

CONTROLLO DELLA SUBSIDENZA PER MEZZO DI SPECIALI SISTEMI ASSESTIMETRICI PROFONDI

F Robotti, AGISCO srl – Liscate (MI)

M Crema, AGISCO srl – Liscate (MI)

Sommario

Nell'ultimo decennio Agisco ha progettato e realizzato tre sistemi speciali dedicati al controllo permanente della subsidenza nell'area di estrazione di gas sulla costa adriatica nel comune di Ravenna. In particolare il primo sistema fu realizzato nel 1994. Questi assestimetri profondi sono stati appositamente progettati e realizzati per lo studio e la sorveglianza di fenomeni di subsidenza profonda focalizzando attenzione e sforzi sull'alto grado di affidabilità per il quale tali strumenti sono stati concepiti tenuto conto dell'alta profondità degli ancoraggi.

Questi sistemi di monitoraggio forniscono dati, in tempo reale, via linea telefonica, direttamente al Cliente e presso la sede di Agisco il quale presta tutt'ora un servizio di teleassistenza e manutenzione permanente.

Dati significativi sugli assestamenti profondi e sul livello della falda freatica sono ormai a disposizione da più di un decennio. Gli assestamenti, in particolare, sono misurati con un grado di sensibilità di $\sim 1/100\text{mm}$ e vengono addirittura utilizzati come punto di riferimento per altri tipi di misure. Infatti, nel corso di questi ultimi dieci anni i sistemi assestimetrici in questione hanno dimostrato di poter offrire eccellenti livelli di affidabilità così da essere utilizzati negli anni a venire, come richiesto del Cliente.

Supportati dagli eccezionali risultati ottenuti dall'esperienza di Ravenna, la Regione Emilia Romagna e il Comune di Bologna hanno deciso, nel 2005, di utilizzare due sistemi analoghi, nel loro territorio. In questi ultimi due casi, così come per Ravenna, i sistemi impiegati hanno dimostrato, nell'arco dell'anno di misura, di fornire importanti informazioni sui fenomeni di subsidenza che avvengono in quelle aree.

Parole chiave: subsidenza, sistema automatico di misure assestimetriche ad alta profondità, trasduttori induttivi, giunti telescopici, bussola a sfera, sistema a bilanciere, RADAS (Remote Automatic Data Acquisition System)

1 Introduzione

Nel 1993 veniva stipulata tra l'Amministrazione Comunale di Ravenna e AGIP SpA una Convenzione, allo scopo di assicurare un controllo dell'equilibrio geodinamico del territorio Ravennate, in particolare della costa, specialmente in corrispondenza delle aree interessate dalle attività estrattive di AGIP. Tra i vari interventi individuati nell'ambito di tale Convenzione, rientrava anche la misura diretta della compattazione superficiale tramite assestimetri in pozzi spia di profondità oltre i 300 metri dal piano campagna.

L'anno dopo AGIP emanò un bando di gara per la realizzazione dei primi due pozzi spia; la gara fu vinta da AGISCO in ATI con TECNOSOL (che curò tutta la parte di perforazione). Ciò fu possibile grazie ad un dettagliato progetto che prevedeva l'uso di sistemi assestimetrici i quali, oltre alla robustezza meccanica, accoppiavano innovative soluzioni atte a garantirne la funzionalità su lunghi periodi. Fu proprio per la qualità dei primi due sistemi assestimetrici e per la bontà e la coerenza dei dati ottenuti da questi strumenti che, 3 anni dopo, nel 1997, AGIP commissionò ad AGISCO altri 3 assestimetri (due profondi e uno superficiale) per altri due siti del comprensorio Ravennate. In questo caso la parte di perforazione fu curata da RCT.

Questa memoria descrive ciò che è stato realizzato dal punto di vista strumentale, dettagliando le caratteristiche e le prestazioni di questa tipologia di strumenti.

