



[www.itcold.it](http://www.itcold.it)  
[itcold@iol.it](mailto:itcold@iol.it)



# OPEN DAY ON DAMS

## 2022

**SP** studio pietrangeli  
consulting engineers

Ing. Francesco Tamantini  
Ing. Valerio Martinelli  
[info@pietrangeli.it](mailto:info@pietrangeli.it)  
[www.pietrangeli.com](http://www.pietrangeli.com)

Dalla Progettazione alla Costruzione  
**La GRAND ETHIOPIAN RENAISSANCE DAM**  
RCC e Analisi Termica

## INDICE dei CONTENUTI



## 01 – IL PROGETTO





## 01 – IL PROGETTO

### La **GRAND ETHIOPIAN RENAISSANCE DAM**

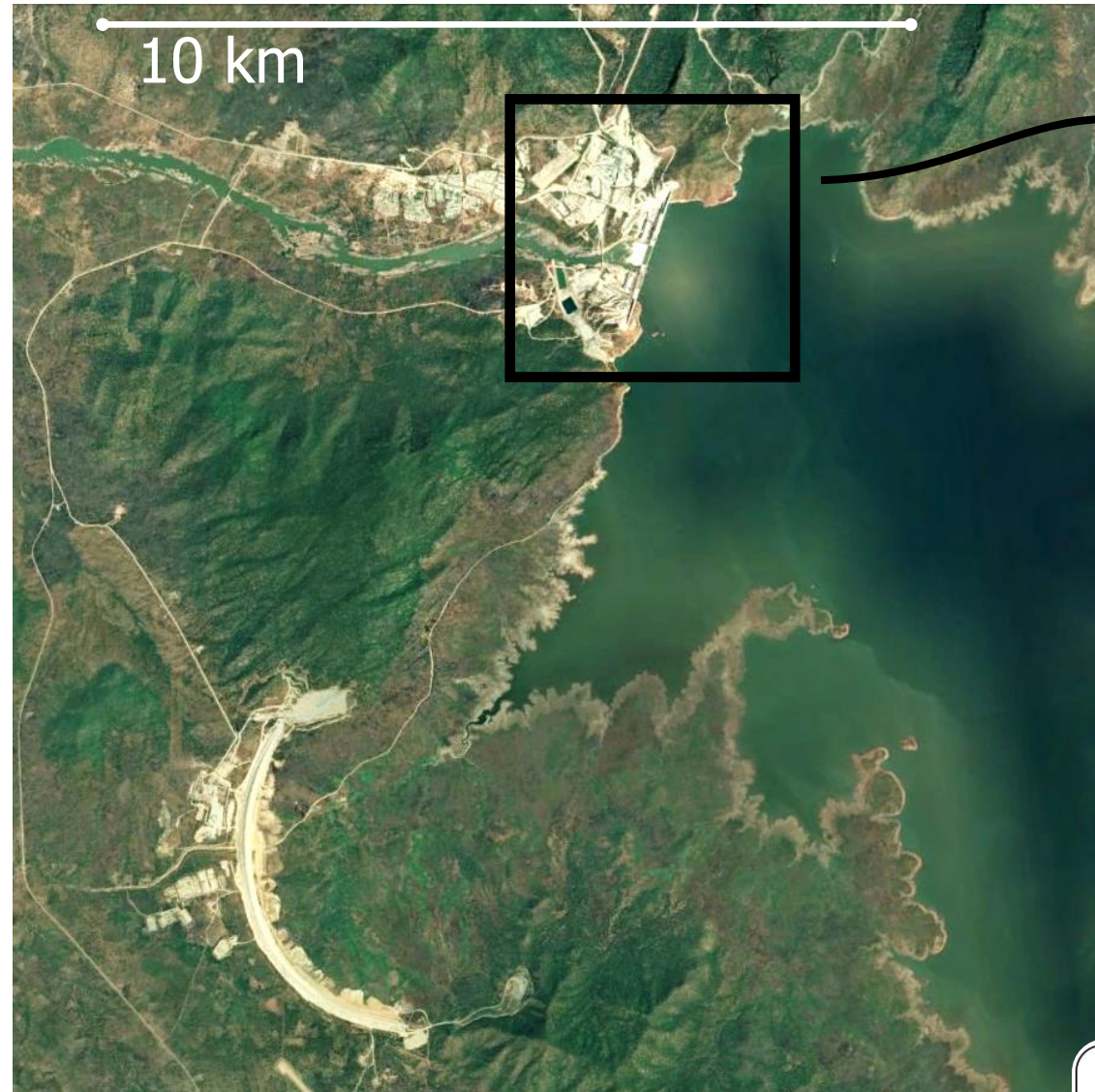
DAL SATELLITE...



## 01 – IL PROGETTO

### La **GRAND ETHIOPIAN RENAISSANCE DAM**

DAL SATELLITE...

