

4. Apparecchiature di laboratorio

Nel presente capitolo si illustrerà l'apparecchiatura utilizzata nella campagna sperimentale, con particolare cura nella descrizione degli strumenti di misura.

I due consolidometro del diametro di 75mm, sono stati progettati e realizzati appositamente per questa ricerca. Essi sono controllati da un computer per quanto riguarda sia l'acquisizione dei dati sia l'applicazione del carico. Quest'ultimo è fornito da un pistone ad aria compressa. Le deformazioni assiali vengono misurate da un trasduttore di spostamento digitale.

In aggiunta ai consolidometro è stata realizzata una nuova cella triassiali di tipo Bishop&Wesley, al contempo sono state applicate delle modifiche al sistema di drenaggio di una cella già presente in laboratorio per eliminare alcune perdite, tramite l'assemblaggio di nuovi raccordi e tecniche di tenuta. Entrambe le celle sono equipaggiate con trasduttori di spostamento sia esterni che locali, trasduttori di pressione per la misura della pressione dei pori e di cella, una sonda piezometrica posizionata al centro del provino (mid-height probe) e di una cella di carico interna. Il raggiungimento di limitate incertezze dovute alle misure rendono i risultati delle prove altamente affidabili.

La presenza di due celle triassiali ha reso possibile il dedicare ciascuna delle due apparecchiature alle prove con un solo liquido dei pori. I circuiti di drenaggio di una cella sono stati quindi dedicati all'acqua distillata, mentre quelli dell'altra cella alla soluzione satura di NaCl. Più avanti si vedrà cosa ha comportato in termini di procedure e realizzazione dei circuiti.

4.1. Consolidometro

Per la realizzazione dei provini da sottoporre alle prove triassiali, che come si è illustrato in precedenza sono ricostituiti e risedimentati, si è vista la necessità di realizzare dapprima uno e poi due consolidometro. Essi sono costituiti da un telaio di carico su cui è montato un pistone ad aria compressa della Bellofram, in grado di fornire un carico assiale pari a 1.3kN. La cella del consolidometro, in cui viene inserito il materiale o ricostituito o direttamente da risedimentare è formata da un cilindro in acciaio inox (resistente anche all'ambiente salino) da una base e da una testa di carico entrambe fornite di fori di drenaggio. Gli spostamenti verticali sono misurati

attraverso un trasduttore di spostamento montato sull'asta di carico del pistone ({ REF _Ref194984757 \h }).



Fig. { STYLEREF 1 \s }, { SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } Consolidometro e impianto di pressioni

In { REF _Ref194984705 \h } è illustrato lo schema costitutivo del consolidometro.

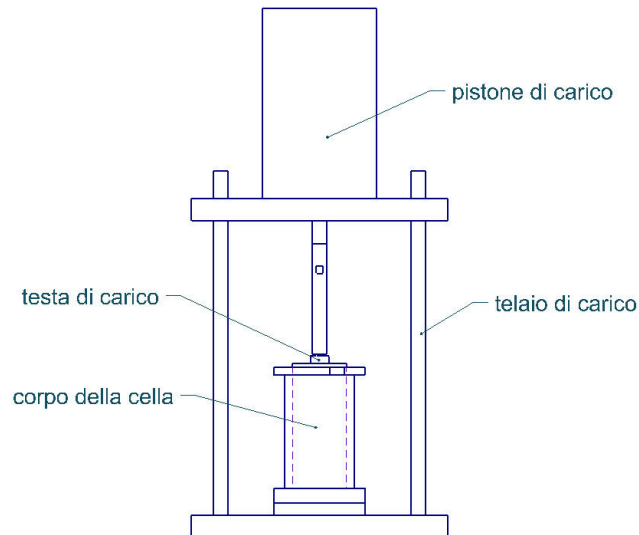


Fig. { STYLEREF 1 \s },{ SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } Schema consolidometro

4.2. Cella triassiale Bishop&Wesley

4.2.1. Struttura generale

Le celle triassiali Bishop&Wesley utilizzate per la ricerca sono di tipo standard e atte a condurre prove su provini di 38mm di diametro e 76mm di altezza.

La pressione interstiziale e quella di cella applicabili ammontano a 750 kPa e sono fornite da due interfacce aria/acqua. Il carico assiale è fornito o da un'altra interfaccia identica alle precedenti (per agire in controllo di carico) o da una pompa ad alte pressioni (per operare in controllo di deformazioni) che può raggiungere il valore di 7MPa e 15MPa per le celle adibite rispettivamente all'acqua distillata e alla soluzione satura di NaCl.

I trasduttori digitali connessi alla cella sono in grado di rilevare le deformazioni assiali e volumetriche, come pure le pressioni applicate.

{ SHAPE * MERGEFORMAT }Fig. { STYLEREF 1 \s },{ SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } **Struttura della cella triassiali**

La cella è equipaggiata con tre trasduttori di pressione, uno di carico, due di spostamento (di cui uno collegato al dispositivo che misura le variazioni di volume del provino –volumometro-) e due di spostamento locale (inclinometri).

In { REF _Ref194911914 \h } sono illustrate le componenti delle celle triassiali e delle apparecchiature connesse ad essa.

4.2.2. Automazione: Programma per controllo computerizzato (TRIAx)

Il controllo dell'apparecchiatura è assicurato da un elaboratore che può gestire le varie fasi della prova, tranne l'imposizione del carico verticale.

