
Celle di pressione totale ***Stress cells***

Manuale d'uso/*Instruction manual*

(03/03, Rev.1, L141D-S, L143LD-S, L111, L112)

Le informazioni contenute di seguito sono di proprietà di SISGEO S.r.l. Questo documento è soggetto a cambiamenti senza necessità di notifica ed è soggetto a restituzione su richiesta. Nessuna parte di questo manuale di istruzione può essere riprodotto in nessuna forma senza il permesso scritto di SISGEO S.r.l.

The information contained herein is proprietary to SISGEO S.r.l. This document is subject to change without notification and is subject to return upon request. No part of this instruction manual may be reproduced in any form without written permission of SISGEO S.r.l.

Redatto da / <i>Written by</i>	Approvato DTE / <i>Revised by</i>
	

1. INTRODUZIONE 1-1

2. DESCRIZIONE DEGLI STRUMENTI

CELLE DI PRESSIONE TOTALE..... 2-1

SISTEMA DI MISURA..... 2-1

Trasduttore di pressione elettrico per
misure remote..... 2-2

– Trasduttore in corrente 4-20mA..... 2-3

– Trasduttore a corda vibrante..... 2-3

Sensore di pressione elettrico per misure
locali..... 2-4

VALVOLA DI RIPRESSURIZZAZIONE..... 2-4

3. MODALITA' D'INSTALLAZIONE

INSTALLAZIONE IN TERRENI SCIOLTI,
RILEVATI DIGA E SOTTOFONDAZIONI... 3-1

Modalità d'installazione..... 3-1

Terreno non uniforme, installazione
orizzontale..... 3-1

Terreno uniforme, installazione
orizzontale..... 3-1

Installazione verticale..... 3-1

Raccomandazioni particolari per la
stesura cavi..... 3-5

INSTALLAZIONE IN ROCCIA E AL
CONTATTO ROCCIA-RIVESTIMENTO IN
GALLERIA..... 3-5

Modalità d'installazione..... 3-5

Installazione cella..... 3-5

Raccomandazioni particolari per la
stesura cavi..... 3-7

INSTALLAZIONE ENTRO IL
CALCESTRUZZO..... 3-7

Installazione cella..... 3-7

Installazione dei tubi idraulici e dei punti
di misura..... 3-8

Ripressurizzazione della cella..... 3-8

Riempimento della pompa di
ripresurizzazione..... 3-9

STESURA CAVI..... 3-10

CABLAGGIO CAVI..... 3-12

4. ESECUZIONE DELLE MISURE

MISURE MANUALI..... 4-1

Trasduttore di pressione elettrico per
misure remote..... 4-1

– Trasduttore di pressione ceramico 4-20

1. INTRODUCTION 1-1

2. INSTRUMENTS DESCRIPTION

STRESS CELLS..... 2-1

MEASURING SYSTEM..... 2-1

Electric pressure transducer for remote
reading..... 2-2

– 4-20 mA transducer..... 2-3

– Vibrating wire transducer..... 2-3

Electric pressure sensor for local
measure..... 2-3

RIPRESSURING VALVE..... 2-4

3. INSTALLATION PROCEDURE

LOOSE SOIL, DAMS EMBANKMENT AND
UNDER FOUNDATION INSTALLATION.... 3-1

Installation procedure..... 3-1

Horizontal installation in non uniform
grain size soil..... 3-1

Horizontal installation in uniform grain
size soil..... 3-1

Vertical installation..... 3-1

Specific remarks for cable
installation..... 3-5

INSTALLATION IN ROCK AND AT THE
INTERFACE ROCK-LINING IN TUNNEL... 3-5

Installation procedure..... 3-5

Pressure pad installation..... 3-5

Specific remarks for cables
installation..... 3-7

INSTALLATION IN CONCRETE..... 3-7

Pressure pad installation..... 3-7

Installation of the hydraulic line and of
the measuring point..... 3-8

Repressurization procedure..... 3-8

Refilling pressure pump 3-9

CABLES INSTALLATION..... 3-10

CABLES WIRING..... 3-12

4. TAKING MEASUREMENTS

MANUAL READING..... 4-1

Electric pressure transducer for remote
reading..... 4-1

– Ceramic 4-20 mA pressure
transducer..... 4-1

– Vibrating wire transducer..... 4-1

mA..... 4-1

– Trasduttore a corda vibrante..... 4-1

 Sensore di pressione elettrico per misure locali..... 4-2

MISURE AUTOMATICHE..... 4-2

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

 Sensore di pressione elettrico per misure locali..... 5-1

 Trasduttore di pressione elettrico per misure remote..... 5-1

– Trasduttore di pressione ceramico 4-20mA..... 5-2

– Trasduttore a corda vibrante..... 5-5

TARATURA IN SITO..... 5-6

CORREZIONI BAROMETRICHE..... 5-9

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE..... 5-9

6. ACCESSORI E RICAMBI
.....6-1

7. MANUTENZIONE

 SERVIZIO E RIPARAZIONE..... 7-1

 Spedizione..... 7-1

8. APPENDICI

 1. CONVENZIONE CABLAGGIO CAVI ELETTRICI..... 8-1

 2. CONVERSIONE RESISTENZA TEMPERATURA..... 8-2

 3. MODULO RILEVAMENTO DATI CELLE DI PRESSIONE TOTALE..... 8-3

 4. MODULO RILEVAMENTO DATI CELLE DI PRESSIONE PER MISURE LOCALI..... 8-4

 5. SCHEMA DI INSTALLAZIONE DELLA CELLA DI PRESSIONE IN TERRENO..... 8-5

 6. SCHEMA DI INSTALLAZIONE DELLA CELLA DI PRESSIONE IN GALLERIA..... 8-6

Electric pressure sensor for local measuring..... 4-2

AUTOMATIC READING..... 4-2

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

Electric pressure sensor for local reading..... 5-1

Electric pressure transducer for remote reading..... 5-1

– *4-20 mA ceramic pressure transducer*..... 5-2

– *Vibrating wire pressure transducer*... 5-5

IN PLACE CALIBRATION..... 5-6

BAROMETRIC CORRECTION..... 5-9

DATA INTERPRETATION..... 5-9

6. ACCESSORIES AND SPARES
.....6-1

7. MAINTENANCE

SERVICE AND REPAIR..... 7-1

Shipment..... 7-1

8. APPENDIXES

 1. *WIRING CODE*..... 8-1

 2. *THERMISTOR TEMPERATURE CONVERSION*..... 8-2

 3. *STRESS CELLS READING FORM*..... 8-3

 4. *LOCAL MEASURING STRESS CELLS READING FORM*.....8-4

 5. *INSTALLATION SCHEME FOR EARTH PRESSURE CELL*.....8-5

 6. *INSTALLATION SCHEME FOR TUNNEL PRESSURE CELL*..... 8-6

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

CHAPTER 1: INTRODUCTION

Le celle di pressione totale (fig.1.1) sono generalmente usate per il controllo della pressione totale nel terreno, nelle rocce, nel calcestruzzo al contatto tra il terreno e la struttura interna di rilevati e dighe ed al di sotto od in prossimità di fondazioni (fig. 1.2).

La cella di pressione totale consiste in un piatto, generalmente di forma rettangolare o circolare, riempito con olio disaerato e collegato ad un trasduttore di pressione elettrico o a corda vibrante mediante un tubo idraulico.

Le celle di pressione vengono installate all'interno del terreno oppure fissate alla superficie di contatto tra terreno e struttura. Un cavo elettrico collega il trasduttore di pressione all'unità di lettura.

Stress cells (fig. 1.1) are generally used to monitor total pressure in soil, rock, concrete at the contact between soil and the structure within earth embankment, dams and under foundations (fig. 1.2).

The stress cell consist of a deaerated oil filled pad connected to an electrical or vibrating wire pressure transducer by an hydraulic tube. The shape of the cell can be very different: square or rectangular for NATM practice, circular or rectangular for earth.

They are buried within soil or rock or embedded in concrete or fixed to the contact surface between soil and structure. An electric cable connect the transducer to the read out unit.



Fig. 1.1 – Celle di pressione per rocce e terreni

Fig. 1.1 – Earth and rock stress cells

Sisgeo produce celle per:

- il controllo delle **pressioni totali nel terreno** all'interno di rilevati, di dighe ed al di sotto od in prossimità di fondazioni;
- **roccia** per il rilievo degli sforzi in ammassi e pareti rocciose e per il controllo dello stato tensionale sul cavo di gallerie;
- **calcestruzzo** per il rilievo dello stato tensionale del rivestimento di gallerie in posizione radiale o tangenziale.

As far as Sisgeo products we have:

- stress cells for **total stress** measure in soil within embankment and under foundation;
- stress cells for **rock** and stress monitoring at the contact with concrete lining;
- stress cells for stress monitoring within **concrete** lining in radial and tangential position.

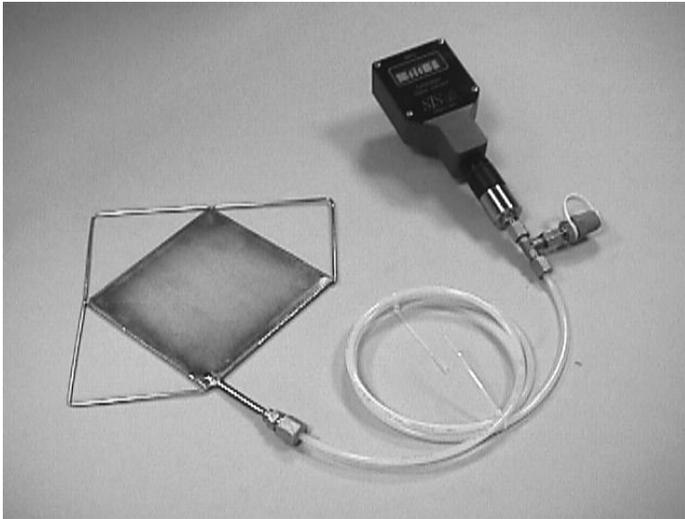


Fig. 1.2 – Cella di pressione per calcestruzzo

Fig. 1.2 – Concrete stress cell

CAPITOLO 2: DESCRIZIONE DEGLI STRUMENTI

CHAPTER 2: INSTRUMENTS DESCRIPTION

CELLE DI PRESSIONE TOTALE

La cella di pressione totale è composta dai seguenti elementi:

- piatto sensore;
- tubo idraulico di collegamento;
- trasduttore di pressione.

Per ottenere validi risultati la soluzione migliore sarebbe quella di progettare ogni volta il piatto sensore in funzione della specifica installazione. Tuttavia nella pratica sono state definite alcune forme standard.

In accordo con NATM (New Austrian Tunnelling Method) per misure in **calcestruzzo** vengono prodotti due tipi di piatti in acciaio zincato:

- rettangolare 100 x 200 mm (fig. 2.1);
- quadrato 150 x 150 mm.

Per applicazioni in **terreni** vengono prodotti tre tipi di piatti in acciaio inox:

- rotondo Ø 230 mm;
- rotondo Ø 500 mm (fig. 2.2);
- rettangolare 100 x 200 mm.

