

PROBLEMI GEOTECNICI NEL CONSOLIDAMENTO DELLE COSTRUZIONI DI INTERESSE STORICO

Giovanni Calabresi

Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica
Università di Roma "La Sapienza"

1. Premessa

Accade spesso che le strutture murarie di antiche costruzioni di interesse storico, monumentale o archeologico, mostrino danni chiaramente attribuibili all'interazione con il terreno di sedime. In genere derivano da spostamenti differenziali delle strutture di fondazione, ma talvolta da spinte eccessive del terreno su muri di sostegno, o da instabilità di pendii. Si possono comunque definire danni strutturali di origine geotecnica.

In questi casi la diagnosi del fenomeno fisico che ha prodotto il danno, o che lo sta incrementando, può essere molto difficile e costosa, e richiedere tempi lunghi, sia per eseguire le necessarie indagini, sia per valutarne i risultati.

Stabilito che il dissesto abbia origine dal terreno, per arrestare i fenomeni deformativi e il progredire dei danni strutturali si può disporre oggi, a seguito del progresso tecnologico nel campo delle costruzioni, di soluzioni tecniche generalmente efficaci, che si possono realizzare in breve tempo, con costi contenuti, spesso comparabili a quelli del solo studio geotecnico dei fenomeni in atto, se approfondito e scientificamente serio. Avviene perciò di frequente che una di queste soluzioni sia adottata senza un'analisi degli aspetti geotecnici, perché si assume *a priori* che sia, non solo risolutiva, ma anche più conveniente, costruttivamente ed economicamente.

Questa scelta, apparentemente non criticabile, ha però spesso effetti negativi sulla conservazione del valore storico, architettonico, o archeologico, dell'opera, e talvolta neppure garantisce la durata dell'intervento di consolidamento. La nota descrive sinteticamente le tipologie delle soluzioni costruttive frequentemente adottate per consolidare strutture che hanno subito danni dall'interazione con il terreno e, con riferimento ad alcuni casi reali, gli effetti negativi che possono derivare da scelte affrettate ed inappropriate.

2. Interazione terreno-strutture

Le costruzioni sono vincolate al terreno attraverso le superfici di mutuo contatto: piano

di posa di una fondazione diretta, base e pareti di un pozzo di fondazione, paramento di un muro di sostegno. I materiali e le strutture interagenti hanno caratteristiche meccaniche molto diverse: escluse le rocce lapidee non fratturate, i terreni hanno resistenza e rigidità sensibilmente inferiori a quelle di una struttura muraria. Inoltre hanno un comportamento meccanico più complesso, soggetto all'influenza di azioni esterne indipendenti, nel quale intervengono la variabile tempo e l'interazione tra granuli solidi e fluidi interstiziali. Perciò l'analisi del comportamento dei terreni interagenti con una struttura è sempre un'operazione difficile, che ha spesso risultati approssimati o incerti.

Nelle antiche costruzioni le deformazioni del terreno indotte dai carichi applicati alla fondazione, per quanto differite nel tempo, si sono esaurite. I danni strutturali di origine geotecnica che non risalgono alla fase iniziale della vita dell'opera, sono dovuti a deformazioni del terreno, intervenute successivamente, di cui si deve ricercare l'origine. Questa ricerca può risultare molto difficoltosa.

Le strutture murarie hanno una bassissima resistenza alla trazione e sono intrinsecamente fragili. È sufficiente una limitata deformazione del terreno per innescare in una muratura interagente una fessurazione per trazione. Nelle costruzioni storiche è raro il caso in cui la deformazione del terreno all'origine di un danno strutturale sia causata da un aumento dei carichi applicati. Infatti, una regola di naturale prudenza suggerisce a chiunque operi su un'antica struttura di non incrementare i carichi trasmessi in fondazione. Molto più frequentemente avviene che le deformazioni del terreno derivino da mutamenti delle condizioni ambientali, dai quali discendono variazioni dello stato tensionale nel terreno.

A questo punto è necessario aprire una breve parentesi per esporre una legge fondamentale del comportamento del terreno. Si può dire che la geotecnica moderna sia nata quando, all'inizio degli anni venti del secolo appena trascorso, si è riconosciuto che il comportamento meccanico dei terreni (resistenza e deformabilità) non dipende direttamente dagli sforzi applicati, ma da una grandezza astratta, definita "*tensione efficace*". Essa rappresenta, in un modello di corpo continuo, l'insieme delle forze che si scambiano i granuli solidi del terreno, detratta l'azione dei fluidi interstiziali. Questa legge fondamentale della geotecnica (impropriamente definita "*Principio delle tensioni efficaci*") purtroppo non è abbastanza nota a tutti gli ingegneri, o non è ben compresa, o non sono sufficientemente considerate le sue conseguenze.

Per quanto ora interessa, basterà sottolineare che ad ogni variazione della *tensione efficace* media del terreno corrisponde una variazione del suo volume di segno corrispondente, la cui entità dipende dalle caratteristiche del terreno, dalla storia delle tensio-

ni precedentemente applicate e dal tempo. Ora, una variazione di tensione efficace può essere provocata, oltre che dalla applicazione di forze esterne, anche dalla sola variazione di pressione dei fluidi presenti nei pori ("*pressione interstiziale*"). Ed è questa la più frequente causa di deformazione del terreno che determina danni strutturali nelle antiche costruzioni.

