

I TECHNICAL COMMITTEES di ICOLD

Il contributo italiano



Technical Committee “E” “**EMBANKMENT DAMS**” (Chairman: Dr. Jean-Pierre Tournier)

Francesco Federico

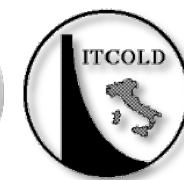
Gruppo di Supporto ITCOLD

Chiara Cesali (Italferr Spa); Marina Maestri (Alperia);

Maria Vittoria Vignoli (CEA – Coop. Edile Appennino); Walter Cardaci (ERG)



“TC - Embankment dams”



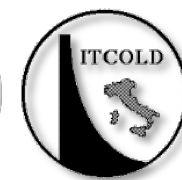
Attività precedenti del Technical Committee (Tournier, 2020)

Redazione e pubblicazione dei seguenti “**Bulletins**”:

- *Embankment Dams on Permafrost A Review of the Russian Experience* (**Bulletin 133, 2008**)
- *Weak Rocks and Shales in Dams* (**Bulletin 134, 2008**)
- *Concrete Face Rockfill Dams – Concepts for Design and Construction* (**Bulletin 141, 2011**)
- *Cutoffs for Dams* (**Bulletin 150, 2018**)
- *Tropical Residual Soils as Dam Foundation and Fill Material* (**Bulletin 151, 2017**)
- *Internal Erosion in Existing Dams, Levees and Dikes and Their Foundations* (**Bulletins 164 Volume 1, 164a Volume 2, 2017**)
- *Asphalt Concrete Cores for Embankment Dams* (**Bulletin 179, Preprint**)



“TC - Embankment dams”



Attività precedenti del Technical Committee

➤ **Embankment Dams on Permafrost A Review of the Russian Experience (Bulletin 133)**



Bulletin 133

2008

Embankment Dams on Permafrost
A review of the Russian experience

“Zones where permafrost is found (cryolitic zones) are characterized by a rigorous climate and complicated topographic, geological and hydrogeological conditions. Therefore, it is reasonable to give an insight into the structural features and the engineering characterizing the operation and repair of dams built in cryolitic zones, on the basis of exploration, design, construction and operation experience

The Bulletin is intended for geological engineers, designers and builders of hydraulic engineering structures.”

➤ **Weak Rocks and Shales in Dams (Bulletin 134)**

“There are therefore many potential dam sites on shale or other weak rocks. This bulletin aims to assist dam engineers to develop such sites effectively in future. It advises on the means of using these materials by developing an understanding of their properties and by learning from the experiences of others in their successful use. It provides a technical background to the behaviour of shale and weak rocks as fill in dams.”



Bulletin 134

2008

Weak Rocks and shales in Dams



“TC - Embankment dams”



Attività precedenti del Technical Committee

➤ **Concrete Face Rockfill Dams – Concepts for Design and Construction (Bulletin 141)**



Bulletin 141

2011

Concrete face Rockfill Dams - Concepts
for design and construction
Concepts for design and construction

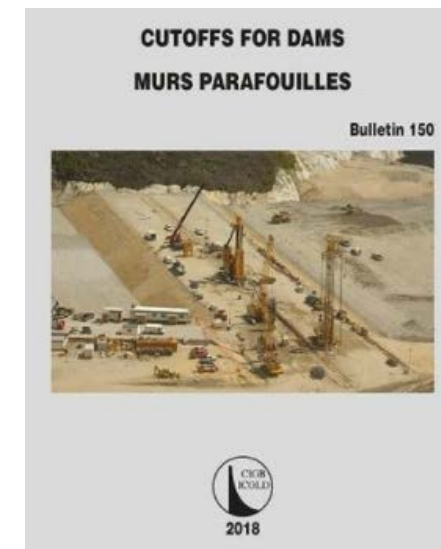
“Updated version of the Bulletin on “Rockfill Dams with Concrete Facing” (Bull 70). During the decade of the 1990s, the concrete face rockfill dam has become common. A cursory review of the listing of CFRDs in the appendix indicates the widespread use and popularity of this type of dam.

The updated Bulletin is devoted to design concepts, analysis, foundation treatment, instrumentation, construction, and performance.”

➤ **Cutoffs for Dams (Bulletin 150)**

“This bulletin is limited to foundation treatment methods using cutoff-type barrier. Due to recent experiences, high emphasis is given to alluvial deposits throughout this document; however, different materials, such as pervious residual soil, pervious laterites and saprolites, highly fractured and weathered rock, and karst may require cutoff. The construction of cutoffs has made significant advances during the last two decades. The following types of cutoffs are presented in this bulletin:

- ✓ **Diaphragm walls**
- ✓ **Vib walls and Pile walls**
- ✓ **Superimposed concreted galleries**
- ✓ **Jet grouting**
- ✓ **Deep mixing”**





“TC - Embankment dams”



Attività precedenti del Technical Committee

➤ ***Tropical Residual Soils as Dam Foundation and Fill Material (Bulletin 151)***

“Dam construction across the world has recently acquired an accelerated pace as needs for water supply and renewable energy sources have increased in many countries. Many of these countries are located in areas where tropical residual soils are abundant.

The main difficulty in dealing with these soils for engineering purposes is that their characteristics are very different from those of transported soils.

The purpose of this bulletin is to illustrate how these materials have been accepted and used in dam projects without imposing selection of better known materials that could jeopardize the economic viability of a project.”



➤ ***Asphalt Concrete Cores for Embankment Dams (Bulletin 179)***

“This bulletin covers the state-of-the-art of current practice after the important development in design and construction during the last 25 years. It addresses all aspects of the design, construction, performance and operation. Characteristics of asphalt concrete cores, requirements for the mix design, laboratory testing and quality control are discussed. Technical specifications are also presented and proposed. Finally, several typical case histories with characteristics and performance are given in Appendices.”



Bulletin Preprint - 179

Asphalt Concrete Cores for Embankment Dams



Attività precedenti del Technical Committee

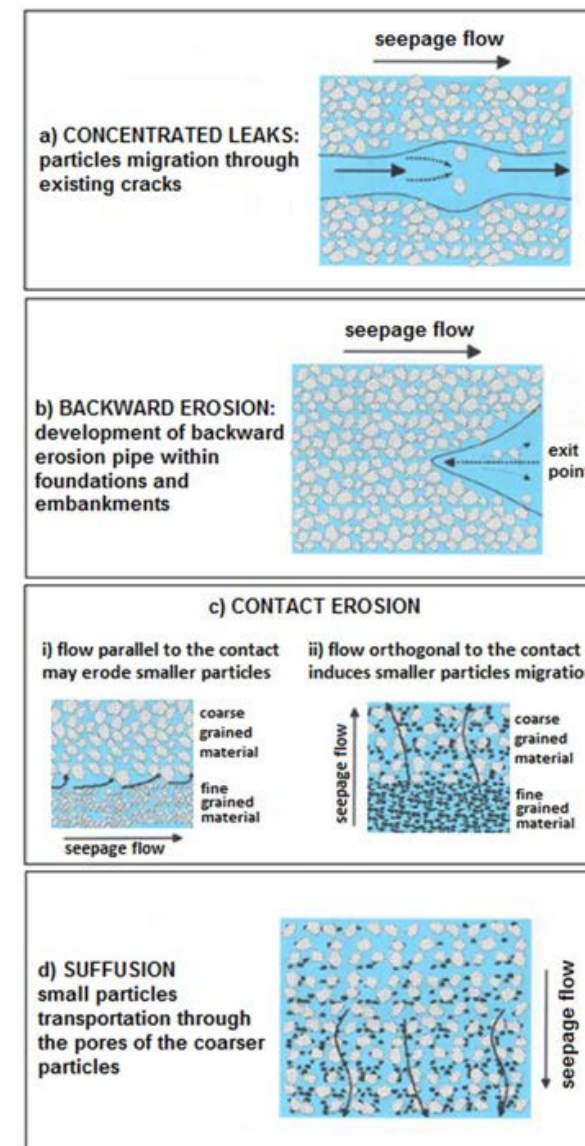
➤ **Bollettino n. 164** *"Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations"*.

Basato su un'analisi approfondita dei meccanismi di erosione interna e su un'ampia rassegna dei criteri semi-empirici disponibili per la valutazione della vulnerabilità di una diga nei confronti di tale fenomeno, nonché su una dettagliata descrizione di numerosi casi reali, costituisce un avanzamento nello studio dei processi di erosione interna nei manufatti di terra (e.g. dighe e argini) rispetto ai precedenti bollettini.

Il Bollettino n. 164 è costituito di due volumi:

➤ **Vol. 1 - Internal erosion processes and engineering assessment**

➤ **Vol. 2 - Case histories, investigations, testing, remediation and surveillance**





“TC - Embankment dams”



Attività precedenti del Technical Committee

Bollettino n. 164 *“Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations”*

Vol. 1 - Internal erosion processes and engineering assessment

- ✓ Principali **criteri** e **metodi semi-empirici** per la valutazione della sicurezza di una diga nei confronti dei differenti meccanismi di erosione di erosione interna
- ✓ **Scenari di evoluzione del fenomeno in presenza e assenza di filtri**; principali funzioni dei filtri; i criteri per la progettazione dei filtri basati sulle dimensioni delle particelle e degli spazi interparticellari e sulle caratteristiche di permeabilità del filtro
- ✓ Principali approcci/metodi deterministici per l'**analisi quantitativa del rischio**
- ✓ Principali, convenzionali, **tecniche di monitoraggio** e **rilevamento** e le corrispondenti modalità di applicazione ai differenti meccanismi di erosione interna



**INTERNAL EROSION OF EXISTING
DAMS, LEVEES AND DIKES, AND
THEIR FOUNDATIONS**

ICOLD - BULLETIN 164

**Volume 1: INTERNAL EROSION
PROCESSES AND ENGINEERING
ASSESSMENT**

a cura di

**Rodney Bridle
(Dam Safety Ltd)**

22 January 2013



“TC - Embankment dams”



Attività precedenti del Technical Committee

Bollettino n. 164 *“Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations”*

Vol. 2 - Case histories, investigations, testing, remediation and surveillance



- ✓ Principali ***casi di rotture*** e ***incidenti*** attribuibili al fenomeno di erosione interna
- ✓ ***Interpretazione*** delle cause di incidente e/o rottura, cioè se siano dovuti a erosione interna concentrata, retrogressiva, di contatto o per migrazione
- ✓ Principali ***indagini in situ*** e ***prove di laboratorio*** necessarie alla determinazione dei parametri utilizzati nell’analisi del fenomeno di erosione interna attraverso i criteri convenzionali empirici e semi-empirici esposti nel Volume 1
- ✓ ***Recenti metodi*** (e.g. geofisici, termometrici, elettrici) ***impiegati per rilevare fratture/perdite*** e per la determinazione della permeabilità e della velocità di filtrazione

**INTERNAL EROSION OF EXISTING
DAMS, LEVEES AND DIKES, AND
THEIR FOUNDATIONS**

ICOLD - BULLETIN 164

**Volume 2: CASE HISTORIES,
INVESTIGATIONS, TESTING,
REMEDICATION AND SURVEILLANCE**

a cura di

**Rodney Bridle
(Dam Safety Ltd)**

5 February 2016



“TC - Embankment dams”



Attività precedenti del Technical Committee

Il contenuto del nuovo **Bollettino 164** è senz'altro apprezzabile, perché basato su analisi approfondite dei fenomeni di erosione interna. E' tuttavia utile tenere presente che le formulazioni riportate nel Volume 1, congiuntamente ai risultati di indagini in situ e prove di laboratorio, **non considerando taluni fondamentali aspetti geometrici e micro-meccanici del problema**, consentono soltanto una **preliminare stima della vulnerabilità di una struttura di terra nei confronti dell'erosione interna** e, quindi, della possibilità di rotture e dissesti (**Federico, 2017 – Rivista L'Acqua, n. 6**).

