

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA

# XXIV CONVEGNO NAZIONALE DI GEOTECNICA

Napoli, 22-24 giugno 2011



## INNOVAZIONE TECNOLOGICA NELL'INGEGNERIA GEOTECNICA

VOLUME 2

EDIZIONI AGI

# STABILIZZAZIONE DI TERRENI ARGILLOSI SOGGETTI A FENOMENI DI RITIRO E RIGONFIAMENTO: UN INTERVENTO ESEGUITO SU UN FABBRICATO DISSESTATO SITO A BOLOGNA

Carbonella R. \*, Cenni G. \*\*, Franceschini M. \*\*\*

\* Geologo socio Geotea srl

\*\* Ingegnere libero professionista, Bologna

\*\*\* Ingegnere socio Teleios srl

## SOMMARIO

Il presente articolo illustra una tecnica d'intervento per la soluzione di casi di dissesto statico degli edifici dovuti alla peculiare caratteristica dei terreni di natura argillosa di manifestare variazioni di volume al variare della propria umidità. E' stato messo a punto e brevettato un metodo di stabilizzazione dei terreni, denominato "Sistema HBC", in grado di mantenerne costante l'umidità e conseguentemente eliminare la causa dei dissesti. Si tratta di un impianto che eroga acqua al terreno di fondazione mediante dei dispositivi di diffusione alimentati da un sistema di adduzione e gestiti da un apparato di controllo. Tutta la sperimentazione eseguita ha permesso di dimensionare e progettare i punti di diffusione e stimare preliminarmente i consumi di acqua. Si presenta un caso realizzato nel settembre 2008 e costantemente monitorato. L'impianto ha risolto le problematiche statiche dell'edificio con costi e disagi assai contenuti rispetto ai metodi tradizionali. Si evidenziano, dopo una fase transitoria di assestamento di qualche mese, una totale assenza di movimenti e consumi d'acqua esigui, in linea con quanto stimato in fase di progettazione.

Parole chiave: dissesti statici, cedimento fondazioni, argille, suzione, ritiro-rigonfiamento,

## 1 PREMESSA

Negli ultimi anni vi è stato un notevole incremento di dissesti statici dei fabbricati imputabili prevalentemente a variazioni di volume del terreno di fondazione. Il verificarsi di variazioni climatiche sempre più estreme (Cacciamani 2003) determina nuove condizioni di equilibrio del sistema "terreno/fabbricato" non compatibili con la capacità deformativa della struttura in assenza di lesioni.

La coltre attiva (soggetta a ritiro-rigonfiamento), che in passato presentava spessori limitati e non interferiva col piano di posa delle fondazioni, oggi raggiunge di frequente profondità di 5/6 m. Di conseguenza i ritiri volumetrici estivi influenzano maggiormente le strutture e coinvolgono edifici che in passato non avevano mai avuto problemi. Alle variazioni stagionali di umidità si sovrappongono spesso vari fattori di contorno che complicano notevolmente i contesti e contribuiscono ad aggravare la problematica. Si citano ad esempio le seguenti situazioni:

- presenza di alberi nelle zone adiacenti i fabbricati;
- cortili pavimentati alternati a zone a verdi;

- edifici su pendii con piano di posa della fondazione diverso tra monte e valle;
- edifici con piani interrati parziali (fabbricati zoppi)
- perdite dalle fognature, dai pluviali ecc. che alterano localmente i valori di umidità del terreno.



Figura 1 - Tipica fessurazione da ritiro in terreni di natura argillosa

In generale, tutte quelle circostanze che provocano variazioni disomogenee del contenuto d'acqua dei terreni di fondazione possono innescare fenomeni di dissesto alle strutture. Nella presente memoria viene descritta una

tecnica di stabilizzazione dei terreni argillosi soggetti a fenomeni di ritiro e rigonfiamento, che gode di brevetto nazionale ed europeo, denominata "Sistema HBC" e viene illustrato un intervento eseguito a Bologna sottoposto a continuo monitoraggio.

## 2 COMPORTAMENTO DELLE ARGILLE PARZIALMENTE SATURE

Il terreno è un sistema multifase costituito da particelle solide e da vuoti. Gli spazi intergranulari possono essere riempiti da una fase liquida e da una gassosa.

La geotecnica classica è sempre riferita ad un sistema bifasico costituito dalla parte solida i cui vuoti sono completamente saturi di acqua.

La presenza dei fluidi all'interno dei pori e la loro interazione con lo scheletro solido condiziona fortemente le caratteristiche fisiche, meccaniche e di deformabilità del sistema. In un terreno parzialmente saturo la pressione dell'acqua nei pori ( $u_w$ ) è sempre inferiore alla pressione della fase gassosa ( $u_a$ ). Tale differenza è definita "Suzione di Matrice".

In funzione del rapporto volumetrico tra la fase liquida e quella gassosa, all'interno del terreno parzialmente saturo, si possono verificare varie condizioni:

- condizione "a isole d'aria" (fase fluida dominante con fase gassosa presente a bolle)
- condizione "a pendolo" (fase gassosa dominante con acqua presente sotto forma di menischi in corrispondenza dei contatti interparticellari)
- condizione di saturazione "mista" (le due situazioni precedenti coesistono)

La variazione del termine suzione incide profondamente sul comportamento generale del terreno.