Il terreno è comunque soggetto a variazioni della pressione interstiziale, per cause naturali o antropiche. Esse sono più accentuate e frequenti negli strati superficiali, che non in quelli profondi. Inoltre, proprio perché la deformabilità del terreno dipende dalla storia delle tensioni applicate in precedenza, gli strati superficiali, meno sollecitati, sono generalmente anche più deformabili; per una data variazione di tensione efficace si deformano più degli strati profondi. Questo spiega perché una fondazione superficiale è più sensibile di una profonda alle variazioni delle condizioni ambientali. Del resto è ben noto che le costruzioni povere dei secoli passati, come i fabbricati rurali, sono soggette a movimenti stagionali determinati dalle precipitazioni atmosferiche presentando spesso lesioni murarie che variano in ampiezza secondo le oscillazioni periodiche della falda,

Le fondazioni dei maggiori monumenti di epoca romana sono spesso profonde, in forma di pozzi o di murature continue, e perciò mantengono una notevole stabilità; molte costruzioni di epoche successive hanno invece fondazioni poco profonde e sono perciò più soggette all'influenza dei fattori ambientali.

A causa del generale interesse alla salvaguardia delle opere di interesse storico o monumentale, quando vi sono danni strutturali ricollegabili genericamente a movimenti del terreno di fondazione si progettano lavori di consolidamento. In questi casi il tipo di intervento che viene più spesso proposto consiste nel trasferire i carichi di fondazione a strati più profondi del terreno, che, come si è detto, sono meno deformabili e meno soggetti alle variazioni delle condizioni ambientali.

Questa soluzione è teoricamente valida: è infatti probabile che i dissesti strutturali siano effettivamente causati da deformazioni dei livelli più superficiali del terreno di fondazione e che perciò, oltrepassando questi con sottofondazioni profonde, o consolidandoli con interventi radicali di modifica delle loro proprietà meccaniche, si ottenga l'effetto desiderato di eliminare la soggezione della struttura alle deformazioni del terreno. Vi sono tuttavia alcune controindicazioni.

3. Tipologie di intervento

L'intervento di consolidamento più diffuso per le costruzioni che mostrano danni strutturali di origine geotecnica consiste nella sottofondazione con micropali. Si eseguono, con

una perforazione di piccolo diametro ($10 \div 20$ cm) e lunghezza anche superiore a 20 m, l'inserimento di una robusta armatura metallica, di forma diversa secondo i brevetti, e l'iniezione di malta cementizia (fig. 1). I micropali, verticali o inclinati, possono attraversare la muratura di fondazione o affiancarsi ad essa. I carichi che la fondazione applicava al terreno vengono trasferiti ai micropali direttamente, o attraverso travi metalliche, o cordoli in c.a., affiancati alla muratura e ad essa collegati tramite chiodature passanti (fig. 2-3). Le macchine per perforare il terreno e realizzare i micropali sono abbastanza piccole da poter operare anche all'interno dei fabbricati, in locali di piani interrati. Il carico si trasmette dal micropalo al terreno per aderenza laterale: la lunghezza del palo e le caratteristiche dei terreni attraversati sono i fattori che determinano la portata utile del palo. Il carico che strutturalmente il palo può sopportare è in genere più elevato del necessario. I casi di sottofondazione di costruzioni storiche con micropali sono numerosi e documentati (fig. 4-5).

Un'altra tipologia di intervento in fondazione molto diffusa è il consolidamento del terreno con aggiunta di leganti. In questo campo un sostanziale progresso si è avuto negli anni scorsi con lo sviluppo della gettiniezione, o jet grouting.

Il miglioramento delle caratteristiche del terreno mediante iniezioni, cioè immettendo

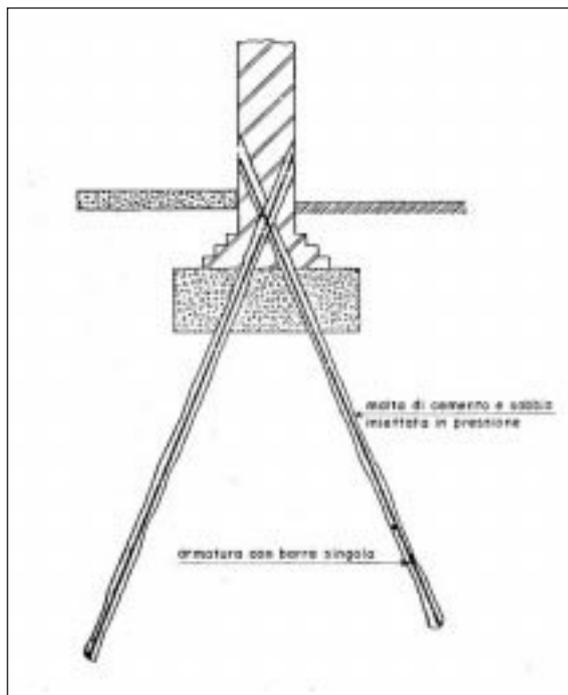


Figura 1. Micropali.