Collaborazione con l' **ICOLD European Working Group on Internal Erosion** nell'ambito delle attività finalizzate allo sviluppo di modelli avanzati di descrizione e simulazione dei fenomeni di erosione e deposizione all'interno dei mezzi granulari, in dipendenza della distribuzione dei vuoti e delle *constriction sizes*; in particolare dei processi di **erosione tubolare retrogressiva (piping)** e **suffusion**.

Le attività sono sviluppate con la collaborazione anche di:

- ✓ **Technical Committee 105 – “Geomechanics From Micro to Macro”**
- ✓ **Technical Committee 201 – “Geotechnical Aspects of Dykes and Levees and Shore Protection”**
- ✓ **Technical Committee 213 - “Scour and Erosion”**

dell' **International Society on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE)**.



“TC - Embankment dams”



Attività recenti del Technical Committee (2020-2021)

La pandemia da **Covid-19** ha imposto inevitabilmente una battuta d’arresto alle attività di ricerca in corso di sviluppo, nonché il rinvio di alcuni convegni internazionali già programmati, come il **Congresso ICOLD “88th Annual Meeting of the International Commission on Large Dams and Symposium on Sustainable Development of Dams and River”**, che si sarebbe dovuto svolgere nella città di Nuova Delhi (India) dal 4 al 10 aprile 2020, ri-programmato e tenutosi nel periodo 24 – 27 febbraio 2021.

Nonostante la difficile situazione sanitaria mondiale, *le varie attività di ricerca e la divulgazione dei corrispondenti risultati sono state sviluppate nell’ambito di convegni internazionali, svolti in modalità “webinar”* o tramite la pubblicazione (su rivista o book editi da importanti case editrici) dei contributi ormai accettati per conferenze annullate a causa della pandemia.

Sul tema “**Embankment dams**”, di rilievo i convegni internazionali:

- “**First International Conference on Embankment Dams (ICED) – Dam Breach Modelling and Risk Disposal**”, Pechino, Cina, 5-7 giugno 2020
- “**Fourth International Dam World Conference**”, Lisbona, Portogallo, LNEC, 21-25 settembre 2020



“TC - Embankment dams”

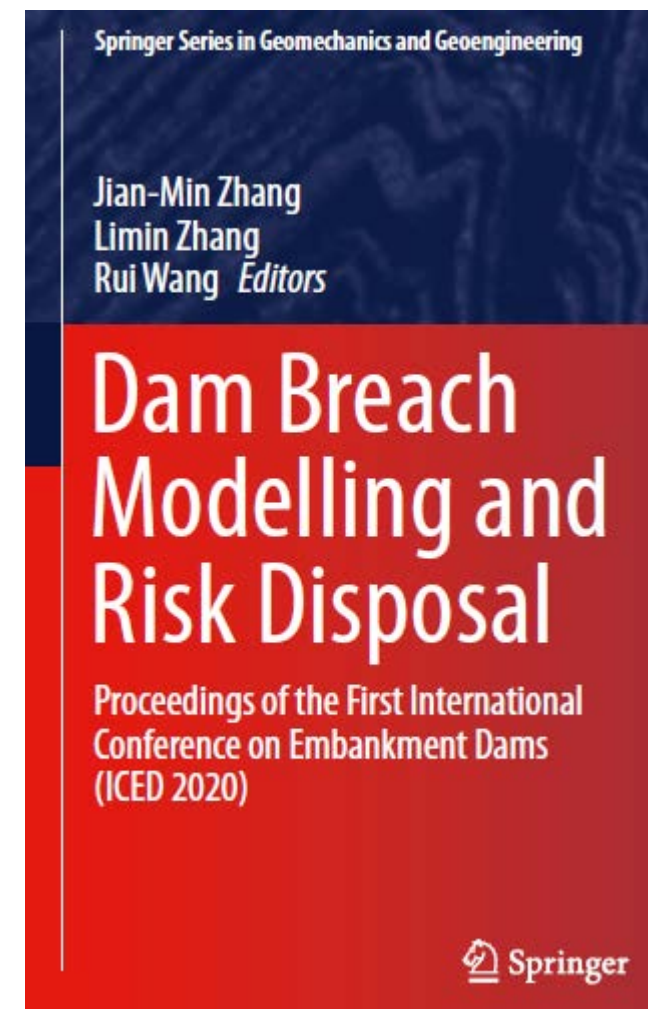


First International Conference on Embankment Dams (ICED) – Dam Breach Modelling and Risk Disposal

Sono stati affrontati i più recenti sviluppi in materia di sicurezza delle dighe di terra e di gestione del rischio, derivanti dall’interazione tecnico-scientifica di varie discipline, quali meccanica dei terreni, geologia, idrologia, meccanica dei fluidi, ingegneria infrastrutturale e scienze sociali. Nello specifico, i temi trattati hanno riguardato:

- **Casi studio di rottura di argini e dighe**, Modellazione del processo di rottura di una diga (**dam break**)
- **Meccanica dei materiali per dighe di terra**, Valutazione e gestione dei rischi
- **Monitoraggio, diagnosi e mitigazione del rischio** per dighe di terra
- **Rilevamento e allarme tempestivo e risposta alle emergenze** (Gestione “intelligente” di dighe di terra)
- **Regolamenti e norme tecniche per la gestione della sicurezza** di una diga di terra

La conferenza è stata annullata, ma i contributi presentati e accettati sono stati pubblicati nell’e-book “*Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*”, Jian-Min Zhang, Limin Zhang, Rui Wang Editors, ISBN 978-3-030-46350-2 ISBN 978-3-030-46351-9, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46351-9>, edito Springer.





“TC - Embankment dams”



Fourth International Dam World Conference – DW2020

Sono stati discussi (in modalità “webinar”) i progressi effettuati e le proposte per sviluppi futuri nell’ambito dei temi:

- **Concrete and Masonry Dams**
- **Embankment Dams**
- **Appurtenant Works**
- **Tailings Dams**
- **Environmental Issues**
- **Finance and Economic Aspects**
- **Regulation**



PORTUGAL • LISBON • LNEC

Webinar • 22-24 September, 2020

Conference • dates to be announced



“TC - Embankment dams”



Attività recenti del Technical Committee (2020-2021)

ICOLD European Working Group on Internal Erosion

Sono tutt’ora in corso di sviluppo le attività del programma di ricerca “**Internal Erosion Breach Model Review and Validation**”, organizzato da Mark Morris (membro dell’*ICOLD EWG-IE*) e patrocinato da *EDF* e *HR Wallingford*, iniziato nell’estate del 2019; la conclusione è prevista nell’inverno del 2021.

Nel luglio del 2020 era in programma il **28th Annual Meeting of the European Working Group on Internal Erosion**, presso l’università di Sheffield (UK), organizzato in collaborazione anche con la **British Dam Society** ed il Comitato Tecnico ISSMGE “*Geo-mechanics from Micro to Macro*” (TC 105). **A causa della pandemia da Covid-19, il convegno è stato rinviato al 2021 (nel periodo 6-9 luglio).**

E’ stato comunque possibile discutere le attività di ricerche svolte dai membri dell’ **ICOLD EWG-IE**, nei seguenti webinar meetings:

- **WORKSHOP ON “EROSION DOWN UNDER – PHYSICAL MODELLING, OBSERVATION METHODS AND ANALYSIS TECHNIQUES”**, 3 dicembre 2020, Brisbane, Australia.
- **WORKSHOP ON “INNOVATIVE NUMERICAL METHODS FOR INTERNAL EROSION PROCESSES”**, 17 dicembre 2020, organizzato da Prof. Ing. Carlo Callari (Università del Molise) e Prof. Ing. Donatella Sterpi (Politecnico di Milano).
- **WORKSHOP FOR MEETING ICOLD EWG-IE “INTERNAL EROSION AT THE FIELD SCALE”**, 4 Febbraio 2021, Deltares, Delft University of Technology and Ghent University.



“TC - Embankment dams”

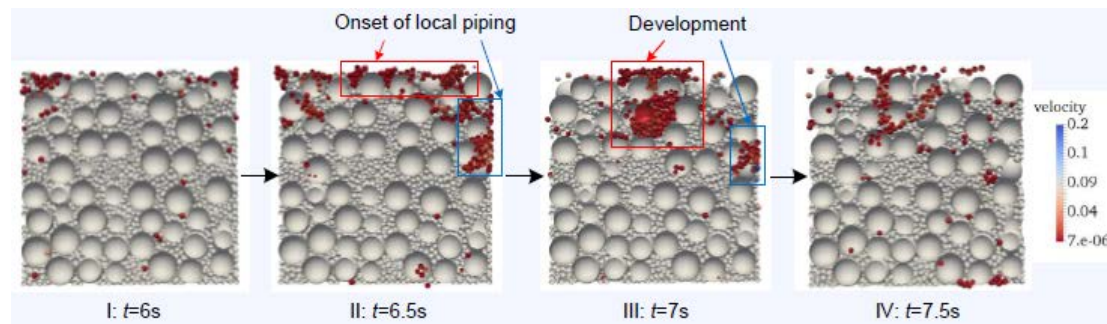


Attività recenti del Technical Committee (2020-2021)

ICOLD European Working Group on Internal Erosion

Sono stati illustrati approcci innovativi per la modellazione fisica e numerica dei fenomeni di erosione interna, nonché metodi di “misurazione” per monitorarne l’evoluzione e comprenderne i meccanismi innescanti e dominanti.