I primi lavori di carattere teorico e sperimentale finalizzati alla comprensione del comportamento dei terreni non saturi erano incentrati sull'estensione del principio degli sforzi efficaci di Terzaghi con la relazione proposta da Bishop (1959):

$$\sigma' = \sigma - u_a + X(u_a - u_w) \quad (1)$$

dove:

$X$  = fattore che varia con il grado di saturazione del materiale

$(u_a - u_w)$  = suzione

Dall'equazione (1) si ricava la resistenza al taglio con la nota formula:

$$\tau = c' + [(\sigma - u_a) + X(u_a - u_w)] \tan \phi \quad (2)$$

Studi successivi hanno contribuito ad estendere e ad affinare la formulazione sopra riportata evidenziando anche i limiti di tale approccio (Bishop e Blight, 1963; Morgestern 1979 ecc). Allo stato dell'arte non sono note formulazioni semplici e di facile applicabilità nella pratica professionale relativa all'interazione terreno-struttura in quanto la coltre attiva è in continuo cambiamento. Per quanto concerne i flussi idrici, anche nei terreni insaturi

vale la legge di Darcy:

$$v = k_{(\delta)} i \quad (3)$$

$$k_{(\delta)} = k_s k_r \quad (4)$$

dove:

$i$  = gradiente idraulico

$k_s$  = coefficiente di permeabilità dell'acqua in condizione di completa saturazione

$k_r$  = conducibilità idraulica relativa funzione della suzione

Per meglio comprendere i meccanismi di flusso dell'acqua all'interno del sistema terreno, è utile definire la "curva di ritenzione idrica". Essa rappresenta la relazione tra "suzione" e "grado di saturazione" del terreno.

La curva è suddivisa in tre parti:

- una parte iniziale ove il terreno è completamente saturo e le forze di suzione sono estremamente basse o nulle
- una zona intermedia di transizione dove al diminuire del contenuto in acqua aumentano le forze di suzione
- una zona residua insatura dove la fase liquida è discontinua e piccole diminuzioni del grado di saturazione corrispondono a notevoli incrementi della suzione.

Durante la fase di diminuzione del contenuto in acqua il terreno segue una curva di ritenzione detta "curva principale di essiccamento" mentre, nel processo inverso segue una "curva principale di imbibizione" diversa dalla precedente. Le due curve delimitano tutti i possibili percorsi che il terreno può compiere nelle varie fasi.

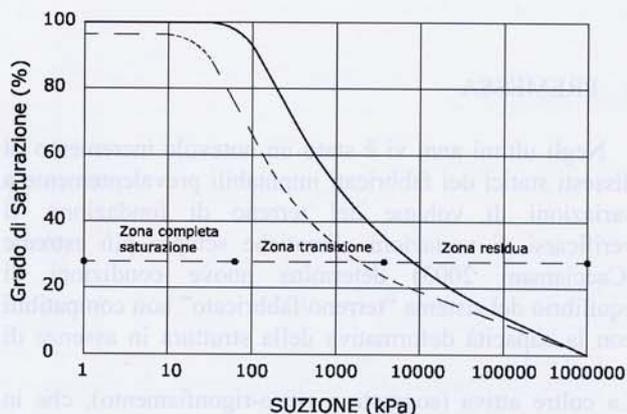


Figura 2 - Curva principale di essiccamento (tratto continuo) e di imbibizione (tratteggiato) di un limo argilloso

Oltre al mutamento delle caratteristiche fisiche e meccaniche correlate alla suzione, l'aspetto peculiare che interessa la problematica in esame, è la variazione di volume che questi terreni manifestano quando, per qualche motivo, cambia la loro umidità (variazioni climatiche stagionali, evapotraspirazione, infiltrazioni d'acqua ecc.).

Tali variazioni volumetriche si manifestano in maniera

irregolare nell'area di sedime del fabbricato per effetto della disomogeneità degli eventi scatenanti e delle condizioni al contorno e, di conseguenza, le strutture, le cui fondazioni sono poste in zone sensibili, risultano sollecitate e possono manifestare dissesti anche di notevole entità (Franceshini et al 2004).

La figura sottostante mostra una tipica prova penetrometrica statica che evidenzia un essiccamento del terreno fino a circa 6 m di profondità dal piano campagna.

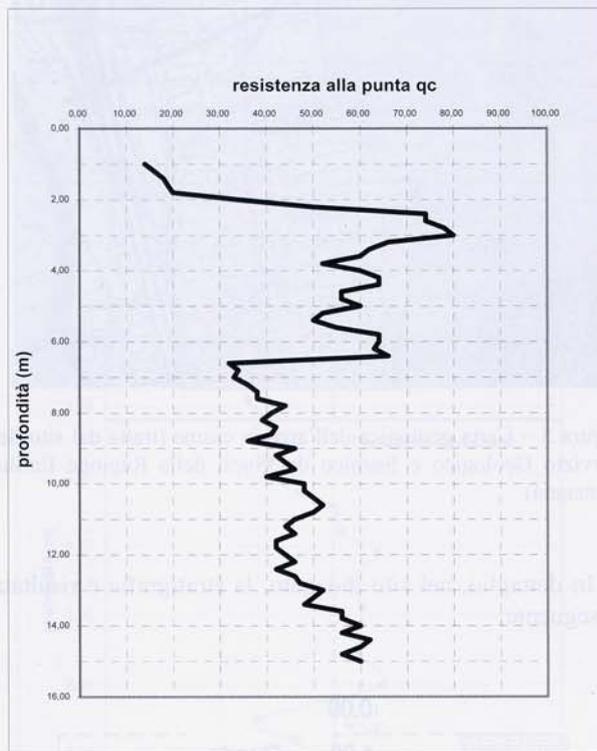


Figura 3 - Tipico andamento della resistenza di punta in una prova penetrometrica statica eseguita su terreni che mostrano un essiccamento

In queste situazioni, come si evince dall'esame delle curve di ritenzione, il terreno risulta particolarmente sensibile in quanto a piccole variazioni di umidità corrispondono rilevanti variazioni di volume.