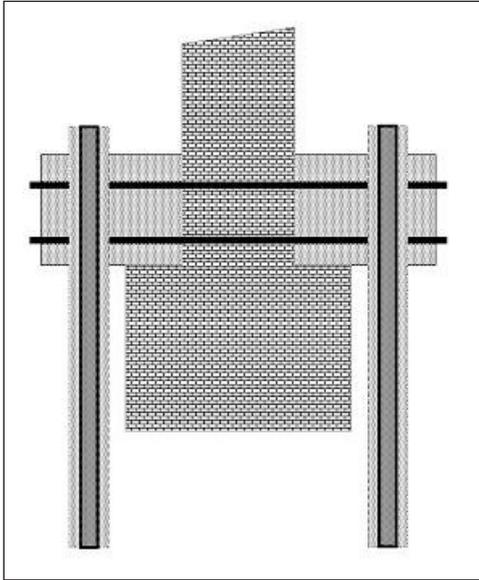


Figura 2. Sostegno di muro di fondazione con micropali

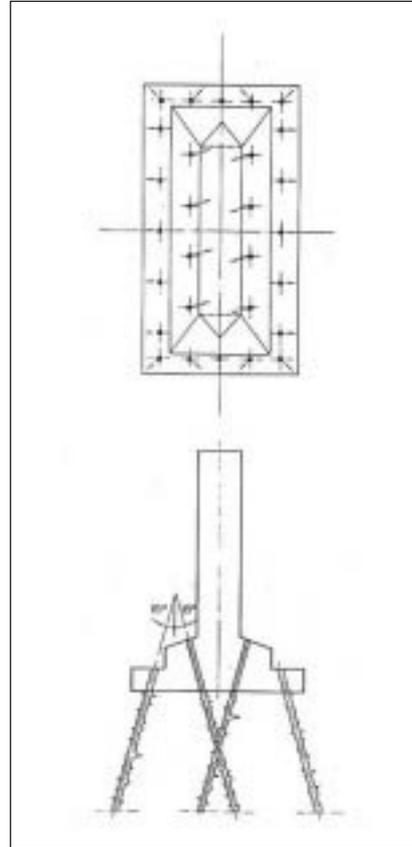


Figura 3. Sottofondazione di pila di ponte.

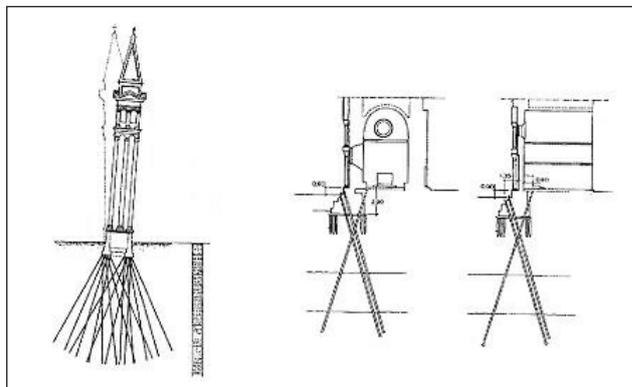


Figura 4. Micropali per il consolidamento di varie opere a Venezia (Colombo '96).

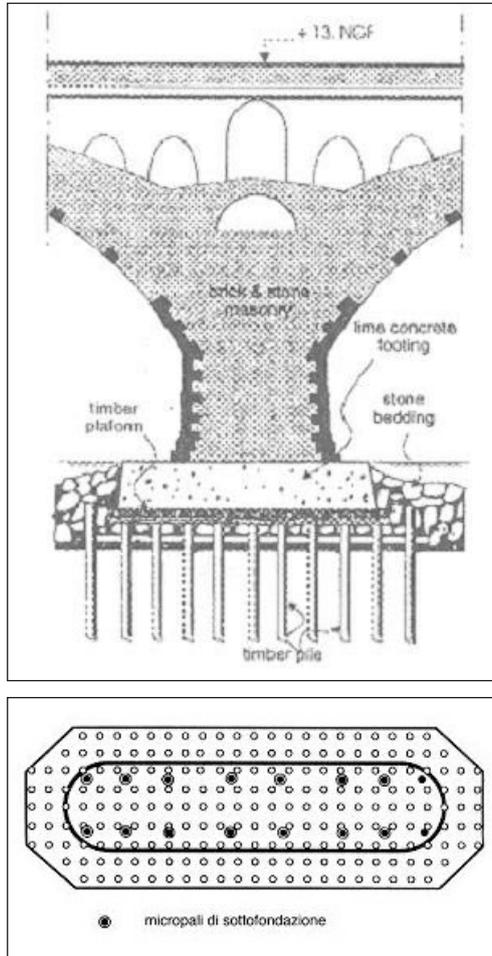


Figura 5a/b. Consolidamento con micropali delle pile del Pont de Pierre di Bordeaux.

un fluido legante negli spazi intergranulari, è tecnica ben nota e consolidata, ma le condizioni per farvi ricorso per gli interventi di consolidamento delle costruzioni non si presentano frequentemente. Si può infatti applicare se le dimensioni degli spazi intergranulari consentono il passaggio del legante in un tempo ragionevole e con gradienti idraulici non troppo elevati. In pratica i terreni atti a ricevere un trattamento di iniezione sono quelli molto permeabili, a grana grossa, incoerenti, come le sabbie grosse e le ghiaie. Sono terreni poco compressibili ed è raro il caso che inducano dissesti di fondazione.

La tecnica della gettiniezione, invece, può essere utilizzata anche in terreni a grana fine, come le sabbie fini e i limi sabbiosi. Consiste nella miscelazione forzata del terreno

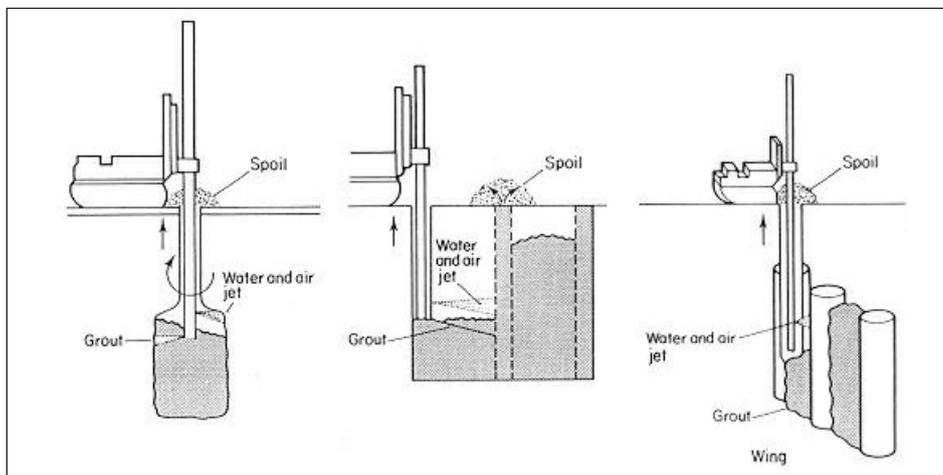


Figura 6. Gettiniezione.