✓ *modellazione e simulazione mediante codici di calcolo CFD-DEM (Computational Fluid Dynamics – Discrete Element Method, e.g. Shire 2021; Hu 2021, Rotunno et al. 2017)*



(migrazione di particelle di piccolo diametro attraverso i vuoti intergranulari)

Liggghts Governing equation $m_i \frac{d\mathbf{U}_i}{dt} = \sum_c \mathbf{F}_{ij}^c + \mathbf{F}_i^f + \mathbf{F}_i^g$ $I_i \frac{d\boldsymbol{\omega}_i}{dt} = \sum_c \mathbf{M}_{ij}^c$ $\mathbf{M}_i = -\frac{\boldsymbol{\omega}_{rel}}{ \boldsymbol{\omega}_{rel} } \mu_i \mathbf{F}_s R_i$ <p style="text-align: right; color: red;"><i>rolling resistance</i></p>	+	OpenFOAM N-S equation $\frac{\partial (n \rho_f \mathbf{U}^f)}{\partial t} + \nabla \cdot (n \rho_f \mathbf{U}^f \mathbf{U}^f)$ $-n \nabla \cdot (\mu_t \nabla \mathbf{U}^f) = -\nabla p - \mathbf{F}_i^p + n \rho_f \mathbf{g}$	+	CFDEM Interaction force $\mathbf{F}_p^f = \mathbf{F}_d + \mathbf{F}_v + \mathbf{F}_g$ $\mathbf{F}_d = \frac{1}{2} C_d \rho_f \pi R_p^2 \mathbf{U}_f - \mathbf{U}_p (\mathbf{U}_f - \mathbf{U}_p)^{n-2}$ $\mathbf{F}_g = -V_p \nabla p$ $\mathbf{F}_v = -V_p \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}$
---	---	--	---	---

✓ *rilevamento delle variazioni microstrutturali del materiale attraverso tecniche di tomografia a raggi X (e.g. Benahmed et al., 2021)*

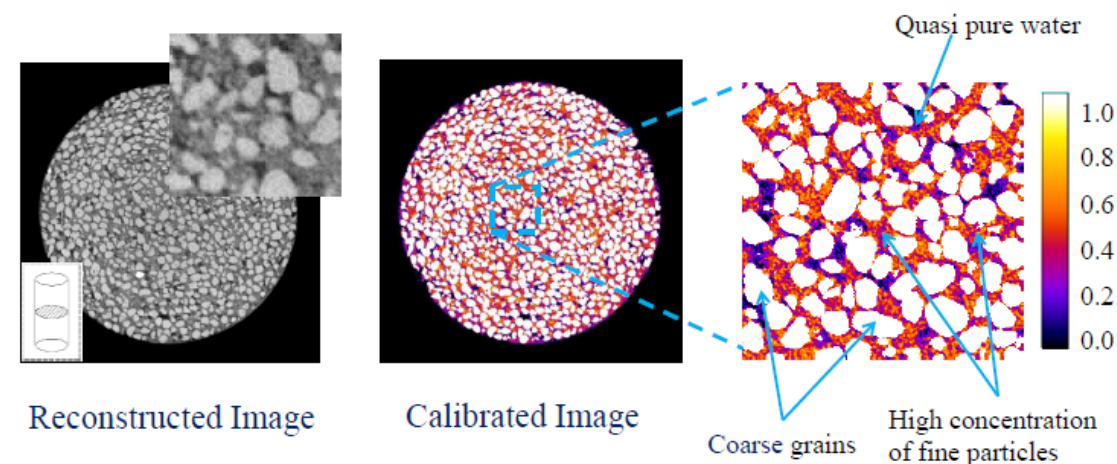


Image processing: identificazione delle particelle più grossolane e calibrazione alla scala di grigi per determinazione delle particelle fini negli spazi intergranulari



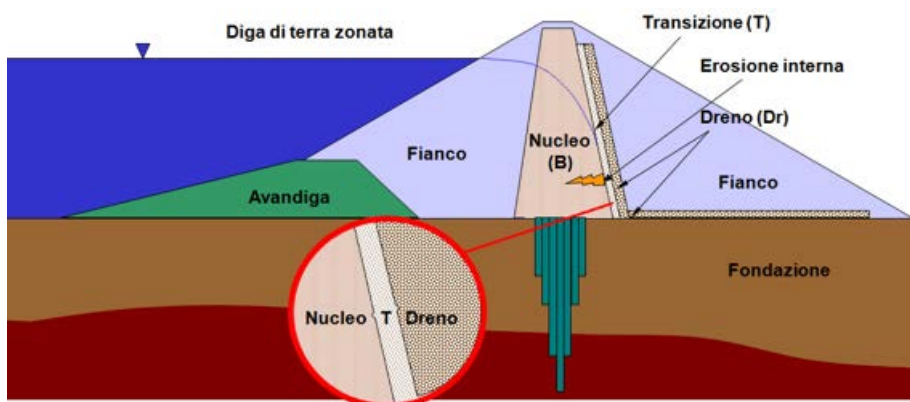
Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021)

Principali temi di ricerca teorica ed applicata

➤ EFFETTI DELLA GRANULOMETRIA SUL COMPORTAMENTO MECCANICO DEI MEZZI GRANULARI

A - Fenomeni di migrazione particellare (i.e. contact erosion, suffusion)

Elaborazione di una **procedura numerica** per la simulazione del processo di migrazione particellare nei mezzi granulari. La modellazione è fondata sulle equazioni di **conservazione delle masse fluida e solida**; i processi di erosione e deposito sono governati da **leggi geometrico – probabilistiche**, che consentono di tenere conto della **geometria dei vuoti** (VVD) e della distribuzione delle **constrictions sizes** (CSD), e dalle condizioni idrauliche (i.e. velocità di filtrazione e gradienti piezometrici critici).



$$\nabla \cdot [(1 - c_s) \cdot n \cdot \vec{v}_f] = - \frac{\partial [(1 - c_s) \cdot n]}{\partial t}$$

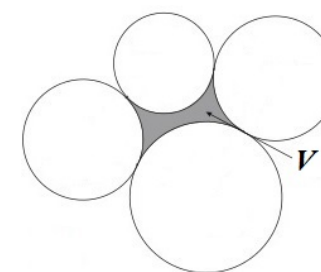
(Eq. conservazione massa liquida)

$$\nabla \cdot (c_s \cdot n \cdot \vec{v}_{sp}) = \frac{\partial [(1 - c_s) \cdot n]}{\partial t}$$

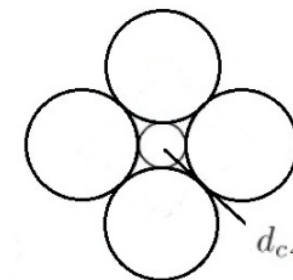
(Eq. conservazione massa solida)

Equazione “cinetica”

(processi di erosione e deposito)



void



constriction size

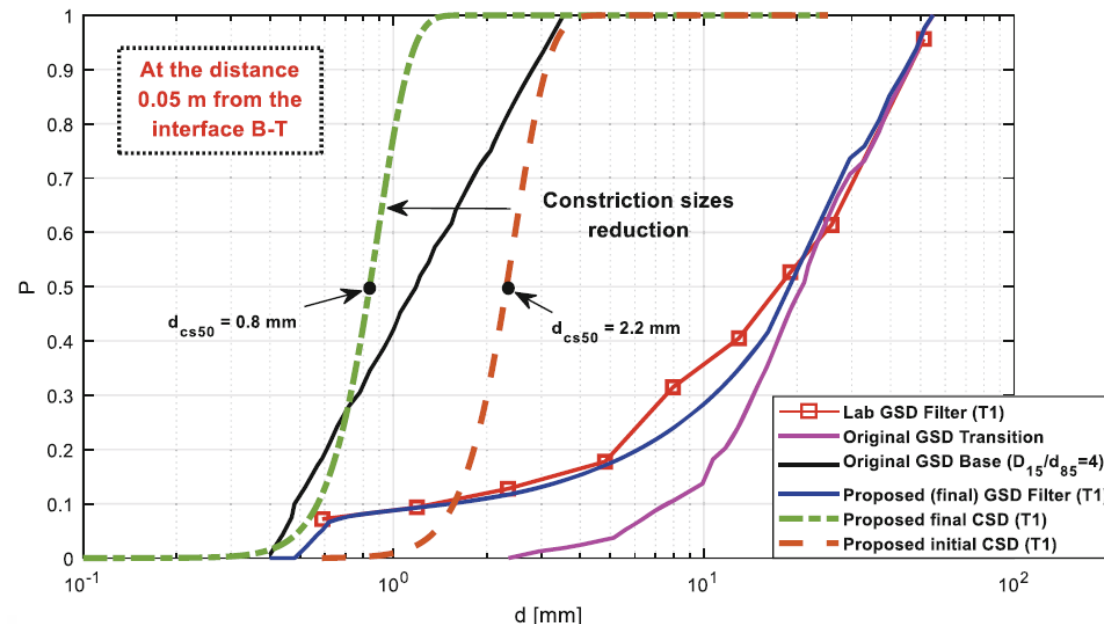
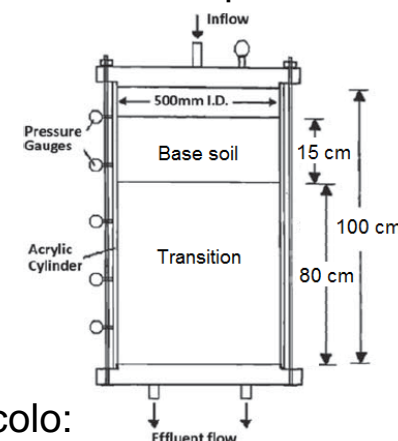
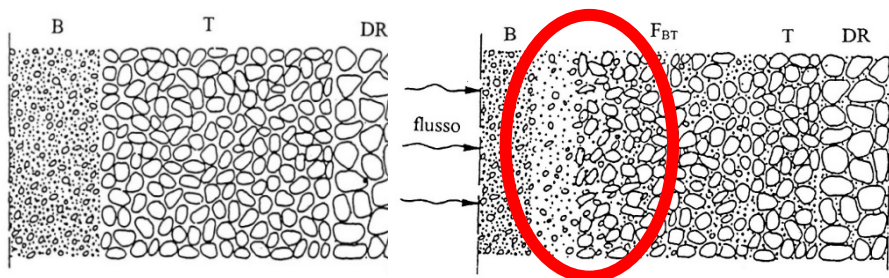


Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – Principali temi di ricerca teorica e applicata

➤ EFFETTI DELLA GRANULOMETRIA SUL COMPORTAMENTO MECCANICO DEI MEZZI GRANULARI

A - Fenomeni di migrazione particellare (i.e. contact erosion, suffusion)

La procedura numerica proposta consente di simulare i processi 'accoppiati' di filtrazione e migrazione particellare tenendo conto delle grandezze, geometriche e idrauliche, che ne influenzano l'evoluzione, **dell'interazione di ciascuna di esse con le altre**, nonché della progressiva modifica nello spazio e nel tempo delle proprietà fisiche e meccaniche del mezzo, a seguito dei processi di erosione e deposito delle particelle.