A richiesta è possibile costruire piatti sensore in qualsiasi dimensione e forma.

Il piatto sensore viene collegato al trasduttore di pressione mediante un tubo in acciaio della lunghezza di alcuni decimetri nel caso di applicazioni con **misura remota**, mentre per le gallerie, il trasduttore è generalmente posto all'interno della galleria stessa, collegato al piatto sensore mediante un tubetto in nylon della lunghezza necessaria per consentire la **misura locale** con centralina portatile.

SISTEMA DI MISURA

Sono disponibili i seguenti tipi di trasduttori di misura:

- trasduttore di pressione elettrico per misure remote;
- sensore di pressione elettrico per misure locali.

STRESS CELLS

Stress cell is composed by the following elements:

- *pressure pad;*
- *hydraulic tube;*
- *pressure transducer.*

To obtain valuable results the best solution should be to design every time the pressure pad according to the material specification. Nevertheless this turns as an utopistic possibility in the common practice.

Therefore some standard shape has been defined.

*Following NATM for **concrete** measurement we have two galvanized steel pads:*

- *rectangular 100 x 200 mm (fig. 2.1);*
- *square 150 x 150 mm.*

*For **earth** application we have:*

- *circular O.D. 230 mm;*
- *circular O.D. 500 mm (fig. 2.2);*
- *rectangular 100 x 200 mm.*

On request Sisgeo can built pad of any size and shape.

*The pad is connected to the pressure transducer by a steel tube (some decimeter long) and the electric cable allows **remote reading**. For tunnel monitoring, the transducer is not mounted on the pad and is connected by a nylon tube of the required lenght to allow **local measure**.*

MEASURING SYSTEM

The following measuring transducers are available:

- *electric pressure transducer for remote readings;*
- *electric pressure sensor for local measure.*

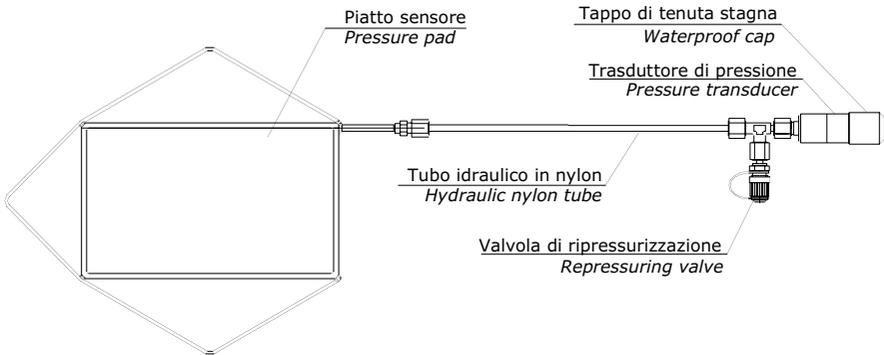


Fig. 2.1 – Componenti cella di pressione per calcestruzzo

Fig. 2.1 – Concrete stress cell components

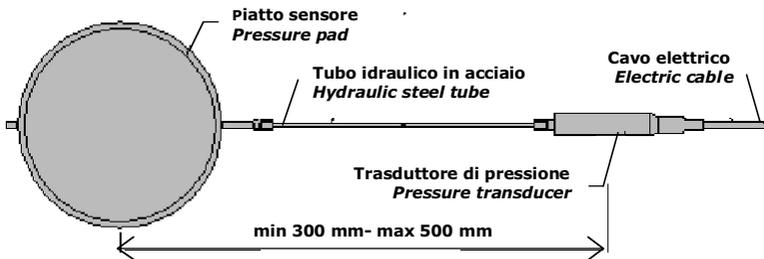


Fig. 2.2 – Componenti cella di pressione per terreni

Fig. 2.2 –Earth stress cell components

□ Trasduttore di pressione elettrico per misure remote

La pressione del terreno viene trasmessa all'olio di cui è riempita la cella e viene misurata rilevando, in modo elettrico, la deformazione del diaframma sensibilizzato che costituisce il trasduttore di pressione.

□ Electric pressure transducer for remote reading

The pressure is transmitted to the oil that fill the pad and cause the deflection of the instrumented diaphragm of the pressure transducer.

2. DESCRIZIONE DEGLI STRUMENTI

2. INSTRUMENTS DESCRIPTION

Il **trasduttore di pressione** è composto da un sensore, disponibile con vari fondo scala, e da un contenitore cilindrico di protezione realizzato in acciaio inossidabile. Provvisto di connessione elettrica resistente all'acqua, il trasduttore è fornito con cavo di lunghezza predeterminata in fase d'ordine. Il tipo di sensore presente nel trasduttore di pressione elettrico può essere con segnale in **tensione**, in **corrente 4-20 mA**, o in **frequenza**, nel caso di sensore a corda vibrante.

Trasduttore in corrente 4-20mA

Questo trasduttore è basato sul sensore ceramico usato da SISGEO anche per i piezometri. E' costituito da un diaframma di ceramica sensibilizzato con estensimetri resistivi.

La ceramica garantisce un'ottima stabilità nel tempo ed un'elevata resistenza a sovratensioni. Il sensore ceramico è contenuto in un corpo di acciaio inossidabile che lo rende stagno.

Trasduttore a corda vibrante

E' costituito da un diaframma in acciaio inossidabile al quale è connesso un filo d'acciaio teso che viene fatto vibrare da un elettromagnete. Il cambiamento di pressione esterna viene trasmesso all'olio della cella e, a sua volta al diaframma causandone la deflessione; questa deflessione provoca un cambiamento della tensione e quindi della frequenza di vibrazione del filo d'acciaio. La pressione applicata al diaframma è direttamente proporzionale al quadrato della frequenza di vibrazione.

Questo tipo di sensore è fornito completo di termistore per la misura della temperatura.

Uno scaricatore a gas è inoltre previsto per la protezione delle sovratensioni.

Il **cavo elettrico** è fornito in spezzoni di lunghezza variabile a richiesta, e viene collegato direttamente al trasduttore di pressione durante la fase di montaggio in fabbrica. In funzione del tipo di segnale, il cavo elettrico può essere a due o a sei conduttori, terminato con connettore finale

Celle di pressione totale

Stress cells

*The **pressure transducer** is made by a sensor with different ranges and by a stainless steel housing. The electric connection to the cable is sealed to be waterproof, the cable length is made according to the client need. The sensor used in the pressure transducer can be of different type, with electric output in **tension**, **current 4-20 mA**, or **frequency** for the vibrating wire type.*

4-20 mA transducer

This transducer is based on the ceramic sensor used by Sisgeo also for the piezometer. It is made by a ceramic diaphragm instrumented by resistive strain gauges.

Ceramic diaphragm guaranty a very good overvoltage protection. The sensor is housed in a stainless steel tube.

Vibrating wire transducer

This transducer is made by a stainless steel diaphragm to which a steel wire is connected. This wire is put in vibration by an electromagnet.

The change of external pressure is transmitted to the oil into the pad and then to the diaphragm causing its deflection. The deflection is measured as a change in tension and then in frequency of vibration of the wire. The square of the frequency is directly proportional to the applied pressure.

This type of sensor is supplied with thermistor for temperature measure.

A surge arrestor is also mounted on the cable connection for overvoltage protection.

***Electric cable** is supplied in any required length and is connected generally to the transducer at Sisgeo factory. According to the transducer type the cable can be 2 or 6 conductors with or without terminal connector. In appendixes 1 the wiring code of the different models is reported.*

Electric pressure sensor for local measure

The transducer is made by a ceramic

o con conduttori volanti. In appendice 1 sono riportate le convenzioni dei cavi elettrici in funzione del tipo di sensore installato.

□ **Sensore di pressione elettrico per misure locali**

Il trasduttore di pressione contiene un sensore ceramico dello stesso tipo già descritto, senza il circuito di condizionamento 4-20 mA.

Le dimensioni del trasduttore sono molto contenute. Il vantaggio di questo tipo di sensore sul trasduttore meccanico risiede nella grande facilità di misura e nella grande precisione; la misura viene infatti effettuata praticamente senza variazione di volume.

Pertanto la rigidità della cella non viene alterata dal trasduttore e la misura risulta rappresentativa.

Nella parte posteriore del trasduttore, protetto da un tappo di tenuta stagna, vi è un connettore elettrico per consentire il collegamento diretto alla apposita centralina di lettura C6002.

VALVOLA DI RIPRESSURIZZAZIONE

E' fornita per le **celle da inglobare in calcestruzzo** con lo scopo di poter ripressurizzare il piatto sensore qualora, a seguito della maturazione del calcestruzzo, si vengano a creare delle cavità tra il calcestruzzo e la cella stessa.

Per il cosiddetto "effetto arco" il piatto sensore non più in contatto con il calcestruzzo non è più in grado di misurare la pressione. La ripressurizzazione ottenuta mediante apposita pompa collegata alla valvola consente di espandere il piatto sensore fino a farlo ritornare a contatto con il calcestruzzo.

sensor of the same type described, without the 4-20 mA converter.

The size of the transducer is very reduced.

The advantage of this type of transducer compares to mechanic ones is the great easiness in reading and the very good accuracy.

The measure is done practically without volume variation.

Therefore the cell rigidity is not affected by the transducer and the measure is more correct.

In the back of the transducer, protected by a waterproof cap, there is the electric connector to be used directly on the purposely designed C6002 read out unit.

REPRESSURING VALVE

*It is supplied with the **cell to be embedded in concrete** to allow pad repressurization when, after concrete set, voids are present at the concrete cell interface.*

For "arc effect" the pad is no more in contact with the surrounding material and don't measure the real pressure.

Repressurization is done using a purposely designed pump by Sisgeo that is connected to the valve and push into the hydraulic circuit a certain deaired oil quantity until it is again obtained the concrete-pad contact.

CAPITOLO 3: MODALITÀ D'INSTALLAZIONE

CHAPTER 3: INSTALLATION PROCEDURE

**INSTALLAZIONE IN TERRENI SCIOLTI,
RILEVATI DIGA E SOTTO FONDAZIONI** **Modalità d'installazione**

La modalità di installazione delle celle di pressione totale dipendono dalla struttura che deve essere monitorata ed in particolare dal tipo di terreno investigato.

 **Terreno non uniforme,
installazione orizzontale**

Quando il terreno che deve essere investigato non è uniforme, prima dell'installazione della cella di pressione, preparare uno strato di sabbia di circa 100 mm di spessore, compattato a mano e, dopo il posizionamento del piatto di misura, un successivo strato di sabbia spesso circa 200 mm. Durante la compattazione a mano, anche se l'operazione non è semplicemente quantificabile, si dovrebbe cercare di creare strati di sabbia della stessa densità (fig. 3.1).

 **Terreno uniforme, installazione
orizzontale**

Quando il materiale è uniforme, il piatto di misura deve essere posizionato su di uno strato compattato a mano, utilizzando materiale naturale preparato con la stessa procedura presentata precedentemente al fine di minimizzare le variazioni di densità attorno alla cella. Questa procedura, per quanto possibile, deve essere applicata anche per materiali coesivi.

