

I rischi nella tecnica delle fondazioni e nelle costruzioni di terra.

A. CASAGRANDE - *Role of the « Calculated Risk » in Earthwork and Foundation Engineering* - Proc. ASCE, SM4, July 1965.

H. BOROWICKA - *Das Risiko in Bauwesen* - Mitteilungen des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik - Technische Hochschule Wien, Heft 7, Nov. 1966.

I luttuosi avvenimenti, succedutisi in Italia negli ultimi anni, ripropongono in maniera drammatica, particolarmente nel campo delle Costruzioni Idrauliche ed in quello della Geotecnica, il problema dei rischi connessi con i limiti delle nostre conoscenze scientifiche e tecniche.

In occasione di una catastrofe è naturale che la prima impressione sia quella che deriva dagli aspetti umani conseguenti al disastro e che più profondamente colpiscono la nostra sensibilità. È necessario, tuttavia, che a queste dolorose considerazioni segua una visione degli aspetti più propriamente tecnici ed economici del problema. Questa visione è affidata agli ingegneri, ai quali tocca il difficile e responsabile compito di valutare, nei singoli casi, quali siano i rischi connessi con le costruzioni e se questi siano accettabili in relazione alle conseguenze, che potrebbero derivare da possibili errori di calcolo.

Purtroppo, scorrendo la stampa d'informazione quotidiana, proprio in occasione di tragici avvenimenti, si ricava la sensazione che i non tecnici, anche di altissimo livello culturale, concordino nel ritenere gli ingegneri potenzialmente infallibili con la convinzione che ad ogni insuccesso debba necessariamente corrispondere un *colpevole* da affidare al giudizio di un tribunale.

Proprio gli ingegneri, invece, molto più modestamente e con atteggiamento, che nel clima moderno può sembrare romantico, sono ben consapevoli dei limiti delle loro conoscenze.

In che senso dobbiamo intendere questi limiti?

Innanzitutto, occorre distinguere realisticamente il vastissimo complesso di nozioni, che la scienza e la tecnica pongono oggi a disposizione [CASAGRANDE, 1965] — e che pure in taluni settori ha ancora gravi e forse insormontabili limiti — dalle conoscenze, che rappresentano forse qualche frazione di per cento della conoscenza generale, del sin-

golo ingegnere, che è chiamato a decidere nelle varie situazioni in base alla sua preparazione⁽¹⁾, in un tempo spesso troppo breve, con i limitati mezzi di indagine di cui dispone, nel rispetto della vigente legislazione, non sempre, purtroppo, tecnicamente aggiornata.

Il secondo, gravissimo ostacolo, che pone un limite al progresso delle nostre conoscenze, è rappresentato da vincoli di carattere amministrativo, per i quali in Italia, nella maggioranza dei casi, per le opere finanziate dallo Stato, non è previsto, in fase di progetto, intraprendere studi e ricerche, che comportino spese, anche se modeste.

Di questi problemi si sono recentemente occupati alcuni specialisti di Geotecnica, principalmente il Prof. A. CASAGRANDE, nella seconda conferenza dedicata dalla American Society of Civil Engineers alla memoria di KARL TERZAGHI. L'argomento è stato ripreso poi dal Prof. H. BOROWICKA in un articolo pubblicato sugli Atti dell'Istituto di Geotecnica di Vienna e da altri.

Scopo della presente nota è quello di portare a conoscenza dei lettori l'attuale orientamento di questi eminenti studiosi e tecnici per riflettere su di un problema, che negli ultimi anni è diventato particolarmente scottante anche in Italia.

Tutti sappiamo che il principale merito di TERZAGHI, nella sua così ricca e feconda attività nel campo della Geotecnica, è stato quello di aver sostituito l'empirismo nelle soluzioni dei vari problemi applicativi, in parte con un'analisi razionale dei fenomeni ed in parte con una valutazione, parimenti razionale, del margine di incertezza, che esiste nei procedimenti di calcolo e nei criteri di progetto.

In ogni caso, indipendentemente dai progressi compiuti, il controllo della validità dei calcoli e dei criteri di progetto può ottenersi solo attraverso la osservazione dell'effettivo comportamento delle opere progettate.