### 3 TECNICA DI STABILIZZAZIONE

In generale un terreno sottosaturo posto a contatto con acqua libera tende a richiamare la fase liquida in quanto la pressione dell'acqua nei pori ( $uw$ ) è sempre inferiore alla pressione dell'aria ( $ua$ ).

Il metodo di stabilizzazione proposto in questa memoria, denominato "Sistema HBC", si basa sul semplice principio di creare una disponibilità della fase liquida in modo da annullare le forze di suzione presenti nel terreno o di impedirne la comparsa in seguito ad essiccamento. Lo scopo del sistema da noi brevettato è quello di mantenere costante nel tempo l'umidità del

terreno di fondazione del fabbricato dissestato in modo da evitare i cedimenti ed i rigonfiamenti differenziali e, conseguentemente, sanare i dissesti statici da essi originati. Il terreno viene idratato mediante dei dispositivi di diffusione dell'acqua alimentati da un impianto di adduzione a sua volta gestito da un sistema di controllo automatico. La presenza di forze di suzione nelle zone parzialmente sature amplifica il gradiente idraulico generato nel sistema di adduzione favorendo in questo modo il flusso e la diffusione di acqua verso le zone sottosature.

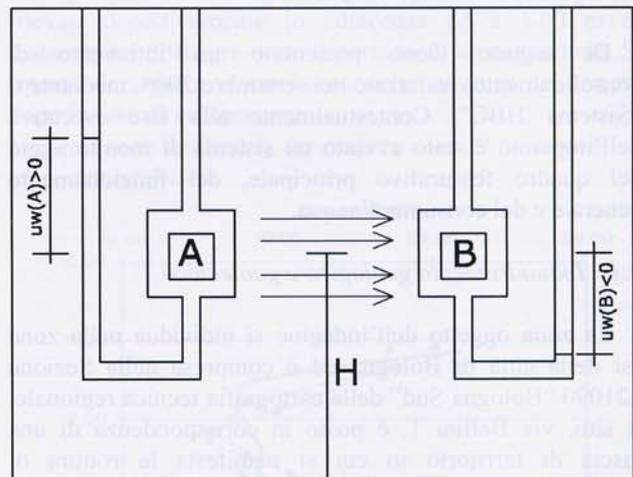


Figura 4 - Gradiente idraulico in un terreno parzialmente saturo

Si crea in questo modo una zona satura di terreno al di sotto del piano di fondazione che non risente più delle variazioni di umidità che eventualmente si possono generare per effetto di qualsiasi causa esterna.

A seconda delle caratteristiche morfologiche del fabbricato e dell'area di sedime, delle possibilità di accesso, delle peculiarità della struttura portante, della natura del terreno di fondazione e delle sue caratteristiche geotecniche si progetta la tipologia dei diffusori ed il loro posizionamento.

Il consumo di acqua è minimo per cui l'impianto viene di norma allacciato all'acquedotto comunale ma, nulla vieta di utilizzare qualunque fonte disponibile. Si potrebbero, per esempio, utilizzare le acque meteoriche raccolte in vasche appositamente realizzate. L'impianto viene inoltre dotato di pozzetti d'ispezione necessari alla taratura, alla manutenzione e alle puntuali verifiche di funzionamento.

La tecnica suddetta presenta i seguenti vantaggi rispetto ai metodi tradizionali di consolidamento:

- estrema economicità complessiva;
- minima invasività, in quanto richiede perforazioni di piccolo diametro con profondità limitate e scavi ridotti;
- non necessita di interventi preventivi sulle fondazioni esistenti
- cantieri di dimensioni e durata molto contenuti;

- se gli spazi esterni lo consentono, si può operare con la tecnica della perforazione orizzontale senza intervenire minimamente nell'edificio eseguendo il lavoro esclusivamente dall'esterno;

La manutenzione dell'impianto consiste nella verifica annuale del funzionamento delle apparecchiature di controllo la cui eventuale sostituzione comporta costi irrisori.

#### 4 CASE HISTORY - IL FABBRICATO DI VIA BELLINI N. 1 A BOLOGNA

Di seguito viene presentato un intervento di consolidamento, realizzato nel settembre 2008, mediante il "Sistema HBC". Contestualmente alla fase esecutiva dell'impianto è stato avviato un sistema di monitoraggio del quadro fessurativo principale, del funzionamento generale e del consumo d'acqua.

##### 4.1 Inquadramento geologico e geotecnico

La zona oggetto dell'indagine si individua nella zona est della città di Bologna ed è compresa nella Sezione 221090 "Bologna Sud" della cartografia tecnica regionale. Il sito, via Bellini 1, è posto in corrispondenza di una fascia di territorio in cui si manifesta la rottura di pendenza tra la zona collinare e l'ambito dell'alta pianura (Viel et al 1997).

In particolare essa appartiene all'ambiente morfologico della pedecollina e della pianura pedemontana. Più precisamente si colloca al passaggio tra la fascia delle conoidi antiche della pedecollina interdigitate con quelle delle interconoidi permeabili recenti.

