

MECCANICA DELLE ROCCE 05BPMMX

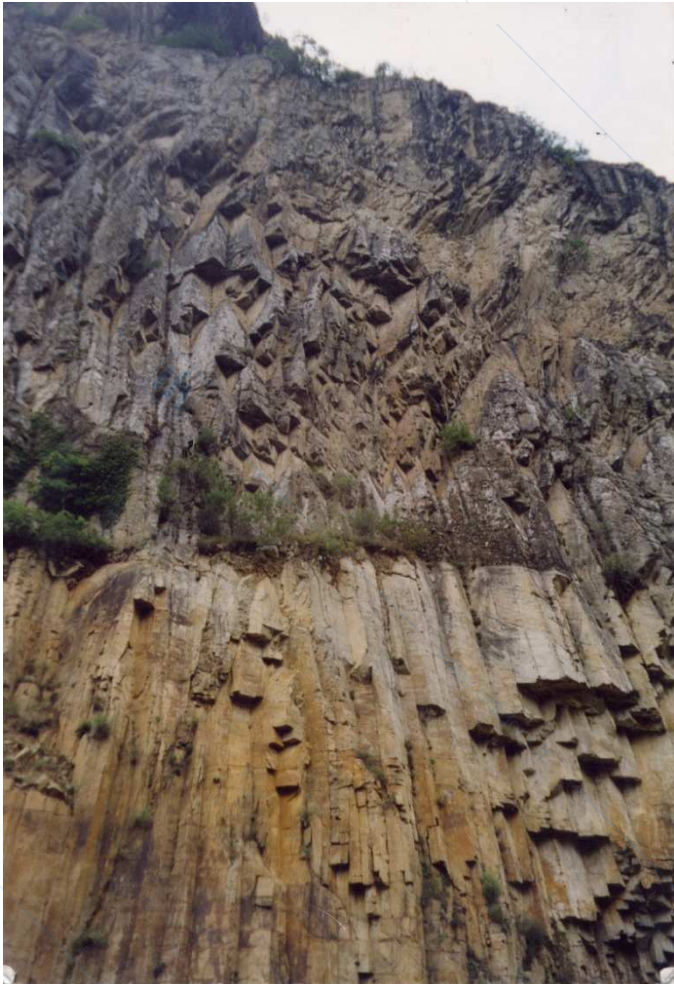
Docente

Prof. Claudio SCAVIA (011/ 0904823)
claudio.scavia@polito.it

Esercitatore

Prof. Monica BARBERO (011/ 0904888)
monica.barbero@polito.it





DETERMINAZIONE DELLO STATO TENSIONALE NELL' A.R.



STATO DI TENSIONE

Perché analizzare lo stato di tensione?

L'ammasso roccioso è un mezzo naturale ed è necessario considerare sempre che esso è interessato da uno stato di tensione pre-esistente. Questo stato di tensione viene **perturbato** in maniera differente a seconda dell'opera ingegneristica considerata:

- la costruzione di una diga o di una fondazione di una centrale nucleare può essere considerata come l'applicazione di un carico esterno;
- lo scavo di una galleria o di un vuoto sotterraneo non comporta nessun nuovo carico applicato, ma lo scavo creato comporta la redistribuzione dello stato di tensione nella porzione di ammasso che rimane attorno al vuoto realizzato (in alcune zone si avrà un aumento dello stato tensione ed altre una diminuzione).

Risulta di fondamentale importanza la conoscenza dello stato di tensione esistente, in modo che sia possibile analizzare la sua variazione e, pertanto, gli effetti sull'ammasso roccioso anche in termini di deformazione indotte e di valori di resistenza raggiunti.



TENSORE DELLE TENSIONI

Lo stato di tensione in un punto è noto quando si conoscono le COMPONENTI di TENSIONE rispetto ad un sistema di riferimento Oxyz, che possono essere espresse sottoforma di matrice chiamata TENSORE delle TENSIONI.

$$\sigma_{xyz} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \text{MPa}$$

Componenti delle tensioni agenti sulla faccia x (normale all'asse x)

Componenti delle tensioni parallele all'asse x e agenti sulle varie facce

L'elemento infinitesimo di riferimento è in equilibrio: per mantenere l'equilibrio alla rotazione le tensioni tangenziali con pedici invertiti sono uguali (teorema di reciprocità):

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}$$

Il tensore delle tensioni è una matrice simmetrica rispetto alla diagonale maggiore ed è caratterizzata da 6 componenti INDIPENDENTI (3 componenti normali e 3 componenti tangenziali).

$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix}$$



TENSIONI PRINCIPALI

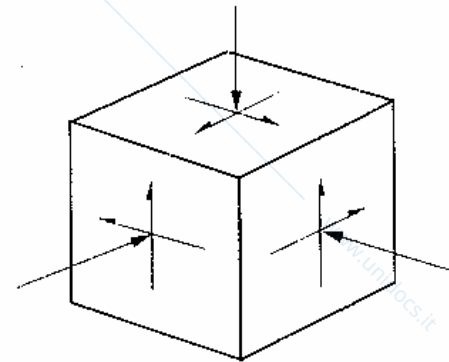
Le componenti di tensione sono strettamente correlate al sistema di riferimento scelto: ruotando il sistema di riferimento, cambiano i valori delle componenti.

In particolare, esiste un'orientazione nello spazio, secondo la quale le componenti tangenziali si annullano, ed i valori delle tensioni normali assumono i valori massimi e minimi. Le tensioni normali vengono chiamate **TENSIONI PRINCIPALI** ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) e le direzioni di azione **DIREZIONI PRINCIPALI**.

σ_1 **tensione principale MASSIMA**

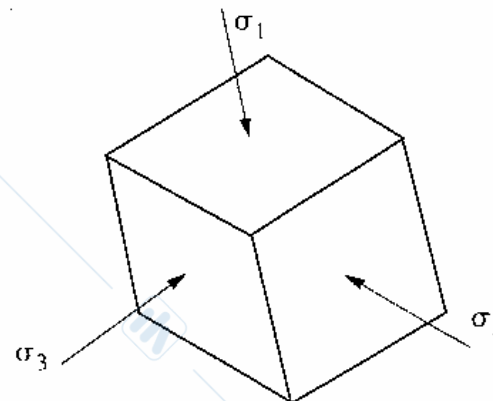
σ_2 **tensione principale MEDIA**

σ_3 **tensione principale MINIMA**



$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

N.B. Le superfici di scavo e, in generale, le superfici libere sono piani di tensione principale in quando su di essi non agiscono tensioni tangenziali e la tensione normale è pari a zero.



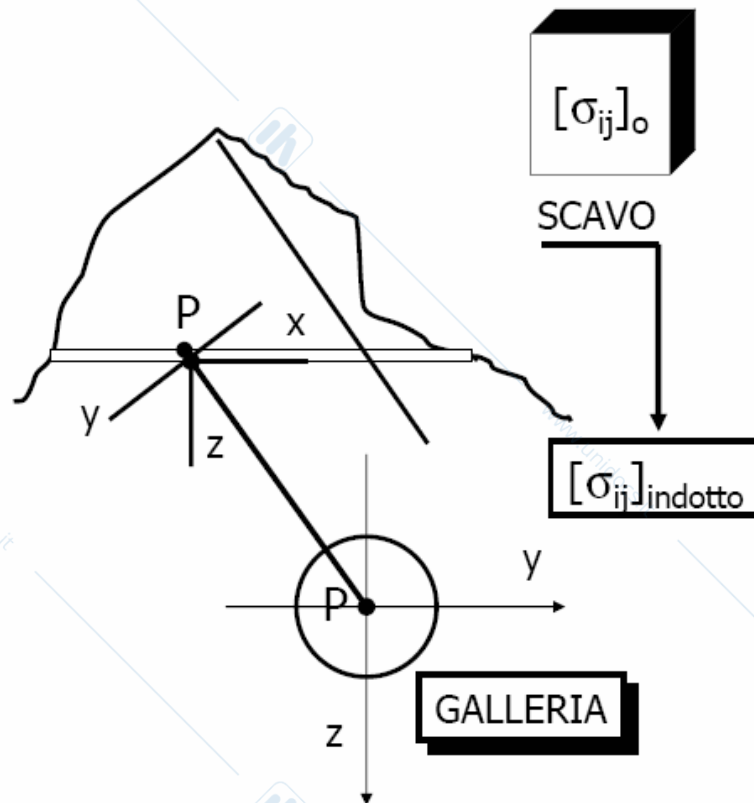
$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$$



STATO TENSIONALE IN SITO (**naturale o preesistente**)

Prima della realizzazione di un scavo, il terreno o l'A.R. è caratterizzato da uno stato di equilibrio al quel corrisponde uno stato di tensione naturale o iniziale (potrebbero essere già presenti altri vuoti).

