

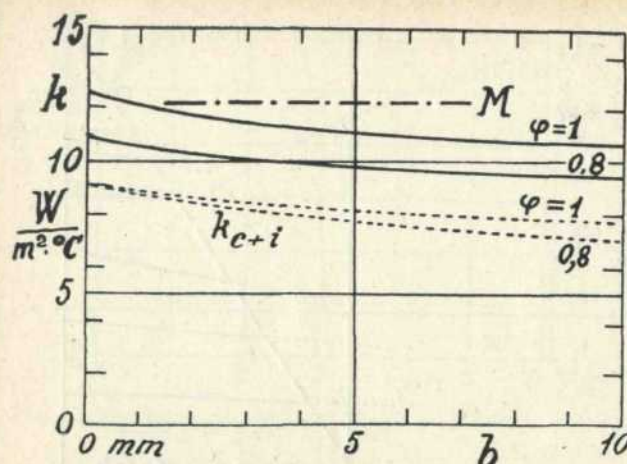


Fig. 7. - Variazione del coefficiente k al variare dello spessore b dello strato di brina.
 $t_a = 0^\circ\text{C}$; $t_s = 7^\circ\text{C}$; $D_s = 38\text{ mm}$

È interessante notare che il valore di k ricavato per $(t_a - t_s) = 7^\circ\text{C}$ dalla nota formula del Professor Mauro:

$$k = 5,57 + 0,88 (t_a - t_s) - 0,024 (t_a - t_s)^2 \quad (19)$$

(in $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$).

contrassegnato sulla fig. 7 con la lettera M , corrisponda, come l'A. della formula stessa ha indicato, alle migliori fra le condizioni di trasmissione prese in esame.

Se gli intervalli di temperatura fossero più ampi di una diecina di gradi alcune delle approssimazioni qui introdotte andrebbero modificate ed i calcoli risulterebbero più laboriosi, ma non sembra possa essere alterato l'aspetto essenziale delle conclusioni qui ricavate.

Cesare Codegone

Carichi eccezionali per strutture ordinarie con particolare riguardo alle opere d'arte delle strade ordinarie

L'A. esamina le condizioni di stabilità di strutture temporaneamente molto affaticate o, ciò che equivale, di strutture ordinarie sotto carichi temporanei eccezionali, con particolare riguardo al transito di carichi militari molto pesanti (carri armati) sulle opere d'arte delle strade ordinarie e perviene a talune conclusioni di massima circa carichi tipo, verifiche di stabilità e modalità di transito (*).

1. - In una nota comparsa sulla Rivista Militare 1948 sotto il titolo: « Carri armati e strade ordinarie » ⁽¹⁾ veniva prospettata tra l'altro l'utilità di sviluppare una tecnica delle strutture molto affaticate, basata su corretti principi teorici e svolta con procedimento rigoroso, in vista di realizzare una normativa realistica e al tempo stesso corretta per il transito di carichi molto ingenti sulle opere d'arte delle strade ordinarie.

La questione ha una considerevole importanza permanente e una ancora maggiore può assumerne in particolari circostanze di emergenza, ma sarebbe inopportuno restringerne l'interesse alle modalità di transito di carichi eccezionali e quindi molto più elevati dei carichi tipo più onerosi di progetto — cioè in circostanze di deficiente sicurezza tecnica — perchè essa tocca in effetti un campo assai più vasto, quale è offerto dalle strutture speditive e di circostanza o destinate a sostenere un determinato regime di sforzi per un tempo limitato.

È intuitivo che l'adozione per tali strutture di criteri costruttivi validi per le strutture permanenti è un nonsenso ed è un controsenso economico, quando non urti anche contro circostanze di scarsa disponibilità di materiali, di mezzi di lavoro e di tempo.

Sulla base di tali considerazioni si facevano voti per la definizione razionale dell'accennata tecnica

(*) L'A., Ingegnere e Generale dell'Esercito (attualmente Comandante della Divisione Corazzata « Centauro » e già Comandante delle Scuole d'Applicazione d'Arma e quindi della Scuola di Guerra), ha riserbato questo scritto alla nostra Rivista. Gliene siamo grati.

⁽¹⁾ Gen. P. SUPINO - Riv. Militare n. 11 - Novembre 1948.

delle strutture molto affaticate, della quale è agevole fare emergere la importanza sia da un punto di vista strettamente militare, sia da un punto di vista generale.

Da un punto di vista strettamente militare risulterà la facoltà di una più estesa utilizzazione della rete stradale ordinaria da parte dei carichi ingenti di cui la meccanizzazione delle FF. AA. sta dotando l'Esercito, senza per questo esigere carichi tipo di eccessivo vincolo. Altro interessante risultato saranno la maggiore speditezza di costruzione e l'economia di mezzi d'opera e di spesa che si potrà conseguire per molte e importanti categorie di costruzioni.

Ma molto probabilmente i vantaggi perseguibili per tale via possono assumere una portata generale ed uscire dal campo dell'esclusivo interesse militare per investire molte attività costruttive civili, con particolare riguardo ai ripristini temporanei, in casi di sinistri o di calamità, alle strutture di servizio e agli impianti di cantiere, a molte strutture a lavoro specializzato (macchine, apparati di sollevamento, ecc).

