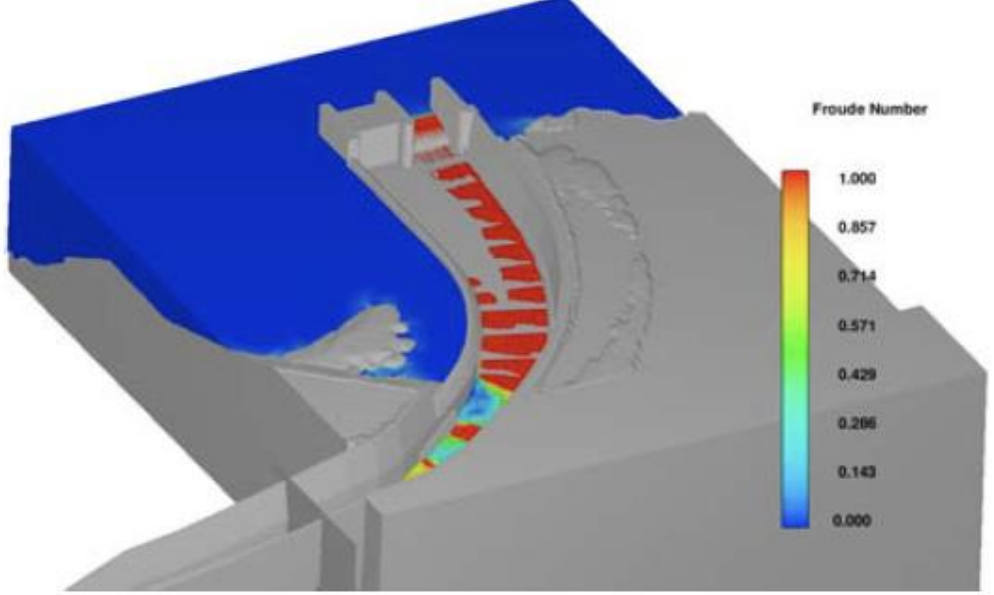


Figura 41 - Livello nel lago pari a 391 m.s.m. (Scenario 2)

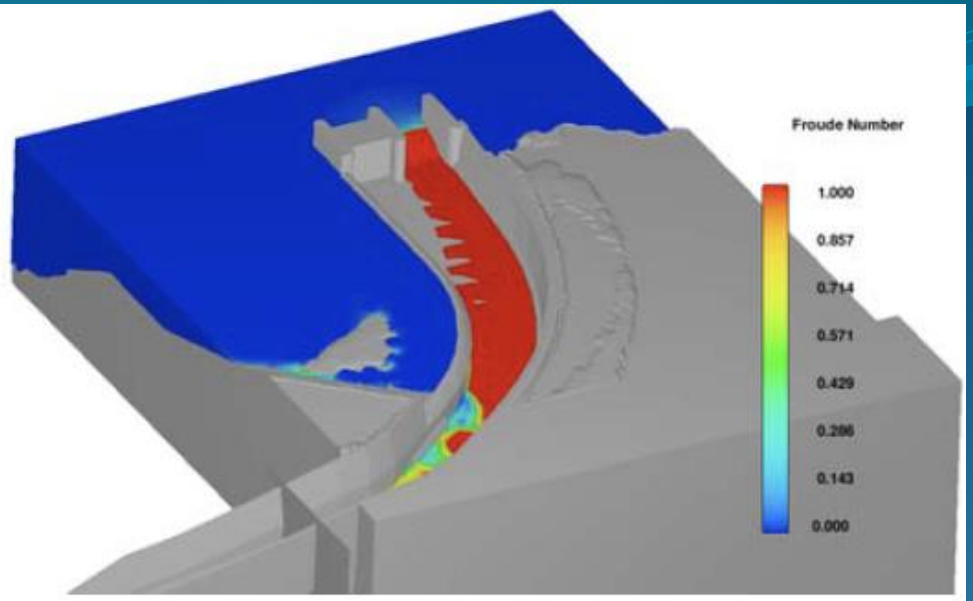


Figura 42 - Livello nel lago pari a 392 m.s.m. (Scenario 2)

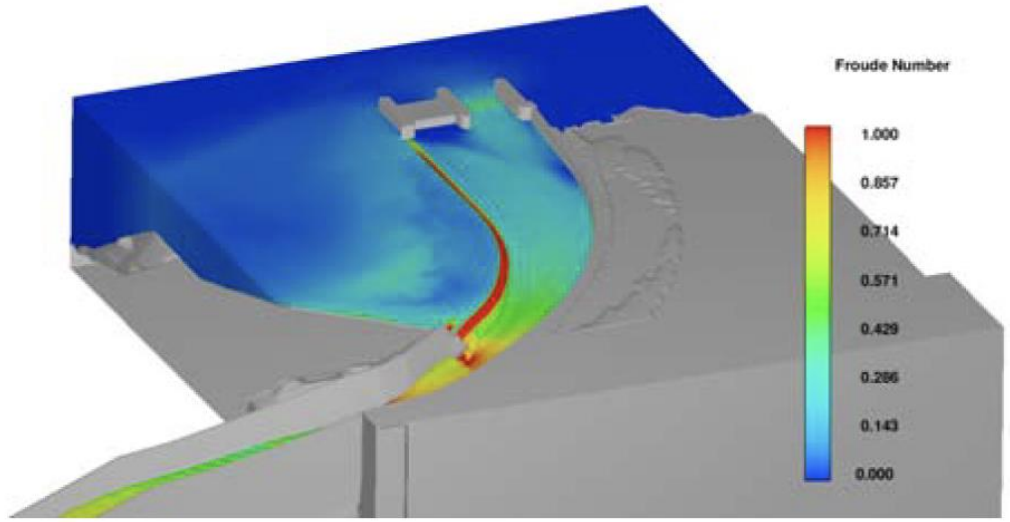


Figura 46 - Livello nel lago pari a 395.5 m.s.m. (Scenario 2)

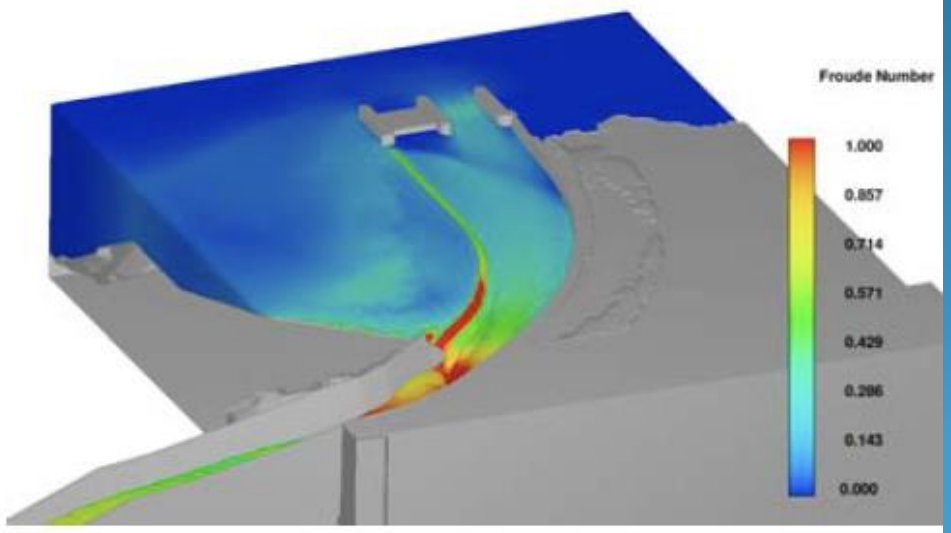
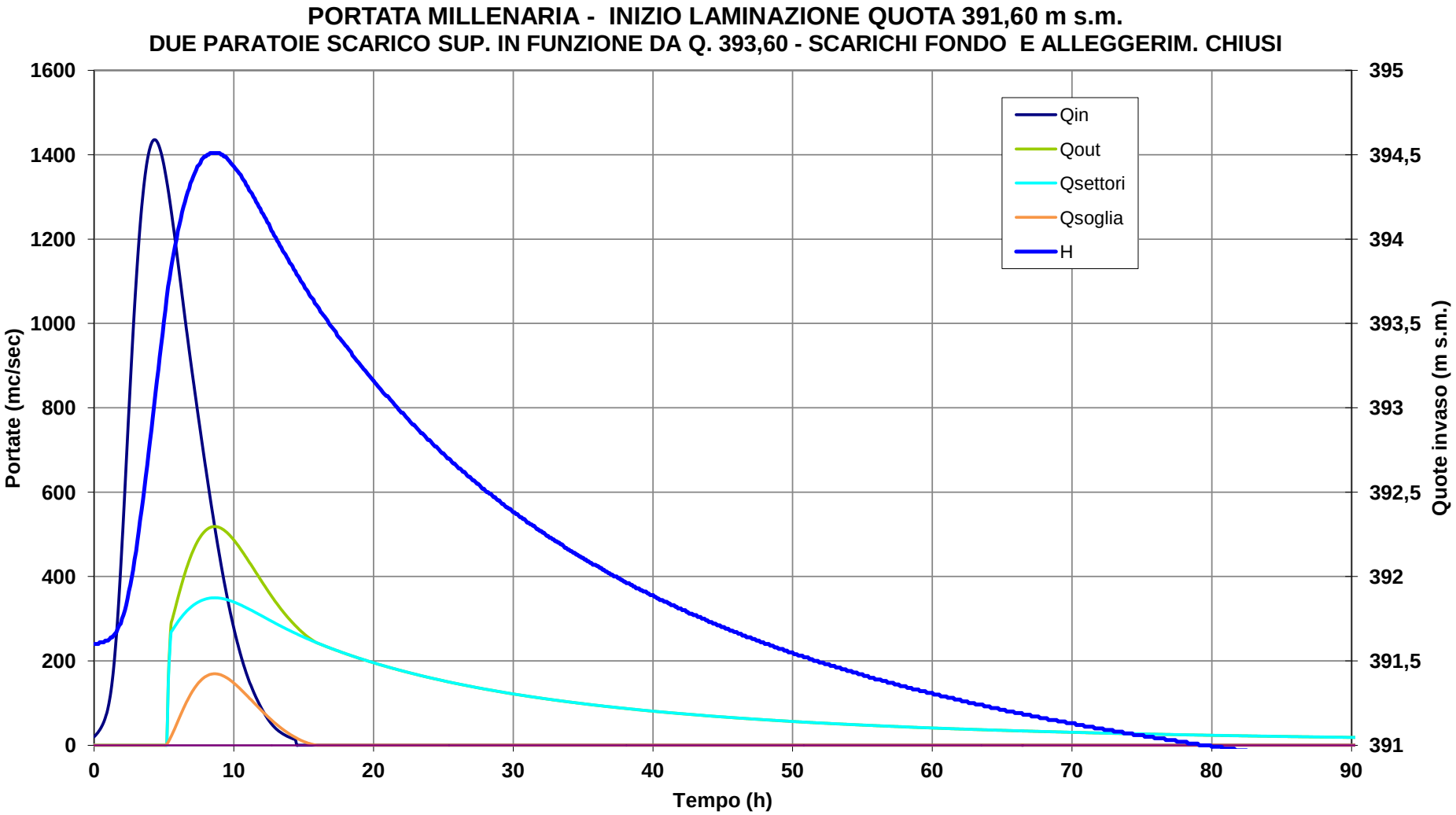


