

**APPLICAZIONE DELL'ELETTROSMOSI PER LA REIDRATAZIONE DI TERRENI COESIVI
FONDALI: REALIZZAZIONE DI BUSSETO, PROVINCIA DI PARMA.**

Autore: **Pasquale Armillotta**

Geologo libero professionista regolarmente iscritto presso l'Ordine dei Geologi della regione Emilia-Romagna.

Indirizzo postale: Via San Fermo 5/a 43039 Bannone di Traversetolo (PR),

cell.: +39.338.9730202

e-mail: p.armillotta@thesis-srl.it

SINTESI DEL LAVORO

Nel 2002, sono stati pubblicati i primi risultati di questa mia ricerca riguardante l'applicazione dell'elettrosmosi con basse tensioni per la reidratazione dei terreni coesivi presenti al di sotto del piano fondale. I primi impianti sono stati realizzati tra il 1999 ed il 2001.

L'alternarsi dei cicli di rigonfiamento e collasso nei terreni coesivi con componente argillosa attiva comporta spesso la comparsa di lesioni sull'immobile sovrastante che si riducono durante le stagioni piovose ed aumentano durante quelle asciutte. La tecnologia messa a punto consente perlomeno di arrestare nel tempo questo fenomeno "a fisarmonica"; in diversi casi si assiste al recupero stabile nel tempo di almeno parte del cedimento causato dalla disidratazione.

Il caso esposto riporta lo stato di fatto, le "analisi", la "diagnosi", la "terapia" adottata, ed i risultati raggiunti.

Preliminarmente all'intervento sono state svolte diverse indagini: geologica e geomorfologica, prove penetrometriche statiche e dinamiche, prelievo di un campione indisturbato, analisi granulometrica, chimica,

mineralogica e geotecnica (limiti di Atterberg, umidità naturale, indice di plasticità, indice di consistenza, attività delle argille, valore del blu di metilene, attività delle argille con la metodologia del blu di metilene, determinazione della superficie attiva con la metodologia del blu di metilene, determinazione della frazione argillosa).

L'analisi sincretica dei dati mette in luce che le variabili indagate non sempre danno risultati tra loro concordi. Occorre una interpretazione che tenga conto contemporaneamente dei dati rilevati, anche se apparentemente contrastanti tra loro.

È stato trattato l'intero volume di terreno sottostante il piano delle fondazioni che risente sia delle variazioni stagionali di umidità naturale, sia del suo drenaggio indotto da diversi fattori.

Il consumo in termini di energia elettrica è del tutto modesto e trascurabile in entrambi i casi; esso cala col tempo.

Dopo un congruo periodo di osservazione, è stato eseguito, in presenza del progettista di fiducia della committenza, il monitoraggio del quadro fessurativo per la verifica dei risultati raggiunti, tutti (anche quelli non esposti in questa sede) positivi.

1.0 INTRODUZIONE

Nel 2002, sono stati pubblicati i primi risultati in assoluto di questa mia ricerca riguardante l'applicazione dell'elettrosmosi con basse tensioni per la reidratazione dei terreni coesivi presenti al di sotto del piano fondale di piccole abitazioni. I primi impianti sono stati realizzati tra il 1999 ed il 2001. Altri ne sono seguiti successivamente.

Ad oltre dieci anni di distanza dai primi incoraggianti ed inaspettati risultati, il monitoraggio su tutti gli impianti realizzati e sulle costruzioni, conferma l'efficacia della nuova ed innovativa tecnologia.

Prima della realizzazione dell'impianto, è stato prelevato un campione di terreno per le verifiche di laboratorio di cui di seguito.

Analisi della distribuzione granulometrica: il diagramma è stato costruito riportando nella scala delle ordinate la percentuale in peso delle varie frazioni granulometriche e nella scala della ascisse le dimensioni delle varie classi granulometriche espresse in unità φ ($\varphi = \text{Log } d / -0.30103$, dove d è la dimensione dei granuli espressa in millimetri). Questa scala viene calcolata assumendo che il rapporto tra le varie classi sia costante e uguale a 2.

$$\varphi = -1; d = 2 \text{ mm}$$

$$\varphi = 0; d = 1 \text{ mm}$$

$$\varphi = 1; d = 0.5 \text{ mm}$$

$$\varphi = 2; d = 0.250 \text{ mm}$$

Ciò facilita la rappresentazione in quanto permette di trasformare una progressione geometrica su base 2 in una progressione aritmetica su base 1. Le classi granulometriche rappresentate nei due diagrammi espresse in unità φ e distanziate di una unità φ sono state costruite associando talvolta due ma anche tre classi granulometriche espresse in millimetri. Nel far questo è stato necessario però fare alcuni arrotondamenti. Ad esempio la classe 2.5 – 3.5 φ corrispondente a granuli con $\varphi < 0.180$ e $\varphi > 0.09$ mm è stata costruita sommando le granulometrie $\varphi < 180$ mm ($\varphi = 2.5$) e quelle con $\varphi > 0.075$ mm ($\varphi = 3.7$) in quanto non disponibile la classe corrispondente a 0.09 mm.