Per poter valutare lo stato di tensione indotto dagli scavi è necessario valutare lo:



STATO DI TENSIONE PREESISTENTE

MISURATO o VALUTATO in maniera approssimata

Storia geologica dell'ammasso

Fenomeni tettonici

Condizioni della formazione

Agenti d'erosione

Vicinanza ai pendii

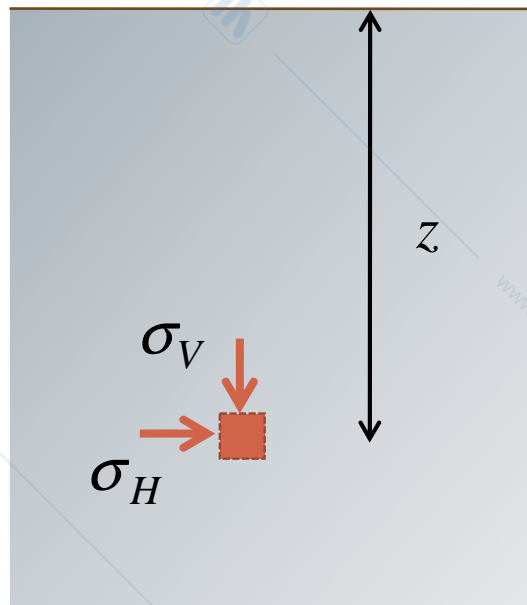


STATO DI TENSIONE GEOSTATICO

E' quello dovuto al campo di forze gravitativo per il quale la tensione cresce con la profondità

Superficie orizzontale

Le tensioni verticale ed orizzontale rappresentano le TENSIONI PRINCIPALI



TENSIONE VERTICALE

$$\sigma_V = \gamma_r \cdot z$$

TENSIONE VERTICALE

$$\sigma_H = K_0 \cdot \sigma_V$$

$$\frac{\sigma_H}{\sigma_V} = K_0$$

$K_0 = 1$

STATO ISOTROPO

$K_0 \neq 1$

STATO ANISOTROPO



STATO DI TENSIONE GEOSTATICO

Superficie orizzontale

In stato di DEFORMAZIONE PIANO e campo elastico

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] = 0$$

$$\sigma_Y = \sigma_1$$

$$\sigma_X = \sigma_3$$

$$\sigma_Z \neq 0$$

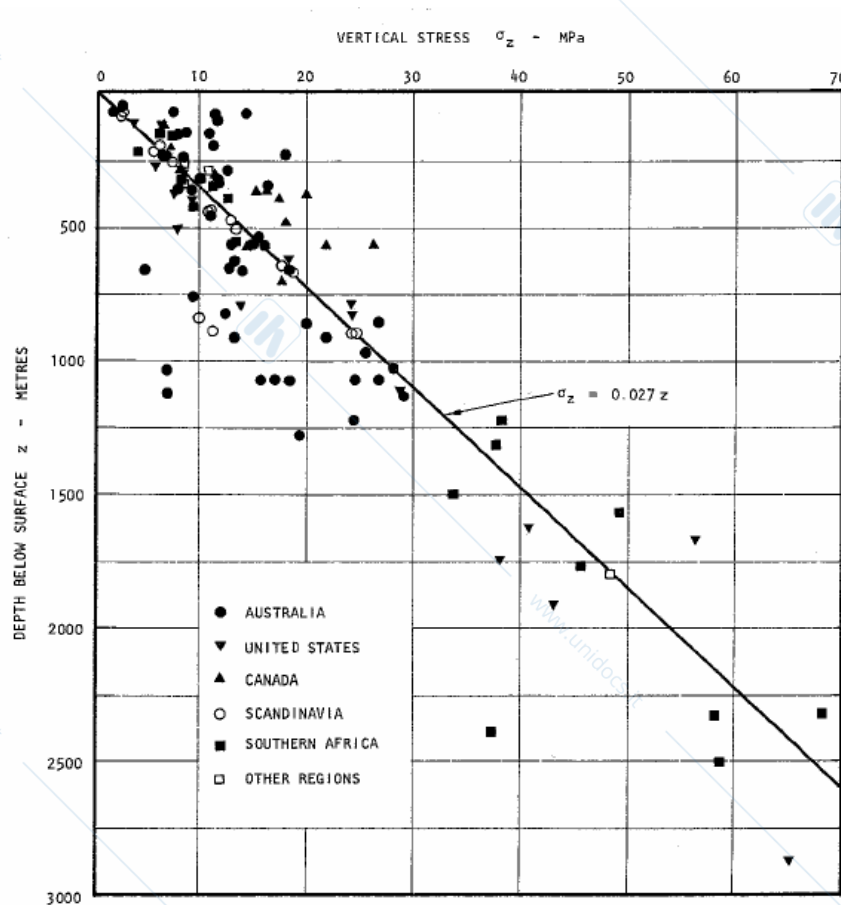
$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu}$$

In realtà gli stati tensionali sono raramente geostatici

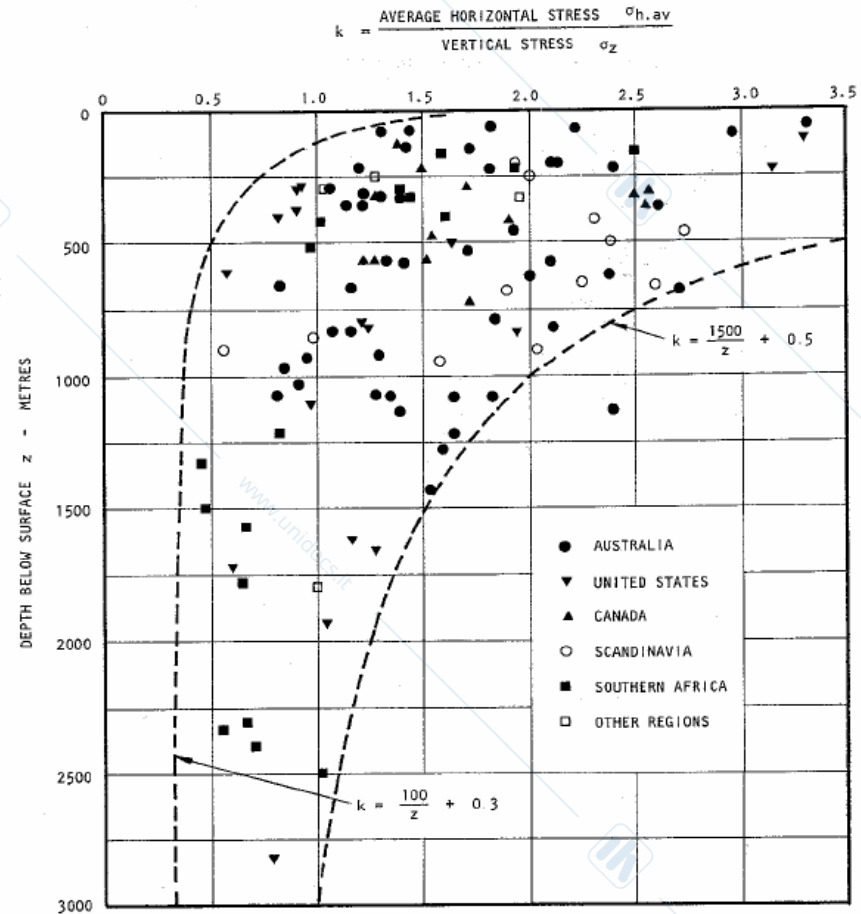


STATO DI TENSIONE GEOSTATICO

In realtà gli stati tensionali sono raramente geostatici



Stato di tensione verticale



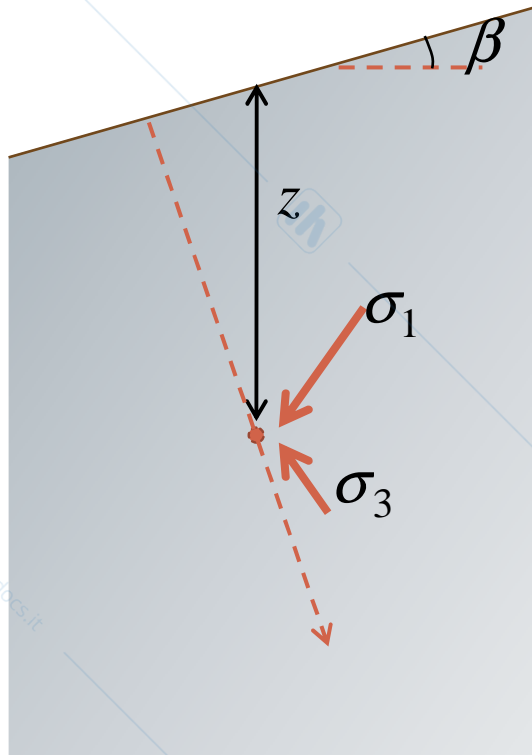
Ko



STATO DI TENSIONE GEOSTATICO

Superficie inclinata

Le tensioni verticale ed orizzontale NON sono TENSIONI PRINCIPALI



$$\sigma_v = \gamma \cdot z \cdot \cos \beta$$

$$\sigma_y = \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \beta$$

$$\sigma_x = K_o \cdot \sigma_y$$

$$\tau_{xy} = \gamma \cdot z \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta$$

$$\sigma_1 = \left[\frac{1 + K_o}{2} + \sqrt{\text{tg}^2 \beta + \frac{(1 - K_o)^2}{4}} \right]$$

$$\sigma_3 = \left[\frac{1 + K_o}{2} - \sqrt{\text{tg}^2 \beta + \frac{(1 - K_o)^2}{4}} \right]$$

Inclinazione di σ_1 sulla verticale

$$\frac{\omega - \beta}{2}$$

$$\sin \omega = \frac{\sin \beta (1 - K_o)^2}{\sqrt{\text{tg}^2 \beta + \frac{(1 - K_o)^2}{4}}}$$



Prova di carico su piastra

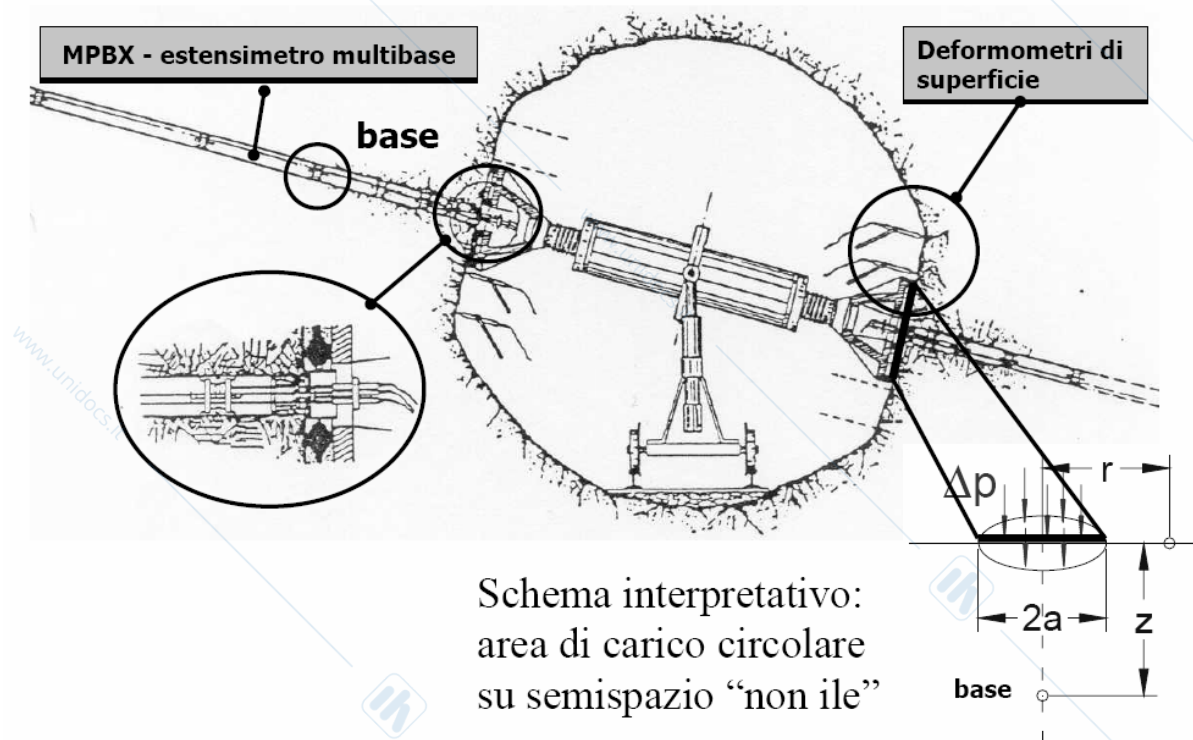
È la tecnica di più largo impiego per la **determinazione delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso**.