L'evoluzione morfologica di questo settore di territorio della città di Bologna è strettamente legata alla dinamica dei corsi d'acqua minori che solcano le prime pendici collinari del quadro di territorio compreso tra Porta S. Stefano e la località S. Ruffillo.

Si tratta essenzialmente di fossi di minore importanza che defluiscono nel torrente Savena. I sedimenti presenti nel sottosuolo della zona in oggetto sono il risultato dell'azione di trasporto e deposito di questi corsi d'acqua. Essi, nella parte dello sbocco in pianura, hanno avuto un'evoluzione simile, con ripetute divagazioni dell'alveo e spostamento generale dell'apparato di conoide verso Est.

La porzione esterna delle conoidi si è fusa e i corsi d'acqua hanno sovrapposto più volte il loro alveo a quello abbandonato dell'altro. In questi bacini, di limitata estensione e di dislivello totale modesto, gli apporti di materiale grossolano sono contenuti. La presenza di ghiaie è infatti generalmente segnalata solo per potenze ed estensioni molto limitate.

Gli apici dei corpi di conoide e di interconoide poggiano direttamente su materiali ascrivibili alla Formazione delle Marne del Termina (TER) ed alla Formazione delle Argille Plioceniche (FAA). In particolare il primo sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di uno strato di materiali fini, in parte, derivanti dall'alterazione di quelli sottostanti (coltre eluviale) e, in

parte, trasportati dai corsi d'acqua.

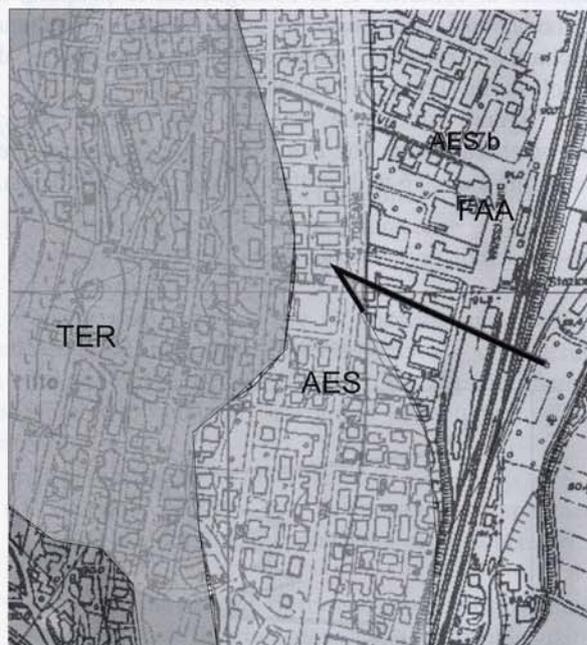


Figura 5 – Carta geologica dell'area in esame (tratta dal sito del Servizio Geologico e Sismico dei Suoli della Regione Emilia Romagna)

In dettaglio, nel sito indagato, la stratigrafia è risultata la seguente:



Figura 6 – Stratigrafia del sito in esame

Dal punto di vista geotecnico vengono riportati i risultati ottenuti dalle analisi eseguite sui campioni prelevati. In particolare si presentano solo quelli relativi alla coltre limoso-argillosa in quanto è sede delle strutture fondali e causa del dissesto.

Tabella 1 – Caratteristiche fisiche e granulometriche dello strato di natura limoso-argillosa

Limite liquido (%)	40
Limite plastico (%)	20
Limite di ritiro (%)	17
Indice plastico	20
Ghiaia (%)	0.23
Sabbia (%)	9.08
Limo (%)	67.66
Argilla (%)	23.03
Permeabilità (m/sec)	$2 \times 10^{-7}$

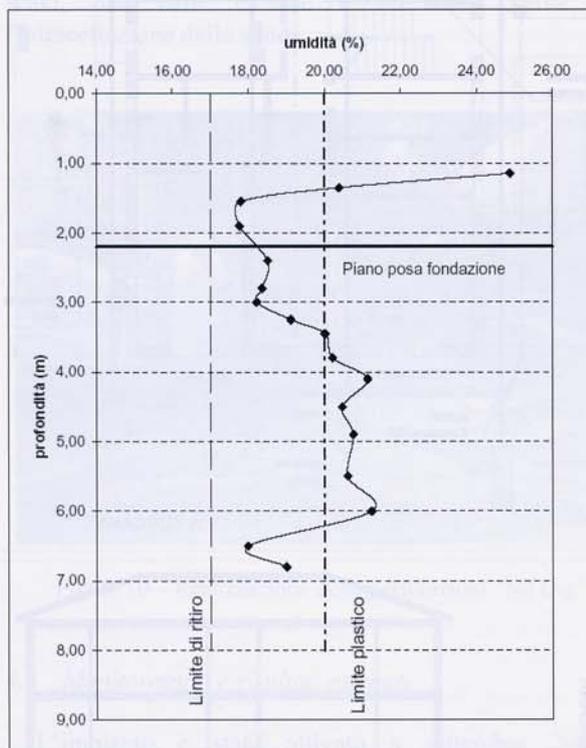


Figura 7 – Variazione del contenuto d'acqua con la profondità nei terreni del sito indagato

Dall'esame del grafico sopra riportato, si rileva che nella zona compresa tra -1.50 e -3.40 m dal piano campagna il contenuto in acqua è prossimo al limite di ritiro. E' evidente che in questa fascia, sede delle strutture fondali, si è verificato un essiccamento del terreno e, quindi, un ritiro volumetrico.