Figura 47 - Livello nel lago pari a 396.0 m.s.m. (Scenario 2

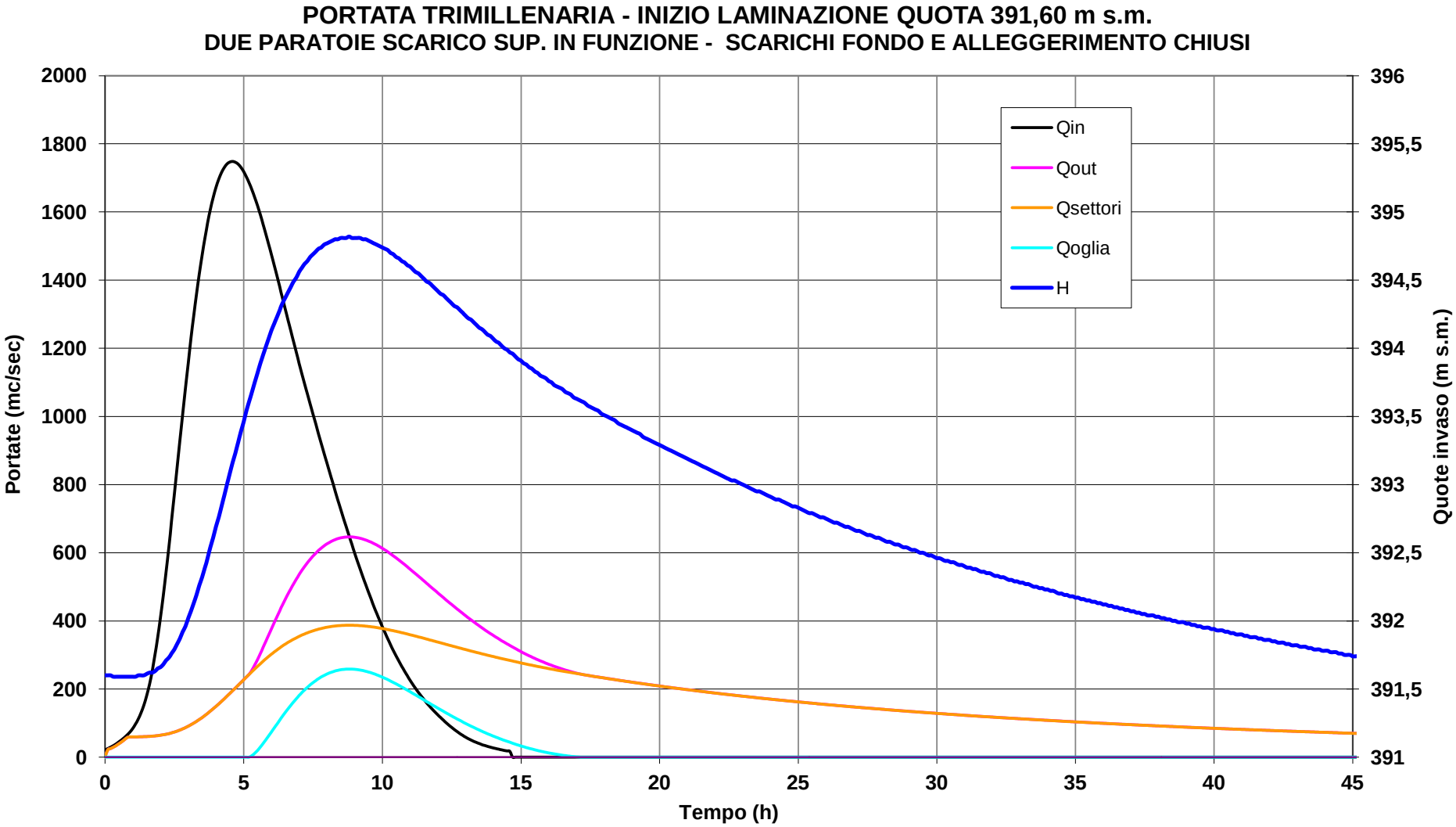
Scenari di progetto dello sfioratore




ENTE ACQUE UMBRE-TOSCANE
AREZZO
DIGA DI MONTEDOGLIO SUL FIUME TEVERE
ANGHIARI E SANSEPOLCRO
INTERVENTI PER IL RIPRISTINO DELLE STRUTTURE CEMENTIZIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE
PROGETTO ESECUTIVO
SECONDA EMISSIONE
PRIMA EMISSIONE
TITOLO ELABORATO A.01.1 Ap
VALUTAZIONI IDROLOGICHE ED IDRAULICHE
APPENDICE

