

# **Risoluzione dei cedimenti nei terreni coesivi mediante l'impiego dell'elettrosmosi**

**Autore:** *Ing. Federico Francia*

**In collaborazione con:** *Cedimenti Crepe Muri srl*

## Una soluzione innovativa al problema dei cedimenti nei terreni coesivi

L'ingegneria è la disciplina che trova soluzioni ai problemi dell'essere umano, date N condizioni di partenza: ogni soluzione presenta tuttavia al suo interno dei limiti, che si configurano a loro volta come problemi. Nasce così una nuova proposta, a sua volta migliorabile, e così via, innescando il procedimento di continua evoluzione che caratterizza il mondo in cui viviamo.

Per tale ragione, esistono contemporaneamente soluzioni tradizionali e soluzioni innovative al medesimo problema: scopo del presente articolo è di illustrare la tecnologia dell'**elettrosmosi** come **soluzione innovativa al problema dei cedimenti dei terreni coesivi che risentono del fenomeno ciclico di cedimento / rigonfiamento**.

### Elettrosmosi: il fenomeno e possibili impieghi

Si definisce elettrosmosi il fenomeno elettromagnetico che consiste nel flusso di liquido attraverso i capillari di un diaframma poroso non conduttore e che ha luogo quando si applica una differenza di potenziale a due elettrodi metallici immersi nelle due parti di liquido separate dal diaframma stesso (Enc. Treccani).

Il campo di applicazione dell'elettrosmosi riguarda numerose altre problematiche, che non saranno tuttavia trattate all'interno del presente articolo:

- deumidificazione di murature per risalita capillare dell'umidità;
- drenaggio elettrosmotico di un piano od orizzonte di scivolamento di una frana in terre coesive;
- barriera elettrosmotica per limitare la diffusione di un inquinante in terreni a bassa permeabilità;
- circoscritta depressione della falda con barriera elettrosmotica per apertura fronti di scavo in terreni a bassa permeabilità.

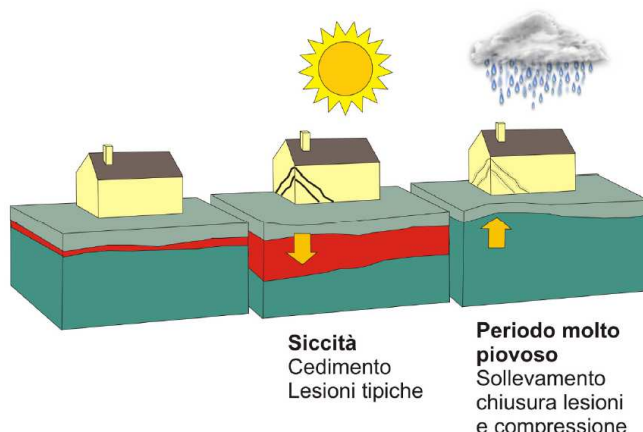
## Cedimenti patologici nel terreno di fondazione

Possiamo definire il **cedimento del terreno di fondazione** come il risultato delle deformazioni nel volume significativo di terreno al di sotto del piano di posa, immaginando che al di fuori di tale volume risultino trascurabili gli effetti di una qualsiasi alterazione dello stato tensionale.

I cedimenti possono essere concettualmente distinti nelle seguenti categorie:

- cedimenti “fisiologici” dovuti all’applicazione dei carichi;
- cedimenti “cosismici”, dovuti all’alterazione delle caratteristiche del terreno in condizioni sismiche (es. liquefazione);
- cedimenti “patologici” per variazioni di volume, cioè di contenuto d’acqua, in terre coesive;

La differenza fondamentale tra la prima e la terza famiglia risiede nel fatto che la prima è caratterizzata da un’alterazione dei carichi sul terreno, mentre la terza da un’alterazione del volume di acqua interstiziale tra i grani del terreno.