Si esegue applicando un carico uniformemente distribuito su un'area, generalmente circolare ($d = 50 - 100$ cm), e misurando le deformazioni indotte sia in superficie che in profondità nell'ammasso roccioso.

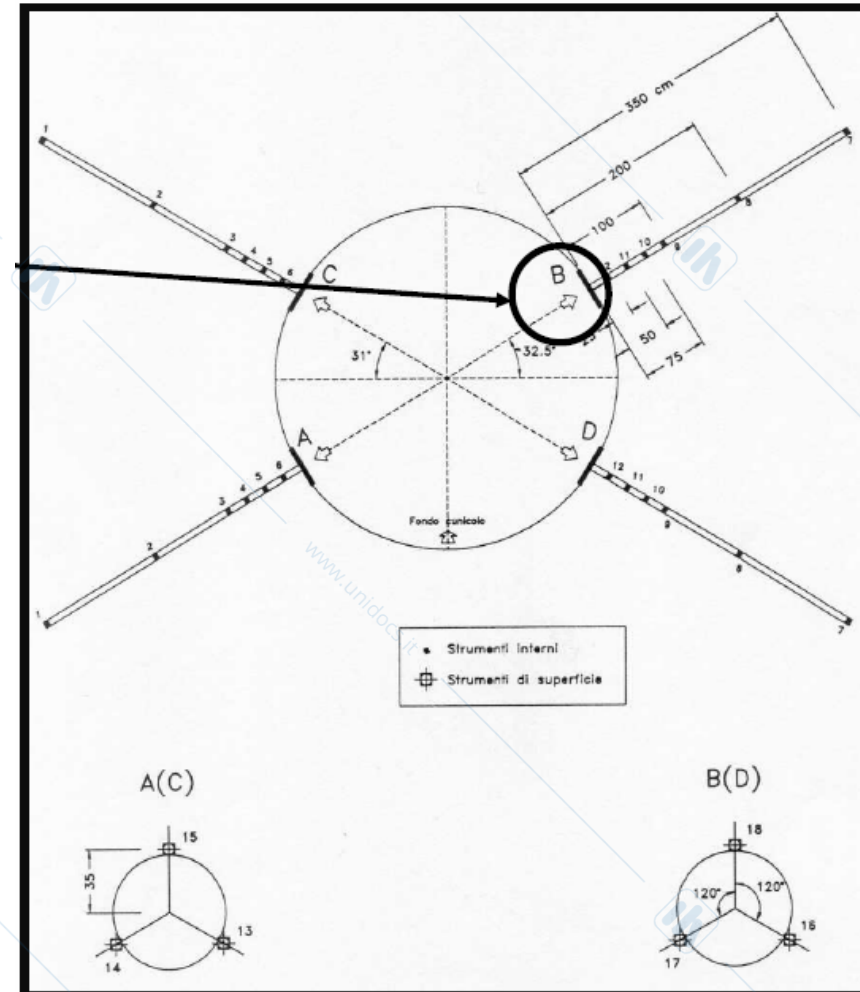
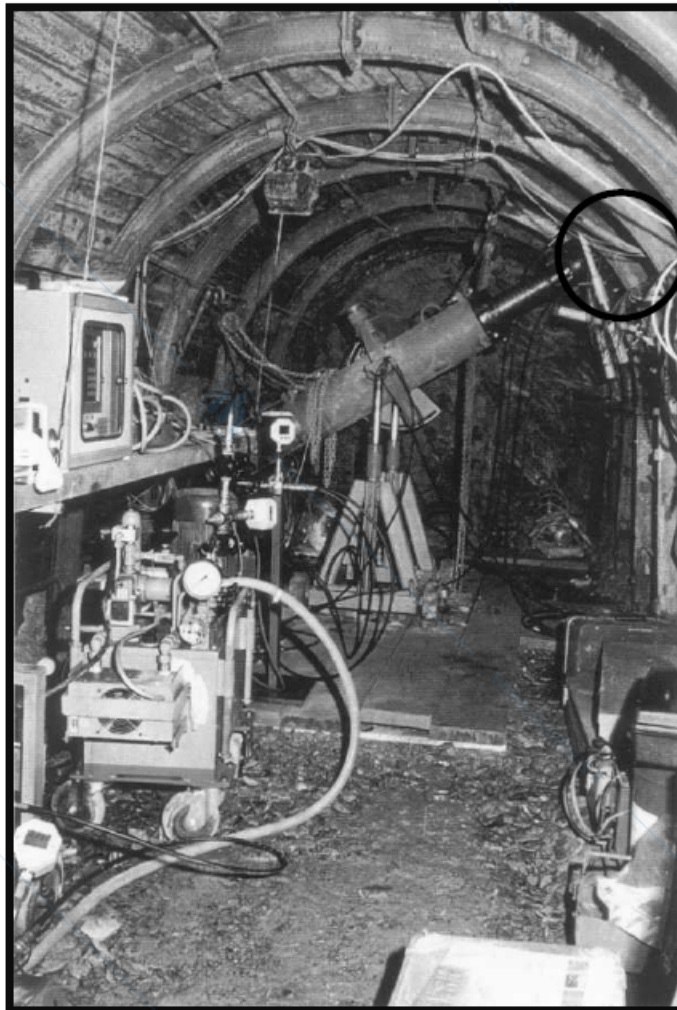
Per ammassi rocciosi di buona qualità i carichi che devono essere applicati sono di notevole entità.

Per tale motivo, ove possibile, tali prove si eseguono in cunicoli ($D_{max} 4m$) per evitare strutture di contrasto da utilizzare nel caso, invece, si esegua la prova in superficie.

$D_{cunicolo} > 4 d$ piastra



Prova di carico su piastra



Prova di carico su piastra

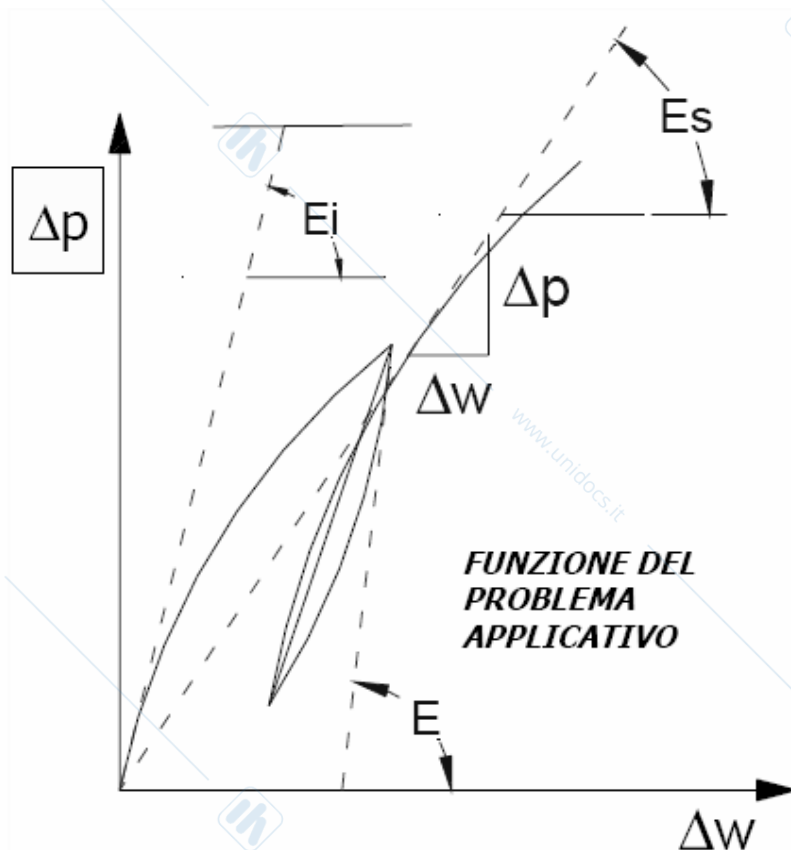


POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI MECCANICA DELLE ROCCE

Prova di carico su piastra

La prova viene eseguita per determinare il **MODULO di DEFORMABILITA'** Ed dell'ammasso. Il comportamento dell'a.r. non è elastico lineare anche se l'interpretazione di questa prova prevede una sua linearizzazione. La prova viene eseguita con cicli di carico-scarico.