Nella tabella sottostante si riassumono le tipologie degli strumenti che sono stati installati nell'ambito della così detta "Convenzione Ravenna":

	Anno di installazione	Strumento	Profondità di posa (metri dal piano campagna)
SITO 1	1994	Assestimetro profondo	372.85
		Assestimetro superficiale	224.2
		Piezometro profondo	360
		Piezometro intermedio	243
		Piezometro superficiale	148
SITO 2	1997	Assestimetro profondo	336
		Assestimetro superficiale	30
		Piezometro	150.8
SITO 3	1997	Assestimetro	336
		Piezometro	150.8

2 Descrizione della strumentazione

Assestimetri

Gli assestimetri installati a Ravenna sono stati appositamente progettati e realizzati da AGISCO, grazie alla lunga esperienza precedentemente acquisita nel settore del monitoraggio speciale, adottando particolari costruttivi innovativi rispetto ai tradizionali assestimetri presenti sul mercato, atti a garantire un ottimale funzionamento, in considerazione anche delle notevoli profondità di posa e del lungo periodo di funzionamento richiesto.

Ciascuno strumento è schematicamente composto da un ancoraggio di fondo opportunamente sagomato, da un'asta di misura in acciaio rigidamente collegata all'ancoraggio, e da una tubazione esterna avente la funzione di protezione dell'asta di misura.



Fig. 1
Baracca di alloggiamento dei terminali di misura e del sistema a bilanciere

Il funzionamento dell'assestimetro verticale si basa sul seguente principio:

Ipotizzando il punto d'ancoraggio (punto profondo) dello strumento fisso e non soggetto a movimenti di sorta, si può affermare che l'asta di misura (essendo rigida) riporta in superficie tale punto che sarà poi usato come riferimento. L'asta non risente della compattazione degli strati superficiali del terreno in quanto risulta completamente svincolata dal terreno circostante grazie alla tubazione di protezione esterna.



Fig. 2:
Particolare del sistema di tesatura degli assestimetri

Le misure consistono perciò nel rilievo periodico a boccaforo della posizione relativa tra la sommità dell'asta di misura e la superficie, da cui si può ricavare, per differenza rispetto ad una configurazione iniziale, la variazione di distanza tra il profilo del terreno in superficie e l'ancoraggio inferiore.

L'asta di misura è stata quindi protetta mediante una robusta tubazione in acciaio zincato ($\varnothing 2''$) in spezzoni giuntati mediante manicotti. A diverse profondità sono stati posizionati alcuni giunti

telescopici per migliorare il comportamento assiale delle aste a contatto con il terreno in fase di compressione. Ogni giunto permette un cedimento relativo tra un'asta e l'altra di 250 mm. La funzione di questi giunti è quella di permettere alla tubazione di seguire l'eventuale compattazione del terreno senza creare particolari ostacoli.

L'asta interna di misura è composta da una tubazione in acciaio di diametro $\frac{1}{2}''$. I collegamenti tra i vari spezzoni di aste sono stati effettuati mediante nippli interni di giunzione: in questo modo l'intera tubazione non presenta assialmente alcuna variazione di diametro esterno. Per evitare punti di contatto tra l'asta di misura e la colonna di rivestimento e quindi possibili fonti d'attrito e, nello stesso tempo, per facilitare lo scorrimento della stessa, sono state usate delle bussole a sfera a scorrimento assiale, disposte in corrispondenza di ciascun manicotto di giunzione fra la tubazione esterna e i giunti telescopici. In questo modo si sono realizzati degli ottimi centratori per l'asta di misura con una riduzione quasi totale delle forze d'attrito; in particolare questa soluzione è stata adottata per eliminare l'attrito di primo distacco che risulta essere fonte di potenziali errori per strumenti di questo tipo. Il notevole peso di ciascuna batteria interna di aste grava interamente sull'ancoraggio. La base inferiore della batteria risulta perciò soggetta ad un notevole carico di punta dovuto al peso proprio.



Foto 3
Particolare della protezione della cella Casagrande

Questo fa sì che l'asta di misura si disponga all'interno della tubazione esterna, in modo casuale, dando al sistema una notevole inerzia nei confronti della prontezza di risposta dello strumento ai movimenti. Per evitare ciò, le batterie d'aste sono state tesate mediante sistema a bilanciere con una forza tale da risultare di poco superiore al peso proprio di ciascuna batteria (il peso massimo applicato risulta di poco superiore ai 400 Kg). L'asta interna quindi risulta disposta in modo perfettamente verticale rispetto al terreno circostante e lo strumento diventa estremamente rapido e sensibile nei confronti della misura della compattazione.