Mediante l'utilizzo del programma TRIAX, illustrato più avanti, il calcolatore:

- acquisisce ed archivia i dati registrati dai trasduttori di pressione, spostamento, carico, variazione di volume e temperatura attraverso una centralina con convertitore A/D con 16 canali di lettura;
- gestisce i motori passo-passo che regolano la variazione delle pressioni, all'interno del provino (box 1-BACK) nella cella (box 2-CELL) e nel pistone di carico (box3-RAM);
- gestisce inoltre il b0x4 di controllo per la pompa ad alte pressioni
- programma la successione e la tipologia dei percorsi di carico durante le prove.

Il programma utilizzato per il controllo automatico delle apparecchiature è stato sviluppato dal dott. David G. Toll del Geotechnical System Group of University of Durham,. È scritto in linguaggio BBC-BASIC compatibile col sistema operativo DOS.

Il sistema di controllo comprende un computer, un convertitore analogico/digitale (A/D) e due tipologie di meccanismi di controllo: valvole ad aria compressa e pompa in controllo di deformazioni (Constant Rate of Strain Pump). I controlli sono regolati da una scheda digitale I/O.

Tramite il convertitore A/D è possibile gestire 16 canali, e così altrettanti trasduttori, registrando la lettura dei valori assunti durante l'esecuzione delle prove, ad intervalli di tempo decisi dall'operatore. Per ciascun trasduttore è possibile effettuare una calibrazione ed una regressione fino al 4° ordine.

I regolatori dell'aria compressa sono dei motorini passo-passo che controllano la variazione di aria compressa in un range di 4÷750kPa. La CRSP è anch'essa governata da un motore passo-passo. Questa può raggiungere i 7MPa di pressione, nel caso della pompa montata sulla cella utilizzata per le prove con acqua distillata e i 15MPa per le altre.

Di grande utilità è l'opportunità che offre il software TRIAX di programmare le varie fasi della prova. L'operatore può decidere a priori la successione di tali stages, è sufficiente inserire adeguate condizioni che una volta soddisfatte consentono il passaggio al percorso di carico seguente. E' inoltre possibile l'inserimento di vincoli, che bloccano automaticamente l'esecuzione della prova in caso di condizioni pericolose per il funzionamento dell'apparecchiatura stessa o per la buona riuscita della prova.. Le istruzioni presenti negli stages agiscono direttamente sui controlli di pressione interstiziale, di cella, della RAM e della CRSP e di conseguenza indirettamente sui valori di pressione e deformazione, delle variabili triassiali in genere.

Nella { REF _Ref194839790 \h * MERGEFORMAT } viene riportato un esempio di programmazione per la fase di consolidazione isotropa, facendo riferimento alla relativa schermata del programma.

STAGE 1				
Stage description: ISOTROPIC CONSOLIDATION (1)				
No trigger for stage 1 (2)				
Box (3)	1	2	3	4
Status	ON	ON	OFF	OFF
Control equation	back	cell'	Undefined	Undefined
Hold value	370	current		
Tolerance	0,5	0,5	0,5	0,5
Increment	0	100	0	0
Maximum pulses	50	100	10	10
(4)	Condition	Action		
Alarm 1	cell' >= 240	CONT 14		
Alarm 2	Undefined	Undefined		
Alarm 3	Undefined	Undefined		
Alarm 4	Undefined	Undefined		
Alarm 5	Undefined	Undefined		
Alarm 6	Undefined	Undefined		
Alarm 7	Undefined	Undefined		

Fig. { STYLEREF 1 \s }.{ SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } Esempio di stage per l'esecuzione di un percorso di consolidazione isotropa

- (1) Titolo identificativo dello stage
- (2) Condizioni iniziali, eventualmente indicate nello stage precedente
- (3) Il termine *box* fa riferimento ad un determinato sistema di controllo. In questo stage vengono utilizzati i primi due, riguardanti rispettivamente la pressione interna e la pressione di cella 'efficace', regolate tramite il volumetro e il regolatore di pressione. Di seguito verranno illustrati i significati delle varie voci presenti nello schema.
 - Status: ON oppure OFF per attivare o disattivare il controllo
 - Control equation: equazione o variabile che governa il sistema
 - Hold value: valore iniziale dell'equazione di controllo

- Tolerance: tolleranza del trasduttore che registra i dati (in questo caso, trattandosi di un trasduttore di pressione, è pari a 0,5 kPa)
- Increment: entità oraria con cui incrementare (o diminuire antepoendo il segno '-') il valore dell'equazione di controllo. Nell'esempio ammonta a 0 e a 100 kPa/h rispettivamente per il box 1 e per il box 2
- Maximum pulses: pulsazioni massime che la centralina deve inviare agli strumenti di regolamentazione

(4) Sulla base della condizione impostata (nell'esempio quando la pressione efficace raggiunge i 240 kPa) il programma compie un'operazione: interrompere la prova (STOP), passare ad un altro stage (CONT #stage), o rimanere in attesa (WAIT)

4.2.3. Impianto di pressioni

L'impianto di alimentazione dell'aria compressa, equipaggiato di un compressore, è in grado di fornire un range di pressioni di 4-750 kPa. L'aria compressa, regolata mediante valvole Smith&Watson, viene poi distribuita alle varie interfacce per regolare la pressione di cella, dei pori e del pistone di carico.

4.2.4. Pompa a mano

Il riempimento del volumometro e delle interfacce con l'acqua deareata avviene con l'aiuto di una pompa a mano di Bishop.

4.2.5. Constant Rate of Strain Pump (CRSP)

Il carico assiale è fornito da una pompa in controllo di deformazioni che può raggiungere, in breve tempo e a velocità di deformazione costante, fino a 7 MPa (o 15MPa) di pressione. L'aumento di pressione è dovuto all'avvitamento di un pistone nel cilindro cavo, aperto su una sola base, che comprime l'acqua in esso contenuta. La velocità di avanzamento del pistone è guidata o dal motore passo-passo (box 4) o manualmente tramite un comando elettrico.