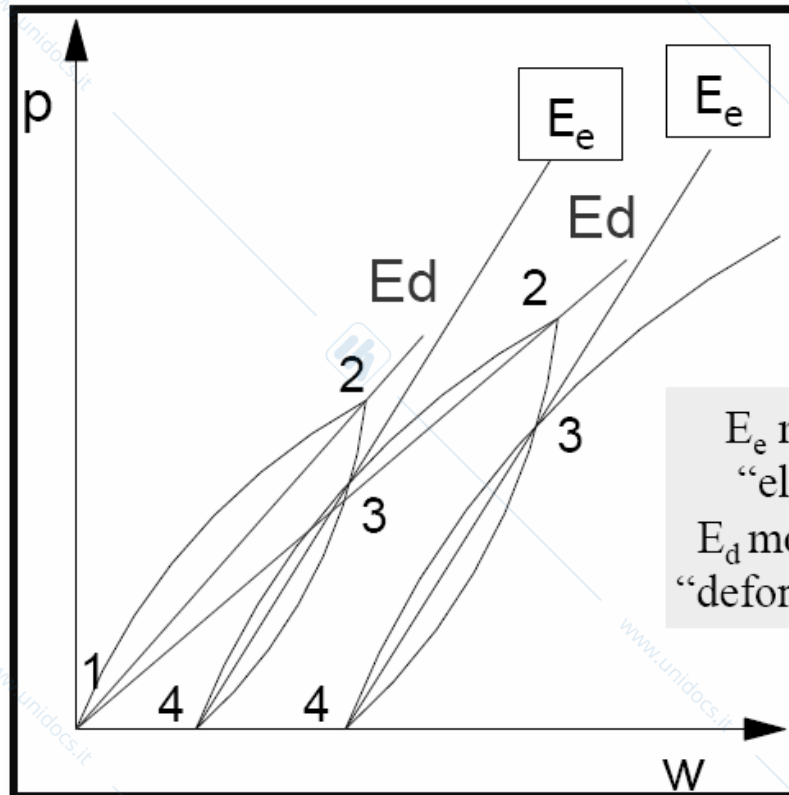
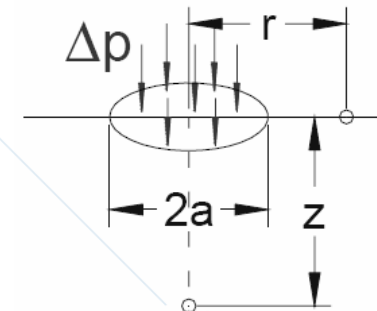
E_i modulo elastico iniziale è tangente all'origine della prima fase di carico

E_s modulo elastico secante (Tracciando una retta dall'origine che passa per un p.to della 2° fase di carico). Lo stato di tensione rispetto al quale calcolare E_s può essere pari a metà del carico di rottura o un carico di "lavoro" rappresentativo del problema (ad esempio la tensione verticale ad una certa profondità)



Prova di carico su piastra

Area di carico circolare



E_e modulo "elastico"
 E_d modulo di "deformazione"

$$E_d = C \cdot (1 - \nu_d^2) \cdot a \cdot \frac{\Delta p}{\Delta w}$$

Piastra flessibile: $C = 0,54\pi$

Piastra rigida: $C = 0,5\pi$

$$E_d = 1.70 \cdot (1 - \nu_d^2) \cdot a \cdot \frac{\Delta p}{\Delta w} \text{ Flessibile}$$

$$E_d = 1.56 \cdot (1 - \nu_d^2) \cdot a \cdot \frac{\Delta p}{\Delta w} \text{ Rigida}$$

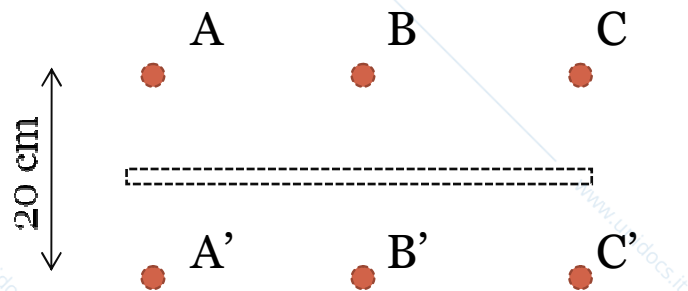
Dove a è il raggio della piastra, ν_d il coefficiente di Poisson dell'a.r. (0.25÷0.33) e C una costante che dipende dalla rigidità della piastra



Metodo del ripristino delle tensioni – **Martinetto piatto**

Nella zona in cui si desidera determinare lo stato di tensione si crea un intaglio cui consegue una certa quota di deformazione. L'annullamento di questa deformazione comporta il ripristino (e quindi la misura) dello stato di tensione incognito che l'ha provocata.

Preventivamente, nella zona interessata dal futuro intaglio, di posizionano 3 coppie di punti fissi di misura (pastiglie) ai quali si collegano i comparatori. Le pastiglie si posizionano ad una distanza di circa 20 cm (attraverso il comparatore ne si misura la distanza iniziale "precisa")



Fatto ciò, si esegue a metà un intaglio con sega circolare. Le coppie di punti tendono ad avvicinarsi (l'intaglio tende a chiudersi). Si misura la distanza finale delle coppie di punti. L'annullamento di questa deformazione comporta il ripristino (e quindi la misura diretta) dello stato di tensione incognito che l'ha provocata.

Si applica, nell'intaglio, una pressione P fino ad annullare le deformazioni indotte, (distanze iniziali tra le coppie di punti) che corrisponde, pertanto, alla tensione agente nella parete prima che venisse realizzato l'intaglio.

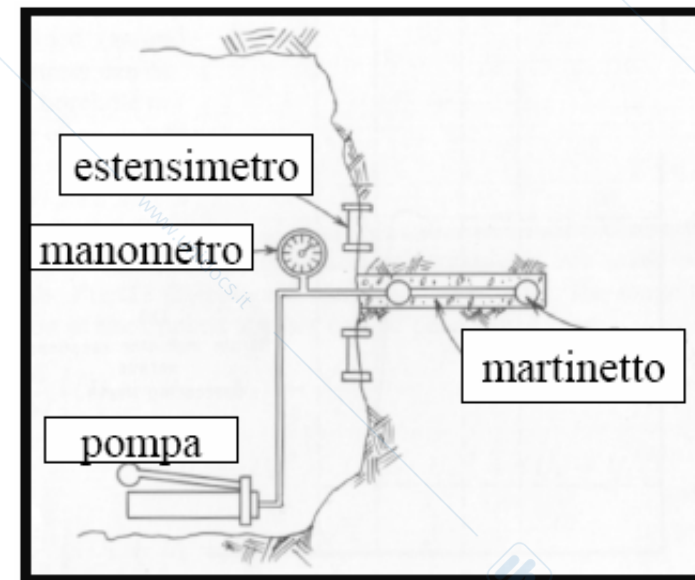
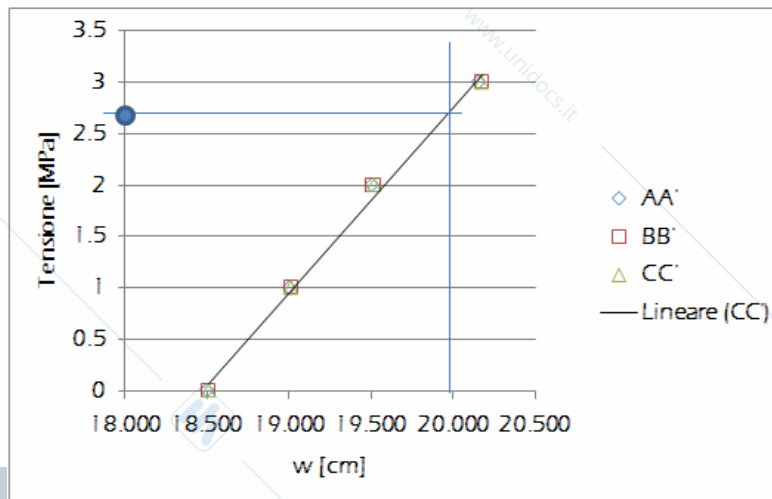


Martinetto piatto

La pressione P viene applicata inserendo nell'intaglio un martinetto piatto (flat jack) che può essere semicircolare o rettangolare, collegato ad un sistema che permette di porlo in pressione che viene misurata attraverso manometri.

Il carico P e quindi la tensione s agenti sulle pareti dello scavo, viene applicata per gradini successivi. Il valore "preciso" di tensione ricercato, viene determinato interpretando i risultati in termini di tensioni applicate – spostamenti misurati.

	iniziali	dopo intaglio			
	$\sigma_v =$???	$\sigma_v = 0$	$\sigma_v = 1$ MPa	$\sigma_v = 2$ MPa	$\sigma_v = 3$ MPa
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
AA'	19.995	18.500	19.001	19.503	20.151
BB'	20.002	18.505	19.007	19.512	20.175
CC'	20.005	18.509	19.010	19.518	20.175



Martinetto piatto

Vantaggi e Limiti

- E' di facile esecuzione

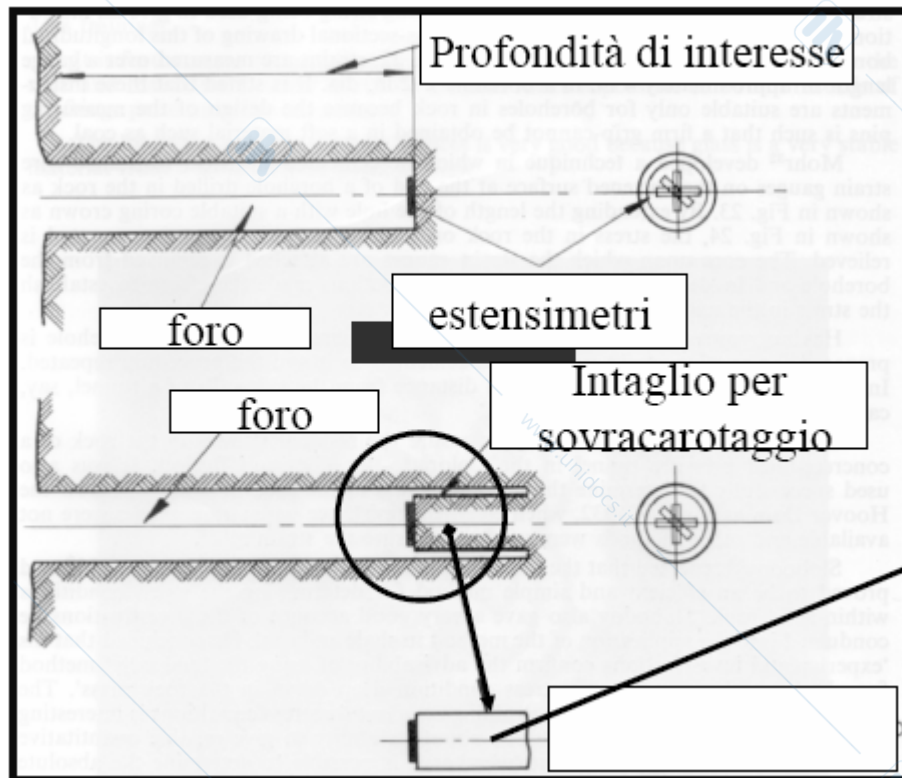
-Può essere eseguita solo in corrispondenza di una parete di scavo e, pertanto, può misurare solo lo stato di tensione indotto e non quello pre-esistente.

