



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

MODELLO NUMERICO PER LO STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DELLE FESSURE DOVUTE ALLA PRESSIONE IDROSTATICA NELLE GRANDI DIGHE

Lorenzo Da Re

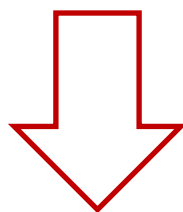
Relatore: Prof. Ing. Luigino Zovatto

Correlatore: Prof. Ing. Virgilio Fiorotto

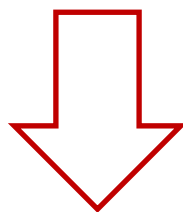


SCOPO

Analisi propagazione fessure nelle dighe a gravità



MODELLO ANALITICO
MODELLO NUMERICO

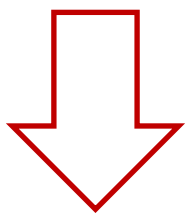


garantire la durabilità della struttura



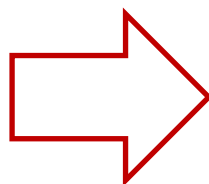
PROBLEMATICHE

Vita nominale: > 100 anni



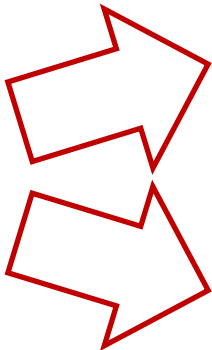
garantire specifici
livelli di prestazione

dove la resistenza a
trazione è superata





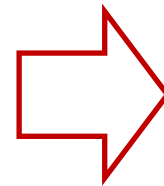
OBIETTIVI

- 1) Normativa
- 2) Analisi criteri di collasso
- 3) Stato fessurativo cls
- 4) Studio caso tipo 
 - ANALISI ANALITICA
 - ANALISI NUMERICA
- 5) Confronto risultati
- 6) Interventi ripristino continuità strutturale

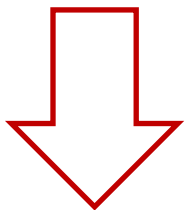


2. CRITERI DI COLLASSO

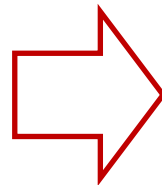
Criteri di rottura a trazione pura



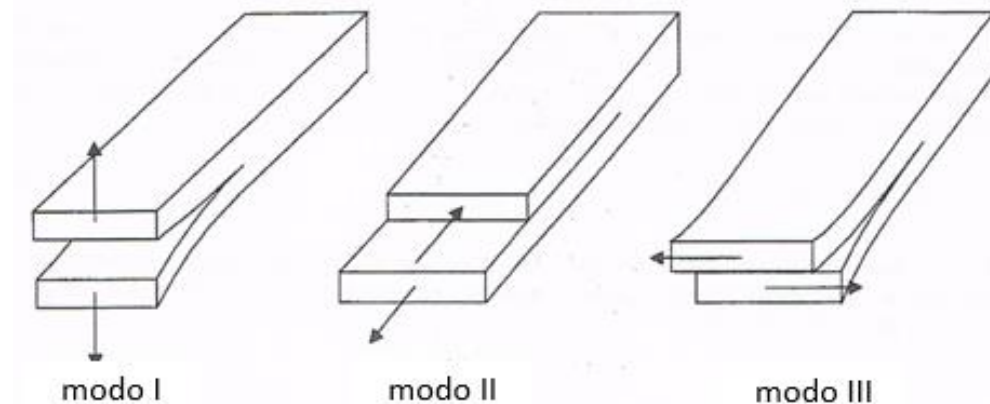
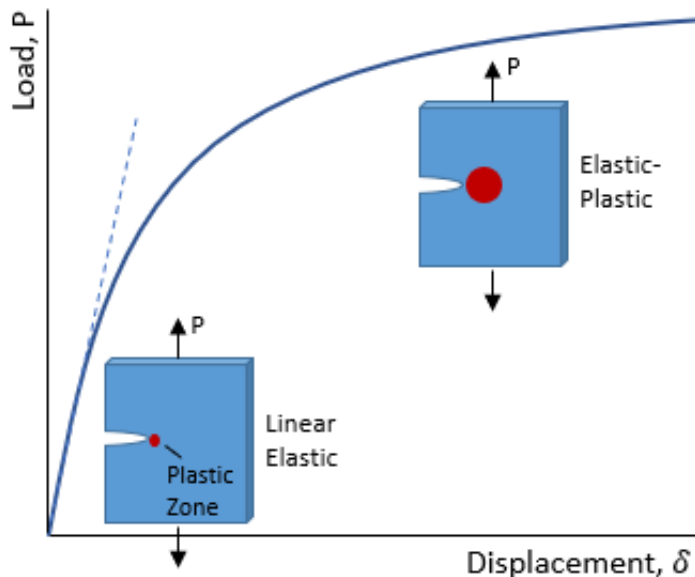
**APPROCCIO DELLA
RESISTENZA DEI
MATERIALI**