4.2.6. Fluido nei pori e sistema di drenaggio

Al fine di ottenere un valore di variazione di volume esatto si deve adoperare una soluzione nei pori deareata; eliminando l'aria al suo interno si ottiene, infatti, un fluido pressoché incompressibile.

L'acqua deaerata è stata ottenuta direttamente in laboratorio tramite un Nold DeAerator, un strumento in grado di rimuovere, tramite l'agitazione del fluido da deaerare e l'applicazione del vuoto, tutta l'aria disciolta nel fluido stesso. In questo modo le particelle d'aria vengono aspirate più facilmente. Una volta ottenuto un fluido privo di aria, questo viene introdotto nel circuito di drenaggio della cella triassiali, volumometro e pompa di Bishop compresi, prestando attenzione al fatto che non rientri in contatto con l'atmosfera.

4.2.7. *Trasduttori per la misura delle tensioni*

4.2.7.1. *Cella di carico*

Il trasduttore di carico, "Imperial College Load Cell", ha una portata di 1350 kN e risoluzione di 1 N. Può essere posizionato all'interno della cella, garantendo la misura corretta del carico applicato al provino, escludendo eventuali errori dati dall'attrito tra asta del trasduttore e struttura della cella.

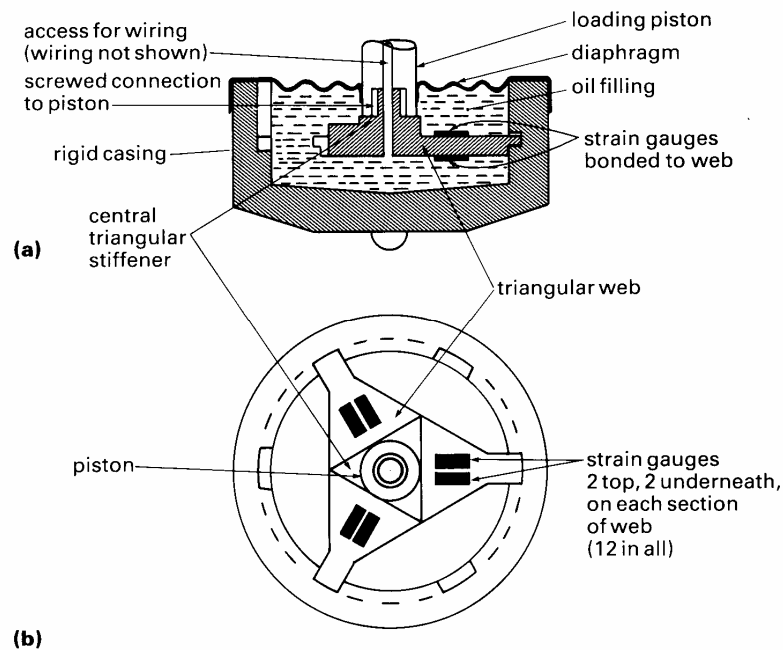


Fig. { STYLeref 1 \s }.{ SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } Cella di carico sommersibile: (a) sezione, (b) pianta (Head, 1984)

4.2.7.2. *Trasduttori di pressione*

La pressione di cella e la back pressure sono state misurate grazie a due trasduttori di pressione della ditta Keller con capacità di 10 bar e risoluzione di 0.5 kPa.

4.2.7.3. Mid-height probe

In { REF_Ref194984909 \h } è indicato lo schema per l'installazione della sonda piezometrica al centro del provino.

In the central zone of the sample stress conditions are quite uniform and the use of a mid-height probe positioned consent the measure of the pore pressure.

In drained triaxial tests, the shearing rate has to be selected to ensure selected to ensure that pore pressure non-uniformities have equalized throughout the height of the sample. Making use of a piezometer probe positioned at mid-height of the sample it's possible to determine the excess pore pressure (as difference between the pore pressure measured at the bases and at the centre of the sample) and to conduct the test limiting this value, for assure the uniformity of the stresses in the sample.

Piezometer probes positioned at mid-height were first used for the measurement of pore pressures in triaxial tests on soil by Taylor (1944).

A technique has evolved at Imperial College of Science and Technology for installing a piezometer probe on samples down to 38mm in diameter. The probe is based on a miniature silicon diaphragm pressure transducer which is mounted with its porous ceramic face flush with the cylindrical surface of the sample at mid-height.

The miniature silicon diaphragm pressure transducer with integral semiconductor strain gauge bridge has been described by Bertioli (1979). Pressure transducers of this type have been used for pore pressure measurement in centrifuge testing (Hird, Marsland & Schofield, 1978).

For use as a piezometer probe in triaxial testing, the transducer offers the advantages of small overall size and weight which enable it to be placed, without additional support, directly on the side of the sample very low volume factor high output which reduces loss of resolution in high speed logging lack of hysteresis, making it suitable for measurements of cyclic pore pressure changes.