ANDAMENTO DEL QUADRO FESSURATIVO AL VARIARE DELLE PIOVOSITÀ IN UN EDIFICIO CHE SORGE SU UN TERRENO COESIVO

La presenza d’acqua in un terreno argilloso è infatti legata a numerosi fattori di natura ciclica, tra cui la stagionalità delle piogge, il movimento delle falde, etc.; dal quantitativo d’acqua nei pori interstiziali dipende la deformabilità del volume significativo al di sotto delle fondazioni: per tali ragioni, gli edifici che sorgono su un terreno coesivo risentiranno di questo **ciclo di cedimento-rigonfiamento** in termini di evoluzione del loro quadro fessurativo e pertanto di decadimento della loro funzionalità strutturale. Possiamo pertanto definire questo tipo di cedimento come “patologico”, essendo la sua natura così strettamente legata a quella del terreno su cui sorge l’edificio.

Come appena descritto, la caratteristica fondamentale di questa tipologia di cedimento è la ciclicità, che si traduce nell’apertura di nuove **lesioni** durante le stagioni siccitose e nella chiusura di altre, con i visibili effetti di rigonfiamento dell’intonaco, durante le stagioni piovose. Si allegano due immagini per maggior chiarezza.



ESEMPI QUALITATIVI DI LESIONI DA CEDIMENTO PER DISIDRATAZIONE DEL TERRENO E PER LESIONI DA RIGONFIAMENTO PER REIDRATAZIONE

## Possibili soluzioni al problema dei cedimenti patologici

Risolvere il problema dei cedimenti patologici significa:

- per il tecnico, ripristinare il grado di sicurezza precedente l'innescamento del fenomeno;
- per il committente, che generalmente non è un tecnico, fare in modo che si chiudano le lesioni.

La differenza tra i due punti di vista è fondamentale e determina 3 diverse metodologie risolutive del problema:

- a) **aggirare il problema** e ripristinare la sicurezza dell'edificio sfruttando porzioni di terreno non interessate dai fenomeni di rigonfiamento / essiccazione;
- b) **intervenire sugli effetti**, lasciando tuttavia inalterate le cause;
- c) **intervenire sulle cause**, scongiurando pertanto che il fenomeno si presenti ancora in futuro.

Il committente non ha infatti le conoscenze tecniche necessarie per comprendere che:

- le lesioni nascono a seguito di **spostamenti differenziali** nei vari punti;
- **è assurdo intervenire in punti precisi**, perché si ritarda solamente il problema nel tempo: rinforzando infatti un punto critico, prima o poi si innescherà un nuovo cedimento differenziale nel punto non trattato;

Possiamo concludere che l'esigenza del cliente, unitamente alla sua mancanza di conoscenze tecniche ed eventualmente a ragioni di tipo economico, comporta spesso l'utilizzo di interventi nei soli punti lesionati, e/o incapaci di eliminare le cause del problema (interventi di tipo a) e b)). In tali casi, il cliente affronta un investimento non richiesto (interventi di tipo a)), oppure rimanda solo il problema a data successiva (interventi di tipo b)). **Solo intervenendo sulle cause, infatti, si possono ottimizzare i costi dell'intervento ed evitare che il fenomeno dei cedimenti si manifesti in futuro.**

Nella seguente tabella si riporta un inquadramento delle principali tecniche utilizzate oggi per affrontare il problema dei cedimenti in terreni coesivi soggetti a ritiro / rigonfiamento: mentre pali, micropali e resine si configurano come interventi non risolutivi delle cause e, per ragioni economiche, limitano spesso la loro

presenza alle sole porzioni di terreno al di sotto delle lesioni, **solo la tecnologia dell'elettrosmosi inversa è in grado di risolvere il problema all'origine, evitando l'insorgere di nuovi cedimenti in futuro.**