 Installazione verticale

Installazioni verticali di celle di pressione totale richiedono procedure di volta in volta adeguate alla situazione di misura. Ad esempio, nel caso di monitoraggio di muri di sostegno, l'aspetto più rilevante nell'installazione di celle di pressione totale all'interno di alloggiamenti nel calcestruzzo consiste nel posizionare il piatto di misura in modo perfettamente complanare con la superficie del muro di sostegno stesso. Questo accorgimento previene fenomeni di "arcing" (effetto arco) che possono inficiare le misure.

In figura 3.3 sono riportati alcuni esempi di

Celle di pressione totale**Stress cells****LOOSE SOIL, DAMS EMBANKMENT AND
UNDER FOUNDATION INSTALLATION** **Installation procedure**

Installation procedure of earth stress cells is function of the structure to be monitored and particularly of the type of soil investigated.

 **Horizontal installation in non
uniform grain size soil**

When the soil to be investigated is not uniform, before installation of an earth stress cell prepare a hand compacted layer of sand 100 mm thick and, after placement of the pressure pad, a subsequent layer of sand twice in thickness. Hand compacting must produce, even if difficult, sand layer of the same density (fig.3.1).

 **Horizontal installation in uniform
grain size soil**

When material is uniform, pressure pad has to be placed on hand compacted area prepared with the same procedure previously presented using natural soil in order to minimize variation in density around the cell. This procedure has to be followed even in case of clayey material.

 Vertical installation

Vertical placement of earth stress cells requires usually purposely designed installation procedure. For example in the case of monitoring of retaining wall, the most important aspect is to install the stress cell into a recess having the same size of the pressure pad and place inside the pressure pad with its sensitive side perfectly planar to the wall surface. This will prevent arching effect which can affect measurement.

Examples of vertical installation are shown in fig. 3.3 (plane Z-Y, plane Z-X).

installazione verticale (piano Z-Y, piano Z-X).

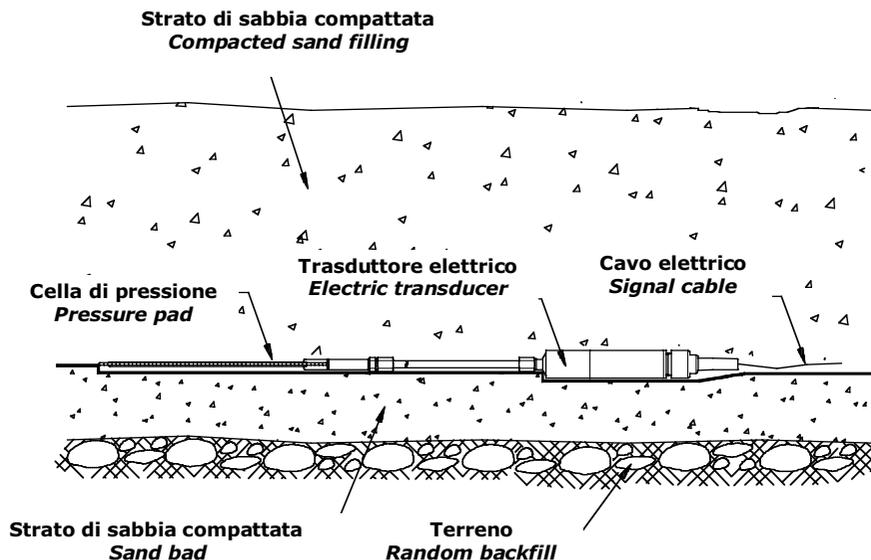


Fig. 3.1 - Installazione orizzontale in terreni e rilevati

Fig. 3.1 - Horizontal installation in soils and embankment

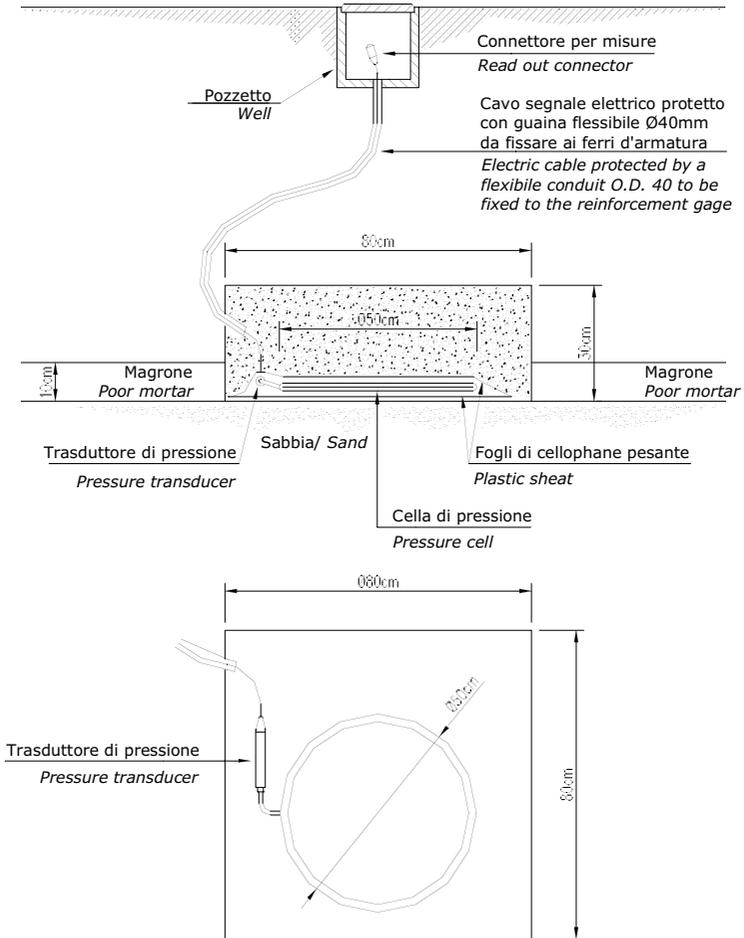


Fig. 3.2 – Schema di installazione orizzontale cella di pressione Ø 50cm

Fig. 3.2 – O.D. 50cm stress cell horizontal installation scheme

☐ Raccomandazioni particolari per la stesura dei cavi

Sia in installazioni verticali che orizzontali bisogna tener conto della possibilità di avere grandi deformazioni che potrebbero produrre eccessivi allungamenti e conseguenti rotture dei cavi elettrici di collegamento. Per questo motivo si raccomanda di disporre i cavi elettrici con un andamento tale da consentirgli un ampio margine di movimento sia in fase di compattazione del rilevato che durante gli eventuali cedimenti.

Nel caso di installazione degli strumenti su gabbie e armature, posizionare il cavo elettrico lungo i ferri dell'armatura, legandolo ad essi con fascette di plastica.

INSTALLAZIONE IN ROCCIA E AL CONTATTO ROCCIA-RIVESTIMENTO IN GALLERIA**☐ Modalità d'installazione**

La procedura di installazione si suddivide nelle seguenti fasi principali:

- installazione cella di pressione;
- stesura cavi elettrici ed eventuale centralizzazione.

☐ Installazione cella

Una corretta installazione in galleria deve essere eseguita in modo da garantire il contatto tra la roccia ed il rivestimento. Il piatto di misura deve essere posizionato al contatto roccia-rivestimento, il più vicino possibile alla superficie della roccia. La superficie di contatto roccia-cella deve essere preparata in modo che sia il più possibile piatta, e la cella posizionata su un sottile strato di cemento a presa rapida applicato alla superficie rocciosa. La parte superiore del cella andrà quindi ricoperta con un ulteriore strato di malta onde evitare il danneggiamento durante la messa in opera del rivestimento.

Per evitare eventuali danneggiamenti al tubo idraulico di collegamento e al trasduttore, si raccomanda di predisporre una loro adeguata protezione prima della fase di rivestimento.

Celle di pressione totale**Stress cells****☐ Specific remarks for cable installation**

In both type of installation vertical or horizontal we have to take in count that large deformation may occur that can overstress the cable and break it.

For this reason we recommend to install cables in such a way to allow them to follow the material movements during the embankment construction and during the settlement period.

If the instruments are installed on reinforcing gage lay the cable along the rebars and bind to them by plastic belts.

INSTALLATION IN ROCK AND AT THE INTERFACE ROCK-LINING IN TUNNEL**☐ Installation procedure**

The procedure for installing is according the following main phases:

- *pressure pad installation;*
- *electric cables installation and centralization.*

☐ Pressure pad installation

A good installation should be made in such a way that the contact between the pressure pad and the rock surface will be guaranteed .

The pressure pad has to be placed at the rock concrete interface in close contact with the rock.

The rock surface has to be prepared by flattening it, the pad is set on a poor quick set mortar bed which is put on the rock. The pad is then fastened in the desired position using wire hooks and is then covered with concrete or shotcrete to avoid damage during the works.

To avoid possible damage of hydraulic tube and of the transducer, it is recommended to protect them with some steel cover before proceeding with the works.



**Identificazione del punto di
installazione della cella**

Installation on point selection



**Preparazione della superficie di posa
della cella**

Pressure pad surface preparation



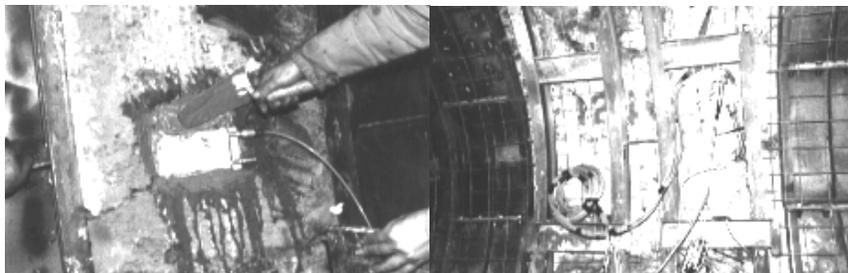
**Livellazione della superficie di
contatto**

Contact surface flattening



**Cemento a presa rapida per fissare la
cella**

Quick set cement to fix the cell

**Completamento dell'installazione****Completing installation****Sistemazione finale dei cavi elettrici****Final installation of electric cables****Fig. 3.4 – Esempio di installazione cella di pressione****Fig. 3.4 – Example of stress cell installation****❑ Raccomandazioni particolari per la stesura dei cavi**

I cavi elettrici possono essere provvisti di terminale di misura al quale connettersi direttamente tramite un'unità di lettura manuale, oppure possono venire centralizzati in appositi pannelli di misura.

In ogni caso si consiglia di fissare gli stessi in una posizione riparata, dietro le centine o ai ferri dell'armatura, legandoli con fascette di plastica ed eventualmente proteggendoli con una tubazione.

❑ Specific remarks for cables installation

The electric cables are provided with measuring terminal (connector) to be connected directly to the read out unit or with centralized measuring panels.

In any case it is advisable to place the cable in a sheltered position, close to the lining or reinforcement bars, tightening them with plastic belts or eventually installing them inside conduit.

INSTALLAZIONE ENTRO IL CALCESTRUZZO

La procedura di installazione si suddivide nelle seguenti fasi principali:

- installazione cella;
- installazione dei tubi idraulici e dei punti di misura;
- ripressurizzazione della cella;

❑ Installazione cella

L'installazione deve essere eseguita in modo che l'accoppiamento tra cella e materiale che la ingloba sia garantito perfettamente. Per installazioni in paramenti di gallerie le celle possono essere utilizzate sia per la misura di tensioni radiali che tangenziali.