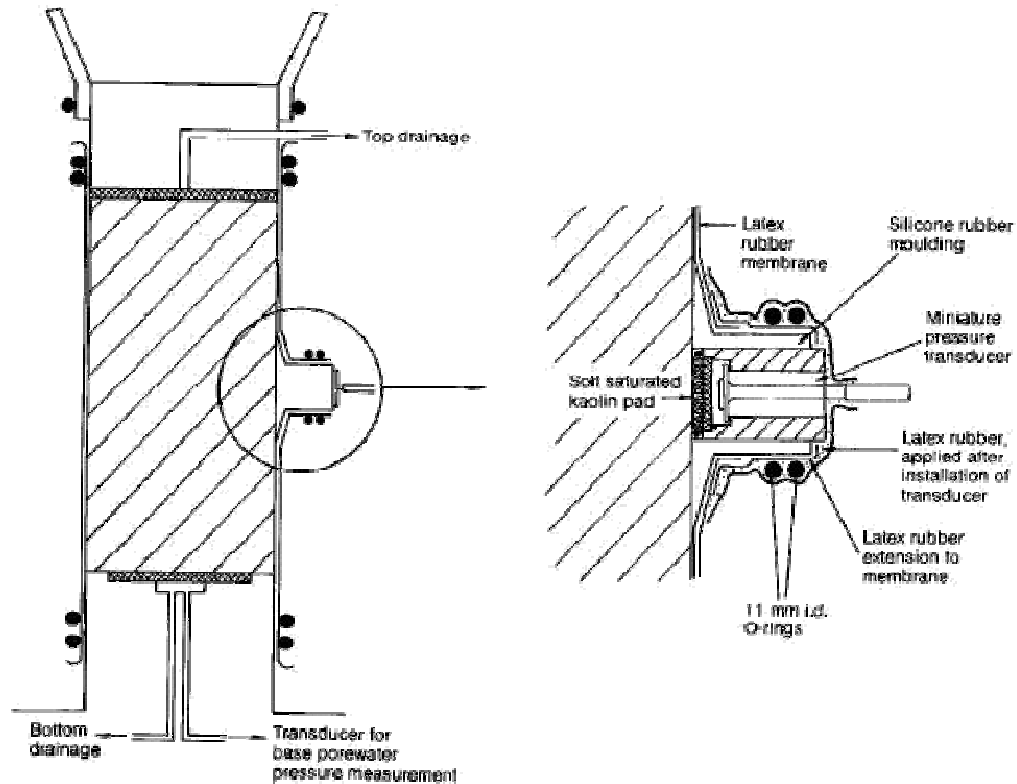


Fig. { STYLeref 1 \s }.{ SEQ Fig.* ARABIC \s 1 } Dettagli sulla collocazione della sonda piezometrica (Hight, 1982)

4.2.8. Trasduttori per la misura delle deformazioni

4.2.8.1. Trasduttori di spostamento assiali LDVT

I trasduttori di spostamento sono di tipo resistivo, noti come “Displacement Transducer”, con capacità 0-25 mm e risoluzione 0.005 mm. Uno misura le deformazioni assiali, l’altro, indirettamente, le deformazioni volumetriche, essendo applicato al volumometro.

4.2.8.2. Inclinatori

I due trasduttori di spostamento locale vanno sistemati sulla superficie laterale del campione in posizione diametralmente opposta. I movimenti locali vengono misurati con un’accuratezza di 2 μ m. I vantaggi offerti da questa tipologia di trasduttore permettono di:

- lavorare in acqua sotto pressione;

- mantenere l'allineamento durante il test;
- registrare anche dopo la rottura del provino.

Lo schema di funzionamento è rappresentato nella { REF_Ref194982371 \h * MERGEFORMAT }. Una descrizione completa è data da Burland e Symes (1982). La variazione di inclinazione $\Delta\theta$, da cui si ricava lo spostamento Δh , viene dedotta da un cambiamento della resistenza elettrica degli strain gauges immersi nel liquido elettrolitico.

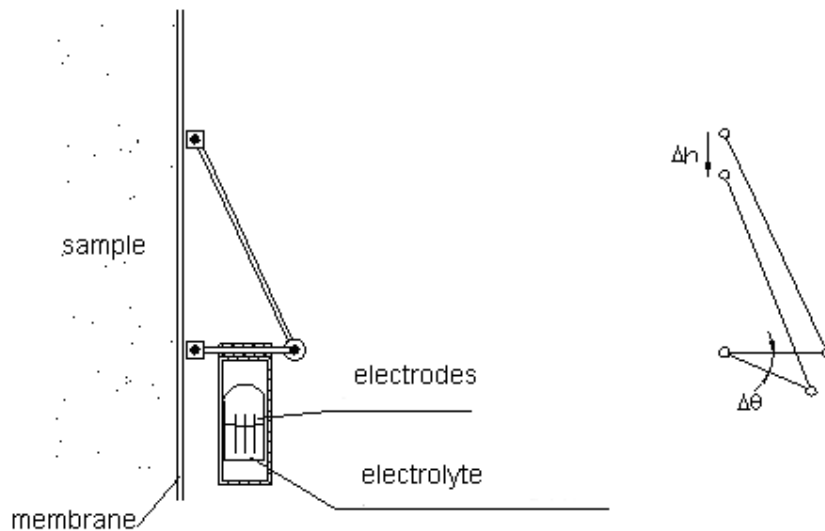


Fig. { STYLEREF 1 \s }-{ SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } Schema funzionale degli inclinometri

In { REF_Ref194982871 \h } è possibile comprendere meglio la disposizione degli inclinometri rispetto al provino. È altresì chiaro come questi trasduttori siano in grado di determinare le deformazioni della parte centrale del provino, non essendo affetti dai disturbi che si possono avere in corrispondenza delle basi. Nei percorsi di carico di taglio però, i valori sono inficiati dal fatto che il provino tende a dilatare orizzontalmente in maniera rilevante al centro.