Questa così semplice, ma non sempre riconosciuta, verità, è molto realisticamente esposta in una lettera, citata dal Prof. CASAGRANDE, che lo stesso TERZAGHI ha inviato ad André COYNE, progettista della diga di Malpasset, subito dopo la grave sciagura verificatasi in Francia nel 1959:

(1) Si ricordi, per inciso, che nessuna legge stabilisce in Italia i limiti del campo di attività professionale in relazione al tipo di laurea conseguito.

« Quando ho appreso dai giornali la notizia della catastrofe di Malpasset, il mio pensiero è subito corso a Lei ed ho immaginato il tremendo colpo, che deve avere ricevuto, nel momento in cui la triste notizia L'ha raggiunta. In situazioni simili, è impossibile, alla prima impressione, distinguere gli aspetti tecnici dell'evento dalle tragedie umane, che vi sono connesse. Tuttavia, ogni onesto ingegnere è ben conscio del fatto che simili catastrofi sono, purtroppo, delle tappe essenziali ed inevitabili del progresso dell'ingegneria: non esistono, infatti, altri mezzi per scoprire quali siano i limiti di validità dei nostri metodi di calcolo.

Io stesso ho vissuto le terribili tappe di questo penoso sviluppo nel campo delle costruzioni aeronautiche, durante la prima guerra mondiale, allorché si è passati in pochi anni dai primi tipi semplici ad aerei sempre più grandi ed elaborati; nel campo delle costruzioni di dighe il prezzo delle nostre esperienze è egualmente alto.

La conosco da molti anni e sono certo che il crollo non è stato la conseguenza di un Suo errore di progetto. Questa catastrofe varrà, perciò, a porre in evidenza un fattore, che non ha ricevuto nel passato l'attenzione che merita. Il fatto che i fenomeni connessi con questo fattore si siano manifestati in occasione di uno dei Suoi lavori non è Sua colpa, perchè gli eventi che si verificano ai confini delle nostre conoscenze sono regolati dalle leggi della statistica e queste leggi colpiscono a caso. Nessuno di noi è immune. Lei come individuo e le vittime, egualmente innocenti, del crollo avete pagato uno dei numerosi tributi che la natura esige per lo sviluppo nel campo delle costruzioni di dighe.

Il Suo tormento dovrebbe essere almeno alleviato dalla consapevolezza che alla simpatia, che i colleghi Le manifestano nel campo professionale, si unisce la gratitudine per i benefici che essi hanno ricevuto dalla Sua ardua opera ».

Stabilito chiaramente che, purtroppo, gli ingegneri non sono infallibili, chiediamoci, quindi, il significato di quella razionale valutazione del margine di incertezza, che il Prof. CASAGRANDE indica come *rischio valutato* ovvero rischio consapevole.

Vi sono di ciò due possibili definizioni che, tuttavia, sono complementari e strettamente tra loro collegate.

Si tratta, in primo luogo, dell'arte di avvalersi di incomplete conoscenze per giudicare, al lume di esperienza, l'am-

piezza dell'intervallo, entro il quale possono variare i fattori, da cui i fenomeni dipendono. Da un punto di vista un pò diverso, si tratta di stabilire l'entità del margine di sicurezza da adottare o, all'inverso, del rischio che si corre nel costruire un'opera, tenendo conto responsabilmente, da un lato, dei fattori economici e, dall'altro, dell'entità delle perdite, che deriverebbero da un crollo.

Così come in tutte le altre branche dell'ingegneria, nel fornire la soluzione di un qualsiasi problema geotecnico, grande o piccolo che sia, l'ingegnere deve rispondere a tali quesiti; e la risposta deve essere inequivocabile ed espressa attraverso numeri e disegni precisi.

Il giudizio sull'accettabilità del coefficiente di sicurezza e, più in generale, del margine di sicurezza, deve essere necessariamente e realisticamente basato sulla valutazione delle conseguenze, che, nei singoli casi, potrebbero derivare da una mancata verifica delle ipotesi di progetto.

Il Prof. CASAGRANDE propone addirittura una classifica di tali conseguenze, in relazione alla loro entità:

1. catastrofe generale;
2. gravi perdite di vite umane e materiali;
3. gravi perdite materiali, probabilmente nessuna perdita di vite umane;
4. perdite materiali tollerabili; nessuna perdita di vite umane.