INSTALLATION IN CONCRETE

The installation procedure is according to the following main points:

- *pressure pad installation;*
- *hydraulic line and measuring point installation;*
- *repressurization of the pressure pad.*

❑ Pressure pad installation

The installation should be made to guarantee a perfect coupling between the pad and the material.

In tunnel monitoring the stress cells can be used both for radial and tangential stress measurement.

For radial stress measurement proceed as described formerly for rock-lining interface.

Celle di pressione totale**Stress cells**

Per la misura di **tensioni radiali** procedere al montaggio come già descritto per le installazioni in roccia al contatto roccia rivestimento.

Per la misura delle **tensioni tangenziali**, la cella deve essere posizionata inglobandola nel calcestruzzo, utilizzando il telaio metallico saldato al contorno, fissata all'armatura o ai rinforzi metallici del calcestruzzo, o agli anelli di rinforzo della struttura, oppure mediante zeppe di legno fissate in appositi fori.

La cella deve essere sempre fissata per evitare che la sua posizione cambi durante le fasi di cementazione. Qualora la cella venisse installata all'interno di un muro a gettata, o sulla superficie di una colonna di cemento, deve essere sempre assicurata all'armatura esistente.

Installazione dei tubi idraulici e dei punti di misura

Il tubo idraulico che collega la cella al punto di misura, deve essere installato in modo tale che, dalla cella al punto di centralizzazione del terminale di misura, sia fatto correre lungo una struttura di rinforzo (centina, rete o tubo di protezione) evitando stiramenti. Successivamente dovrà essere fissato alla struttura stessa e protetto con un leggero strato di malta che eviti il danneggiamento durante la messa in opera del rivestimento. Tutti i tubi di una sezione di misura dovranno essere poi raccolti in un punto comodamente accessibile. E' consigliabile l'utilizzo di una scatola che protegga tutti gli eventuali terminali di misura degli strumenti e che funga da pannello di centralizzazione.

Ripressurizzazione della cella

Il perfetto accoppiamento delle celle di pressione nel punto di installazione è influenzato da vari fattori. Ad esempio nel caso di installazione in calcestruzzo, uno di questi fattori è la differenza di temperatura che si genera tra la cella ed il materiale che la ingloba e il processo di "bonding" tra i due nella fase di maturazione. Per ristabilire il contatto perfetto, la cella deve essere pressurizzata con olio disareato usando

For **tangential stress** measurement the pressure pad should be embedded in concrete using the wire hooks to fasten the pad in the stated position by mean of wire tightened to the wire mesh, or reinforcement rods or stiffening ring or by means of wooden wedges.

The pressure pad has to be fixed in such a way that the position does not change even if a vibrator touches it or the shotcrete is directly thrown on it.

In case the pressure pad is installed in a slurry wall or a concrete pile, it should also be fastened to the existing reinforcement gauge.

Installation of the hydraulic line and of the measuring point

The hydraulic line should be positioned in a way that they keep a certain possibility to move and at the same time protected as well as possible. It is recommended to install the lines in a protective tube or along steel ribs or reinforcement steel bars. They should be fastened in a way that concreting or shotcreting does not displace them. All lines of a measuring section are centralized in a niche in a suitable position for readings.

Repressurization procedure

The perfect coupling of the pressure pad is influenced by a number of factors. For example, in concrete embedment installation, the temperature difference between the cell and the surrounding media during the setting process.

To have contact between the pad and the surrounding material, the pad had to be pressurized with deaired oil and the special pump (fig. 3.5).

This operation has to be done some days after the instrument installation, after the concrete set when the temperature in concrete is stable.

At this point it is possible to repressurize the pad:

- put the pump in vertical with the tube upwards;

Celle di pressione totale

Stress cells

l'apposita pompa (fig. 3.5). Questa operazione va eseguita qualche giorno dopo l'avvenuta installazione dello strumento, dopo essersi assicurati che il calcestruzzo abbia fatto presa e la temperatura abbia raggiunto un valore pressoché costante.

A questo punto si potrà precaricare la cella:

- mettere la pompa in verticale con il tubo verso l'alto;
- ruotare in senso orario la vite di spinta finché dal tubetto esca dell'olio senza più bolle d'aria.
- connettere il trasduttore alla centralina per misurare la pressione dell'olio nella cella;
- collegare la pompa alla valvola di pretensionamento posta a fianco del terminale di misura, iniettare olio fino a che il valore di pressione letto sul display non raggiunga il 15-20% del fondo scala dello strumento;
- attendere che il sistema si stabilizzi e quindi disconnettere la pompa.

Al termine dell'operazione verrà eseguita un'ulteriore misura di controllo il cui valore va riportato nel modulo di campagna. Questo valore non può ancora essere considerato il valore iniziale delle misure, in quanto la procedura di precarico della cella ha provocato una perturbazione nel sistema. Sarà, quindi, necessario attendere alcune ore prima della stabilizzazione. Si consiglia di eseguire una lettura (**lettura iniziale** o **di zero**) trascorso qualche giorno dopo l'esecuzione del precarico. Questi stessi accorgimenti dovranno essere presi ogni qualvolta si renda necessaria una nuova pressurizzazione della cella.

□ **Riempimento della pompa di ripressurizzazione**

Effettuare il riempimento della pompa, una volta che in questa si è esaurito l'olio, nel seguente modo:

- procurarsi presso Sisgeo dell'olio disaerato, contenuto in un bidoncino;
- porre il tubetto della pompa nel bidoncino, ben sotto il livello del fluido;
- ruotare la vite di spinta in senso

- *turn clock-wise the screw of the pump since the oil is flowing out;*
- *connect the transducer to the read out unit to measure the pressure in the cell;*
- *connect the pump to the cell and turning the knob of the pump, send oil until the pressure value on the display will reach a 15-20% of the full scale value;*
- *wait some time to be sure that is stable and then disconnect the pump.*

*At the end of the operations, take a further reading. This value has not to be considered the correct initial reading because the repressurization has influenced the system. It is therefore necessary to wait some time to return to normal situation: we suggest to wait for some days before taking the **initial** or **zero** reading. This procedure has to be followed every time a repressurization of the pressure pad is needed.*

□ **Refilling pressure pump**

When the oil is finished, to refill the pump proceed as follow:

- *procure deaired oil from Sisgeo that will be delivered inside a small sealed container;*
- *put the pump tube in the container well under the fluid level;*
- *rotate anticlock-wise the knob so that the oil is sucked inside the pump.*

antiorario così da richiamare il fluido entro la pompa.

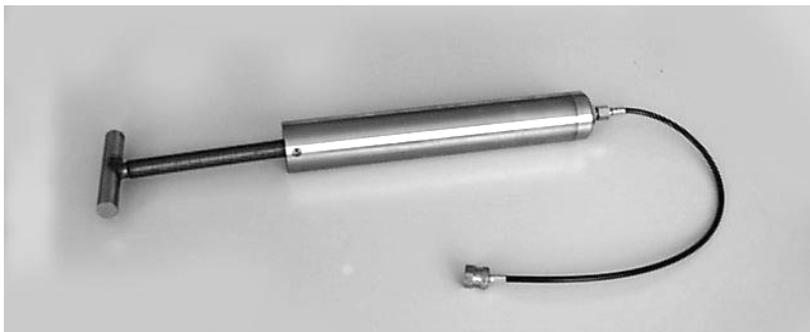


Fig. 3.5 – Pompa di pressurizzazione

Fig. 3.5 – Pressurization pump

STESURA CAVI

La trasmissione del segnale elettrico di ogni singola cella avviene tramite il cavo elettrico ad esso collegato, normalmente fornito in matasse.

Sulla parte terminale del cavo elettrico è fissata una "targhetta" sulla quale sono riportati i dati identificativi del trasduttore (fig. 3.6).

CABLES INSTALLATION

The electric signal of each instrument is transmitted by means of cable normally supplied in rolls.

On the cable end it has to be placed a label which the transducer data are reported on (fig. 3.6).

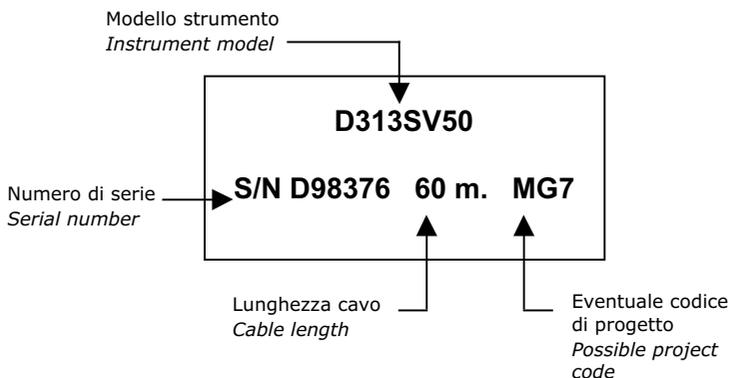


Fig. 3.6 – Esempio di targhetta di identificazione del trasduttore

Fig. 3.6 – Example of transducer identification plate

Nel caso di celle non provviste di targhetta di identificazione o comunque quando su quest'ultima non è riportato il codice di progetto è necessario, in fase di posa in opera, segnare in modo permanente (ad esempio con un pennarello indelebile), sull'estremità del cavo un codice che permetta di identificarli in fase di lettura ed eventualmente, se prevista, in fase di centralizzazione.

Una volta che la cella è stata posta in opera, bisogna provvedere alla stesura del relativo cavo elettrico. Questa fase riveste un'importanza pari a quella della posa in opera del trasduttore, infatti l'eventuale determinazione di abrasioni o tagli sulla guaina di rivestimento possono, nel tempo, far insorgere perdite di isolamento con conseguente instabilità delle misure.

Se la stesura non viene eseguita correttamente, già dopo qualche metro iniziano a formarsi delle asole e con il proseguo delle operazioni, il cavo incomincia ad aggrovigliarsi. Ciò, oltre a determinare inevitabili perdite di tempo, può provocare il danneggiamento del cavo stesso con le conseguenze descritte sopra.

Per evitare l'inconveniente si consiglia di non srotolare la matassa appoggiandola per terra ma di sorreggere la stessa come se fosse montata su di un rullo, infilando le braccia all'interno (fig. 3.7).

In case instruments do not present label or in any other case when it is not reported the installation code, it is necessary during the installation operation, to mark the cable end in permanent way (for example with an indelible marker) to identify the instrument for reading or for wiring purpose.

Once the instrument has been installed, it is necessary to lay down the electric cable in the proper way. The operation is very important, as the transducer installation, because if abrasion or cutting of the sheath occur, loss of insulation will produce unstable reading.

If the cable laying operations are not well done, as result the cable will be twisted and tied up into knots.

Besides the loss of time, it brings to the possibility of damages. To avoid this, it is advisable to unroll the cable keeping the arms in the center of the roll and turning it so that the cable come out straight (fig. 3.7).