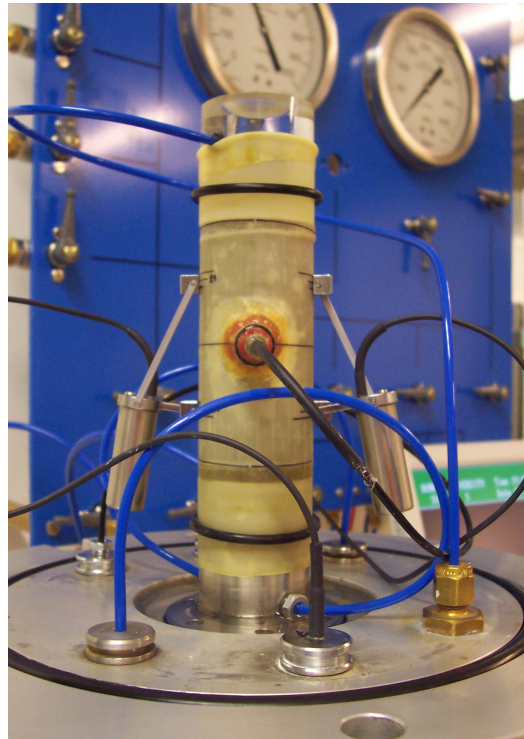


Fig. { STYLEREF 1 \s }.{ SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } Posizionamento della mid-height-probe e degli inclinometri sul provino

4.2.8.3. Volumometro

La misura delle deformazioni volumetriche è affidata a un'apparecchio di misura con caratteristiche analoghe alle interfacce viste in precedenza, nella quale aria e acqua sono ancora separate da una membrana in Bellofram è controllata dal box 1. Tale interfaccia è collegata alla base del provino e tramite un trasduttore, misura la variazione di volume d'acqua all'interno di quest'ultimo; poiché si fa uso di acqua completamente deareata, la misura di tale differenza corrisponde alla variazione totale di volume del provino. Il volumometro è altresì necessario per regolare la pressione nei pori (back pressure). Il valore massimo di pressione che può raggiungere il volumometro è di 3000kPa, ma con il presente impianto di pressioni si può regolare la pressione fino a 750kPa. La risoluzione è, invece, 0.001 cc.

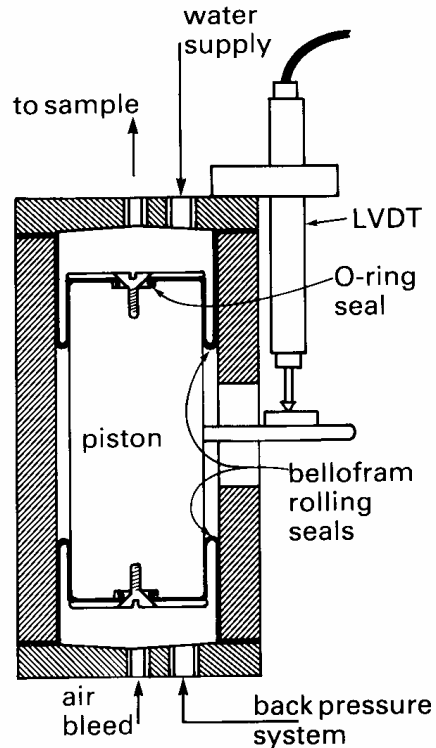


Fig. { STYLEREF 1 \s }.{ SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } Volumetro, Imperial College type (Head, 1984)

4.2.9. Calibrazione e tolleranza dei trasduttori

Tutti i trasduttori impiegati per la rilevazione di forze, pressioni, spostamento e variazione di volume sono di tipo resistivo e basano il loro principio di funzionamento su “strain gauges”. Essi correlano la variazione della grandezza da misurare con l’inflessione di una piccola struttura d’acciaio: mensola nel caso dei trasduttori di spostamento e di carico, piastra circolare incastrata elasticamente in quello dei trasduttori di pressione.

Occorre compiere una calibrazione dei trasduttori al fine di ricercare la legge che lega la differenza di potenziale ai capi degli strain gauges e la grandezza ingegneristica corrispondente. Una successiva regressione permette la determinazione dei coefficienti di tale legge.

Il programma TRIAX è in grado di registrare i dati della calibrazione durante l’esecuzione manuale della stessa e di procedere poi con la regressione delle variabili. Una volta ottenute le curve di regressioni ottimali i parametri che le caratterizzano vengono inseriti automaticamente nel sistema di lettura dei dati provenienti dai trasduttori.

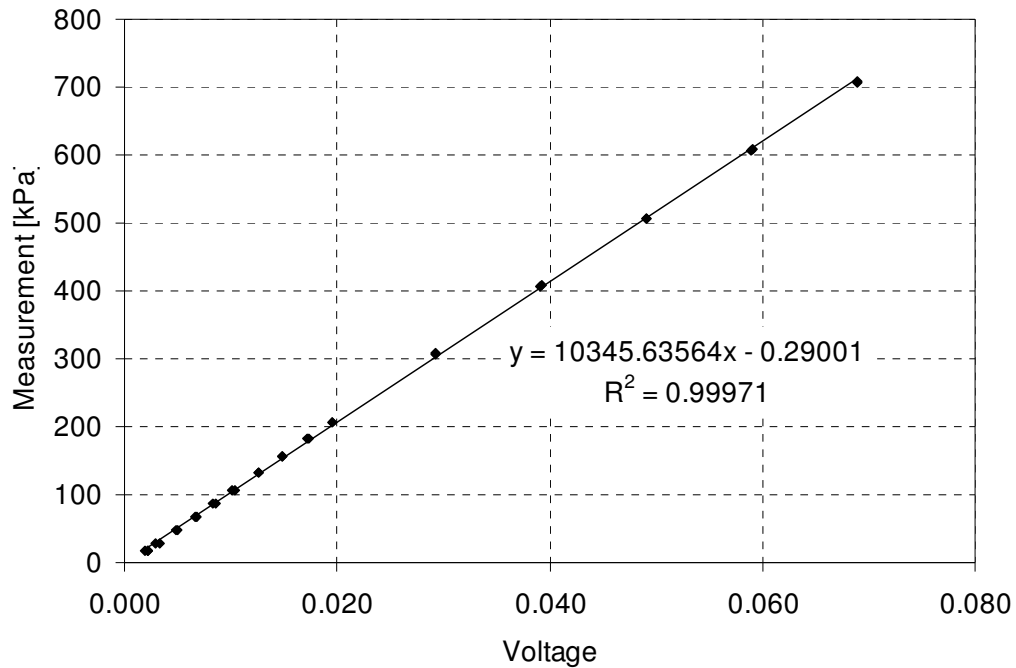


Fig. { STYLEREf 1 \s },{ SEQ Fig. * ARABIC \s 1 } Calibrazione trasduttori di pressione