-Con questa prova si può misurare SOLO la componente di tensione normale alla direzione dell'intaglio, quindi, per conoscere lo stato di tensione completo, deve essere eseguita 6 volte lungo direzioni differenti. Per fare ciò, però, si deve cambiare ogni volta ubicazione e, quindi, non sempre si è certi di misurare le componenti del medesimo stato di tensione.

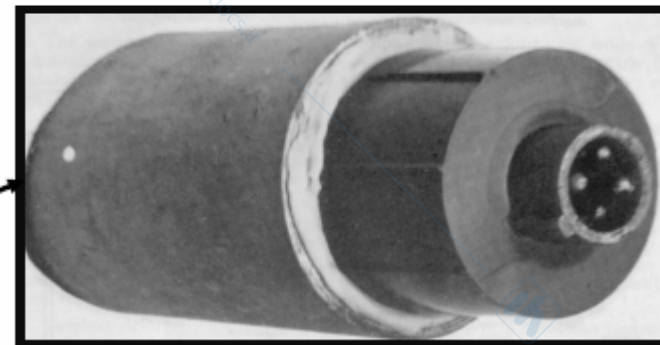


METODO DEL RILASCIO DELLE TENSIONI

Nell'intorno di un punto in cui si vuole determinare lo stato di tensione naturale si crea un foro circolare opportunamente orientato. La successiva esecuzione di un intaglio coassiale al foro (sovracarotaggio) causa delle deformazioni che, misurate, permettono di risalire allo stato tensionale incognito.



Cella estensimetrica a fondo foro DOORSTOPPER



METODO DEL RILASCIO DELLE TENSIONI

La tecnica prevede, quindi, la misura con estensimetri elettrici delle deformazioni che si verificano sulla parete di fondo, opportunamente spianata, di un foro di sonda (65 mm) a seguito di un'operazione di sovracarotaggio (overcoring). Dalle deformazioni misurate si risale allo stato di sollecitazione originario, ipotizzato, in genere, il comportamento della roccia come omogeneo linearmente elastico ed isotropo. Il modulo elastico della roccia si ricava separatamente.

La cella estensimetrica è attrezzata con tre o quattro estensimetri disposti lungo direzioni differenti e tali da misurare in maniera univoca lo stato di deformazione lungo il piano di misura. Da una misura si ottiene, quindi, lo stato di sollecitazione caratteristico del piano di misura.

Lo stato di tensione triassiale è possibile stimarlo, realizzando almeno 3 prove in fori diversamente orientati.

Esistono celle particolari (come la cella CSIRO) attrezzata con 9-12 estensimetri opportunamente direzionati, che permette la misura completa dello stato di tensione, anche nel caso di ammasso roccioso trasversalmente isotropo.



Cava comparto Fantiscritti - Carrara

La campagna di misurazione ha previsto l'applicazione del metodo di sovracarotaggio con cella di rilevazione tensionale triassiale CSIRO

Permette di determinare le tensioni principali in sito tramite la registrazione delle deformazioni dovute allo scarico tensionale della roccia sovracarotata

SCELTA dell'UBICAZIONE e della PROFONDITA' delle PROVE

Sono state eseguite 9 prove a diverse profondità in 5 fori orizzontali distribuiti nell'intera camera di scavo

(2 nelle pareti di confine, 3 in pilastri)

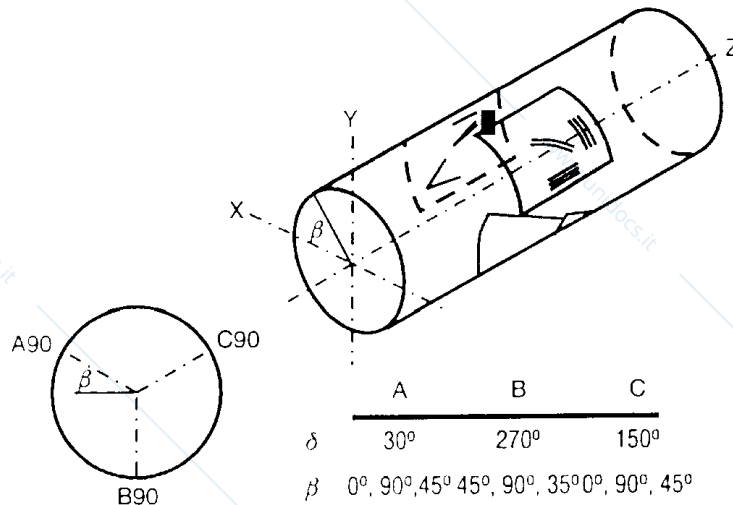
FORO	Nome	Profondità (m)
F01	3D_01 01	4.27
	3D_01 02	7.06
F02	3D_02 01	6.90
	3D_02 02	9.65
F03	3D_03 01	4.57
F04	3D_04 01	3.60
	3D_04 02	7.45
F05	3D_05 01	5.00
	3D_05 02	5.50



MISURA STATO TENSIONALE – PROVE CSIRO - ATTREZZATURA

ESTENSIMETRI

Annegati nel rivestimento interno
3 rosette per carota (poste a 120°)
4 estensimetri a 45° per ogni rosetta



CELLA TRIASSIALE CSIRO

Cilindro cavo

Lunghezza = 90 mm

Diametro interno = 32 mm

Diametro esterno = 36 mm

Termistore

12 estensimetri sul rivestimento interno



MISURA STATO TENSIONALE - PROVE CSIRO - ATTREZZATURA

**MACCHINA PERFORATRICE
dotata di Binari**



**CAROTIERI
Diametro F1= 150 mm
Diametro F2= 38 mm
Centratore**



MISURA STATO TENSIONALE - PROVE CSIRO - ATTREZZATURA

DISPOSITIVI di InPUT
2 pompe manuali ad alta
pressione

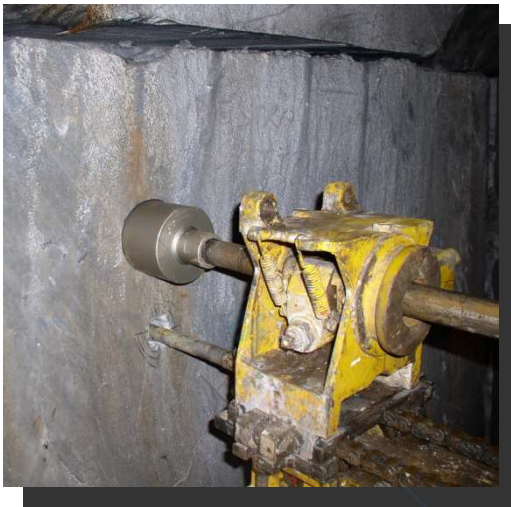


DISPOSITIVO di OUTPUT
Computer
Scheda di acquisizione dati

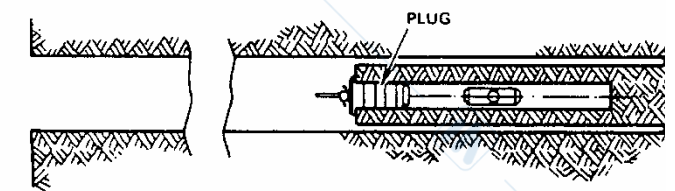
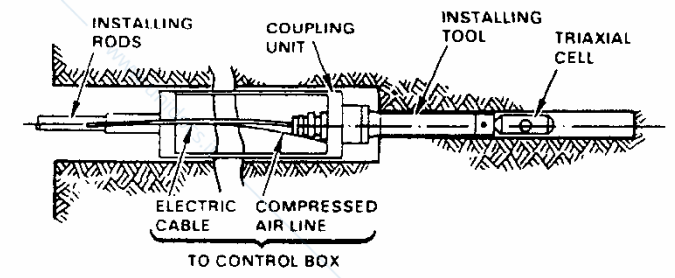
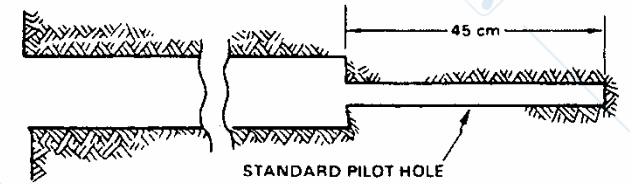
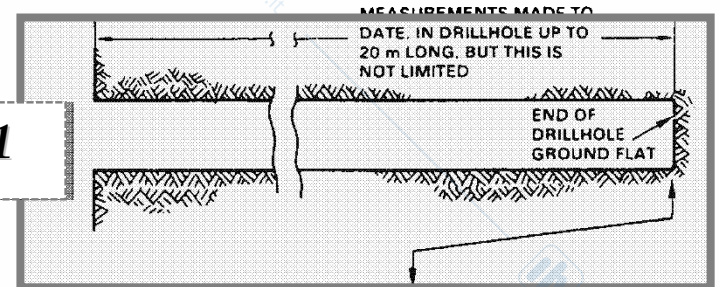


Cava comparto Fantiscritti - MISURE DI STATO TENSIONALE

Realizzazione del Foro di carotaggio (diametro 150 mm)