Progetto esecutivo 2017

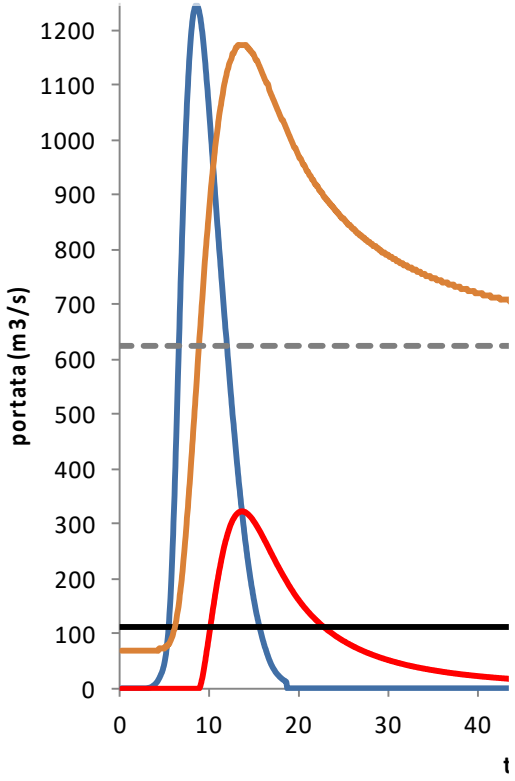
Scenari di progetto dello sfioratore

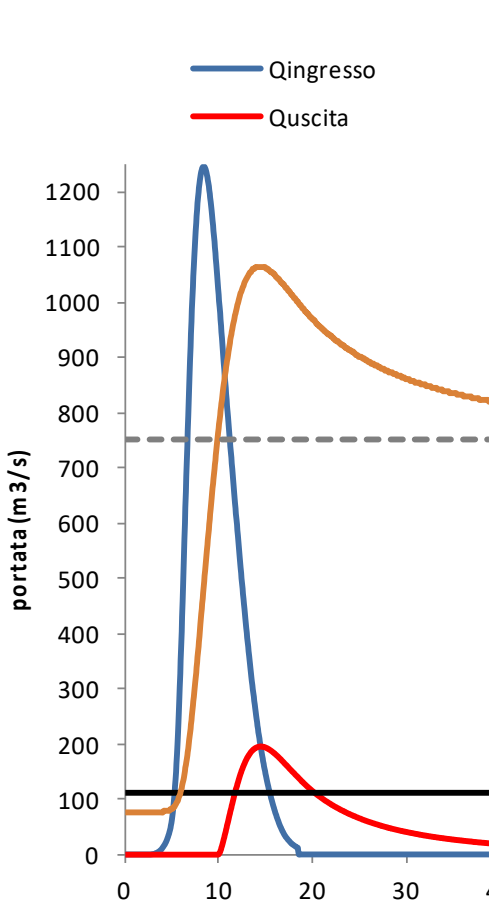


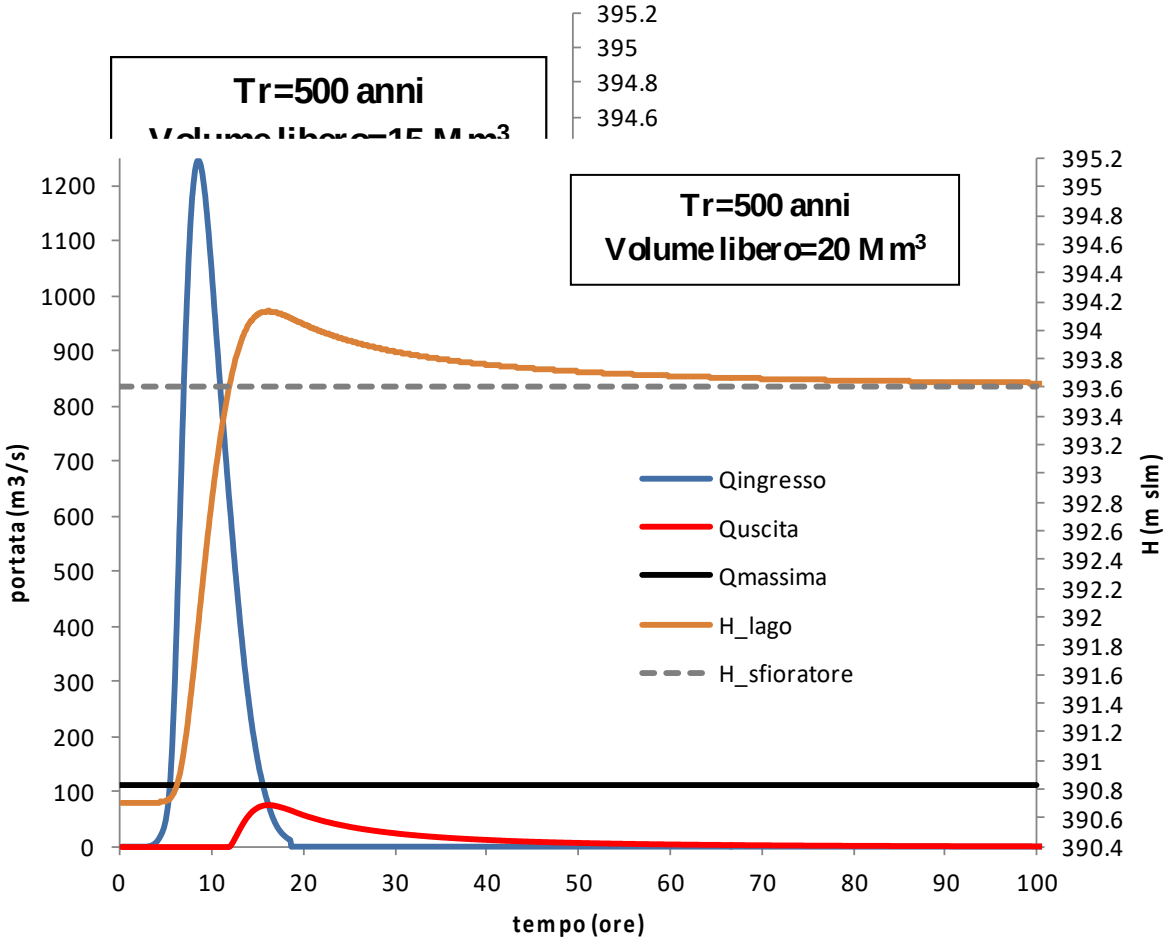

ENTE ACQUE UMBRE-TOSCANE
AREZZO
DIGA DI MONTEDOGLIO SUL FIUME TEVERE
ANGHIARI E SANSEPOLCRO
INTERVENTI PER IL RIPRISTINO DELLE STRUTTURE CEMENTIZIE DELLO SCARICO DI SUPERFICIE
PROGETTO ESECUTIVO
SECONDA EMISSIONE
PRIMA EMISSIONE
VALUTAZIONI IDROLOGICHE ED IDRAULICHE
APPENDICE

Progetto esecutivo 2017

Gli effetti a valle della diga: eventi di piena per assegnato T_R

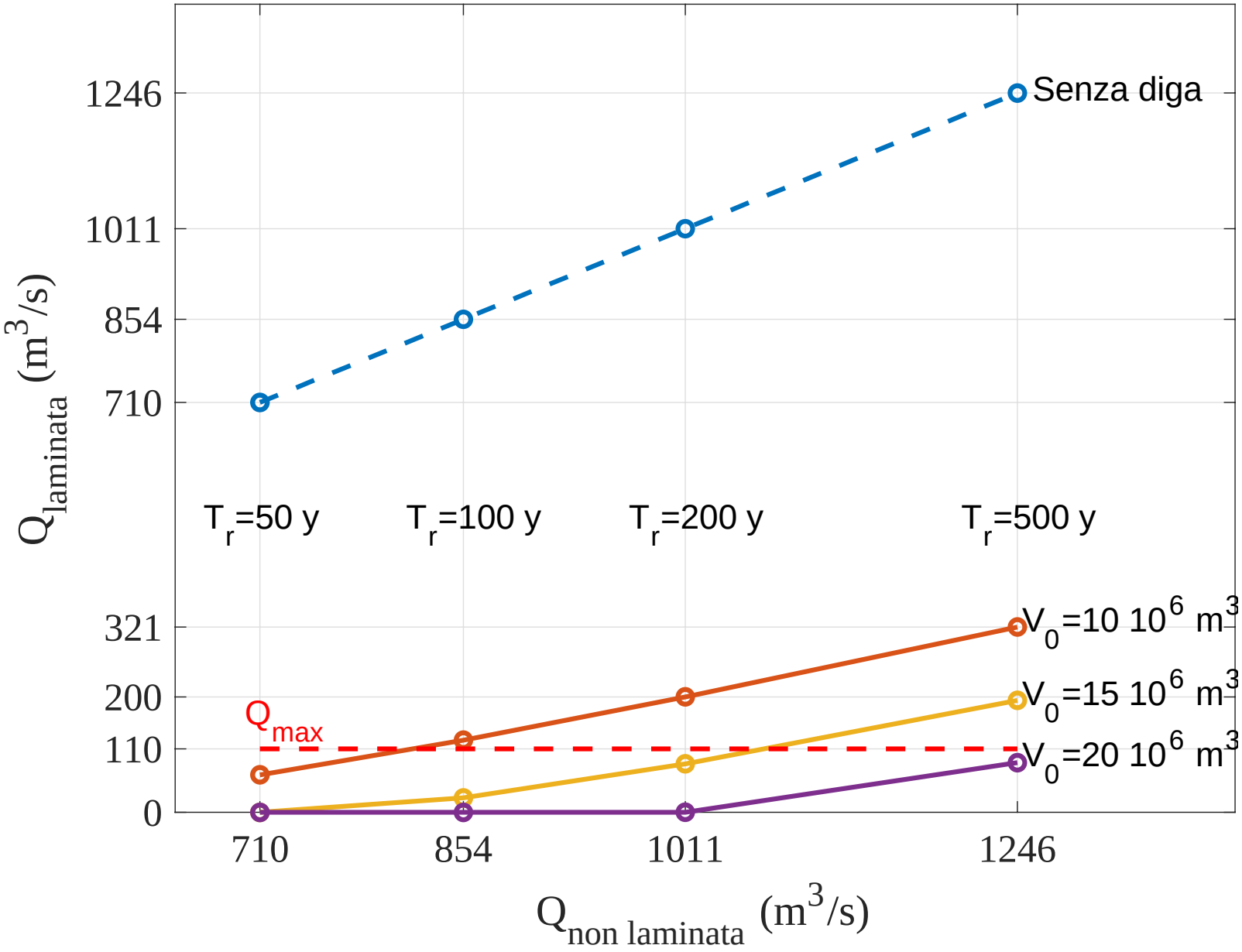








CNR, 2018



Gli effetti a valle della diga

Qmax=110 m^3/s

Portata massima senza esondazioni in golena

DOMANDA

Come mai gli argini maestri, estrema difesa idraulica del Tevere in questa piana alluvionale, hanno potuto subire manomissioni così significative come quelle qui documentate, senza creare allarme nelle comunità rivierasche?

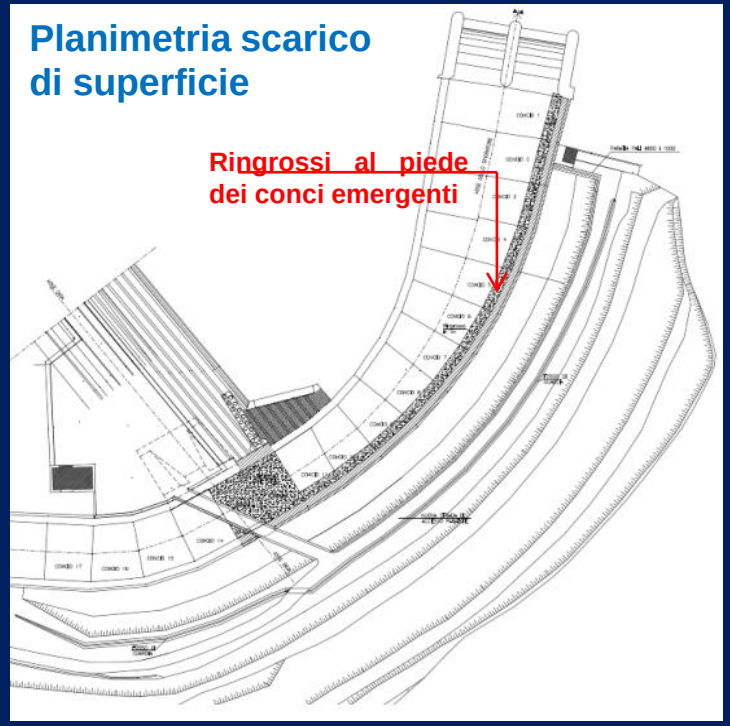
PARADOSSALMENTE L'EFFETTO DI LAMINAZIONE DELLE PIENE DELLA DIGA PROTRATTOSI PER CIRCA 30 ANNI HA CAUSATO LA PERDITA DI PERCEZIONE DEL RISCHIO DI ALLAGAMENTO TRA GLI ABITANTI DELLA PIANURA ALLUVIONALE CHE, AL BISOGNO, NON HANNO ESITATO A MANOMETTERE LE DIFESE ARGINALI RITENUTE (ERRONEAMENTE) NON PIÙ NECESSARIE



