

RASSEGNA TECNICA

La "Rassegna tecnica", vuole essere una libera tribuna di idee e, se del caso, saranno graditi chiarimenti in contraddittorio; pertanto le opinioni ed i giudizi espressi negli articoli e nelle rubriche fisse non impegnano in alcun modo la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

Anatomia di un paesaggio: Portofino

ENRICO PELLEGRINI cerca d'individuare le componenti estetiche sia paesistiche che architettoniche nel celebre complesso; di valutare la importanza dei singoli elementi compositivi ai fini di un'armonia ambientale. Vengono aggiunte alcune osservazioni di principio sulla salvaguardia del paesaggio, sopra tutto quando esso è costituito parte da elementi naturali e parte da costruzioni che apparirebbero sorte senza un preordinato schema.

Ogni anno, durante qualche mese, una interminabile fila di torpedoni percorre una strada nè larga nè agevole e si reca in un paese di poche case affacciate sul mare chiuso fra monti imper-vii, che viene però giudicato uno dei più belli del mondo: Portofino

Infinite volte è stato dipinto, milioni di fotografi continuano a diffonderne l'immagine in tutti i paesi: ognuno l'ammira; tuttavia riesce difficile precisare le cause di tanta bellezza. Ragioni architettoniche veramente non appaiono: vediamo una serie di modeste costruzioni affiancate lungo la riva del porto che si specchiano fra le dondolanti barche ormeggiate. Le casette sono dipinte a colori vivaci, avvicinati « casualmente » fra loro, ritmate da finestre integgiate in verde, senza una « preordinata » disposizione. La piazza ha una forma irregolare, non facile da descrivere, la banchina anche, e le stradicciole, che si inerpicano sul monte, sono strette e tortuose per vincere come possono il dislivello.

Eppure una evidente armonia regge il complesso, anche se durante quei mesi il chiasso, che peraltro si lega abbastanza bene alla festosità del paesaggio, non consente la meditazione. Dobbiamo dunque accettare questa celebrata bellezza senza indagare le ragioni visive oppure geometriche che presiedono e determinano tanto splendore?

Se si analizza un complesso come questo si rischia di ucciderlo prima di essere riusciti a chiarire i suoi momenti emotivi: occorre pertanto colmare le lacune del ragionamento con la fantasia, o, meglio, con la intuizione poetica. Ci sembra che oggi sia veramente necessario impostare un metodo d'indagine per definire le ragioni visive di alcuni paesaggi eccezionali, come quelli di Sirmione, di Taormina oppure di Venezia, da applicare non solo con un diligente spirito amministrativo, ma con un sensibile e illuminato amore verso l'ambiente che s'intende salvaguardare.

« Modeste casette avvicinate lungo la riva, abbiamo detto, che si rispecchiano fra le dondolanti barche ormeggiate; dipinte a colori vivaci, sebbene non preordinati, esse sono ritmate da finestre un po' casuali, tinteggiate in verde ». L'architettura non sembra sufficiente per creare un fatto emotivo.

I protagonisti del dialogo sono dunque altri: il cielo, il mare, il monte e, ultimo, l'uomo che fra questi elementi si è inserito ed ha operato.

Il cielo è bello ovunque, sia esso sereno oppure tempestoso, terso od opaco: in alcuni paesi è ampio e concavo, come in Toscana, in altri crea gentili ombre azzurre, come a Parigi. Nel Veneto aggiunge un riflesso caldo a tutti i colori; altrove s'inargenta di una velatura di nebbia, e siamo

in Lombardia, oppure, come succede a Roma, carica d'oro vecchio ogni architettura.

A Portofino, sia quando appare limpido sia quando è denso di pesanti nuvole umide, è ritagliato dal monte con forme strane e triangolari. Il cielo di questo paese penetra nel paesaggio attraverso gli strapiombi rocciosi e le gole dirupate; s'insinua fra le montagne più come una lama lucente che come una cava e luminosa calotta. Esso ha dunque grande importanza e la vediamo tutta nel complesso di San Giorgio, così sospeso fra cielo e mare, là dove la sella scandisce una pausa fra le montagne.

La costa è scura di cipressi e di verdissimi pini oppure freme nel moto delle grigie chiome dei contorti ulivi; essa è animata da scuri speroni rocciosi che incombono e formano degli anfratti attraverso i quali filtra il sole, facendo diventare di smeraldo le foglie chine sul mare e di turchese i profondi abissi. L'acqua è cristallina e sul fondale le alghe agitano lentamente i loro eleganti lunghi capelli.

Si tratta dunque di una mutevole plasticità nelle forme che, in un complesso a largo respiro, si frantumano in mille diversi e autonomi spartiti, ciascuno a suo modo emozionante e poetico.

Questa Natura varia, nel rinnovamento della emotività visiva, trova una fra le sue ragioni di bellezza. Siamo infatti certi che

tutte le cose che appartengono a questo mondo siano mirabili e ciascuna di esse perfetta, quando vengano guardate con occhio in-

lare, ci appare subitamente amico e sicuro. L'orrida gola di una montagna ci affascina per la tragica potenza della Natura, ma un

pure nel vicino golfo di Camogli, esse diventano un amichevole rifugio per noi.

Il sorgere di altre nuove costruzioni sembrerebbe dunque teoricamente lecito se esse rispondono ad alcune condizioni. Secondo noi, per difenderlo, non si dovrebbe chiedere altro: comprendere, conoscere ed amare un paesaggio.

Quando la Natura crea dei complessi tanto frantumati, che diventa possibile cogliere tutti i particolari di un Universo con un solo sguardo e quindi esserne emozionati, stabilisce anche una unità di misura che condiziona la costruzione dell'edificio all'ambiente che l'accoglie. È un limite armonico al di fuori del quale non è possibile operare.

L'uomo in verità è un essere che, considerato in se stesso, appare poco ingombrante, anche se è colmo di smisurata ambizione; tuttavia appunto tale sua aggressività lo spinge spesso a ideare delle opere superiori alle naturali possibilità di accoglimento del complesso paesistico destinato a riceverle.

Il metro di Portofino è piccolo

namorato. Dobbiamo però anche riconoscere che l'insistenza dello stesso stimolo emotivo sul nostro animo finisce per renderlo meno sensibile. Il piacere, per contro, si rinnova col variare continuo e sorprendente dei temi paesistici.

Il monte e il cielo si rispecchiano nel mare, che li riflette e ne raddoppia l'immagine con un vivace tremulo nell'instancabile sciabordio dell'onda. L'acqua apporta un preziosissimo colore al paesaggio allorchè, vista dall'alto fra le scogliere, viene a cessare la sua meravigliosa funzione di specchio per mancanza di rifrazione ottica.

Tale era l'ambiente prima che l'uomo vi si stabilisse ed incominciasse ad operare. Ambiente meraviglioso. Tuttavia forse non è da rimpiangere che l'abitato sia sorto: esso ha vivificato la Natura, l'ha interpretata, spiegata e resa chiara, svelando un messaggio che resta ancor segreto, ad esempio, in alcune insenature impervie delle vicine Cinque Terre.

Siamo uomini ed i fatti degli uomini c'interessano e ci commuovono: se l'ermo colle ci dà un disperato e mirabile senso di infinito, un poggio, sul quale stia appollaiata una pieve od un caso-

paesino addormentato al sole fra ben coltivati vigneti rasserena il nostro spirito in una visione di pace.

Così queste insenature, quando sono scoscese e pittoresche, come la contigua Cala dell'Oro, riem-



piono l'animo di meraviglia e di poetica melanconia; se appaiono allietate da un complesso di abitazioni, come qui a Portofino op-

sia nel volume delle case, che nell'altezza dei piani oppure nella larghezza delle strade. Esso contrasta in tutto con le più elemen-

tari norme d'igiene e con una logica sistemazione urbanistica: non vi è possibilità di conciliazione fra queste regole e la trionfante bellezza del paese.

L'architettura delle singole case è mediocre; il complesso splendido. Questo fatto sembra strano; ma è solo ragionevole. È come se si volesse trarre una emozione esaminando una per una tutte le tessere di un mosaico: esse resterebbero mute perché solo dal loro avvicinamento nascerà il fatto pittorico. Dubitiamo però che in Portofino sia stata coscientemente preordinata la meravigliosa scenografia che regge il paese.

E su questa affermazione dobbiamo sostenere alquanto. Nel sezionare una conchiglia essa ci appare come una mirabile spirale logaritmica che nasce e si evolve secondo inconscie, ma esatte ed immutabili regole. In analogo modo si comporterà un cristallo, una farfalla, un sistema planetario: la loro perfezione si realizza solo perché « non poteva essere diversa ».

Se pensiamo di poter sostituire questa o quella casa sulla riva del porto con un elemento che altrove potrebbe anche sembrare vali-

dissimo, ci accorgiamo che ciò è ben difficile, per non dire impossibile. Bisognerebbe ricorrere comunque ad un « equivalente archi-

scere altrimenti: così Portofino è tale perché « non poteva » essere diverso.

È bene tuttavia osservare che il



tettonico»: concetto, in ogni caso, non facile né semplice.

Portofino dunque è un complesso non preordinato, ma nato con precisi sebbene inconsci rapporti armonici.

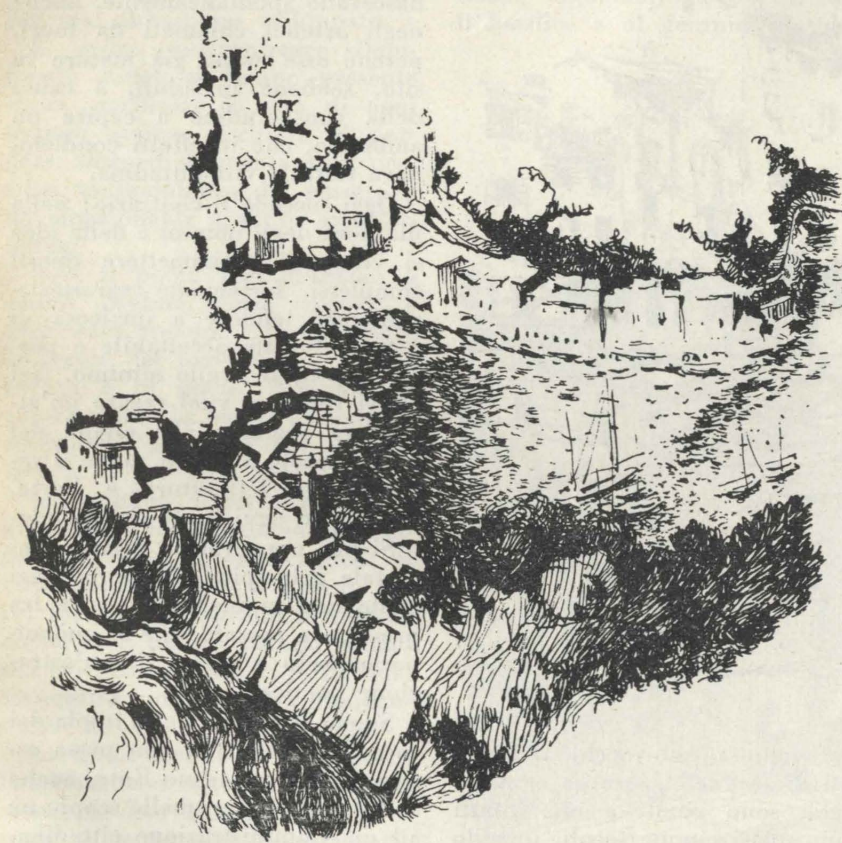
La conchiglia non potrebbe cre-

paese ha subito diverse trasformazioni durante il suo lungo sviluppo: nato forse romano, oppure greco, ligure, oppure celta, conserva solo le costruzioni medioevali, che sono tuttora abitate ed utilizzate. La grande civiltà barocca le ha però trasformate e rivestite della sua patina, che ha conservato fino al termine dell'era pre-turistica, quando ha assunto l'attuale fisionomia, manomessa e famosa.

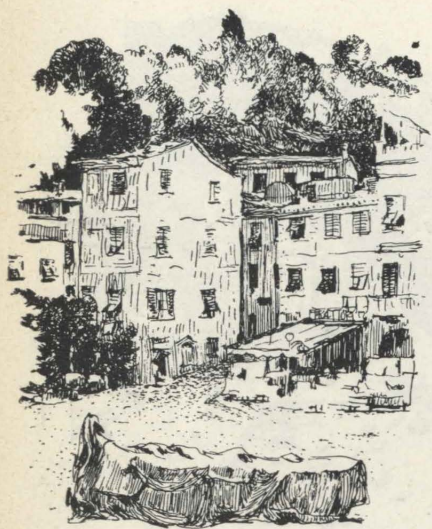
Abbiamo avuto dunque tre alternative, tutte certe e valide, sebbene condizionate dallo stesso inconfondibile presupposto ambientale. Delle prime due possiamo avere un esempio sia nel vicino borgo di San Fruttuoso, splendente per le costruzioni ogivali dei Doria, sia nei superstiti paesi rivieraschi; la terza è proprio quella che ora ci appare.