Fig. 3.7 – Modalità di svolgimento del cavo

Fig. 3.7 – Cable unroll modality

Evitare se possibile, di lasciare tratti di cavo scoperto in modo da evitare danneggiamenti accidentali e prevenire eventuali atti vandalici.

Nel caso in cui il percorso dei cavi è previsto interrato è opportuno predisporre una tubazione flessibile, di diametro adeguato, con pozzetti rompitratta ispezionabili, posti almeno ogni 30 metri.

Se il cavo deve essere posizionato su parete, è preferibile proteggere lo stesso con una tubazione conduit preventivamente fissata alla parete tramite collarini in acciaio. Anche in questo caso vanno previste delle scatole rompitratta almeno ogni 30 metri e comunque in corrispondenza di percorsi curvilinei con angoli prossimi a 90 gradi.

In caso di percorso aereo va teso un cavetto di acciaio: questo dovrà essere messo in tensione tramite tenditori posti sulle estremità. Per fissare i cavi elettrici si possono utilizzare delle fascette in materiale plastico o altri opportuni sistemi.

CABLAGGIO CAVI

Tagliare i cavi in modo che abbiano una lunghezza sufficiente a consentire un corretto posizionamento (sia estetico che funzionale). Prima di accorciare i cavi trascrivere il codice di progetto in una posizione che consenta di individuarli anche dopo la fase di cablaggio.

Infilare l'estremità del cavo all'interno del pressacavo e serrare. Sguainare il cavo per una lunghezza opportuna (tale lunghezza dipende dalle dimensioni della scatola di derivazione o pannello di misura utilizzato) in modo che rimangano esposti i conduttori, spellare la parte terminale dei conduttori per circa 10 mm (eventualmente stagnare con saldatore) e infilarla all'interno del puntalino che andrà schiacciato con una pinza.

Prima di inserire ed avvitare i conduttori nella morsettiera è opportuno eseguire un controllo degli strumenti, tramite una centralina di lettura manuale, per verificarne la funzionalità.

Avoid leaving length of cable uncovered so that damage of any type should occur. In case the cables are underground it is advisable to install a conduit tube of proper diameter and insert the cable in it installing inspection boxes at least every 30 meters.

If the cable is installed on a wall, it is suggested to insert it in a conduit tube fixed to the wall by steel ties.

Furthermore inspection boxes should be placed at least every 30 meters or anyway when there are angles in the range of 90°.

If the cable have to be installed in air across structures, a steel wire has to be placed tensioned by turnbukles mounted at each end.

The electric cable will be then secured to the wire by plastic ties.

CABLES WIRING

Cut the cable in such a way to have enough length to obtain a correct installation (functional an aesthetic). Before cutting the cable, take note of the instrument code so that it will be possible to identify the instrument also after the cable cutting.

Insert the cable end through the gland and lock it. Cut the sheat for a certain length (according to the box size) so that the lead are free. Cut the terminal part of the lead sheat for about 10 mm, weld it with tin if available and insert into the pin that will be crimped.

Before inserting the leads and locking the screws of the wiring terminals, check the instrument proper functioning by taking a reading with a manual read out unit.

CAPITOLO 4: ESECUZIONE DELLE MISURE

CHAPTER 4: TAKING MEASUREMENTS

Le misure possono essere effettuate in modo manuale od automatico.

Measurement can be made with manual read out unit or automatically.

MISURE MANUALI**MANUAL READING**

- Trasduttore di pressione elettrico per misure remote**

- Electric pressure transducer for remote reading**

Trasduttore di pressione ceramico 4-20 mA**Ceramic 4-20mA pressure transducer**

Il trasduttore di tipo ceramico ha uscita 4-20 mA. I due fili sono di colore nero e rosso. Qualora il cavo sia provvisto di connettore, collegare direttamente il connettore alla centralina di misura. Se invece non è stato ordinato il connettore, collegare i fili del cavo elettrico ai coccodrilli del filo volante fornito con la centralina (è un cavetto corto provvisto ad un'estremità di connettore e dall'altra parte con fili volanti muniti di coccodrilli), secondo il codice riportato in appendice 1. Accendere la centralina, attendere alcuni secondi per stabilizzare il tutto e, seguendo le specifiche istruzioni d'uso della centralina, eseguire la misura.

Ceramic transducer have a 4-20 mA output. The two wires are black and red coloured. If the cable has a connector put it directly in the mating connector on the read out. If the connector has not been ordered, use the clip alligator of the flying cable of the read out unit connecting according to the code (appendix 1). Switch on the read out unit, wait some time for warm up and take the reading according to the instruction manual of the read out unit.

Le misure vanno quindi riportate sull'apposito modulo. In appendice 2 Sisgeo vi propone una sua versione del modulo. Se la centralina usata è dotata di memoria questo non è più necessario. Qualora la misura sia anomala, ripeterla alcune volte.

The readings are recorded on a form. In appendix 2 you will find the one proposed by Sisgeo.

If the used read out has datalogging capacity this is done automatically. If the reading is an anomalous value, repeat it to be sure of the result.

Trasduttore a corda vibrante**Vibrating wire transducer**

Per i trasduttori a corda vibrante, essendo in genere forniti senza connettore, usare il cavo volante ed i relativi coccodrilli collegando i fili rosso e nero al rosso e nero del cavo volante per la misura del trasduttore di pressione e verde e bianco per la misura del termistore installato nel trasduttore (appendice 1).

They are normally supplied without connector therefore connect the red and black wires to the alligator clip with the same colour of the flying cable. The green and white cable are for temperature measurement (appendix 1).

Switch on the read out and wait some time for warm up.

Accendere la centralina ed attendere alcuni minuti per la stabilizzazione. Per la centralina C6004VW, ruotare il selettore sulla misura della frequenza e rilevare il valore. Ruotare quindi il selettore sulla posizione temperatura e rilevare il valore. Per maggiori informazioni e per l'uso di centraline diverse, consultare i relativi manuali.

Using the C6004 VW read out, turn the selector on frequency and read the value. Turn then on the temperature position and read value. For further information or in case another read out unit is used, refer to the relevant instruction manual.

□ Sensore di pressione elettrico per misure locali

Svitare il tappo di protezione, inserire il connettore del trasduttore nel connettore della centralina C6002MV. Quando il connettore viene inserito, la centralina si accende automaticamente e sul display apparirà un valore numerico che rappresenta già la pressione totale misurata dalla cella in MPa. Attendere qualche istante affinché il valore si stabilizzi. Riportare il valore sul modulo delle letture (appendice 3) staccare il connettore ed il trasduttore, rimettere il tappo di protezione avvitandolo con delicatezza, ma completamente, per renderlo stagno.

La centralina C6002MV è stata appositamente progettata per questo utilizzo. Non ha nessuna regolazione ed è azionata da una batteria alcalina a secco da 9 V che consente un'autonomia di lavoro continuo di 10 ore. Quando la batteria si sta scaricando, sul display appare la scritta **low batt**. La sostituzione avviene svitando le 4 viti del pannello frontale.

MISURE AUTOMATICHE

Qualora gli strumenti vengano collegati ad un sistema di acquisizione dati, il cablaggio dovrà essere eseguito secondo lo schema di collegamento fornito con l'acquisitore. Si consiglia comunque di prevedere la possibilità di eseguire misure manuali di controllo installando, durante la realizzazione dell'impianto, pannelli di misura e centralizzazione.

In considerazione della complessità del discorso, si consiglia di contattare SISGEO per progettare il sistema più idoneo.

□ *Electric pressure sensor for local measuring*

Unscrew the protective cap, insert the connector of the transducer into the connector of C6002MV read out unit. When the connector is inserted, the read out unit switches on automatically and on the display will appear a numerical value that is the total pressure of the cell measured in MPa. Wait for some seconds until the value is stable.

Report on the reading form (appendice 3) the values obtained and disconnect the read out, put on again the cap screwing with care, up to the end to ensure the perfect sealing.

The C6002MV read out has been designed for this purpose.

*It has no regulation and is powered by a 9V alkaline battery that allows a working autonomy of 10 hours. When the battery is low, on the display appears **low batt**. The substitution can be done removing the 4 screws of the frontal panel.*

AUTOMATIC READING

If the instruments are connected to a data acquisition system, they have to be made according the wiring scheme supplied with the data acquisition.

It is anyway advisable to foresee the possibility of taking manual reading placing during the installation of the network, some centralization and measuring boxes.

Taking into account the complexity of this type of system, it is advisable to contact Sisgeo to design the proper system.

**CAPITOLO 5: ELABORAZIONE ED
INTERPRETAZIONE DELLE MISURE**

***CHAPTER 5: DATA PROCESSING AND
INTERPRETATION***

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

❑ Sensore di pressione elettrico per misure locali

La lettura è già in **MPa** e non necessita di elaborazioni.

❑ Trasduttore di pressione elettrico per misure remote

L'elaborazione dei dati comprende la conversione da grandezze elettriche ad unità ingegneristiche attraverso il **fattore di sensibilità** che viene riportato sul certificato di calibrazione (fig. 5.1, 5.2).

Per i trasduttori di pressione illustrati, il fattore di sensibilità è un numero con cui dividere il valore elettrico misurato, per ottenere il valore in unità ingegneristiche.

$$P = L/S$$

Dove:

P = pressione in unità ingegneristiche;

L = lettura elettrica;

S = fattore di sensibilità.

Se però si vogliono ottenere precisioni di misura più elevate, invece di usare come fattore di sensibilità il numero **S**, ottenuto attraverso un'interpolazione lineare dei dati di taratura, elaborare i dati per trovare la curva di interpolazione ottenendo un'equazione del tipo:

$$P = (L^2 \times A) + (L \times B) + C$$

Dove A, B, C sono i fattori di conversione polinomiali.

Sul certificato di taratura, vengono riportati anche i valori **A, B, C**. Per semplicità di trattazione, nel seguito ci riferiremo principalmente al fattore di sensibilità **S**, e svilupperemo la spiegazione riferendoci a misure effettuate usando centralina base tipo C6003, C6004 che non hanno capacità di calcolo o di memorizzazione. Usando centraline tipo datalogger (ad esempio la C800U), quanto descritto viene già in parte fatto dalla centralina come meglio si può vedere consultando il relativo manuale.

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

❑ *Electric pressure sensor for local reading*

*Measurements are directly in physical unit in **MPa** and therefore no data processing is needed.*

❑ *Electric pressure transducer for remote reading*

*Data processing include the conversion from electric to engineering units by mean of a **sensitivity factor** reported on the calibration certificate (fig. 5.1, 5.2).*

For pressure transducer the sensitivity factor is a number by which divide the electric value, to obtain the engineering unit.

$$P=L/S$$

Where:

***P**= pressure value in engineering unit;*

***L**= electric reading;*

***S**= sensitivity factor.*

*If more accurate reading is needed, instead of using the number **S** that is obtained by a linear interpolation of the calibration data, it is possible to process the same calibration data with a polynomial interpolation obtaining:*

$$P= (L^2 \times A) + (L \times B) + C$$

Where A, B, C are the sensitivity polynomial factor.

On the calibration certificate, they are always reported.