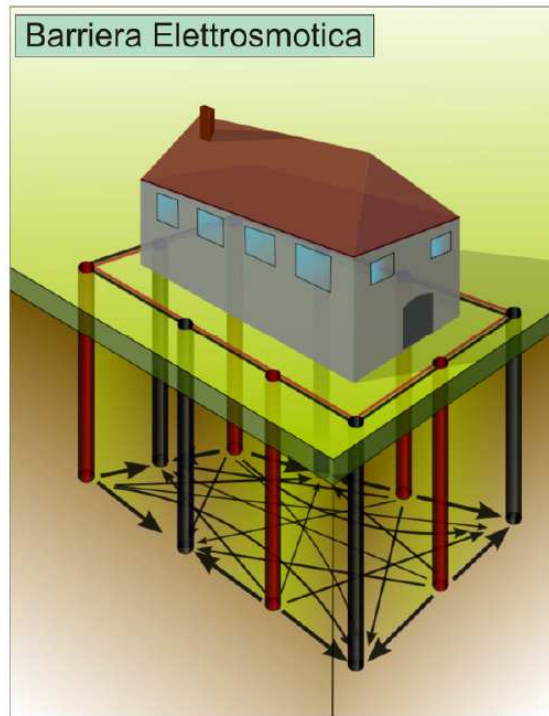
	<b>Pali / micropali</b>	<b>Resine</b>	<b>Elettrosmosi inversa</b>
<b>Intervento</b>	Aggirano il problema;	Intervengono sugli effetti;	Interviene sulle cause;
<b>Funzionamento</b>	Trasferiscono i carichi al terreno più resistente in profondità e comunque non interessato da ritiro/rigonfiamento;	Riempiono i vuoti presenti allo stato di fatto, risolvendo gli edifici, nei soli punti dove si è manifestata la lesione;	Riempie i vuoti interstiziali ed evita che si formino di nuovo, richiamando l'acqua in essi; gli edifici si risolvono;
<b>Svantaggi</b>	Invasivo e, generalmente, costoso. Se limitato ai soli punti dove si ha la lesione, non impedirà l'insorgere di nuove lesioni nei punti non trattati.	Limitate ai punti dove si ha la lesione, non sono risolutive del fenomeno, che tornerà a manifestarsi nel tempo.	

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DISPONIBILI SUL MERCATO PER LA RISOLUZIONE DEL PROBLEMA DEI CEDIMENTI IN UN TERRENO COESIVO, DISTINTE IN RELAZIONE AL TIPO DI APPROCCIO AL PROBLEMA

## Funzionamento del sistema elettrosmotico

Il sistema di stabilizzazione elettrosmotica si basa su due principi fondamentali:

- l'acqua non deve allontanarsi dal volume significativo di terreno al di sotto della fondazione;
- l'acqua che si muove all'interno di un terreno siliceo (il terreno) genera un campo elettrico.



RAPPRESENTAZIONE QUALITATIVA DEL SISTEMA E DELLA GABBIA ELETTROSMOTICA

Il terreno su cui si interviene è generalmente disidratato: si provvede allora alla sua idratazione per mezzo di un circuito idraulico collegato a fori verticali condizionati con tubi piezometrici fessurati. Le argille circostanti, povere d'acqua, avviano così un fenomeno di furto idrico esercitando forze di suzione sul terreno idratato: nasce così il campo elettrico di cui sopra.

A questo punto interviene il campo elettrosmotico che, sovrapponendosi a quest'ultimo con verso opposto, impedisce la fuga dell'acqua e **rende il sistema stabile**.

Si genera tale campo elettrosmotico mediante un circuito in corrente continua a basso voltaggio (18-40 Volts) abbinato all'inserimento di poli positivi e negativi nei fori d'idratazione: nasce quella che potremmo definire una **gabbia elettrica** al di sotto della fondazione, poiché ciascun elettrodo forma dei sotto-circuiti elettrici con quelli di segno opposto. Questo elevato numero di circuiti rende il campo elettrosmotico globale e diffuso.