L'una si tramuta nell'altra, come il seme nella pianta, come la gemma nella foglia, con lento continuo trapasso, realizzato senza progetto, così, visivamente giorno per giorno, minuto per minuto da gente positiva e apparentemente prosaica, con una nascosta vena di poesia e certo innamorata tanto del loro paese che della natura che lo circonda.

Lo scenario della vita quotidiana

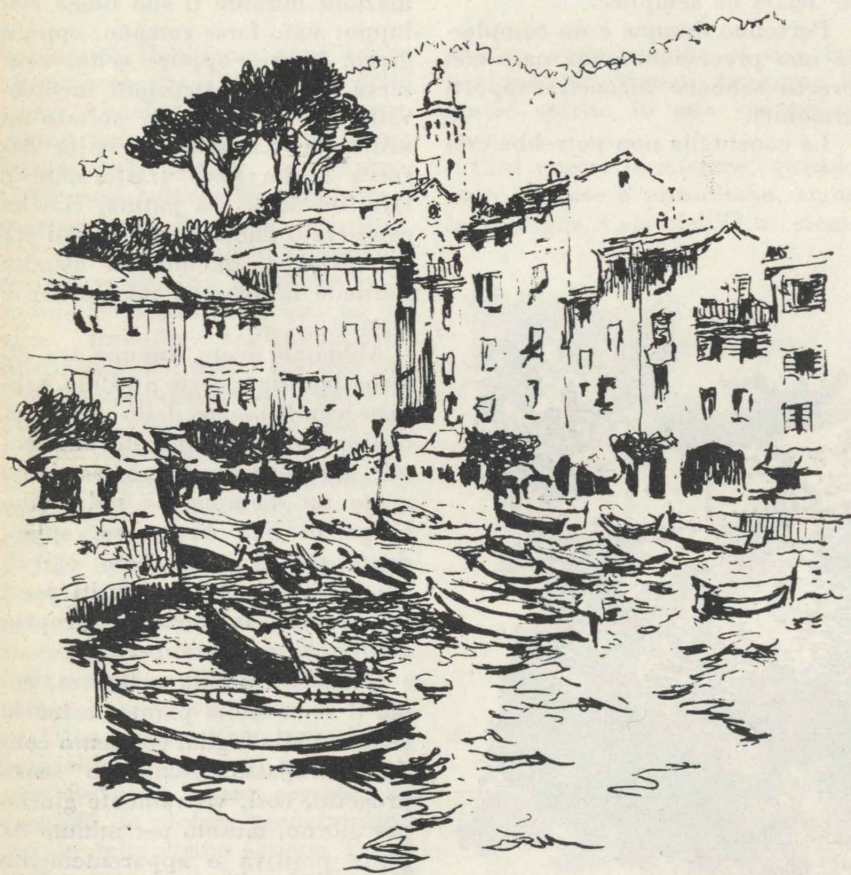


na è rappresentato dalla piazza e dal suo prolungamento: il golfo. Le vie laterali rappresentano delle entrate a sorpresa e delle mo-



dulazioni su questo grande tema centrale.

Ma la piazza non si vede solo



dal suo interno e ciò è molto interessante; si vede anche da fuori, dall'alto, come in un plastico. Essa è stata concepita e si può

ammirare come una statua astratta e cava. Questa visibilità multipla dal di dentro e dal di fuori, dall'alto e dal basso, sembra molto importante e soprattutto molto impegnativa nei confronti dell'architettura.

Il rincorrersi dei tetti di ardesia, fra il verde dei pini, il nero dei cipressi ed il cinereo degli ulivi, quando azzurri fumi s'innalzano dalla conca del porto, rappresenta un « fatto paesistico » dal quale non si può prescindere anche se non se n'è perfettamente consapevoli. Del teatro costituito dalla piazza e dal porto si era invece esattamente consci e ad esso si guardò con infinito amore.

Il fenomeno visivo diventa dunque un episodio di amore. Guardando i due ritratti della Fornarina si è sicuri che quella donna, splendente di grazia e di giovinezza, non era più bella di tante altre fanciulle; ma essa appariva

meravigliosa agli occhi innamorati di Raffaello. Amore e meraviglia sono giunti a noi intatti dopo quasi cinque secoli, quando

amante e amata non sono ormai che scura polvere.

Noi tutti abbiamo un rifugio spirituale per i nostri momenti di sconforto: un paese che amiamo, nel quale siamo stati felici, un ambiente amico cui desideriamo ritornare. Questa predilezione, quando è collettiva, diventa un fenomeno di armonia architettonica e, col tempo, un fatto di Arte. Le mura di San Gimignano sono impregnate di amore per la bella città e di orgoglio per le sue altissime torri. Non possiamo restare insensibili a questi sentimenti, che si riflettono su di noi e ci commuovono, come ancora adesso ci commuove l'infinito amore che il pittore ebbe per la sua donna.

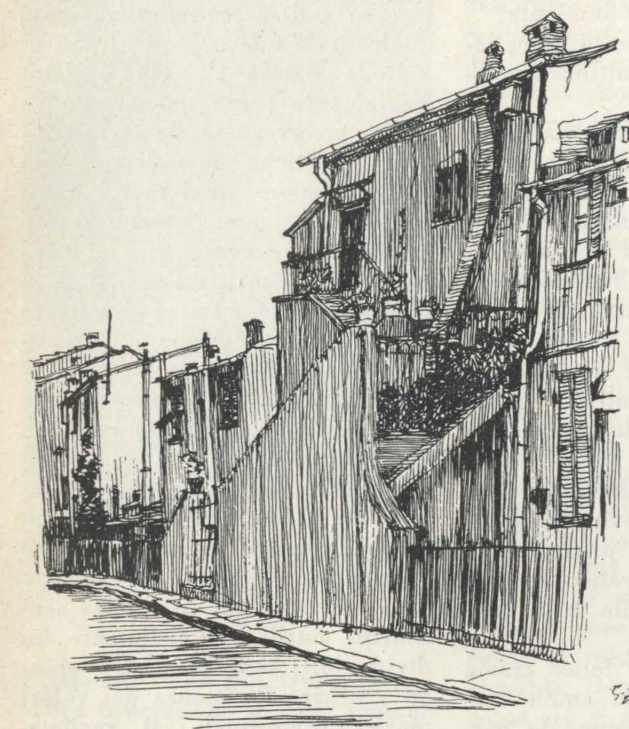
È comprensibile come le piazze delle nostre vecchie città, da Venezia a Todi, considerate come grandiose sale dai loro civilissimi abitanti, che quotidianamente le frequentavano e assai si dilettavano del loro aspetto, nascessero naturalmente belle. Lo stesso problema era stato vissuto, continuamente e per secoli, da uomini di prim'ordine e si connaturava in loro. Le soluzioni per l'inserimento di nuovi e perfetti edifici nascevano spontaneamente, anche negli artefici chiamati da fuori, perché esse erano già mature in sito, sebbene invisibili, a causa della consuetudine a capire un ambiente, che in effetti condizionava tutta la vita cittadina.

Oggi succede il contrario: nella diaspora degli uomini e delle idee si cerca di manomettere questi complessi fortemente caratterizzati, per tendere a qualcosa di universalmente accettabile e perciò ridotto al livello minimo. Nei nuovi centri si vuol creare un'atmosfera coerente alla civiltà del nostro secolo e perciò, come il vestiario, la letteratura e l'arte, analoga in ogni luogo del mondo.

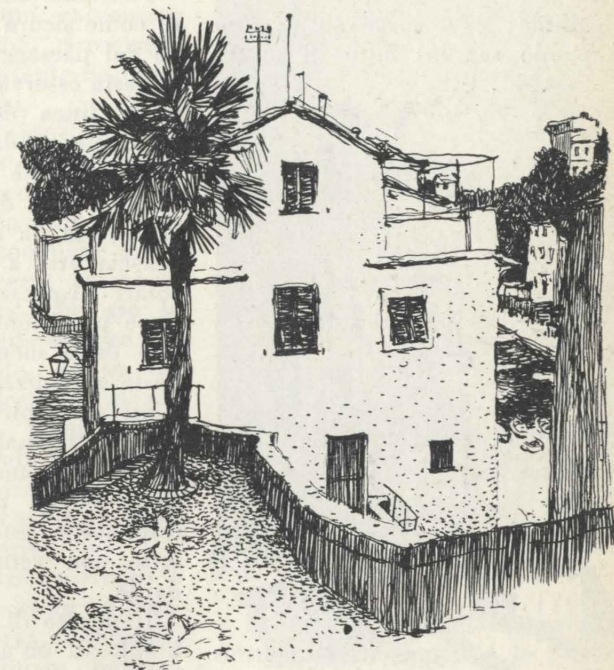
Si può approvare o disapprovare tale principio; comunque oggi esiste una insanabile frattura fra presente e passato, che si può superare solo a mezzo di un'astrazione poetica.

Siamo persuasi che la tutela dei complessi paesistici non possa essere affidata né ad un Ente, anche se creato solo per quello scopo, né ad un'Amministrazione cittadina,

anche se oculata, ma solo all'Urbanista, che però in questo caso non dovrebbe essere né scienziato né un economista, ma un regista,



ciente, piazzale di sosta. Essa costeggia il rovescio delle case che si affacciano sul porto e ci conduce a ridosso di tutti gli adatta-



di scarico che corre all'esterno, il balcone posticcio, il gabinetto aggrappato alla parete dell'edificio, la scaletta di disimpegno, la pas-

uno scenografo e soprattutto un poeta. Il lato emozionante nelle soluzioni urbanistiche non ci sembra mai abbastanza sviluppato.

È arduo sincronizzare l'ambiente antico al tempo presente senza sacrificare la vita di ogni minuto oppure rischiare di perdere irrimediabilmente una preziosa testimonianza del passato o un emozionante spartito architettonico.

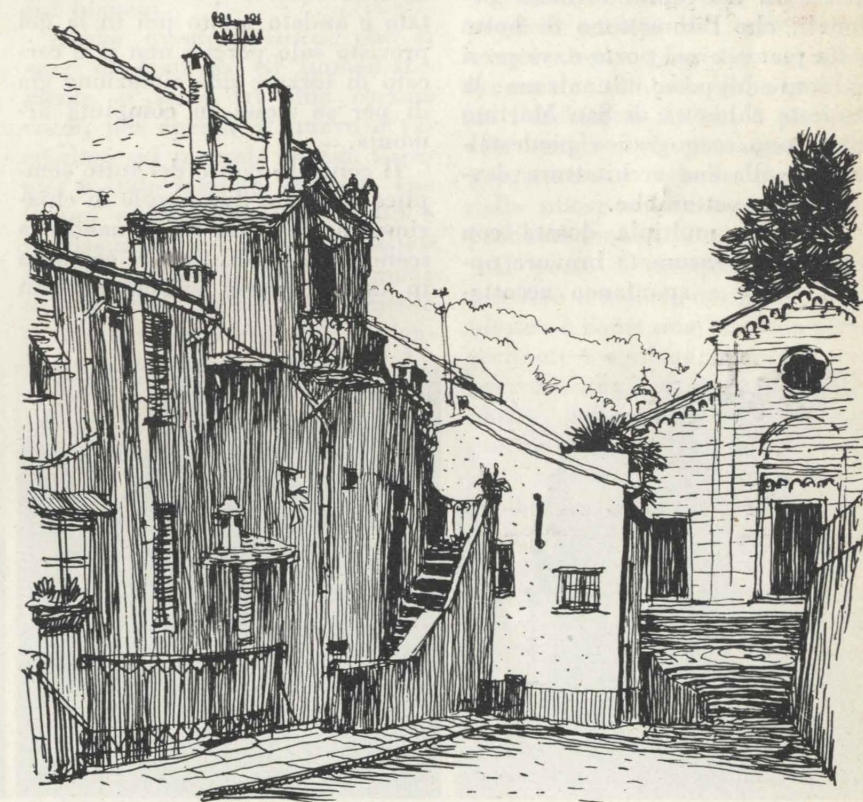
Solo il poeta può giungere a sintesi assolute, senza riprova, e sorpassare, quando è il caso, tutte le regole del buon senso; l'abile regista è in grado, presentando accortamente la scena, di rendere accettabile anche il più illogico lavoro.

A Portofino, come a Venezia o a Portovenere, assistiamo al trionfo della fantasia sulla logica; si vive nell'assurdo e, a quanto pare, tutti se ne trovano benissimo anche se il paese, quando la marea dei turisti rifluisce, torna quel tranquillo luogo che era cinquant'anni fa.