*For a more simple speech, in the following we will refer to the sensitivity factor **S** (also said "linear sensitivity factor"), and to the use of the basic read out type C6003 and C6004 that have no recording and processing capabilities.*

Using datalogger as the C800U read out unit, most of the operation are just done automatically as you can better see on the specific manual.

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

Trasduttore di pressione ceramico 4-20 mA

La prima misura viene chiamata **lettura iniziale** o **lettura di zero L_0** , mentre la misura effettuata in qualsiasi momento dopo l'installazione viene chiamata **lettura di esercizio L_{es}** .

Ognuna di queste misure deve essere convertita in **pressione P** secondo la seguente espressione:

$$P = L_{es} - I_0 / S$$

Dove:

L_{es} = lettura di esercizio;

I_0 = lettura con cella in aria rilevato prima dell'installazione intorno a 4 mA circa.

Il valore I_0 è importante sia rilevato accuratamente prima dell'installazione perché è un buon indicatore della salute dello strumento. Infatti, il valore I_0 non dovrà essere molto lontano da quello riportato sul certificato, ma raramente sarà lo stesso perché per i trasduttori assoluti le variazioni di pressione barometrica dovuti alla situazione meteorologica e alla altitudine sul livello del mare, causeranno una variazione rispetto al valore misurato in laboratorio.

Inoltre siccome dovrà essere sottratto da tutte le misure di esercizio successive, è consigliabile rilevarlo accuratamente magari anche più di una volta per verificarne la ripetibilità.

4-20mA ceramic pressure transducer

The first reading is appelled **initial reading** or **zero reading L_0** , reading taken at any time after installation is appelled **performance reading L_{es}** .

Each of them to be converted in a **pressure P** value has to be computed as follow:

$$P = L_{es} - I_0 / S$$

Where:

L_{es} = performance reading;

I_0 = reading taken before installation with instrument in air (about 4 mA).

It is very important to take a very accurate I_0 value before installation because it is a good indicator of the working capability of the instrument. The I_0 has to be similar to the value reported on the certificate, but rarely will be the same because for absolute pressure sensor, atmospheric variation due to metereological events and the elevation on the sea level, are sensed by the instrument.

Moreover as I_0 has to be subtracted from all the performance readings, it is advisable to take it very accurately more than one time to verify the repeatability.

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

Modello:	Cella di pressione	L141S005	Numero di Serie:	L99239			
Sensore:	estensimetrico		Numero di Serie:				
Cliente:			O.L.:	990200			
Lunghezza cavo:	8 m		Data:	30/06/99			
CONDIZIONI DI PROVA :		Alimentazione [Vcc] : 24					
		Temperatura [°C] : 20					
		Umidità [%] : 60					
		Pressione atmosferica [mbar] : 1000					
La taratura è stata realizzata in accordo al Sistema di Qualità ISO UNI EN 9001 IST 10-0101; IST 10-0102							
Misuratore di pressione: DRUCK n.038-039							
pressione	letture [mA]				statistiche		
	kPa	1 up	1 down	2 up	2 down	med.[mA]	lin.[kPa]
0,10	3,968	3,969	3,969	3,972	3,969	0,38	0,21
50,30	5,582	5,558	5,564	5,559	5,566	50,30	50,23
100,20	7,176	7,152	7,162	7,154	7,161	100,16	100,17
150,30	8,774	8,750	8,762	8,752	8,760	150,15	150,22
200,20	10,368	10,351	10,360	10,351	10,357	200,09	200,20
250,30	11,968	11,956	11,965	11,954	11,961	250,22	250,34
300,30	13,566	13,555	13,561	13,551	13,558	300,17	300,28
350,40	15,167	15,159	15,168	15,159	15,163	350,35	350,42
400,20	16,765	16,759	16,763	16,755	16,760	400,28	400,30
450,20	18,364	18,361	18,359	18,358	18,361	450,31	450,24
500,20	19,959	19,963	19,959	19,956	19,959	500,28	500,10

RISULTATI				
Fattore di sensibilità lineare			S	err.max
			[mA/kPa]	%F.S.
			0,03199	0,13339
Fattori di sensibilità polinomiale		A	B	C
$[kPa] = A[mA]^2 + B[mA] + C$		[kPa/mA ²]	[kPa/mA]	[kPa]
		-4,600E-08	3,137E+01	-1,243E+02
				0,09814
NOTE:	Le costanti di regressione sono state ottenute mediante il metodo dei minimi quadrati. L'errore riportato tiene conto degli effetti di: linearità, isteresi e ripetibilità.			
Colleg:	rosso=+Loop; nero=-Loop			
Operatore:	Responsabile:			

Fig. 5.1: Certificato di taratura trasduttore di pressione ceramico 4-20 mA
Celle di pressione totale

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

Model: Pressure cell	L141S005	Serial/Number: L99239					
Sensor: strain gauge		Serial/Number:					
Customer:		Job number: 990200					
Cable Length: 8 m		Date: 30/06/99					
TEST CONDITIONS:		Power supply [Vdc]: 24					
		Temperature [°C]: 20					
		Humidity [%]: 60					
		Atmospheric pressure [mbar]: 1000					
Calibration has been made according with Quality Assurance System ISO UNI EN 9001 IST 10-01.01; IST 10-01.02							
Pressure indicator : DRUCK n.038-039							
pressure	readings [mA]				statistics		
kPa	1 up	1 down	2 up	2 down	avg. [mA]	lin. [kPa]	polyn. [kPa]
0,10	3,968	3,969	3,969	3,972	3,969	0,38	0,21
50,30	5,582	5,558	5,564	5,559	5,566	50,30	50,23
100,20	7,176	7,152	7,162	7,154	7,161	100,16	100,17
150,30	8,774	8,750	8,762	8,752	8,760	150,15	150,22
200,20	10,368	10,351	10,360	10,351	10,357	200,09	200,20
250,30	11,968	11,956	11,965	11,954	11,961	250,22	250,34
300,30	13,566	13,555	13,561	13,551	13,558	300,17	300,28
350,40	15,167	15,159	15,168	15,159	15,163	350,35	350,42
400,20	16,765	16,759	16,763	16,755	16,760	400,28	400,30
450,20	18,364	18,361	18,359	18,358	18,361	450,31	450,24
500,20	19,959	19,963	19,959	19,956	19,959	500,28	500,10

RESULTS			
Linear sensitivity factor		<i>S</i>	max.err.
		[mA/kPa]	%F.S.
		0,03199	0,13339
Polynomial sensitivity factors	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i> max.err.
$[kPa] = A[mA]^2 + B[mA] + C$	[kPa/mA ²]	[kPa/mA]	[kPa] %F.S.
	-4,600E-03	3,137E+01	-1,243E+02 0,09814
NOTES : Regressions constants have been obtained through minimum squares method.			
Resulting error depends on the effects of linearity, hysteresis and repeatability.			
Wiring : red=Loop; black=Loop			
Operator: _____		Production chief: _____	

Table 5.1: 4-20mA pressure transducer calibration sheet

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

Trasduttore a corda vibrante

Sulla centralina C6004VW, a seconda della posizione del selettore, si leggerà il periodo o la frequenza.

Per l'elaborazione è più comodo usare la frequenza. Se si usano centraline che misurano solo il periodo si ricorda che:

$$f = 1/p$$

da cui

$$f^2 \times 10^{-3} = (1/p)^2 \times 10^{-3}$$

Dove:

f= frequenza;

p = periodo.

Analogamente ai trasduttori 4-20 mA avremo che:

$$P = L_{es} - I_0/S$$

Dove:

P = pressione in Kpa;

I₀ = lettura con cella in aria rilevata prima dell'installazione ($\text{Hz}^2 \times 10^{-3}$);

L_{es} = lettura di esercizio ($\text{Hz}^2 \times 10^{-3}$);

S = fattore di sensibilità riportato sul certificato di taratura (fig. 5.2).

Nel caso in cui il trasduttore sia installato in un ambiente a temperatura non costante, è necessario effettuare una correzione al valore di pressione precedentemente calcolato, per tenere conto della dilatazione termica che il filo in acciaio, che costituisce la corda vibrante, può aver subito.

L'equazione per il calcolo del fattore di correzione della temperatura è la seguente:

$$P_T = (T_{es} - T_0) K$$

Dove:

P_T= correzione di temperatura;

T_{es} = temperatura di esercizio;

T₀ =temperatura riportata sul certificato di

Vibrating wire pressure transducer

Using the C6004VW read out unit according to the selector position it is possible to read the period or the frequency.

To process data it is more convenient to use frequency. If is used a read out that measure only the period remember that:

$$f = 1/p$$

and therefore

$$f^2 \times 10^{-3} = (1/p)^2 \times 10^{-3}$$

where:

f = frequency;

p = period.

As for the ceramic 4-20mA sensor we will have:

$$P = L_{es} - I_0/S$$

Where:

P = pression in engineering unit;

I₀ =reading taken before installation with instrument in air ($\text{Hz}^2 \times 10^{-3}$).

L_{es} = any reading in frequency ($\text{Hz}^2 \times 10^{-3}$);

S = sensitivity factor reported on the calibration certificate (fig. 5.2).

If the instrument is installed in an enviroment with temperature variation it is necessary to compute the correction for the temperature effect as follow:

$$P_T = (T_{es} - T_0) K$$

Where:

P_T=temperature correction;

T_{es} = "performance reading" temperature;

T₀= temperature value reported on the calibration certificate (fig. 5.2);

K = thermal factor reported on the calibration certificate (fig. 5.2).

Celle di pressione totale

Stress cells

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

taratura del trasduttore (fig. 5.2);

K =coefficiente di correzione termica riportato sul certificato di taratura del trasduttore (fig. 5.2).

La correzione così calcolata deve essere sommata alla pressione trovata con la formula precedente.

TARATURA IN SITO

La cella di pressione è uno strumento che fornisce una misura relativa, cioè i valori misurati sono funzione del tipo di materiale nel quale la cella è installata.

Il certificato di taratura ed il relativo fattore di sensibilità sono riferiti all'acqua e pertanto non sono direttamente utilizzabili per avere il valore di pressione in sito.

E' necessario eseguire una taratura in sito di almeno una cella, installandola come spiegato, con uno strato superiore di alcuni decimetri di materiale e poi caricata con un peso o una pressione nota. Sisgeo può mettere a disposizione una attrezzatura portatile autonoma di calibrazione.

Nota la pressione applicata attraverso il materiale, viene fatta la misura elettrica della cella e questo valore deve corrispondere alla pressione imposta.

$$P_T = L_T / S_m$$

P_T=pressione imposta per la prova;

L_T=lettura elettrica corrispondente;

S_m= fattore di sensibilità della cella con il materiale in cui viene installata.

Viene quindi definito come **fattore di registrazione**:

$$R = S_m / S$$

Il rapporto tra la sensibilità della cella con il materiale del sito e la sensibilità del certificato di taratura ottenuta in acqua.

Pertanto per avere una misura significativa, il valore della pressione misurato dalla cella sarà:

$$P_c = R L / S$$

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

The pressure value computed in this way will be added to the pressure measured.