Quali sono i rischi nella Tecnica delle Fondazioni e Costruzioni di Terra?

Il Prof. CASAGRANDE ne distingue, in linea generale, due grandi gruppi: i rischi derivanti da fattori strettamente tecnici, e quelli, che, invece, dipendono, piuttosto, da fattori connessi con l'attività e con i mutevoli atteggiamenti dell'uomo.

I rischi da *fattori tecnici* possono, a loro volta, sussistere nei riguardi di fenomeni finora sconosciuti oppure possono dipendere da fenomeni già noti, che, tuttavia, pongono problemi, le cui soluzioni quantitative non siano ancora note o siano di dubbia validità.

I rischi del primo tipo si riconoscono, per definizione, solo attraverso disastri o, comunque, dopo che si siano verificati eventi, che possano essere osservati ed analizzati. Il Prof. CASAGRANDE è del parere che con le moderne conoscenze di Meccanica dei Terreni, i rischi di questo tipo siano da considerarsi ormai molto ridotti, sebbene, in

linea di principio, sussistano sempre, anche in conseguenza delle esigenze sempre diverse delle costruzioni e per le crescenti dimensioni, che queste vanno assumendo.

I pericoli, che sussistono per fenomeni noti, rientrano, invece, nei limiti dominabili dal calcolo, nel senso che è possibile in questi casi una valutazione razionale dei rischi connessi con l'adozione di una particolare soluzione di progetto e con la scelta dei valori dei parametri, che si introducono nei calcoli per caratterizzare il terreno [LUMB, 1966].

Quando i margini di incertezza sono relativamente piccoli ovvero in casi semplici la questione viene risolta, introducendo anche in Geotecnica un *coefficiente di sicurezza* con un significato simile a quello che ad esso viene di regola attribuito più in generale nella Tecnica delle Costruzioni [GIANGRECO, 1964].

Se, invece, il margine di incertezza è molto ampio non si può di regola definire il coefficiente di sicurezza con un numero, nel modo convenzionale. È necessario introdurre, invece, un complesso *margini di sicurezza*, più difficilmente definibile, che interviene nei particolari *criteri*, che nel singolo caso si adottano nel progetto d'insieme dell'opera, nel proporzionamento delle sue varie parti ed, infine, nei procedimenti di costruzione.

Tra i problemi geotecnici, che pongono le più gravi preoccupazioni agli studiosi e, quindi, agli ingegneri che devono risolverli sul piano applicativo, vengono citati dai Proff. CASAGRANDE e BOROWICKA con numerosi interessanti esempi, quello della stabilità dei pendii, specie in argille di elevata plasticità, fortemente preconsolidate o particolarmente sensibili; la valutazione delle proprietà meccaniche e della deformabilità di materiali sottoposti a sollecitazioni molto elevate; l'influenza che le scosse sismiche esercitano sul comportamento dei terreni. Su quest'ultimo argomento sono molte istruttive, ad esempio, le conclusioni che il Prof. JACOBSEN [1965] ha tratto dalla Prima Conferenza Mondiale sull'Ingegneria Sismica.

Anche tra i pericoli derivanti dai *fattori umani* possono distinguersi vari aspetti, alcuni dei quali più facilmente valutabili, altri meno.

In un primo gruppo possono comprendersi i rischi per difetto di organizzazione. Tra questi, CASAGRANDE attribuisce una grande importanza a quel-

li che derivano dalla *suddivisione delle responsabilità*. Ogni ingegnere ha modo di constatare giornalmente quali pericoli comporti la deficienza di collaborazione fra i vari organi, ai quali è affidato il compito di realizzare una opera: il Committente, il Progettista, il Direttore dei Lavori, il Consulente, il Costruttore. All'esame di questi problemi è anche dedicato un ben noto articolo di TERZAGHI [1958].

Sono note, inoltre, le difficoltà che gli organi statali di controllo incontrano per una obbiettiva valutazione e revisione di progetti, al cui studio non hanno avuto modo di partecipare. A questo proposito CASAGRANDE auspica che, almeno per le opere più importanti, il Progettista sia affiancato da una Commissione dei vari Esperti, ai cui lavori partecipino, dall'inizio degli studi di progetto fino al termine della costruzione, i rappresentanti degli organi di controllo.