I trasduttori di pressione subiscono un processo molto accurato presso la ditta produttrice, ma si è deciso di procedere saltuariamente ad una verifica, calibrandoli con un -DH Budenberg, un dead weight tester. Esso determina la pressione agente sul trasduttore imponendo su di esso un carico dato da pesi morti pesati con elevata precisione.

Nella { REF _Ref194984014 \h } è indicata la calibrazione per un trasduttore di pressione da 10bar.

La calibrazione delle mid-height-probe ha seguito lo stesso procedimento adottato per i trasduttori di pressione che misurano la pressione di cella e la back pressure ({ REF _Ref194984426 \h }).

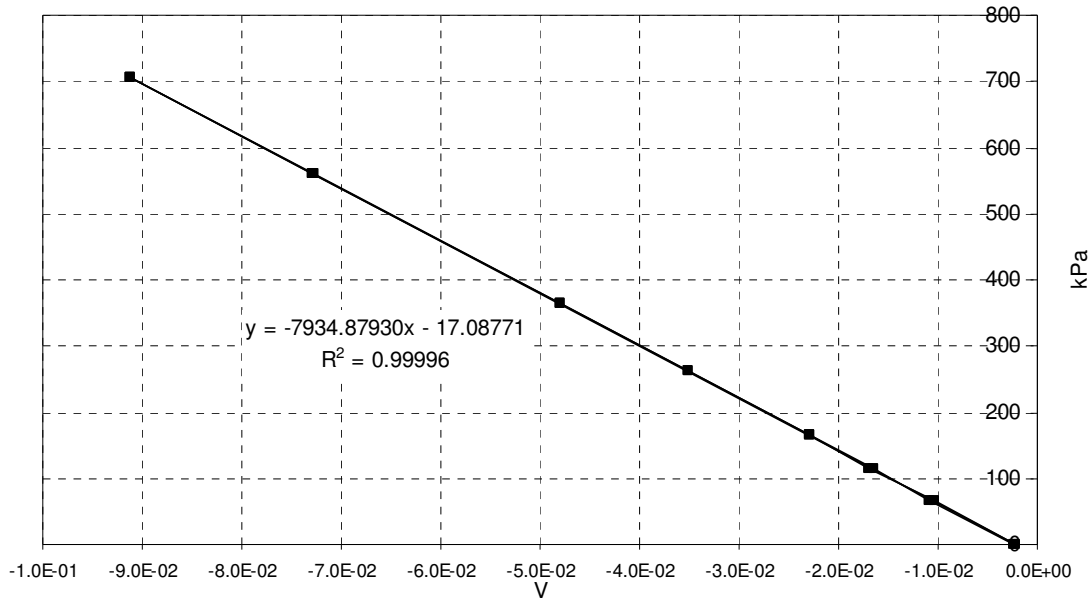


Fig. { STYLEREF 1 \s },{ SEQ Fig.* ARABIC \s 1 } Calibrazione e regressione della mid-height probe

La calibrazione della cella di carico è stata eseguita, applicando sull'asta della stessa, incrementi successivi di carico, fino ad un peso di circa 900 N. Si è proceduto quindi con una regressione lineare ({ REF_Ref52083137 \h * MERGEFORMAT }).

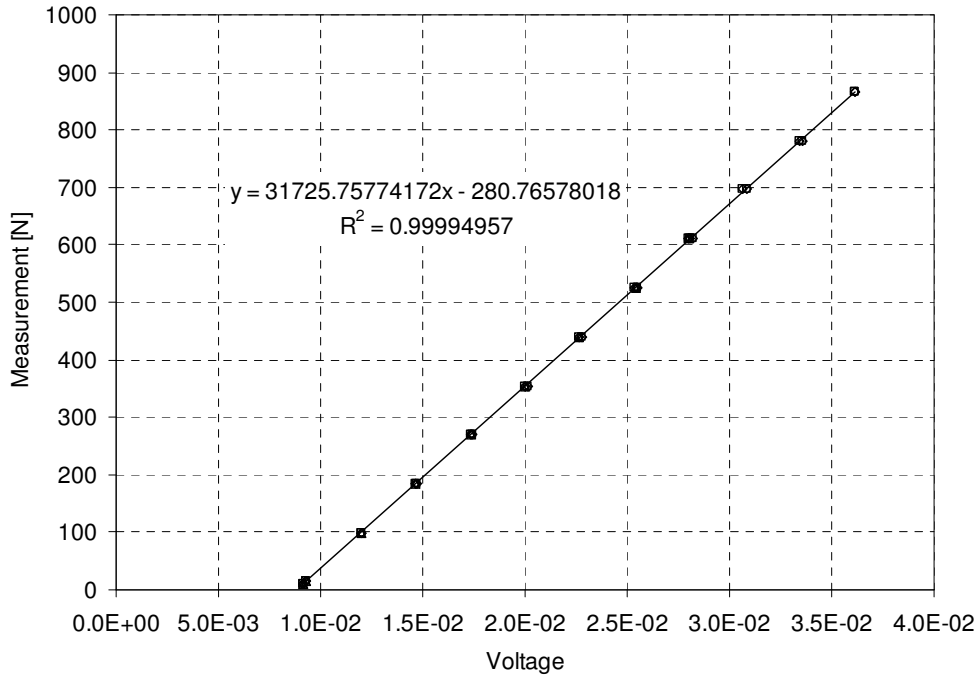


Fig. { STYLEREF 1 \s },{ SEQ Fig.* ARABIC \s 1 } Calibrazione e regressione della cella di carico da 1300N