La via di accesso all'abitato anticamente si arrestava davanti alla chiesa di San Martino: ora prosegue verso un ampio, ma insuffi-

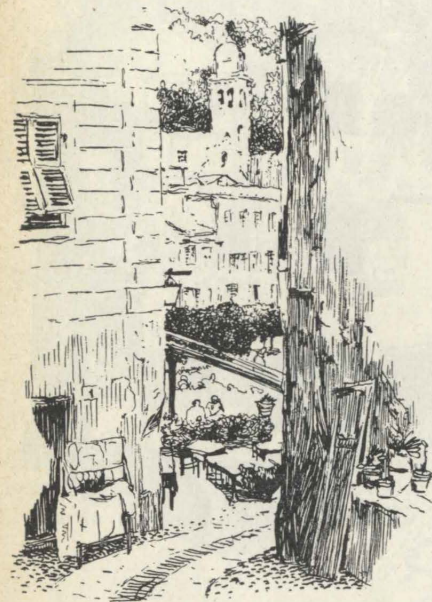
menti, le sovrastrutture, le modifiche, le miserie della vita quotidiana. Vediamo, tra fioriti vasi di basilico e di geranio, il tubo

serella gettata per un ripiego d'uso, tutto ciò in mezzo a una selva di comignoli messi senz'arte né ordine. Saremmo portati a cre-



dere di essere in cospetto di un orrore architettonico, invece il complesso ci appare come il più pittoresco e delizioso pasticcio che si possa immaginare.

La chiesa sul fondo è fin troppo linda: essa sorge su di uno stupendo sagrato fatto di minu-



scoli ciotoli bianchi e neri disposti come nel disegno di una ben coltivata aiuola.

La strada qui si restringe e si spezza in tre rapidi tornanti pedonali, che l'immettono di botto nella piazza e nel porto e, se presi in senso opposto, innalzano la modesta chiesetta di San Martino sopra uno scenografico piedestallo, che alla sua architettura davvero non spetterebbe.

Visibilità multipla dosata con sapiente e consumata bravura oppure felice e spontaneo accosta-

mento di volumi? La composizione fu prevista oppure fu casuale, oppure ancora nacque in relazione alla consuetudine della vita ad un armonico ambiente?

Pensiamo che si possa accogliere come sicura tale ultima versione del paesaggio.

Basta osservare la sinuosa e sensibile linea del muro di parapetto per renderci conto che essa non nasce né da incapacità costruttiva, né da una approssimazione, ma da una educazione inconscia atta a gustare tali particolari disprezzando quelle rettilinee precisioni, che sono l'orgoglio delle menti limitate, spesso poste a realizzare queste sistemazioni spicciole. Il saporitissimo gusto artigianale, raffinato e spontaneo, non può far evidentemente parte di un piano preordinato: esso sorge estemporaneo e perfetto con vena facile e abbondante.

Il merito di tanta felice grazia è solo di un'armonia ambientale che guida senza dramma le persone semplici, che nulla di eccezionale desiderano creare. Il problema consisteva nel costruire un muricciolo di parapetto. Fu risolto nella maniera più immediata da uno spirito positivo. Il risultato è andato molto più in là del previsto solo perchè non si è cercato di forzare una situazione già di per se stessa in compiuta armonia.

Il concetto non è del tutto semplice e merita due parole di chiarimento: secondo noi, quando la scenografia paesistica è conclusa in un complesso armonico, ogni

intervento deve essere guidato esclusivamente dalle forze spontanee insite nel paesaggio. Si tratta di coerenza, non di creazione, anche se poi nasce effettivamente qualcosa di nuovo.

Della piazza s'è già parlato. Vorrei solo porre un accento su questa osservazione: le sovrastrutture turistiche modificano, ma non infrmano quasi mai l'armonia dell'ambiente. Nessuna di esse è stata fatta secondo una effettiva linea di gusto, tuttavia il loro tono popolare e un po' volgare ben si addice ad una « Kermesse » lunga quanto una stagione.

Anche durante i mesi quieti, la sensazione un po' decadente di festa terminata, se non proprio di abbandono, ha qui, come in Francia sulla Costa, un valore evocativo di sapore letterario affatto sgradevole.

Ci troviamo sul limite fra sentimenti sottili e difficilmente individuabili: se il pensiero ci spinge a negare l'esistenza dei valori teorici preordinati, il ragionamento c'invita ad abbandonare proprio il suo regno per tentare il paese delle sensibilità esasperate, che sta appunto ai confini di una pura, semplice e assoluta recettività di messaggi ambientali.

Risalendo dalla piazza verso San Giorgio, s'imbocca una strada tortuosa, ma ricca d'insegnamenti. Il suo taglio d'ingresso è perfetto: basta girarsi su se stessi per inquadrare subito il campanile di San Martino, che si trova all'altro capo del paese. Potrebbe trattarsi anche di una coincidenza; eppure bisogna ammettere che



l'imbocco della via trova la sua felice conclusione in quel lontano punto esclamativo.

In un'analisi così minuta, sembrerebbe naturale dover prendere in esame solo degli equilibri compositivi ravvicinati; invece appunto la carica emotiva di questi si accresce per i fondali che di tanto in tanto si aprono e che a lor volta sono esaltati dall'incombere delle quinte preparatorie.

Con la strada in discesa, si nota generalmente il giusto chiudersi della curva sui fianchi delle case retrostanti. Anche le botteghe, con le loro tende che sembrano vele, giocano bene, sebbene siano del tutto casuali.

Si capisce che la roccia talora affiorante e la florida vegetazione concorrono a rendere piacevoli gli ambienti, ma, in questo complesso formato solo da architetture spontanee, sono elementi del tutto secondari. Delle tre fotografie a piede pagina, una mostra il ritmo di un gentile sottoportico:

gli elementi che concorrono a valorizzarlo sono la sua elegante ringhiera, che nasce da una testata in muratura piena e sormontata da una leggiadra ghirlanda di glicini, e il ricurvo sperone, che l'ancora saldamente all'acciottolato

della strada. La seconda raccoglie il particolare dello svolto del sentiero. Si tratta di tre piccoli edifici giustapposti, uno più assurdo dell'altro, ma pieni di quella ingenua emozione, di quella grazia, di quelle sproporzioni, raccontate e meravigliose, che ritroviamo nelle architetture dipinte da Giotto nei suoi affreschi.

È una grande lezione per noi architetti poter sostare di fronte a queste illogiche costruzioni, in questo nostro tempo guidato solo da ferree leggi economiche e sociali, e poterne trarre emozione e diletto. Sappiamo che già la scienza sta diventando sempre più relativa e opinabile, ed in ciò trova la sua grandezza ed il suo altissimo sviluppo. Quando potremo dire altrettanto del pensiero architettonico forse saremo alla soglia di una nuova sensibilità urbanistica e compositiva.

Dopo questo inizio tortuoso e carico di volumi prossimi ed emozionanti, il panorama si schiude, come già si è accennato, improvvisamente sul porto con una subitanea grandiosità, con un vero tumulto di alberi e di roccie sopra l'indaco delle acque rotte dal gentile dondolare di agili imbarcazioni, ferme ed eleganti come cigni bianchi.

Anche questo quadro, che si apre di sorpresa ed immediatamente si serra fra due cortine verdi, per aprirsi di nuovo e vastissimo sul piazzale di San Giorgio, è stato tagliato in modo che il suo centro cadesse lontano e precisamente sul massiccio castello che domina il porto. Astuzia di scenografo? Forse; certamente si fece così perchè pareva che andasse bene, senza pensare a dosare, ma dosando inconsciamente in modo assolutamente preciso, i diversi ingredienti della composizione.

Le imbarcazioni? Sono elementi aggiunti oppure concorrono alla composizione del paesaggio?

Mi pare evidente il secondo pensiero. Esse si sono sostituite alle vecchie paranze e ai gozzi, ormai definitivamente scomparsi; identificano dunque una componente originaria dell'ambiente, sebbene oggi trasformata.



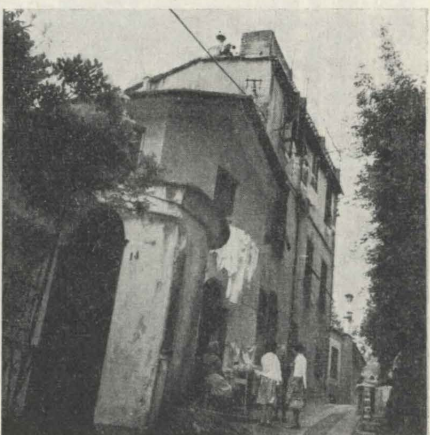
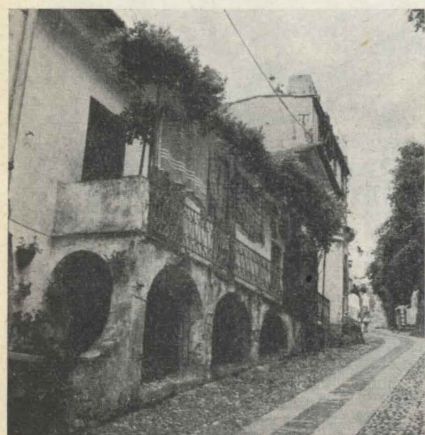
Il loro disegno infatti segue le norme internazionali e le precise leggi d'ingegneria nautica dalle quali nasce la loro controllatissima forma. Ad ogni elemento pittorico e perfetto si è sostituito un nuovo elemento « equivalente » altrettanto pittorico e perfetto.

Questo, secondo noi, è uno dei migliori esempi del concetto di « equivalenza paesistica », sopra accennato, che dovrebbe guidare sia l'architetto sia chi è preposto alla tutela del paesaggio nella progettazione e nella esecuzione delle nuove costruzioni in questi prelibati ambienti.

Il porto è dunque l'elemento più vivo e mobile del nostro complesso: è come una bevanda forte, eccitante e squisita versata in una preziosissima coppa chiusa dal monte, dal castello, da San Giorgio, dalla piazza e dal paese.

La sua mutabilità nel tempo lo rende vario e sorprendente; esso è più emozionante e ricco di spunti lirici di un parcheggio di automobili, che tuttavia, sistemato a dovere nella città, ha un suo valore ritmico e cromatico non trascurabile.

Il porto diventa aulico nelle sovrastrutture, come si vede nelle barche tirate a riva, racchiuse nel



loro ponteggio e ricoperte da teloni come da baldacchini. I pittori le dipingono, i fotografi ne scattano istantanee; stanno benissimo contro la retrostante terrazza, davanti alla pergola leggiadra, nel golfo, che l'accoglie col suo anfiteatro di case colorate. Nulla di preordinato: scenografia perfetta.

Elementi labili, si dirà; essi oggi ci sono, domani vengono cambiati. È vero; però tutti gli ingredienti instabili, ma numerosissimi, che affollano la scena, incontrollabili, ma disposti con naturale abilità, sono come spezie in un buon manicaretto: ne esaltano il sapore con un piccante condimento.

Prima di chiudere la nostra rapida corsa in questo meraviglioso ed assurdo paese vorrei ancora commentare brevemente le tre ultime fotografie riprodotte.

Nella prima vediamo una delle solite architetture genovesi, dipinte in spregio al buon senso, nella gloria del paesaggio per il solo diletto degli occhi. Gli architetti le ammirano, ma con prudenza si astengono dal formulare su di esse ogni teoria critica.

Ci limiteremo a chiedere loro: « Se vengono create delle superfici piene, perchè non dipingerle ora come allora? La pittura vale un buon rivestimento ceramico oppure vetroso e, se è bella, risulta assai più stimolante. Da quando Mondrian ha creato le sue composizioni sembra che il pro-



blema sia stato risolto nel più moderno dei modi ».

Di sfuggita richiamiamo l'attenzione del lettore sui valori compositivi delle illogiche casette del porto invitandolo a cercare di individuare, se riesce, i loro valori compositivi, che sono reali, spontanei, ma di estrema complicazione.

Ritornando nell'interno del paese e passando per le vie laterali mettiamo in evidenza due stupendi « tagli » visivi, anch'essi contrastanti con ogni effettivo presupposto tecnico, ma colmi di reale e avvincente bellezza.

Come dobbiamo regolarci sia nel rinnovare come nel modificare questo straordinario ambiente, che è solo uno dei mille esistenti in Italia?

Penso che si debba agire con cautela e con mano leggera, non disgiunte da una certa libertà di interpretazione, sorretta da una calda vena poetica, accogliendo i suggerimenti che l'ambiente stesso porge. Credo che sia possibile raggiungere dei risultati accettabili se l'architetto in questi casi abbandonerà il suo studio, il tavolo da disegno e soprattutto il tecnografo, e plasmerà il suo edificio sul posto, come una statua, vivendo giorno per giorno il paesaggio nel quale inserisce la sua costruzione.

Bisognerà solo conciliare questo processo creativo con la richiesta di un preciso progetto da

parte della Soprintendenza ai Monumenti, che giustamente protegge questi paesaggi.

