

SUL CALCOLO DELLE SOVRASTRUTTURE FLESSIBILI BITUMINOSE

I CONGRESSO INTERNAZIONALE

Ann Arbor, Agosto 1962

G. MORALDI (*)

Dal 19 al 24 Agosto 1962, si è tenuto ad Ann Arbor nel Michigan, Stati Uniti d'America, il primo *Congresso Internazionale sul dimensionamento delle sovrastrutture bituminose*.

L'importanza di questo *Congresso* è soprattutto costituita dal fatto che esso segna un sicuro punto di riferimento nel campo della progettazione di queste strutture, progettazione che, come ognuno sa, viene attualmente eseguita seguendo metodi e tecniche diverse, che spesso conducono a risultati difficilmente paragonabili fra loro.

E poiché il dimensionamento delle sovrastrutture di strade e di piste di aeroporti presenta sempre un lato squisitamente geotecnico, in quanto sono le caratteristiche del terreno di sottofondo, che assieme a quelle dei materiali costituenti la pavimentazione, dettano le dimensioni della struttura, è ovvio che buona parte dei lavori del *Congresso* abbia avuto attinenza con la Meccanica dei Terreni.

Delle 60 memorie presentate infatti, 38 trattano argomenti di Geotecnica e possono quindi interessare i lettori della Rivista. Tali memorie sono state elencate nella Bibliografia secondo l'ordine con il quale verranno progressivamente richiamate nel corso di questa breve rassegna.

1. Dimensionamento delle sovrastrutture

a) *Metodi razionali di calcolo*

Un fatto che indubbiamente colpisce è il gran numero di memorie che trattano dei metodi razionali di dimensionamento.

Se si pensa che, sino a qualche anno addietro, i metodi empirici erano quelli che dominavano incontrastati il campo, il fatto denota indubbiamente che ci si

trova di fronte ad una svolta nei metodi di progettazione, svolta che si era nettamente delineata al *V Congresso Internazionale di Geotecnica* [1].

L'impostazione razionale del calcolo segue tre correnti fondamentali: una prima che considera il terreno e gli strati della sovrastruttura come materiali elastici, una seconda che li considera come materiali visco-elastici, ed infine una terza che si basa sulla resistenza allo scorrimento degli strati, ne considera cioè il comportamento plastico.

Di gran lunga più seguita è la prima corrente, quella cioè che caratterizza gli strati con il loro modulo di elasticità « E » ed il coefficiente di Poisson « μ », e ciò è indubbiamente dovuto al fatto che, mentre la risoluzione matematica del doppio, del triplo e del multi-strato elastico è ormai una realtà di fatto, resa possibile dall'impiego generalizzato dei calcolatori elettronici (vedi memorie [4], [5], [6], [7], [8], [9]), non altrettanto può dirsi per la soluzione matematica di strati visco-elastici, che si trova ancora agli inizi [10].

Per quanto riguarda infine il terzo metodo, esso si basa sulla classica impostazione di TERZAGHI [3] ripresa poi di MAC LEOD [2]. La verifica di stabilità allo scorrimento viene effettuata lungo superfici interne allo strato, nel caso del terreno di sottofondo, e lungo i piani di separazione dei vari strati della sovrastruttura fra loro [11], [12].

E' opportuno osservare peraltro che, mentre la soluzione matematica del multi-strato elastico è stata avviata a soluzione, ancora molte incertezze e diversità procedurali permangono sul modo di determinare i moduli di elasticità, mentre troppo semplicisticamente il coefficiente di Poisson viene quasi sempre assunto eguale a 0,5 per tutti gli strati.

Alcuni studiosi infatti misurano il modulo attraverso prove dinamiche, ad esempio a mezzo di un vibratore applicato alla superficie della pavimentazione [8], [9], [13], [14], determinando la velocità di propagazione di vibrazioni nel terreno.

Altri, [15], [16], [17], [18], [19], fanno ricorso

(*) Prof. Ing. Giorgio MORALDI, libero docente di *Tecnica delle fondazioni e costruzioni in terra* ed Assistente presso l'Istituto di *Costruzioni Stradali* dell'Università di Roma,

a prove di carico con piastre; ma fra questi vi è chi calcola il modulo basandosi sulla deformazione elastica di ricupero, e chi assume, in prima approssimazione, come elastica la deformazione totale del terreno sotto carico.

Vi è infine chi determina il modulo di elasticità in laboratorio su campioni di materiali sottoposti a prove triassiali [20].