Secondo CASAGRANDE, le soluzioni, cui si giungerebbe attraverso una simile organizzazione del lavoro, sarebbero sempre migliori di quelle che talvolta vengono imposte di autorità ed a posteriori da parte degli stessi organi di controllo.

Si noti, per inciso, che queste osservazioni di CASAGRANDE confermano implicitamente l'opportunità della tendenza, ormai chiaramente sviluppata anche da noi, di proseguire il lavoro di progettazione, affiancando la Direzione dei Lavori in corso di opera per adattare le soluzioni alla reale situazione ed ai risultati delle esperienze, che via via si vanno acquisendo.

Tra i rischi umani sono da elencare, inoltre, quelli che derivano dal mancato uso di nozioni scientifiche e tecniche e da scarsa capacità di giudizio: si tratta, sostanzialmente, dell'ignoranza che può anche condurre naturalmente, ad *errori onesti*.

Infine, sono da citare la corruzione ed ogni atto immorale, chiaramente punito dalla legge.

I difetti di organizzazione, l'ignoranza e la corruzione, sono talvolta interdipendenti: la suddivisione delle responsabilità, ad esempio, è frequentemente causa della mancata applicazione di nozioni scientifiche e tecniche e può addirittura favorire la corruzione.

Come giudicare, poi, un Progettista o un Direttore dei Lavori che, non sapendo o non potendo risolvere un problema, tenda a forzare il Costruttore ad assumersi responsabilità, che a questo chiaramente non spettano, ed al quale, d'altro canto, come tante volte

accade, viene rifiutata perfino la consultazione dei risultati delle indagini compiute in fase di progetto? Deve un Costruttore onesto rifiutare di partecipare alle gare di appalto quando non condivida le soluzioni prescelte in progetto oppure deve partecipare con la riserva mentale di proporre alla Direzione, subito dopo l'inizio dei lavori, quelle varianti che egli ritiene giuste?

Sull'atteggiamento da assumere in casi come quest'ultimo, CASAGRANDE ricorda scherzosamente gli opposti insegnamenti, che, già 2500 anni or sono, hanno impartito i due filosofi cinesi LAO-TSE e CONFUCIO: il primo sosteneva che in tempi di governo corrotto l'uomo saggio ed onesto dovesse tenersi ben lontano dalla pubblica amministrazione; il secondo, al contrario, riteneva un preciso dovere dell'uomo saggio dedicare i suoi sforzi proprio a riformare il governo.

(Ruggiero Jappelli)

BIBLIOGRAFIA

- CASAGRANDE A. (1965) - *Literature information service: a search for new ways* - Proc. VI Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. Vol. III, Montreal.
- GIANGRECO E. (1964) - *Teoria e Tecnica delle Costruzioni*, Vol. I, Liguori, Napoli.
- JACOBSEN L.S. (1965) - *Summary of our present knowledge of earthquake engineering and some thoughts of future research* - Proc. World Conf. on Earthquake Engineering, Berkeley, Cal.
- LUMB P. (1966) - *The variability of natural soils* - Can. Geot. Journ., Vol. III, 2.
- TERZAGHI K. (1958) - *Consultants, clients and contractors* - Journ. Boston Soc. Civ. Eng., genn.

La costruzione dei rilevati su terreni torbosi.

L. CASAGRANDE - *Construction of embankments across peaty soils*. Journal of the Boston Society of Civil Engineers - July 1966.

Fin da epoche remote i tecnici hanno affrontato il problema della costruzione dei rilevati stradali in terreni particolarmente soffici dotati di bassa capacità portante. I metodi proposti ed adottati sono stati numerosi ed oggi giorno un'ampia bibliografia riferisce sui risultati e sui vantaggi conseguiti con l'uno o l'altro di tali sistemi. Uno di essi è il metodo cosiddetto dello « spostamento ». Questo sistema di co-