Si noti anche la netta diminuzione dell'umidità in al contatto con le ghiaie sottostanti. Tale assetto stratigrafico può influire notevolmente sull'andamento del contenuto in acqua dei materiali fini. Non è da escludere, infatti, che le ghiaie siano sede di falde effimere e, quindi, possano apportare e/o drenare acqua. Ai fini del dimensionamento dell'impianto HBC è fondamentale determinare il raggio di influenza dei diffusori da predisporre. Purtroppo la via analitica risulta molto complicata poiché, come accennato

in precedenza, nel caso di terreni insaturi i parametri della legge di Darcy, che interpreta il processo di filtrazione, sono funzioni delle forze di suzione presenti. Di conseguenza si è optato per la sperimentazione in sito avvalendosi di un foro di sondaggio strumentato con un piezometro tipo Norton utilizzato come elemento diffusore. Il piezometro è stato alimentato per un mese imponendo un livello piezometrico costante posto a circa -4.00 m dal piano campagna. Per determinare un raggio d'influenza utile della diffusione, si è proceduto a confrontare il contenuto in acqua iniziale determinato nella prima fase d'indagine (figura 7) con altri due profili rilevati rispettivamente in adiacenza ed a 1.00 m di distanza dal diffusore dopo il periodo di alimentazione. Si riporta di seguito il confronto delle umidità dei terreni dopo la fase di imbibizione:

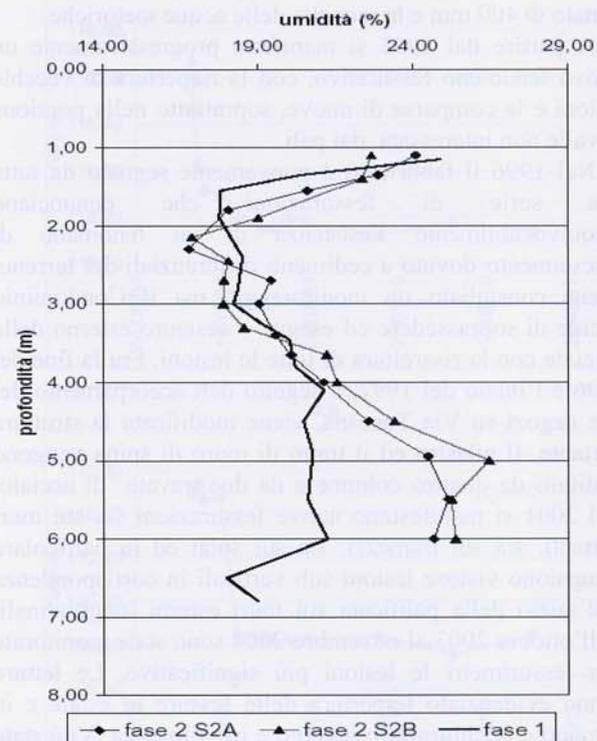


Figura 8 – Confronto del contenuto in acqua dopo la fase di imbibizione dei materiali in esame

Come si evince dai risultati ottenuti, la zona posta al di sotto del livello piezometrico ha evidenziato un aumento del contenuto in acqua passando da percentuali prossime al 19% a valori intorno al 25%. I contenuti in acqua compresi tra il 24% ed 27% rappresentano la totale saturazione del materiale in esame.

#### 4.2 Struttura dell'edificio e vicissitudini storiche

Si tratta di un fabbricato a destinazione abitativa, di dimensioni 20,00 x 11,00 m, composto da tre piani fuori terra e da un piano seminterrato adibito a scantinato nella parte di monte e a negozi nella porzione di valle. La

struttura portante è in muratura ed è costituita dai muri esterni longitudinali di due teste, da due muri di spina di una testa e dai muri trasversali delimitanti il vano scala, anch'essi di una testa. A piano terra, nella porzione a negozi, uno dei muri di spina non è stato realizzato, al suo posto sono stati costruiti un pilastro in muratura ed una travata. Le fondazioni, attestate a 50÷60 cm dal piano seminterrato, sono costituite da un letto di ghiaia scarsamente cementata di larghezza inferiore ai 40 cm e spessore circa 30 cm. Il fabbricato presenta i primi problemi statici nella porzione di monte a metà degli anni '80. Nel 1989 il Condominio interpella un Professionista che esegue alcuni sondaggi ed individua le caratteristiche del terreno di fondazione. I dissesti vengono attribuiti all'imbibimento del terreno per effetto della dispersione delle acque meteoriche oltre che alle scarse caratteristiche di rigidità della fondazione. Vengono consigliati e realizzati un intervento parziale con pali di cemento armato  $\Phi$  400 mm e la raccolta delle acque meteoriche.

A partire dal 1993 si manifesta progressivamente un nuovo fenomeno fessurativo, con la riapertura di vecchie lesioni e la comparsa di nuove, soprattutto nella porzione di valle non interessata dai pali.