Le cautele sono giustificate perchè da noi, soprattutto quando sono in posta terreni che valgono alle volte centinaia di milioni, si trova sempre qualcuno disposto a barare al gioco sperando di ottenere poi una sanatoria alle proprie malefatte o per lo meno di giungere ad un compromesso riparatore.

Possiamo dunque concludere che la protezione del paesaggio dipende dalla educazione sia del progettista, sia dello speculatore, perchè non bisogna credere che possa esistere iniziativa senza speranza di utile; molto meno dai divieti e dai controlli.

Sappiamo che ogni affare comporta parecchie soluzioni, tutte abbastanza lucrose; basta scegliere quella che più si adatta all'ambiente, senza fretta, che spesso è cattiva consigliera. Soprattutto, poi, bisogna convincersi che l'essere bene educati, in questa era di uomini rudi, l'amare soluzioni gentili, il rifiutare la furberia e il sotterfugio, in questo mondo di astuti, il lavorare con coscienza e serietà, in questo tempo di premura, l'evitare ogni compromesso e ogni fanatismo, quando i compromessi si alternano alle affermazioni categoriche, rappresenta un titolo di merito e non una patente d'ingenuità.

Enrico Pellegrini

Criterio di classificazione dei vari tipi di volte cilindriche autoportanti e relativo calcolo pratico

CARLO EMANUELE CALLARI esamina i limiti di validità dei metodi di calcolo delle volte sottili cilindriche di più semplice applicabilità. Per precisare al massimo tali limiti di validità imposta una classificazione dei vari tipi di volte sottili cilindriche basata soltanto sugli elementi geometrici della struttura, in modo da prescindere dai diversi procedimenti analitici, caratteristici dei vari metodi. La presa in considerazione di tutti gli enti geometrici che influenzano il regime statico consente di individuare con notevole generalità il comportamento di strutture con caratteristiche dimensionali variamente combinate. In relazione a tale classificazione l'A. indica quindi i metodi di calcolo che permettono una maggiore semplicità di applicazione pratica per ciascuna categoria di volte.

1) Premessa.

Nella trattazione analitico-differenziale del problema della lastra cilindrica diversi Autori hanno introdotto varie approssimazioni al fine di semplificare lo sviluppo dei calcoli; tali approssimazioni riguardano sia l'espressione delle caratteristiche di sollecitazione dell'elemento infinitesimo, sia la presa in conto di un numero maggiore o minore di termini nell'equazione caratteristica.

Tutti questi procedimenti, che si riportano in sostanza alla trattazione originaria di Finsterwalder, seppure con maggiore o minore approssimazione, rimangono alquanto complessi nell'applicazione pratica, soprattutto nel caso di strutture vincolate e caricate in modo dissimmetrico.

Per semplificare il problema del dimensionamento pratico, sono quindi stati proposti alcuni metodi approssimati, fondati su particolari ipotesi riguardanti il comportamento statico delle volte cilindriche, o di parti di esse; essi permettono di determinare le caratteristiche di sollecitazione senza ricorrere all'analisi differenziale.

La validità di talune semplificazioni apportate alla trattazione differenziale, e ancor più l'attendibilità delle ipotesi poste alla base dei metodi approssimati sono però limitate a volte che presentano certi rapporti fra le loro dimensioni compresi in un determinato campo ⁽¹⁾.

Lo scopo del presente studio è

⁽¹⁾ Per esempio le soluzioni tabellate dall'equazione differenziale che risolve il problema analitico della lastra cilindrica calcolate dalla « American Society of Civil Engineers » sono dedotte da tre diverse forme dell'equazione caratteristica per le tre categorie di volte per cui risulta.

$$\frac{r}{l} < 0,2; \quad 0,2 < \frac{r}{l} < 0,6; \quad \frac{r}{l} > 0,6.$$

quello di giungere ad una classificazione delle volte cilindriche in relazione alla possibilità di usare, per ciascun tipo, il metodo che offra le maggiori semplificazioni dei calcoli, compatibilmente con l'attendibilità dei risultati.

Tale sintesi si è dimostrata possibile e opportuna a conclusione della raccolta di molti dati riguardanti calcoli da noi eseguiti di numerose strutture a volta cilindrica autoportante, che presentavano vari rapporti fra le loro dimensioni, diversi tipi di forma e di condizioni di vincolo longitudinale e trasversale; tutte queste strutture sono state calcolate sia con metodi approssimati, sia con il procedimento analitico differenziale; in tal modo si è potuto istituire un confronto sistematico fra i risultati approssimati e quelli rigorosi, e, in alcuni casi, anche con i dati sperimentali desunti da prove di carico su modello o sulla struttura reale.

Per definire in modo generale i campi in cui i vari metodi risultano validi dal punto di vista dell'attendibilità dei risultati, e convenienti per quanto riguarda la semplicità di calcolo, abbiamo considerato le tre classiche categorie di volte cilindriche, e precisamente volte lunghe, intermedie e corte. Tale distinzione, già formulata da vari autori, è generalmente fondata sulla considerazione del rapporto fra il raggio di curvatura r e la lunghezza l (risultano « lunghe » le volte con rapporto r/l piccolo, corte quelle con r/l grande).

Noi abbiamo però adottato un più approfondito criterio che permette di tener conto anche degli altri parametri geometrici della struttura, nonchè delle condizioni di vincolo; tutte le grandezze dimensionali ed elastiche hanno infatti importanza per caratterizza-

re il comportamento statico della struttura. Tale classificazione presenta una notevole importanza pratica, in quanto indica che a ciascuna delle tre categorie di volte risulta particolarmente conveniente, dal punto di vista della semplicità di calcolo, l'applicazione di un certo metodo: e precisamente, per le volte lunghe il metodo di trave ⁽²⁾ per le volte corte il metodo analitico, e infine per le volte intermedie un metodo derivato dal metodo « di trave », che viene enunciato alla fine del presente lavoro, e verrà esposto in dettaglio in un prossimo articolo. Il criterio di confronto accennato, nonchè la definizione dei limiti delle tre categorie di volte viene esposto nel seguito; prima vengono tuttavia brevemente analizzate alcune particolarità del comportamento statico delle volte cilindriche, che presentano una influenza diversa al variare di certi rapporti fra le dimensioni della struttura: l'importanza di tali effetti, variabile con il tipo di volta, è determinan-

⁽²⁾ Il metodo di trave postula che i carichi esterni agenti sulla struttura vengano equilibrati unicamente mediante le tensioni assiali e tangenziali che si generano sulla sezione della volta stessa assimilata a una trave di sezione particolare.

Il principio del comportamento « a trave » delle volte « lunghe » è stato applicato da Lundgren alla volta considerata globalmente insieme alle travi di bordo [1]; è stato invece applicato alla sola volta, considerata idealmente separata dalle travi di bordo, da Baretz e Callari [2] [3]; con quest'ultimo procedimento si è potuto effettuare lo studio della volta isolata in qualsiasi condizione di vincolo e di carico, e tabellare le varie caratteristiche di sollecitazione e deformazione sia longitudinali che trasversali; il calcolo della volta viene così ad essere sensibilmente facilitato. I risultati così ottenuti si sono rivelati molto prossimi a quelli forniti dalla teoria matematica della lastra cilindrica, anche per strutture caricate e vincolate in modo del tutto generico.



te per la scelta degli accorgimenti di calcolo da adottare per ciascuna struttura, nonchè per i limiti di validità dei vari metodi approssimati.

2) Alcune caratteristiche del comportamento statico delle volte cilindriche autoportanti.

2.1) Lo smorzamento trasversale delle perturbazioni provenienti dai bordi.

Nel calcolo delle volte cilindriche mediante il procedimento analitico si studia l'effetto delle perturbazioni prodotte dalle sollecitazioni di membrana che non risultano equilibrate lungo le generatrici di riva. La variazione di tali perturbazioni lungo la direttrice della volta è regolata da funzioni esponenziali oscillanti e smorzanti a più o meno grande distanza dal bordo dal quale provengono.

I punti caratteristici dei diagrammi che rappresentano tali funzioni si trovano ad una distanza dal bordo in esame (contata sulla direttrice) che risulta funzione del raggio di curvatura, dello spessore e della lunghezza della volta, ma è indipendente dalla ampiezza angolare della volta stessa (e cioè, definiti i parametri di cui sopra, dalla larghezza compresa fra le due generatrici di riva); in particolare non varia con la larghezza della volta la posizione sulla direttrice del punto in cui si possono ritenere nulle, agli effetti pratici, le perturbazioni provenienti dal bordo. La struttura reale può estendersi oppure no fino a comprendere tale punto; nel primo caso gli effetti dei due bordi opposti sono indipendenti uno dall'altro (anche se in una certa zona della volta si sovrappongono⁽³⁾); nel secondo caso invece sono mutuamente legati dal fatto che i carichi di un bordo inducono uno stato di deformazione e sollecitazione in corrispondenza del bordo opposto; questa differenza di comportamento ha, come vedremo, una importanza notevole sulle moda-

⁽³⁾ Se tali due zone perturbate, contate a partire dai due bordi, si sovrappongono, tutta la volta sarà in regime flessionale; se invece le due zone non si sovrappongono la porzione di volta interna rispetto ad esse si troverà in regime di membrana.

lità di calcolo di tali due tipi di strutture.

Possiamo comunque riassumere quanto sopraesposto dicendo che, a parità di raggio di curvatura, spessore e lunghezza, l'indipendenza o l'interdipendenza delle perturbazioni dei due bordi opposti dipendono esclusivamente dalla larghezza della volta.

2.2) L'influenza delle approssimazioni introdotte col metodo « di trave ».

Con l'ipotesi del comportamento a « trave » della volta si trascurano la flessione longitudinale e la torsione delle strisce elementari parallele alle generatrici, nonchè la deformazione per effetto delle tensioni tangenziali e della contrazione trasversale; si suppone inoltre che le tensioni assiali e tangenziali che si generano nella volta corrispondano a quelle di una trave con sezione indeformabile. Le due prime semplificazioni, insieme con l'ultima, costituiscono i fattori principali che rendono poco approssimato per certe strutture, il metodo di trave, almeno nella sua forma generale. Trascurando la flessione delle strisce longitudinali non si tiene conto della quota di carico esterno che viene direttamente trasmessa agli appoggi per effetto di « lastra » (e cioè per flessione longitudinale della lastra costituente la volta); trascurando la torsione delle medesime strisce non si tiene conto dell'effetto di sostentamento che si esercita sugli anelli di volta centrali da parte di quelli più vicini agli appoggi, che divengono sempre meno deformabili quanto più sono prossimi al timpano. Tali due fattori alterano il regime statico postulato dalla teoria di « trave » in modo diverso al variare del rapporto fra le dimensioni della struttura: è infatti evidente che l'effetto di « lastra » sarà molto piccolo nel caso di volte « allungate » rispetto alla larghezza in pianta, per divenire sempre più sensibile coll'aumentare del rapporto fra la larghezza e la lunghezza della volta; una analoga variazione si riscontra per l'effetto della torsione delle strisce longitudinali: se la volta è larga per rispetto alla lunghezza, la rigidità torsionale di tali strisce

aumenta, come pure la deformazione dell'anello trasversale di volta; infatti se i momenti flettenti trasversali sono elevati, i vari punti degli anelli di volta prossimi alla mezzeria si spostano sensibilmente rispetto ai corrispondenti punti degli anelli prossimi ai timpani; tale differenza di deformazione produce la torsione e la flessione delle strisce longitudinali (più precisamente la differenza di pendenza dà luogo alla torsione, e la differenza di spostamento dà luogo alla flessione). Su tali deformazioni, e quindi sulla sollecitazione assorbita dalle strisce longitudinali di volta, hanno poi una particolare influenza i vincoli disposti sui bordi laterali: questo effetto viene esaminato nel paragrafo successivo.

L'effetto combinato dei due fenomeni che abbiamo esaminato porta una quota di carico esterno a scaricarsi direttamente sui timpani di appoggio, senza far intervenire le sollecitazioni di volta trave, e può indurre, per certe dimensioni e certe condizioni di vincolo della volta, sensibili discordanze fra i risultati ottenuti col metodo di « trave » e quelli desunti dal calcolo differenziale⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾.

Le conseguenze dell'ipotesi del-

⁽⁴⁾ Fenomeni secondari rispetto al regime di « volta trave » sono stati riscontrati anche in volte considerate « lunghe » in base al criterio del rapporto r/l e inoltre strette per rapporto alla lunghezza [3 d] e [4]: si trattava però in tali casi della portanza diretta di una sola zona della volta, dovuta a particolari orientazioni della lastra rispetto ai carichi esterni, tali da sollecitare la zona in questione con sforzi agenti essenzialmente in senso tangenziale; l'effetto « lastra » che si riscontra nelle volte corte è invece caratterizzato dalla flessione nel piano ortogonale al piano tangente alla volta.