In superficie, in corrispondenza dell'uscita dell'asta di misura a boccaforo, è stata creata una piastra in cemento armato, opportunamente dimensionata, in modo da rendere trascurabile la pressione esercitata sul terreno di appoggio dal peso dello strumento.

Nel tratto superficiale (ultimi 20 ÷ 30 metri circa), quella cioè più soggetta alle oscillazioni stagionali della temperatura, l'asta interna è stata sostituita con aste di acciaio invar a basso coefficiente di dilatazione termica in modo da ridurre al minimo le deformazioni longitudinali dovute ai gradienti termici. Comunque, per evidenziare la correlazione di eventuali movimenti con le oscillazioni di temperatura, sono stati posizionati, a varie quote, alcuni sensori termometrici.

La misura dei cedimenti viene realizzata in duplice modo: manuale e automatico. In entrambi i casi si misura l'abbassamento del sistema a bilanciere, reso solidale con il terreno dalla piastra in calcestruzzo, rispetto all'asta interna che, dato il suo ancoraggio, si ritiene fissa e quindi assunta quale punto di riferimento.

La misura manuale viene effettuata mediante comparatore centesimale con corsa di 30 mm; la precisione di questa misura è di 0.01 mm. Il comparatore è stato posizionato in modo permanente così da evitare che i successivi riposizionamenti possano provocare errori di ripetitività della misura. La misura di tipo automatico avviene mediante l'utilizzo di un trasduttore elettrico di tipo induttivo collegato al sistema di acquisizione dati automatico. Il trasduttore è stato ancorato da una parte all'asta di collegamento contrappeso-astina e dall'altra alla piastra solidale con il basamento in calcestruzzo rispetto al quale avviene la misura.

La risoluzione di misura del sensore è di 1 centesimo di millimetro.

Strumentazione piezometrica

Per la misura della piezometria, sono stati utilizzati dei classici piezometri tipo "Casagrande", protetti da una robusta camicia in acciaio inox (foto 3), con dei fori per permettere all'acqua di falda di raggiungere la camera con il filtro. La protezione meccanica si è resa necessaria per proteggere il filtro durante le operazioni di installazione, in considerazione delle notevoli profondità di posa.

Per rendere automatica la misura piezometrica, all'interno delle tubazioni sono stati inseriti dei trasduttori elettrici, uno per ciascun piezometro, centralizzati all'unità di acquisizione dei dati.

Termometri lungo la verticale

I termometri utilizzati sono del tipo a termoresistenza al platino (Pt100 Ω). I sensori sono stati fissati sull'asta di misura dell'assestometro in modo da misurare direttamente le variazioni di temperatura del metallo.

Rilevatore presenza di gas

Due delle tre stazioni assestometriche sono dotate di un sistema elettronico per il rilevamento della presenza di gas. Questo sistema si è reso necessario in quanto si sono evidenziate tracce di gas metano provenienti dalle perforazioni. Lo strumento viene misurato in concomitanza con la restante strumentazione in modo da verificare che l'ambiente non si saturi di gas, garantendo in questo modo l'incolumità degli operatori.