La tecnica relativa deve informarsi ai concetti fondamentali della Scienza delle Costruzioni, partendo dalla esatta conoscenza della distribuzione degli sforzi e delle sollecitazioni effettive cui le strutture sono soggette in ogni condizione di carico.

Linea concettualmente ineccepibile e tradizionalmente conforme ai buoni procedimenti ingegneristici. « La differenza tra un ingegnere e un capomastro consiste solo nel fatto che il primo impiega il materiale per uno quando l'altro ne adopera per cinque. Ossia tutti e due sanno compiere il medesimo lavoro, ma sono le cognizioni scientifiche ed

i calcoli quelli che fanno fare al primo un progetto più economico di quanto sia in grado di fare il secondo » ⁽²⁾.

Si tratta di fare ancora dei passi avanti su questa via. Senza escludere che possano provenire apporti consistenti in materia da studi di aggiornamento sui concetti fondamentali della teoria della elasticità, nella presente nota si assume un compito molto più modesto, ma non per questo privo di utilità, di vedere quanto è consentito dedurre dalle attuali cognizioni teoriche e pratiche sul comportamento in opera dei comuni materiali da costruzione riferite alle circostanze particolari di carico delle quali si è fatto cenno.

2. - Il problema assume una particolare emergenza, tra gli altri, nell'esercizio delle strade ordinarie.

È un dato di fatto che quest'ultime sono soggette in misura crescente al transito di carichi che in talune occasioni possono raggiungere pesi molto considerevoli ⁽³⁾.

Una soluzione radicale potrebbe vedersi nella adozione di carichi tipo corrispondenti ai maggiori carichi in circolazione, quindi molto più elevati di quelli prescritti oggi. E questo fu il criterio seguito nel 1933 nella redazione della normale n. 8 del Ministero dei LL. PP. in data 15 settembre di quell'anno, nella quale lo schema II (92 Tonn.) corrispondeva al traino su strada ordinaria di un obice da 305/17 che all'epoca era il carico più pesante di carattere militare.

Nel dopoguerra lo schema II è stato abolito ed i carichi tipo prescritti dalla normale n. 1 in data 9 giugno 1945 sono costituiti da una colonna indefinita di autocarri da 12 Tonn. e da un rullo compressore di 18 Tonn.

È bene fare subito rilevare che il problema non ha importanza solamente militare, perchè molte attività civili sono interessate al trasporto di carichi considerevoli fuori della rete ferroviaria, dato che assumono tali caratteristiche trasporti per v. o. di trasformatori elettrici di potenza considerevole, tubi blindati e parti di macchine per centrali elettriche e per le industrie in genere, grandi recipienti metallici per liquidi speciali, ecc.

Ma la soluzione che si è detta radicale, col l'adozione di carichi tipo molto elevati, è l'unica disponibile e se ve ne sono altre è la più econo-

⁽²⁾ L. SELMO - Scuola e pratica nella vita dell'Ingegnere - Atti e Rassegna tecnica della Società degli Ingegneri e Architetti in Torino - Gennaio-Marzo 1950.

⁽³⁾ In una soluzione radicale si dovrebbe assumere un carico tipo classe 100 (=100 Tonn., per adottare la terminologia anglo-sassone già in uso per i ponti militari). Il carico più pesante è offerto oggi da un carro armato M.47 su rimorchio M.15A1 e trattore M.26A1, del peso totale di circa 90 Tonn. La disposizione schematica dei pesi è data da un asse singolo anteriore e due carrelli (passo di m. 1,60 ciascuno) del peso rispettivo di 20, 33 e 33 Tonn. (più carico e zavorra). La distanza tra asse singolo e primo carrello è di cm. 596; tra i perni dei carrelli, di cm. 945. L'asse singolo è provvisto di due ruote; i carrelli sono su otto ruote eguali ma di differente disposizione, provviste di gommature 14 x 24.

mica, ammesso come è probabile che sia la più esauriente?

Esistono senza dubbio altre soluzioni e queste sono offerte da provvedimenti di organizzazione e controllo del traffico pesantissimo nel quadro delle prescrizioni della normale n. 1 ed eventualmente nella istituzione di itinerari specializzati per trasporti molto pesanti.

Se la combinazione dei due ordini d'idee consentirà di risolvere in modo accettabile il problema nel quadro delle norme vigenti, non sarà indispensabile ricorrere al provvedimento molto impegnativo di adottare per tutta la rete nazionale delle strade ordinarie di grande traffico carichi tipo più pesanti degli attuali.

3. - Per approfondire adeguatamente la discussione della tesi occorre fare una breve premessa circa i limiti del campo delle sue applicazioni, premessa che s'importa non tanto sul punto di vista del fisico, quanto dal punto di vista dell'ingegnere.

« Ora per l'ingegnere la teoria dell'elasticità deve servire essenzialmente al calcolo delle dimensioni da attribuirsi agli organi resistenti delle costruzioni e delle macchine. Il problema tecnico, quale si presenta all'ingegnere, consiste nel determinare la forma da attribuirsi alle singole parti di un sistema resistente per ottenere la migliore utilizzazione della materia di cui sono costituite ovvero, più frequentemente, nel trovare il modo di sfruttare al massimo le proprietà resistenti dei pezzi che gli sono forniti direttamente dall'industria. Problema in genere assai semplice quest'ultimo: mentre il primo, quasi sempre molto complesso richiede una soluzione vera e propria soltanto in un numero assai limitato di casi sufficientemente generali perchè ad essi possono essere ricondotti tutti gli altri.