Curve di distribuzione granulometrica e delle "constriction sizes", dei materiali di Base (B - sabbia) e di Transizione (T - ghiaia), a differenti distanze dall'interfaccia B-T.

I principali aspetti della ricerca sono riportati nell'articolo:

F. Federico, C. Cesali (2020) – **"Modeling of Soil Migration Phenomena in Embankment Dams"**. First International Conference on Embankment dams: DAM BREACH MODELLING AND RISK DISPOSAL, Pechino, Cina, 2020.

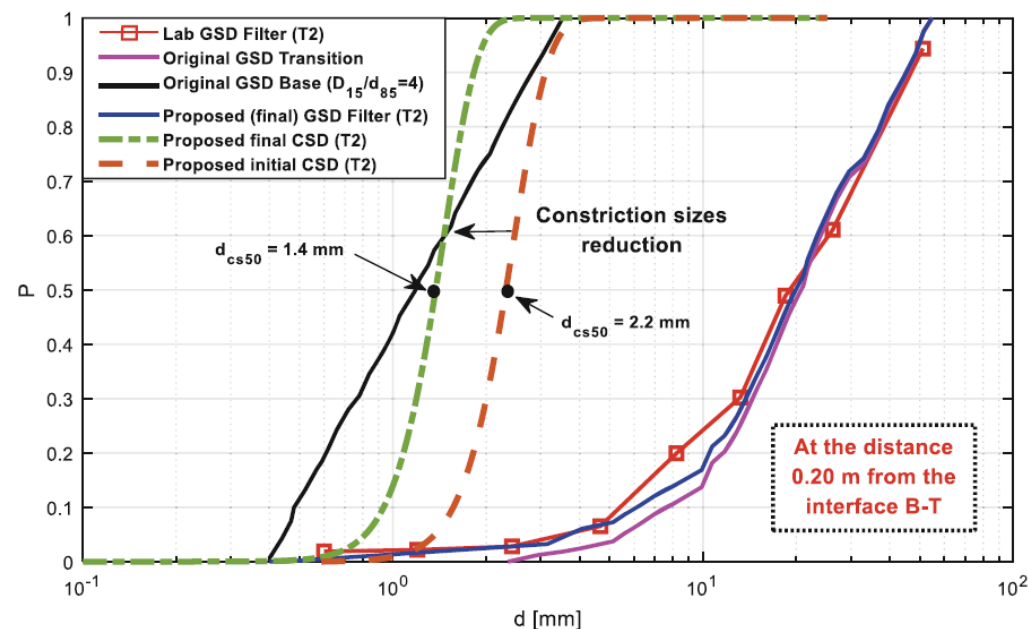
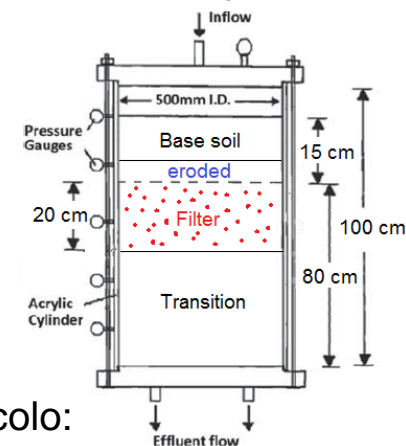
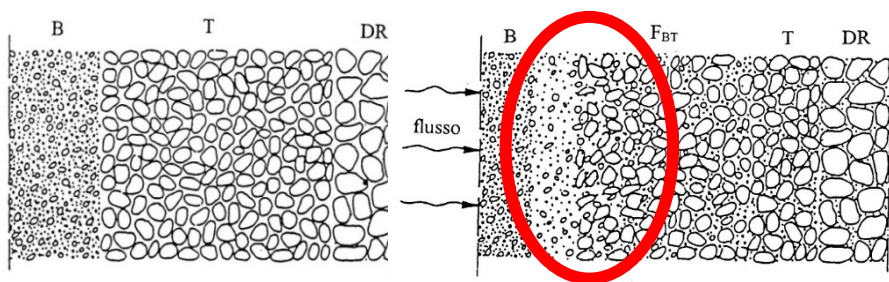


Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – *Principali temi di ricerca teorica e applicata*

➤ **EFFETTI DELLA GRANULOMETRIA SUL COMPORTAMENTO MECCANICO DEI MEZZI GRANULARI**

A - Fenomeni di migrazione particellare (i.e. contact erosion, suffusion)

La procedura numerica proposta consente di simulare i processi ‘accoppiati’ di filtrazione e migrazione particellare tenendo conto delle grandezze, geometriche e idrauliche, che ne influenzano l’evoluzione, **dell’interazione di ciascuna di esse con le altre**, nonché della progressiva modifica nello spazio e nel tempo delle proprietà fisiche e meccaniche del mezzo, a seguito dei processi di erosione e deposito delle particelle.



Curve di distribuzione granulometrica e delle “constriction sizes”, dei materiali di Base (B - sabbia) e di Transizione (T - ghiaia), a differenti distanze dall’interfaccia B-T.

I principali aspetti della ricerca sono riportati nell’articolo:

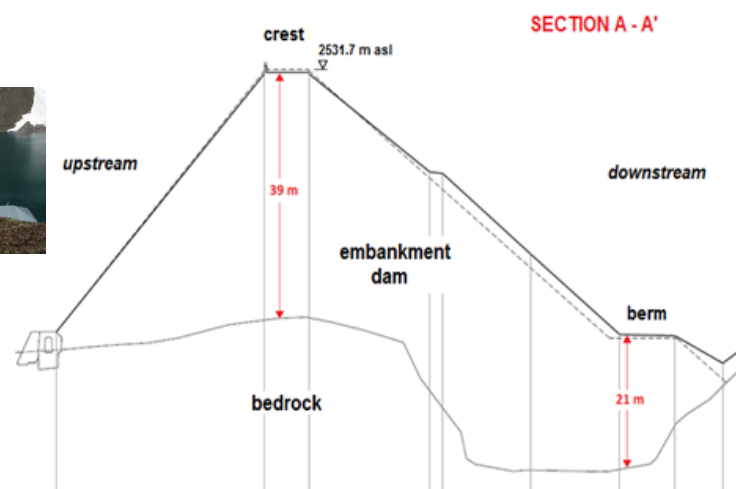
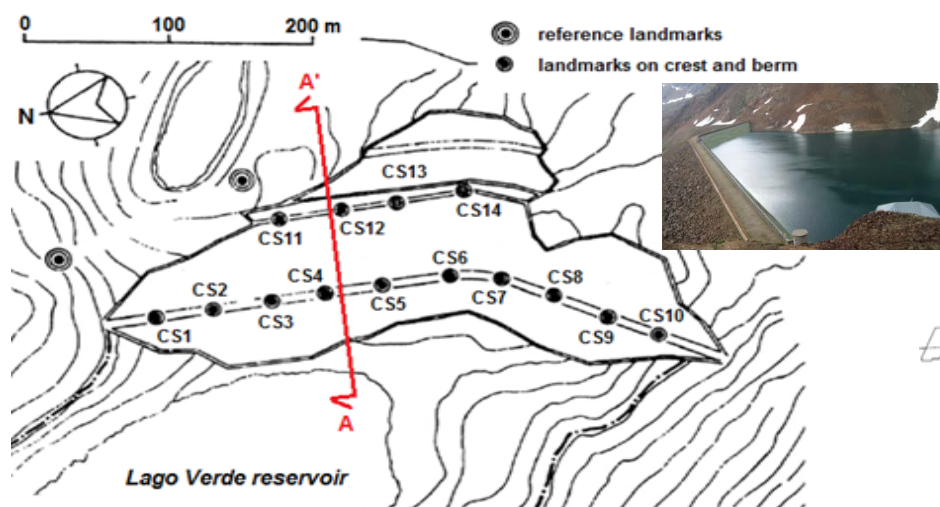
F. Federico, C. Cesali (2020) – **“Modeling of Soil Migration Phenomena in Embankment Dams”**. First International Conference on Embankment dams: DAM BREACH MODELLING AND RISK DISPOSAL, Pechino, Cina, 2020.



Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – Principali temi di ricerca teorica e applicata

B - Dighe di rockfill

Analisi della **diga di Lago Verde**, costituita di rockfill con elementi di grandi dimensioni (sino a circa 1.5 – 2,0 m), in collaborazione con l'ing. **Maestri** (Alperia);



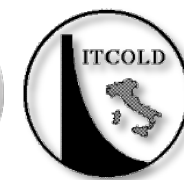
➤ ruolo dei processi micro-meccanici (a scala locale, i.e. **comminution of asperities, splitting/global breakage**) sul comportamento macroscopico/globale (i.e. **bulk and shear strengths and displacements**) del rockfill, specie nel caso di diametri molto grandi (1,5 – 2,0 m);

➤ interpretazione dei fenomeni osservati (**evoluzione dei cedimenti ed effetti delle azioni cicliche**).

F. Federico, C. Cesali, M. Cacciotti, M. Maestri (2020) – “**Evolution of crest displacements of the Lago Verde rockfill dam during fifty years of operations**”. 4th International Dam World Conference, Lisbona, Portogallo, 2020.



"TC - Embankment dams"

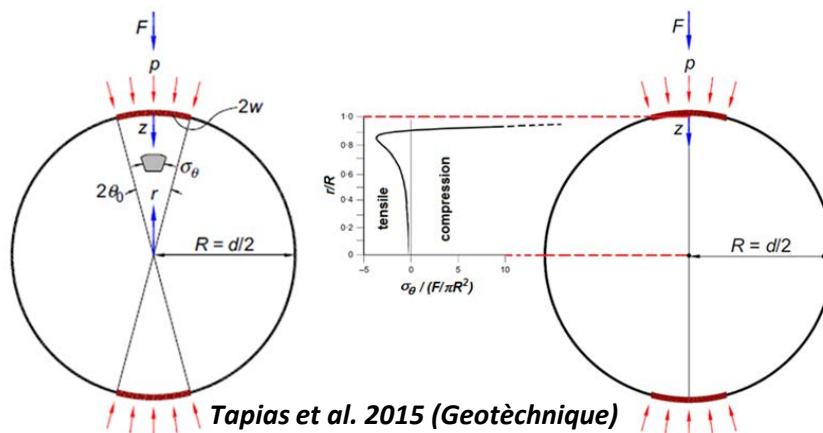


Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – Principali temi di ricerca teorica e applicata

B - Dighe di rockfill



(Diga di **Lago Verde**, materiale rockfill)