**APPROCCIO DELLA
MECCANICA DELLA FRATTURA**
(*fracture mechanics*)



3 modalità di rottura:





2. CRITERI DI COLLASSO

APPROCCIO MECCANICA DELLA FRATTURA

- Stress intensity factor K_I $[N/m^{3/2}]$ esprime l'entità del campo di sollecitazione nell'intorno della punta della fessura

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) + \text{termini di ordine superiore} \quad \Rightarrow \quad K_I = \sigma_y \sqrt{2\pi x}$$

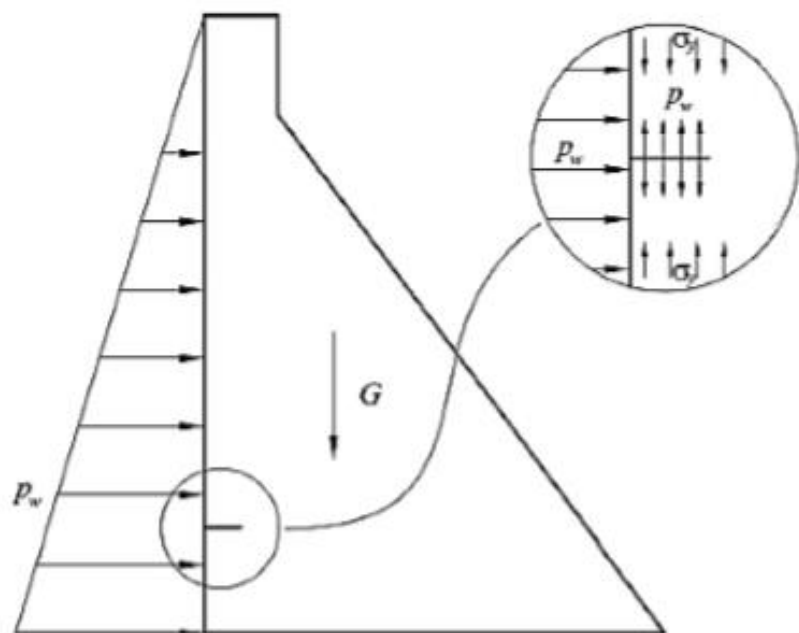
- Valore critico del fattore d'intensità della sollecitazione K_{IC}

LEGGE DI EQUILIBRIO:

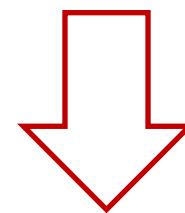
$K_I < K_{IC}$	\rightarrow	fessura stabile
$K_I \geq K_{IC}$	\rightarrow	propagazione fessura