Un notevole contributo verso la soluzione del problema è quello apportato dalle memorie che hanno cercato di interpretare i risultati di prove sperimentali al vero con i metodi razionali di calcolo suddetti. Fra tutte si distinguono le memorie [14] e [15], la prima delle quali riferisce sull'esperienza inglese, dedotta da tronchi sperimentali di strade sottoposte a periodico controllo, la seconda sull'esperienza americana ricavata dai risultati dei tronchi sperimentali costruiti dall'A.A.S.H.O. (1).

b) *Metodi empirici*

Fra le memorie che trattano dei metodi empirici, unica novità di rilievo è il metodo descritto nella memoria [21] basato sulla applicazione della deformazione elastica di ricupero, misurata a mezzo di uno speciale apparecchio chiamato «resiliometro». Tutte le altre memorie riguardano o applicazioni di metodi già noti [22], [23], [24], [25], ovvero l'estensione di questi metodi a problemi particolari, quali il caso di traffici misti [26], [27], costituiti cioè da veicoli aventi carichi assiali fortemente diversi, e talvolta eccedenti quelli di progetto.

2. Comportamento di terreni di sottofondo di strati di fondazione e di campioni di terra alle varie sollecitazioni

Di questo argomento trattano diverse memorie: alcune che riguardano studi eseguiti sull'influenza della natura e delle condizioni del sottofondo e degli strati di fondazione sulla durata di una fondazione dedotti sia dall'esame di strade sottoposte al normale traffico o di campioni sperimentali al vero [28], [29], [30], [31], sia dall'esecuzione di particolari prove in sito, quali le prove di carico con piastre [16], [18], [25], la determinazione delle deformazioni sotto carico mediante la trave di BENKELMANN [16], [32], la determinazione del modulo di rigidità (rapporto fra carico e deformazione) mediante vibrazioni applicate in superficie [13], [33].

Altre si riferiscono a prove di laboratorio eseguite su modelli in scala ridotta o su provini di terra sottoposti a prove in condizioni controllate di sollecitazione e deformazione [20], [34], [35], [36].

Nel primo gruppo di memorie particolare importanza riveste la [30] che tratta del comportamento di strati di fondazione in misti granulari naturali e stabilizzati dedotti dai risultati dei tronchi sperimentali

A. A. S. H. O., mentre nel secondo gruppo la memoria [35] contiene uno studio molto approfondito della probabile influenza della deformazione elastica di ricupero del sottofondo sulla resistenza a fatica della pavimentazione.

3. Stabilizzazione delle terre

Questi problemi vengono trattati in 4 memorie, le quali riguardano la stabilizzazione con leganti bituminosi allo scopo di ottenere strati di base, o addirittura manti di usura in zone tropicali prive di materiali lapidei [32], [37], [38] ovvero confrontano fra loro, come già si è visto, l'efficienza di diversi tipi di fondazione in terra stabilizzata [30].

4. Problemi vari

Chiudono questa rassegna tre memorie che trattano, le prime due, di problemi del comportamento di sottofondi sottoposti all'azione del gelo in zone artiche [39], [40], l'ultima della correlazione riscontrata fra le caratteristiche pedologiche dei terreni ed il dimensionamento delle sovrastrutture [41].

Bibliografia

- [1] MORALDI G. - *Relazione Generale sulla IV Sezione - Atti V Congresso Internazionale di Geotecnica - Parigi, 1961.*
- [2] MCLEOD N. W. - *Some Basic Problems in Flexible Pavement Design - Proceedings H.R.B. - Vol. 32 - Anno 1953.*
- [3] TERZAGHI K. e PECK R. B. - *Soil Mechanics in Engineering Practice - 1948 - Art. 29.*

Memorie presentate al Congresso

- [4] SCHIFFMANN - *Analisi generale delle tensioni e delle deformazioni in strati elastici.*
- [5] BASTIANI - *La soluzione esplicita delle equazioni delle deformazioni elastiche per una sovrastruttura stratificata soggetta a carichi dinamici.*
- [6] LATTES, LIONS e BONITZER - *L'uso del metodo di GALERKINE per lo studio del comportamento statico e dinamico delle sovrastrutture flessibili.*
- [7] JEUFFROY e BACHELEZ - *Su un metodo di analisi delle pavimentazioni.*
- [8] PEATTIE - *Un metodo basilare di progetto di pavimentazione flessibili.*
- [9] DORMON - *Applicazioni pratiche di un metodo basilare di progetto per le pavimentazioni flessibili.*
- [10] PISTER e WESTMANN - *Analisi di pavimentazioni visco-elastiche soggette a carichi mobili.*
- [11] LIVNEH e SHKLARSKI - *Capacità portante di tappeti in conglomerato bituminoso.*
- [12] HEWITT - *Seguito di uno studio riguardante la progettazione teorica di sovrastrutture flessibili basata sulla resistenza al taglio.*
- [13] NIJBOER e MECTALF - *Prove dinamiche effettuate sul tronco sperimentale A. A. S. H. O.*
- [14] WHIFFIN, MACH e LISTER - *Applicazioni della teoria della elasticità alle pavimentazioni flessibili.*