FASE 1

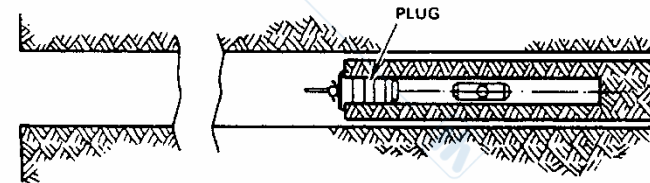
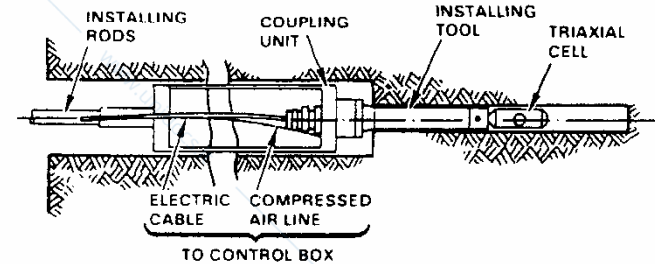
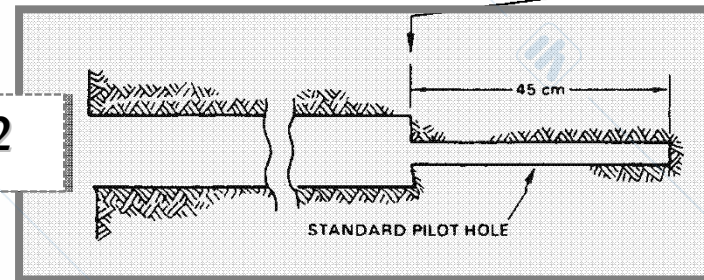
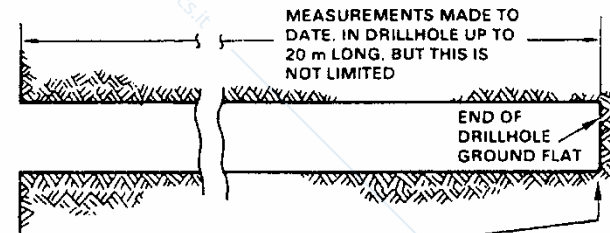


Cava comparto Fantiscritti - MISURE DI STATO TENSIONALE

Realizzazione del Foro pilota (diametro 38 mm)



FASE 2



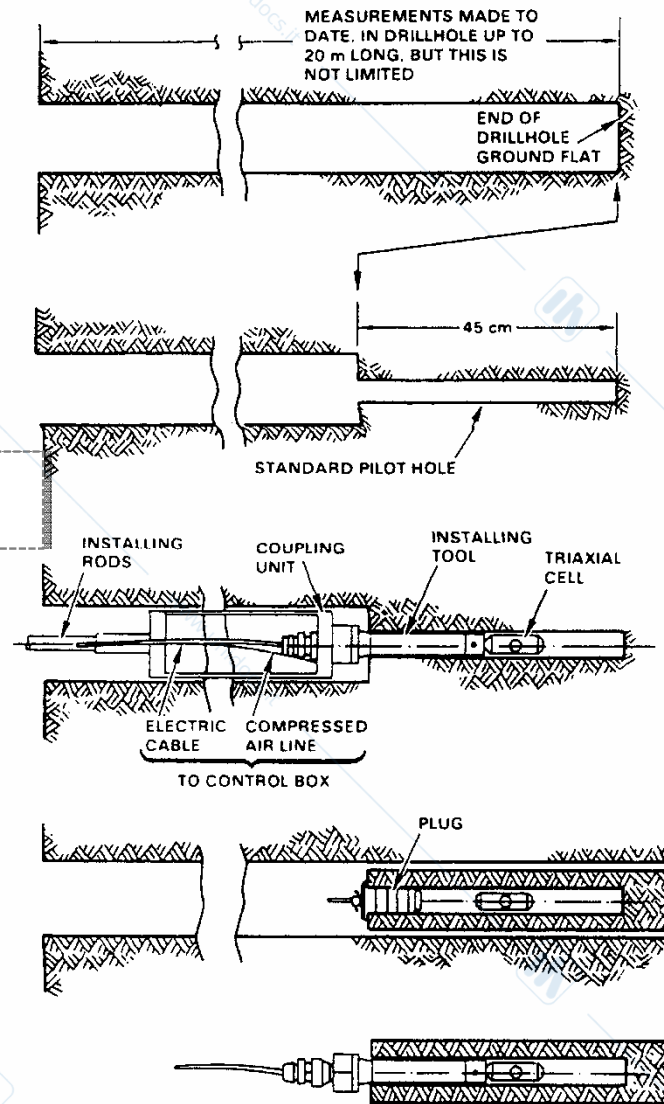
Cava comparto Fantiscritti – MISURE DI STATO TENSIONALE

Preparazione cella



FASE 3

Riempimento corpo centrale con colla
Collegamento del puntale centratore



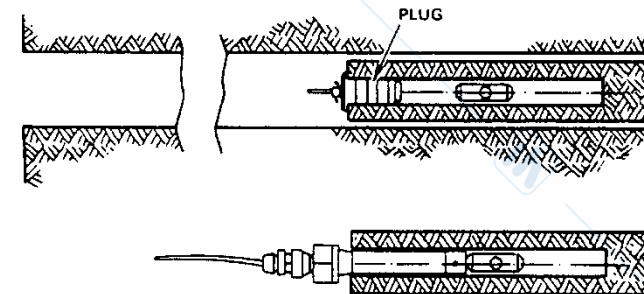
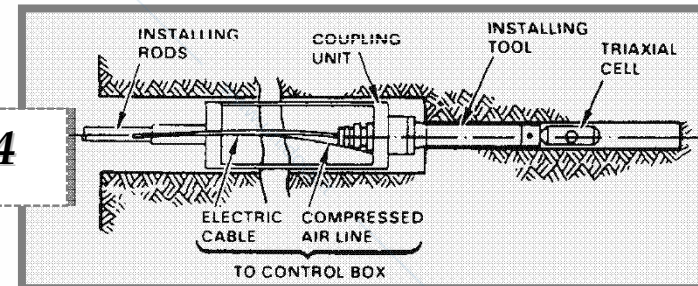
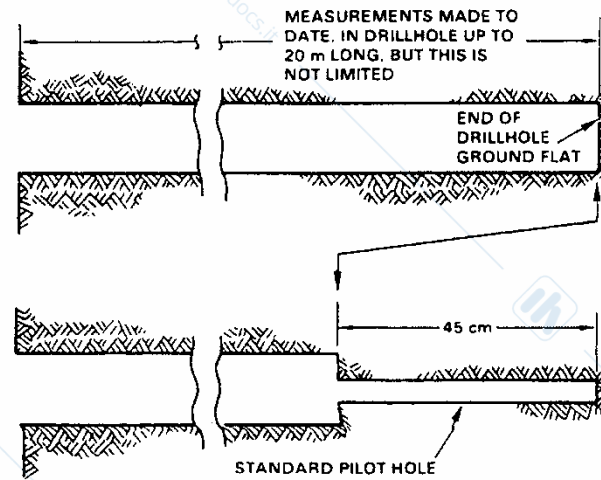
Cava comparto Fantiscritti - MISURE DI STATO TENSIONALE

Inserimento cella nel foro pilota



FASE 4

**Pressione sul pistone
Presenza della colla
Lettura dello Zero su
strain gages**



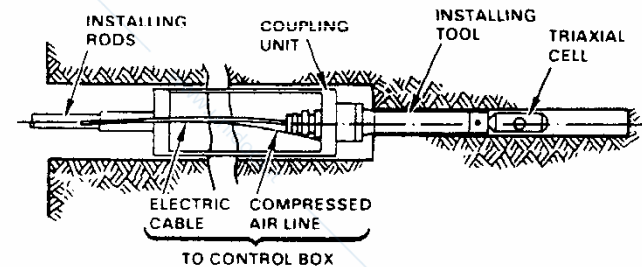
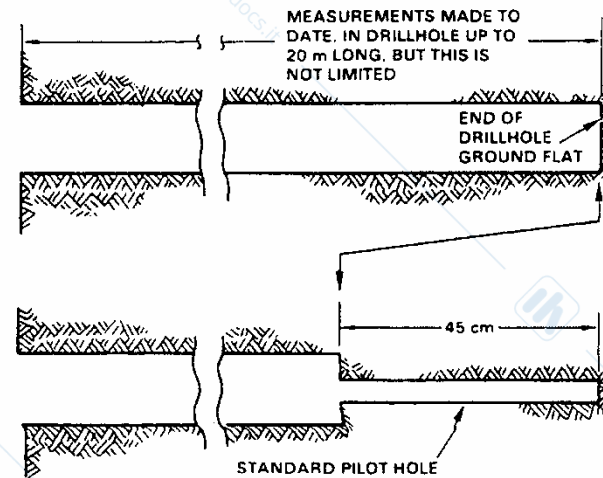
Cava comparto Fantiscritti - MISURE DI STATO TENSIONALE