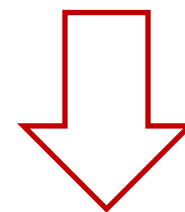
3. STATO FESSURATIVO DEL CLS



sforzi di trazione sul paramento di monte



FORMAZIONE FESSURE



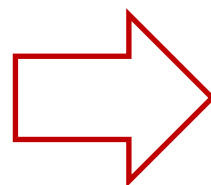
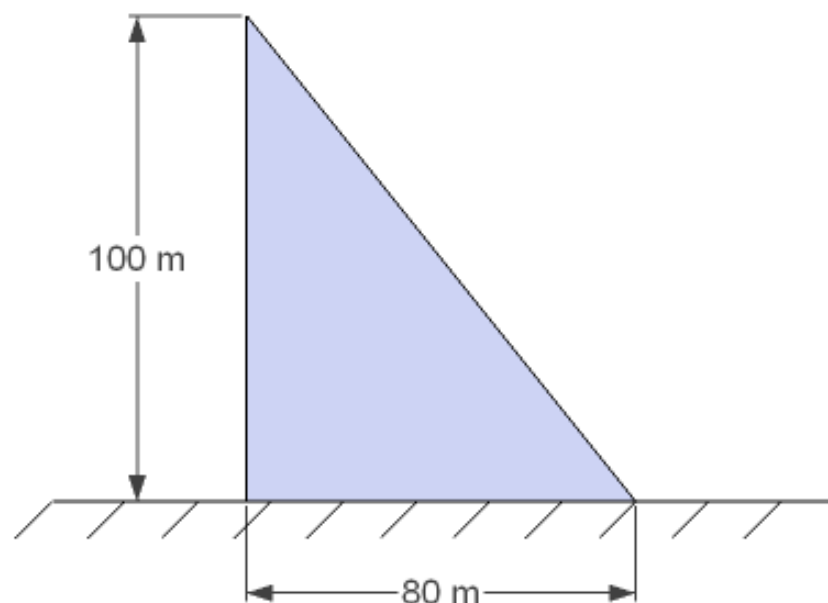
fessure passanti danno luogo a filtrazioni



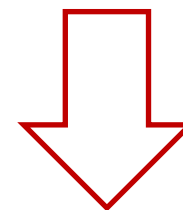


4. STUDIO CASO TIPO

CASO TIPO:



si effettua ANALISI
ANALITICA e NUMERICA



Si analizzeranno fessure
orizzontali nei tre quarti
superiori della diga

- Altezza max di ritenuta: 100m
- Inclinazione paramento di monte: 0%
- Inclinazione paramento di valle: 80%

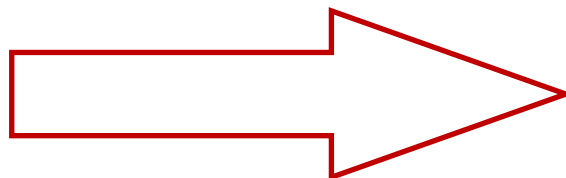


4. STUDIO CASO TIPO

ANALISI ANALITICA

VALUTAZIONE
STABILITÀ

FESSURA ORIZZONTALE



LUNGHEZZA CRITICA

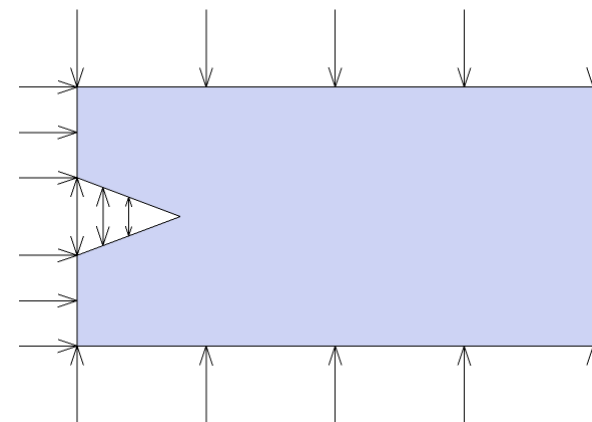
applicando il metodo della
meccanica della frattura
elastica lineare

2 casi:

- caso SISTEMA EQUILIBRATO



- caso SISTEMA NON EQUILIBRATO





4. STUDIO CASO TIPO

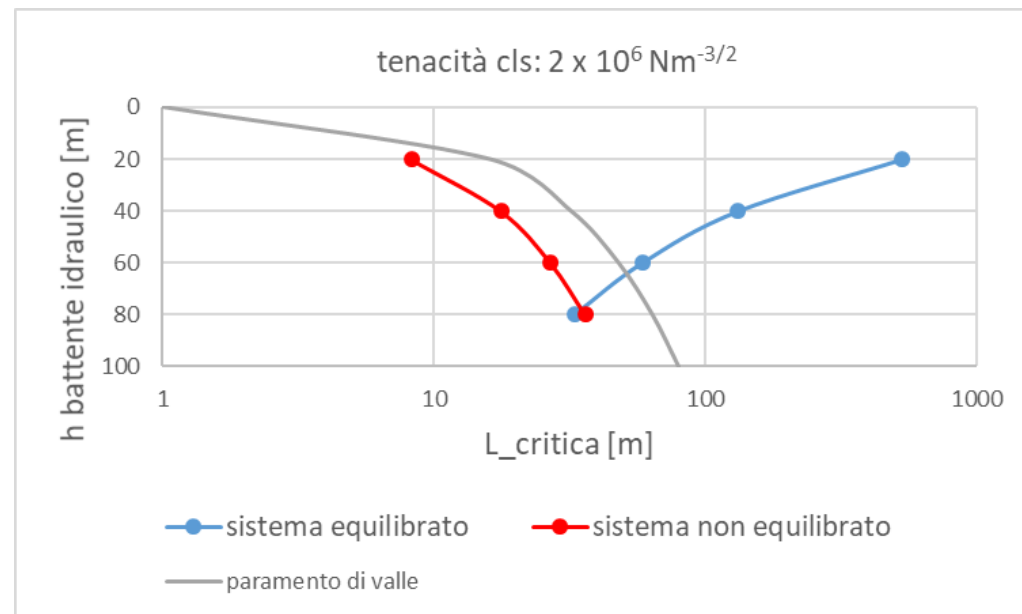
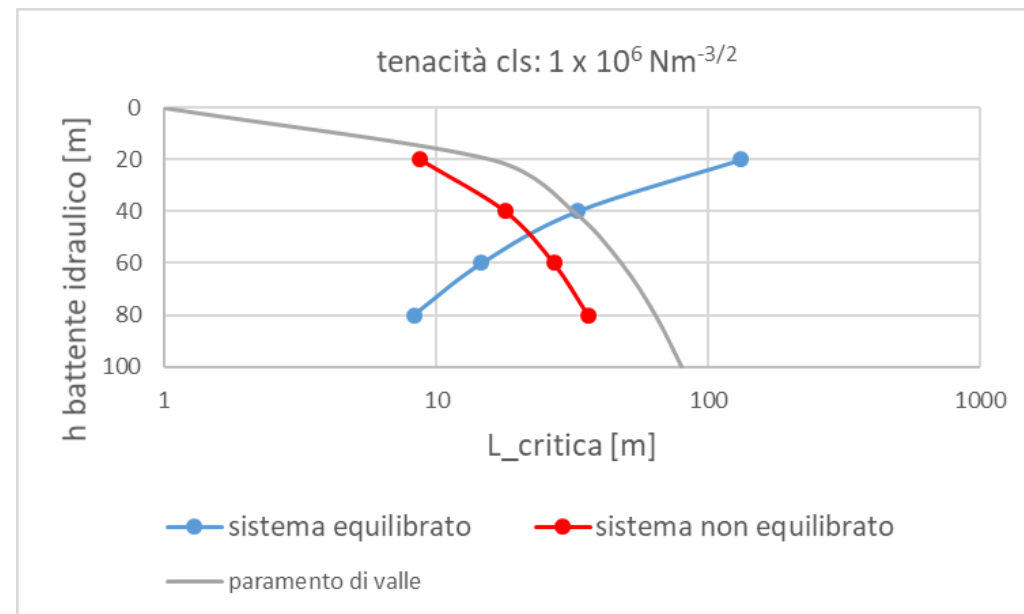
ANALISI ANALITICA

- caso SISTEMA EQUILIBRATO:

$$K_I = [...] = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{\pi}} p \frac{\pi}{2} = 0.443 \sqrt{L} p$$

- caso SISTEMA NON EQUILIBRATO:

$$K_{I \text{ totale}} = K_w - K_{pp} + K_m$$

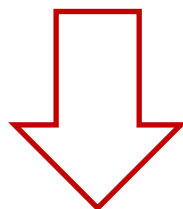




4. STUDIO CASO TIPO

ANALISI NUMERICA

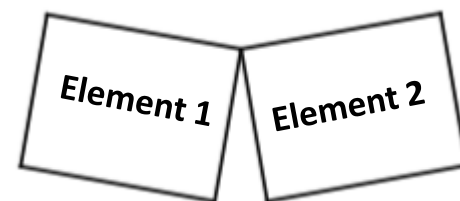
ANALISI NUMERICA per studio fessure nel cls



MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI

codice di calcolo: Abaqus CAE

Propagazione frattura è descritta attraverso approccio: *discrete crack approach*



- MODELLO «A» → **FATTORE DI INTENSITÀ DELLA SOLLECITAZIONE**
- MODELLO «B» → **ANALISI COMPORTAMENTO DI DISTACCO**



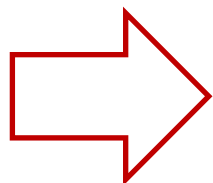
4. STUDIO CASO TIPO

ANALISI NUMERICA

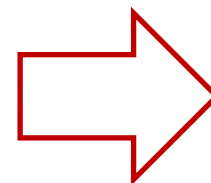
MESH REFINEMENT

Dipendenza tra la mesh utilizzata ed i risultati forniti dalla simulazione numerica