IN PLACE CALIBRATION

Stress cells are instruments that provide relative measures i.e. the measured values are function of the materials in which they are buried.

Calibration certificate and the reported sensitivity factor are referred to water and therefore they cannot be directly used to obtain the in situ stress value.

It is necessary to make an in place calibration of at least a stress cell, installed as explained, with a thick upper layer of the material in which it is buried.

Loading with a known weight or pressure, it is possible to obtain a field calibration. Sisgeo can provide a portable self contained calibration chamber.

Once it is known the pressure applied by the material, it is measured the electric value of the transducer so that:

$$P_T = L_T / S_m$$

P_T=pressure step during test;

L_T=related electric reading;

S_m= sensitivity factor with the material used.

*It is therefore defined as **registration ratio**:*

$$R = S_m / S$$

the ratio between the sensitivity factor obtained with the material used in situ and the sensitivity factor in water reported on the calibration certificate.

To obtain a correct measure, the pressure value measured by the cell will be:

$$P_c = R L / S$$

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

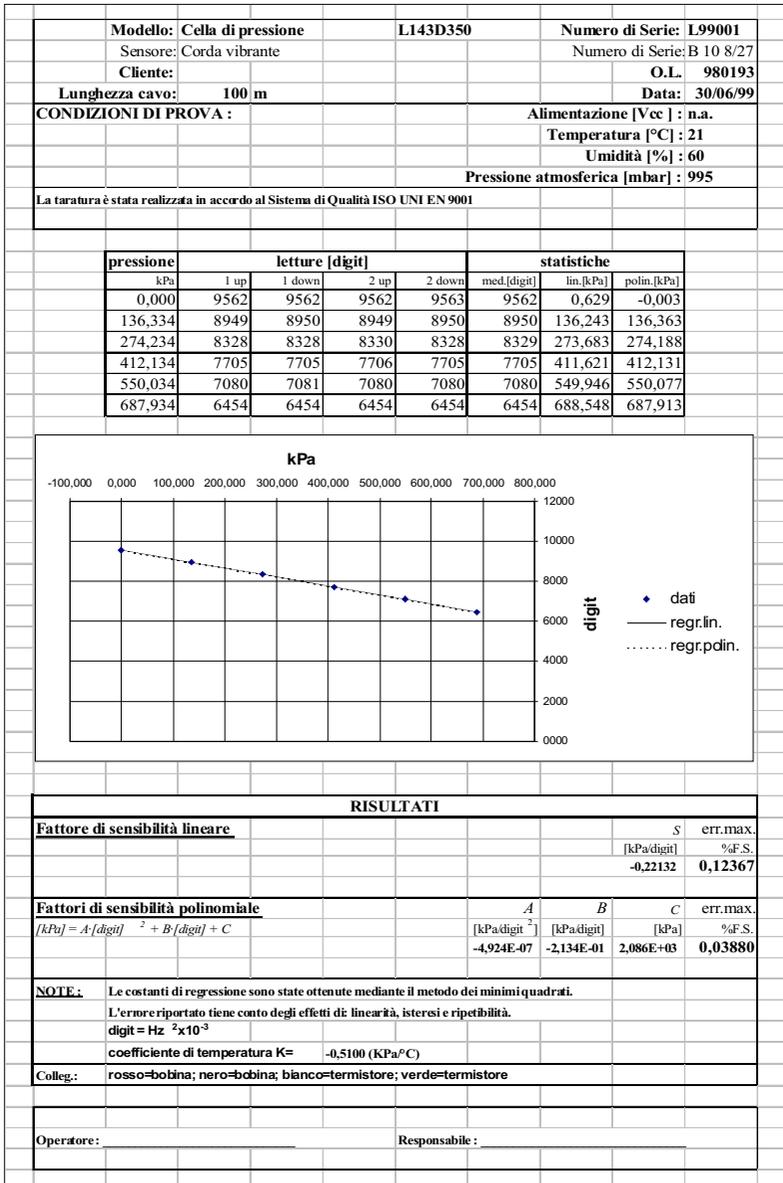


Fig. 5.2 - Certificato di calibrazione trasduttore a corda vibrante

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

Model:	Pressure cell	L143D350	Serial/Number:	L99001																																																																
Sensor:	Vibrating wire		Serial/Number:	B 10 8/27																																																																
Customer:			Job number:	980193																																																																
Cable Length:	100 m		Date:	30/06/99																																																																
TEST CONDITIONS :			Power supply [Vdc] :	n.a																																																																
			Temperature [°C] :	21																																																																
			Humidity [%] :	60																																																																
			Atmospheric pressure [mbar] :	995																																																																
Calibration has been made according with Quality Assurance System ISO UNI EN 9001																																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>pressure</th> <th colspan="4">readings [digit]</th> <th colspan="3">statistics</th> </tr> <tr> <th>kPa</th> <th>1 up</th> <th>1 down</th> <th>2 up</th> <th>2 down</th> <th>avg.[digit]</th> <th>lin.[kPa]</th> <th>polyn.[kPa]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,000</td> <td>9562</td> <td>9562</td> <td>9562</td> <td>9562</td> <td>9562</td> <td>0,629</td> <td>-0,003</td> </tr> <tr> <td>136,334</td> <td>8949</td> <td>8950</td> <td>8949</td> <td>8950</td> <td>8950</td> <td>136,243</td> <td>136,363</td> </tr> <tr> <td>274,234</td> <td>8328</td> <td>8328</td> <td>8330</td> <td>8328</td> <td>8329</td> <td>273,683</td> <td>274,188</td> </tr> <tr> <td>412,134</td> <td>7705</td> <td>7705</td> <td>7706</td> <td>7705</td> <td>7705</td> <td>411,621</td> <td>412,131</td> </tr> <tr> <td>550,034</td> <td>7080</td> <td>7081</td> <td>7080</td> <td>7080</td> <td>7080</td> <td>549,946</td> <td>550,077</td> </tr> <tr> <td>687,934</td> <td>6454</td> <td>6454</td> <td>6454</td> <td>6454</td> <td>6454</td> <td>688,548</td> <td>687,913</td> </tr> </tbody> </table>					pressure	readings [digit]				statistics			kPa	1 up	1 down	2 up	2 down	avg.[digit]	lin.[kPa]	polyn.[kPa]	0,000	9562	9562	9562	9562	9562	0,629	-0,003	136,334	8949	8950	8949	8950	8950	136,243	136,363	274,234	8328	8328	8330	8328	8329	273,683	274,188	412,134	7705	7705	7706	7705	7705	411,621	412,131	550,034	7080	7081	7080	7080	7080	549,946	550,077	687,934	6454	6454	6454	6454	6454	688,548	687,913
pressure	readings [digit]				statistics																																																															
kPa	1 up	1 down	2 up	2 down	avg.[digit]	lin.[kPa]	polyn.[kPa]																																																													
0,000	9562	9562	9562	9562	9562	0,629	-0,003																																																													
136,334	8949	8950	8949	8950	8950	136,243	136,363																																																													
274,234	8328	8328	8330	8328	8329	273,683	274,188																																																													
412,134	7705	7705	7706	7705	7705	411,621	412,131																																																													
550,034	7080	7081	7080	7080	7080	549,946	550,077																																																													
687,934	6454	6454	6454	6454	6454	688,548	687,913																																																													
<p>The graph plots digit (y-axis, 0 to 12000) against kPa (x-axis, -100,000 to 800,000). Data points are shown as blue diamonds. A solid line represents the linear regression, and a dotted line represents the polynomial regression. The data points show a clear downward trend.</p>																																																																				
RESULTS																																																																				
Linear sensitivity factor			S'	max. err																																																																
			[kPa/digit]	%F.S.																																																																
			-0,22132	0,12367																																																																
Polynomial sensitivity factors			A	B	C	max. err																																																														
$[kPa] = A [digit]^2 + B [digit] + C$			[kPa/digit ²]	[kPa/digit]	[kPa]	%F.S.																																																														
			-4,924E-07	-2,134E-01	2,086E+03	0,03880																																																														
NOTES: Regressions constants have been obtained through minimum squares method.																																																																				
Resulting error depends on the effects of linearity, hysteresis and repeatability.																																																																				
digit = Hz ² × 10 ³																																																																				
Temperature coefficient K= -0,5100 (KPa/°C)																																																																				
Wiring : red=col; black=col; white=thermistor; green=thermistor																																																																				
Operator :			Production chief :																																																																	

Fig. 5.2 – Vibrating wire transducer calibration sheet

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

CORREZIONI BAROMETRICHE

Il trasduttore di pressione del tipo assoluto è sensibile alle variazioni di pressione. Questa è, come già detto, una delle ragioni per rilevare in cantiere il valore di zero.

In ogni caso, specialmente per bassi valori di fondo scala, è opportuno tenere in considerazione il valore di pressione barometrica. Infatti su un trasduttore da 0,2 MPa una variazione di pressione barometrica di 50 mbar (0,005 MPa) è pari al 2,5 % del fondo scala !

La pressione barometrica, come è noto, varia in funzione della quota e delle condizioni meteorologiche.

La correzione:

$$P_B = (B_1 - B_0) \times S$$

Dove:

B₁ = pressione barometrica attuale;

B₀ = pressione barometrica al momento dell'installazione;

S = coefficiente di conversione lineare.

La pressione barometrica varia con la quota di 0,0113 KPa per metro di elevazione dal livello del mare ovvero di 1 millibar ogni 10 m di elevazione.

INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

In molti casi interessa rilevare le variazioni di pressione nel tempo. Le misure di esercizio, se riferite alla misura iniziale o di zero, diventano:

$$\Delta P = P_{es} - P_0$$

Generalmente le misure sono rappresentate in un diagramma variazione di pressione - tempo (fig. 5.3).

BAROMETRIC CORRECTION

Absolute pressure transducers are sensitive to barometric pressure variation.

For this reason it is necessary to take a reading at site before installation.

In any case, specially for low range instruments, it is very important to consider the barometric pressure. Keep on mind that for a 0,2 MPa transducer a pressure change of 50mbar (0,005MPa) is 2,5% of the full scale (1 mbar is 1 cm of water column).

The correction for barometric pressure is:

$$P_B = (B_1 - B_0) \times S$$

Where:

B₁ = barometric pressure at the time of the reading;

B₀ = barometric pressure at the time of installation;

S = linear sensitivity factor.

Barometric pressure change with the altitude of 0,0113 KPa per each meter of elevation from the sea level that is of 1 millibar every 10m.

DATA INTERPRETATION

In many cases it is important to see the pressure variation in the time.

The "performance reading" referred to the "initial or zero reading" are:

$$\Delta P = P_{es} - P_0$$

Generally the readings are reported in a diagram showing ΔP versus time (fig. 5.3).