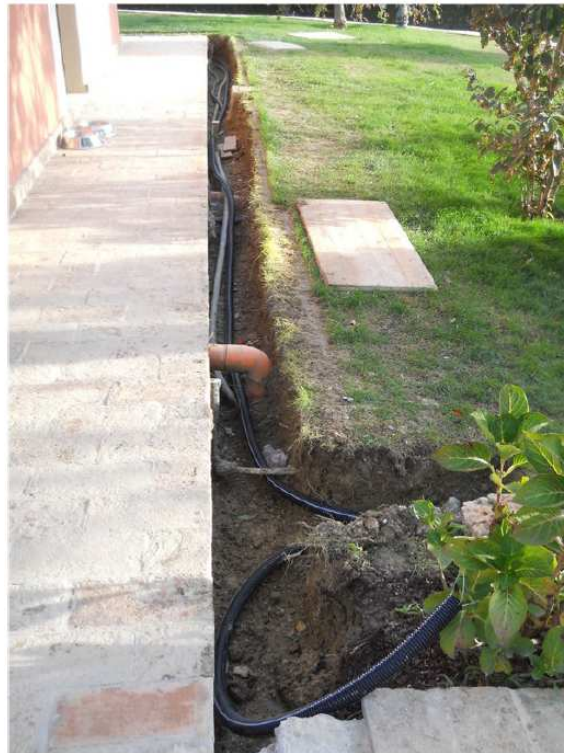
La profondità a cui si agisce è generalmente attorno ai 5 metri: si racchiude così quello che generalmente è il volume significativo di terreno, sia dal punto di vista delle tensioni trasmesse dalla fondazione, sia dei fenomeni di ritiro / rigonfiamento.

Il sistema permette di recuperare il cedimento verticale, risollevando il terreno e la fondazione in periodi tra le 2 settimane e i 2 mesi dall'installazione dell'impianto, con conseguente chiusura delle lesioni. L'umidità del terreno viene poi mantenuta costante: si è così intervenuti sulle cause del problema.

## Caratteristiche e vantaggi del sistema elettrosmotico

I principali vantaggi della tecnologia sono i seguenti:

- interviene, come descritto ai paragrafi precedenti, sulle cause dei cedimenti e non sugli effetti;
- non è invasivo, perché prevede solo uno scavo perimetrale di circa 6x10 cm che si chiude ad anello attorno all'immobile;
- si scava una sola volta per installare il campo elettrico, creare i fori e realizzare l'eventuale impianto di irrigazione;
- il sistema è ecologico: utilizza solo acqua;
- il sistema è economicamente competitivo, sia come installazione, sia come manutenzione;
- il sistema è di rapida esecuzione (3-4 giorni in media).



ESEMPIO DI SCAVO REALIZZATO PER L'ALLOGGIAMENTO DEL SISTEMA ELETTROSMOTICO

## Manutenzione del sistema elettrosmotico

I principali costi di manutenzione del sistema sono legati all'apporto di acqua e di corrente elettrica, in particolare, per una villetta "standard":

- il consumo idrico è mediamente di 100 l / giorno, cioè all'incirca il consumo di una doccia;
  - il consumo elettrico (corrente continua a 24 V) è di circa 100 W/h nei primi 2 mesi, cioè l'equivalente del consumo di una lampadina; dopo che il terreno si è reidratato, il consumo scende a circa 25 W/h.
- La diminuzione del consumo elettrico è proporzionale al recupero volumetrico del terreno.**

Nota importante: la corrente utilizzata è continua e non alternata, pertanto non viene generato alcun campo magnetico.

**CASOLARE PRIVATO - COMUNE DI SPELLO PG  
INTERVENTO DI SOLLEVAMENTO E STABILIZZAZIONE  
CON ELETTROSMOSI INVERSA  
AGOSTO 2012 - VASTO CEDIMENTO TERRENO-FONDAZIONE  
PRONTO INTERVENTO SU FABBRICATO  
CON ORDINANZA SINDACALE DI MESSA IN SICUREZZA**

*Cedimenti Crepe Muri S.R.L.*  
Amministratore  
Parma, Parma, Italia  
Telefono: 0521247966  
Fax: 0521466117

*Progettazione intervento  
e Direzione Lavori*  
Ing. Carlo Falugi  
Ingegnere  
Parma, Italia  
Tel 3477018157

*Indagini Geologiche*  
Dr. Adriano Fancelli  
Geologo  
Foligno PG, Italia  
Tel 3403336004



**ELETTROSMOSI - FINE LAVORI**

Risollevamento verticale dell'edificio .  
Poco dopo l'accensione dell'impianto l'amperometro segnala 4,5 Ampere , il campo elettrico è al massimo, le argille circostanti ( completamente aride per la siccità ) tentano ( con la loro forza di suzione capillare ) di rubare l'acqua ai terreni fondali . L'impianto lavora a tutta potenza per trattenere nei pressi della fondazione l'acqua che viene reintrodotta artificialmente .