Definito dimensioni
della mesh



Analisi numerica viene
ripetuta



Estratti dai risultati i
valori dello stress
intensity factors

	dimensione	raffinamento della dimensione	numero di elementi	K_I [N/mm ^{3/2}]
livello 0	10	-	308	1.682
livello 1	4	60 %	1313	1.681
livello 2	2	50 %	5038	1.681



I risultati numerici
convergono al valore
analitico man mano
che la dimensione della
maglia diminuisce



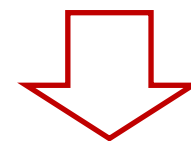
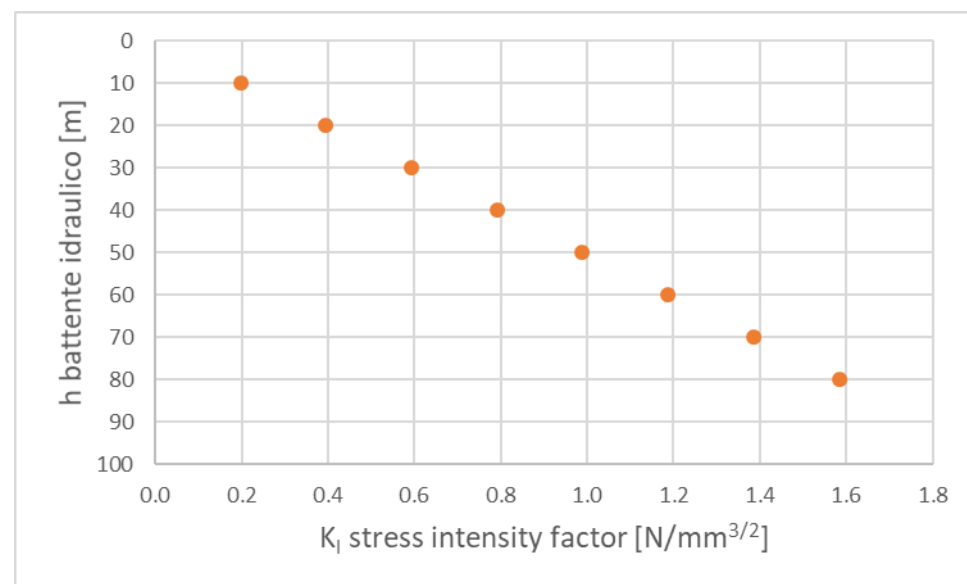
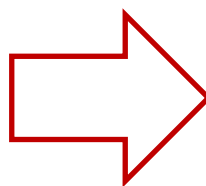
4. STUDIO CASO TIPO

ANALISI NUMERICA

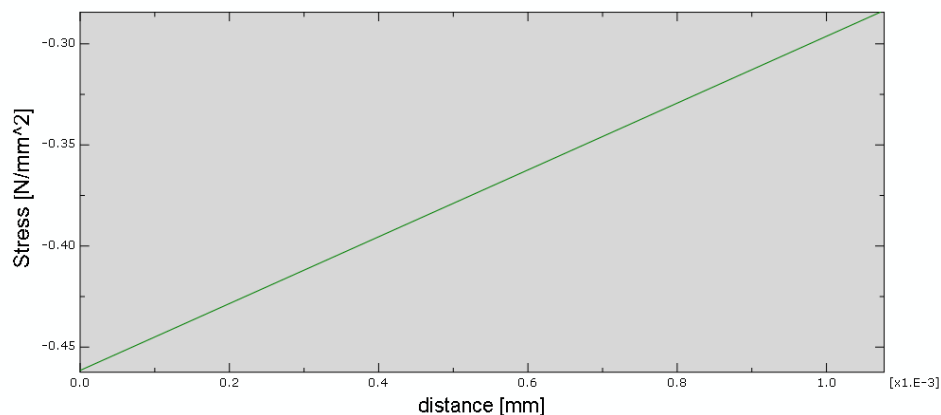
RISULTATI – modello «A»