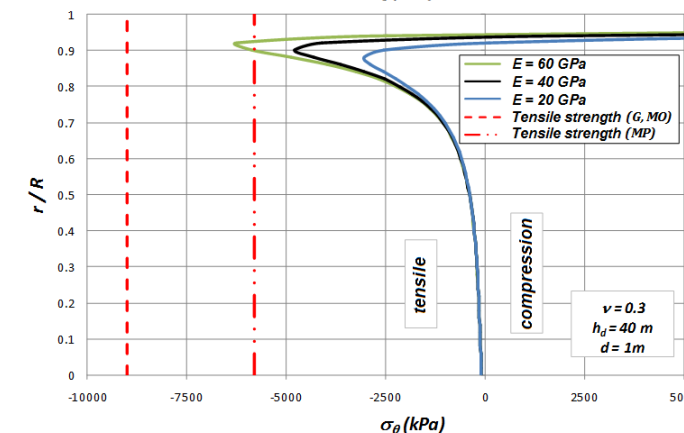
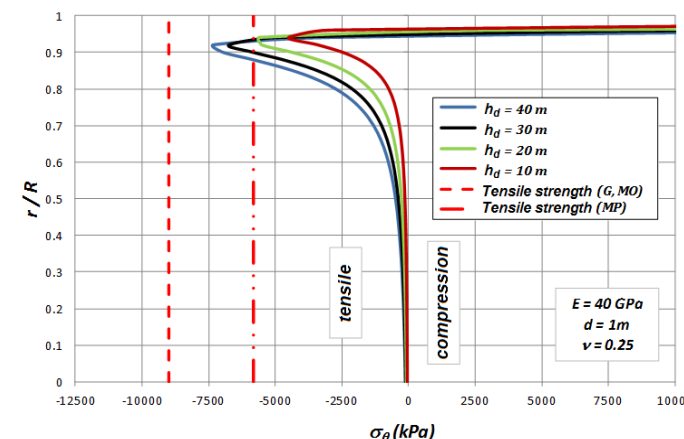


$$\sigma_{\theta} = \left[\frac{1}{2} + \nu - \frac{1 + \nu}{(1 + (w/z)^2)^{0.5}} + \frac{1}{2 \cdot (1 + (w/z)^2)^{1.5}} \right] \cdot p$$

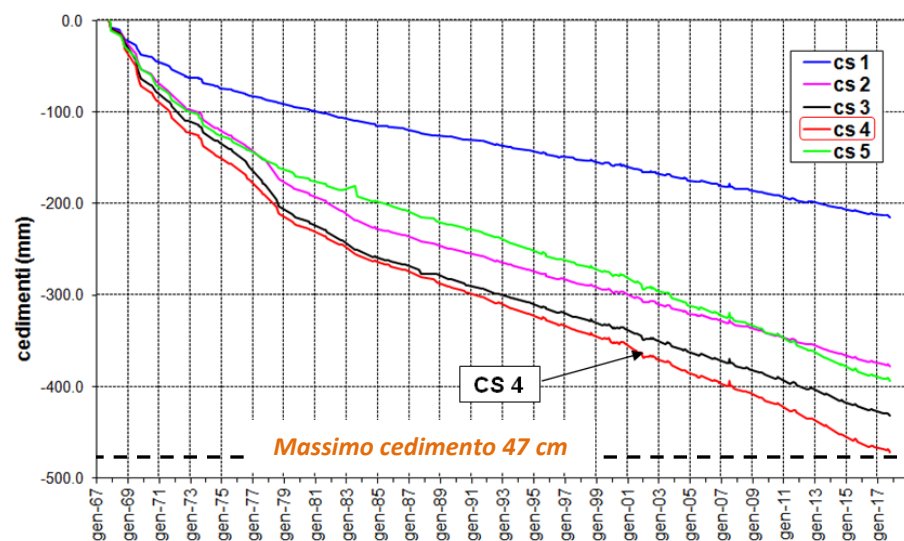
$$p = \frac{F}{\pi R^2 \sin^2 \theta_0} \quad \theta_0 = \sin^{-1} \left[\left(\frac{3(1 - \nu^2)F}{4ER^2} \right)^{1/3} \right]$$

➤ Accumulo ciclico di cedimenti del coronamento; attuale rate *pari* a 6-7 mm/anno, dovuto principalmente alla **comminution tra le asperità**, al contatto tra i blocchi;

➤ Meccanismi di **rottura globale** dei blocchi si verificano soltanto per elevate profondità (> 30 m) e per specifici valori dei parametri meccanici



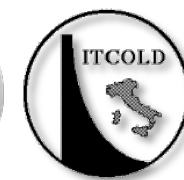
Distribuzione delle tensioni nei blocchi, a differenti profondità e per differenti parametri meccanici (h_d = profondità dal coronamento, $h_{d,max} = 40$ m circa – litotipi G = granitoide, MO = metamorfico ortogonale MP = metamorfico parallelo, (teoria di Tapias et al., 2015).



(Diga di Lago Verde, cedimenti misurati al coronamento)



"TC - Embankment dams"

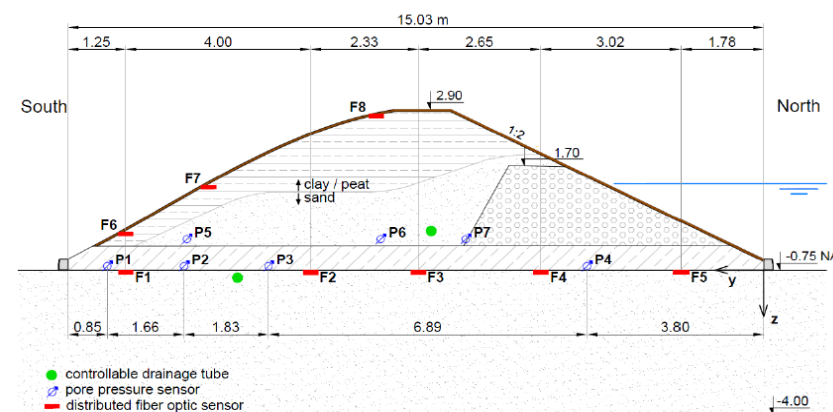
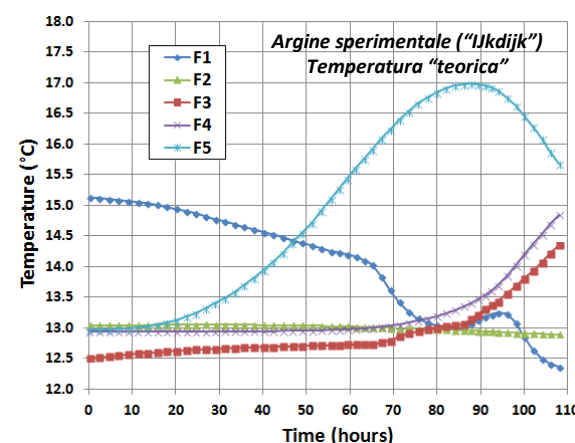
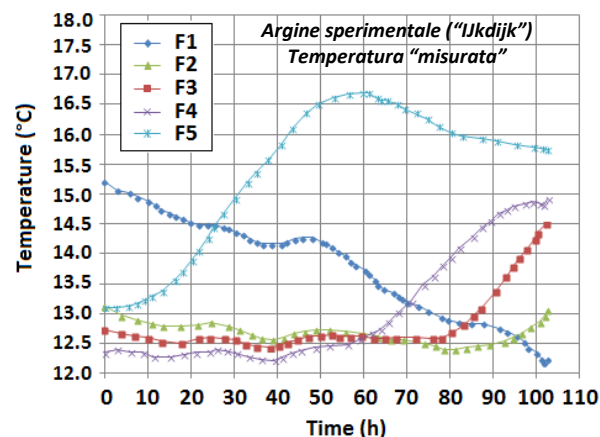


Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – Principali temi di ricerca teorica e applicata

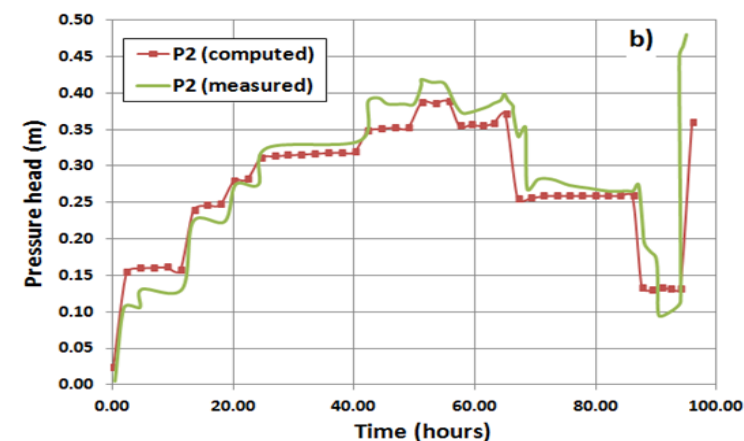
➤ MONITORAGGIO DI VARIABILI SIGNIFICATIVE AI FINI DELL'INDIVIDUAZIONE DI FENOMENI DI EROSIONE INTERNA NELLE STRUTTURE DI TERRA

Variazioni di quote piezometriche e temperatura, all'interno di strutture di terra (omogenee e zonate), indotte da **difetti di permeabilità**, analizzate mediante simulazioni numeriche dei processi "accoppiati" di filtrazione e trasporto del calore nei mezzi granulari, ai fini di una **corretta interpretazione delle misure (sperimentali ed in situ) delle variabili di interesse**.

Monitoraggio termico nelle strutture di terra, basato sull'utilizzo di "**sensori distribuiti**" in **fibra ottica**, ad integrazione del convenzionale **rilievo di quote piezometriche**.



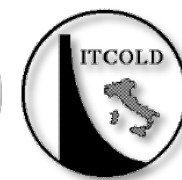
Argine sperimentale ("IJkdijk" - University of Delft, Netherlands)



Argine sperimentale ("IJkdijk") – quote piezometriche



"TC - Embankment dams"

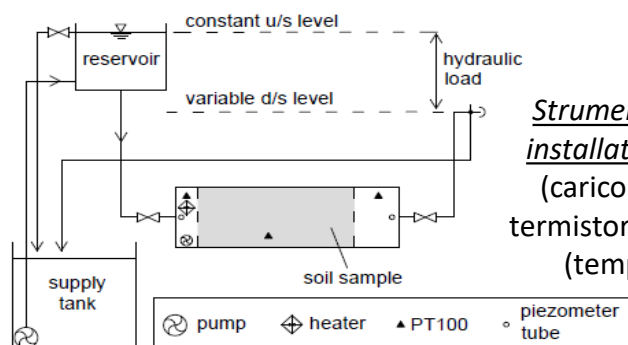
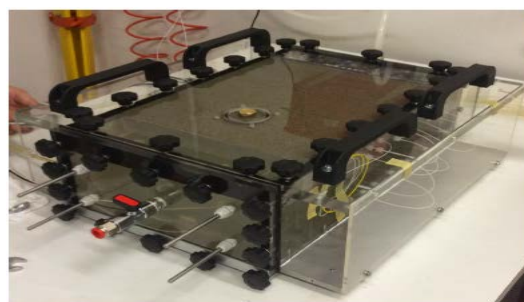


Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – *Principali temi di ricerca teorica e applicata*

➤ **MONITORAGGIO DI VARIABILI SIGNIFICATIVE AI FINI DELL'INDIVIDUAZIONE DI FENOMENI DI EROSIONE INTERNA NELLE STRUTTURE DI TERRA**

E' stata valutata l'efficacia e l'attendibilità dei sensori termici (tradizionali e "distribuiti" in fibra ottica) nel misurare la temperatura all'interno di materiali granulari soggetti a moti di filtrazione, tramite interpretazione dei risultati di esperimenti a grande e piccola scala.