« I calcoli tecnici non possono essere d'altronde che grossolani. La necessità in cui si trova il costruttore, di prevedere possibili difetti del materiale da lui adoperato o notevoli inevitabili imperfezioni nella sua lavorazione o nel modo stesso con cui viene messo in opera, e soprattutto il dovere che gli incombe di mettere la costruzione al sicuro dalle conseguenze di possibili eccezionali aumenti delle sollecitazioni esterne (aumenti la cui entità, a volte anche ragguardevole, non gli è dato di prevedere nell'impostazione dei suoi calcoli), lo obbligano a usare sempre una quantità di materiale resistente molto superiore a quello richiesto dalla teoria.

« Introducendo nelle formule i cosiddetti "coefficienti di sicurezza" egli viene a calcolare le sue costruzioni come se esse dovessero resistere a carichi assai più grandi di quelli che egli pensa di realizzare. Perciò non interessa in genere all'ingegnere di conoscere le condizioni statiche della sua costruzione ad ogni istante e corrispondentemente ad ogni condizione di carico: gli basta quasi sempre di assicurarsi che il massimo cimento al quale il materiale può essere assoggettato effettivamente non giunga mai a mettere in pericolo la stabilità della costruzione.

« Adoperata in questo senso la teoria dell'elasticità si presta egregiamente, anzi nel migliore dei

modi possibile, ai fini dell'ingegnere in quanto lo conduce a metodi di calcolo relativamente semplici nei quali poco importa che la precisione sia impossibile dal momento che essa sarebbe assolutamente inutile » ⁽⁴⁾.

In linea generale, le precedenti considerazioni equivalgono ad affermare che la teoria classica dell'elasticità — poichè è di essa che si tratta — è una teoria limite non soltanto perchè i parametri delle deformazioni (elastiche) vengono trattati nel suo sviluppo come infinitesimi, ma anche perchè sussistono fenomeni che quasi sempre accompagnano le deformazioni elastiche, per esempio l'« elastische Nachwirkung » di Weber, l'« isteresi elastica » o l'« ereditarietà meccanica » e soprattutto i fenomeni di plasticità, i quali fanno sì che la corrispondenza tra forze esterne e stato di deformazione elastica dei sistemi perde in pratica quel carattere di biunivocità che, essenziale per la teoria classica, non potrebbe non esserlo in ogni altra teoria che mirasse a uno scopo pratico.

Teoria limite che presenta inoltre un limite di eccezionale pregio perchè si riferisce al minimo di complessità dei fenomeni naturali e quindi fornisce, unitamente a una sufficiente approssimazione, una semplicità e speditezza di calcolazioni difficilmente sostituibile.

In fatto particolare, è da ricordare « la necessità di usare sempre una quantità di materiale resistente molto superiore a quello richiesto dalla teoria ». Viene allora in mente di utilizzare questo eccesso sistematico di materiale resistente, se non in linea permanente almeno nelle circostanze eccezionali nelle quali l'utilizzazione può essere non solo tollerata, ma anche caldeggiata in vista di esigenze di economia e d'intelligente impiego di mezzi.

4. - Nel quadro implicitamente già definito la ricerca si concreta nella definizione della legittimità e del portato di una elevazione dei carichi, in circostanze eccezionali, al di sopra di quei valori concreti dei carichi di sicurezza accolti dalla pratica ingegneristica corrente e sanzionati dalla Scienza delle Costruzioni.

Ma costituirebbe un procedimento poco esauriente e di scarsa rispondenza a criteri razionali il limitare l'indagine alle possibilità effettive di adottare carichi di sicurezza maggiori e successivamente alla definizione di questi maggiori carichi di sicurezza, perchè esiste un altro settore di meno immediata percezione ma di interesse forse più rilevante che è quello di accertare quali materiali e strutture si prestano in modo preferenziale ad essere calcolati e utilizzati per una più elevata fatica e quale sia l'ordine di grandezza dei margini di profitto.

Per la prima parte l'indagine non è nuova. « Per le costruzioni la scelta del carico di sicurezza si fa per lo più prendendo a fondamento la resistenza

⁽⁴⁾ Dall'art. « Elasticità » dell'Enciclopedia Treccani, Vol. XIII, pag. 606.

del materiale, calcolando un « grado di sicurezza » rispetto all'oltrepassare quel limite di resistenza che è fissato dall'esperienza come sicuro per il materiale che si considera. Esso è per il ferro e il legno la resistenza alla trazione, per le pietre la resistenza alla pressione.

« Si sceglie allora come grado di sicurezza contro la rottura per il ferro circa 5, per le pietre e per il legno da 10 a 20.

« Un metodo più recente di stabilire il carico di sicurezza si basa sulla condizione che tutte le parti di una travatura sotto la sollecitazione agiscano il più possibile sempre e completamente in modo elastico. Ciò avviene quando i valori limiti degli sforzi non oltrepassano i limiti di elasticità. Partendo da questo concetto si deve avere anche la sicurezza che le tensioni nella travatura non oltrepassino mai la misura indicata. Basta che in complesso gli sforzi che si verificano nella travatura nelle circostanze più favorevoli possano crescere al massimo fino alla metà od a due terzi del limite di elasticità. Il carico di sicurezza relativo sarebbe allora da due volte a una e mezza più grande » ⁽⁵⁾.