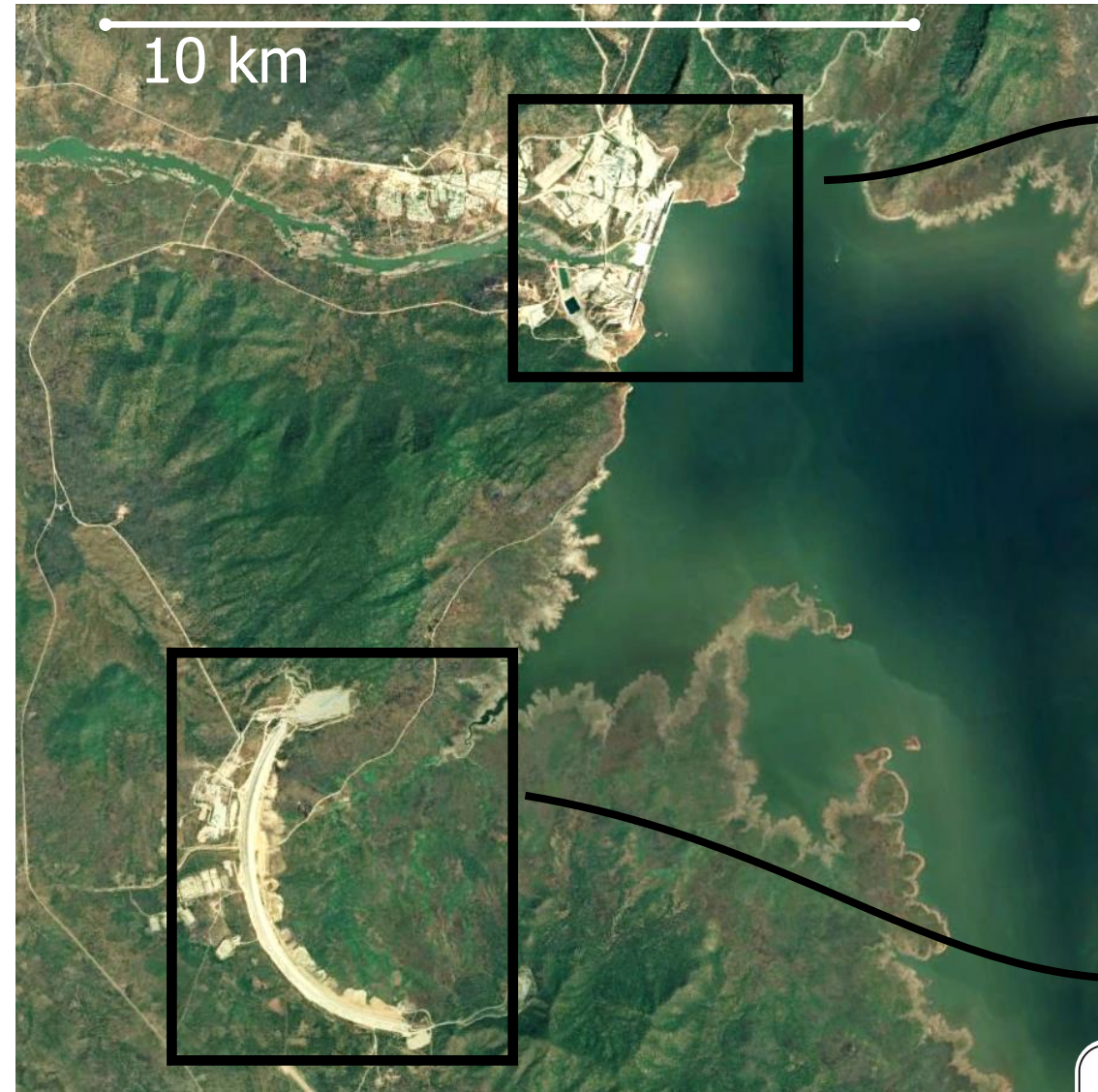


**DIGA  
PRINCIPALE**

## 01 – IL PROGETTO

### La **GRAND ETHIOPIAN RENAISSANCE DAM**

DAL SATELLITE...