I trasduttori di spostamento sono stati calibrati procedendo con un numero rilevante di misure, tramite un micrometro di precisione di range 0-50 mm e tolleranza 0.005 mm. Si è resa poi necessaria una regressione lineare ({ REF _Ref50355640 \h * MERGEFORMAT }).

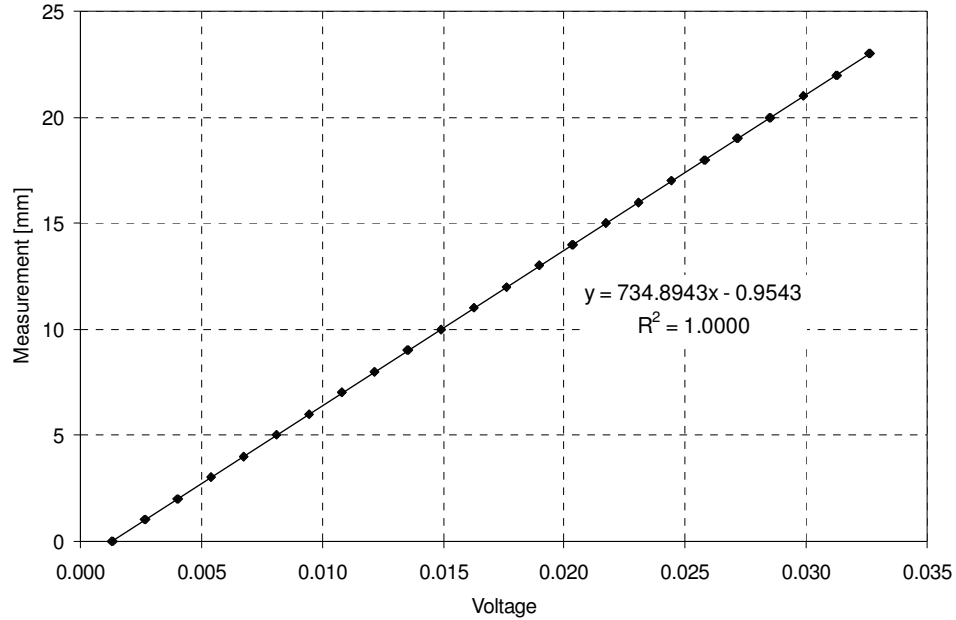


Fig. { STYLEREF 1 \s },{ SEQ Fig.* ARABIC \s 1 } Calibrazione e regressione dei trasduttori di spostamento

Anche per i trasduttori di spostamento locale si è proceduto utilizzando il micrometro di precisione ed un'accurata serie di quaranta rilevazioni. La regressione che meglio ha interpolato i dati è stata del 4° ordine ({ REF _Ref50360894 \h * MERGEFORMAT } e { REF _Ref50360933 \h * MERGEFORMAT }). Questa ha un andamento lineare nel range di valori corrisponde ad un'apertura dei bracci degli inclinometri pari a 40 ± 3.5 mm. In questo intervallo la lettura dei dati risulta più precisa, da cui si deduce che la posizione ottimale degli inclinometri sul provino corrisponde ad un'apertura dei bracci degli stessi di circa 43 mm.

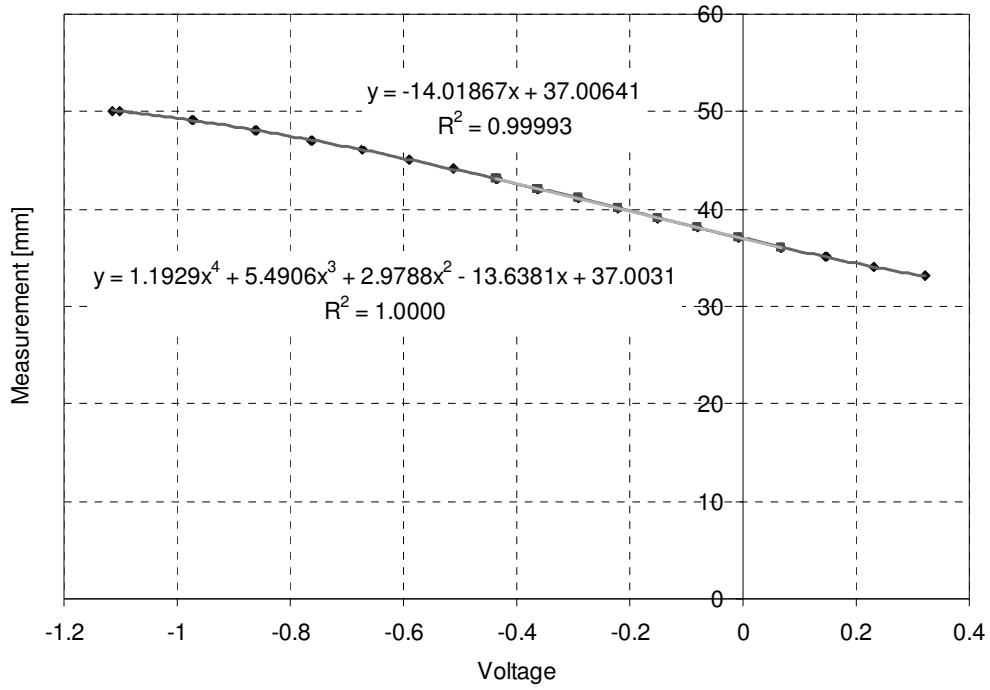


Fig. { STYLEREF 1 \s }.{ SEQ Fig.* ARABIC \s 1 } Calibrazione e regressione dell'inclinometro 7