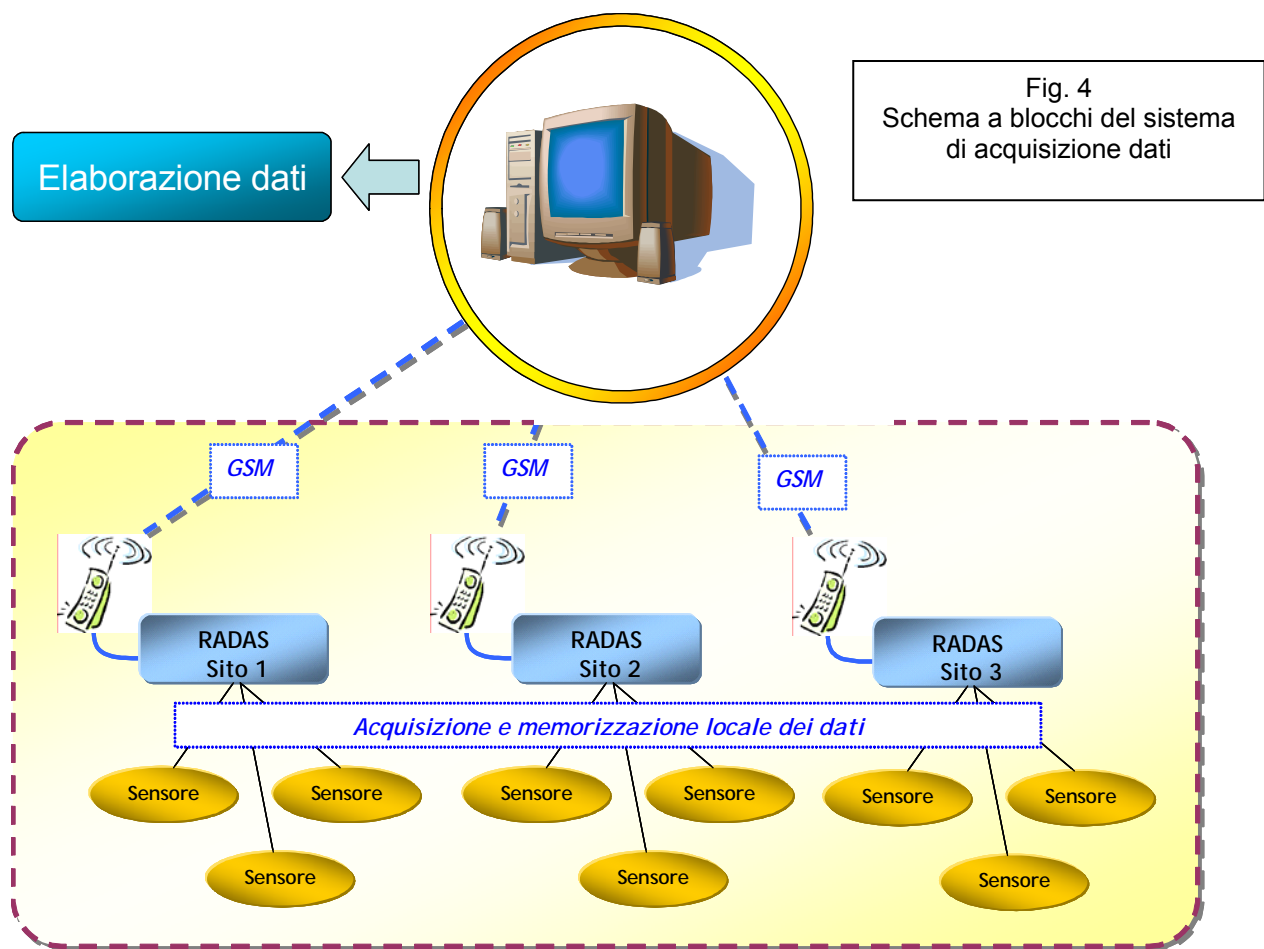


Fig. 4
Schema a blocchi del sistema di acquisizione dati

Apparecchiatura di acquisizione automatica.

Ogni stazione assestimetrica è dotata di un'apparecchiatura di acquisizione automatica (modello RADAS) alimentata da pannello solare alla quale sono collegati i sensori elettrici (temperatura, trasduttori di spostamento, barometro e piezometri Casagrande). Esse sono poste all'interno delle baracche in cui sono posizionati gli assestimetri verticali con i relativi sistemi di misura a contrappeso. Normalmente la frequenza di memorizzazione è di 4 acquisizioni giornaliere. Su richiesta della Committente, in alcuni periodi particolari, la frequenza può essere aumentata sino a 48 misure giornaliere e il settaggio dell'apparecchiatura è fatto da remoto.

Ciascun sito è dotato di un sistema di teletrasmissione dei dati composto da un modem GSM, collegato via seriale all'apparecchiatura.

Periodicamente (una volta alla settimana) avviene lo scarico dei dati memorizzati e nel contempo si esegue un breve check-up del sistema in modo da avere una situazione aggiornata con possibilità di intervento in caso di qualsiasi malfunzionamento. Il collegamento con le stazioni avviene dalla sede dell'Agisco mediante l'impiego di modem GSM di cui sono dotate le apparecchiature di acquisizione dati.