Esperimento (a piccola scala) di riferimento



Strumenti di misura installati: piezometri (carico idraulico) e termistori/fibre ottiche (temperatura).

Moto di filtrazione monodimensionale accoppiato con il meccanismo di trasmissione del calore, con condizioni iniziale e al contorno variabili rispettivamente nello spazio e nel tempo.

$$\frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + A \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} = B \frac{\partial T(x, t)}{\partial t}$$

$$T(x = 0, t) = \phi_1(t)$$

$$T(x = L, t) = \phi_2(t)$$

$$T(x, t = 0) = \psi(x)$$

$$A = \theta_w \rho_w c_{pw} \frac{k}{k_T} \cdot i; \quad B = \frac{\rho_s c_{ps}}{k_T}$$

Soluzione analitica originale, in forma chiusa

$$T(x, t) =$$

$$T_0 - \frac{T_0 - T_L}{1 - e^{-AL}} (1 - e^{-Ax}) + e^{\frac{A}{2}x} \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\frac{4n^2\pi^2 + A^2L^2}{4BL^2}t} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \int_0^L [\psi(x') - T_{11}(x')] \cdot e^{\frac{A}{2}x'} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{L}x'\right) dx' +$$

$$\frac{e^{\frac{A}{2}x}}{1 - e^{-AL}} \cdot \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left(-\frac{4n^2\pi^2 + A^2L^2}{4BL^2} \right) e^{-\frac{4n^2\pi^2 + A^2L^2}{4BL^2}t} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \cdot \{ [e^{-AL}S_{1,n} - S_{2,n}] \} \int_0^t \psi_1(\lambda) e^{\frac{4n^2\pi^2 + A^2L^2}{4BL^2}\lambda} d\lambda \right\}$$

$$- \frac{e^{\frac{A}{2}x}}{1 - e^{-AL}} \cdot \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left(-\frac{4n^2\pi^2 + A^2L^2}{4BL^2} \right) e^{-\frac{4n^2\pi^2 + A^2L^2}{4BL^2}t} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \{ [S_{1,n} - S_{2,n}] \} \int_0^t \psi_2(\lambda) e^{\frac{4n^2\pi^2 + A^2L^2}{4BL^2}\lambda} d\lambda \right\}$$



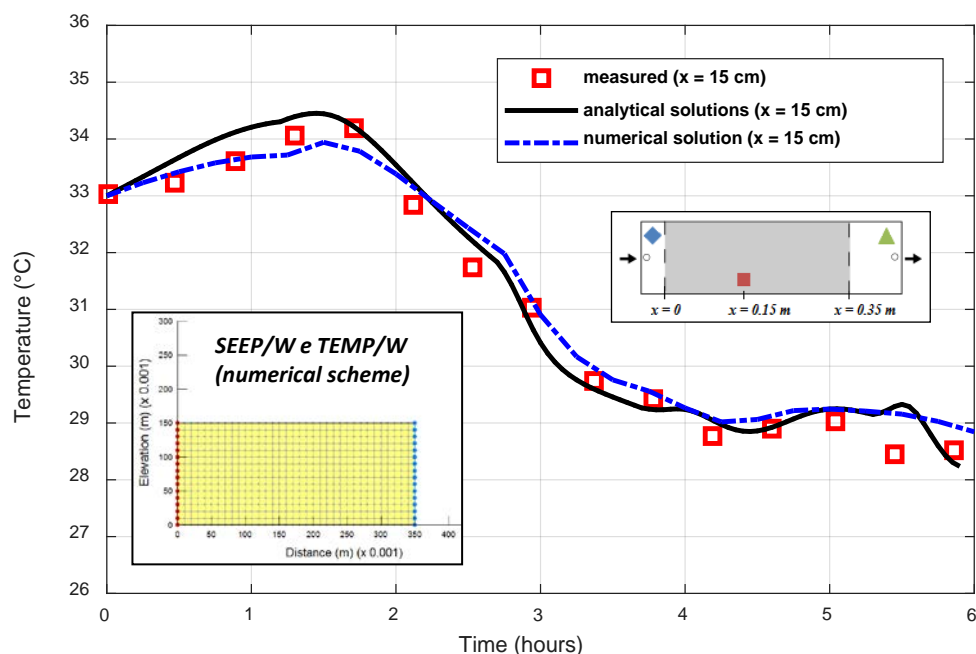
“TC - Embankment dams”



Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – *Principali temi di ricerca teorica e applicata*

➤ **MONITORAGGIO DI VARIABILI SIGNIFICATIVE AI FINI DELL'INDIVIDUAZIONE DI FENOMENI DI EROSIONE INTERNA NELLE STRUTTURE DI TERRA**

Distribuzione di temperatura nel campione di materiale testato



La corrispondenza tra le soluzioni **analitica** e **numerica**, e le **misure sperimentali** di temperatura evidenzia in questo caso l'attendibilità dei sensori termici nel misurare le **variazioni (teoriche) di temperatura**, all'interno di un materiale granulare, indotte dal moto di filtrazione “accoppiato” al meccanismo di trasporto del calore.



C. Cesali, F. Federico, V. Federico (2020) – **“Back analysis of coupled seepage and heat transfer through embankment dams and levees by analytical solutions and numerical simulations”.**

4th International Dam World Conference, Lisbona, Portogallo, 2020.



“TC - Embankment dams”



Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – *Principali temi di ricerca teorica e applicata*

➤ **MONITORAGGIO DI VARIABILI SIGNIFICATIVE AI FINI DELL'INDIVIDUAZIONE DI FENOMENI DI EROSIONE INTERNA NELLE STRUTTURE DI TERRA**

Evoluzione del “*piping*”, innescato dalla presenza di tane di nutrie o animali selvatici, all'interno di un rilevato arginale, fino al collasso (i.e. **rotta dell'argine destro del Fiume Secchia, Modena, 2014**), e corrispondenti effetti sulla variazione della sicurezza del manufatto (codici di calcolo **SEEP/W** e **SLOPE/W**) e sulle variabili “temperatura (T)” e “quota piezometrica (h)” (codici di calcolo **SEEP/W** e **TEMP/W**), in ragione delle conseguenti variazioni locali di permeabilità e velocità di filtrazione.

Le analisi svolte hanno consentito, per il caso esaminato, di *individuare le variazioni/anomalie delle variabili di controllo (T, h), associate a modifiche del moto di filtrazione, significative e tali da essere rilevabili, prima della rottura.*

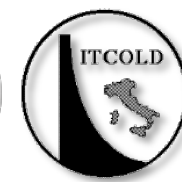
I principali aspetti del lavoro svolto, di seguito descritti, sono riportati nell'articolo:

F. Federico, C. Cesali, M. Cacciotti, W. Cardaci (2020) – **“Safety reduction of levees due to the erosive activity”**.
4th International Dam World Conference, Lisbona, Portogallo, 2020.



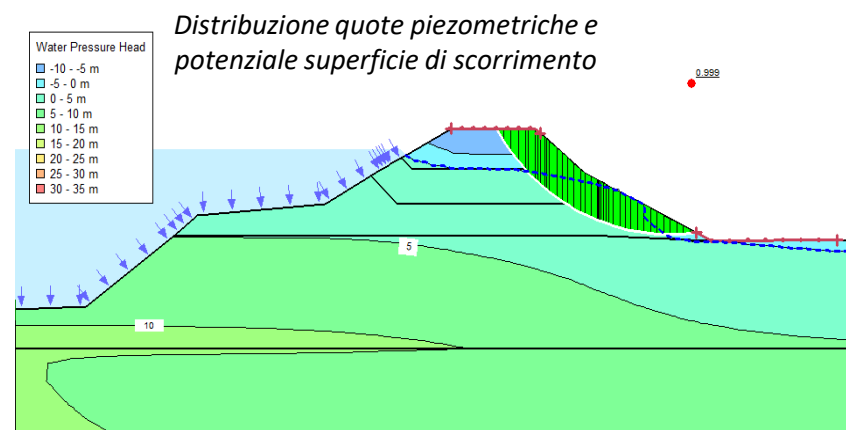


"TC - Embankment dams"



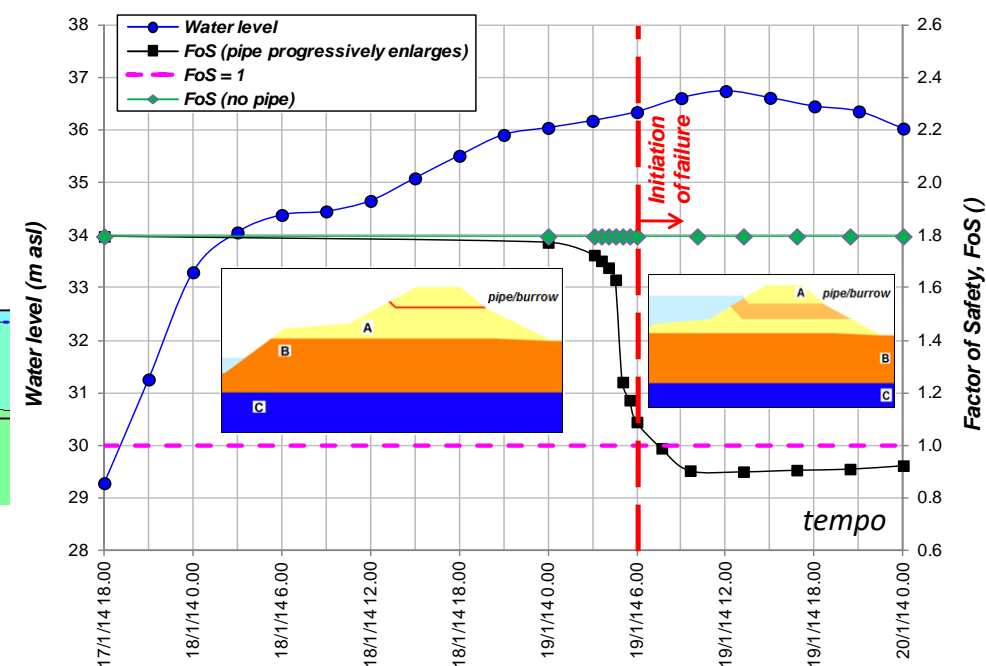
Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – Principali temi di ricerca teorica e applicata

➤ **MONITORAGGIO DI VARIABILI SIGNIFICATIVE AI FINI DELL'INDIVIDUAZIONE DI FENOMENI DI EROSIONE INTERNA NELLE STRUTTURE DI TERRA**



In assenza di tane, il fattore di sicurezza (**FS**) della scarpata esterna è pari a **1.80**.