⁽⁵⁾ Sull'entità della portanza « di lastra » rispetto a quella « di trave » ha una maggiore influenza il rapporto lunghezza/larghezza che non il rapporto r/l ; infatti quest'ultimo ha una influenza indiretta sulla rigidità della volta, mentre la variazione del primo rapporto altera moltissimo l'effetto « lastra ». Analogamente le deformazioni dell'anello di volta centrale, su cui ha influenza l'irrigidimento dovuto ai timpani, crescono con legge più che lineare con la larghezza della volta, mentre risentono meno la variazione del raggio di curvatura; a riprova di quanto affermato si è constatato che molte volte, caratterizzate da un rapporto r/l elevato, sono calcolabili in modo esatto col metodo « di trave », purchè abbiano una larghezza limitata.

l'indeformabilità della sezione trasversale risultano anch'esse influenzate in modo particolare dal rapporto fra larghezza e lunghezza della volta: infatti la limitata larghezza rende minori i momenti flettenti trasversali che appunto producono i cambiamenti di forma della direttrice.

L'analisi qualitativa dell'influenza delle deformazioni dovute agli sforzi tangenziali e alla contrazione trasversale risulta difficile: però le ipotesi che trascurano tali effetti saranno evidentemente più prossime al vero con dimensioni trasversali modeste rispetto a quelle longitudinali. Tuttavia la loro importanza è senz'altro minore di quella delle prime tre approssimazioni esaminate. I fenomeni considerati in questo paragrafo, risultano di importanza variabile, a parità di struttura, col tipo di carico; è infatti evidente che i carichi concentrati lungo una generatrice produrranno effetti secondari percentualmente più elevati dei carichi ripartiti sulla superficie; ai fini del calcolo pratico si deve tuttavia tener presente che i carichi esterni più intensi in una copertura a volta sono distribuiti mentre quelli concentrati sono generalmente piccoli; le reazioni iperstatiche di bordo, per la loro stessa natura di forze interne destinate a stabilire la congruenza con un elemento irrigidente, producono insieme ai carichi esterni, deformazioni complessive relativamente modeste, e quindi minori sollecitazioni secondarie. Tale proprietà è dovuta all'effetto dei vincoli disposti lungo le generatrici, che viene esposto nel paragrafo seguente.

2.3) L'influenza dei vincoli disposti lungo le generatrici di bordo.

Le deformazioni longitudinali, e soprattutto quelle trasversali nella volta vengono ridotte sensibilmente dalla presenza di travi disposte sui bordi della volta, oppure dalla continuità della struttura con altri elementi uguali contigui. Tale diminuzione delle deformazioni nella struttura reale estende il campo di validità delle ipotesi assunte nel metodo « di trave », riducendo i fenomeni secondari che sono stati esposti nel precedente paragrafo: un esame

più dettagliato dell'effetto dei vincoli sul regime statico della volta è esposto nei lavori [3d] e [4]; in questa sede si è voluto soltanto ricordare tale caratteristica, in quanto ha una importanza pratica determinante nell'assunzione dei limiti di validità del metodo di « trave », che saranno esposti nel seguito.

Il grado di vincolo delle generatrici di bordo non ha invece alcuna influenza sullo smorzamento trasversale delle perturbazioni, calcolato mediante la teoria analitico-differenziale; infatti l'azione di tali vincoli si esplica mediante reazioni iperstatiche che costituiscono appunto i carichi di bordo.

3) La classificazione delle volte cilindriche.

3.1) La definizione dei tre tipi di volte in base alle caratteristiche statiche.

Come si è già accennato nella premessa, la classificazione che esponiamo nel seguito si propone di suddividere le volte in categorie tali che per ciascuna sia possibile la massima semplificazione di calcolo.

Avendo avuto modo di constatare in numerose occasioni la facilità di applicazione del metodo « di trave », nella forma esposta in [2] e [3], quando si tratti di volte « lunghe » e del procedimento analitico⁽⁶⁾, quando le perturbazioni dei due bordi non siano interdipendenti, abbiamo formulato una classificazione dei vari tipi di volta fondata precisamente sulle caratteristiche di comportamento statico che rendono valido il primo procedimento, e che semplificano il secondo. Con tale classificazione i limiti delle varie categorie di volte coincidono coi limiti di applicabilità dei rispettivi procedimenti di calcolo semplificati; si giunge così alla massima utilizzazione di tali metodi. Definiremo allora una prima categoria di volte (che chiamere-

⁽⁶⁾ Si intende che il calcolo pratico col procedimento analitico è eseguito utilizzando le soluzioni tabellate dall'equazione differenziale; d'altronde anche la comodità del metodo di trave è legata essenzialmente all'uso delle tabelle, che si sono potute compilare seguendo il procedimento esposto in [2] e [3].

mo « lunghe »)⁽⁷⁾ caratterizzate dal fatto che in esse risultano trascurabili gli effetti di portanza e di irrigidimento da parte dei timpani, che sono stati esaminati al paragrafo 2.2; per conseguenza tale categoria di strutture comprenderà tutte le volte cui è applicabile il metodo « di trave ». Definiremo poi una seconda categoria di volte (che chiameremo « corte ») caratterizzate dal fatto che in esse si verifica lo smorzamento delle perturbazioni provenienti da un bordo prima che si siano propagate al bordo opposto; a tali strutture risulta facilmente applicabile il metodo analitico, usufruendo delle soluzioni tabellate dell'equazione differenziale, in quanto si possono studiare separatamente gli effetti dei due bordi.

Poichè il limite inferiore della prima categoria non coincide generalmente con quello superiore della seconda, risulta implicitamente definita una terza categoria di volte (che chiameremo « intermedie ») nelle quali le perturbazioni dei due bordi opposti si influenzano mutuamente, e l'irrigidimento e la portanza diretta dovute ai timpani d'appoggio non risultano trascurabili.

Per questa terza categoria di volte il metodo di « trave » non risulta più valido, mentre quello analitico diviene più laborioso: nel seguito (v. par. 4) verrà proposto un metodo approssimato che richiede sviluppi numerici più semplici di quelli necessari col procedimento analitico-differenziale.

3.2) Determinazione dei limiti delle tre categorie.

Le tre categorie di volte esaminate nel paragrafo precedente sono sovente state classificate in base al rapporto fra raggio di curvatura e lunghezza; le considerazioni svolte nel paragrafo 2, e una notevole quantità di risultati relativi al calcolo di varie strutture, ci hanno portato a prendere in esame anche le altre grandezze geometriche della volta. Abbiamo infatti potuto constatare che una analisi fondata sul rapporto r/l è

⁽⁷⁾ Abbiamo seguito la denominazione usuale dei tre tipi di volte, anche se ne proponiamo una nuova definizione.

insufficiente a definire una struttura dal punto di vista dell'insieme delle caratteristiche statiche principali e secondarie del suo comportamento.

Il parametro della volta che prenderemo in esame per il nostro studio è il suo angolo di apertura, considerato in relazione a certi valori angolari caratteristici, funzioni a loro volta della lunghezza, raggio, e spessore della volta, nonché del grado di vincolo delle generatrici di bordo. Si tratta pertanto di un criterio di confronto fondato sulla presa in conto dei soli elementi geometrici del problema; questa particolarità rende tale criterio valido per i tre tipi di volta; questo non sarebbe invece possibile se ci fossimo riferiti ad elementi ricavati dal calcolo analitico poichè i tre tipi vengono analizzati con procedimenti diversi (8).

Per definire quantitativamente i parametri di confronto, cominciamo a considerare sulla volta la coordinata angolare φ (fig. 1) contata a partire da un bordo; l'espressione di tale angolo, desunta dalla trattazione analitica della lastra cilindrica, si può porre nella seguente forma:

$$(1) \quad \varphi = \bar{\varphi} \frac{\sqrt{l} \sqrt{e/r} \sqrt{1-\gamma^2}}{1,148 \sqrt{n \pi r}}$$

dove l , e , r , sono: lunghezza, spessore, raggio medio della volta,

(8) Il nostro problema è quindi diverso da quello che consiste nel valutare l'importanza delle approssimazioni che si introducono nel calcolo delle volte cilindriche mediante un solo procedimento, per esempio quello analitico differenziale.

Nel campo di quest'ultimo procedimento esistono infatti vari criteri che permettono di valutare l'importanza dei singoli termini presi in conto nella trattazione; in modo particolare è fondamentale per la sua generalità il criterio proposto dal prof. Cicala, che permette fra l'altro di valutare quantitativamente a priori il grado di precisione raggiungibile con le approssimazioni che si introducono nel calcolo. Il criterio suddetto introduce un « parametro di spessore p », tale che per p tendente a zero si annulla in ogni punto lo spessore della parete, e, classificando i termini delle equazioni generali della parete sottile in ordine d'importanza per mezzo del parametro « p », definisce un complesso di semplificazioni coerentemente attuabili nell'ambito di una approssimazione determinata [8] [9].

γ il coefficiente di Poisson, n il numero d'ordine dei termini della serie di Fourier che si considerano nei calcoli, e $\bar{\varphi}$ una coordinata numerica ordinativa. Il valore $\bar{\varphi}$ sarà in particolare uguale a zero sul bordo a partire dal quale si contano gli angoli φ , e raggiungerà un valore massimo sul bordo opposto, tale da far assumere a φ il valore corrispondente all'apertura (pari a $2 \varnothing$) della volta; a parità dell'angolo di apertura reale della volta, il valore di $\bar{\varphi}$ sarà quindi diverso, al variare del parametro espresso dalla frazione della (1); il valore di tale parametro risulta essere una costante caratteristica della struttura, funzione delle sue dimensioni.

Trascurando la contrazione trasversale e considerando soltanto il primo termine della serie di Fourier la (1) si semplifica nella seguente espressione:

$$(2) \quad \varphi = \bar{\varphi} \frac{1}{2,033} \sqrt{\frac{l}{r}} \sqrt{\frac{e}{r}}$$

Per impostare il criterio di confronto definiremo un particolare valore di φ , che chiameremo angolo limite delle perturbazioni, e indicheremo con φ_l ; esso corrisponde, sulla volta cilindrica generica, alla distanza angolare da un bordo, che definisce sulla curva direttrice un punto in corrispondenza del quale si può ritenere risultino completamente smorzate le perturbazioni flessionali prodotte dai carichi agenti sul bordo origine. Dall'esame dei diagrammi della variazione di tali perturbazioni lungo la direttrice, si può ritenere che dal punto di vista della pratica applicativa l'angolo φ_l corrisponda al valore $\bar{\varphi} = 8$ (9); in tal caso la (2) assume il valore:

$$(3) \quad \varphi_l = 3,935 \sqrt{\frac{l}{r}} \sqrt{\frac{e}{r}}$$

Confrontando l'ampiezza angolare $2 \varnothing$ della volta con l'angolo φ_l verremo a tener conto in modo diretto della larghezza della volta stessa, nonché, in modo indiretto, attraverso il parametro letterale

(9) L'angolo φ risulta quindi variabile entro certi limiti, a seconda dell'approssimazione richiesta per considerare praticamente smorzati gli effetti di bordo.

della (3), della sua lunghezza, raggio e spessore.

La definizione stessa di φ_l tenuta presente la definizione dei tipi di volta esposta al paragrafo 3.1 indica che una volta è del tipo « corto » se la sua apertura angolare, pari a $2 \varnothing$ (fig. 1), è maggiore o uguale a φ_l ; tale valore dell'angolo di apertura costituisce quindi il confine fra le volte « corte » e quelle « intermedie ».

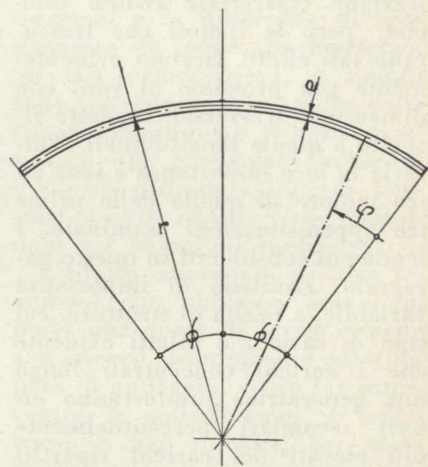


Fig. 1

La definizione del limite fra le volte intermedie e quelle lunghe si presenta meno facile; infatti si tratta di stabilire fino a qual punto l'effetto dei timpani non abbia influenza sul regime statico della zona centrale della volta. Avendo avuto di mira, nello stabilire i limiti delle volte lunghe, la massima applicazione possibile del metodo di trave, risulta naturale indagare sull'effetto dei timpani mediante confronto fra i risultati ottenuti col metodo di trave stesso a quelli ottenuti per mezzo dell'analisi differenziale (10); i limiti della categoria « volte lunghe » coincidono infatti, per definizione, con i limiti di validità del metodo « di trave ».