(1) Come è noto si tratta della più estesa sperimentazione stradale di tutti i tempi, conclusasi recentemente negli Stati Uniti: su numerosi campioni di pavimentazione, costituiti da materiali differenti e di diverso spessore, vennero fatti transitare autocarri carichi, studiando il comportamento nel tempo delle strutture sotto il traffico.

- [15] SKOK e FINN - *Considerazioni teoriche applicate al calcolo delle pavimentazioni in conglomerato bituminoso.*
- [16] DEHLEN - *Indagini sulle cause della fessurazione di una strada nel Sud-Africa.*
- [17] BROWN - *Analisi di pavimentazioni flessibili di aeroporto mediante prove di carico con piastre.*
- [18] BENKELMANN e WILLIAMS - *Il comportamento strutturale di pavimentazioni flessibili - Analisi di prove di carico con piastre rigide su campioni sperimentali al vero.*
- [19] BURMISTER - *Applicazioni dei criteri informativi dei sistemi stratificati alla interpretazione, valutazione e progettazione di pavimentazioni flessibili.*
- [20] AHMED e LAREW - *Uno studio dei moduli di resistenza del terreno a carichi ripetuti.*
- [21] HVEEM, ZUBE e BRIDGES - *L'influenza della deformazione elastica di recupero sul dimensionamento delle pavimentazioni flessibili.*
- [22] HVEEM e SHERMANN - *Il metodo usato nello Stato della California per il progetto di pavimentazioni flessibili.*
- [23] FOSTER - *Analisi di dati sperimentali impiegando i metodi di calcolo sviluppati dall'U. S. Corps of Engineers.*
- [24] HICKS - *Metodo di progetto delle pavimentazioni flessibili nello Stato della Carolina.*
- [25] MORALDI - *Criteri di progettazione, di costruzione e di valutazione di pavimentazioni flessibili per aeroporti in Italia.*
- [26] TURNBULL, FOSTER e AHLVIN - *Progetto di pavimentazioni flessibili sottoposte a carichi e traffici misti.*
- [27] MAXWELL, AHLVIN e BROWN - *Prove di traffico con carichi misti su pavimentazioni flessibili.*
- [28] FINN e SHOOK - *Formule per il calcolo degli spessori di pavimentazioni flessibili.*
- [29] NICHOLS - *Effetti del costipamento e della stabilizzazione del sottofondo sulle deformazioni e sul comportamento delle pavimentazioni dello Stato di Virginia.*
- [30] BENKELMANN, KINGHAM e SCHMITT - *Comportamento di strati di base in materiali granulari naturali e stabilizzati.*
- [31] LEE e CRONEY - *Sperimentazione inglese al vero sul dimensionamento di pavimentazioni flessibili.*
- [32] GONNELLA e FONT - *Misti calcarei stabilizzati con bitume.*
- [33] HEUKELOM e KLOMP - *Le prove dinamiche quale metodo di controllo delle sovrastrutture durante e dopo la loro costruzione.*
- [34] MANRIQUE, LARA e TOMAS - *Deformazioni di terreni argillosi sottoposti a sforzi di taglio ripetuti nel tempo.*
- [35] SEED, CHANG e LEE - *Caratteristiche della deformazione elastica di recupero dei terreni di sottofondo, in relazione alla rottura a fatica delle pavimentazioni flessibili.*
- [36] WHITE - *Deformazione elastica di recupero di materiali lapidei impiegati in strati di base.*
- [37] ZALAZAR e DE CASTRO - *Stabilizzazione di terreni con bitumi liquidi nel Brasile del Sud.*
- [38] ZALAZAR - *Costruzione di pavimentazioni bituminose con aggregati fini nella provincia a Sud-Ovest di Santa Fè.*
- [39] FULLWIDER e AITKEN - *L'influenza del colore superficiale sull'azione del disgelo sotto una pavimentazione flessibile in zona artica.*
- [40] TAIVANNEN - *Le strutture delle strade Finlandesi e l'impiego di cunei contro il rigonfiamento prodotto dal gelo.*
- [41] KEYSER - *Applicazione della pedologia al progetto di pavimentazioni flessibili nello Stato del Wisconsin.*