struzione, del tutto particolare, è limitato a quelle formazioni di terreno costituite nella parte superficiale da torba o da altri materiali organici molto soffici con spessori che vanno da alcuni metri fino ad una ventina, poggianti su formazioni più stabili e compatte. Il sistema consiste nel far affondare il corpo stradale entro la coltre superficiale di tali materiali fino a raggiungere lo strato di terreno sottostante. Come materiale costituente il riempimento sono stati usati, a seconda della disponibilità, sabbia, ghiaia, rockfill o un insieme di tali elementi. Per ottenerne la penetrazione nella torba è sufficiente talvolta il loro stesso peso; accade però che allorchè il materiale soffice si sposta da sotto il rilevato esso costituisca ai lati e di fronte un rigonfiamento simile ad un'onda di fango che agendo da resistenza passiva ne ostacola il totale affondamento; inoltre può accadere specie per rilevati di notevole larghezza che una massa cospicua di torba vi rimanga intrappolata dentro costituendo un pericolo per gli inaspettati cedimenti differenziali che può provocare. Si sono andate quindi sviluppando alcune tecniche che fanno ricorso alla esplosione di cariche di dinamite nell'interno della torba per favorire ed assicurare l'affondamento del materiale di riempimento. Tali tecniche si sono diffuse in passato principalmente nel Nord America e, prima dell'ultima guerra mondiale, hanno trovato anche notevoli applicazioni in Germania dove sono state ulteriormente perfezionate. L'Autore riferisce appunto nel suo articolo su tali miglioramenti e, nell'esaminare le tecniche già note in passato in America, espone alcuni nuovi concetti che possono contribuire a rendere più efficace e più economico l'impiego degli esplosivi in tali tipi di costruzioni stradali.

Secondo l'opinione dell'Autore è da preferirsi fra gli altri il metodo della esplosione al disotto del riporto (*underfill blasting*) che consiste nel costruire il rilevato e nel piazzare le cariche nella sottostante torba mediante tubi di diametro variabile da 1,5 a 5 in. infissi attraverso il rilevato; nella versione modificata di tale metodo realizzata in Germania e che l'Autore chiama appunto « metodo tedesco », le cariche, piazzate in unità molto più grandi e disposte per tutta la larghezza e lunghezza del riporto, sono accese contemporaneamente in modo che con un'unica operazione si ottenga l'affondamento del corpo stradale per l'intero deposito di torba da attraversare. Si realizza in

tal modo un buon risultato ed una notevole economia. Fra i numerosi esempi riportati nell'articolo e realizzati con tale tecnica ne ricordiamo uno in cui la lunghezza dell'attraversamento torboso è stato di circa 250 m con profondità di oltre 10 m.

Il metodo « *underfill blasting* » è realizzabile solo quando il riporto è costituito da sabbia o ghiaia fina in modo che possa essere facilmente attraversato dai tubi che servono a piazzare le cariche; per rilevati costituiti da ghiaia grossa o rockfill si deve ricorrere al metodo dello scalzamento al piede (*toe shooting*) che consiste nel far affondare il riporto progressivamente agendo con cariche disposte davanti ed in basso nella torba. Anche per questo sistema l'Autore consiglia alcune modifiche che consistono essenzialmente nel costruire il rilevato anche al di sopra delle cariche già predisposte e nell'appesantirlo con un'altezza maggiore di quella richiesta.

Oltre a quanto già detto, nell'articolo si esaminano tutte quelle numerose particolarità costruttive che si incontrano in tali problemi: trattamento della crosta superficiale della torba, posizione e quantità dell'esplosivo, modalità di infissione delle cariche, larghezza della torba spostata per assicurare una buona stabilità al rilevato.

L'articolo, anche se tratta di un sistema costruttivo non sempre necessario e alcune volte inattuabile per i danni che le esplosioni delle cariche possono provocare ai manufatti adiacenti, è esauriente e completo; molti dati sulle caratteristiche fisiche e meccaniche delle torbe reperiti in una vasta bibliografia vi sono acclusi e possono risultare utili anche a chi non debba affrontare il problema specificamente trattato.

(Edoardo Santucci)

Una frana sul fiume Tounustouc, Quebec.

R.J. CONLON - *Landslide on the Tounustouc River, Quebec*. Canadian Geotechnical Journal, vol. III, n. 3, Aug. 1966.

La frana descritta ha interessato un volume di circa quattro milioni di metri cubi, con spostamenti dell'ordine di 2 ÷ 300 metri che si sono verificati in un tempo di pochi minuti. Ne è ri-