con acqua e cemento, proiettati ad altissima velocità da un'asta di perforazione rotante, dotata di ugelli periferici: i granuli del terreno vengono rimossi e mescolati al legante dall'azione disgregatrice del getto fluido, formando attorno all'asta rotante una colonna di conglomerato cementizio, i cui inerti sono i granuli del terreno in posto (fig. 6). Il consolidamento procede per colonne successive. Il diametro delle colonne formate dalla gettiniezione dipende soprattutto dalle caratteristiche del terreno, variando da alcuni decimetri nei terreni argillosi ad oltre un metro in quelli sabbiosi e ghiaiosi. Negli anni recenti le macchine per l'esecuzione delle colonne di gettiniezione sono divenute sempre più compatte e maneggevoli, per adattarsi ad interventi in spazi ristretti, favorendo il ricorso a questa tecnica nel consolidamento di costruzioni di interesse storico (fig. 7).

L'inserimento di micropali e il trattamento dei terreni hanno ormai sostituito l'antica tecnica di sottofondazione delle strutture murarie. Questa prevede lo scavo a campione di una trincea in adiacenza e sotto il muro da sottofondare, fino alla profondità alla quale un terreno più consistente permette di posare una nuova muratura di fondazione. È evidente il maggior onere di una simile procedura rispetto alle soluzioni ora disponibili.

4. Effetti prodotti dalle sottofondazioni su micropali

I micropali devono poter assumere i carichi di un muro di fondazione. Spesso essi sono realizzati attraverso la muratura stessa; i carichi sono quindi trasmessi al micropalo attraverso la superficie cilindrica del foro praticato nel muro, per l'adesione della malta

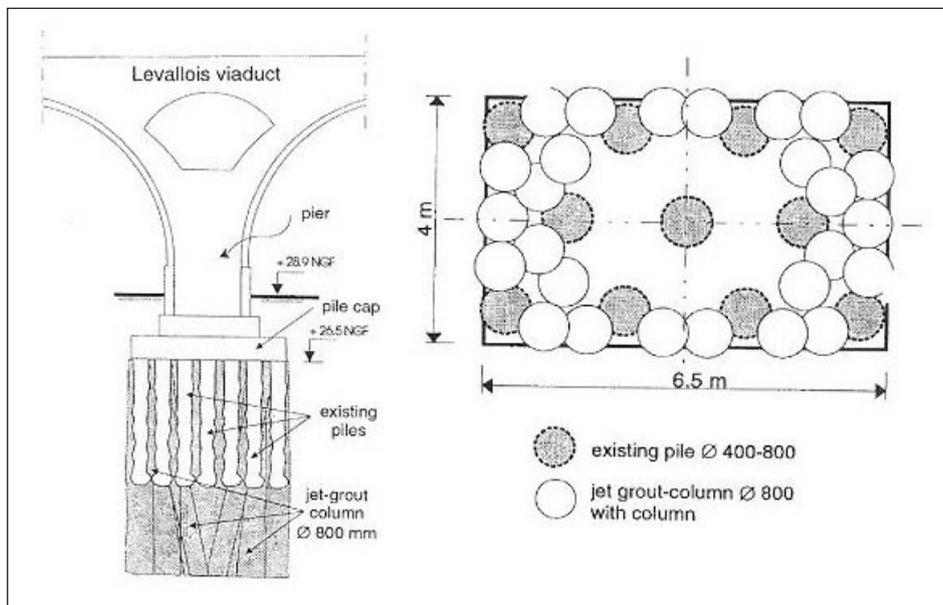


Figura 7. Consolidamento con gettiniezione delle pile del Viadotto Levallois a Parigi (Bustamante '96).

iniettata. In questo caso, ad intervento eseguito, il muro di fondazione sarà sollecitato da una serie di forze concentrate, anziché da un carico uniformemente distribuito. Se il muro è in pietrame e la malta non ha una buona resistenza, come spesso è il caso nelle vecchie costruzioni, questa nuova condizione di carico può produrre danni strutturali. Se non è possibile attraversare la muratura con i micropali, questi vengono affiancati al muro di fondazione, sui due lati, e intestati su due travi longitudinali, in acciaio o in c.a., da collegare al muro con chiodature trasversali. Questa soluzione permette di distribuire meglio i carichi sul muro di fondazione, ma naturalmente è molto più invasiva della precedente ed oblitera la struttura originaria.

In ogni caso le perforazioni eseguite per realizzare i micropali danneggiano irreparabilmente i resti di opere eventualmente presenti nel sottosuolo. Inoltre le strutture verticali vengono staticamente separate da quelle orizzontali esistenti al piano di spiccato e vincolate al terreno: vespai e pavimenti seguono le deformazioni degli strati superficiali, mentre le strutture in elevazione sono connesse, attraverso i micropali, a quelli profondi. Questa situazione genera cedimenti differenziali e lesioni delle murature a contatto. Per evitare questi effetti, spesso si demoliscono vespai e pavimenti originali per realizzarne

di nuovi vincolati alle travi che collegano le teste dei micropali, in genere solai prefabbricati, o gettati in opera.