OUTPUT

		K FACTOR ESTIMATES			
CRACK NAME	CRACKFRONT NODE SET	CONTOURS			
		1	2	3	
H-OUTPUT-1_CRACK-1					
	-9-	K1:	1.683	1.683	1.682
		K2:	3.6042E-03	3.3946E-03	2.3319E-03
MERR	DIRECTION (DEG):		0.000	0.000	0.000
	J from Ks:		9.4383E-05	9.4381E-05	9.4300E-05



DETERMINAZIONE
PRESSIONE CRITICA



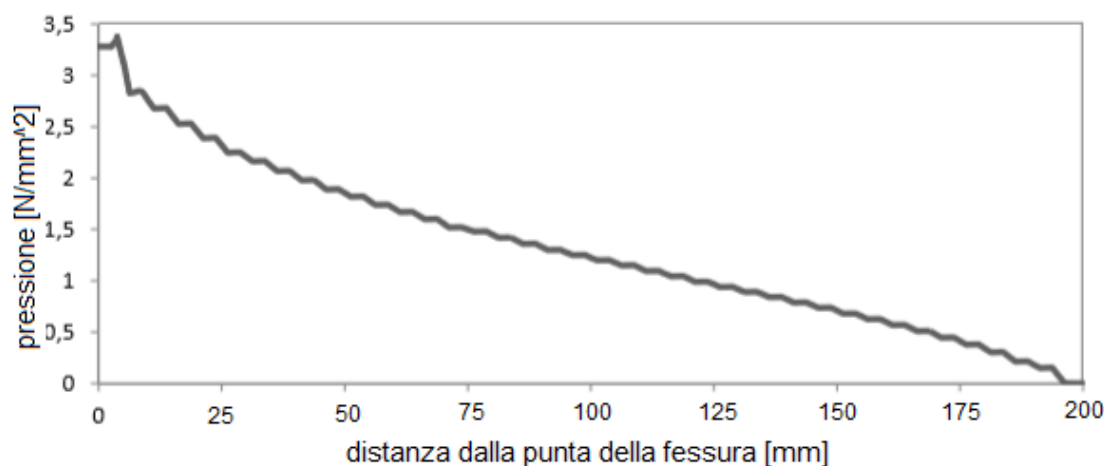
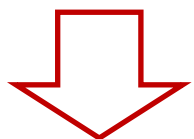
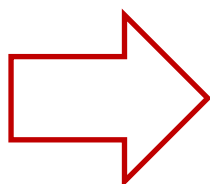


4. STUDIO CASO TIPO

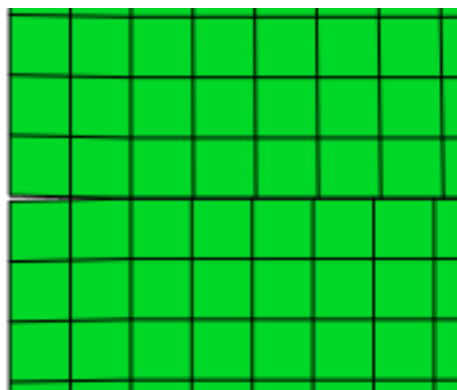
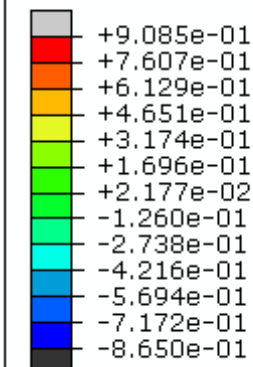
ANALISI NUMERICA

RISULTATI – modello «B»

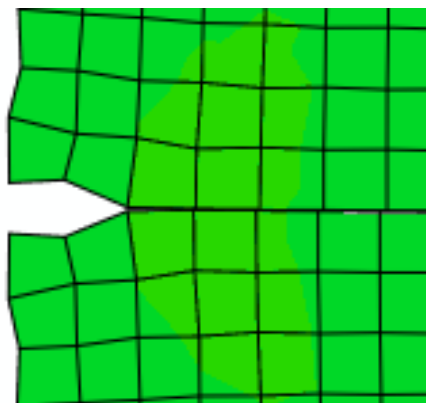
PRESSIONE
CRITICA



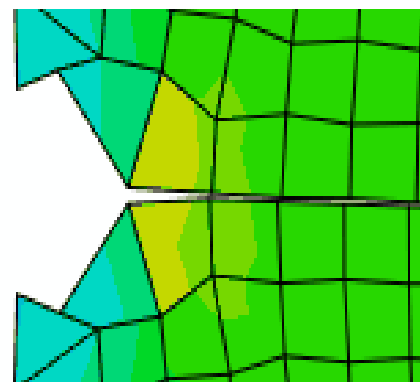
S, S22
(Avg: 75%)