Con molti altri G. Ch. Mehrtens ha prospettata da tempo una particolare modalità per la determinazione delle sollecitazioni massime ammissibili stabilendo che sotto carico una struttura portante debba comportarsi in modo permanente e completamente elastico. Se nelle circostanze più sfavorevoli di carico non si manifesta alcuna deformazione permanente o in altre parole i valori max. delle sollecitazioni normali non superano i limiti di elasticità, si può dedurre la sicurezza che la struttura è stabile.

« Nach bisherigen Erfahrungen genügt es, wenn danach im grossen und ganzen die unter den ungünstigen Umständen in Tragwerk auftretenden Spannungen höchstens auf die Hälfte des Beitrages der Elastizitätsgrenze wachsen können. Der Sicherheitsgrad gegen deren Ueberschreitung wäre dann ein zweifacher » ⁽⁶⁾.

La conformità di quanto sopra risulta sanzionato il procedimento di carattere del tutto generale di effettuare i calcoli di stabilità determinando il carico di rottura oppure un limite elastico convenzionale e, stabilito il grado di sicurezza conveniente, dividendo per questo il carico di rottura per valutare quel valore delle sollecitazioni che non si deve superare (ciò che equivale a dividere nella stessa ragione le ordinate della curva limite di Mohr od a ridurre in proporzione la superficie limite di Westergaard).

Da notare che l'operazione sul grado di sicurezza nella risoluzione dei problemi di stabilità non è estranea ai procedimenti correnti della Scienza delle Costruzioni, poichè è da tempo d'uso generale per il calcolo delle strutture soggette a carichi di punta od a carichi eccentrici (pressoflessione).

⁽⁵⁾ Cfr. FOERSTER - *Manuale del Costruttore* - Ed. Valardi - Milano, 1919 - Vol. 1, pag. 200.

⁽⁶⁾ G. CH. MEHRTENS - *Vorlesungen über Ingenieurwissenschaften* - I^o T. - Stat. u. Fest. I^o B.: Einfahr. in die Grundlagen - Ed. Englemann - Leipzig, 1909.

Secondo un noto indirizzo (Eulero) che ha rigore logico e matematico, il margine di sicurezza ritenuto necessario nelle accennate strutture viene determinato calcolando la sollecitazione di snervamento (o la sollecitazione critica per i materiali che non presentano fenomeni di snervamento preliminari alla rottura) e passando da questa alla sollecitazione ammissibile coll'assumere un grado di sicurezza variabile secondo un indice o grado di snellezza della struttura che è funzione delle caratteristiche geometriche della struttura stessa.

È evidente che nei termini accennati il calcolo viene riportato alle stesse equazioni d'equilibrio per la compressione semplice, dopo aver sostituito al grado di sicurezza ordinario un nuovo valore che tiene conto degli effetti d'inflexione laterale sulla stabilità della struttura (eccentricità del carico, cedimento dei vincoli, disomogeneità del materiale, curvatura iniziale della struttura, forze trasversali, ecc).

Secondo un altro indirizzo, del pari assai noto, si ricorre a un operatore particolare, il cosiddetto « coefficiente di Rankine », il quale modifica anch'esso il grado di sicurezza e attraverso questo il carico di sicurezza da adottare cosa per caso nelle equazioni di stabilità.

In entrambi i procedimenti si viene a istituire un'equazione d'instabilità o di condizione critica di stabilità che consente di calcolare il carico max. ammissibile come rapporto della sollecitazione critica al grado di sicurezza prestabilito (calcolo di progetto), oppure di ricavare dal rapporto della sollecitazione critica al carico effettivo il grado di sicurezza per constatarne la conformità alle esigenze di stabilità (calcolo di verifica).

In relazione alla ricerca intrapresa l'interesse pratico di tali procedimenti consiste essenzialmente nel fatto che un problema di stabilità (problema fisico) viene trasformato in un problema di resistenza (problema costruttivo).

Nulla osta, in linea di principio e logica, che essi possano essere estesi anche ad altri casi e dare risultati interessanti per la risoluzione del problema assunto.

Per quanto si riferisce ai materiali e alle strutture che meglio si prestano per una elevata fatica delle loro parti si rimanda ai cenni fatti al n. successivo e al n. 7.

5. - La prevista intenzione di operare sul grado di sicurezza rende opportuna qualche precisazione in merito.

Il « grado » o « coefficiente di sicurezza » misura, come è noto, il rapporto tra i carichi unitari di rottura dei materiali in genere od i carichi di snervamento per i materiali che presentano fenomeni di snervamento preliminari alla rottura, ed i carichi di sicurezza.

È anche ben noto che detto rapporto varia secondo i materiali e varia anche per uno stesso materiale secondo le sue caratteristiche caso per caso.

I valori massimi e minimi del rapporto sono perciò il risultato di valutazione specifiche, basate an-

che su prove di laboratorio nelle circostanze in cui se ne veda la necessità.