Per la stessa ragione, per assicurare cioè un comportamento uniforme delle diverse parti dell'opera da consolidare, la sottofondazione su micropali non dovrebbe essere parziale, ma estendersi all'intero complesso strutturale. Ciò comporta la necessità di intervenire anche sui muri interni, anche quando si tratta di semplici pareti divisorie con limitate funzioni strutturali. L'intervento dovrebbe perciò estendersi anche ad elementi isolati, come ad esempio le colonne di un porticato, anche quando sono poco sollecitati, e per evitare sollecitazioni flessionali alla base, si deve ricorrere a più pali per un solo elemento o inserire travi di collegamento. Talvolta con l'inserimento di un giunto si possono separare parti che hanno fondazioni diverse.

In definitiva il consolidamento con micropali, certamente più semplice ed economico ed apparentemente meno invasivo di una sottofondazione tradizionale, si traduce quasi sempre in un intervento molto pesante, che modifica definitivamente e sostanzialmente alcuni caratteri costruttivi di un fabbricato storico.

5. Effetti del consolidamento dei terreni

Il consolidamento mediante iniezione produce un incremento della resistenza ed una diminuzione della deformabilità del terreno di fondazione. In linea di principio si tratta di interventi che non modificano la struttura ed il suo schema statico, come i micropali, ma soltanto la risposta del terreno alle azioni applicate. In pratica l'azione prodotta può avere effetti negativi per diversi aspetti.

Le iniezioni, soprattutto in terreni a grana fine, possono non essere assorbite negli spazi intergranulari e produrre frattura (cracking), con un localizzato aumento di volume del terreno; ne conseguono rigonfiamenti che possono danneggiare le strutture interagenti. È anche possibile sfruttare positivamente questi effetti di rigonfiamento per compensare cedimenti totali e differenziali delle costruzioni: si tratta però di interventi molto delicati e costosi, piuttosto rischiosi, che si vanno sperimentando e che sembrano offrire nuove prospettive nel trattamento dei danni di origine geotecnica. In generale le iniezioni hanno oggi un limitato campo di applicabilità e presentano un elevato rischio di produrre danni aggiuntivi.

La gettiniezione offre in generale minori rischi, ma l'azione prodotta è decisamente più invasiva. La perforazione ha un maggiore impatto sul terreno e sulle strutture di fondazione. L'effetto prodotto poi non è un miglioramento del terreno, ma una sua sostituzione con un conglomerato cementizio, di cui il terreno originale costituisce l'inerte.

6. Alternative possibili

È ovvio che gli interventi descritti non sono sempre distruttivi, o dannosi, e che in alcuni casi sono effettivamente necessari. È certo però che negli anni recenti troppo spesso sono stati adottati senza un'effettiva necessità ed hanno alterato in modo irreversibile alcuni caratteri tipici di antiche costruzioni, cancellando in parte la testimonianza storica dell'arte del costruire. L'alternativa possibile è un investimento maggiore in tempo e denaro per studiare approfonditamente sotto l'aspetto geotecnico le cause dei danni strutturali che, direttamente o indirettamente, si imputano all'interazione con il terreno. Si tratta in sostanza di definire con indagini geotecniche in sito e in laboratorio la costituzione fisica del terreno e le sue caratteristiche meccaniche e di analizzare l'interazione tra terreno e strutture per individuare le cause dei dissesti e progettare gli eventuali interventi correttivi sulle strutture o sul terreno, se necessari, con l'obiettivo di minimizzarne l'impatto sull'opera da consolidare.

È difficile acquisire documentazione sugli interventi di consolidamento che si eseguono correntemente in Italia, è però esperienza diretta di chi scrive che nella maggior parte dei casi lo studio degli aspetti geotecnici è sacrificato alla economia e speditezza degli interventi diretti del tipo descritto. Alcuni esempi possono mettere in evidenza gli effetti di diversi approcci meglio di qualsiasi discorso astratto.

Nel 1977 il Comune di Roma lanciò un Appalto-Concorso per il consolidamento di Ponte Milvio. Non erano in realtà ben chiare, proprio per mancanza di indagini approfondite, l'origine e l'evoluzione dei dissesti strutturali visibili negli archi e nelle armille del ponte. I progetti presentati prevedevano, in diversa misura, chiodature delle murature e sottofondazione con micropali. Fortunatamente la Commissione giudicatrice della gara si rese conto della insufficiente base conoscitiva delle proposte e, annullata la gara, propose al Comune un approfondimento delle indagini e un intervento diretto. Il risultato fu molto interessante. Si accertò, infatti, che le deformazioni del ponte e le lesioni strutturali avevano un andamento periodico ed erano fisiologicamente dipendenti dal regime idrico idrologico, con le conseguenti variazioni del regime idrico sotterraneo. La briglia eseguita pochi anni prima a valle del ponte aveva ormai arrestato l'erosione dell'alveo e non vi era necessità di intervenire sulle fondazioni. Ma emerse anche con chiarezza il disegno originario delle fondazioni del ponte (fig. 8), che costituisce uno splendido esempio dell'arte romana del costruire. Se si fosse adottato l'intervento di sottofondazione con micropali (fig. 9) non soltanto si sarebbe irrimediabilmente danneggiata la struttura, ma la platea di fondazione sarebbe rimasta isolata staticamente dalle pile e avrebbe corso il rischio di essere sottopassata e scalzata dalle correnti subalvee.