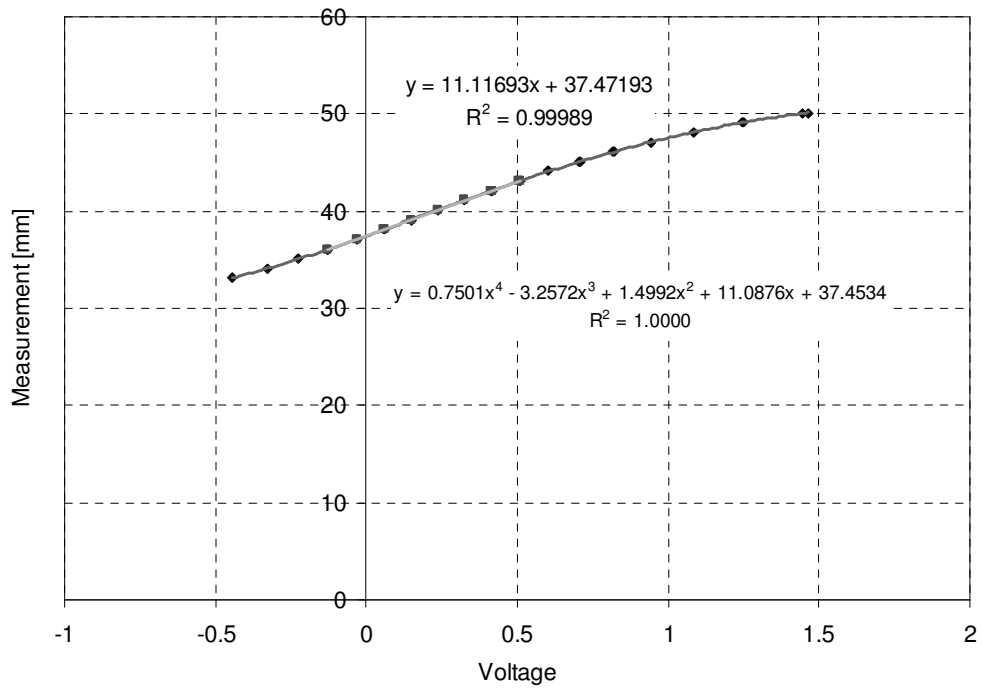


Fig. { STYLEREF 1 \s },{ SEQ Fig.* ARABIC \s 1 } Calibrazione e regressione dell'inclinometro 8

Il volumometro era già stato calibrato, ma per sicurezza è stata effettuata una semplice verifica. Si è scollegato lo strumento dal circuito idraulico e, una volta messo in comunicazione con una buretta graduata, si è controllato che ci fosse un effettivo riscontro tra i volumi d'acqua realmente fuoriusciti e quelli registrati dall'elaboratore. Questa operazione ha dato esito positivo come si può notare dal grafico di { REF _Ref50360841 \h * MERGEFORMAT }.

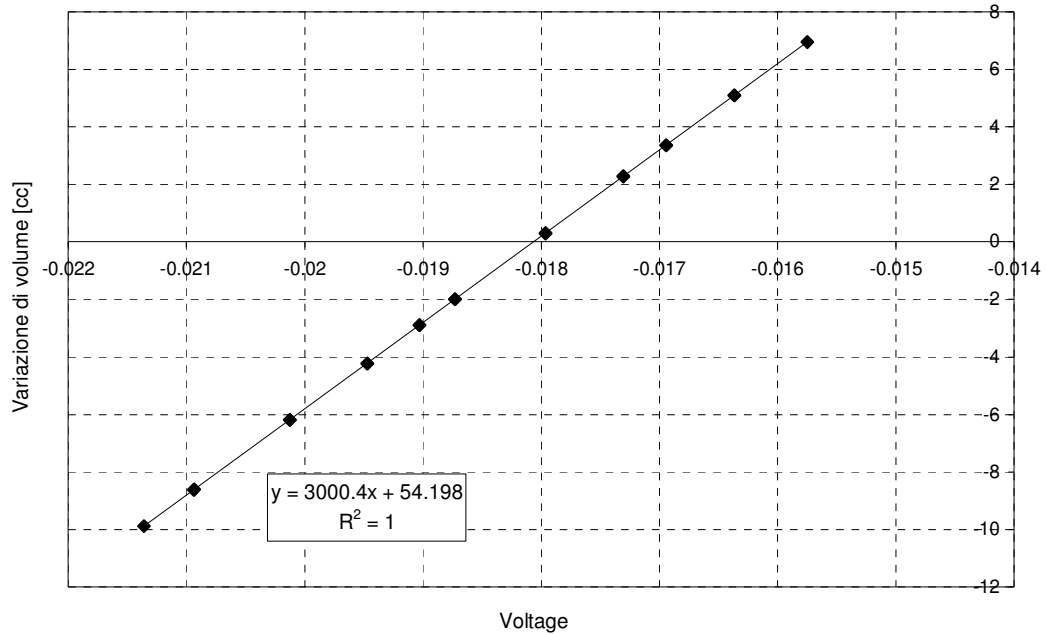


Fig. { STYLEREF 1 \s },{ SEQ Fig.* ARABIC \s 1 } Calibrazione e regressione del volumometro