DIGA  
PRINCIPALE

DIGA DI  
SELLA

## 01 – IL PROGETTO

### La **GRAND ETHIOPIAN RENAISSANCE DAM**

IP = **5'150** MW

E = **15.7** TWh/year

~ 5%  $E_{2019}^{\text{elett.}}$   \*



## 01 – IL PROGETTO

### La **GRAND ETHIOPIAN RENAISSANCE DAM**

$$V_{\text{RES}} = \mathbf{75'000} \text{ Mm}^3$$

→ Regolazione portate  
del Nilo Azzurro



## 01 – IL PROGETTO

### La DIGA PRINCIPALE

Gravità, **RCC**

H = **175** m

L = **1800** m

V = **10** Mm<sup>3</sup>

**IL PIÙ GRANDE AL MONDO**



## 01 – IL PROGETTO

### lo SFIORATORE REGOLATO

n. 6 PARATOIE  
**14 X 15.5 m**

$Q_{\max} = \mathbf{10'500} \text{ m}^3/\text{s}$

$\sim \mathbf{2.5 * Q_{1000} Tevere^*}$



## 01 – IL PROGETTO

### La DIGA DI SELLA

Rockfill

$L = 5000 \text{ m}$

$H = 60 \text{ m}$

$V = 17 \text{ Mm}^3$



## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA

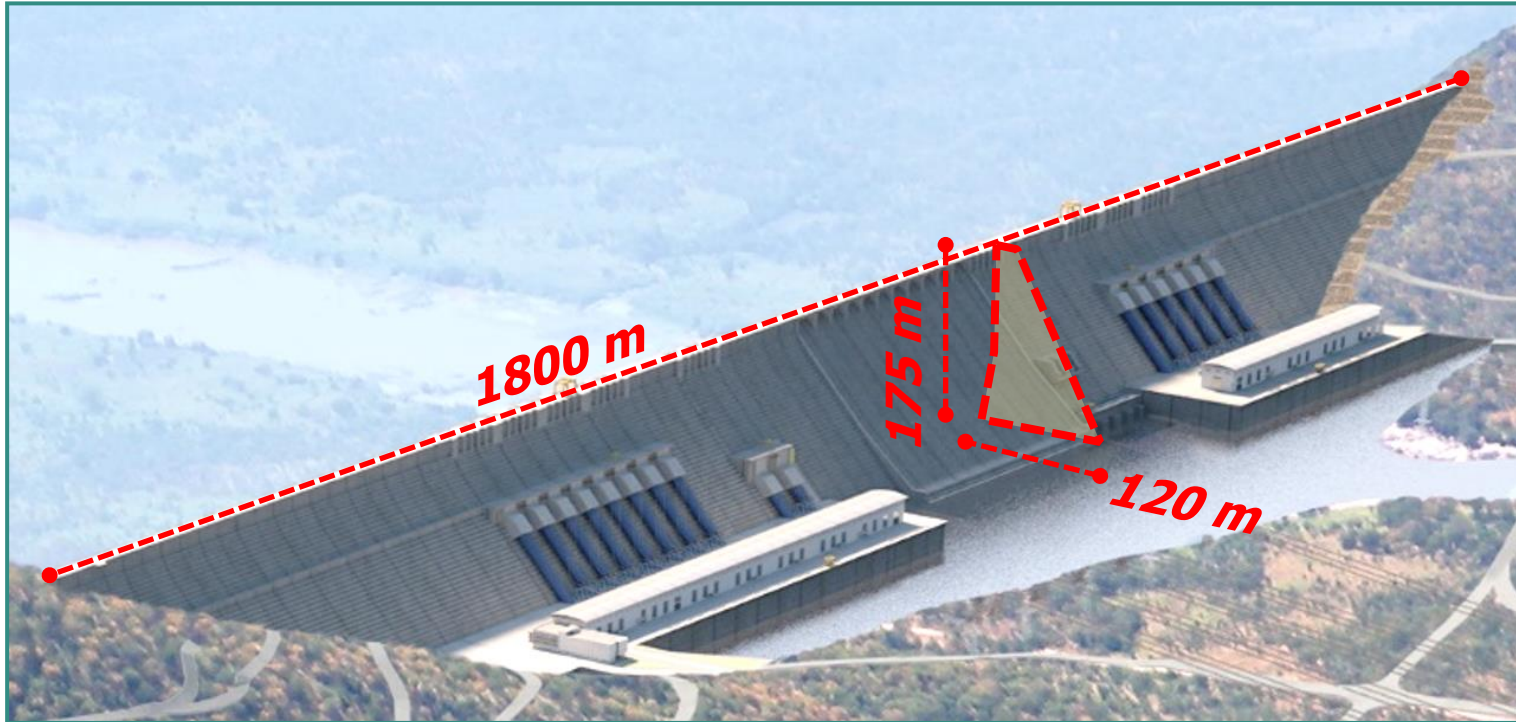


## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA



**Complessità:**

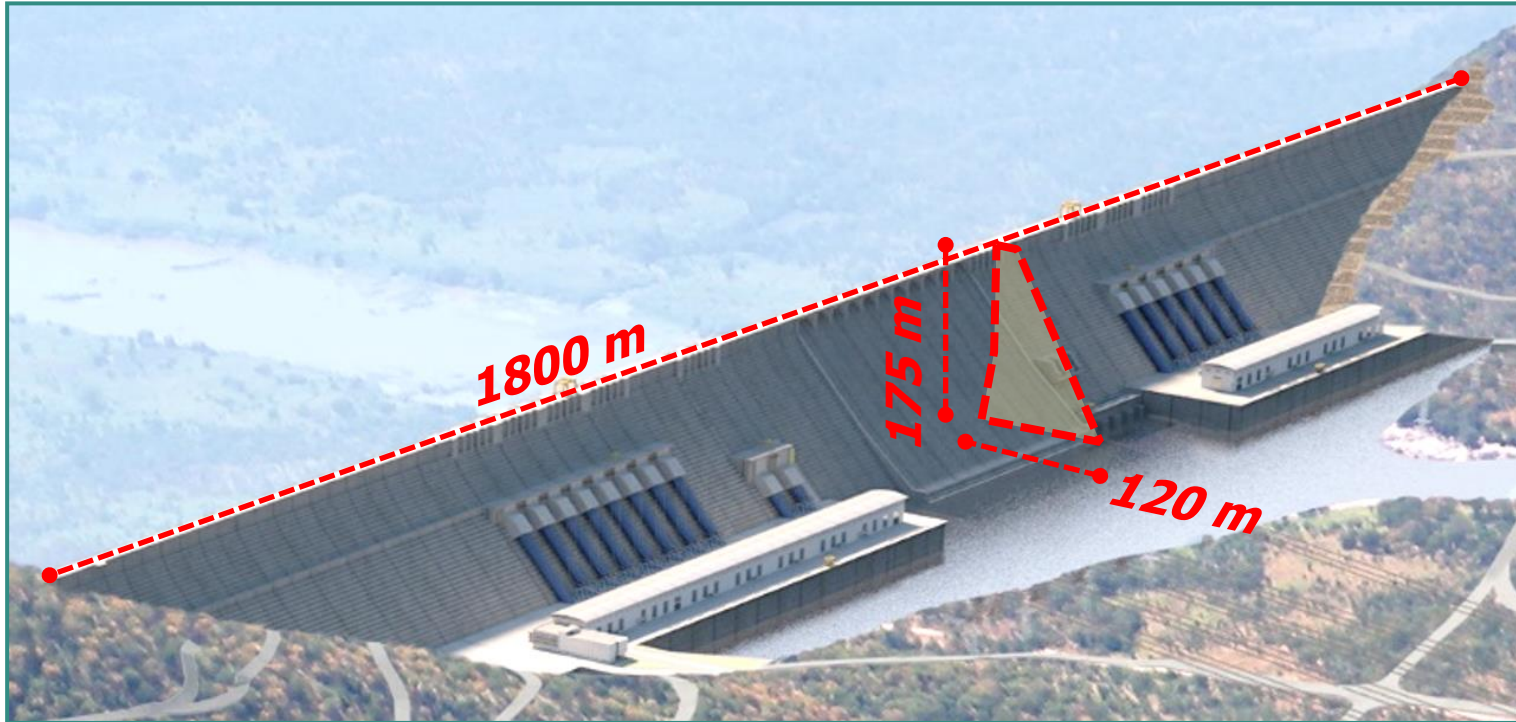
## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA



### Complessità:

- Scelta tipo diga e materiali:  
→ gravità, RCC

## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA



### Complessità:

- Scelta tipo diga e materiali:  
→ gravità, RCC
- Gestione deviazione deflussi

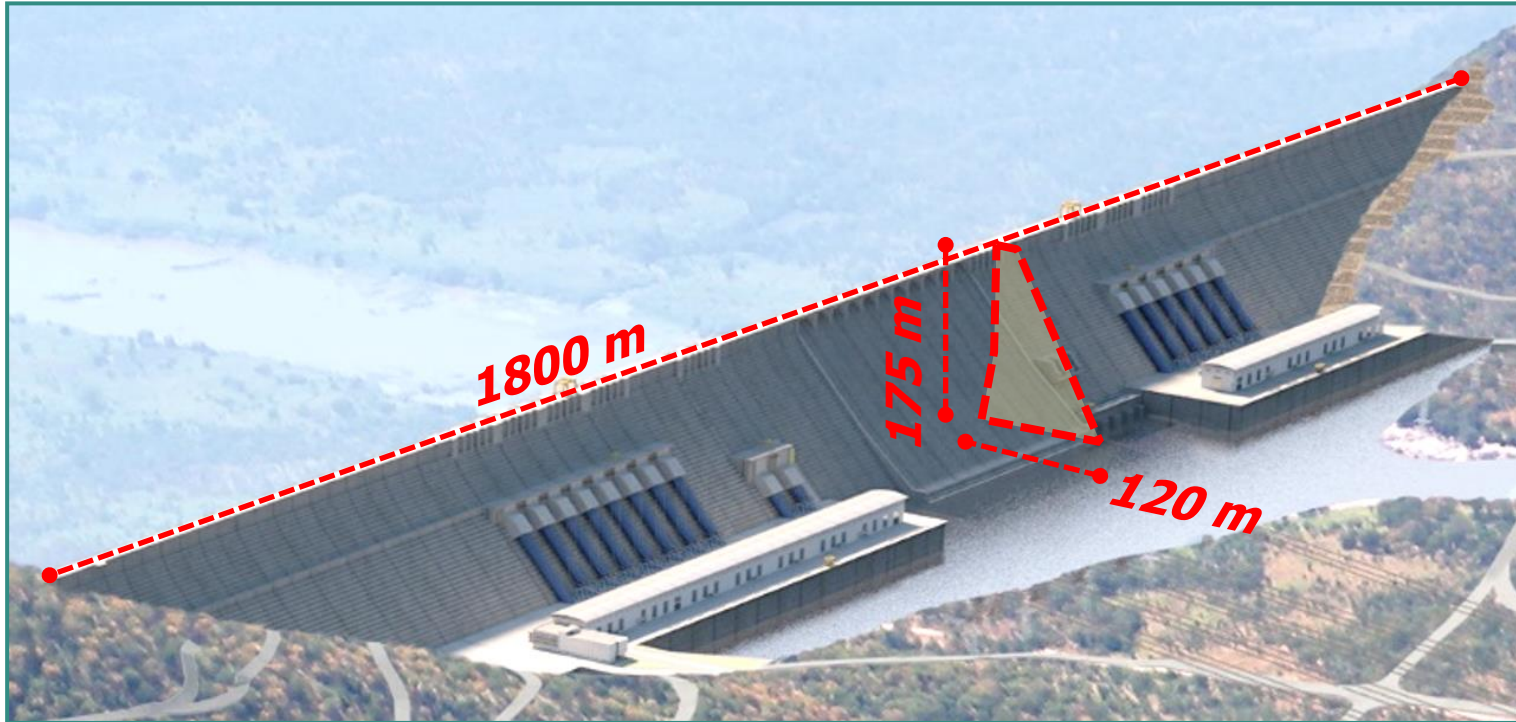
## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA



### Complessità:

- Scelta tipo diga e materiali:  
→ **gravità, RCC**
- Gestione deviazione deflussi