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

RINFORZI STRUTTURALI DEI CONCI DA 2 A 11 IN DX DEL CANALE DI GRONDA

Planimetria scarico di superficie



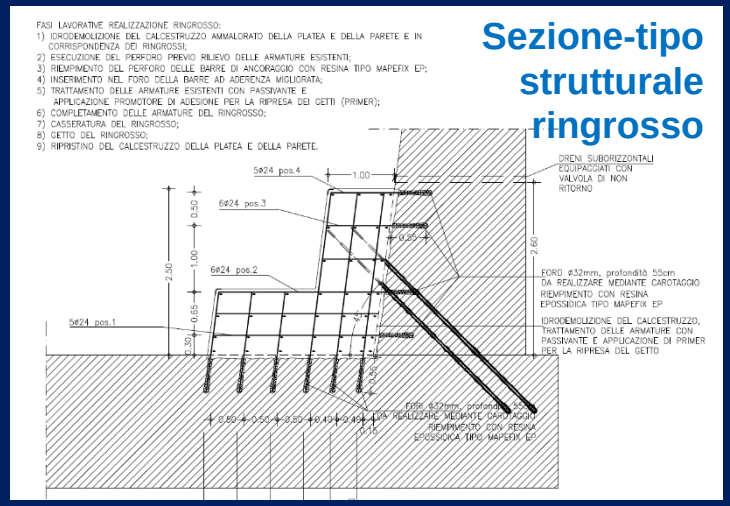
Inghisaggio barre Gewi Plus nelle strutture esistenti



Getti dei ringrossi



Sezione-tipo strutturale ringrosso



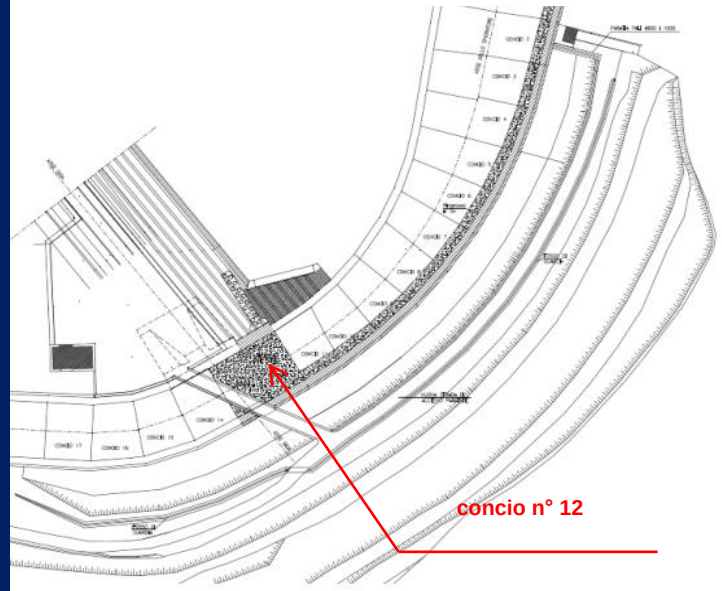
Montaggio armature ringrossi



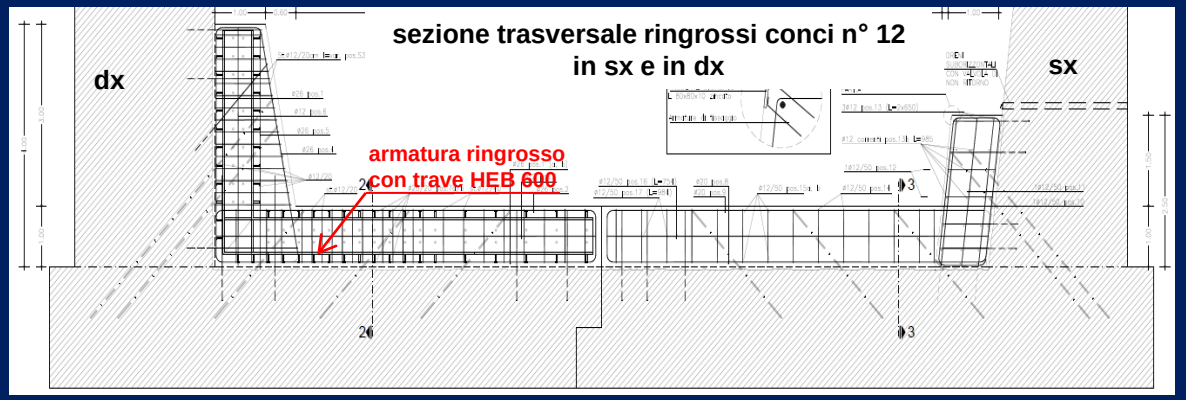
CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

RINFORZO STRUTTURALE AL PIEDE DEL MURO CHE SOSTIENE IL NUCLEO DELLA DIGA

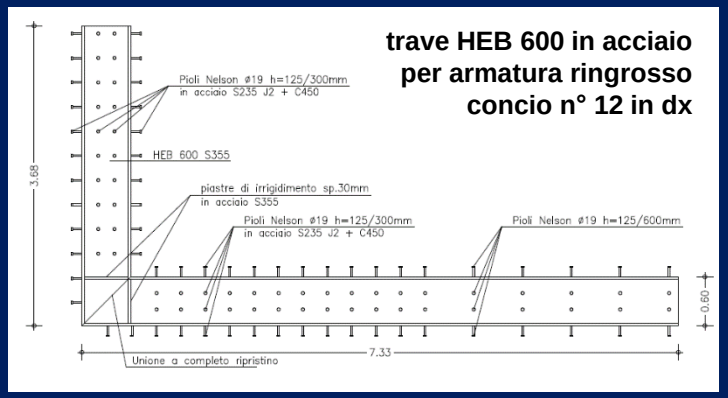
Planimetria scarico di superficie



sezione trasversale ringrossi conci n° 12 in sx e in dx



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE



trave HEB 600 in acciaio per armatura ringrosso concio n° 12 in dx





CONTROLLI ARMATURE DELLE NUOVE STRUTTURE N C.A.



Controllo armature da parte del D.O. in contraddittorio con l'Impresa



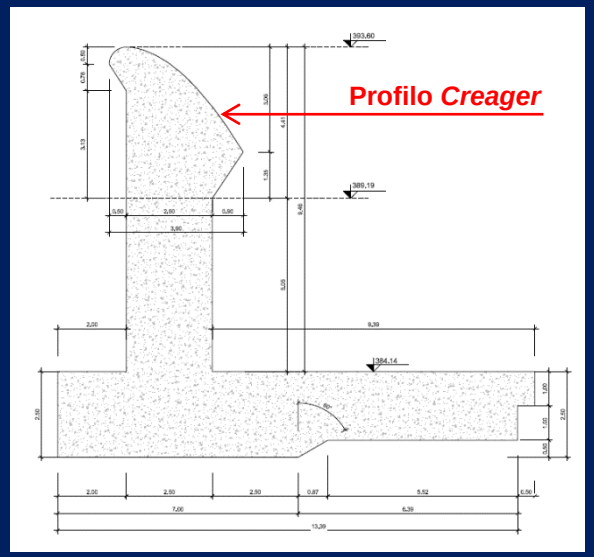
Getto platea di fondazione



Il D.L. Ing. Remo Chiarini e l'A.G. Ing. Fabrizio Sisti durante il getto dell'elevazione del concio n° 10



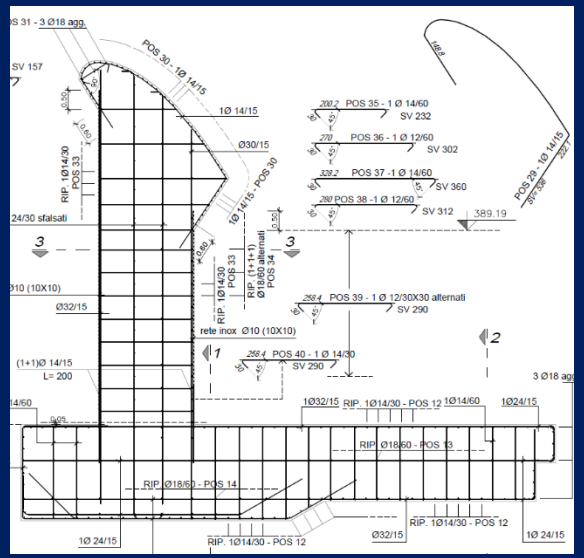
Carpenteria concio sfiorante n° 7



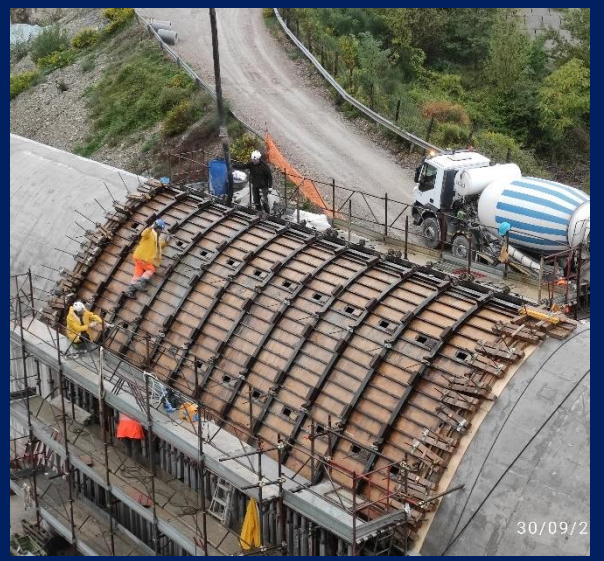
Controllo armatura profilo *Creager*



Armature concio sfiorante n° 7



Getto parte superiore elevazione



CONTROLLI DI ACCETTAZIONE DEL CALCESTRUZZO

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

3. PRELIEVO DEI CAMPIONI – NUMERO DI CAMPIONI PRELEVATI

- OLTRE AI PRELIEVI NECESSARI PER I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE, IL F.C.C. PREVEDEVA IL CONFEZIONAMENTO DI UN PARI NUMERO DI CAMPIONI DA TENERE A DISPOSIZIONE PRESSO LA DIGA PER EVENTUALI ULTERIORI CONTROLLI.
- NELL'OFFERTA PRESENTATA IN FASE DI GARA, L'IMPRESA HA POI PROPOSTO IL CONTESTUALE PRELIEVO DI UN PARI NUMERO DI CAMPIONI DA SOTTOPORRE A PROVE AGGIUNTIVE NEL LABORATORIO INTERNO AL CANTIERE.