È poi da tenere presente che la precisione dei risultati ottenuti col

(10) L'analisi delle perturbazioni provenienti dai timpani, e in particolare dei limiti entro i quali esse si risentono è effettuabile mediante la teoria analitico differenziale (v. ad es. [5]); tuttavia essendo il nostro intento l'applicazione alle volte lunghe del metodo « di trave », si è effettuata la determinazione di tali limiti mediante il confronto diretto tra i risultati forniti dal metodo approssimato e quelli desunti dal calcolo analitico.

metodo di trave e quindi la definizione di tali limiti varia per una stessa struttura, col grado di vincolo che essa presenta lungo la generatrice di bordo (v. par. 2.3).

Per le volte senza travi di bordo, che presentano le massime restrizioni all'applicabilità del metodo di trave, abbiamo eseguito un vasto studio comparativo fra i valori delle sollecitazioni ottenuti col metodo approssimato e con quello analitico; da tali confronti si è dedotto che si ottengono risultati accettabili col metodo « di trave » per volte che abbiano l'angolo di apertura $2 \varnothing$ compreso fra due valori limite, che corrispondono a frazioni dell'angolo φ_l ; e precisamente, detti φ_i e φ_s tali limiti (inferiore e superiore),

i rapporti $\frac{\varphi_i}{\varphi_l}$ e $\frac{\varphi_s}{\varphi_l}$ variano in funzione del parametro $\frac{r \cdot e}{l^2}$, secondo le curve indicate nei diagrammi nella figura 2. Le due curve $\frac{\varphi_s}{\varphi_l}$ e $\frac{\varphi_i}{\varphi_l}$ racchiudono il campo in cui è valido il metodo di trave: si nota che, mentre la curva superiore non si discosta molto dal valore 0,5, quella inferiore presenta una sensibile variazione in funzione del parametro $\frac{r \cdot e}{l^2}$; le due curve praticamente si incontrano in corrispondenza del valore $\frac{r \cdot e}{l^2} = 0,01$, che costituisce dunque il limite massimo a cui si possono estendere le volte « lunghe » quando non siano vincolate lungo i bordi (11).

(11) Tali risultati sono stati ottenuti per volte caricate uniformemente sulla superficie; per carichi distribuiti lungo le generatrici di bordo, come già esposto nel paragrafo 2.2 si sono trovati risultati un po' meno precisi; nelle strutture reali si possono comunque tener validi i risultati qui riportati, in quanto carichi di bordo elevati sono dovuti esclusivamente alle reazioni di bordo; ora quando si presenti questo caso, si tratta di volte vincolate, per le quali in relazione all'effetto dei vincoli, esposto in 2.3 il campo di applicabilità del metodo di trave è più esteso che per le volte isolate.

Le condizioni di carico che abbiamo esaminato erano tutte simmetriche rispetto al piano di simmetria longitudinale della volta; è nostro proposito estendere l'analisi alle condizioni di carico dissimmetriche. Rileviamo tuttavia che già in numerose occasioni abbiamo con-

Nella figura 3 è indicata la variazione di φ_l in funzione di r/l , per diversi valori di e/r ; nelle figure 4 a e 4 b sono indicati i diagrammi di variazione di φ_i e

temente dal valore del rapporto r/l . In corrispondenza di un valore limite indicato con $(\frac{r}{l})^*$ si incontrano le due curve φ_s e

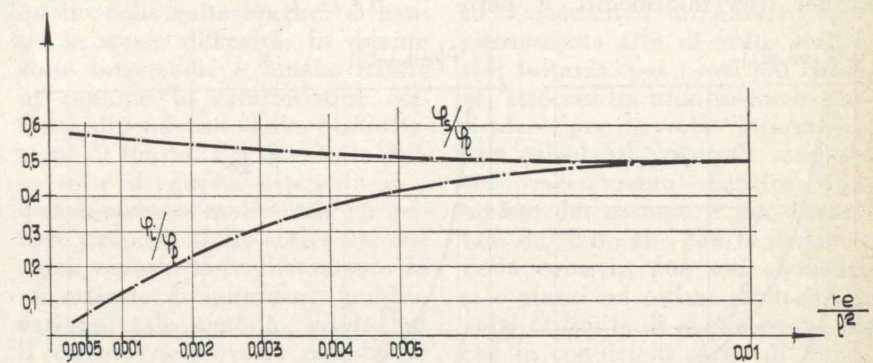


Fig. 2

φ_s in funzione di r/l per i valori di $\frac{e}{r}$ pari a $\frac{1}{100}$ ed a $\frac{1}{200}$, ottenuti moltiplicando il corrispondente valore di φ_l per i coeffi-

φ_l ; esso rappresenta il valore massimo a cui possono giungere le volte « lunghe », e quindi l'applicazione del metodo « di trave ».

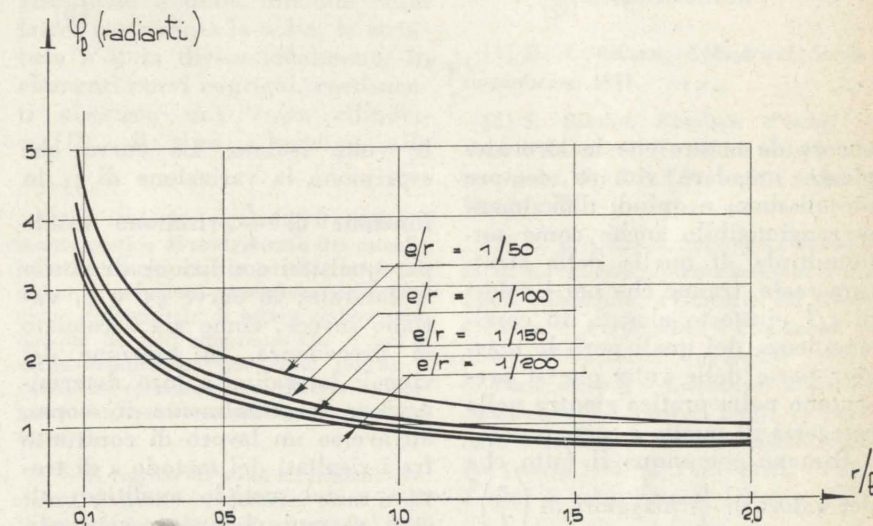


Fig. 3

cienti di riduzione dedotti dalle curve della fig. 2. Risulta da tali diagrammi, tenendo presenti le definizioni enunciate in precedenza, che rientreranno nelle volte corte quelle per cui $2 \varnothing > \varphi_l$, nelle intermedie quelle per cui $\varphi_s < 2 \varnothing < \varphi_l$, nelle lunghe quelle per cui $\varphi_i < 2 \varnothing < \varphi_s$, indipenden-

statato che il grado di approssimazione dei risultati ottenuti col metodo di trave è circa uguale per carichi simmetrici e dissimmetrici, purchè si rimanga nel campo in cui i fenomeni secondari trascurati non assumano una importanza elevata.

Le volte con angolo di apertura minore di φ_i non risultano calcolabili con metodi approssimati ma soltanto col procedimento analitico; esse costituiscono una quarta categoria, che potremo definire come « molto ribassate »; è appunto dovuto al fatto di essere « piate » che il metodo di trave non risulta applicabile. La loro portanza è infatti quasi esclusivamente di lastra, tranne che nelle zone prossime ai bordi, che presentano una maggiore inclinazione rispetto ai carichi esterni.

Per il forte ribassamento e la

limitatissima apertura tali strutture non si presentavano nella pratica: possono tuttavia in qualche caso costituire gli elementi ideali di divisione di una volta più estesa del tipo intermedio. È però

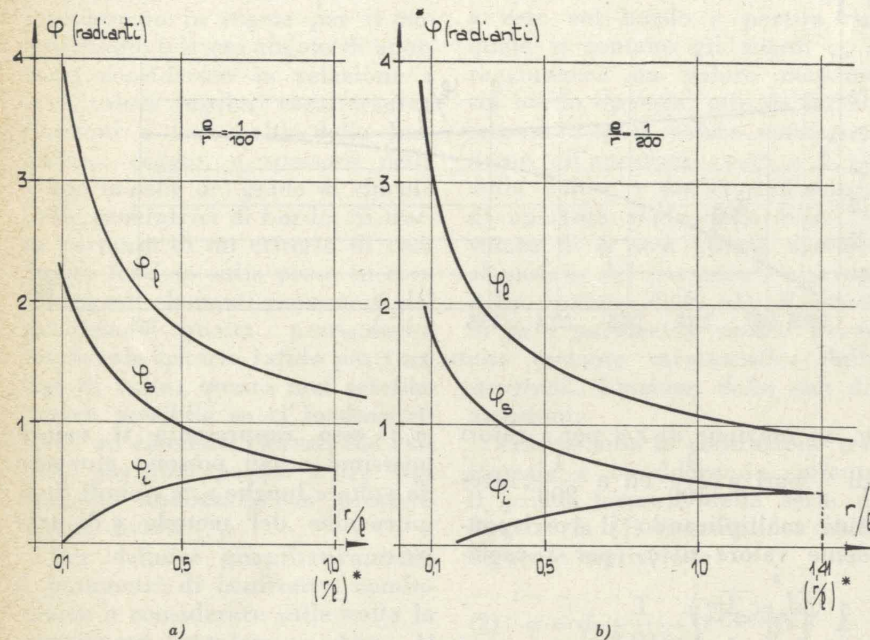


Fig. 4

ancora da notare che la loro ampiezza angolare rimane sempre piccolissima, e quindi difficilmente raggiungibile anche come sottomultipla di quella della struttura reale, tranne che per i valori di r/l piuttosto elevati, in corrispondenza dei quali però la maggior parte delle volte che si presentano nella pratica rientra nella categoria di quelle « corte ».

Rimane comunque il fatto che per valori di r/l maggiori di $(\frac{r}{l})^*$ le volte con apertura minore di φ_1 non sono calcolabili col metodo di trave, anche con la scomposizione in elementi; però, in tal caso, ciascuno dei due elementi per cui si potrà dividere la struttura è collegato trasversalmente almeno su uno dei due bordi; ora le curve φ_s e φ_i variano per le volte vincolate trasversalmente nel senso di estendere il campo di validità del metodo « di trave »; per gli elementi di suddivisione teorica di una volta reale varranno quindi altri limiti più estesi di quelli caratteristici delle volte isolate. Ne viene di conseguenza che, per mezzo del procedimento di calcolo delle volte intermedie, si

può arrivare a calcolare volte con elementi caratterizzati da valori del rapporto $\frac{r}{l}$ superiori ai valori $(\frac{r}{l})^*$ indicati a proposito del-

le volte isolate. Le curve che esprimono la variazione di φ_1 in funzione di $\frac{r}{l}$ risultano valide per qualsiasi condizione di vincolo laterale; le curve φ_s e φ_i variano invece, come già accennato in precedenza, in funzione dei vincoli laterali. La loro determinazione è attualmente in corso, attraverso un lavoro di confronto fra i risultati del metodo « di trave » e del metodo analitico; alcuni esempi ci hanno già indicato che per volte continue trasversalmente il valore $\frac{\varphi_s}{\varphi_1}$ si mantiene approssimativamente intorno a 0,8 (analogamente avevamo visto che nelle volte isolate si manteneva quasi costantemente sul valore 0,5); tale valore dovrebbe presumibilmente essere valido anche per volte isolate, e vincolate a travi di bordo.

4) I metodi di calcolo semplificati dei tre tipi di volte.

A conclusione del presente lavoro abbiamo brevemente riassunto le caratteristiche di impiego pratico dei metodi che risultano

particolarmente indicati per il calcolo delle volte lunghe, corte, intermedie.

Dalle considerazioni svolte al paragrafo 2.2 risulta che il metodo di trave è applicabile alle volte lunghe così come sono state da noi definite. Le particolarità di impiego di tale calcolo sono svolte da vari autori; in particolare in [2], [3], [4] sono analizzate molte condizioni di carico e di vincolo per volte di varia forma; in [3 d] e [4] è anche indicato un accorgimento che permette di tener conto della portanza diretta per l'effetto di « trave fittizia » che si verifica anche nelle volte lunghe, quando porzioni della lastra costituente la volta formino piccoli angoli con la direzione dei carichi esterni.

Il metodo di « trave », soprattutto col procedimento che considera la volta isolata dalle travi di bordo, risulta notevolmente più veloce per quanto riguarda la scrittura delle equazioni di congruenza e la determinazione delle tensioni sulla volta che non il metodo analitico; questo ultimo infatti, dal momento che i due bordi opposti non sono indipendenti richiede la determinazione contemporanea delle iperstatiche sui due bordi opposti: tale lavoro, qualitativamente analogo a quello richiesto dal metodo di trave nella forma esposta in [2] e [3], risulta più gravoso per la maggior complessità dei coefficienti da determinare soprattutto quando la struttura sia caricata e vincolata in modo dissimmetrico⁽¹²⁾.