Molti materiali danno luogo alle prove a risultati molto dispersi (conglomerati, cavi metallici, ecc.). Quando le prove sono numerose, i risultati debbono valutarsi sotto l'aspetto di un valore medio e di scarti rispetto al valore medio. È ovvio che è più sicura ogni valutazione per i materiali che danno luogo a valori poco dispersi, anche se minori in valore assoluto, in applicazione del concetto di probabilità di carichi esterni e di sollecitazioni massime.

Comunque gli accennati massimi e minimi possono risultare assai discosti e il dato da assumere caso per caso è affidato alla prudente valutazione dell'ingegnere il quale giudica secondo le caratteristiche oggettive dei materiali e secondo il suo apprezzamento circa gli effettivi regimi di sforzi sotto carico, con particolare riguardo alla loro congruenza di fatto colle ipotesi di progetto.

L'analisi anche sommaria dei valori dei gradi di sicurezza dà immediatamente la nozione del comportamento di ciascun materiale sotto carico e delle tolleranze ammissibili in presenza di sovraccarichi eccezionali.

Detti valori ⁽⁷⁾ sono calcolati in base al rapporto anzidetto ed è ovvio che sono validi entro i limiti nei quali i materiali lavorano in effetti nelle condizioni assunte per determinare i carichi di rottura, in circostanze generali di carattere ordinario e particolari di resistenza corrispondenti alle previsioni fatte nei calcoli di progetto e di verifica.

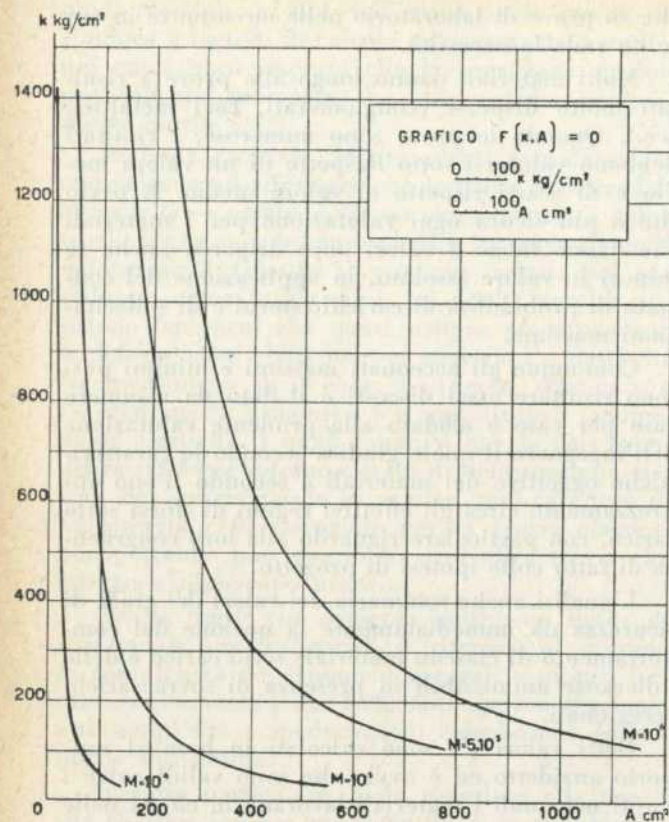
Per quanto riguarda le conclusioni obiettive dell'ingegnere, queste si contretano in un prudente arbitrio il quale deve aver presenti le imperfezioni dei procedimenti di calcolo e delle formule teoriche, il fatto che le forze non agiscono d'ordinario solo staticamente, come previsto dai calcoli, ma dinamicamente, i difetti occulti dei materiali al momento della messa in opera ed i difetti che inevitabilmente vengono a manifestarsi col tempo, le imperfezioni costruttive, naturalmente di scarso peso per opere costruite a regola d'arte ma comunque meritevoli di considerazione.

Dalla constatazione che i gradi di sicurezza presentano valori massimi e minimi risulta evidente che esistono larghi margini a disposizione del tecnico allorchè questi debba valutare le effettive condizioni di stabilità di una struttura sotto un carico eccezionale, le quali inoltre sono da apprezzare tenendo conto del fatto che in presenza di carichi eccezionali possono essere eliminati numerosi carichi aggiuntivi di progetto come, nel caso di strade or-

⁽⁷⁾ Per i materiali più comuni si hanno i seguenti valori riferiti alla rottura:

mat. metall. lamin.	2,5÷	3,5
mat. metall. fusi	3,5÷	5,5
legnami	4 ÷	6
pietre naturali	8 ÷	15
murature ordinarie	6 ÷	10
calcestr. semplice	5 ÷	8

(cfr. G. COLOMBO - *Manuale dell'Ingegnere* - Ed. Hoepli, Milano - 66^a 70^a Ed. - Parte V, n. 6 - pag. 528).



dinarie, doppi transiti, carichi multipli, folla compatta, ecc.

Se ne può arguire, con riserva di accertamento caso per caso, che l'equilibrio delle strutture è salvaguardato anche sotto carichi molto maggiori di quelli di progetto. Inoltre ulteriori margini possono essere assicurati con provvedimenti di organizzazione che hanno di mira condizioni di carico cautamente sorvegliate, delle quali si è già fatto cenno e sulle quali si ritornerà in sede di risultati conclusivi.

6. - Può costituire un apprezzabile contributo all'esame in corso un'analisi alquanto più approfondita del differente comportamento delle strutture sotto carico nei confronti di sovraccarichi ragguardevoli secondo entità (opere grandi o piccole) e secondo materiale (opere in muratura, calcestruzzo armato, ferro).