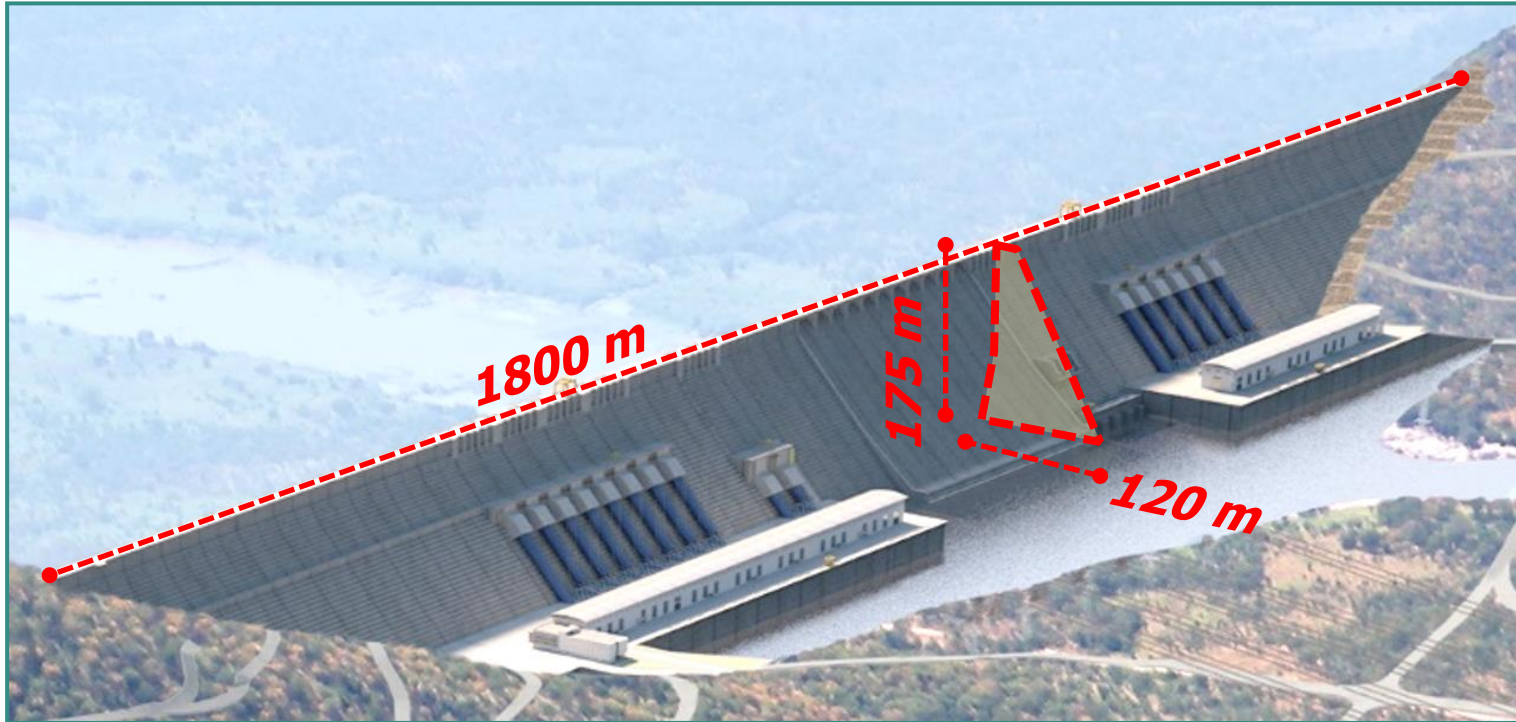
## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA



### Complessità:

- Scelta tipo diga e materiali:  
→ **gravità, RCC**
- Gestione deviazione deflussi
- Sicurezza, stabilità
  - Verifiche idrauliche ...
  - Analisi Stabilità ...
    - Globale
    - Locale (stati tensionali)

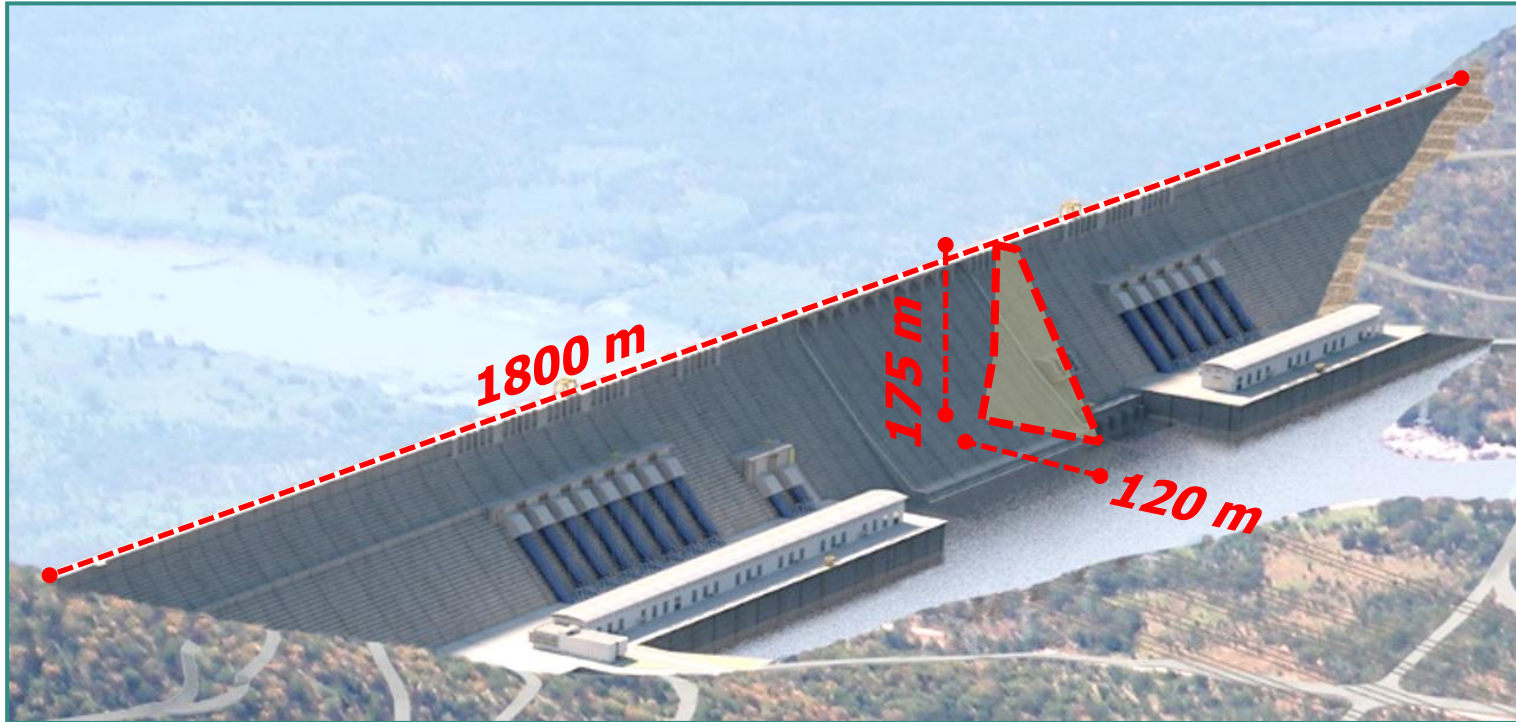
## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA



### Complessità:

- Scelta tipo diga e materiali:  
→ gravità, RCC
- Gestione deviazione deflussi
- Sicurezza, stabilità
  - Verifiche idrauliche
  - Analisi Stabilità
    - Globale
    - Locale (stati tensionali)
  - Analisi **TERMICA**
  - ...