In questa foto , dopo la completa re-idratazione delle argille l'amperometro è quasi a zero .Una volta restituita l'umidità l'impianto compie un lavoro minimo, serve poca corrente.



ESEMPIO DI ABBATTIMENTO DEI CONSUMI ELETTRICI E DI CHIUSURA DELLE LESIONI

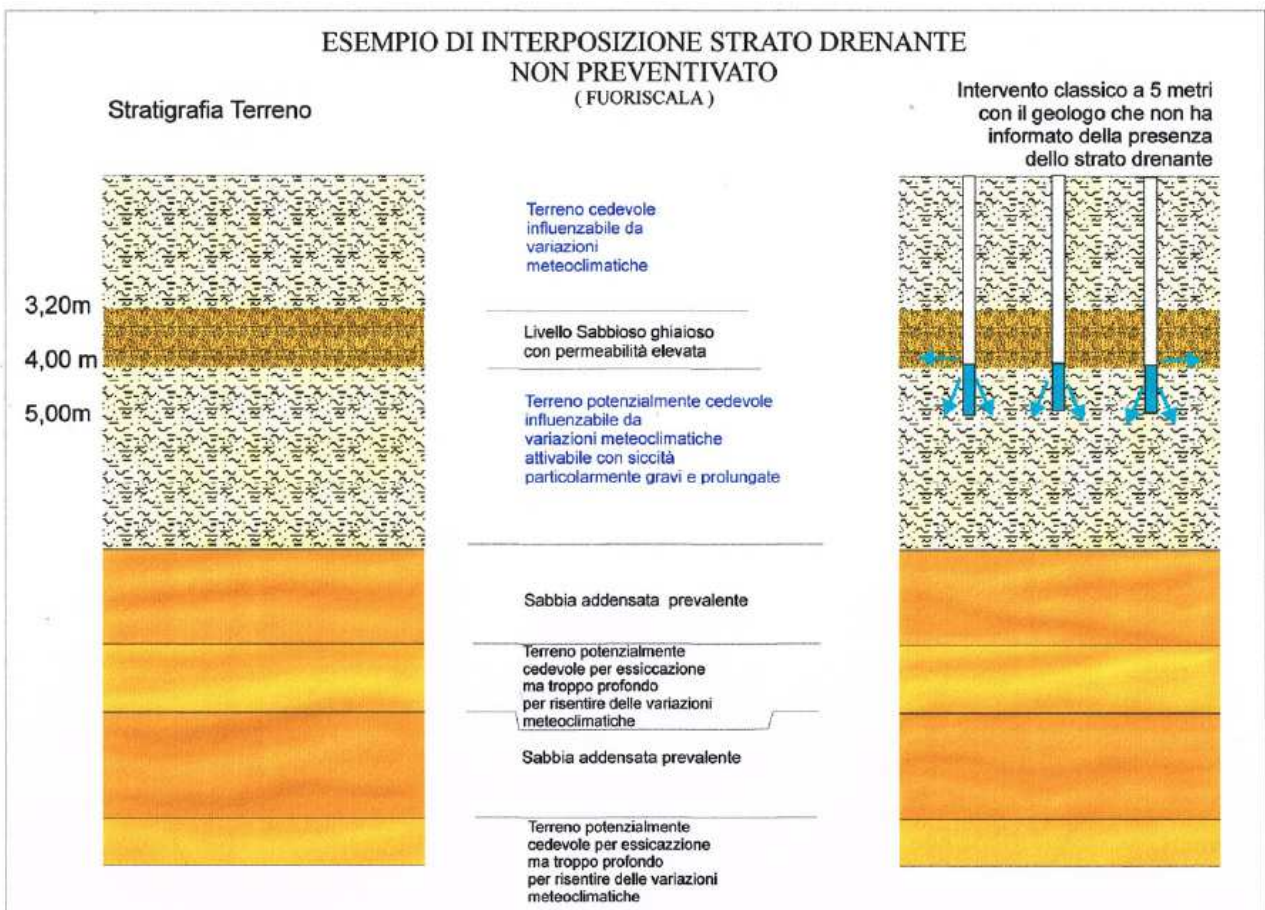


## Condizioni di particolare attenzione per il sistema elettrosmotico

L'applicazione del sistema elettrosmotico necessita di **indagini geognostiche** preventive, al fine di verificare che non ci si trovi in una delle seguenti situazioni:

- interposizione di strati drenanti con furto idrico alla base dei fori;
- mineralizzazioni che possono disturbare il campo (molto raro);
- presenza di potenziali spontanei;
- presenza di acque termali particolarmente ricche di sali;
- presenza di fenomeni franosi sui versanti collinari (attenzione alla superficie di scivolamento).