Alcuni dati quantitativi, di valore orientativo, sono desumibili da un recente studio dell'Ing. Prof. Bottau⁽⁸⁾. Per grandi luci d'opera d'arte (superiori a 20 m.) l'aumento del mom. max. per l'adozione di uno schema di carico di 50 Tonn. in luogo dei carichi tipo della citata normale n. 1 decresce rapidamente dal 30 % al 10 %, quest'ultimo valore riscontrandosi per luci di 30 m.

Invece per piccole luci (da 3 a 20 m.) l'accen-

⁽⁸⁾ B. BOTTAL - I carichi regolamentari per il calcolo dei ponti delle strade ordinarie - Riv. Ingegneri-Architetti-Costruttori - Anno VII, n. 6, giugno 1952.

nato aumento va dal 70 al 90 % per luci di 3 e 4 m., sale intorno al 100 % sui 7 m., quindi decresce regolarmente da tale percentuale sino a quella del 30 % già indicata per luce di 20 m. Si rimanda allo studio citato per l'apprezzamento delle modalità colle quali sono stati ricavati i dati sopra menzionati; qui interessa riportarne le conclusioni: « Dai risultati ottenuti si rileva che, mentre per i ponti di luce maggiore gli aggravi sono limitati, per i ponti di piccola luce essi sono considerevoli perchè si raggiungono tensioni unitarie doppie di quelle visuali.

« In considerazione del passaggio eccezionale del veicolo da 50 Tonn. si può affermare che esso può passare tranquillamente sui ponti di luce superiore ai 10 m. (sic). Per i ponti di luce inferiore il passaggio può pregiudicare la stabilità perchè, se i materiali sono cimentati con tensioni ancora lontane da quelle di rottura, esse sono però prossime a quelle di snervamento »⁽⁸⁾.

Per quanto concerne l'adozione di carrelli per il trasporto di veicoli a cingoli, è da tener presente che i carrelli offrono condizioni di carico più gravose per il loro peso proprio (trattore e carrello) e perchè concentrano il peso normalmente distribuito dal cingolo su due paia di coppie di ruote. I nuovi carichi concentrati sono dal 30 al 50 % superiori al peso del veicolo a cingoli distribuito dalla propria cingolatura.

È lecito dedurre dalle precedenti conclusioni che le piccole opere d'arte, e con ogni probabilità anche talune strutture secondarie delle grandi opere tra le più direttamente sollecitate, possono trovarsi soggette a tassi pericolosi in maggior misura delle grandi opere, nel transito di carichi eccezionali, il che indurrebbe a prevedere che eventuali norme di carico di progetto più severe potrebbero essere adottate nei loro riguardi, senza estenderle di necessità alle luci maggiori. Il provvedimento sarebbe razionale e meno impegnativo, dato che interesserebbe strutture di più modesta entità.

Per quanto riguarda i materiali, è da ricordare che le strutture si comportano differentemente sotto carichi eccezionali secondo il materiale da costruzione impiegato non solo per le caratteristiche meccaniche di quest'ultimo, ma anche per effetto del rapporto carico acc./ peso totale che entro larghi limiti è peculiare di ciascun tipo di costruzione.

Questo rapporto varia da 1/5 per ponti in muratura o pietra a 3/4 per ponti in ferro. In queste condizioni a un raddoppio del carico accidentale corrisponde nei ponti in ferro un aumento di sollecitazioni assai superiore al 100 % e cioè tale da costituire un grave pericolo per la stabilità; nei ponti in muratura, nelle stesse condizioni di carico, l'aumento delle sollecitazioni si aggira sul 60 %, intorno alla metà del precedente, e in ogni modo, concomitando l'entità del grado di sicurezza, tale da non destare eccessive preoccupazioni.

7. - Dopo quanto esposto, sono logicamente proponibili due ordini di procedimenti pratici per la risoluzione del problema: una ragionevole riduzione dei gradi di sicurezza, da utilizzare in partico-

lare per il progetto di strutture temporanee (o, ciò che equivale, per verifiche di stabilità in vista di carichi temporanei eccezionali); specifiche prescrizioni di utilizzazione.

Della facoltà discretamente lata di scelta del grado di sicurezza, che in talune circostanze può giungere ad assumere valori anche inferiori ai minimi indicati in nota al n. 5, esistono esempi sia nel campo delle strutture in legname, sia nel campo delle strutture metalliche, esempi da riferire in genere a impieghi particolari contraddistinti da breve durata di esercizio, stretta determinazione dei carichi utili, modalità d'esercizio perfettamente disciplinate.

Per le opere in legname taluni autori⁽⁹⁾ consentono un aumento dei carichi di sicurezza del 25 % per strutture provvisorie; altri (A. Laskus) fanno distinzione tra parti immediatamente caricate e parti caricate solo indirettamente ed ammettono per quest'ultimo ulteriori aumenti di carichi di sicurezza da 1/10 a 1/5 circa.

Le norme citate sono state sanzionate anche da prescrizioni ufficiali (ad es. Preussische Min. Bestimmungen - 24 Dez. 1919), a convalida dell'importanza della determinazione a ragion veduta, caso per caso, del grado o dei gradi di sicurezza.