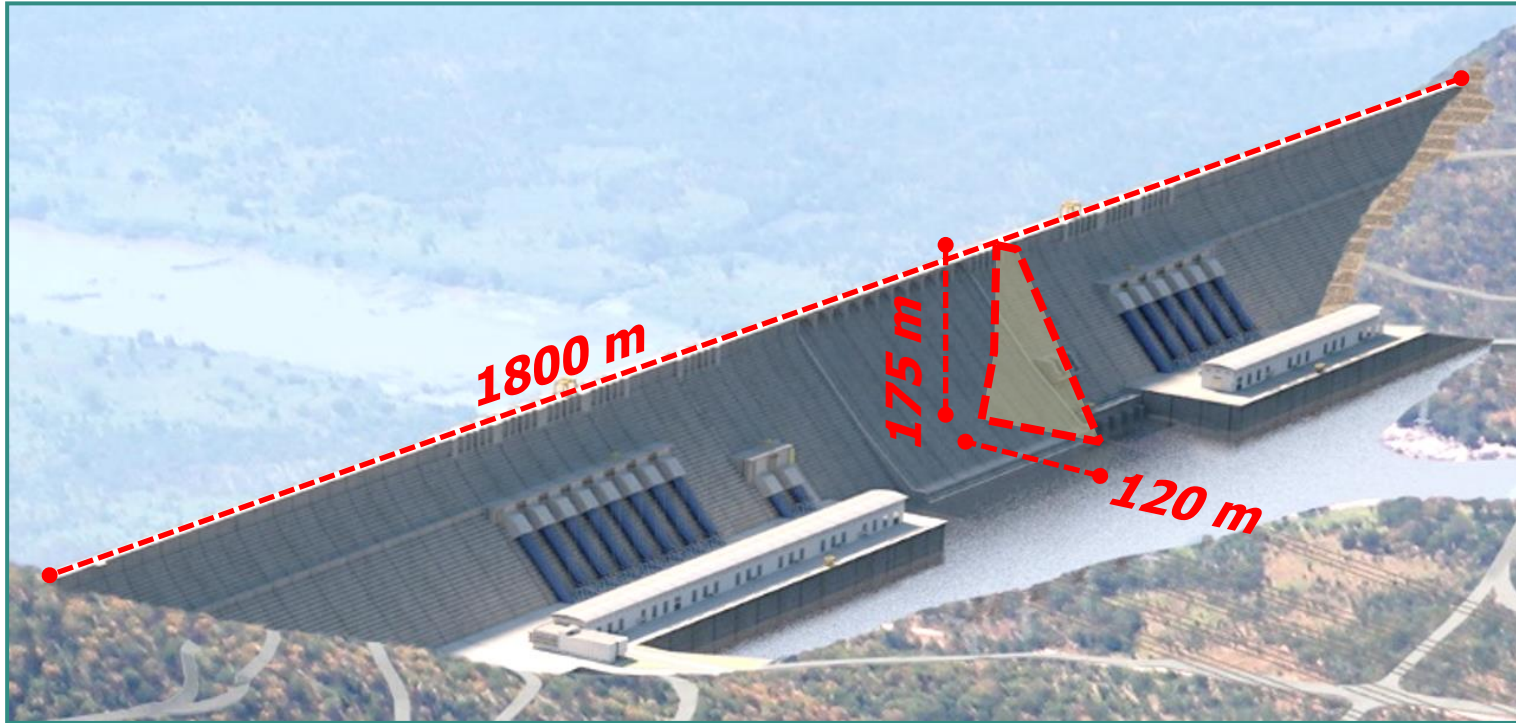
## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA



### Complessità:

- Scelta tipo diga e materiali:  
→ gravità, RCC
- Gestione deviazione deflussi
- Sicurezza, stabilità
  - Verifiche idrauliche
  - Analisi Stabilità
    - Globale
    - Locale (stati tensionali)
  - Analisi **TERMICA** ↪
  - ...

## 02 – CARATTERISTICHE DELLA DIGA



$\text{Vol\_RCC}_{\text{DIGA}} = 10 \text{ Mm}^3$ , il più grande volume di RCC al mondo

### Complessità:

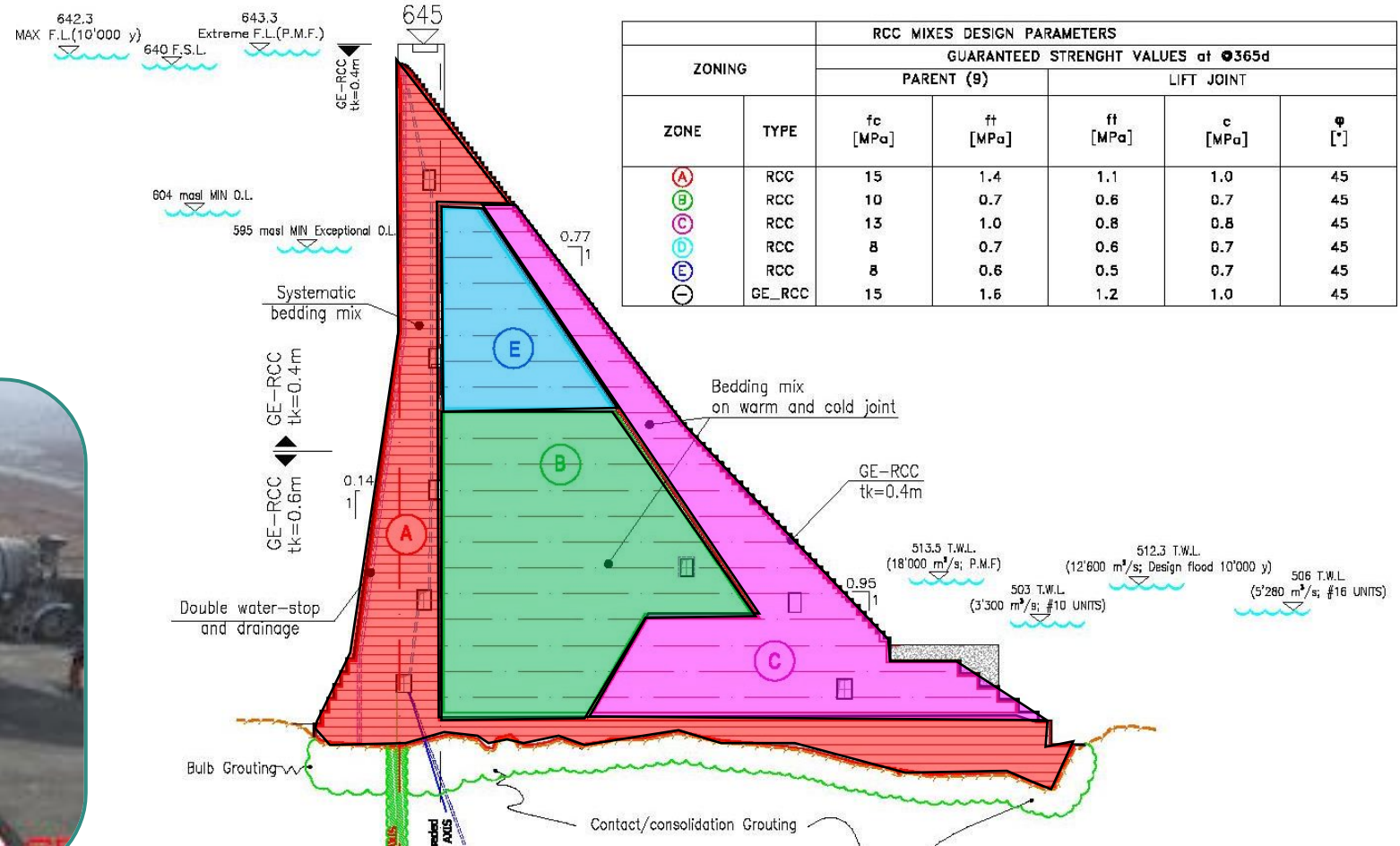
- Scelta tipo diga e materiali:  
→ gravità, RCC
- Gestione deviazione deflussi
- Sicurezza, stabilità
  - Verifiche idrauliche
  - Analisi Stabilità
    - Globale
    - Locale (stati tensionali)
  - Analisi **TERMICA**
  - ...