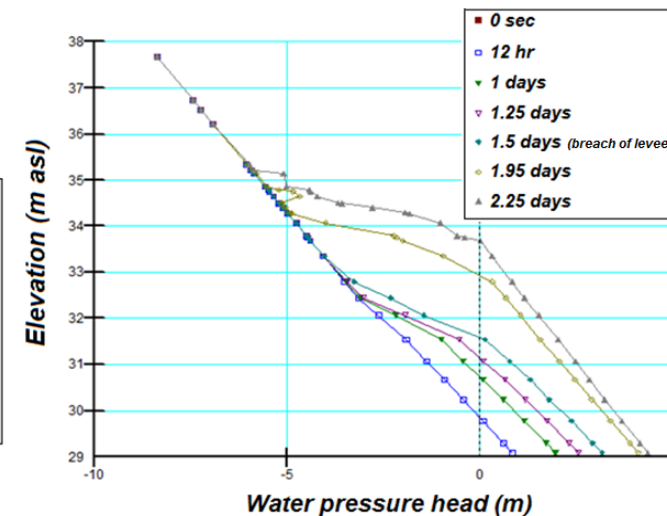
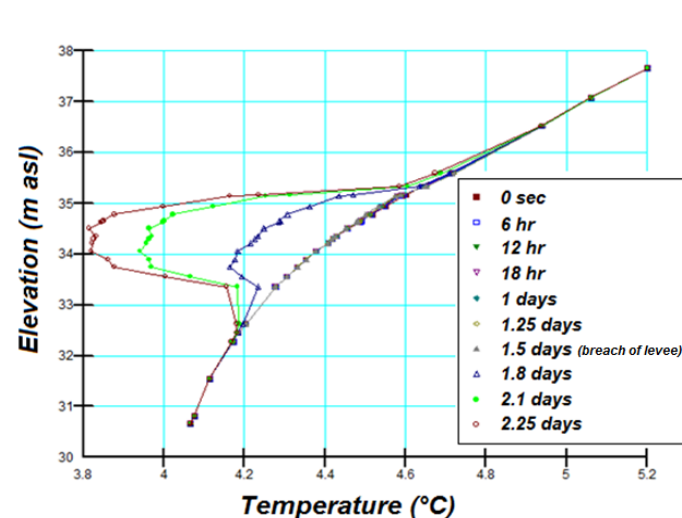
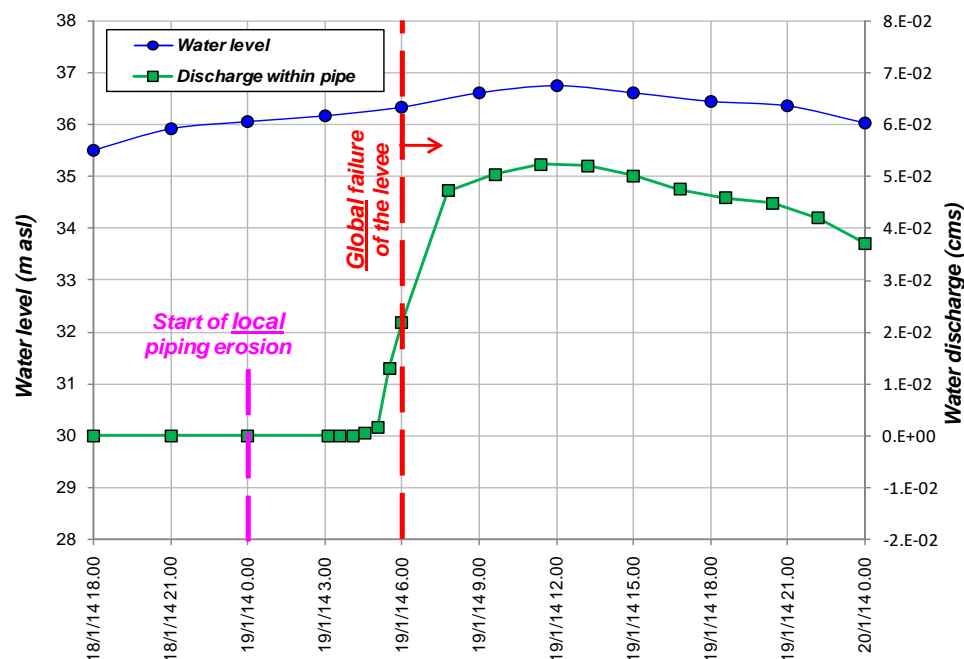
In presenza di tane (quota stimata 36 m slm circa – incremento progressivo del diametro della tana, da 20 a 200 cm in 6 h, comunicazione monte-valle), **FS** si **riduce drasticamente per effetto del marcato avanzamento del fronte di saturazione e della superf. libera, fino al valore unitario (circa 6 h)**, con conseguente formazione della breccia arginale.



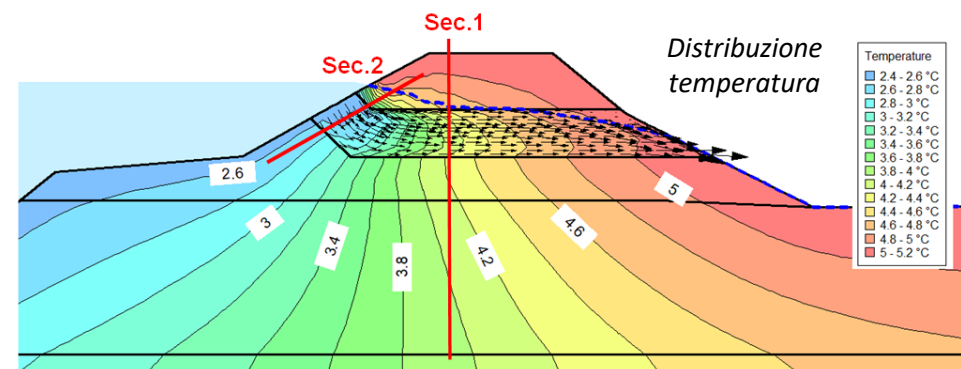


Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – Principali temi di ricerca teorica e applicata

➤ **MONITORAGGIO DI VARIABILI SIGNIFICATIVE AI FINI DELL'INDIVIDUAZIONE DI FENOMENI DI EROSIONE INTERNA NELLE STRUTTURE DI TERRA**



Contestualmente, si rilevano variazioni apprezzabili della **temperatura** e della **portata** (sez. 1) soltanto in prossimità della rottura della scarpata esterna; variazioni significative delle **quote piezometriche** (sez.1) possono invece essere osservate **6 ore circa prima della rottura**.



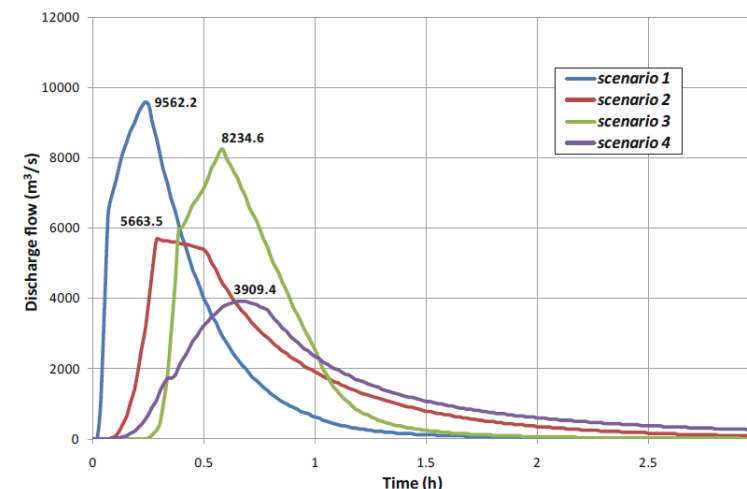
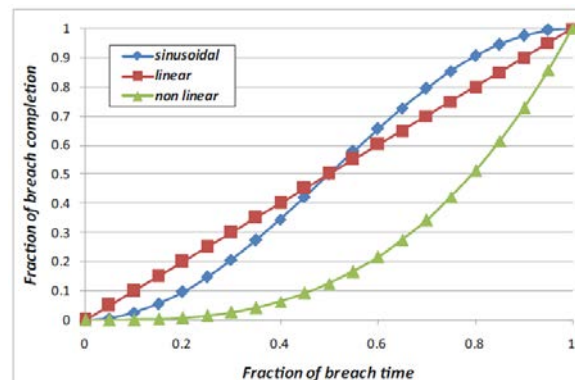
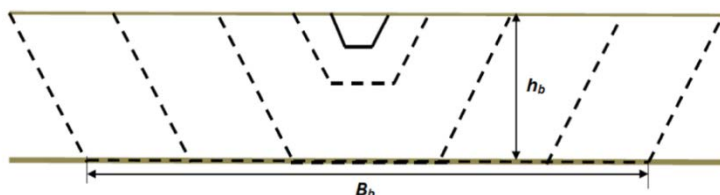


Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – Principali temi di ricerca teorica e applicata

➤ ANALISI DEI MECCANISMI DI DAM BREAK E DEI LORO EFFETTI SUL TERRITORIO

Principali aspetti (ipotesi di *breaching*, diga di Sciaguana, Sicilia)

➤ *modellazione delle lesioni* o brecce nel corpo diga, in fz. delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali



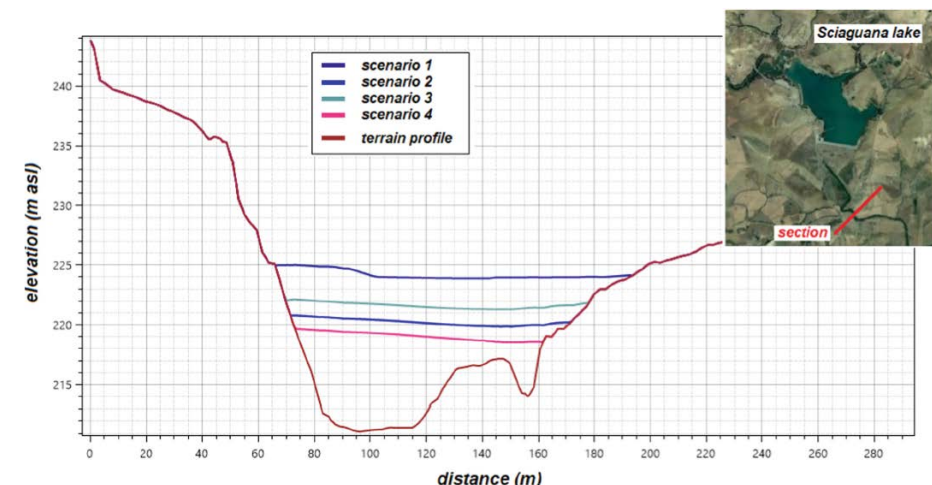
Outflow from the breach dam for different failure scenarios (1,2,3 – complete failure due to overtopping; 4 – partial failure due to piping)

➤ effetti della rottura (*overtopping/erosione esterna* o *piping/erosione interna*) sulla propagazione dell'onda di piena nelle aree vallive

F. Federico, C. Cesali (2020) – “Effects of dam failure mechanisms on downstream flood propagation”. First International Conference on Embankment dams: DAM BREACH MODELLING AND RISK DISPOSAL, Pechino, Cina, 2020.