Questo modo di operare permette quindi di ridurre al minimo l'intervento diretto sul posto e nel contempo permette a più utenti, da sedi diverse, ad esempio AGIP e AGISCO, di disporre direttamente di misure aggiornate in tempo reale.

3 Tecniche di perforazione

Le perforazioni dei pozzi sono state eseguite a rotazione e distruzione di nucleo con circolazione diretta di fanghi polimerici. I primi 30 metri sono stati realizzati con diametro 17"1/2, mentre tutta la restante perforazione è stata eseguita con diametro 9"7/8 per conferire le caratteristiche necessarie a ottenere la massima verticalità del foro come richiesto dalle specifiche di progetto.

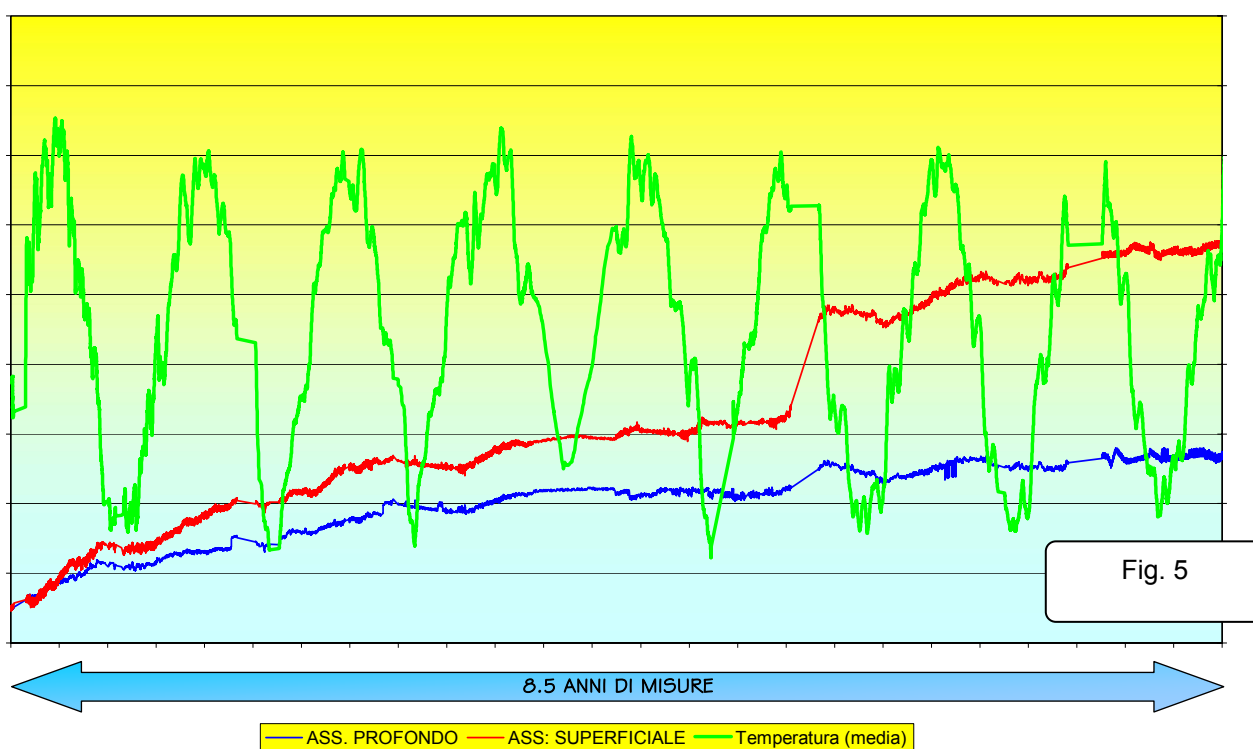
A diverse profondità sono state eseguite misure di verticalità con strumentazione TOTCO; a fondo foro si sono registrati valori di scostamento massimo dalla verticale compresi tra 0.75° e 1°.

Dovendo installare anche una strumentazione piezometrica, al fine di evitare problemi di intasamento con conseguente riduzione della permeabilità delle parti porose filtranti, è stato utilizzato del fango a polimeri speciali.

Al termine della perforazione si è provveduto alla posa fino a fondo foro di una tubazione metallica da 2"3/8 (tubo getto) in barre di lunghezza variabile da 8 a 9 m., giuntate tra di loro tramite filettatura M/F con bicchiere smussato.