### 03 – RCC E ZONAZIONE DELLA DIGA

#### RCC

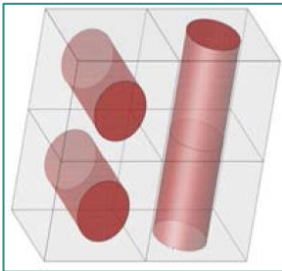
ROLLER-COMPACTED  
CONCRETE

Il Calcestruzzo Rullato Compattato è un calcestruzzo che, nel suo stato non indurito, ha una consistenza tale (definita a SLUMP NULLO) da consentirne il trasporto, la posa in opera e la compattazione mediante l'utilizzo delle attrezzature comunemente impiegate per le normali costruzioni in terra (per esempio, i rilevati stradali).



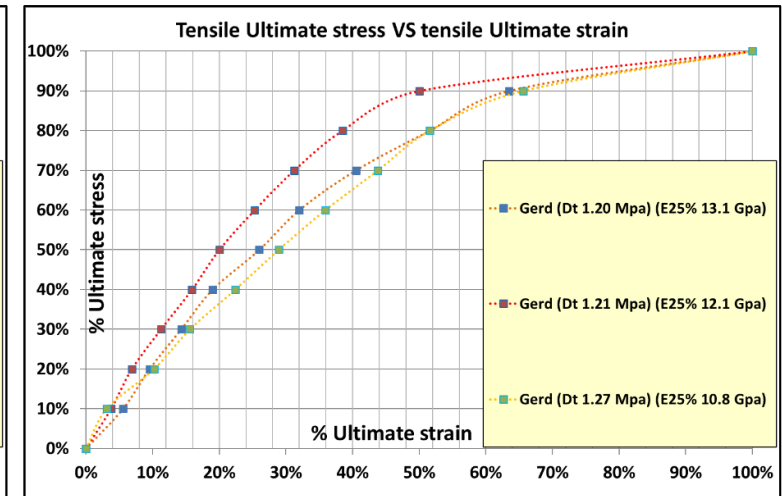
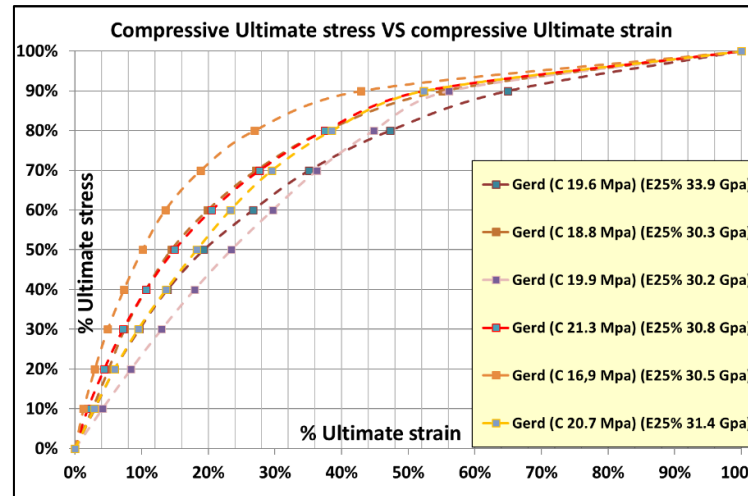
# 04 – CAMPAGNA DI PROVE SU RCC

RCC Zones	Design Requirements - 80% guaranteed value		
	Compressive strength	Tensile strength design requirements	
	Parent RCC (MPa)	Parent RCC (MPa)	Joints (MPa)
Zone A	15	1,4	1,1
Zone B	10	0,7	0,6
Zone C	13	1,0	0,8
Zone D	8	0,7	0,6
Zone E	8	0,6	0,5



I **TEST SU RCC**, REALIZZATI NEL LABORATORIO DI GERD, SONO STATI ESEGUITI SU CIRCA **500 CAROTE** PRELEVATE DA DIVERSE ZONE DELLA DIGA, CONFRONTANDO I VALORI DI RESISTENZA A COMPRESSIONE / TRAZIONE, LE RELATIVE CURVE SFORZO-DEFORMAZIONE, E I MODULI ELASTICI VERTICALI ED ORIZZONTALI, CON I REQUISITI DI RESISTENZA IMPOSTI DAL PROGETTISTA.