L'adozione delle accennate provvidenze deve essere razionalmente subordinata alla discussione del margine di sicurezza residuo, il quale è tanto minore quanto più basso è il grado di sicurezza corrente per ciascun materiale.

In effetti, nelle murature ordinarie, una riduzione del grado di sicurezza da 10 a 5 comporta sollecitazioni pari ancora a un quinto del carico di rottura e il margine di sicurezza residuo è teoricamente del 400 %. Nel caso di strutture metalliche (ferro), la riduzione del grado di sicurezza nello stesso rapporto, cioè da 3 a 1,5, porta ad ammettere sollecitazioni pari al 67 % del carico di rottura, con un margine residuo del 50 %, in pratica nullo perchè si viene a incidere nella zona dei fenomeni di snervamento, anche a prescindere da azioni dinamiche che è difficile potere escludere « a priori ».

Delle precedenti considerazioni si dovrà tener debito conto in pratica e difatti saranno ricordate in sede di conclusione, perchè esse suggeriscono i dati limite di ogni applicazione.

8. - La legge di variazione della sezione resistente in funzione della variazione del carico di sicurezza, cioè in definitiva del grado di sicurezza, è illustrata con efficacia, almeno in linea indicativa, facendo ricorso a un grafico cartesiano della funzione $f(k, A) = 0$, dove k è il carico di sicurezza e A è l'area della sezione resistente.

Il grafico è riportato dall'all. 1, con riferimento a una sezione di trave inflessa, assumendo i valori di k e di A rispettivamente come ordinate e come

⁽⁹⁾ Cfr. ad es. GESTESCHI - *Hölzerne Dachkonstruktionen* - Zw. Aufl. - Ernst & Sohn, Berlin, 1919 e A. LASKUS - *Hölzerne Brücken* - Zw. Aufl. - Ernst & Sohn, Berlin, 1919.

ascisse. Ogni linea del grafico è riferita a un determinato valore del momento flettente, cioè rappresenta la legge di variazione a momento costante. Variando il momento si traccia una famiglia di curve affini (iperboli semicubiche), la cui analisi e interpretazione geometrico-fisica non interessa l'assunto. Interessa invece notare che in relazione ai valori di k compresi nel diagramma è possibile individuarvi una zona relativa ai materiali ferrosi ($k = 900 - 1200$), una zona relativa ai legnami da costruzione ($k = 100 - 160$) e una zona relativa alle murature ordinarie ($k = 10 - 20$ kg/cm²).

L'andamento dei rami d'iperbole ed i reciproci mutui rapporti di posizione e rispetto agli assi coordinati consentono di formulare le seguenti annotazioni:

1) la variazione di A in funzione di k segue una legge asintotica, per effetto della quale le sezioni diminuiscono meno rapidamente degli aumenti dei carichi di sicurezza;

2) le variazioni percentuali delle sezioni sono meno sensibili, nell'ordine, per i materiali che presentano carichi di sicurezza più elevati;

3) variando i momenti flettenti, cioè aggravando le condizioni di carico, a momenti più elevati corrispondono decrementi di sezioni resistenti maggiori per eguali incrementi di carico di sicurezza (o decrementi di grado di sicurezza).

Le annotazioni precedenti giustificano le seguenti proposizioni:

a) in linea generale non conviene superare limiti cautelativi nella diminuzione dei carichi di sicurezza perchè, a parte ogni altra considerazione di più diretto interesse, la diminuita sicurezza della struttura cessa ben presto di essere compensata da una effettiva economia di materiale;

b) il rendimento dell'aumento dei carichi di sicurezza è maggiore per i materiali che presentano carichi di sicurezza modesti in valore assoluto in confronto dei materiali che presentano carichi di sicurezza elevati;

c) i vantaggi connessi con un aumento dei carichi di sicurezza (o reciprocamente con una riduzione dei gradi di sicurezza) sono più sensibili per grandi sezioni e grandi momenti che per piccole sezioni e piccoli momenti.

Sarebbe agevole elencare i dati numerici che sono immediatamente ricavabili dalla lettura dell'all. 1, ma non si ritiene necessario attribuirgli altro valore che di semplice indicazione orientativa per concludere che se è innegabile, come d'altra parte è intuitivo, l'utilità di operare in determinate circostanze con ridotti gradi di sicurezza, il criterio deve essere applicato con ocularità, per strutture semplici ed a grande sezione e per le quali risulti ben definito il regime effettivo delle sollecitazioni interne.

9. - In conclusione, si può considerare giustificata la seguente normativa di massima:

I) nelle strutture provvisorie ed in quelle or-

dinarie, quando vengano sottoposte a carichi eccezionali e temporanei, si può ammettere l'adozione di gradi di sicurezza all'incirca metà dei minimi consentiti di consuetudine (da riferire ai carichi di snervamento per i materiali ferrosi) e quindi raddoppiare i carichi *totali* massimi sotto riserva di condizioni di carico ben determinate, di strutture semplici, di materiali di caratteristiche meccaniche note e di procedimenti costruttivi appropriati;

II) l'autorizzazione dei sovraccarichi eccezionali deve essere data sotto condizione di provvedere in pari tempo alla eliminazione di ogni sovrapposizione di effetti per altri carichi (doppio transito, folla, azioni dinamiche), al distanziamento dei carichi eccezionali, alla valutazione di sollecitazioni addizionali derivanti da cause particolari (vento, variazioni termiche, cedimento di vincoli, ecc);

III) le accennate norme sono da adottare preferenzialmente per grandi strutture piuttosto che per piccole; per opere in muratura e in calcestruzzo armato piuttosto che in ferro o in legname. In ogni caso, e in particolare per le opere in ferro o in legname, l'ingegnere dovrà provvedere a opportune verifiche di stabilità, con particolare riguardo agli elementi più sollecitati e per quelli direttamente soggetti ai carichi eccezionali.