Sovraccarotaggio del FORO PILOTA

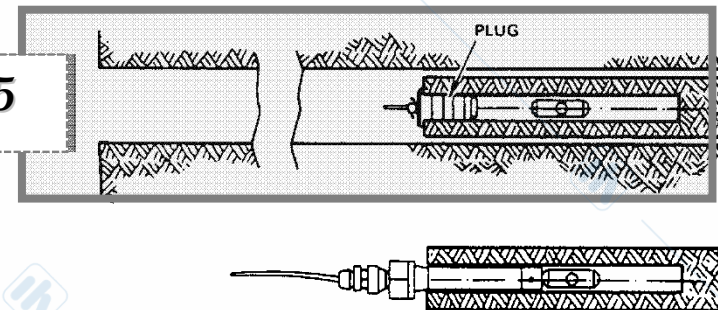
Lettura degli Estensimetri

Lettura della Temperatura

Lettura della Velocità di avanzamento

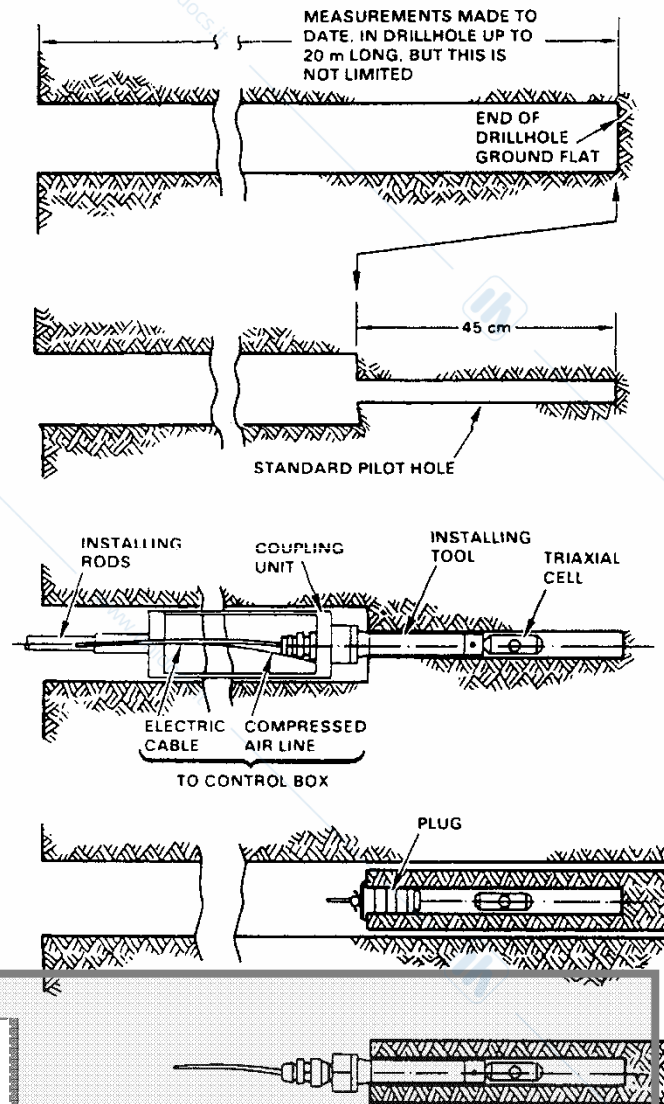


FASE 5



Cava comparto Fantiscritti - MISURE DI STATO TENSIONALE

Rottura del fondo foro ed estruzione carota

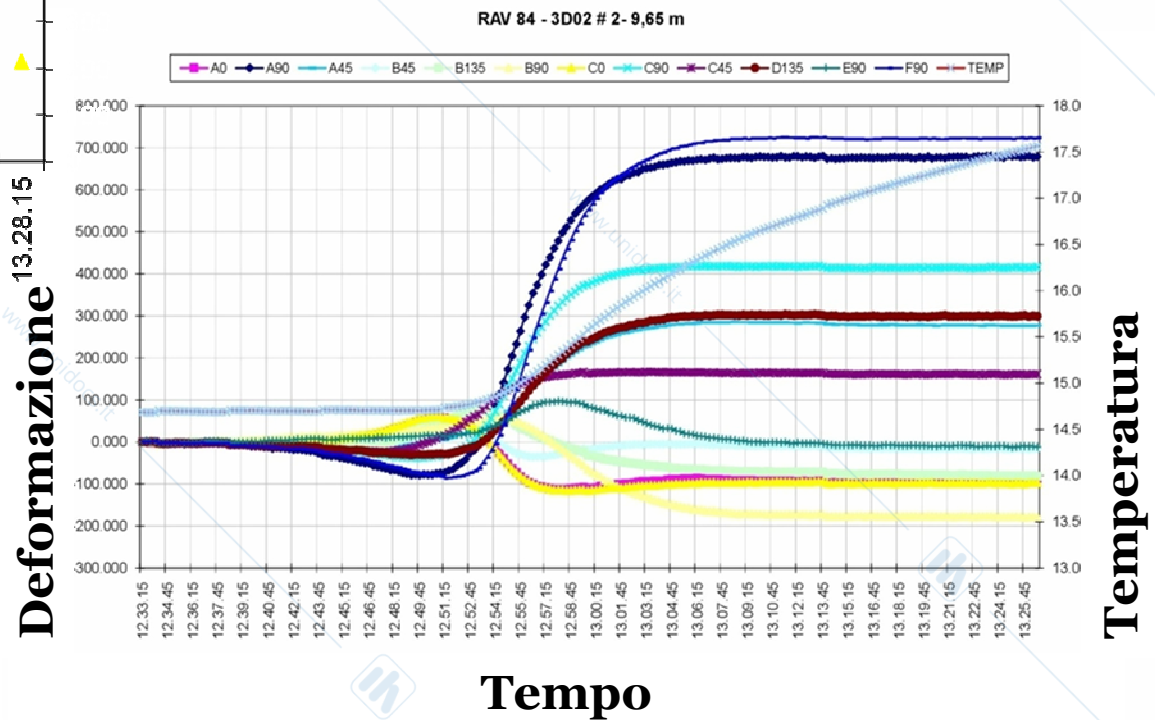
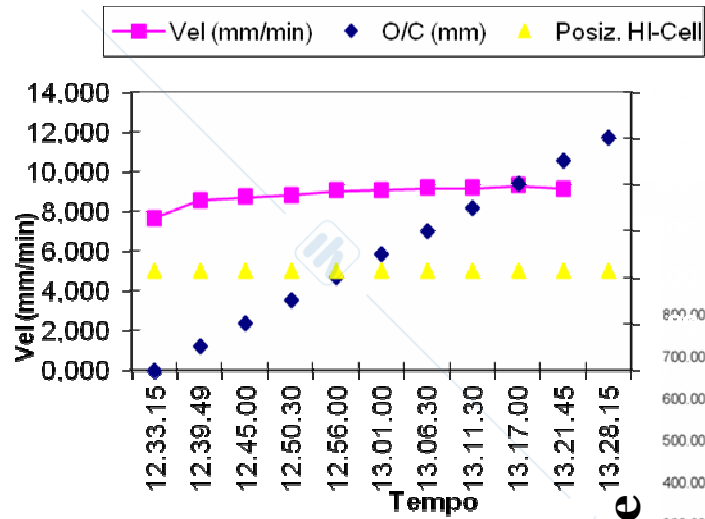


FASE 6



Cava comparto Fantiscritti – MISURE DI STATO TENSIONALE

liberando parzialmente o completamente un volume di roccia dall'azione del campo tensionale agente su di esso si genera una risposta in termini di deformazione indotta misurabile.



Cava comparto Fantiscritti – MISURE DI STATO TENSIONALE

9 estensimetri in grado di “MISURARE” 9 componenti di deformazioni assiali lungo direzioni non parallele



9 misure INDIPENDENTI di DEFORMAZIONE

(sarebbe sufficiente la misura di 6 componenti di deformazione indipendente. Un numero di misure superiore serve a minimizzare gli errori).

Per determinare lo stato di tensione dalla misura di uno stato di deformazione è necessario scegliere un LEGAME COSTITUTIVO idoneo a descrivere il comportamento meccanico della roccia in esame.

In questo caso si IPOTIZZA come valido il comportamento ELASTICO LINEARE della roccia.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & 1/E & -\nu/E & 0 & 0 & 0 \\ -\nu/E & -\nu/E & 1/E & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix}$$



**E' NECESSARIO
CONOSCERE i
PARAMETRI di
DEFORMABILI
TA' della roccia
intatta (E e ν)**

La stima dello stato di tensione sarà “CORRETTA” (l'errore minimo) solo se il comportamento della ammasso roccioso nella zona interessata dalle prove rispecchia le ipotesi effettuate.



Cava comparto Fantiscritti – MISURE DI STATO TENSIONALE

Le misure di deformazione sono , in realtà, influenzate anche dalla metodologia di prova ed, in particolare dalle caratteristiche meccaniche e geometriche della calla e delle resine utilizzate.

Per questo la determinazione delle componenti di tensione a partire dalle misure di deformazione acquisite è realizzata applicando le soluzioni analitiche del problema elastico espressamente sviluppate (Worotnicki e Walton, 1976; Duncan, Fama e Pender, 1980) dipendenti dai parametri di deformabilità della roccia intatta (modulo elastico e rapporto di Poisson), delle caratteristiche meccaniche e geometriche della cella e delle resine utilizzate.

$$E_2 \cdot \varepsilon_{\theta} = (\sigma_x + \sigma_y) \cdot K_1(\rho) - 2 \cdot (1 - \nu_2^2) \cdot [(\sigma_x - \sigma_y) \cdot \cos 2\theta + 2\tau_{xy} \cdot \sin 2\theta] \cdot K_2(\rho) - \nu_r \cdot K_4(\rho) \cdot \sigma_z$$

$$E_2 \cdot \varepsilon_z = \sigma_z - \nu_2(\sigma_x + \sigma_y)$$

$$E_2 \cdot \gamma_{\theta z} = 4 \cdot (1 + \nu_2) \cdot (\tau_{yz} \cdot \cos \theta - \tau_{xz} \cdot \sin \theta) \cdot K_3(\rho)$$

$$\varepsilon_{+45^\circ} = 0,5 \cdot (\varepsilon_x + \varepsilon_{\theta} + \gamma_{\theta z})$$

dove

(ε_{θ} , ε_z , $\gamma_{\theta z}$) deformazioni in coordinate cilindriche

E_2 è il modulo elastico

ν_2 è il coefficiente di Poisson

K_i ($i=1,2,3,4$) sono fattori legati alle caratteristiche del materiale della cella e della colla epossidica



Cava comparto Fantiscritti – MISURE DI STATO TENSIONALE

La carota estratta contenente la cella attrezzata con strain gages è sottoposta ad una prova di COMPRESSIONE BIASSIALE che ha permesso la determinazione delle CARATTERISTICHE di DEFORMABILITA' della ROCCIA INTATTA.

Nome Prova	Modulo elastico	Rapporto
	(GPa)	Poisson
3D_01 01	74.20	0.26
3D_01 02	78.00	0.29
3D_02 01	71.95	0.32
3D_02 02	66.29	0.37
3D_03 01	74.40	0.34
3D_04 01	68.65	0.29
3D_04 02	68.65	0.29
3D_05 01	74.18	0.30
3D_05 02	64.01	0.27
MEDIO		



Cava comparto Fantiscritti – MISURE DI STATO TENSIONALE

Le soluzioni analitiche hanno permesso, attraverso un processo risolutivo ai minimi quadrati applicato per ridurre le possibili incerte nella determinazione delle incognite, la stima delle sei componenti indipendenti dello stato tensionale (rispetto ad un sistema di riferimento cartesiano locale che prevede che l'asse del foro coincida con la direzione z) e, quindi, le componenti principali di tensione in modulo e verso.