Analisi chimica: l'analisi chimica dei componenti maggiori sono state eseguite in fluorescenza a raggi X per Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO e Fe_2O_3 ; la perdita alla calcinazione in muffola a 900°C dopo aver essiccato il campione a 110°C in stufa.

Analisi mineralogica: la composizione mineralogica qualitativa è stata determinata in diffrattometria di polveri a raggi X. Per l'identificazione delle fasi mineralogiche presenti nei campioni sono state eseguite analisi diffrattometriche sia sulle polveri disorientate del campione globale che sui preparati orientati della frazione $<2\mu\text{m}$ saturati con Mg^{2+} e K^+ . I campioni saturati con Mg^{2+} sono stati analizzati in condizioni naturali e dopo averli saturati con glicole etilenico per evidenziare la presenza di minerali espandibili (smectiti), quelli trattati con K^+ analizzati in condizioni naturali e dopo riscaldamento a 100°C , 300°C e 550°C per distinguere la smectite dalla vermiculite e per accertare la presenza di caolino.

La stima quantitativa dei vari componenti mineralogici è stata ottenuta tramite una metodologia che combina i dati chimici con quelli diffrattometrici semiquantitativi. Le stime delle concentrazioni delle principali fasi mineralogiche presenti nel campione, normalizzate a 100, sono riportate di seguito.

Piuttosto affidabile è da considerarsi la ripartizione tra minerali non fillosilicatici e minerali fillosilicatici. Le stime quantitative dei minerali non fillosilicatici sono da considerarsi

piuttosto affidabili, con errori entro qualche unità percentuale. Le stime quantitative dei minerali costituenti la frazione fillosilicatica sono meno affidabili e affette da errori più elevati.

2.0 REALIZZAZIONE

2.1 Inquadramento

Si tratta di un villino monofamiliare con primo piano, consistente in due corpi di fabbrica adiacenti, sito nelle campagne a Nord – Nord – Est dell'abitato di Busseto (PR) (fig.1).

Dal punto di vista geomorfologico, ci troviamo nella "bassa pianura padana", in un'area ad esclusiva morfologia agreste pianeggiante, a pochi chilometri dall'argine meridionale del Fiume Po, con un'altitudine di 37.2 metri s.l.m (fig. 2).

Il terreno presente in questa zona è costituito da argille di piana alluvionale dell'Unità di Modena (AES8a Subsistema di Ravenna, depositi di piana intravalliva, conoide e di piana alluvionale, costituiti da ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua relativa a depositi di argine, rotta e piana inondabile. Lo spessore massimo del subsistema è di 25 metri. Olocene).

I primi tre metri di terreno sono costituiti da limi argillosi riconducibili alle alluvioni medio recenti quaternarie in ambiente continentale, cui seguono almeno cinque metri di argille limose, per uno spessore di alcuni metri (fig. 3).

La committenza ha un pozzo di modesta profondità nelle immediate vicinanze della costruzione. La falda superficiale ha subito un abbassamento medio di circa un metro negli ultimi anni, attestandosi intorno ai quattro metri di profondità dal piano campagna.

2.2 Metodologia

2.2.1 Analisi della costruzione

Le fondazioni sono costituite da travi rovesce notevolmente sovradimensionate (figg. 4÷5).

Antistante il lato Ovest (lato garage) della costruzione, è presente una soletta in cemento armato per l'ingresso ai garage.

In corrispondenza dello spigolo Sud – Ovest è presente una pianta di grosso fusto.

Al momento dell'installazione dell'impianto, la falda, abbassatasi nel corso degli ultimi anni, si attesta mediamente intorno ai quattro metri di profondità.

Le lesioni sono presenti sulle pareti perimetrali esterne del garage. Si tratta di uno schema fessurativo a “libro appoggiato sul dorso”, a “rosa”, a “ventaglio”, ovvero fessure verticali distanti dalla zona che ha subito la maggiore consolidazione, combinate con fessure orizzontali e di taglio in corrispondenza degli elementi strutturali, e con fessure oblique sui tamponamenti. Evidenti, inoltre, le fessure in corrispondenza dei punti di debolezza (spigoli delle aperture, porte e finestre). Le lesioni, seppur di entità media, non si erano diffuse al piano superiore.

2.2.2 Indagini svolte, misurazione di alcuni indicatori

Per le indagini in sito, si è in possesso dei risultati di una penetrometria statica eseguita poco distante dal caso in esame (confermata dai dati areali e puntuali presenti in letteratura, ed in rete col PROGETTO CARG).

Il campione estratto tra 1.5 e 2.0 metri di profondità dal p.c., appena sotto il piano fondale, ha evidenziato la presenza di un terreno limoso – argilloso.

Il campione presenta una distribuzione tendenzialmente bimodale ma molto più

dispersa alle alte granulometrie. Presenta un massimo molto accentuato e ben delineato compreso tra ϕ 8.5 – 9.5 (0.0028 e 0.0014 mm) in corrispondenza della frazione argillosa, un piccolo massimo tra ϕ 2.5 – 3.5 (0.180 e 0.090 mm) in corrispondenza di una sabbia molto fine e altri piccoli massimi tra ϕ 0.5 – 1.5 (0.71 e 0.35 mm) e tra ϕ 1.5 – 0.5 (2.8 e 1.4 mm) in corrispondenza rispettivamente di una sabbia media e di una sabbia grossolana (fig. 6÷7).