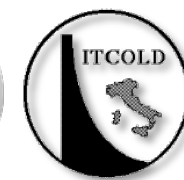
Livelli idrici nella sezione d'alveo trasversale, 1000 m a valle della diga

- 1) $TR = 1h$, overtopping, progressione lineare
- 2) $TR = 5h$, overtopping, progressione lineare
- 3) $TR = 1h$, overtopping, progressione **NON** lineare
- 4) $TR = 0.75h$, piping, progressione sinusoidale, da quota 250 m slm, da livello max 260.57 m slm





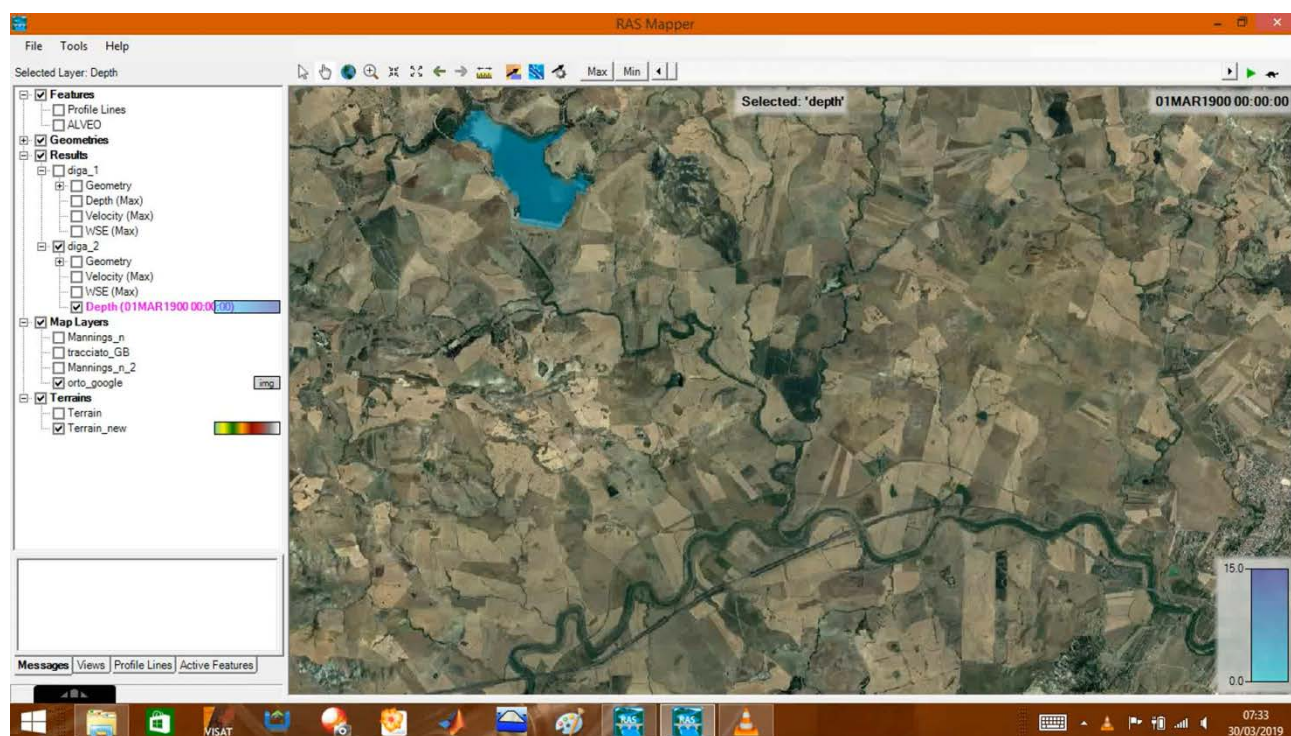
“TC - Embankment dams”



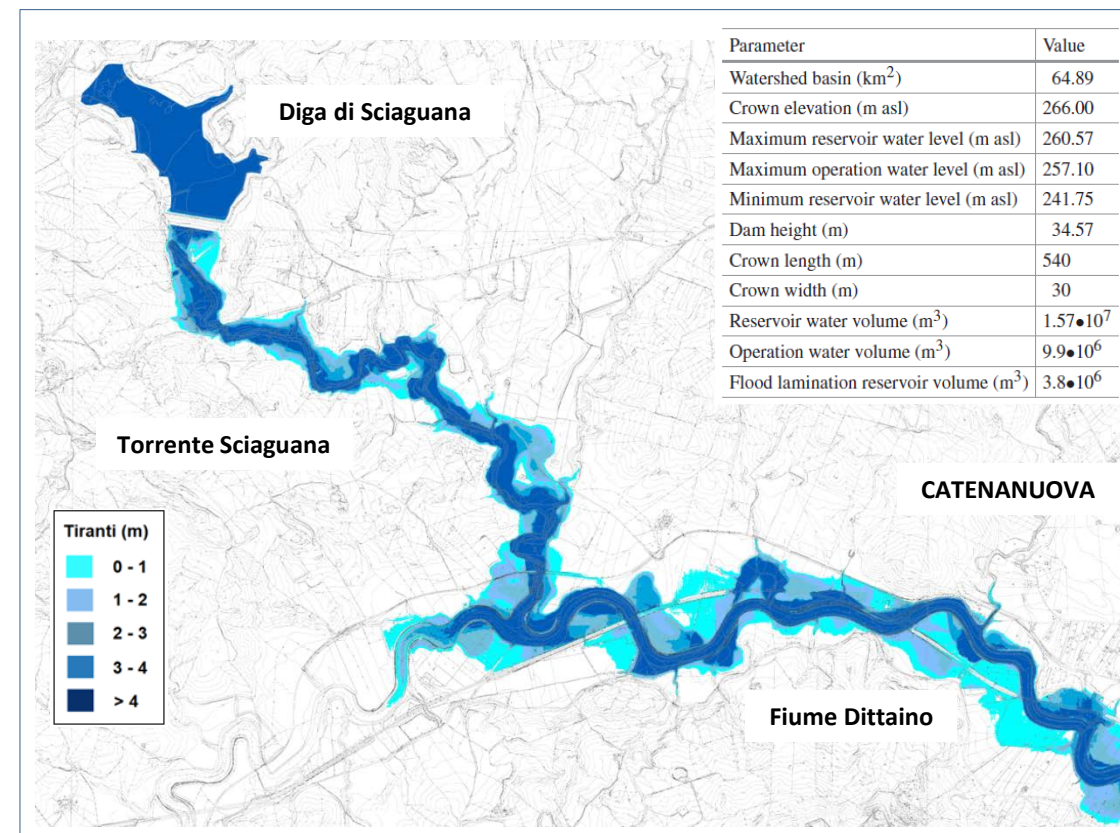
Attività del Gruppo di Supporto ITCOLD (2020-2021) – *Principali temi di ricerca teorica e applicata*

➤ ANALISI DEI MECCANISMI DI DAM BREAK E DEI LORO EFFETTI SUL TERRITORIO

Simulazione del “dam break” della Diga di Sciaguana (Sicilia)



Scenario di “dam break” n. 1 (portata al colmo “outflow” = 10000 m³/s circa)





“TC - Embankment dams”



Attività “in progress” del Technical Committee

Preparazione ed emanazione di “**Bulletins**” nell’ambito di seguenti temi:

➤ **Geotextiles in Dams**

The Bulletin will contain the latest characteristics of geotextiles as well as natural filters and includes applications in dams for these materials with several case histories.

➤ **Cofferdams**

The bulletin will be developed from USSD guidance with the collaboration of the Technical Committee “Operation, Maintenance and Rehabilitation of Dams”.

➤ **Materials for Cutoffs**

*It will be complementary to the **Bulletin 150** on Cutoffs, with particular attention to the materials used for cutoffs. It will cover all types, except soil mixing.*

➤ **Deformations and Cracking in Embankment Dams**

*It will deal with deformations associated with formation of potential transverse crack and hydraulic fracture mechanisms as well as settlements and deformations in general during operation and post-construction. It will be a complementary to the **Bulletin 164** and will include also a summary of case histories of cracks, particularly transverse ones, within embankments.*

➤ **Compaction of Earth Fill in Embankment Dams**

The proposed bulletin will be in two volumes or separate bulletins, one covering the earth fill (core material) and one for the other material (sand, rockfill,..).



“TC - Embankment dams”



Attività «in progress» del Gruppo di Supporto ITCOLD

- Partecipazione al **Gruppo di lavoro ITCOLD “Argini”**, coordinato dall’**ing. Fabio De Polo**, le cui attività (durata 2 – 3 anni) sono finalizzate alla redazione di un bollettino - o linee guida - in materia di progettazione, gestione, sorveglianza, controllo, ripristino e manutenzione di argini (in collaborazione anche con **AGI** e **ISPRA**).
- Attività di studio in materia di “*impermeabilizzazione con membrane bituminose*” di dighe: recenti tecnologie e applicazioni, in collaborazione con l’**Ing. Maria Vittoria Vignoli (CEA – Coop. Edile Appennino)**.

Prossimi eventi

- **ICOLD 27th Congress - 89th Annual Meeting, Marseille (Francia), 12 - 19 novembre 2021.**
- **10th International Conference on Scour and Erosion – ICSE10**, Arlington, Virginia, USA, ottobre 2021.
 - ✓ F. Federico, C. Cesali (2021) – “**Granulometric compatibility between different materials. Interpretation of empirical criteria through micro-mechanical modeling**”. 10th ICSE, Arlington, Virginia, USA;
 - ✓ C. Cesali, F. Federico, V. Federico (2021) – “**Coupled analyses of seepage and heat transport processes to detect permeability defects in earthen structures**”. 10th ICSE, Arlington, Virginia, USA;

I TECHNICAL COMMITTEES di ICOLD

Il contributo italiano



Technical Committee “E” ***“EMBANKMENT DAMS”***

GRAZIE PER L’ATTENZIONE