Nome	σ_1 [MPa]	Inclinazione [°]	Direzione immersione [°]	σ_2 [MPa]	Inclinazione [°]	Direzione immersione [°]	σ_3 [MPa]	Inclinazione [°]	Direzione immersione [°]
3D_01 01	17.4	53	172	4.3	27	40	2.2	23	-63
3D_01 02	10.8	46	170	5.2	41	16	3.7	13	-86
3D_02 01	16.5	79	-118	1.3	10	86	0.5	4	-5
3D_02 02	16.5	81	-67	2.2	9	117	0.6	1	27
3D_03 01	13.4	62	-68	5.7	27	128	4.1	7	37
3D_04 01	21.7	57	98	8.1	28	-117	4.5	16	-18
3D_04 02	14.5	59	147	3.9	0	-56	1.8	31	34
3D_05 01	15.08	65.7	40.2	2.64	24.2	-145.7	1.26	2.2	-54.7
3D_05 02	16.82	62.9	44.6	3.8	25.4	-156.9	0.45	8.7	-62.7

N.B.

Tensione principale massima MAGGIORE della tensione litostatica (400 m circa di copertura ≈ 11.7 MPa)

Tensione principali NO verticale ed orizzontali



METODO DEL RILASCIO DELLE TENSIONI

Vantaggi e Limiti:

- Viene eseguita sul fondo di fori di sondaggio e, pertanto, può misurare lo stato di tensione anche lontano dalle pareti di scavo.***
- La carota recuperata con il sovracarotaggio può essere portata in laboratorio e sottoposta a prove in condizioni controllate in modo da poter controllare la funzionalità del sistema (gli estensimetri hanno funzionato correttamente?) e determinare le costanti elastiche necessarie per interpretare i dati di prova.***
- Le celle estensimetriche devono essere incollate sul fondo di un foro di sondaggio: la parete di fondo foro dovrebbe essere perfettamente liscia.***
- Se il foro viene eseguito utilizzando fluido a temperatura differente dalla roccia, potrebbe influenzare i risultati.***
- Se la prova viene eseguita a lunga distanza dalla parete di scavo è difficile mantenere la coassialità tra il foro di sondaggio iniziale e quello del sovracarotaggio.***

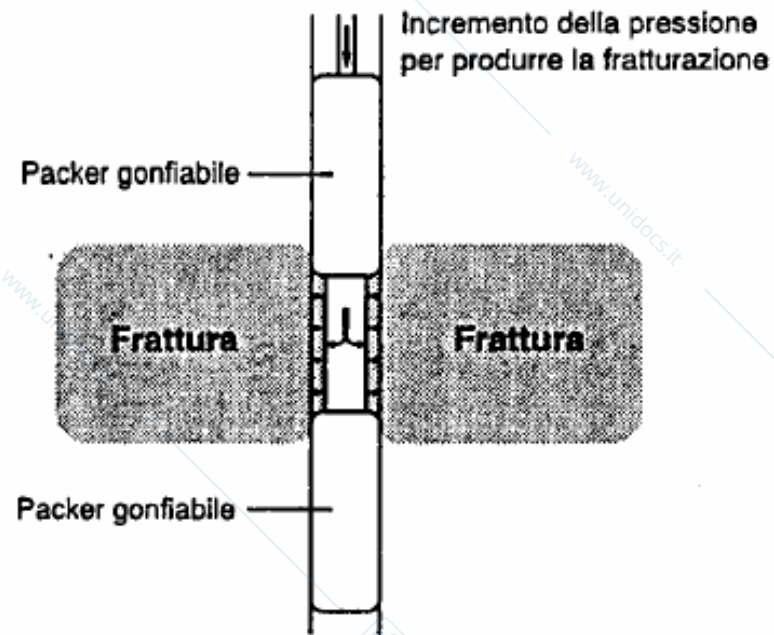


FRATTURAZIONE IDRAULICA

Consente di misurare lo stato di sollecitazione a grande profondità.

La prova viene eseguita lungo fori di sondaggio nelle zone integra di roccia e lontano dalle discontinuità (il foro di sondaggio viene visionato tramite telecamera). Il foro deve avere direzione coincidente con una delle tensioni principali. Il tratto che si vuole analizzare viene isolato attraverso due packers gonfiabili che assicurano la tenuta idraulica della camera di iniezione.

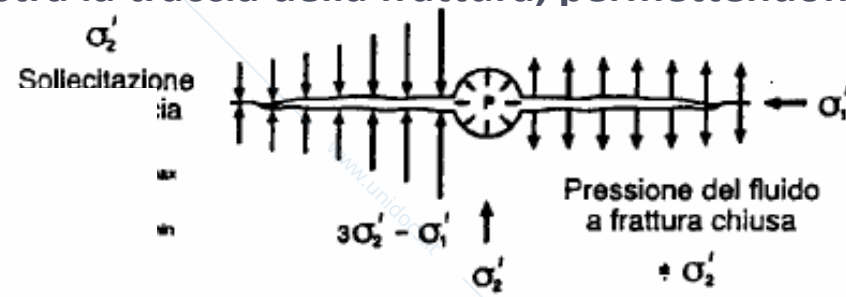
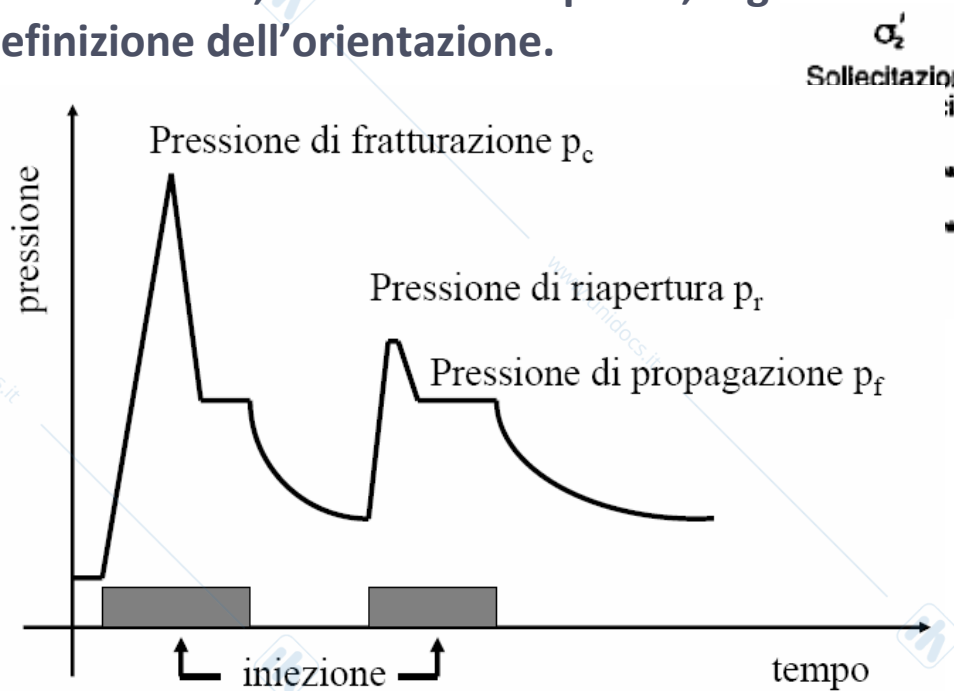
Si immette quindi acqua in pressione all'interno del tratto isolato inviando il fluido con una portata costante.



FRATTURAZIONE IDRAULICA

L'andamento delle pressioni, mostra un primo picco di pressione P_c richiesto per provocare la rottura per trazione della roccia intorno al foro e la pressione P_f necessaria per mantenere aperta tale fessura quando essa si è estesa a grande distanza dal foro. Queste due pressioni, con opportune tecniche analitiche, permettono la stima delle direzioni e dei valori delle tensioni principali nel piano perpendicolare all'asse del foro.

Dopo aver depressurizzato il foro, ed estratto i packers, si pone una camera di plastica gonfiabile che, aderendo alle pareti, registra la traccia della frattura, permettendone la definizione dell'orientazione.



$$P_f = \sigma_h$$

$$P_c = 3\sigma_h - \sigma_H + \sigma_t$$



FRATTURAZIONE IDRAULICA

Vantaggi e Limiti:

- Può essere eseguita anche a profondità molto elevate (> 100 m)***
- Consente la misura di due componenti di tensione principale (quelle perpendicolari all'asse del foro).***
- Può essere applicata se nota una direzione principale (ad esempio quella verticale).***
- A volte è difficoltoso trovare un tratto lungo almeno 1 m privo di fratture preesistenti.***
- A volte è difficile misurare correttamente la pressione dell'acqua nella camera di misura e conseguentemente avere misure corrette della breakdown pressure (P_c) e della Shut-in pressure (P_f).***
- Non sempre è nota una direzione principale***
- La prova viene interpretata ipotizzando che la roccia sia impermeabile (porosità primaria trascurabile) e che il comportamento della roccia sia perfettamente elastico.***



FRATTURAZIONE IDRAULICA

Se ripetiamo la misura dello stato di tensione in un ammasso roccioso otterremmo delle misure caratterizzate da una certa variabilità. Convenzionalmente la misura viene rappresentata attraverso il suo valore medio e la deviazione standard che ne rappresenta la variabilità.

Nel caso dello stato tensionale che al valore delle tensioni aggiunge le loro direzioni di azione, **NON** può essere applicata la media aritmetica se le direzioni di azione non sono le medesime.

Quindi, se il risultato delle varie misure è riportato in termini di tensioni principali, è necessario determinare il tensore rispetto ad un sistema di riferimento comune. Rispetto a tale sistema di riferimento è possibile calcolare il valore medio di ciascuna delle 6 componenti di tensione e, quindi, calcolare il valore e le direzioni “medie” delle tensioni principali.

