

ne e di consolidamento delle rocce più comunemente impiegati (iniezioni, ancoraggi, congelamento). Di ciascuno di questi sistemi sono descritte le modalità di esecuzione e i campi di applicabilità; l'esposizione è arricchita dalla descrizione di numerose applicazioni pratiche e dei risultati conseguiti.

(Paolo Bertacchi, Franco Capozza)

Il mondo sotterraneo.

Atti degli *Incontri di Studio* svolti alla Facoltà di Ingegneria, aprile-maggio 1967.

Dal recente Convegno di Geotecnica tenutosi a Cagliari nel '66, l'area della collaborazione interdisciplinare fra urbanistica e geotecnica si è ulteriormente estesa. In quel Convegno venne infatti messo a fuoco un settore di utilizzazione della disciplina che finora era stato pressochè ignorato; le si attribuì cioè il compito della « lettura geotecnica » del territorio, quasi una sorta di radiologia del *continuum* rurale-urbano. In tal modo, la lettura geotecnica diventa un nuovo tipo di lettura del territorio che si aggiunge a quelli storico, morfologico, funzionale, ecc., che la moderna cultura urbanistica ha elaborato e rappresenta la fonte di un ulteriore dato dell'analisi ecologica: la struttura del sottosuolo.

L'orientamento torna, poi, particolarmente proficuo anche per la tecnica operativa dell'urbanistica: infatti, il congestionamento dei centri urbani induce alla ricerca di nuove tecniche di intervento che molto spesso si identificano con le tecniche del sottosuolo. Il valore particolarmente elevato del suolo, l'esistenza di un patrimonio storico-artistico inalienabile, la pressante urgenza di nuove più adeguate infrastrutture commerciali e di trasporto, spingono l'intervento urbanistico nel sottosuolo, in quella parte, cioè, del territorio dove la operazione può essere guidata soltanto da una specifica competenza: quella del geotecnico.

La collaborazione fra l'esperto di geotecnica e l'urbanistica va dalla semplice « consulenza » allorché si tratta di scegliere, fra le varie alternative, la soluzione sotterranea — che è condizionata, oltre che da motivi ambientali e specificamente urbanistici, anche da fattori tettonici — fino alla diretta partecipazione alla « équipe di progettazione », per la previsione e la

esecuzione delle opere capaci di assicurare il buon funzionamento della infrastruttura sotterranea prescelta.

Pertanto, geotecnica ed urbanistica hanno intrapreso studi comuni che non si sono esauriti nel Convegno di Cagliari, ma hanno continuato a sviluppare fecondi risultati negli incontri di studio sul tema « Il mondo sotterraneo », promossi dall'*Istituto di Architettura e Urbanistica* della Università di Napoli, con la partecipazione degli *Istituti di Tecnica delle Fondazioni*, di *Costruzioni Stradali* e di *Tecnica ed Economia dei Trasporti*. Agli incontri di studio hanno partecipato anche due esperti stranieri, il prof. Edouard URUDJIAN, di Parigi, fondatore dell'urbanistica sotterranea, un ramo della disciplina che studia in particolare la sistemazione urbanistica del sottosuolo, ed il prof. William ARMENTO, di San Francisco, progettista di una importante infrastruttura urbana, in parte sotterranea e sottomarina, il B.A.R.T. System, ossia una ferrovia che collega tre contee della regione metropolitana di San Francisco.

Dopo il saluto del Preside della Facoltà, prof. Luigi TOCCHETTI, il prof. URUDJIAN ha illustrato gli aspetti storici dell'uso del sottosuolo, collegandoli poi immediatamente alle grandi operazioni di urbanistica sotterranea, promosse del G.E.C.U.S. (*Groupe d'Études et de Coördination de l'Urbanisme Souterrain*) di cui è presidente, a Parigi ed altrove; tra l'altro egli ha osservato come « sino ad oggi l'utilizzazione del sottosuolo sia stata caratterizzata dalla settorialità, dal non-coordinamento dei vari interventi... È appunto contro questa mancanza di metodo, ... che noi esponenti della moderna urbanistica sotterranea eleviamo la nostra protesta, affermando che la utilizzazione del sottosuolo deve rispondere a generali piani di carattere urbanistico, ... nel cui ambito si inquadra, poi, al livello progettuale, gli interventi di settore, sino al tracciato delle reti impiantistiche ».