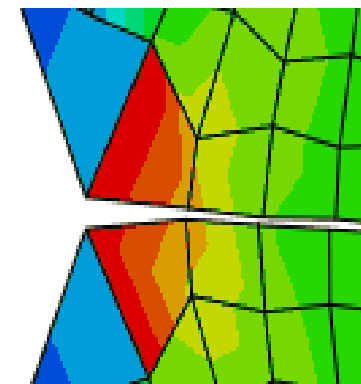
Step time 0.00



Step time 1.42



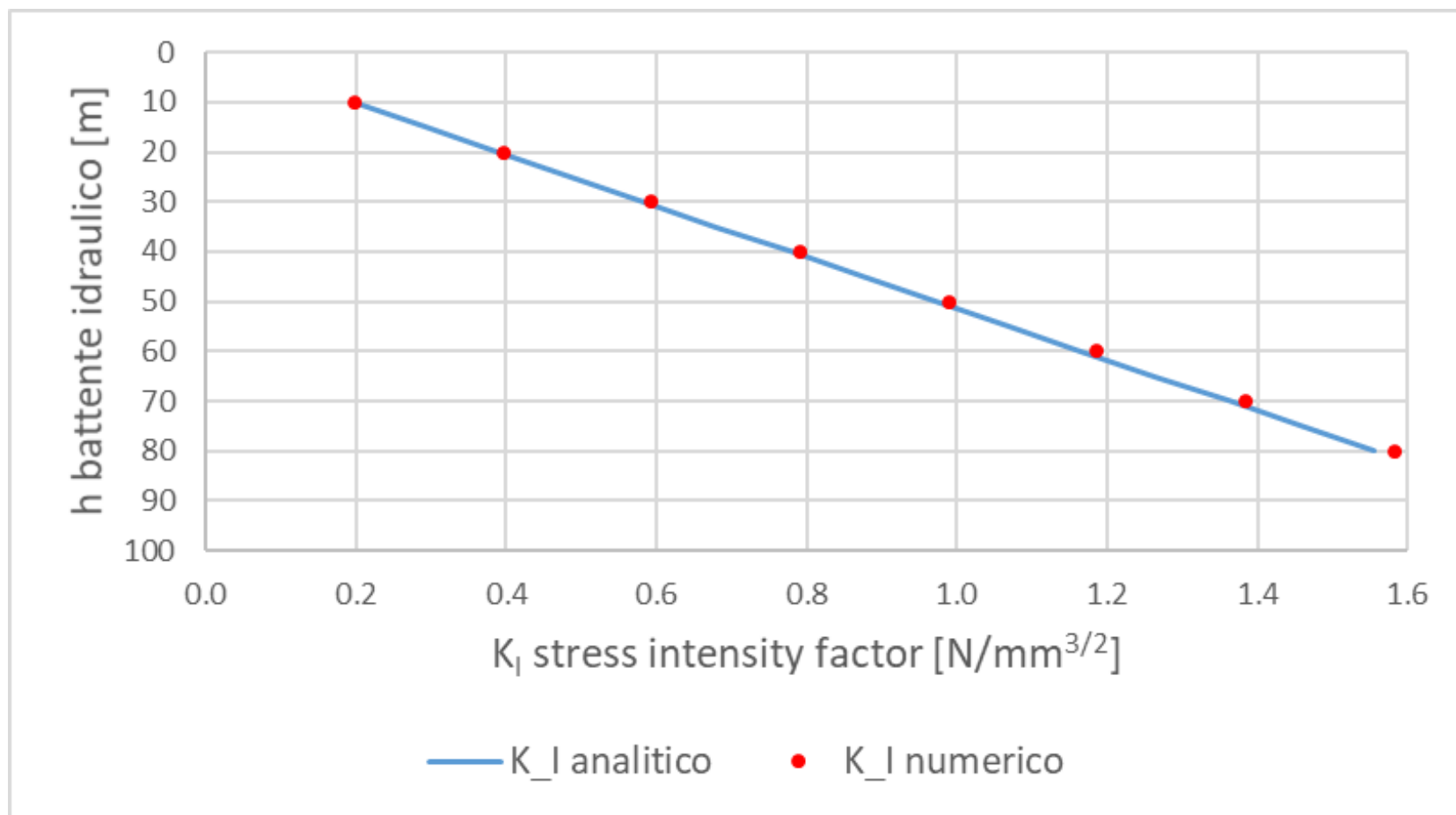
Step time 5.00



Step time 10.00



5. CONFRONTO RISULTATI



Discordanza tra valori analitici e numerici dell'ordine del 2%



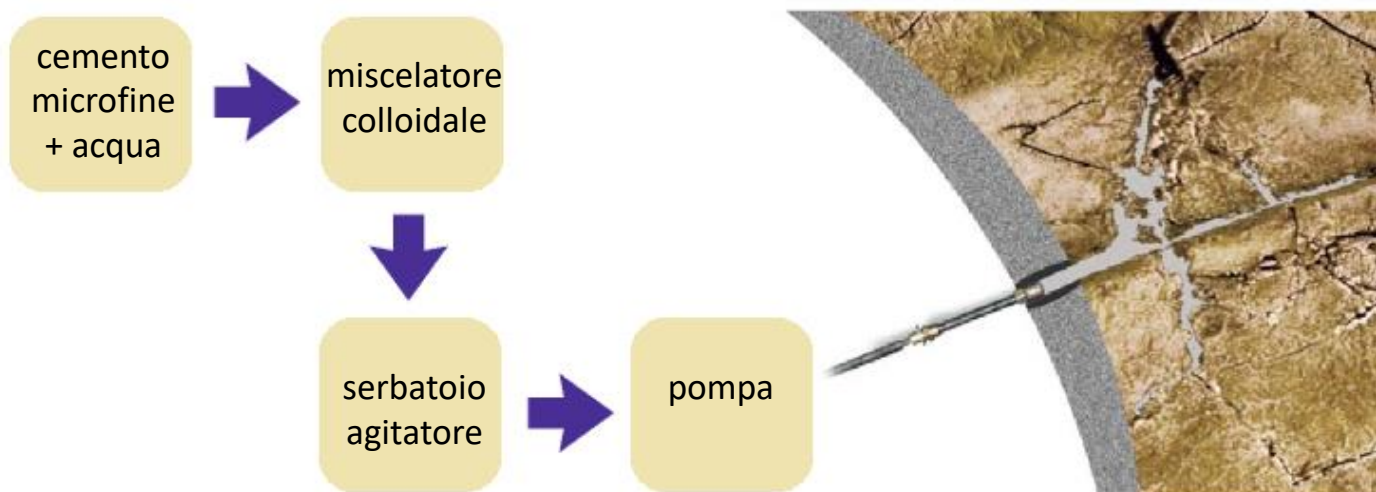
6. INTERVENTI RIPRISTINO

1) RESINE EPOSSIDICHE



2) INIEZIONE CON CEMENTI AD ALTA PRESSIONE

Schema operativo dell'iniezione





6. INTERVENTI RIPRISTINO

3) IMPERMEABILIZZAZIONE PARAMENTO DI MONTE RIVESTIMENTO IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO GEOMEMBRANA



diga del Molato (Lombardia-Emilia Romagna)



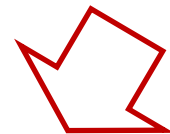
RIVESTIMENTO IN CONGLOMERATO BITUMINOSO





CONCLUSIONI

- fessura è stabile $\rightarrow L < L_{critica} (K_I < K_{IC})$
- fessura si propaga $\rightarrow L > L_{critica} (K_I = K_{IC})$
- Propagazione frattura si può verificare anche per $K_I < K_{IC} \rightarrow$ CRESCITA SUBCRITICA DELLE FESSURE
- Diversi meccanismi di crescita subcritica: **FATICA**



Azione svuotamento/riempimento invaso

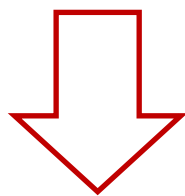
Azione gelo/disgelo

Azione sismica

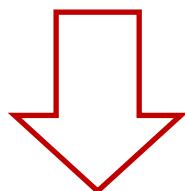


CONCLUSIONI

- Creazione modello numerico per lo studio della propagazione della fessura, nota la sua lunghezza
- Prima che la fessura si propaghi in modo instabile



INTERVENTI PER IL RIPRISTINO
DELLA CONTINUITÀ STRUTTURALE



GARANTIRE LA DURABILITÀ
DELLA STRUTTURA e LA VITA NOMINALE

Grazie per l'attenzione