450 campioni a disposizione presso la diga per ulteriori eventuali controlli

CONSIDERANDO QUINDI CHE IL NUMERO DI PRELIEVI EFFETTUATI PER I CONTROLLI DI ACCETTAZIONE È PARI A **N° 225**, CORRISPONDENTE A **N° 450** CAMPIONI CUBICI INVIATI AL LABORATORIO, IN RELAZIONE A QUANTO SOPRA RIPORTATO SONO STATI EFFETTUATI COMPLESSIVAMENTE 3 X 225 = **N° 675** PRELIEVI, CORRISPONDENTI A **N° 1350** CAMPIONI CUBICI DI CALCESTRUZZO.

ACCETTAZIONE MALTA PER INGHISAGGIO BARRE DI RINFORZO

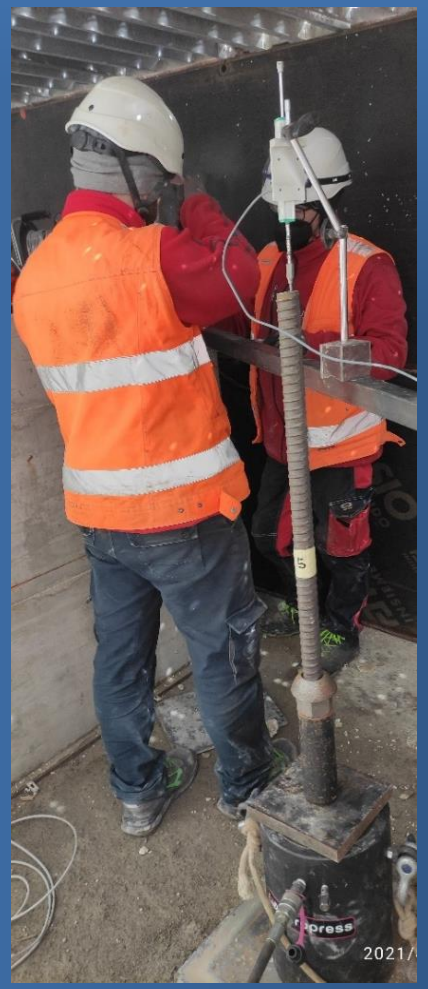
2) PROVE DI SFILAMENTO DELLE BARRE-PILOTA (§ 13.3 del F.C.C.)

Per lo sfilamento, la rottura delle barre rappresenta il primo fattore critico nell'analisi della gerarchia delle resistenze. Sono state sottoposte a prove **n° 3** barre **Ø 35 mm** e **n° 3** barre **Ø 43 mm** inghisate nelle platee dei conci n° 10 e n° 11 (poi destinati alla demolizione).

Le prove sono state eseguite il 14.04.2021, dopo 28 gg dall'inghisaggio.

Non è stato possibile raggiungere lo SLU di rottura (per ragioni di sicurezza), ma sono stati applicati sforzi di trazione pari al 90% della tensione di snervamento, ovvero:

- **580.2 kN per le barre *Gewi Plus* Ø 35 mm;**
- **875.7 kN per le barre *Gewi Plus* Ø 43 mm.**





martinetto oleodinamico





monitoraggio in tempo reale
andamento sforzo-deformazione

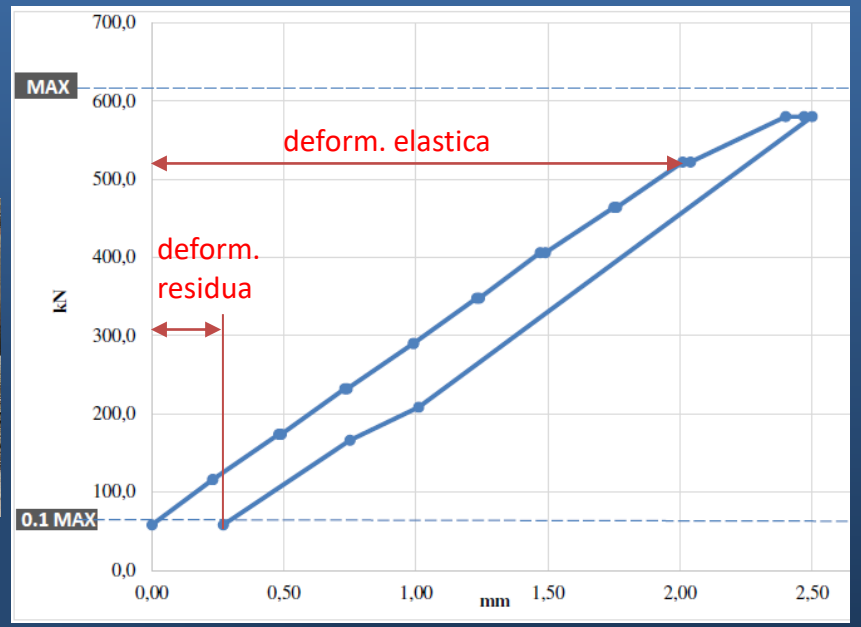
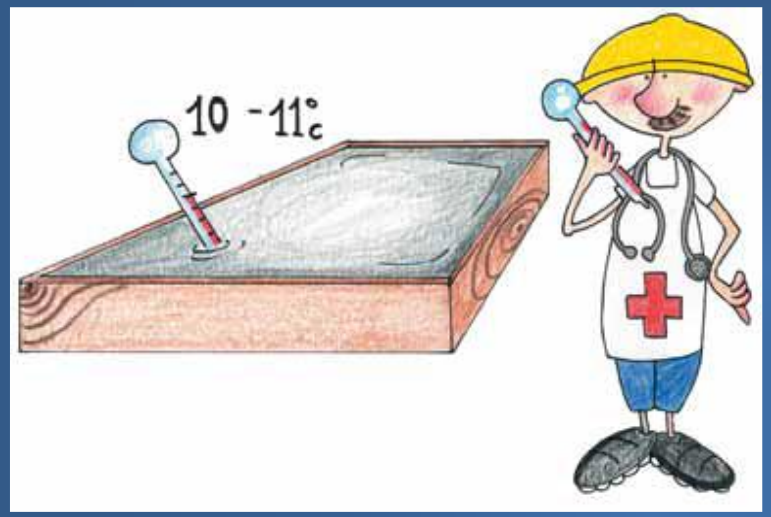


grafico sforzo - deformazione

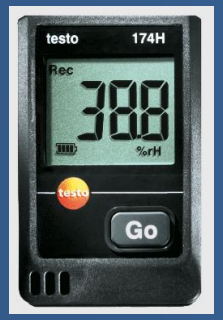
CONTROLLO DELLE TEMPERATURE ALL'INTERNO DEI GETTI MASSIVI



In letteratura si definiscono «massivi» quei getti aventi spessore superiore a 70÷80 cm. Nel nostro caso lo spessore era di 250 cm.

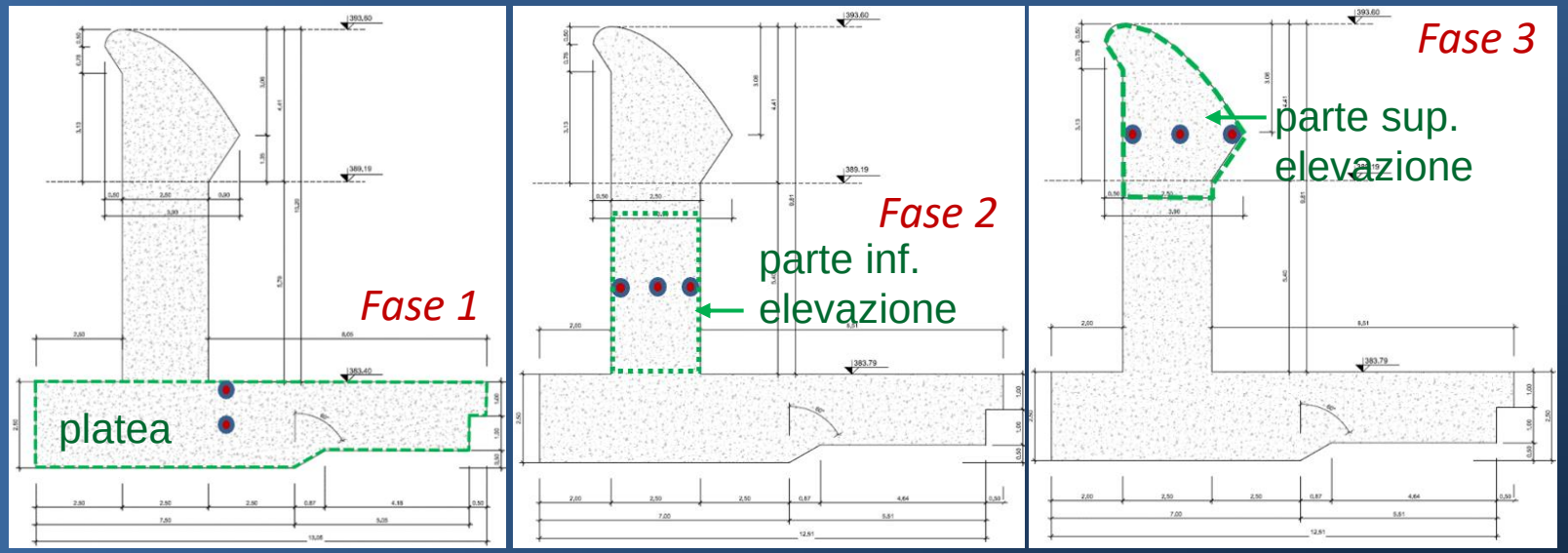
Per prevenire perdite di resistenza o insorgenza di lesioni o fessurazioni, il F.C.C. imponeva il rispetto delle seguenti condizioni sulle temperature:

- ✓ massimo «**gradiente di temperatura**», ovvero massimo delta termico tra nucleo e zone corticali: **20°C**;
- ✓ massimo «**innalzamento termico**», ovvero massimo incremento di temperatura nel nucleo: **30°C**.