La precedente normativa deve essere integrata colla prescrizione che ogni operazione sui gradi di sicurezza in vista dell'adozione di gradi ridotti per strutture provvisorie o per carichi eccezionali deve essere posta in atto colle maggiori cautele sia di progetto, sia di verifica. Le strutture dovranno essere semplici per assicurare un regime di sollecitazioni interne il più conforme alle ipotesi del progettista.

È sempre consigliabile, e nei casi di progetto con gradi di sicurezza ridotti è indispensabile, « eliminare l'eccesso di connessioni e di vincoli che rendono ardue le calcolazioni. Ciò non si può realizzare altrimenti che riducendo le costruzioni a tanti elementi ciascuno semplicemente connesso e legati tra loro e ai corpi esterni appena quanto basta perchè ogni moto rigido sia annullato o convenientemente disciplinato » ⁽¹⁰⁾.

I materiali dovranno essere di caratteristiche meccaniche costanti e da accertare mediante apposite prove di laboratorio ogni qualvolta lo si reputi necessario e che l'importanza delle strutture lo consigli, per definire esattamente gli effettivi carichi di rottura (o di snervamento).

I procedimenti di calcolo di progetto o di verifica di stabilità potranno allora condursi, secondo quanto previsto al n. 4, impostando equazioni di rottura (o di limite elastico convenzionale) per stabilire un carico di rottura (o di limite elastico), del quale si assumerà una quota parte — la metà o eventualmente i due terzi — come carico eccezionale da ammettere sotto determinate cautele.

Ma oltre che per accedere a computi di progetto o di verifica per strutture in particolari circostanze di esercizio, le precedenti considerazioni possono valere per inquadrare secondo criteri razionali le decisioni del tecnico officiato a dare autorizzazioni e prescrizioni di transito dei carichi eccezionali più volte ricordati.

Conformemente a quanto esposto sinora è da presumere che *le opere d'arte delle strade ordinarie potranno essere soggette senza inconvenienti al transito di carichi isolati da due a tre volte maggiori del massimo carico di progetto nel caso di ponti in muratura e in calcestruzzo armato, di una volta e mezzo maggiori nel caso di ponti in ferro.*

L'entità dell'accennato massimo carico di progetto è di 36 Tonn. (due rulli compressori da 18 Tonn. affiancati) per le strade « di grande traffico », a norma della circ. 6081 in data 9 giugno 1945 del Ministero dei LL. PP. (normale n. 1 già più volte citata), di 18 Tonn. (un rullo compressore di 18 Tonn. isolato) per le « strade di medio e piccolo traffico ». In entrambe le ipotesi di carico i marciapiedi s'intendono caricati da folla compatta (400 kg/mq).

Pertanto per le strade di grande traffico costruite in base alle prescrizioni della citata normale può essere consentito, in via eccezionale, il passaggio di carichi isolati da 72 a 100 Tonn. per i ponti in muratura od in calcestruzzo armato, di carichi isolati di circa 50 Tonn. per i ponti in ferro; per le opere d'arte stradali delle strade di medio e piccolo traffico, di carichi isolati da 36 a 52 Tonn. per i ponti in muratura od in calcestruzzo armato, di circa 25 Tonn. per i ponti in ferro.

I consensi di transito di carichi eccezionali dovranno essere accompagnati dalle prescrizioni che valgano ad assicurare l'isolamento dei carichi. I carichi eccezionali i quali si avvicinano ai limiti superiori sopra indicati riceveranno autorizzazione di transito soltanto dopo specifico accertamento che sussistono di fatto le condizioni di sicurezza tecnica.

Importa mettere in luce che i dati accennati per le strade di grande traffico sono inclusivi dei veicoli più pesanti in dotazione all'Esercito, costituiti dai carri armati delle G. U. corazzate, e quindi sono rassicuranti (con qualche limitazione per i ponti in ferro) per la mobilità logistica delle più pesanti unità meccanizzate esistenti.

Essi invece sono vincolativi per il transito degli accennati veicoli sulle strade di medio e piccolo traffico. In ogni caso i dati forniti debbono ritenersi validi soltanto se adottati congiuntamente alle cautele indicate ai capoversi II) e III) del n. 9.

Resta inteso che ogni definitiva decisione nei casi concreti dovrà essere affidata alla cauta valutazione di personale tecnico che conosca a fondo le modalità convenienti per assicurare la sicurezza tecnica dei transiti e la stabilità delle strutture portanti e provveda a disciplinare in ogni circostanza il movimento dei carichi eccezionali mediante le prescrizioni opportune.

⁽¹⁰⁾ Proff. COLONNETTI e GIACHERO - *Ingegneria* - Ed. Bompiani - Milano, 1939.