Lo smorzamento delle perturba-

⁽¹²⁾ I coefficienti necessari per il calcolo col metodo di trave si trovano direttamente tabellati in forma semplice ed esplicita per molte condizioni di carico simmetrico e dissimmetrico [3]; tabelle analoghe per il calcolo col metodo analitico si trovano soltanto per volte « lunghe » caricate e vincolate in modo simmetrico, e per particolari rapporti fra le dimensioni della volta (manuale A.S.C.E., n. 31) [7]. Una tabellazione estesa e valida anche in condizioni dissimmetriche si trova nell'opera di Rüdiger e Urban [6]; essa richiede però un maggior lavoro per giungere ai risultati finali; in molte opere si trovano poi varie tabellazioni che però corrispondono a uno stato dello sviluppo del calcolo meno avanzato di quello esposto nelle due opere sopracitate.

zioni di bordo, esposto nel paragrafo 2.1 indica invece una notevole semplificazione del calcolo analitico nel campo delle volte « corte », nelle quali gli effetti dei due bordi sono indipendenti: in primo luogo le incognite iperstatiche che agiscono sulle generatrici estreme possono venire determinate separatamente sui due bordi, essendo separabili in due gruppi non legati fra loro; inoltre qualunque sia la forma della sezione trasversale della volta e la sua orientazione rispetto ai carichi esterni, le due zone di bordo prossime alle generatrici estreme si studiano separatamente come un elemento generico di lastra cilindrica, comprendente un bordo libero, su cui agiscono i carichi che equilibrano gli sforzi di membrana e le eventuali incognite iperstatiche⁽¹³⁾. La soluzione analitica del problema risulta così grandemente semplificata: infatti gli sforzi membranali, che risentono ancora della effettiva forma della sezione trasversale considerata nel suo insieme, risultano sempre di agevole determinazione, anche quando la volta è dissimmetrica. Le due zone soggette alle perturbazioni di bordo, possono risultare separate oppure sovrapposte in parte: in quest'ultimo caso tutta la struttura risulterà in regime flessionale, mentre nel primo caso vi sarà una zona interna soggetta al regime di membrana (o più precisamente, al regime di lastra cilindrica indefinita, che se ne discosta pochissimo).

Quando ci si allontana dalle volte « lunghe », entrando nel campo di quelle « intermedie » le ipotesi poste alla base del metodo « di trave » risultano sempre meno attendibili: prendono infatti sempre maggiore importanza gli effetti secondari esposti nel paragrafo 2.2, e i risultati che si ottengono dall'applicazione del metodo « di trave » nella sua forma generale anche con gli accorgi-

⁽¹³⁾ Per lo studio delle perturbazioni di bordo, quando esse non si propagano al bordo opposto, sono di uso molto semplice e generale alcune tabelle riportate nel già citato manuale A.S.C.E., n. 31 [7]; esse permettono il calcolo delle volte « corte », con una variazione dei parametri di entrata abbastanza graduale.

menti indicati in [3 d] si discostano sensibilmente dalla realtà. Il calcolo delle volte intermedie per mezzo della teoria analitico differenziale risulta analogo⁽¹⁴⁾ a quello delle volte lunghe: si hanno le stesse difficoltà, in quanto volte intermedie e lunghe hanno in comune la caratteristica dell'interdipendenza delle perturbazioni di bordo. Per il calcolo delle volte di questa categoria si è quindi rivelato molto utile un metodo proposto dallo scrivente, che verrà esposto dettagliatamente in un articolo di imminente pubblicazione; tale metodo, valido per il calcolo delle volte cilindriche in genere, prende lo spunto dalla trattazione generale « di trave » esposta in [3] e ne estende il campo di applicazione alle volte in cui l'effetto del timpano non è più trascurabile.

Al fine di tener conto in modo approssimato della flessione longitudinale e della torsione della lastra costituente la volta, la struttura è stata divisa idealmente in elementi curvi contigui, costituenti ciascuno una volta cilindrica⁽¹⁵⁾, di tipo « lungo », alla

⁽¹⁴⁾ L'analogia riguarda il procedimento pratico di svolgimento dei calcoli; infatti in molti casi le tabelle che forniscono le soluzioni numeriche dell'equazione differenziale di ottavo ordine sono dedotte da una equazione che è più o meno semplificata per volte lunghe o corte, in relazione alla diversa importanza che assumono nei due casi alcuni termini.

⁽¹⁵⁾ Il calcolo di volte cilindriche mediante divisione in elementi piani è già stato proposto da vari autori; la divisione da noi proposta in elementi curvi, presenta però il vantaggio di non dover approssimare la struttura con un'altra (la volta scatolare), nella quale si perdono le caratteristiche resistenti della superficie curva; infatti se si divide in strisce piane si è costretti per raggiungere una approssimazione appena discreta a considerare un gran numero di elementi anche per volte lunghe, mentre con la divisione in elementi curvi si arriva a calcolare volte « corte », con buoni risultati, mediante la presa in conto di pochissimi elementi. Inoltre il procedimento di calcolo della volta scatolare equivalente è senz'altro più lungo di quello della volta divisa in alcuni elementi curvi, calcolati per mezzo delle tabelle riportate in [3]. Questo argomento è ripreso ed ampliato in un articolo dello scrivente sul calcolo delle volte intermedie e corte, di prossima pubblicazione.

quale risulta ancora applicabile il metodo « di trave » e in particolare, la tabellazione esposta in [3].

Il procedimento consente il calcolo di volte anche molto « corte » assumendo un numero sufficientemente alto di volte ausiliarie; tuttavia, per i casi più comuni, esso risulta utile in modo particolare per le volte intermedie, non calcolabili in modo semplice col procedimento analitico; l'interesse del metodo è poi aumentato dal fatto che con la divisione della volta in due soli elementi, si è giunti ad ottimi risultati per volte al limite di quelle corte, anche in condizioni di bordi liberi, che notoriamente impongono le maggiori restrizioni ai metodi approssimati.

Carlo Emanuele Callari

Torino, Istituto di Scienza delle Costruzioni del Politecnico, gennaio 1962.

BIBLIOGRAFIA

- [1] H. LUNDGREN, *Cylindrical Shells*, Copenhagen 1951.
- [2] J. BARETS, *Resultats d'essais et théorie de calcul des voûtes autoportantes rigides*, A.I.T.B.T.P., n. 122, febbraio 1958.
- [3] C. E. CALLARI, *Sviluppo e controllo di un calcolo approssimato di volte sottili cilindriche*, « Giornale del Genio Civile »: a) Parte prima - Condizioni di carico simmetriche (novembre 1959); b) Parte seconda - Condizioni di carico antisimmetriche (marzo 1960); c) Parte terza - Condizioni di carico dissimmetriche (marzo 1961); d) Parte quarta - Volte a shed e volte speciali (ottobre 1961).
- [4] C. E. CALLARI, *Méthode simplifiée de calcul des voûtes minces cylindriques soumises à des charges non symétriques*, Congresso I.A.S.S., Bruxelles 1961.
- [5] I. HOLLAND, *Design of circular cylindrical shells*, Oslo University Press 1957.
- [6] D. RÜDIGER - J. URBAN, *Kreiszyllinderschalen*, Teubner-Leipzig 1955.
- [7] A.S.C.E., *Design of Cylindrical Concrete Shell Roofs*, Manuale n. 31, New York 1952.
- [8] P. CICALA, *Sulla teoria elastica della parete sottile*, « Giornale del Genio Civile », nn. 4, 6, 9, 1959.
- [9] P. CICALA, *Sulla teoria elastica della parete sottile cilindrica*, « Giornale del Genio Civile », n. 12, 1960.

Sull'unificazione delle prove di fatica su funi

UGO ROSSETTI, espone i presupposti per lo studio di un tipo di prova di fatica unificato ed indica i criteri da seguire per il confronto tra i risultati ottenuti con metodi sperimentali diversi. (Relazione generale sul 4° Tema del Colloquio Internazionale sulla Fatica delle Funi).

Il titolo dell'ultimo tema proposto per le discussioni comporta l'esame di due argomenti: il primo, relativo allo studio di una prova di fatica a carattere unificato sulle funi metalliche flessibili; il secondo, relativo ai criteri di confronto tra i risultati ottenuti con metodi sperimentali diversi.

Il primo argomento rappresenta, attualmente, poco più di una speranza che potrà essere realizzata soltanto a prezzo di un lavoro assai vasto. Il problema dello studio di una qualsiasi unificazione di prove, specie in sede internazionale, richiede infatti un lungo lavoro di preparazione, di raccolta di materiale, di esperienza e di discussione. Durante questo Colloquio Internazionale si è comunque voluto affrontare per la prima volta questo interessante argomento allo scopo anzitutto di accertare l'opportunità di procedere nello studio di una prova di fatica con modalità uniformi sulle funi flessibili. Ritenendo che i convenuti siano, in linea di massima, favorevoli a proseguire i vari studi che hanno fatto oggetto del Colloquio, pensiamo che la ricerca di un tipo di prova con caratteristiche comuni e tale da fornire risultati facilmente confrontabili possa essere uno dei problemi che merita di essere ulteriormente approfondito. Le relazioni generali e molte memorie degli altri temi, oltre ad alcuni interventi delle scorse sedute, costituiscono fin d'ora una base di lavoro anche per il nostro argomento, base che questa riunione dovrebbe approfondire in modo specifico, discutendo gli orientamenti e gli indirizzi su cui impostare gli sviluppi futuri.

La seconda parte del nostro tema è di interesse più immediato:

essa parte dalla constatazione che i vari Laboratori possiedono macchine e metodi sperimentali diversi, che in un primo tempo non è facile né economicamente possibile modificare o sostituire. È opportuno tuttavia riuscire a trarre i massimi frutti dalla collaborazione che si sta sviluppando tra quanti si occupano di fatica delle funi, tentando di utilizzare in modo coerente e confrontabile i risultati di esperienze condotte con modalità e criteri diversi.

Cominciando ad esaminare la prima parte del tema, osserviamo immediatamente, e cioè prima ancora di parlare delle funi metalliche, che la natura dei fenomeni di fatica in generale ed i metodi successivamente proposti per studiarli dal punto di vista teorico e sperimentale, fanno ritenere particolarmente arduo ogni tentativo di standardizzazione. Basta consultare un qualsiasi testo sulla fatica per constatare il gran numero di prove diverse e nell'ambito di ciascuna prova i metodi differenti di esecuzione (forma della provetta, tipo di macchina, frequenza di prova, sollecitazione costante o variabile a programma, oppure progressivamente crescente o decrescente, ecc.).

Questa grande differenziazione nella metodologia impiegata per lo studio della fatica trova la sua giustificazione proprio nella caratteristica dei fenomeni che si vogliono indagare: fenomeni complessi di natura dinamica, caratterizzati da numerose variabili, quali appunto quelli che si verificano nella vita delle macchine.

Nel quadro delle diverse tecniche di prova della fatica possia-

mo tuttavia riconoscere due direttrici principali: l'una, che tende alla soluzione dei problemi fondamentali ed alla ricerca delle leggi teoriche e sperimentali che governano la durata dei materiali sotto sollecitazioni ripetute nel tempo; l'altra che tende alla soluzione di problemi particolari relativi ad un determinato elemento o ad un singolo tipo di sollecitazione o comunque ad uno specifico aspetto del problema sia come ricerca pura, sia come controllo della produzione.

Seguendo la prima direttrice si nota, a nostro avviso, la tendenza ad uniformare la metodologia di prova: nel campo delle ricerche sui metalli tecnici si rileva, ad esempio, che la prova più diffusa è quella di flessione rotante, caratterizzata come è noto da una relativa semplicità concettuale e da una notevole facilità di esecuzione.

Seguendo la seconda direttrice di ricerca si nota al contrario la tendenza a differenziare i metodi di prova nel tentativo di riprodurre più da vicino le situazioni reali di servizio del materiale, del singolo elemento o addirittura della struttura nel suo complesso.

Anche nel campo delle funi metalliche possiamo ritenere che questi due indirizzi siano altrettanto legittimi, con l'ovvia premessa che la fune costituisce già di per sé una « struttura » o se vogliamo, una particolare « macchina »: pertanto nella fune non si potrà parlare di fatica del materiale in senso stretto, (ciò che è invece lecito per i fili e per l'anima che la costituiscono), ma di fatica del complesso strutturale che costituisce appunto la fune.

Questa evidente constatazione indica le difficoltà che presenta il

nostro problema e consiglia pertanto di cercare la massima semplificazione nella condotta delle prove di ricerca fondamentale. Nelle prove che invece hanno per scopo la soluzione di problemi particolari nulla vieta di proporre metodologie anche complicate, essendo notoriamente assai complesse le diverse condizioni di servizio delle funi.

Volendo passare ad una selezione tra le possibili metodologie di prova, noi proporremo di fissare l'attenzione, in vista della scelta di una prova di fatica sulle funi, di tipo uniforme, sulla *prova di flessione ripetuta con trazione assiale*, che riteniamo preferibile alla prova di flessione alternata (cioè con inversione) per la sua maggiore semplicità.