Ciascuno dei 12 conci è stato realizzato in tre fasi di getto (12 x 3 = 36).

Per ogni fase è stata monitorata e registrata la variazione di temperatura interna con più **«termocoppie»** posizionate nel **nucleo** e nelle **zone corticali**

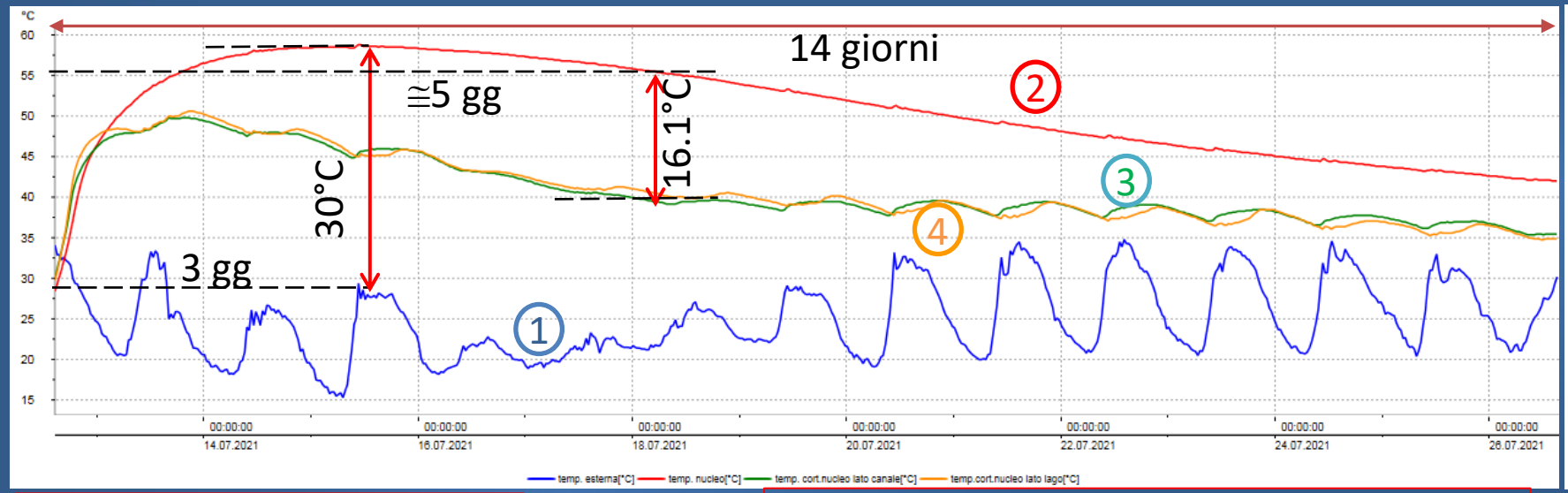


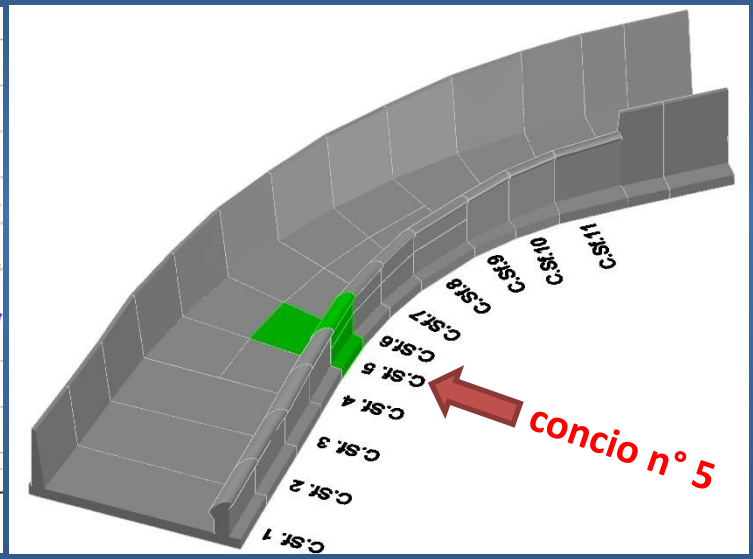
posizione delle termocoppie all'interno dei getti

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

CONTROLLO DELLE TEMPERATURE ALL'INTERNO DEL GETTO DEL CONCIO N° 5

Il grafico si riferisce alla elevazione del concio n° 5, (getto in data12.07.2021).



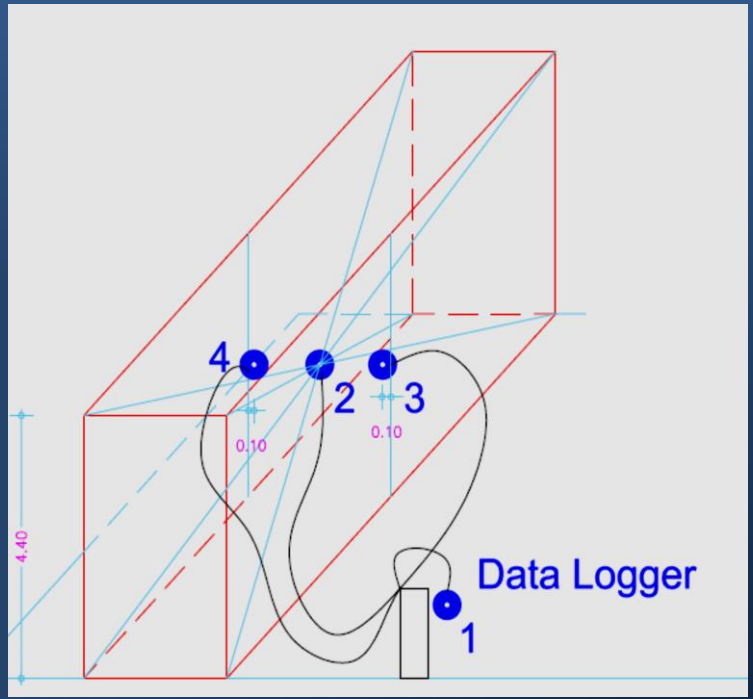


massimo incremento di temperatura nel nucleo, pari a **30°C**

massimo gradiente di temperatura tra nucleo e parte corticale lato canale, pari a **16.1°C**

Andamento temperatura nel tempo per 14 giorni dal getto:

- Termocoppia (2) ⇒ nucleo
- Termocoppia (3) ⇒ corticale lato canale
- Termocoppia (4) ⇒ corticale lato lago
- Termocoppia (1) ⇒ ambiente esterno



CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

DIMENSIONE MASSIMA AGGREGATI

l'art. 12.1 del F.C.C. riportava:

- *Il mix design del calcestruzzo da impiegare dovrà essere definito tramite le prove preliminari di cui al successivo Art.13, con particolare riferimento ai problemi di ritiro, al **diametro massimo degli aggregati** ed alla lavorabilità.*
- *La **dimensione massima degli aggregati dovrà essere compatibile con i ridotti spazi liberi tra i ferri di armatura** previsti in progetto.*

Inoltre, il F.C.C. (Div.4 n.10501 del 04/05/2018), nella tabella che segue - riferita alla «*miscela progettata*» - riporta le dimensioni massime degli inerti:

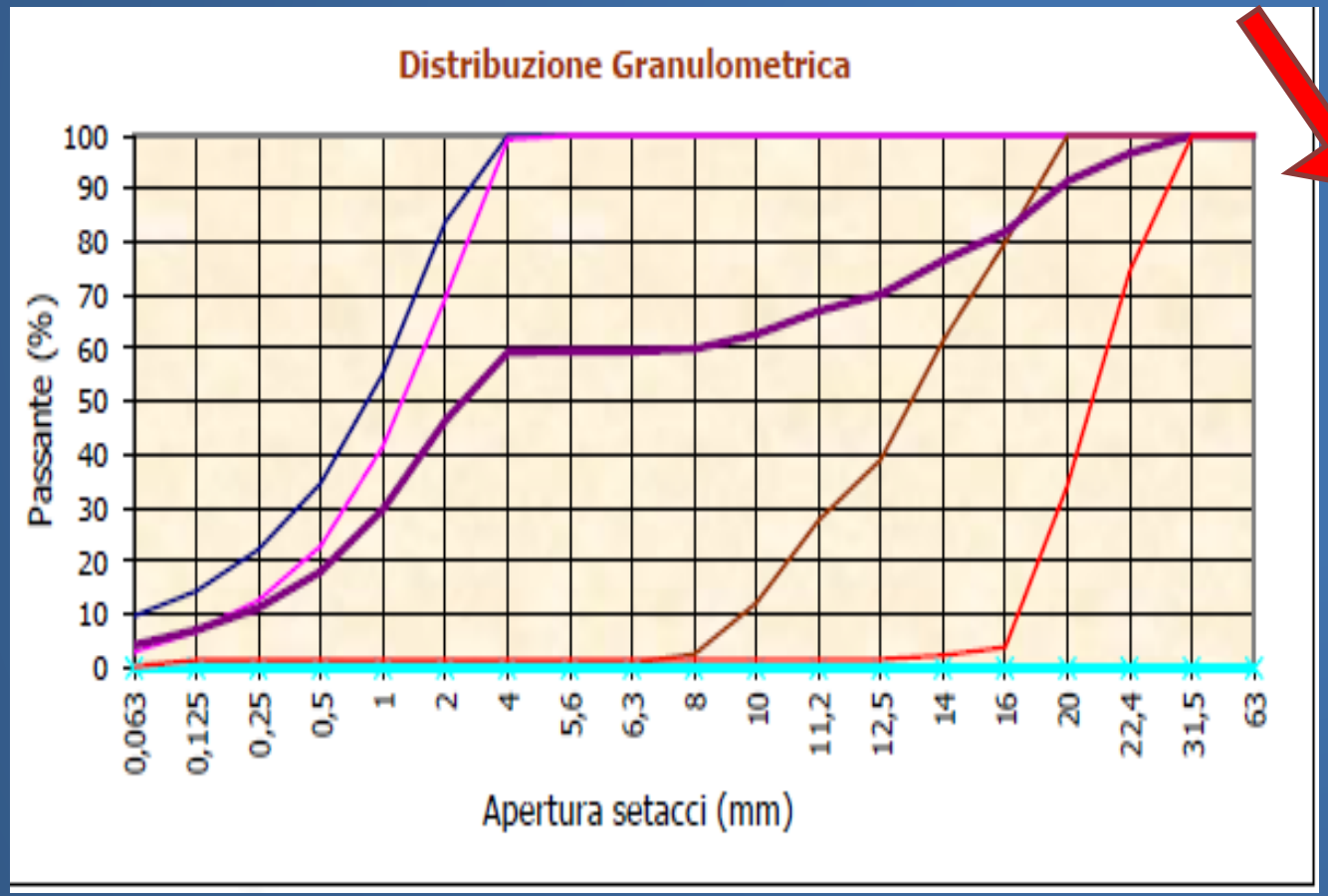
Descrizione	Cemento	Classe di consistenza	R_{cK} [N/mm²]	Classe di esposizione [UNI EN 206-1]	Dimensione max inerti [mm]	Delta termico max per ogni concio	Innalzamento termico della miscela
Calcestruzzo per usi strutturali	Cemento pozzolanico tipo IV o cmq con certif. LH conforme alle UNI EN 197-1	S3 S4 (ove basso interferro)	30 (C25/30)	XC2	25 fondazione 30 elevazione	< 20°C	≤ 30°C



DIMENSIONE MASSIMA AGGREGATI – PROBLEMA!!:

Il mix design proposto dall'Appaltatore (riportato in tabella) **includeva inerti aventi dimensioni comprese tra 22.4 ÷ 31.5 mm > 25 mm, e quindi in contrasto con FCC e CSA**

3.33%!!

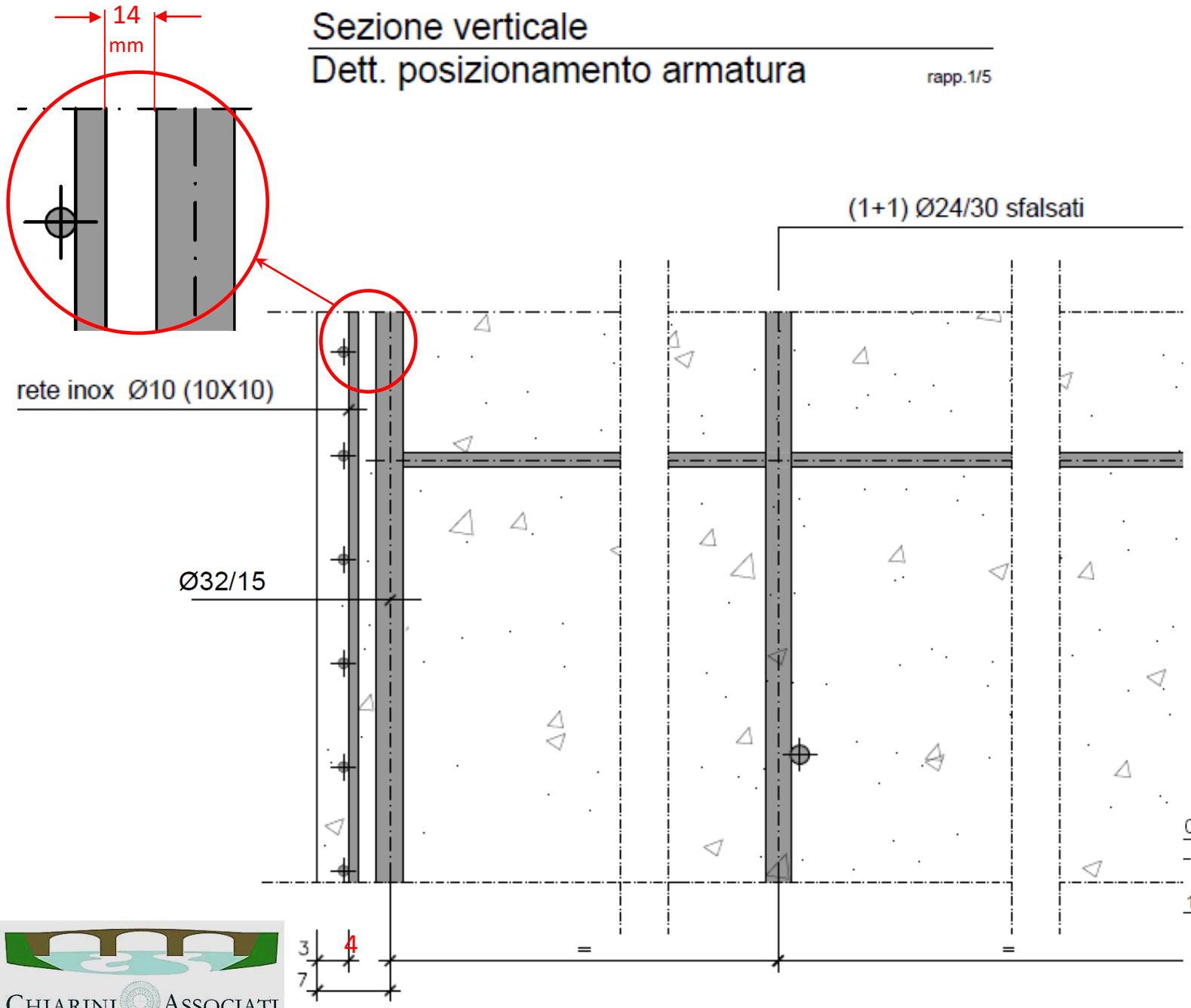


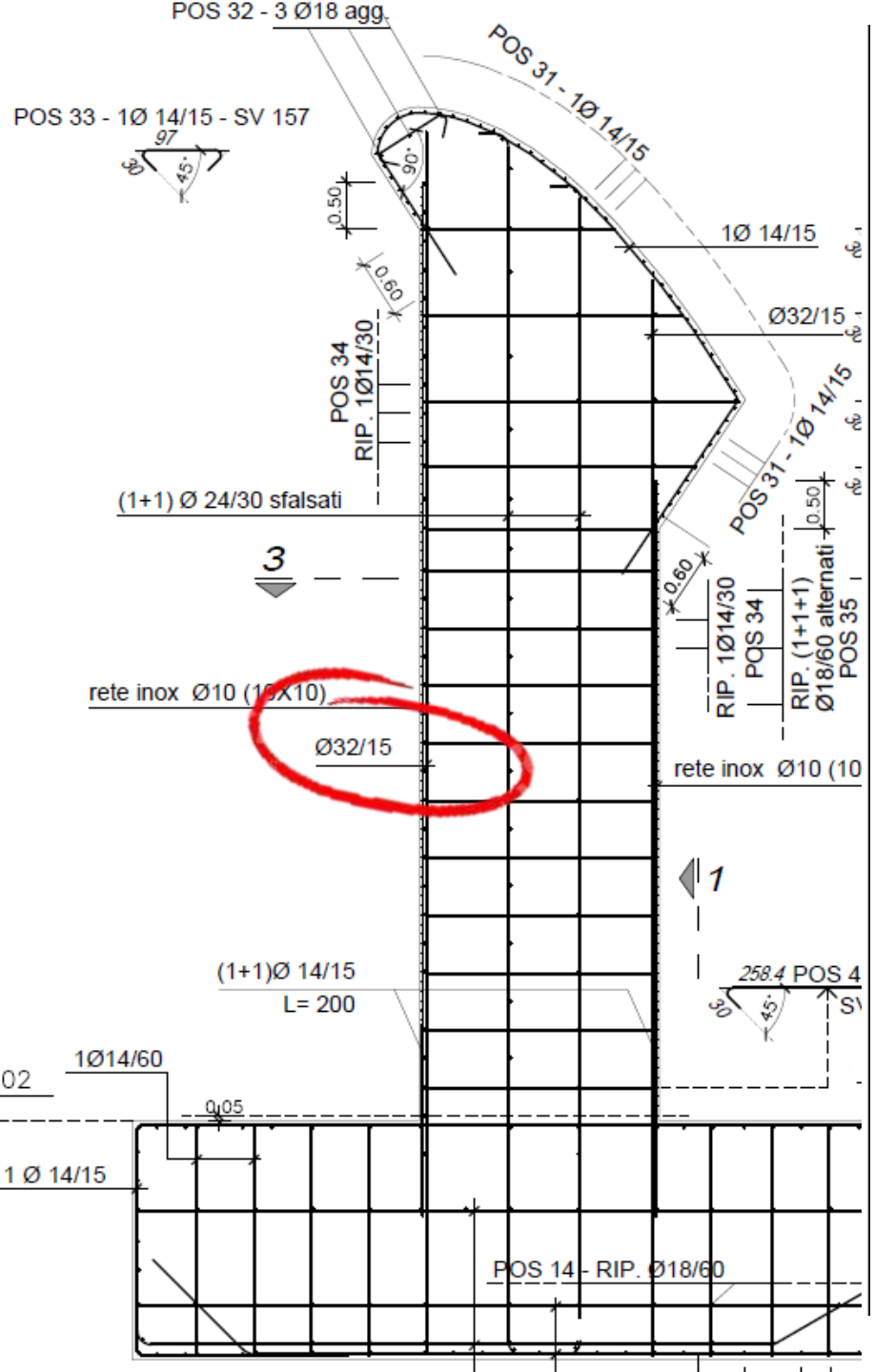
Prog.	Nome Aggregato	*Provenienza*	*Utilizzo in %*	Note:
Aggr. 1	Sabbia 0/2	Edilcalce spa	**35**	
Aggr. 2	Sabbia 0/4	Edilcalce spa	**24**	
Aggr. 3	Ghiaino 8/16	Edilcalce spa	**28**	
Aggr. 4	Ghiaia 16/31,5	Edilcalce spa	**13**	