Il campione di terreno presenta un potenziale di rigonfiamento “elevato” (SEED, 1962), “medio” (MEISINA, 2000), l’umidità naturale inferiore al limite di ritiro calcolato, l’indice di consistenza “semisolido”, il grado di plasticità “plastico”, la superficie attiva tipica dell’illite (ARMILLOTTA, 2002), l’attività colloidale che classifica il terreno tra le “argille mediamente attive” (COLOMBO, 1987), e l’attività colloidale secondo la prova al blu di metilene intermedia tra illite e montmorillonite (ARMILLOTTA, 2002). I dati mineralogici ipotizzati con la prova al blu di metilene sono stati confermati dalle analisi effettuate presso il laboratorio di Mineralogia dell’Università di Pisa (PI).

2.2.3 Condizioni del terreno fondale

Si è ipotizzato un terreno consolidato al di sotto del piano fondale nella zona Sud – Ovest (ipotesi confermata dai risultati), ed è stata rilevata la falda a 4.0 metri di profondità dal p.c.

Le lesioni si sono manifestate solo negli ultimi anni.

2.2.4 Caratteristiche dell’intervento

L’impianto è stato realizzato nei primi giorni di ottobre del 2007. I tempi di realizzazione dell’impianto sono consistiti in tre giorni lavorativi. Lo sviluppo lineare è di 16 metri, così come riportato nella figura seguente. La presenza della falda freatica superficiale a 4 metri di profondità dal p.c. ha consentito una naturale idratazione del terreno sovrastante, grazie al richiamo d’acqua da parte dell’impianto.

L’impianto è consistito nell’infissione di elettrodi nel terreno, gestiti ed alimentati da un quadro elettrico appositamente realizzato.

In termini di consumi elettrici, dopo una iniziale crescita che ha raggiunto il massimo di assorbimento dopo poche ore, si è poi repentinamente assestato su valori molto bassi di circa 0.3 Ampere (fig. 8).

2.3 Risultati

Dopo quasi una settimana dall'accensione dell'impianto, si sono registrate le prime parziali chiusure delle fessure.

Dopo quasi due settimane, il processo di rigonfiamento del terreno è terminato.

A distanza di cinque anni dall'intervento, dopo 20 cicli stagionali, non si registrano né aggravamenti, né miglioramenti; le variazioni di volume dei terreni coesivi fondali, se presenti, sono assorbibili dall'immobile senza che si manifestino lesioni.

La committenza non ha rimosso la pavimentazione in cemento armato antistante la zona lesionata, né è intervenuta sull'albero di grosso fusto.

Si riportano di seguito alcune foto dei risultati raggiunti (figg. 9÷12).

3.0 RINGRAZIAMENTI

Ringrazio

- il prof. L. Leoni (Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Pisa) per il commento delle analisi chimiche, mineralogiche, e della distribuzione granulometrica;

- il Laboratorio MM di Mamiano di Traversetolo (PR) ed i tecnici del Laboratorio di Mineralogia del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Pisa, per le analisi di laboratorio eseguite;
- il Geom. C. Ferrari per la documentazione tecnica fornita;
- la dott.ssa Geol. L. Bosoni per la preziosa collaborazione.

4.0 BIBLIOGRAFIA

- Armillotta P. (2000) – “Consolidamento e recupero di cedimenti di terreni coesivi mediante elettrosmosi” – (GEOFLUID - Piacenza 4/7 ottobre 2000) – Mercoledì 4 ottobre 2000 – Workshop sul tema “La Geofisica strumento di monitoraggio ambientale”, in stampa.
- Armillotta P. (2002) – “Recupero parziale mediante elettrosmosi dei cedimenti differenziali di costruzioni adibite a civili abitazioni” – XXI CONVEGNO NAZIONALE DI GEOTECNICA A.G.I. (L'Aquila 11/14 settembre 2002) – Convegno sul tema “Opere geotecniche in ambiente urbano”, sessione poster, Atti del Convegno pp. 357 – 363.

- Colombo P. (1987) – Elementi di Geotecnica – Ed. Zanichelli.
- Meisina C. (2000) – Predicting swelling/shrinkage potential using the blue methylene method: some examples in italian clayey soil. Proc. int. conf. on geotechnical & geological engineering GeoEng2000, Melbourne, 19-24 november 2000.
- Regione Emilia Romagna – Ufficio Cartografico – Carta Tecnica Regionale e Cartografia Geologica Regionale (Progetto CARG).
- Seed M.B., Woodward R.J, & Lundgren R. (1962) – Prediction of swelling potential for compacted clays. Journal of the soil mechanics and foundation engineering division ASCE, 88, 107 – 131.

Laddove non specificato, immagini e tabelle sono di produzione dell'autore o di sua proprietà.