L'accento di globalità, conferito dal prof. URUDJIAN all'intervento nel sottosuolo è stato ripreso, seppure in diversa misura, da ARMENTO: egli ha esposto con molta precisione i numerosi aspetti di un'esperienza urbanistica varia e complessa come quella del sistema dei trasporti nella regione di San Francisco. « L'obiettivo », egli ha concluso, « ...è eminentemente urbanistico: migliore utilizzazione possibile del suolo disponibile e conseguimento della massima efficienza in un corridoio di traf-

fico, con la minima possibile disintegrazione delle comunità ».

Alla esposizione dei proff. URUDJIAN e ARMENTO, cui in una delle giornate di studio si è aggiunta anche la presenza dell'ing. Ricardo HUMBERT, esperto dell'O.N.U. per i problemi del traffico urbano, ha poi fatto seguito la discussione da parte degli intervenuti, docenti, assistenti e studenti, secondo vari punti di vista. In particolare, l'uso del sottosuolo in una politica di piano e la fondazione disciplinare dell'urbanistica sotterranea sono stati i temi affrontati dalla relazione del prof. Corrado BEGUINOT, direttore dell'*Istituto di Architettura e Urbanistica*; negli interventi dei proff. Sandro PETRICCIONE e Renato DI MARTINO, dell'*Istituto di Trasporti*, sono stati lumeggiati gli aspetti economici e di tecnica della circolazione connessi alle soluzioni sotterranee; mentre il prof. Arrigo CROCE, direttore dell'*Istituto di Tecnica delle Fondazioni*, ha svolto il delicato ruolo di moderatore della discussione, portando tutti i partecipanti sullo stesso terreno discorsivo, fungendo spesso da interprete fra i diversi linguaggi e tentando, alla fine, di ricavare dagli incontri conseguenze nuove sul piano teorico. « Spesso i fatti nuovi », egli ha detto, « le idee capaci di modificare i termini in cui tradizionalmente un problema viene posto, maturano proprio nel clima di incontri come questo, in cui le esperienze di ciascun settore vengono poste a confronto, in cui è possibile scambiare idee e stabilire dialoghi che vanno al di là del dato oggettivo del dibattito ».

Infatti, il frutto si può dire più rilevante di questa esperienza di studio è stato la verifica di una nuova possibilità di collaborazione interdisciplinare consapevole, al di fuori dell'accidentale quanto cordiale incontro professionale degli esperti di urbanistica e di geotecnica: questo incontro, occasionato da una ricerca al livello universitario, svolto quindi nell'ambiente che noi crediamo il più adatto per la riflessione e l'aggiornamento scientifico, può direttamente condurre alla elaborazione di una teoria, cioè di un insieme organizzato di nozioni che è, da sempre, l'indispensabile supporto alla azione pratica.

Una larga ed attenta partecipazione degli studenti alle conferenze ed al dibattito ha confermato infine l'interesse didattico della manifestazione, i cui atti sono stati pubblicati in volume a cura

dell'Istituto di Architettura ed Urbanistica.

(Urbano Cardarelli)

Il progetto dei pali trivellati di grande diametro in argille dure ed il loro comportamento.

J. B. BURLAND, F. G. BUTLER, P. DUNICAN - *The behaviour and design of large diameter bored piles in stiff clay*. Proceedings of the symposium on Large Bored Piles - Institution of Civil Engineers - London 1966.

Per la verifica a rottura delle fondazioni in terreni argillosi si fa generalmente riferimento alla resistenza al taglio in condizioni non drenate, o in termini di tensioni totali, la quale è fortemente influenzata dalla presenza di piani di discontinuità o, più in generale, dalle macro-strutture dell'argilla.

Argille fortemente sovraconsolidate, come quella di Londra, di cui si occupano gli AA. della memoria, sono spesso intensamente fessurate.

A ciò si deve attribuire la forte dispersione dei valori della resistenza ottenuti da prove triassiali su provini di piccolo diametro: questi possono essere privi di piani di discontinuità o possono celare fratture non visibili ad occhio nudo. È un fatto riscontrato da più ricercatori che le resistenze di campioni di grande diametro, contenenti certamente qualche frattura, sono inferiori a quelle determinate su piccoli campioni.

Riesaminando le numerose esperienze compiute negli anni passati sulla argilla di Londra da diversi ricercatori gli Autori sono giunti, a questo riguardo, alle seguenti conclusioni:

a) quando i valori della coesione (non drenata) determinati in laboratorio su piccoli campioni sono poco dispersi, da prove di carico su piastra in sito, a pari profondità, si ricavano valori della coesione in buon accordo con i primi.

b) quando i valori della coesione determinati in laboratorio sono molto dispersi, quelli ottenuti dalle prove in sito sono inferiori alla media dei primi e aumentando il diametro della piastra tendono verso il limite inferiore dei valori ottenuti in laboratorio.

c) La media dei valori della coesione ottenuti in laboratorio non dà una indicazione attendibile della resistenza di grandi volumi di argille fessurate. In mancanza di dati più atten-

dibili (prove in sito con piastre di grande diametro) la resistenza dell'argilla è più realisticamente rappresentata dal limite inferiore dei risultati di laboratorio.