Apertura Vagli	*Passante cumulativo (%)*					**Miscela risultante**
	Aggr1	Aggr2	Aggr3	Aggr4	Aggr5	
63	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	**100,00**
31,5	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	**100,00**
22,4	100,00	100,00	100,00	74,42	0,00	**96,67**
20	100,00	100,00	100,00	34,32	0,00	**91,46**
16	100,00	100,00	79,96	3,88	0,00	**81,89**
14	100,00	100,00	61,56	2,38	0,00	**76,55**
12,5	100,00	100,00	39,15	1,65	0,00	**70,18**
11,2	100,00	100,00	27,75	1,65	0,00	**66,98**
10	100,00	100,00	12,29	1,50	0,00	**62,64**
8	100,00	100,00	2,58	1,50	0,00	**59,92**
6,3	100,00	100,00	0,98	1,50	0,00	**59,47**
5,6	100,00	100,00	0,98	1,50	0,00	**59,47**
4	100,00	99,16	0,98	1,50	0,00	**59,27**
2	83,73	69,43	0,98	1,50	0,00	**46,44**
1	55,38	41,64	0,98	1,50	0,00	**29,85**
0,5	34,78	22,98	0,98	1,50	0,00	**18,16**
0,25	22,31	12,76	0,98	1,50	0,00	**11,34**
0,125	14,44	6,86	0,98	1,50	0,00	**7,17**
0,063	9,84	3,01	0,45	0,24	0,00	**4,32**

Sezione verticale
Dett. posizionamento armatura

rapp.1/5





CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

DIMENSIONE MASSIMA AGGREGATI: SOLUZIONE!!

La D.L dimostrava che il diametro massimo degli inerti, seppur incrementato al valore massimo di 31.5 mm, avrebbe potuto essere comunque compatibile con l'interferro e il copriferro, sia ai sensi del punto 4.1.6.1.3 "*Copriferro e interferro*" delle NTC 2008 che dell'Eurocodice 2 (EC2) parte 1.1, punto 8.2 - "*Distanza tra le barre*", **adottando opportuni criteri nella disposizione delle armature nonché dimostrando che la probabilità congiunta del verificarsi della presenza di un inerte maggiore della distanza d'interferro sarebbe stata inferiore al 2‰!!**

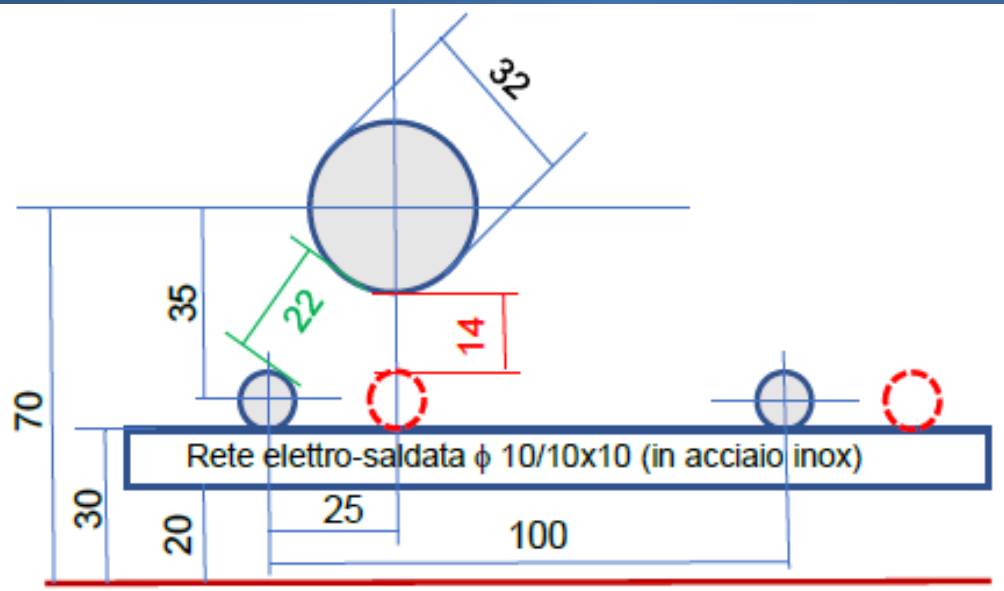


*Figura 2-3: **interferro minimo (in rosso) e massimo (in verde)** tra le barre verticali dei pannelli di rete elettrosaldata e le armature principali dei conci sfioranti consentiti dalle possibili posizioni di progetto.*

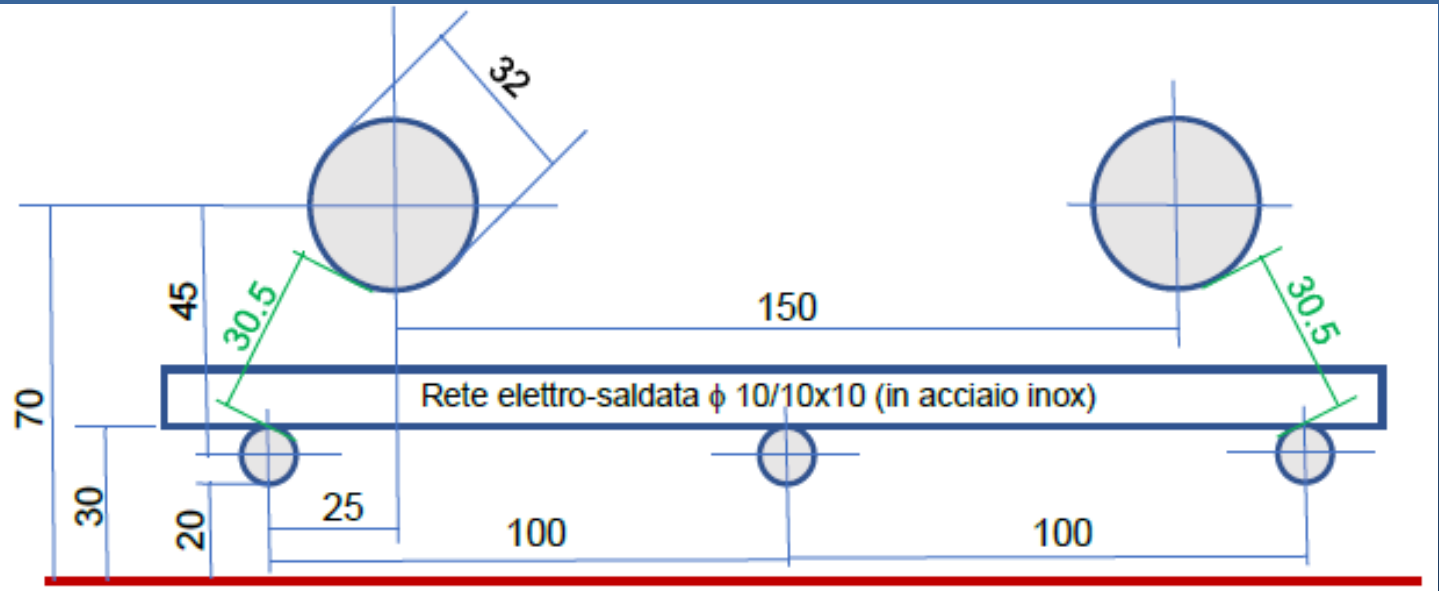


*Figura 2-2: **interferro massimo assoluto (in verde)** conseguibile ribaltando i pannelli di rete elettrosaldata rispetto alla loro disposizione di progetto e conservando comunque il copriferro già assentito.*

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

DIMENSIONE MASSIMA AGGREGATI

Tale approccio veniva recepito e convalidato dall'U.T.D. e dalla D.G.D., la quale nell'aggiornamento del F.C.C. (Div.4 n. 12670 del 2276/2020), al paragrafo 12.1, riportava:

***A seguito delle prove di prequalificazione della miscela di calcestruzzo e la definizione del mix design**, si riportano di seguito le caratteristiche del calcestruzzo individuato, **con conseguente modifica del C.S.A.**, da parte del concessionario (su dette modifiche UTDFI ha emesso nulla-osta con nota n. 12400 del 15.06.2020):*

Descrizione	Cemento	Classe di consistenza	R_{cK} [N/mm²]	Classe di esposizione [UNI EN 206-1]	Dimensione max inerti [mm]	Delta termico max per ogni concio	Innalzamento termico della miscela
Calcestruzzo per usi strutturali	Cemento pozzolanico CEM IV/B (P) 32,5 R - LH/SR (EN 197-1)	S4	30 (C25/30)	XC2	31,5 (D>22,4 mm 3,33%)	< 20°C	≤ 30°C

Con l'aggiornamento del F.C.C. veniva quindi accettato il mix design proposto.

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE


TG3



Arrivederci e grazie per l'attenzione!

CHIARINI ASSOCIATI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

cooprogetti



www.chiariniassociati.com

www.cooprogetti.it