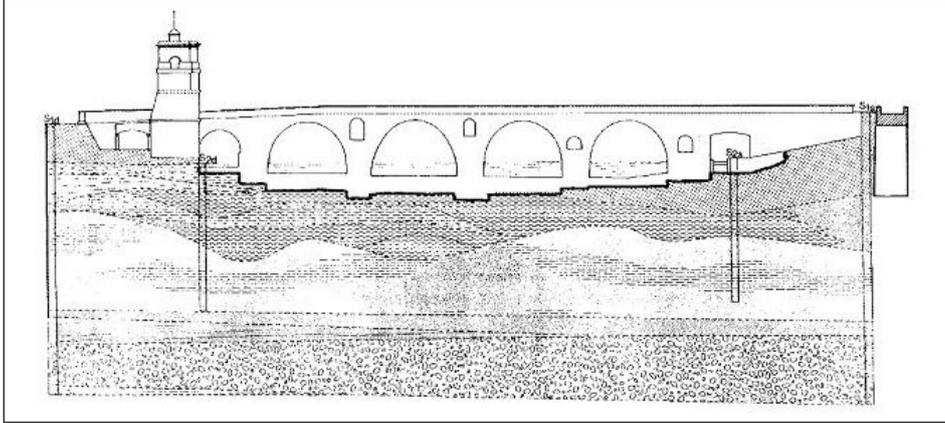


Figura 8. Ponte Milvio, sezione longitudinale.

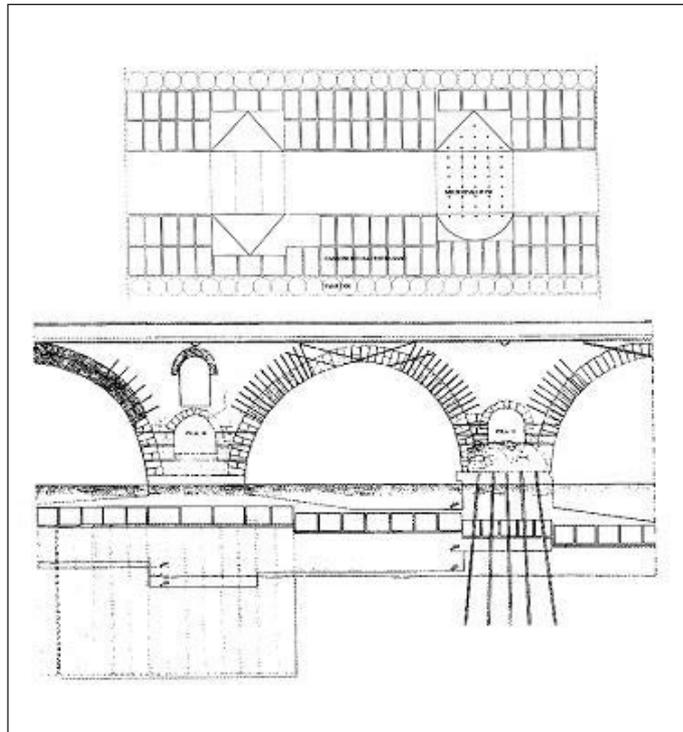


Figura 9. Ponte Milvio, proposta di sottofondazione di micropali.

Un altro caso esemplare è quello del Duomo di Pienza [5]. Nel 1961, sulla base di uno studio geologico dell'area, ma in mancanza di un'analisi delle cause del progressivo abbassamento dell'abside, che si protrae dall'epoca della costruzione, cioè da oltre 5 secoli, fu eseguita una sottofondazione con micropali delle navate dalla facciata al transetto (fig. 10). La commissione di studio incaricata nel 1979 dalla Soprintendenza di Siena dopo oltre 6 anni di ricerche finalmente poté accertare che il fenomeno di subsidenza che interessa il Duomo, e che proseguiva inalterato, non ha origine nelle fondazioni e che perciò l'intervento del 1961 era assolutamente inutile. Intanto però esso aveva richiesto la demolizione del pavimento, l'alterazione della struttura originaria con l'inserimento di elementi strutturali estranei e il danneggiamento dei ruderi della chiesa paleocristiana sottostante il Duomo.

Emblematico è poi il problema della Torre di Pisa. Nel 1978 il Ministero LLPP fece eseguire un progetto di massima di consolidamento, che giunse fino all'esame del Consiglio Superiore. Esso prevedeva di intervenire sulla fondazione con pali o tiranti. Fortunatamente, anche per effetto di una sensibilizzazione generale [6] e della prudenza