Nel 1996 il fabbricato è nuovamente segnato da tutta una serie di fessurazioni che denunciano inequivocabilmente l'esistenza di un fenomeno di assestamento dovuto a cedimenti differenziali del terreno. Viene consigliato un monitoraggio ma il Condominio decide di soprassedere ed esegue il restauro esterno delle facciate con la risarcitura di tutte le lesioni. Fra la fine del 1996 e l'inizio del 1997, a seguito dell'accorpamento dei due negozi su Via Toscana, viene modificata la struttura portante. Il pilastro ed il tratto di muro di spina vengono sostituiti da quattro colonne e da due travate di acciaio. Nel 2001 si manifestano nuove fessurazioni sia sui muri portanti, sia sui tramezzi, sia sui solai ed in particolare compaiono vistose lesioni sub verticali in corrispondenza dell'inizio della palificata sui muri esterni longitudinali. Dall'ottobre 2003 al novembre 2004 sono state monitorate con fessurimetri le lesioni più significative. Le letture hanno evidenziato l'apertura delle fessure in estate e in autunno e la chiusura in inverno e in primavera. Vi è stata una sostanziale compensazione dei cedimenti nel periodo d'indagine ma, lo stato fessurativo è peggiorato sensibilmente, anche a seguito della comparsa di nuove lesioni. L'alternarsi dell'apertura e della chiusura delle fessure è la conferma che il fabbricato risente pesantemente delle variazioni volumetriche stagionali dei terreni di fondazione.

#### 4.3 Progetto dell'intervento

Nel 2008 è stato eseguito il consolidamento mediante l'installazione di un impianto di controllo dell'umidità del terreno (sistema brevettato HBC). Come si evince dal progetto dell'impianto, figura 10, sono state poste in opera, a profondità opportuna, quattro tubazioni di polietilene pre-forate sub-orizzontali. Esse hanno la funzione di diffondere nel terreno di sedime del fabbricato l'acqua necessaria a mantenerne costante l'umidità

indipendentemente da tutte le condizioni esterne che possano intervenire. Ovviamente, l'impianto non interessa la parte di fabbricato a suo tempo consolidata con pali.

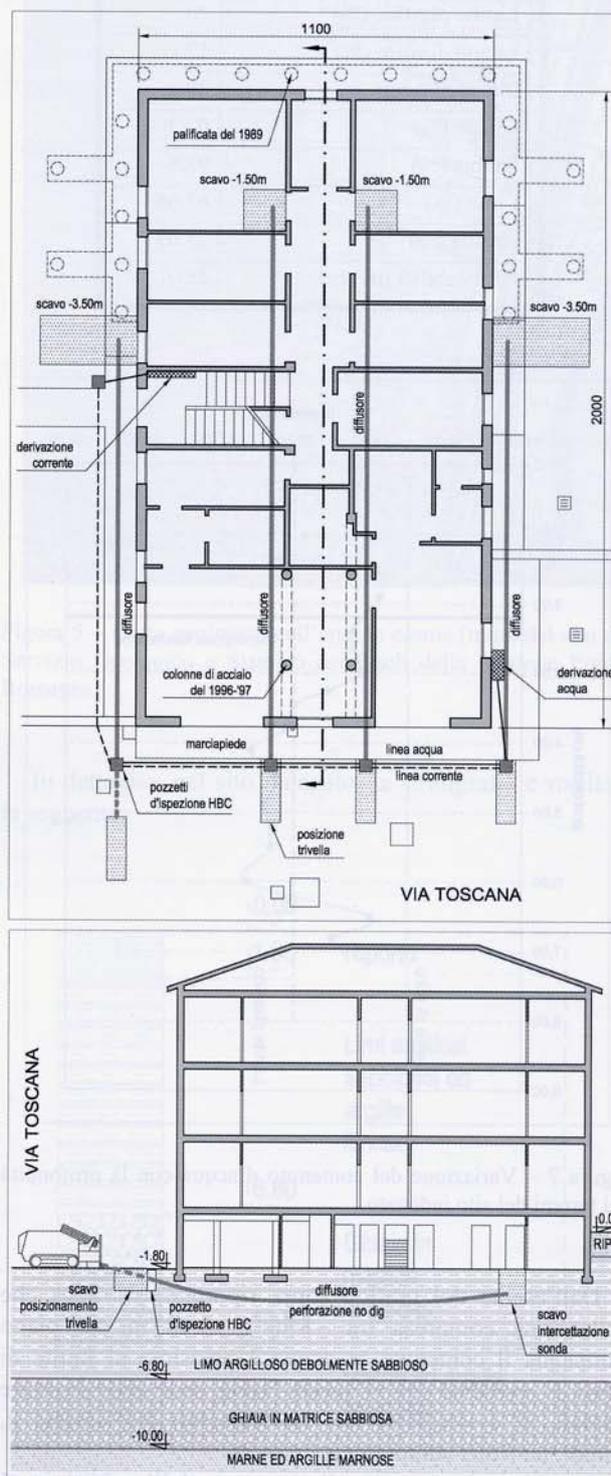


Figura 9 – Pianta e sezione dell'impianto realizzato

L'alimentazione dell'acqua è stata derivata dal contatore condominiale presente in prossimità dello spigolo destro del fabbricato, mentre la necessaria corrente elettrica è stata presa dal quadro contatori condominiale ubicato nel

vano scala. Ogni diffusore è dotato di un pozzetto, ispezionabile per la manutenzione, posto nel piazzale su Via Toscana che contiene le apparecchiature elettriche ed elettroniche atte a controllare, monitorare e mantenere il livello piezometrico di progetto dell'acqua. Data la presenza del piazzale su Via Toscana è stato possibile posare i diffusori con l'impiego di una perforatrice orizzontale (No-Dig) senza intervenire minimamente all'interno dell'esercizio commerciale ubicato al piano terra. Il "Directional Drilling" è un sistema di perforazione basato sull'esecuzione di una trivellazione, mediante una testa orientabile ed un sistema per localizzarla. L'avanzamento della testa di perforazione, per l'esecuzione del "foro pilota", avviene per la combinazione dei movimenti di spinta e rotazione esercitati dalla macchina. Nel caso realizzato, è stato sufficiente eseguire quattro scavi, due nelle cantine e due nel cortile, per l'intercettazione della sonda.