	Compressive Modulus					Tensile Modulus				
	Ultimate strength	Modul 25%	Modul 50%	Modul 75%	Modul 100%	Ultimate strength	Modul 25%	Modul 50%	Modul 75%	Modul 100%
	MPa	GPa	GPa	GPa	GPa	MPa	GPa	GPa	GPa	GPa
Gerdp	16.5	28	22	16	7	1.1	10.5	9.5	8.5	6.5
	Ratio tensile / Compressive						38%	43%	53%	93%



## 05 – ANALISI TERMICA – Back Analysis

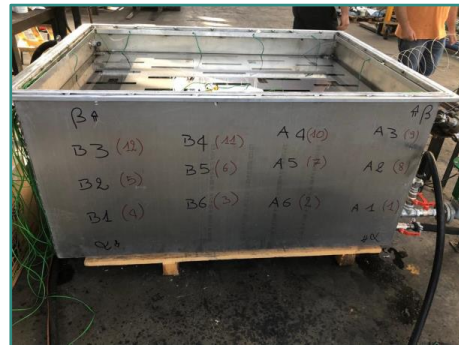
### PARAMETRI TERMICI RCC

- CALORE DI IDRATAZIONE  $Q$  [J/kg.s]
- PESO SPECIFICO  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]
- CONDUTTIVITÀ TERMICA  $\lambda$  [W/m.K]
- CALORE SPECIFICO  $C_c$  [J/kg.K]
- Coefficiente di Espansione Termica  $CTE$  [°C<sup>-1</sup>]
- DIFFUSIVITÀ  $a$  [m<sup>2</sup>/s]

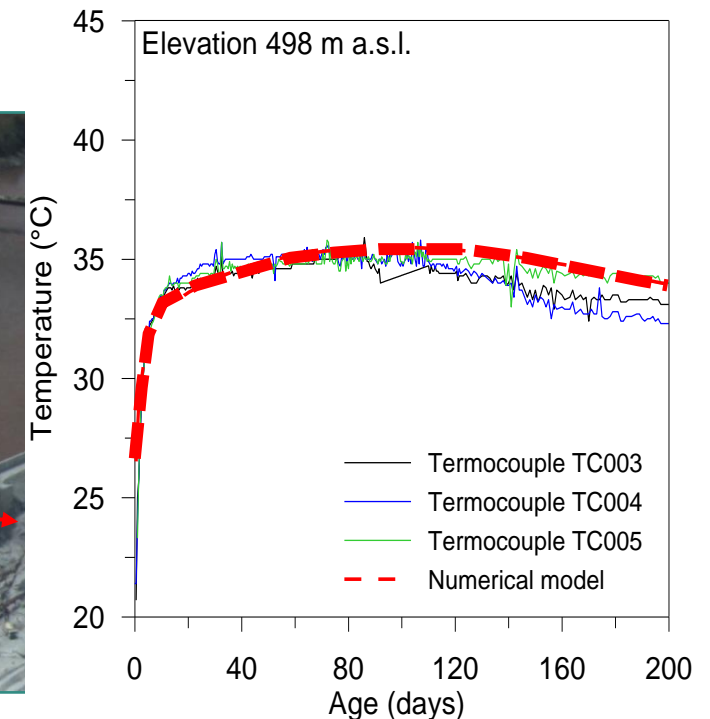
$$a = \frac{\lambda_{concrete}}{c_{concrete} \cdot \rho_{concrete}}$$

COME SONO STATI DETERMINATI A GERD?

PROVE DI LABORATORIO CONVENZIONALI



BACK ANALYSIS DEL PRIMO BLOCCO RCC GETTATO (40'000 M3), USATO PER LA DEVIAZIONE DEL FIUME E STRUMENTATO CON 31 TERMOCOPPIE

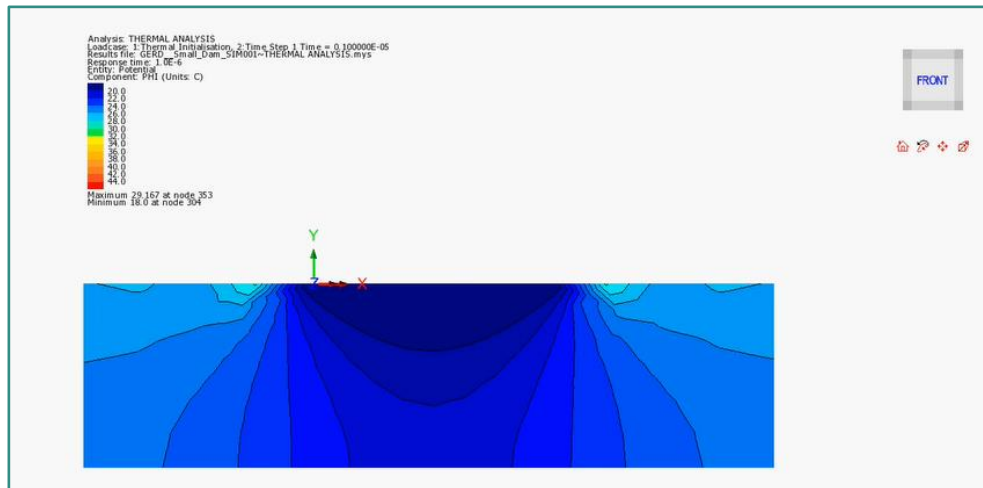


## 05 – ANALISI TERMICA - Modellazione

### TRANSIENT THERMAL ANALYSIS FEM & FDM

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \left( \frac{q_v(t)}{\lambda} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

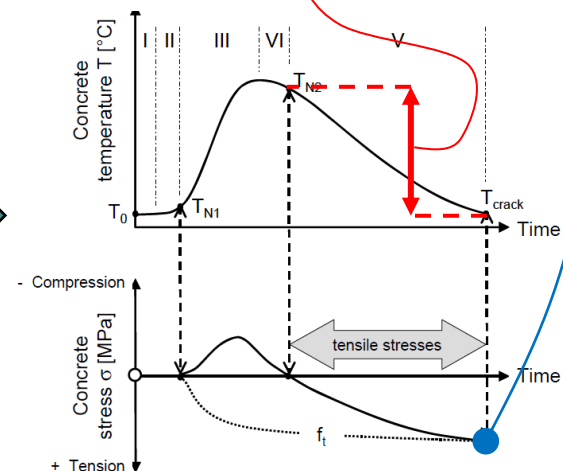
T	Temperature [K]
t	Time [s]
$q_v(t)$	Volumetric hydration heat production rate [J/s.m <sup>3</sup> ]
$\lambda$	Thermal conductivity [W/m.K]
c	Specific heat [J/kg.K]
$\rho$	Density [kg/m <sup>3</sup> ]
x, y, z	Coordinates in Cartesian space



GERD RCC VOLUME > **10 Mm<sup>3</sup>**  
PRODUCTION RATE > **370'000 M<sup>3</sup>/MONTH**