Sono pertanto indicati **sondaggi a carotaggio continuo** ed eventualmente prove penetrometriche CPT o DL 030, qualora si necessitasse di integrare la conoscenza stratigrafica. Tali prove sono più efficaci se eseguite durante il periodo siccitoso.

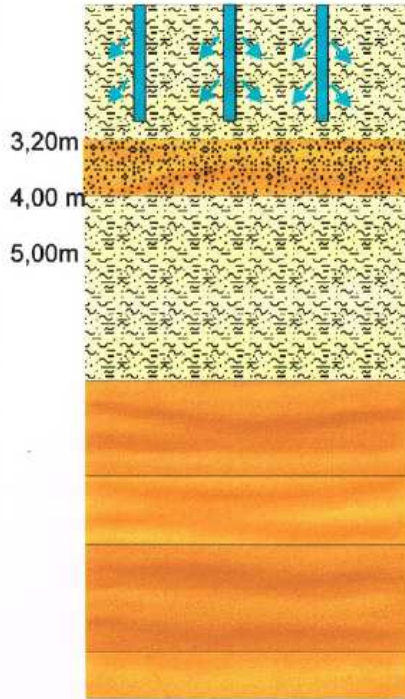


RAPPRESENTAZIONE DELLA FUGA D'ACQUA ATTRAVERSO UNO STRATO DRENANTE

ESEMPIO DI INTERPOSIZIONE STRATO DRENANTE  
(FUORISCALA)

POSSIBILI SOLUZIONI

SOLUZIONE 1



Terreno cedevole  
influenzabile da  
variazioni  
meteoclimatiche

Livello Sabbioso ghiaioso  
drenante

Terreno potenzialmente cedevole  
influenzabile da  
variazioni meteoclimatiche  
attivabile con siccità  
particolarmente gravi e prolungate

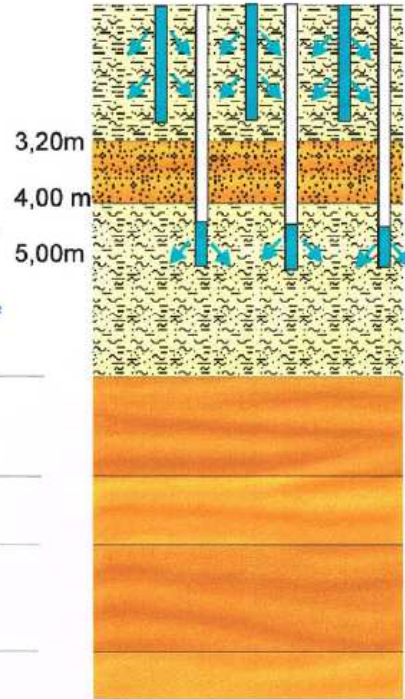
Sabbia addensata prevalente

Terreno potenzialmente  
cedevole per essiccazione  
ma troppo profondo  
per risentire delle variazioni  
meteoclimatiche

Sabbia addensata prevalente

Terreno potenzialmente  
cedevole per essiccazione  
ma troppo profondo  
per risentire delle variazioni  
meteoclimatiche