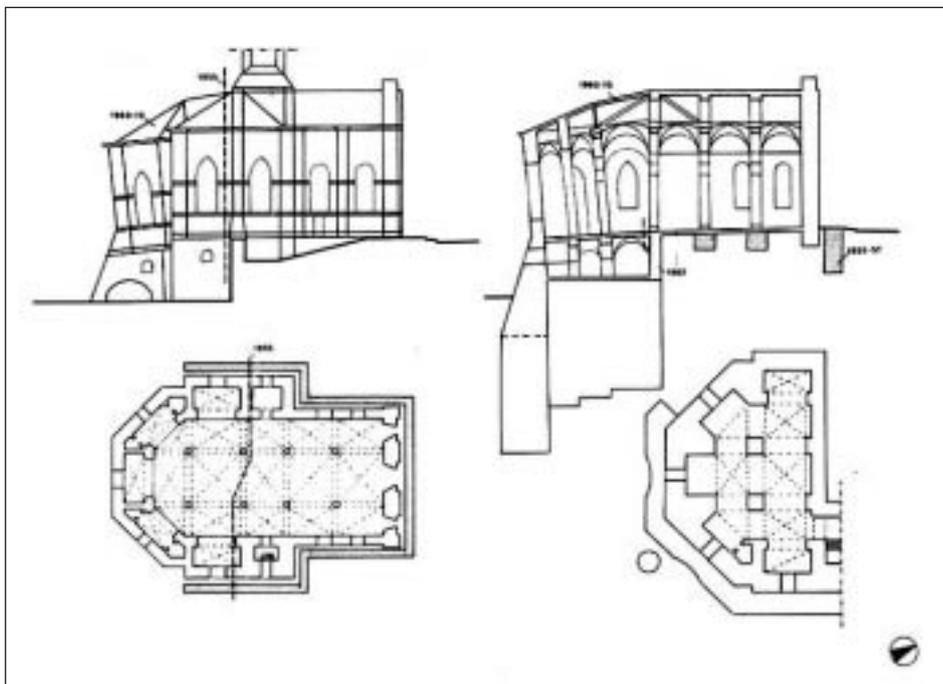


Figura 10. Duomo di Pienza.

indotta dalle condizioni critiche del famoso monumento, il progetto non fu approvato. La successiva commissione di studio, dopo oltre dieci anni di indagini, studi e modelli, è riuscita a risolvere il caso con una delicata operazione di sottoscavo, evitando di ricorrere a sottofondazioni, o ad altre sottostrutture invasive e dirompenti.

7. Conclusioni

Accade spesso che le moderne tecniche di sottofondazione e di miglioramento dei terreni, che offrono facilità e rapidità operative con costi contenuti, siano utilizzate per interventi di consolidamento di costruzioni antiche di interesse storico senza una preventiva approfondita ricerca delle cause dei dissesti e una analisi delle possibili soluzioni alternative. Si afferma, infatti, che qualunque sia il fenomeno che determina la deformazione del terreno, se si trasferiscono i carichi di fondazione agli strati profondi, più consistenti e meno deformabili, è molto probabile che la costruzione sia resa definitivamente stabile.

Tuttavia, sia per l'interesse a conservare le strutture preesistenti e la memoria storica del costruito, sia per le esperienze acquisite in pochi, ma ben documentati casi, è sempre preferibile dedicare il tempo necessario ed investire una parte delle risorse economiche disponibili per analizzare approfonditamente i fenomeni osservati, la natura, le caratteristiche meccaniche ed il comportamento del terreno, e definire le cause dei dissesti strutturali, con tutti i mezzi offerti dalla moderna ingegneria geotecnica. L'obiettivo che dovrebbe guidare un progettista nel consolidamento di opere di interesse storico o monumentale, come anche di ogni costruzione antica, è quello di limitare gli interventi allo stretto necessario, soprattutto allo scopo di non alterare irreversibilmente la straordinaria eredità di costruzioni antiche di cui è ricco il nostro paese.

Purtroppo, alla luce di quanto si può osservare quotidianamente, sembra che diversi fatti ostacolino questa impostazione. In particolare, da un lato il continuo ampliamento ed irrigidimento delle normative sulla sicurezza, dall'altro lo sviluppo di tecniche di intervento sempre più integrali ed invasive, e di costo via via decrescente, sono probabilmente i fattori che hanno maggiore impatto negativo sulla conservazione materiale del costruito storico.

Bibliografia

- [1] CALABRESI G., D'AGOSTINO S. 1997, *Monuments and historic sites: intervention techniques*, Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, Balkema, Rotterdam.

- [2] COLOMBO P. 1972, *Problemi relativi alla difesa della città di Venezia*, Rivista Italiana di Geotecnica, Bologna, Patron Editore.
- [3] BUSTAMANTE M., GIANESELLI L., THIRIAT D. 1997, *Strengthening of a viaduct built at the beginning of the 20th century*, Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, Balkema, Rotterdam.
- [4] BUSTAMANTE M., GIANESELLI L., LEDOUX J.L. 1997, *Underrpinning of the Bordeaux Ponte-de-Pierre*, Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, Balkema, Rotterdam.
- [5] SOPRINTENDENZA PER I BENI AMBIENTALI E ARCHITETTONICI DI SIENA, 1992, *Il Duomo di Pienza, 1549-1984. Studi e Ricerche*, Firenze, Cantini.
- [6] CALABRESI G., CESTELLI GUIDI C. 1990, *Le attuali condizioni di stabilità della Torre di Pisa*, Materiali e Strutture: Problemi di Conservazione, L'Erma di Bretschneider, Roma.

Riassunto

Accade spesso che i danni strutturali di antiche costruzioni di interesse storico, monumentale o archeologico possano definirsi di origine geotecnica, in quanto derivano dalla interazione con il terreno di sedime, in genere a causa di spostamenti differenziali delle fondazioni. La diagnosi del fenomeno fisico che ha prodotto il danno, o che lo sta incrementando, può essere molto difficile e costosa, e richiedere tempi lunghi. D'altra parte il progresso tecnologico ha reso disponibili interventi di consolidamento delle fondazioni realizzabili in breve tempo, con costi contenuti, spesso comparabili a quelli di uno studio geotecnico approfondito dei fenomeni in atto. Avviene perciò di frequente che si adottino interventi di consolidamento senza una preventiva analisi degli aspetti geotecnici. Questo fatto ha effetti negativi sulla conservazione del valore storico, architettonico, o archeologico, dell'opera, e talvolta neppure garantisce la durata dell'intervento di consolidamento. La nota descrive alcune soluzioni frequentemente adottate per consolidare strutture danneggiate dall'interazione con il terreno e, citando alcuni casi emblematici, gli effetti negativi che possono derivare da interventi non basati su un'analisi scientificamente seria dei fenomeni di danneggiamento.