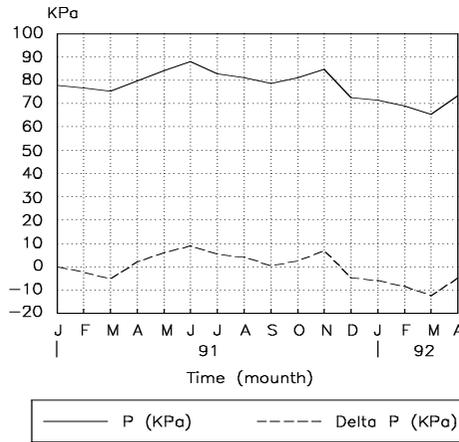


Fig. 5.3: Esempio di interpretazione dati delle celle di pressione

Fig. 5.3: Example of stress cells data reduction

Oppure riportando le misure di più strumenti sullo stesso grafico (fig. 5.4):

Different instruments can be shown on the same diagram (fig. 5.4):

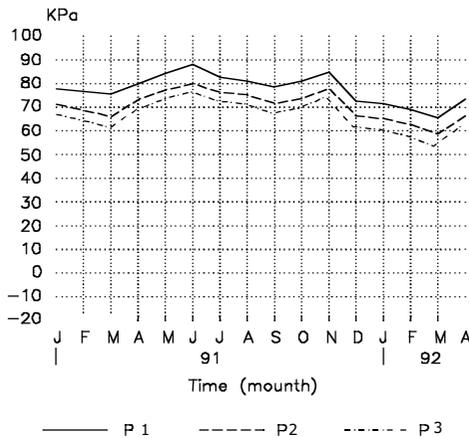


Fig. 5.4: Esempio di interpretazione dati con tre celle di pressione

Fig. 5.4: Example of data reduction with three stress cells

5. ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLE MISURE

5. DATA PROCESSING AND INTERPRETATION

Qualora si disponga di un **sistema di acquisizione dati**, tutto questo può essere eseguito in modo completamente automatico.

Sisgeo, oltre a fornire l'hardware necessario, per sistemi di monitoraggio di una certa complessità, può fornire il pacchetto **software Indaco** che è in grado di organizzare i dati in una banca ed effettuare una serie di elaborazioni ed interpretazioni secondo le esigenze del cliente.

*If **data acquisition system** is available, all this can be done automatically.*

*Sisgeo can supply the hardware, and for sytem of a certain importance, also the **software Indaco** to organize the measurements into a data base and to make computation and interpretation according to the client requirements.*

CAPITOLO 6: ACCESSORI E RICAMBI

CHAPTER 6: ACCESSORIES AND SPARES

Sono disponibili i seguenti accessori e parti di ricambio:

- tubo idraulico per alte pressioni;
- sistema di ripressurizzazione del circuito idraulico delle celle comprendente pompa a mano con connessioni;
- olio idraulico disaerato in contenitori da 1 litro;
- cavo elettrico a sei conduttori per segnali in tensione e a due conduttori per segnali in corrente;
- centralina di misura C6002 per i trasduttori di pressione elettrici per misure locali;
- connettore impermeabile da preassemblare in fabbrica per la connessione diretta all'unità di lettura portatile;
- scatole di giunzione o pannelli di misura per collegare un massimo di dieci celle di pressione totali ad un sistema di acquisizione remoto;
- protezioni contro le sovratensioni da inserire all'interno delle scatole di giunzione.

At Sisgeo are available the following spares and accessories:

- *hydraulic high pressure nylon tube;*
- *hydraulic circuit repressuring pump complete of tube fittings;*
- *deaired oil in 1 lt bottle;*
- *electric cable two or six wires for sensors with current or voltage output;*
- *read out unit C6002 for electric pressure transducer with local readings;*
- *waterproof connector to be mounted at Sisgeo laboratory for direct connection with the read out unit;*
- *junction and measuring boxes to connect up to 10 stress cells to a remote data acquisition system;*
- *overvoltage protections to be placed inside the Junction box.*

CAPITOLO 7: MANUTENZIONE

CHAPTER 7: MAINTENANCE

La cella di pressione totale è un sistema ad olio completamente sigillato equipaggiato con un trasduttore di pressione.

Maneggiare con cura l'attrezzatura durante le fasi di trasporto ed installazione evitando urti. Non disconnettere mai il trasduttore di pressione dal tubo idraulico.

Non ruotare nè allentare mai nessun componente per facilitare l'installazione del piatto di misura.

Richiede manutenzione standard solo il connettore elettrico se installato. Coprire sempre il connettore se non utilizzato. Pulire il connettore con piccole quantità di alcool evitando componenti chimici o sostanze che potrebbero contenere solventi. Asciugare sempre il connettore prima delle misure e prima di proteggerlo con il suo cappuccio.

SERVIZIO E RIPARAZIONE

Ricalibrazione o riparazione di strumenti danneggiati può essere effettuata solo presso SISGEO o da tecnici tecnicamente preparati e autorizzati da SISGEO.

E' raccomandata la ricalibrazione delle celle di pressione prima di ogni nuova applicazione

In caso di riparazione, se possibile, spedire il set completo di accessori.

Spedizione

Proteggere gli strumenti durante il trasporto utilizzando idonei contenitori.

The stress cell is a completely sealed oil filled measuring system equipped with an electrical pressure transducer.

Handle it with care during transportation and installation avoiding shocks.

Do not disconnect the transducer or the steel hydraulic pipe from the pressure pad.

Do not rotate any hydraulic fittings to facilitate the installation of the cell.

Standard maintenance is required only for the electrical connector if installed. Always cap the connector when not used. Clean the connector using alcohol avoiding spray or chemical components containing solvents. Always dry the connector before measurement and before placing its protective cap.

SERVICE AND REPAIR

Recalibration or repair of damaged instrumentation is performed at the factory or by technically trained operators authorized from the factory.

Recalibration of the stress cells is recommended before each new application.

In case of recalibration or repairing, the full set of accessories has to be returned to the factory.

Shipment

Protect the instrument from shocks during the shipping in appropriate carrying case.

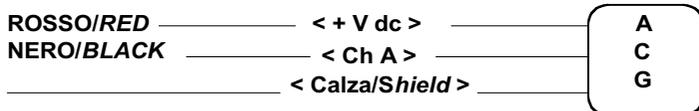
CAPITOLO 8: APPENDICI

CHAPTER 8: APPENDIXES

8. APPENDICE 1: CONVENZIONE CABLAGGIO CAVI ELETTRICI

8. APPENDIX 1: WIRING CODE

TRASDUTTORE DI PRESSIONE 4-20 mA 4-20 mA PRESSURE TRANSDUCER



CONNETTORE ECON07MV
VEAM MASCHIO BLC 6Z1 4SA7P
ECON07MV VEAM
CONNECTOR MALE BLC 6Z1 4SA7P

TRASDUTTORE DI PRESSIONE A CORDA VIBRANTE VIBRATING WIRE PRESSURE TRANSDUCER

ROSSO/RED _____ <Pressione/Pressure>

NERO/BLACK _____ <Pressione/Pressure>

VERDE/GREEN _____ <Temperatura/Temperature>

BIANCO/WHITE _____ <Temperatura/Temperature>

_____ < Calza/Shield >

8. APPENDICE 2: CONVERSIONE RESISTENZA TEMPERATURA

8. APPENDIX 2: THERMISTOR TEMPERATURE CONVERSION

Tipo di termistore : Alpha N° 13A3001-B3

Thermistor type: Alpha N° 13A3001-B3

Equazione di trasformazione dalla resistenza del termistore alla temperatura:

Resistance to temperature equation:

$$T = \frac{1}{A + B(\ln R) + C(\ln R)^3} - 273.2$$

Dove:

Where:

T = temperatura in °C

T = temperature in °C

LnR = Logaritmo naturale della resistenza del termistore

LnR = natural Log of thermistor resistance

A = 1.4051 × 10⁻³ (coefficiente calcolato da -50 a +150°C)

A = 1.4051 × 10⁻³ (coefficients calculated over the -50 to +150°C..span)

B = 2.369 × 10⁻⁴

B = 2.369 × 10⁻⁴

C = 1.019 × 10⁻⁷

C = 1.019 × 10⁻⁷

OHMS	TEMP	OHMS	TEMP	OHMS	TEMP	OHMS	TEMP	OHMS	TEMP
201.1K	-50	16.60K	-10	2417	+30	525.4	+70	153.2	+110
187.3K	-49	15.72K	-9	2317	31	507.8	71	149.0	111
174.5K	-48	14.90K	-8	2221	32	490.9	72	145.0	112
162.7K	-47	14.12K	-7	2130	33	474.7	73	141.1	113
151.7K	-46	13.39K	-6	2042	34	459.0	74	137.2	114
141.6K	-45	12.70K	-5	1959	35	444.0	75	133.6	115
132.2K	-44	12.05K	-4	1880	36	429.5	76	130.0	116
123.5K	-43	11.44K	-3	1805	37	415.6	77	126.5	117
115.4K	-42	10.86K	-2	1733	38	402.2	78	123.2	118
107.9K	-41	10.31K	-1	1664	39	389.3	79	119.9	119
101.0K	-40	9796	0	1598	40	376.9	80	116.8	120
94.48K	-39	9310	-1	1535	41	364.9	81	113.8	121
88.46K	-38	8851	2	1475	42	353.4	82	110.8	122
82.87K	-37	8417	3	1418	43	342.2	83	107.9	123
77.66K	-36	8006	4	1363	44	331.5	84	105.2	124
72.81K	-35	7618	5	1310	45	321.2	85	102.5	125
68.30K	-34	7252	6	1260	46	311.3	86	99.9	126
64.09K	-33	6905	7	1212	47	301.7	87	97.3	127
60.17K	-32	6576	8	1167	48	292.4	88	94.9	128
56.51K	-31	6265	9	1123	49	283.5	89	92.5	129
53.10K	-30	5971	10	1081	50	274.9	90	90.2	130
49.91K	-29	5692	11	1040	51	266.6	91	87.9	131
46.94K	-28	5427	12	1002	52	258.6	92	85.7	132
44.16K	-27	5177	13	965.0	53	250.9	93	83.6	133
41.56K	-26	4939	14	929.6	54	243.4	94	81.6	134
39.13K	-25	4714	15	895.8	55	236.2	95	79.6	135
36.86K	-24	4500	16	863.3	56	229.3	96	77.6	136
34.73K	-23	4297	17	832.2	57	222.6	97	75.8	137
32.74K	-22	4105	18	802.3	58	216.1	98	73.9	138
30.87K	-21	3922	19	773.7	59	209.8	99	72.2	139
29.13K	-20	3784	20	746.3	60	203.8	100	70.4	140
27.49K	-19	3583	21	719.9	61	197.9	101	68.8	141
25.95K	-18	3426	22	694.7	62	192.2	102	67.1	142
24.51K	-17	3277	23	670.4	63	186.8	103	65.5	143
23.16K	-16	3135	24	647.1	64	181.5	104	64.0	144
21.89K	-15	3000	25	624.7	65	176.4	105	62.5	145
20.70K	-14	2872	26	603.3	66	171.4	106	61.1	146
19.58K	-13	2750	27	582.6	67	166.7	107	59.6	147
18.52K	-12	2633	28	562.8	68	162.0	108	58.3	148
17.53K	-11	2523	29	543.7	69	157.6	109	56.8	149
								55.6	150

Tabella di conversione da resistenza del termistore a temperatura

Thermistor resistance versus temperature table

Celle di pressione totale

Stress cells