Figura 10 – Realizzazione delle perforazioni “No Dig”

#### 4.4 Monitoraggio e risultati ottenuti

L'impianto è stato attivato a settembre 2008 e contestualmente è stato implementato un monitoraggio che consiste nel controllo delle lesioni maggiormente significative per mezzo di stazioni crepemetriche, nel rilievo dei consumi d'acqua tramite un contatore e nelle verifiche di funzionamento delle linee mediante una centralina elettronica di controllo. I risultati ottenuti sono stati eccellenti. Come si evince dai grafici riportati, i movimenti, dopo una prima fase di assestamento di qualche mese, si sono completamente arrestati. Le misure si riferiscono ad una stazione crepemetrica critica in quanto ubicata sulla lesione principale presente sul muro esterno in corrispondenza dell'inizio della palificata. La necessità di acqua è stata minima così come ipotizzato in fase progettuale. In particolare l'ultima lettura, eseguita in data 30/09/2010, indica un consumo totale pari a 143 m<sup>3</sup> in linea con le caratteristiche di permeabilità dei terreni. Esaminando l'andamento dei consumi di acqua si nota come, dopo il periodo di assestamento iniziale, il consumo accenni ad un andamento pseudo-sinusoidale a testimonianza dell'influenza stagionale sul processo.

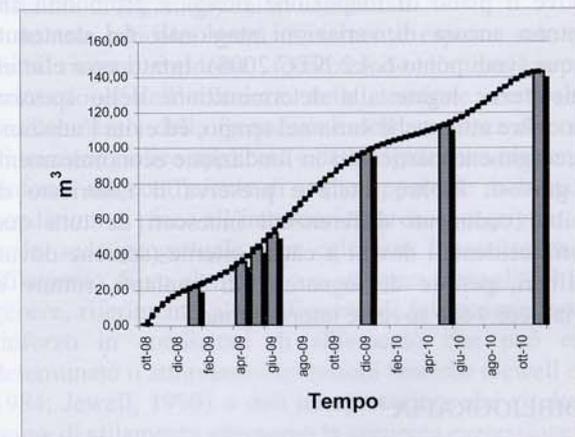
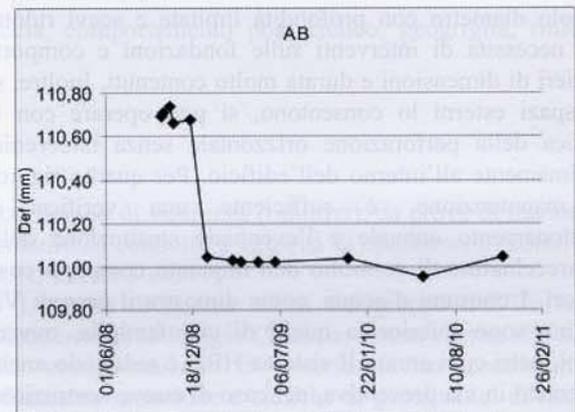
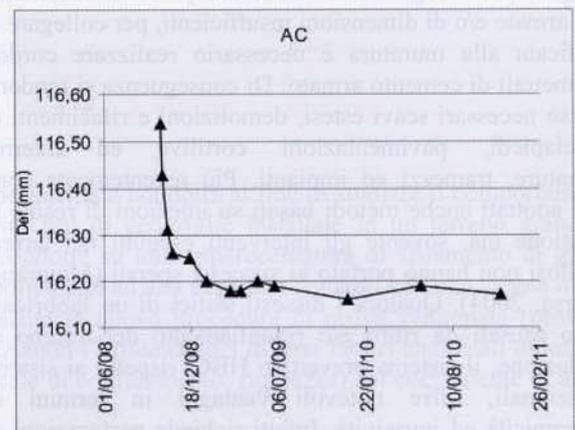
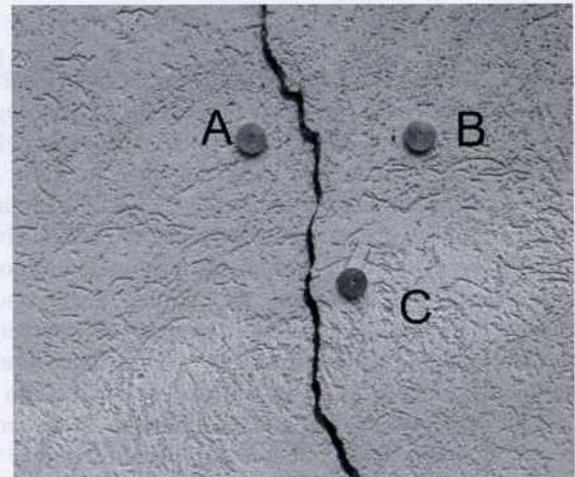


Figura 11 – Stazione crepemetrica, relative letture eseguite e consumi di acqua nel biennio di funzionamento dell'impianto