La tubazione è stata utilizzata per l'iniezione delle miscele cementizie e plastiche, per la posa del manto drenante oltre che per mantenere il foro aperto e privo di detriti.

Terminata la sua messa in opera si è iniziata la posa degli assestimetri e dei piezometri.



4 Modalità di rappresentazione dei dati

I dati ottenuti dalle stazioni assestimetriche sono elaborati off-line tramite fogli elettronici e vengono consegnati al Committente con periodicità semestrale.

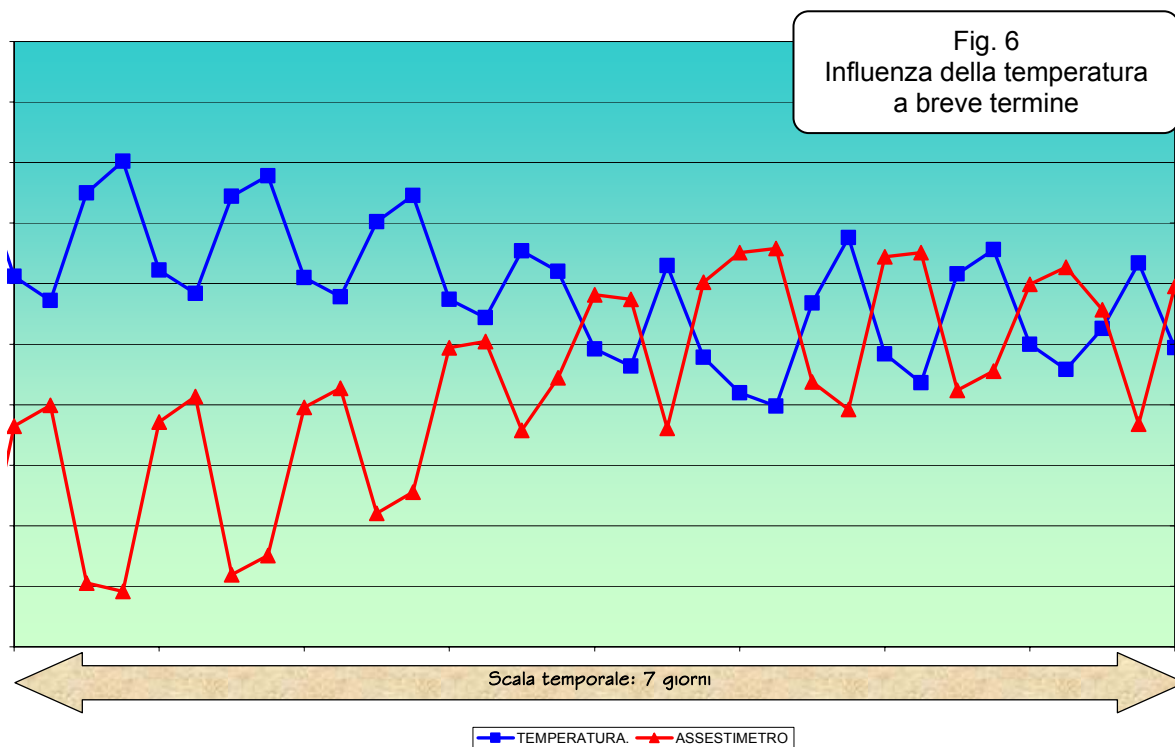
Un esempio di elaborazione assestimetrica è riportato nel grafico di fig. 5.

Per una corretta interpretazione si tenga presente che l'assestometro fornisce i cedimenti totali tra il punto più profondo e la superficie; spostamenti che interessano strati più profondi (oltre la quota di ancoraggio) non vengono rilevati da questa strumentazione.

I dati si riferiscono alla variazione di spostamento misurata rispetto alla lettura assunta come "misura di zero". Tipicamente è stata assunta quale misura di zero quella del collaudo del sistema.

5 Analisi dei dati

Tutte le stazioni assestimetriche hanno fornito negli anni informazioni di ottima qualità. La strumentazione è installata da ormai più di un decennio e sta tutt'ora funzionando con elevatissimi livelli di affidabilità.