IL **CONTROLLO**  
**DELLA**  
**TEMPERATURA**  
DELLA DIGA È UN  
ASPETTO **CRITICO**

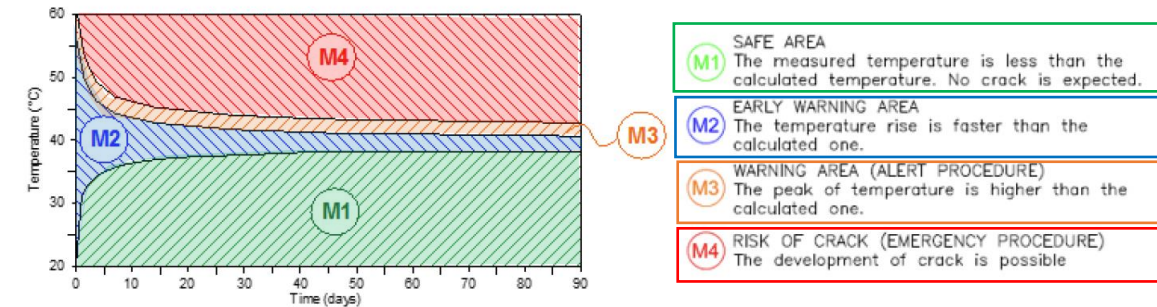
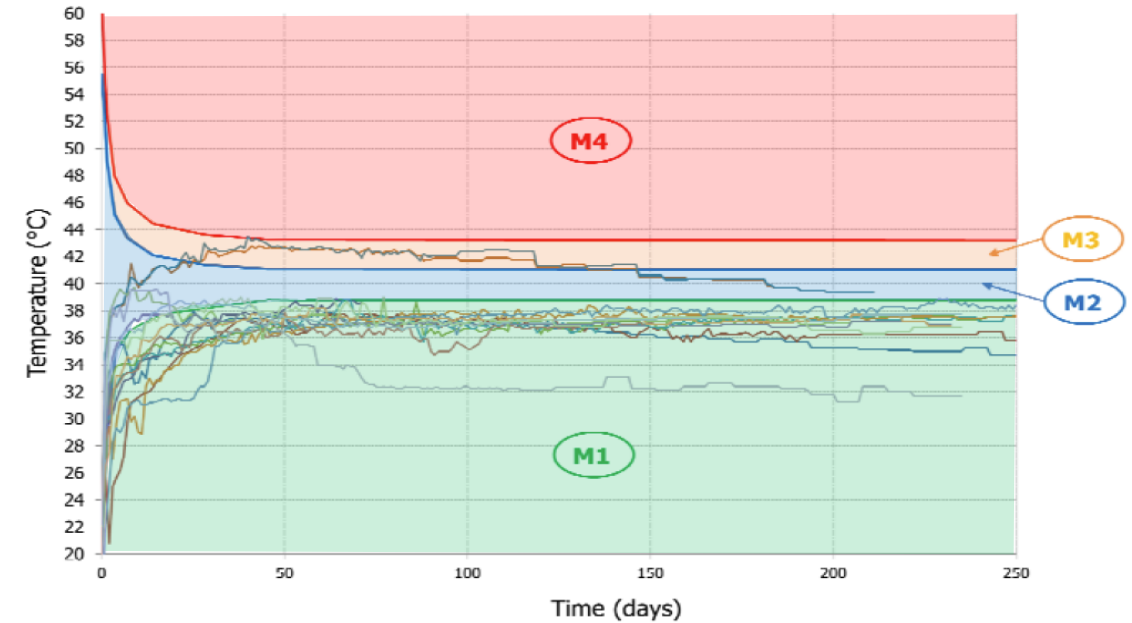
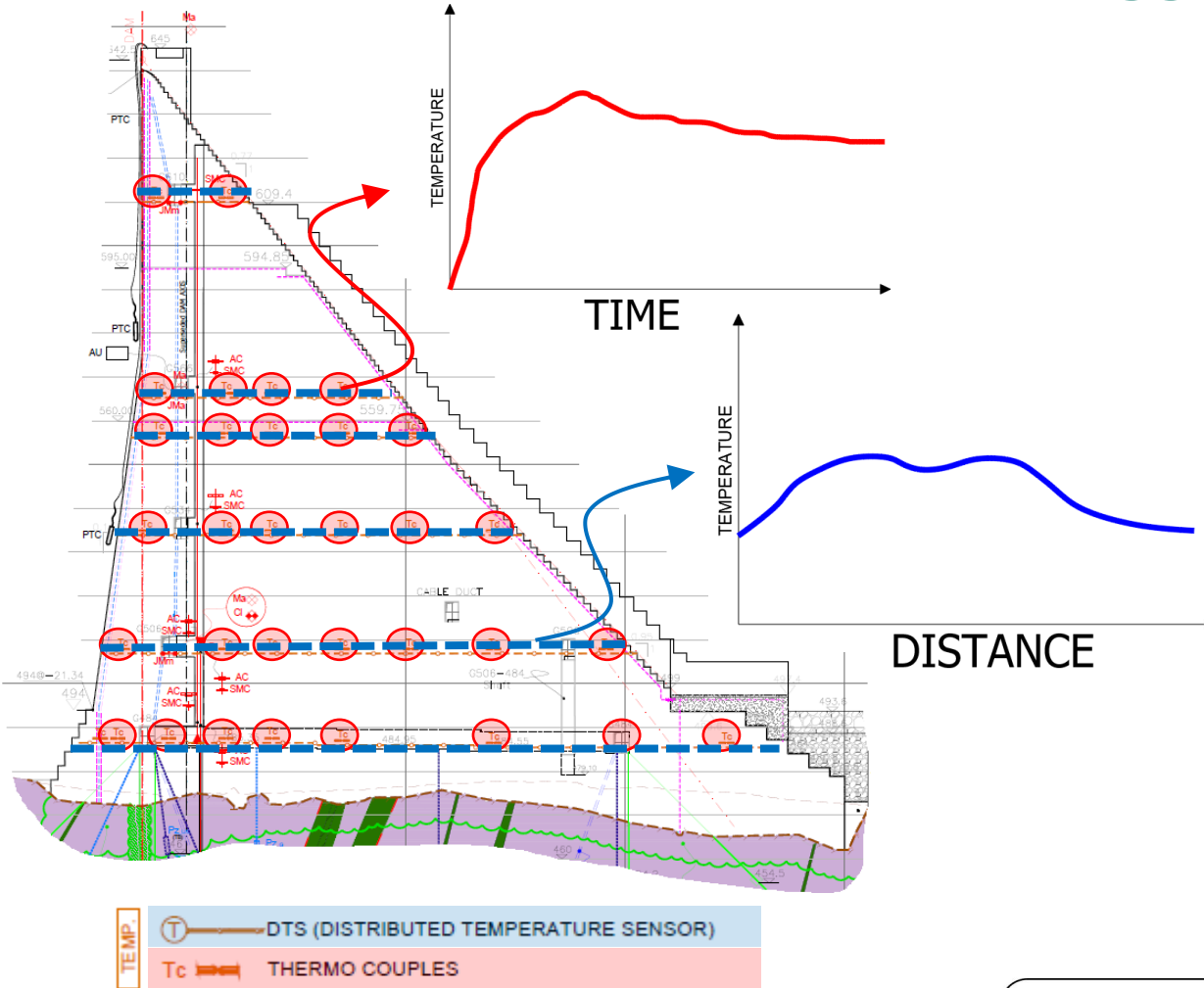
$$\varepsilon_{th} = k \cdot \alpha_T \cdot (T_{N2} - T_F) \leq \frac{f_t}{E_{eff}} = TSC$$



### MISURE PER CONTROLLARE L'AUMENTO DI TEMPERATURA:

- **PRE-RAFFREDDAMENTO** DEI MATERIALI
- UTILIZZO DI CEMENTI A **BASSO CALORE DI IDRATAZIONE**
- MISCELE CON UN **BASSO CONTENUTO DI CEMENTO**
- **PROGRAMMA DI COSTRUZIONE** IDONEO
- **PROTEZIONE DALLA RADIAZIONE SOLARE** MANTENENDO LE SUPERFICI BAGNATE

## 05 – ANALISI TERMICA - Monitoraggio



**SP** studio pietrangeli  
consulting engineers

GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE!