Summary

The structural damages of ancient structures and monuments are very often due to differential settlements of their foundations, or to other effects of soil-structure interaction. A correct analysis of the damaging phenomena should be based on a sound geotechnical engineering approach, which requires expensive and long investigations on the mechanical characteristics of the foundation soils. However the last decade's progress in construction technologies has offered a new and flexible kind of solutions to consolidate foundation structures that are often quicker and less expensive than a serious and complete geotechnical study. Therefore very often one of the above-mentioned solutions is simply adopted avoiding any previous study. The paper briefly illustrates the main negative effects of that approach, referring to some interesting case histories.

Résumé

Il arrive souvent que les ravages structuraux d'anciennes constructions d'intérêt historique, monumental ou archéologique puissent être définis d'origine géotechnique, puisqu'ils dérivent de l'interaction avec le terrain de sédiment, généralement à cause de déplacements différentiels des fondations. Le diagnostic du phénomène physique qui a produit le ravage ou qui est en train de l'aug-

menter, peut être très difficile et coûteux, et requérir des temps longs. D'autre part le progrès technologique a rendu disponibles des interventions de consolidation des fondations réalisables en un temps bref, à des coûts contenus, souvent comparables à ceux d'une étude géotechnique approfondie des phénomènes en cours. Il arrive donc fréquemment qu'on adopte des interventions de consolidation sans une analyse préventive des aspects géotechniques. Ce fait a des effets négatifs sur la conservation de la valeur historique, architectonique ou archéologique, de l'œuvre, et parfois il ne garantit même pas la durée de l'intervention de consolidation. La note décrit certaines solutions fréquemment adoptées pour consolider des structures endommagées par l'interaction avec le terrain et, citant certains cas emblématiques, les effets négatifs qui peuvent dériver d'interventions non basées sur une analyse scientifiquement sérieuse des phénomènes d'endommagement.

Zusammenfassung

Oft sind die Schäden an der Struktur von alten Gebäuden von historischer, monumentaler oder archäologischer Bedeutung geotechnische Schäden. Sie entstehen nämlich aus der Interaktion mit dem Bodensatz, normalerweise wegen differentieller Bewegungen des Grundbaus. Die Diagnose des physischen Phänomens, das den Schaden verursacht hat und das es verschlechtert, kann sehr schwierig und teuer sein und sie kann auch sehr lange dauern. Andererseits hat der technologische Fortschritt Verstärkungseingriffe des Grundbaus ermöglicht, die in weniger Zeit und mit niedrigen Kosten durchgeführt werden können, und die oft ähnlich einer genauen geotechnischen Untersuchung der Phänomene sind. Es kann also oft passieren, dass Konsolidierungseingriffe ohne eine Voranalyse der geotechnischen Merkmalen ausgeführt werden. Das hat negative Konsequenzen für die Konservierung des historischen, architektonischen oder archäologischen Wertes des Werks und manchmal ist es keine Garantie für die Dauer des Konsolidierungseingriffes. Es werden einige Lösungen beschrieben, die oft für die Konsolidierung der durch die Interaktion mit dem Boden beschädigten Strukturen benutzt werden. Es werden typische Fälle und die möglichen negativen Auswirkungen von Eingriffen erwähnt, die nicht auf einer wissenschaftlich ernsten Analyse der Phänomene der Beschädigung basieren.

Resumen

Ocurre a menudo que los daños estructurales de antiguos edificios de interés histórico, monumental o arqueológico puedan definirse de origen geotécnico, puesto que se originan de la interacción con el terreno de sedimentación, por lo general debido a desplazos diferenciales de las cimentaciones. El diagnóstico del fenómeno físico que ha producido el daño o que lo está aumentando, puede ser muy difícil y costoso, y requerir tiempos prolongados. Por otra parte el progreso tecnológico ha puesto a disposición intervenciones de consolidación de las cimentaciones que pueden realizarse en breve tiempo, con costes reducidos, a menudo comparables con los de un estudio geotécnico profundizado de los fenómenos en curso. Por ello a menudo ocurre que se decida por intervenciones de consolidación sin un análisis previo de los aspectos geotécnicos. Este hecho acarrea efectos negativos a la conservación del valor histórico, arquitectónico o arqueológico, de la obra, y tal vez siquiera asegura la duración de la intervención de la consolidación. La nota describe algunas soluciones a menudo adoptadas para consolidar estructuras dañadas por la interacción con el terreno, mencionando algunos casos emblemáticos, los efectos negativos que puedan proceder de intervenciones que no se basen sobre un análisis científicamente serio de los fenómenos del perjuicio acarreado.

резюме

Часто бывает, что повреждения структуры античных сооружений, представляющих исторический, монументальный или археологический интерес, могут иметь геотехническую природу, поскольку происходят от взаимодействия с осадочной почвой обычно по причине дифференциального смещения закладок фундамента. Диагноз физического феномена, вызвавшего повреждение или проваливающееся

его, может быть трудным, дорогостоящим и требующим много времени. С другой стороны, технологический процесс сделал возможным операции по укреплению закладок, осуществляемые в короткие сроки при сдержанных затратах, часто приближенных к затратам на углублённое геотехническое исследование действующего феномена. Поэтому часто случается, что применяются операции по укреплению без предварительного анализа геотехнических аспектов. Этот факт оказывает негативный эффект на сохранение исторической, архитектурной или археологической ценности произведения, а иногда не гарантирует даже длительности операции по укреплению. Заметка описывает некоторые решения, принимаемые часто для укрепления структур, повреждённых при взаимодействии с почвой и, приводит некоторые эмблематические случаи, негативные эффекты, которые могут возникнуть при вмешательствах, не базирующихся на серьёзном научном анализе причиняющих вред феноменов.