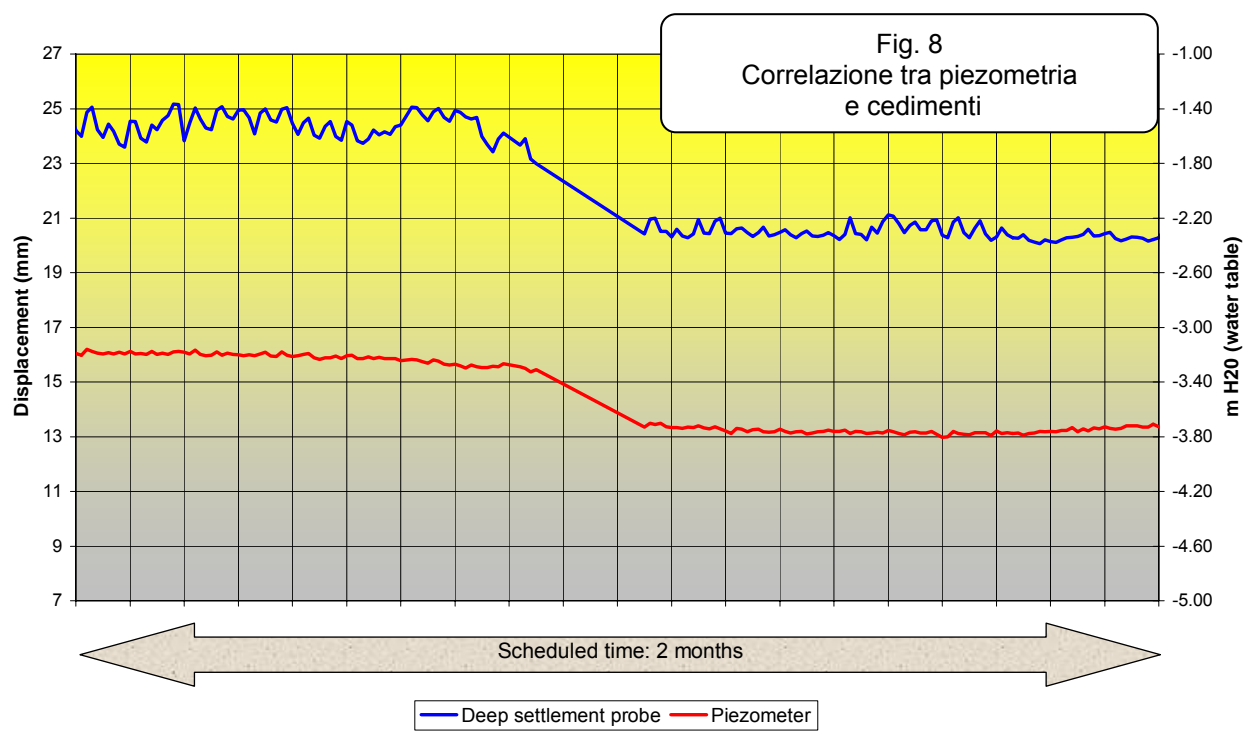
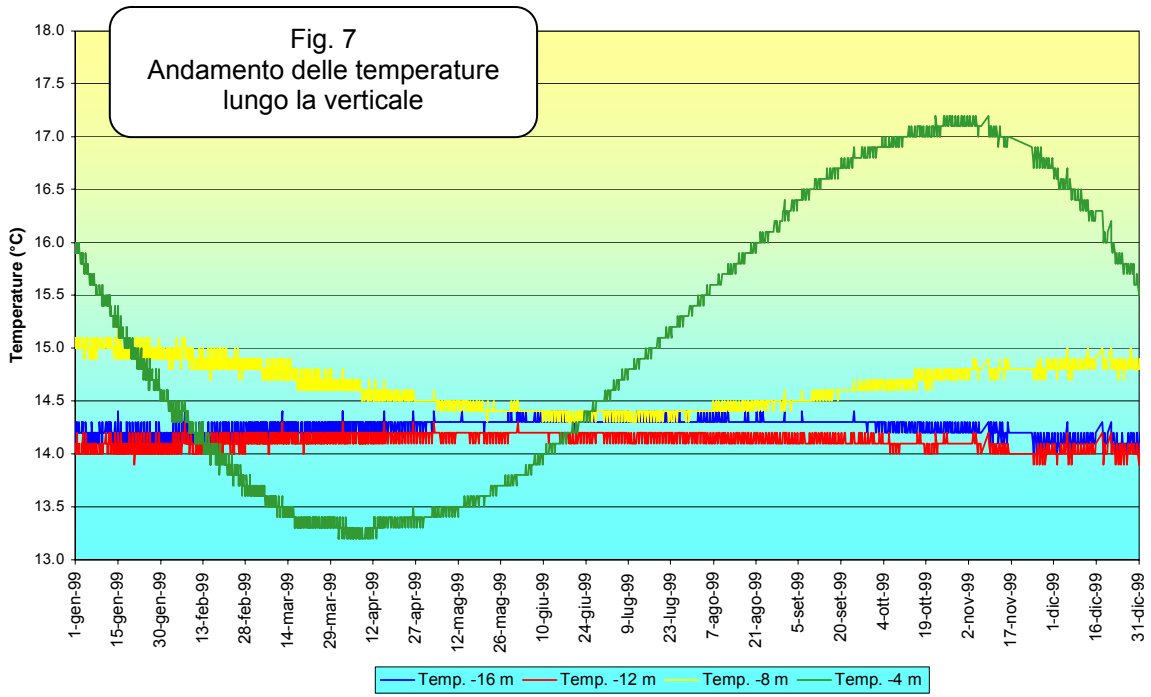
La precisione dell'acquisizione e dei sensori utilizzati è tale da determinare con sicurezza, sul periodo totale di acquisizione, il trend effettivo di cedimento del piano campagna rispetto al punto di ancoraggio profondo (fenomeno di compattazione).