## 5 CONCLUSIONI

Quanto illustrato nei paragrafi precedenti mostra come sia possibile risolvere situazioni di dissesto statico degli edifici dovute a fenomeni di ritiro e di rigonfiamento delle argille mediante l'istallazione di un impianto in grado di mantenere costante l'umidità del terreno. Fino ad oggi tale tipologia di dissesti è stata risolta mediante il trasferimento dei carichi verso strati di terreno più profondi, e quindi non interessati da variazioni di umidità, realizzando palificate o sottofondazioni di vario genere. Tali interventi sono assai costosi ed invasivi in quanto interessano generalmente tutte le strutture portanti del fabbricato e richiedono l'accessibilità con attrezzature anche imponenti e, spesso, da ambo i lati delle murature. Inoltre, poiché la maggior parte degli edifici dissestati presenta fondazioni non armate e/o di dimensioni insufficienti, per collegare la palificata alla muratura è necessario realizzare cordoli perimetrali di cemento armato. Di conseguenza si rendono spesso necessari scavi estesi, demolizioni e rifacimenti di marciapiedi, pavimentazioni cortilive ed interne, fognature, tramezzi ed impianti. Più recentemente sono stati adottati anche metodi basati su iniezioni di resine in pressione ma, sovente gli interventi eseguiti nei terreni argillosi non hanno portato ai successi sperati (Maiorano, Aversa, 2004). Qualora i dissesti statici di un fabbricato siano causati da ritiro e/o rigonfiamento del terreno di fondazione, il sistema brevettato HBC, rispetto ai sistemi tradizionali, offre notevoli vantaggi in termini di economicità ed invasività. Infatti richiede perforazioni di piccolo diametro con profondità limitate e scavi ridotti, non necessita di interventi sulle fondazioni e comporta cantieri di dimensioni e durata molto contenuti. Inoltre, se gli spazi esterni lo consentono, si può operare con la tecnica della perforazione orizzontale senza intervenire minimamente all'interno dell'edificio. Per quanto riguarda la manutenzione, è sufficiente una verifica di funzionamento annuale e l'eventuale sostituzione delle apparecchiature di controllo dell'impianto comporta costi irrisori. I consumi d'acqua, come dimostra il caso di Via Bellini, sono inferiori a quelli di una famiglia, ovvero pochi metri cubi annui. Il sistema HBC è redditizio anche realizzato in via preventiva, nel caso di nuove costruzioni, laddove il piano di fondazione ricada a profondità che risentono ancora di variazioni stagionali del contenuto d'acqua (vedi punto 6.4.2 NTC 2008). Infatti esso elimina le incertezze legate alla determinazione dello spessore della coltre attiva, che varia nel tempo, ed evita l'adozione di accorgimenti particolari in fondazione economicamente più gravosi. Inoltre tutela e preserva il fabbricato da possibili cedimenti differenziali innescati da tutti quei fattori accidentali dovuti a cause esterne (suzione dovuta ad alberi, perdite di fognature, di impianti, rotture di pluviali ecc.) che sovente intervengono.

## 6 BIBLIOGRAFIA

Bishop A. W., 1959. The principle of effective stress. *Teknik Ukeblad* 39, pp 859-863

- Bishop A. W. and Blight G. 1963. Some aspects of effective stress in saturated and unsaturated soil. *Geotechnique*, 13, pp 177-197.
- Cacciamani C., 2003. Cambiamenti climatici, lo statoglobale e l'evoluzione a scala regionale. *inarcos* 641, pp. 512-519
- Franceschini M, Carbonella R, Zanna A., 2004 Studio per una corretta analisi dei recenti fenomeni di dissesto degli edifici a Bologna dovuti a crisi del sistema delle fondazioni. *Atti XXII Convegno Nazionale di Geotecnica, Palermo 22-24/09/ 2004*, pp 365-372
- Maiorano R.M.S., Aversa S. 2004. Modellazione numerica degli effetti prodotti da iniezioni espandenti al di sotto delle fondazioni di edifici in muratura. *Atti XXII Convegno Nazionale di Geotecnica, Palermo 22-24/09/ 200*, pp 389-393.
- Morgenstern N. R. 1979. Properties of compacted soil. Contribution to panel discussion, Session IV, Proc., 6<sup>th</sup> Panamerican Conf. On soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol3, pp 349-354.
- Viel G., Tommasetti M., Monteaguti M., Frassinetti G., 1997. Pianificazione ambientale delle aree metropolitane: il Bolognese, primi risultati. *Convegno di Geologia delle grandi aree urbane, Bologna 4-5 Novembre 1997*, pp.24-48.

## ABSTRACT

STABILIZATION OF CLAY SOILS SUBJECTED TO SHRINKAGE AND SWELLING: ONE CASE DEVELOPED IN BOLOGNA

Keywords: static problems, foundation settlement, clay, suction, shrinkage-swelling,

This article demonstrates a method to solve static problems in buildings due to the change in volume of the foundation soils, of clayey nature, because of changes in water content. Was developed and patented a system for stabilizing soils able to maintain constant water content and thus remove the cause of foundation settlements. Is a system that supplies water to the foundation soil through devices of diffusion powered by a supply system and operated by a control apparatus. The proposed method of stabilization, called "Sistema HBC", is based on the principle of creating a supply of water to undo the forces of suction in the soil or to prevent their appearance after drying. The experiments performed made it possible to design the size and distribution points and to estimate water consumption. Here we presents a case conducted in September 2008 and constantly monitored. After a few months of operation, the building has not indicated any more movement. Water consumption was minimal, less than those of a family, in line with the provisions. The system solved the static problems of the building with cost and inconvenience much lower than traditional methods. The "Sistema HBC" is profitable even when made in advance in new construction when the foundations are in the active layer subject to shrinkage and swelling.