Ciò premesso gli Autori hanno riesaminato le formule più comunemente usate per la verifica dei pali, separando, come di consueto, termini relativi alla base e al fusto del palo.

Per la resistenza alla base una espressione empirica approssimata impiegata comunemente è

$$Q_{bu} = A_b N_c c_u$$

dove A_b è l'area della base e N_c un fattore adimensionale funzione della forma della base e del rapporto tra le sue dimensioni e la profondità.

Per sezione circolare e profondità maggior di 5 volte il diametro, a N_c si deve attribuire un valore costante circa pari a 9.

Per quanto concerne i cedimenti immediati gli AA. hanno constatato per numerosi casi osservati, la validità di una relazione empirica del tipo

$$W_i/B = K (q/q_{ult})$$

dove W_i è il cedimento immediato, B il diametro della base, q il carico applicato e q_{ult} quello di rottura, e K è un fattore adimensionale, approssimativamente costante per

$$q/q_{ult} < 1/3$$

Il valore di K stimato da prove diverse su pali e su piastre, sembra essere compreso, per l'argilla di Londra, fra 0,01 e 0,02 con una discrieta uniformità di risultati.

Nell'ipotesi di comportamento elastico del terreno e assumendo per il modulo E quello ricavato da prove triassiali non drenate su provini di piccolo diametro, si ottengono per K valori molto più elevati.

La resistenza per attrito laterale si pone generalmente proporzionale al prodotto della coesione del terreno per la superficie laterale del palo, attraverso un coefficiente α .

Nell'argilla di Londra e per pali di grande diametro, si è constatato che α è sensibilmente inferiore all'unità. Le cause di questa riduzione sono probabilmente da attribuire all'aumento di contenuto in acqua e al rilassamento delle tensioni del terreno che circonda il foro, e alla scarsa aderenza argilla-calcestruzzo.

Pertanto α sembra dipendere forte-

mente dalle modalità di costruzioni del palo.

Gli Autori ritengono che il suo valore sia generalmente compreso fra 0,3 e 0,7.

Essi poi avanzano l'ipotesi che gli scorrimenti relativi palo-terreno interessino uno strato molto sottile del terreno adiacente al fusto del palo e che la massima resistenza per attrito laterale venga raggiunta per scorrimenti relativi non superiori a 5-6 mm.

L'esame di un gran numero di prove di carico su pali di diametro fino a 90 cm sembra confermare questa ipotesi.

Pertanto la massima resistenza per attrito laterale verrebbe raggiunta per cedimenti di molto inferiori a quelli corrispondenti alla massima resistenza alla base.

Questo fatto ha conseguenze molto importanti nei problemi concernenti terreni fortemente preconsolidati, nei quali le curve sforzi-deformazioni presentano un massimo in corrispondenza di deformazioni abbastanza piccole, per cadere poi a valori molto inferiori per grandi deformazioni.

D'altra parte, il disturbo del terreno adiacente al palo prodotto dallo scavo, comporta una diminuzione della resistenza massima, mentre ha scarsa influenza su quella finale.

Pertanto gli Autori suggeriscono, in mancanza di altri elementi o di determinazioni sperimentali direttamente eseguite sui pali, di tener conto, nel calcolo della resistenza per attrito laterale, del valore della resistenza al taglio a forti deformazioni o di assumere un coefficiente $\alpha = 0,3$.

Benché dall'osservazione di numerosi dati sperimentali sembra potersi dedurre che l'allargamento della base non ha apprezzabile influenza sulla resistenza per attrito laterale del palo, un criterio prudenziale di progetto suggerisce di adottare per i pali a base allargata coefficienti α più bassi che nei pali cilindrici.

Per quanto concerne i fattori di sicurezza, tenuto conto delle precedenti considerazioni e della comune pratica costruttiva, si suggerisce di assumere valori non inferiori a 3 per la resistenza alla base e a 2 per quella per aderenza laterale.

I dati ottenuti dalla applicazione del metodo di calcolo suggerito sono stati confrontati con i risultati di prove di carico di pali eseguiti in diverse località, nell'argilla di Londra. Si è osservato che la resistenza a rottura veniva stimata con buona approssimazione (15%) mentre per i cedimenti imme-