Anche se le misure assestimetriche risentono delle variazioni giornaliere della temperatura (vedi fig. 6), ciò è praticamente trascurabile nel lungo periodo.

Nell'arco degli ultimi anni d'osservazione non si nota alcun effetto della variazione stagionale della temperatura.

L'affidabilità del sistema di misura è messa in evidenza dall'analisi dei dati di temperatura lungo la verticale (fig. 7). Come ci si aspettava la temperatura, a partire da una certa profondità all'interno della perforazione, è praticamente costante (variazioni di un decimo di grado fra una acquisizione e l'altra). Man mano che si risale verso la superficie si comincia lentamente a risentire delle variazioni termiche fino ad evidenziare, con il termometro posto a una profondità di -4 metri, l'andamento stagionale.

Esiste inoltre una correlazione tra l'andamento della piezometria e le misure registrate dagli assestimetri (fig. 8). Tale correlazione, che ha una sua spiegazione a livello idrogeologico, dimostra quanto le misure abbiano un elevato grado di affidabilità. In nessun caso l'assestimetro risulta bloccato o soffre di problemi di allungamenti anomali. Infatti le misure rispecchiano gli andamenti stagionali (legati essenzialmente ai periodi di siccità e di piovosità) con alternati periodi di stabilità ed altri che mostrano, al contrario, una tendenza a variazioni più rapide.



6 Conclusioni

Fino ad ora in Italia, e non solamente, questo è il primo esempio di assestimetro profondo che ha dimostrato una così alta affidabilità nel tempo. Tale successo è dovuto essenzialmente alle scelte progettuali adottate, alla robustezza di tutti i particolari meccanici, (cuscinetti, giunti telescopici, ecc.) e alle tecniche di posa in opera che sono state utilizzate durante il varo dello strumento. Queste scelte sono il frutto dell'esperienza che AGISCO ha maturato e consolidato in decenni di lavoro nel campo del monitoraggio geotecnico.

Tutte e tre le stazioni stanno tutt'ora funzionando in modo perfetto e i dati sono ancora oggi utilizzati da AGIP nell'ambito più generale della misura della subsidenza nel bacino di Ravenna. Non solo, questi strumenti sono stati inoltre inseriti in sistemi di controllo più generali e specializzati per il controllo della subsidenza superficiale e profonda. Infatti, confortati dai risultati di Ravenna, La regione Emilia Romagna e il Comune di Bologna hanno deciso, nel 2005, di adottare due sistemi analoghi per il controllo permanente dei fenomeni di subsidenza che si verificano in alcune zone del loro territorio.