SOLUZIONE 2



Dr. Geologo A. Fancelli  
340 3336004

POSSIBILI SOLUZIONI AL PROBLEMA DELLA FUGA D'ACQUA ATTRAVERSO UNO STRATO DRENANTE

## Cedimenti Crepe Muri S.R.L.

Cedimenti Crepe Muri S.R.L., con sede a Parma, utilizza la solida e collaudata tecnologia dell'elettrosmosi brevettata nel 1991 dalla ditta F.P. Partners. Dal loro sito web:

*“Unici in Europa abbiamo sviluppato uno studio completo sui fenomeni relativi allo spostamento elettrosmotico di acqua in materiali litoidi eseguita dal Dott. Pierpaolo Fallini.*

*Risaniamo dall'umidità ogni tipo di muratura. Impermeabilizziamo taverne e cantine in muratura e calcestruzzo. Eliminiamo i sali dai muri tramite impianto elettrosmotico.*

*Arrestiamo cedimenti dei terreni di fondazione e le conseguenti crepe nei muri utilizzando micropali elettrosmotici di reidratazione del terreno.*

*Cerchiamo i ponti termici, causa delle muffe e li eliminiamo impedendone la riformazione. Trattiamo le muffe che si formano nelle pareti dei locali interni eliminando sia le muffe che le spore.”*

### REIDRATAZIONE FONDAZIONI CON ELETTROSMOSI

STABILIZZAZIONE-CONSOLIDAMENTO TERRENI DI FONDAZIONE      CONTRO LE CREPE NEI MURI



CREPE e FESSURE NEI MURI  
DOVUTE A DISIDRATAZIONE  
DEL TERRENO DI FONDAZIONE



Sistema di idratazione



Barriera elettrosmotica

**Recupero di cedimenti strutturali:** *tutti i dettagli sul sito: [www.ELETTROSMOSI.it](http://www.ELETTROSMOSI.it)*

In grandissima parte dei casi, crepe, fessure e cavillature non sono dovute ad errori di progettazione e/o di esecuzione lavori, ma alla diminuzione di volume del terreno, dovuta alla sua disidratazione. La tecnologia da noi sviluppata (brevetto internazionale del 1999), frutto di anni di studio e di ricerca, grazie ad un campo elettrostatico, sposta l'acqua nel terreno di fondazione.

Essa non prevede l'utilizzo dei metodi classici quali sottofondazioni, palificazioni né alcuna iniezione di sostanze nel terreno di fondazione, rispetta quindi l'ambiente e la natura.

L'installazione dell'impianto non è invasiva: si tratta di eseguire dei fori di piccolo diametro che ospiteranno gli elettrodi, di collegare gli elettrodi con cavi elettrici (a basso voltaggio) che corrono lungo una canalina che verrà interrata o murata, di realizzare un eventuale circuito idrico per l'idratazione degli elettrodi in parallelo alla canalina, di trovare un luogo opportuno per la centralina che governerà l'impianto.

**IL SISTEMA E' ECOLOGICO e DI RAPIDA ESECUZIONE (DURATA MEDIA 3-4 GIORNI) – SENZA OPERE MURARIE PESANTI ECONOMICAMENTE COMPETITIVO SIA NELL'INSTALLAZIONE CHE NELLA MANUTENZIONE**

tutte le immagini sono esposte ad esclusivo titolo illustrativo – l'attività di CCM srl ha come scopo la deumidificazione-impermeabilizzazione-reidratazione terreni con elettrosmosi

## Bibliografia

*“Stabilizzazione dei terreni di fondazione soggetti a fenomeni di “Ritiro Rigonfiamento””,* presentazione tenutasi il 29/09/2016 a Perugia a cura del Geol. Adriano Fancelli e dell’ing. Carlo Falugi;

*“Problematiche di ritiro dei terreni argillosi: metodi di studio e di preventivazione”*, presentazione tenutasi il 29/09/2016 a Perugia a cura del prof. Carlo Meisina;

[www.elettrosmosi.it](http://www.elettrosmosi.it);