Altri schemi di prova che comportano anche sollecitazioni di torsione, ovvero quelli realizzabili su pulsatori e vibrofori, che si riducono a sollecitazioni di trazione ondulata, ci sembrano pure da escludere per il loro carattere un po' particolare.

Supponendo che la prova di flessione ripetuta sia ritenuta la più idonea per gli scopi proposti, rimangono ancora da precisare diversi importanti punti, tra cui ci limitiamo ad indicare:

- a) il tipo di macchina (a moto alterno od a moto continuo);
- b) l'angolo di avvolgimento della fune sulle pulegge, (o l'arco di puleggia abbracciato);
- c) la frequenza di prova;
- d) la lunghezza, espressa in passi o in diametri, di fune che deve essere sollecitata;
- e) il criterio per stabilire la durata della fune in prova;
- f) il criterio per contare le flessioni;
- g) la forma ed il materiale delle gole delle pulegge.

A questi occorre aggiungere le necessarie precisazioni sulle variabili fondamentali:

— rapporto D/d di avvolgimento (misurato sull'asse della fune inflessa oppure semplicemente riferito al diametro di fondo gola della ruota);

— tensione di trazione (valore assoluto, oppure rapporto riferito ad uno dei seguenti valori: carico di rottura statico, carico somma di rottura dei fili, carico minimo teorico di rottura).

Inoltre (punto f) occorre stabilire che cosa s'intenda per « flessione »: M. Strebelle propone per flessione il passaggio della fune da diritta a inflessa o viceversa. Altri ritengono che per flessione debba essere considerato il piegamento della fune seguito dal raddrizzamento. Personalmente noi concordiamo con quest'ultima proposta. Come si vede, le difficoltà per concordare su tanti punti di discussione, dopo aver approfondito l'analisi di ciascuno con ricerche bibliografiche ed esperienze, sono certamente notevoli.

Stabiliti questi criteri fondamentali dopo studi e scambi di opinioni, la prova di flessione ripetuta potrebbe essere utilizzata sia come metodo di ricerca per lo studio di numerosi problemi metallurgici e tecnologici che presentano le funi metalliche, sia anche

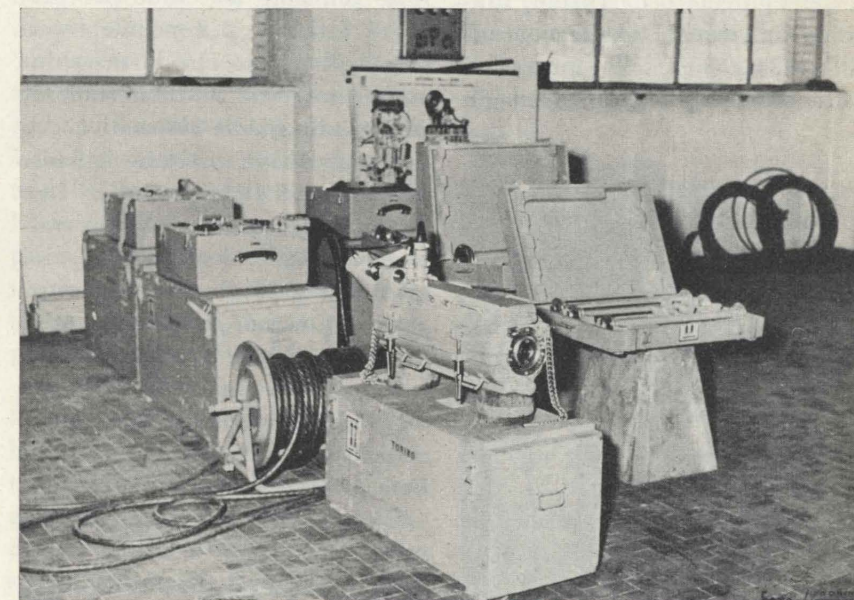
come mezzo per il controllo ed il collaudo della produzione, limitatamente ad un giudizio sulla qualità del prodotto.

Crediamo opportuno, prima di concludere su questo argomento, far cenno ancora ai seguenti punti, che ci paiono degni di molta attenzione:

a) la necessità di impostare le esperienze con criteri statistici, ripetendo ciascuna prova un numero di volte sufficiente affinché il valor medio ottenuto sia definibile con un dato grado di attendibilità, e che possano essere seguiti i *tests* di significatività delle differenze tra gruppi di dati.

b) l'opportunità di valutare, mediante misure estensimetriche in campo dinamico, l'effetto dell'inerzia delle pulegge e della stessa fune, in funzione di diverse frequenze di prova.

c) il notevole interesse del diagramma deformazioni-durate dedotto automaticamente. Esso costituisce un utilissimo mezzo non solo per determinare la durata della fune, ma per seguire il comportamento e per valutarne la deformabilità attraverso la pendenza e la deformazione massima dedotte dal grafico.

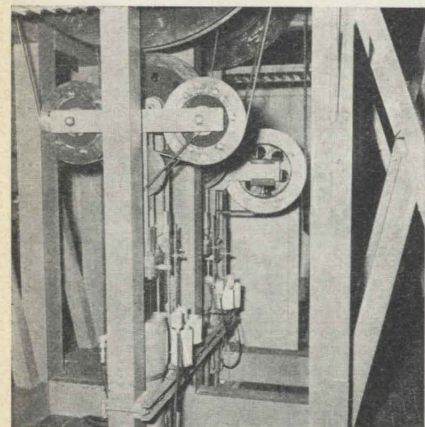


d) l'opportunità di istituire prove di fatica sui fili. Per essi proporremo ancora la prova di flessione ripetuta, secondo uno schema analogo a quello delle prove su fune. Tale prova potrebbe altresì costituire un controllo preventivo per i fabbricanti, prima di procedere alla cordatura.

Detto questo per lo studio di prove unificate, qualora invece si volesse approfondire lo studio di un particolare problema connesso con un definito impiego o con nuovi processi di produzione o comunque con caratteristiche singolari, sarà evidentemente opportuno prevedere di affiancare alla prova di flessione ripetuta altre prove più complesse da eseguirsi, se possibile, sulla stessa macchina oppure su macchine speciali. Così, ad esempio, per lo studio delle diverse gole (forma e materiale), delle qualità delle anime, dei lubrificanti, ecc.; oppure per l'analisi di impieghi che comportano torsioni, urti, strappi, strisciamenti oppure di ambienti gelivi, marini, corrosivi e così per molti altri aspetti su cui non possiamo soffermarci.

Sull'argomento che abbiamo sommariamente tratteggiato sono state presentate tre memorie.

Nella prima Calderale e Rossetti, del Politecnico di Torino, illustrano brevemente alcuni concetti sull'unificazione della prova di fatica presentando uno schema in



cui sono elencati sistematicamente lo scopo, i tipi di prove, le macchine di prova, le modalità sperimentali ed il criterio per definire la rottura.

Si tratta essenzialmente di una esposizione di punti che dovranno essere sviluppati ulteriormente, tranne che quello sulla definizione della rottura in cui gli autori esaminano quattro possibili criteri:

a) conteggio progressivo delle rotture dei fili, fino ad un valore prefissato;

b) durata corrispondente alla riduzione della resistenza totale al 50 % di quella iniziale;

c) strappo completo;

d) discontinuità del diagramma deformazioni-durate.

Essi propongono di scegliere quest'ultimo, dopo un esame critico dei tre precedenti. Propongono inoltre tre tipi di schede per unificare la raccolta dei dati delle prove.

La memoria di Ramiouille dell'A.I.B. di Bruxelles « Justification du choix d'une machine d'essai pour la fatigue des cables en flexion sous tension » costituisce un ulteriore contributo che si inquadra nelle numerose ricerche svolte dai ricercatori dell'A.I.B. In essa sono esaminate criticamente le più note macchine per prove di fatica e si conclude esprimendo il parere che le macchine a moto rotatorio continuo siano da preferirsi a quelle alternative.

Queste ultime prestano il fianco ad alcune critiche messe in luce dall'autore, specialmente nel campo delle flessioni alternate e cioè quando esse impiegano dispositivi a tre o più pulegge: altro motivo di critica risiede nei fenomeni di inerzia che hanno sede nelle pulegge di prova, con effetto più o meno sensibile sulla durata della fune.

D'altra parte le macchine alternative presentano a nostro avviso molti vantaggi, il che risulta anche

dalla constatazione che il maggior numero di sperimentatori si è servito di tali macchine: esse infatti riproducono abbastanza bene un tipo di sollecitazione che si può ritenere simile a quello di molte situazioni reali.

Il concetto delle macchine rotative è senza dubbio assai interessante ed in particolare la MECFA XI presenta caratteristiche di originalità del più vivo interesse: il suo migliore impiego è certamente quello in flessione alternata, cioè con i due dischi in funzione.

Si tratta di una macchina di concezione completamente nuova che ha suscitato molte discussioni, impegnando molti ricercatori in un'analisi critica di alcuni concetti sperimentali che si ritenevano acquisiti: anche se il merito di tale macchina si limitasse a questo, solo per ciò dobbiamo esser grati agli ingegneri dell'A.I.B. per la loro funzione di stimolo critico e per lo spirito innovatore che hanno portato nel campo delle nostre ricerche.

I risultati conseguiti con questa macchina non sono ancora numerosi e converrà attendere altri, come pure attendere la nascita delle sorelle delle attuali MECFA: come è noto il diametro delle pulegge essendo necessariamente costante su ogni macchina, occorre una serie di macchine tale da coprire le esigenze sperimentali in funzione dei diametri delle funi.

La memoria dei signori Strebelle e Ramiouille di Bruxelles « Propriétés et domaine d'utilisation des machines conventionnelles » si ricollega in parte alla loro memoria « Notions fondamentales sur la fatigue » presentata sotto il tema I.

In essa gli autori proseguono e sviluppano le loro approfondite analisi sul comportamento di una fune soggetta a moto di va e vieni su pulegge, basandosi su studi precedenti di autori tedeschi, svizzeri e sovietici.

Dopo aver ripreso lo schema in cui vengono definiti i tipi di flessione (ripetuta pura, alternata pura e impura, mista) vengono in particolare analizzati i casi possibili di flessioni alternate su pulegge dello stesso diametro, in funzione della lunghezza della corsa e della distanza tra le pulegge.

La tabella 2 della loro memoria ci pare particolarmente interessante, perchè essa permette di esaminare con precisione, una volta noti i dati del dispositivo sperimentale, la ripartizione delle diverse zone di flessione, e di conoscerne la lunghezza ed il numero per ogni ciclo.

Riteniamo opportuno segnalare l'impiego di tale tabella agli sperimentatori, invitandoli a tabulare i risultati seguendone le indicazioni, in modo da renderli di facile consultazione a scopo di confronto.

Fra i risultati comunicati da Strebelle e Ramiouille, ci pare interessante segnalare quelli relativi alla diminuzione della durata al crescere della lunghezza della zona soggetta a fatica: pensiamo che ciò potrebbe essere spiegato in parte per mezzo di considerazioni statistiche, come è già stato dimostrato in altri campi, se le variazioni di lunghezza fossero assai più forti (del doppio, triplo, ecc.) di quanto segnalato (circa 10 %); inoltre i valori di questo effetto sono assai discosti tra loro, forse a causa del limitato numero di esperienze finora eseguite. Infatti nella fune 6x19 normale, ad un aumento della lunghezza inflessa del 10 % si constata una diminuzione di flessioni del 15 %; nella fune Filler 6x19+7x7, a pari aumento di lunghezza corrisponde una diminuzione di flessioni del 33 %. Pensiamo che gli Autori potranno precisare questi risultati con ulteriori esperienze.

Sono infine sviluppate alcune considerazioni sul danno, supponendo cioè che il danno sia proporzionale al numero di flessioni,



indipendentemente dal fatto che queste siano alternate pure, impure o miste.

Se ci è permessa un'osservazione, pensiamo che gli Autori belgi che hanno così acutamente indagato il campo delle condizioni di funzionamento a regime delle prove, avrebbero dovuto precisare meglio ciò che essi intendono per durata a rottura.

Anch'essi, a somiglianza degli autori sovietici di Drahtseile, non specificano chiaramente quale è la loro definizione di rottura per fatica: si intuisce che essi misurino la durata al momento dello strappo conclusivo, ma tale misura è imprecisa specie nelle prove con tensione modesta, come abbiamo più volte dimostrato.

In conclusione la memoria costituisce un'interessante analisi delle macchine convenzionali, il cui impiego in prove comparative eseguite a flessione ripetuta è considerato lecito; nelle prove a flessione alternata, invece, queste

macchine determinano, secondo gli autori belgi, tipi di cicli diversi e tali da non consentire una precisa indicazione sulla durata.

Per la seconda parte del tema, relativa ai confronti tra risultati conseguiti su diverse macchine, è stata presentata una sola memoria che ci pare assai interessante non tanto per i risultati, che sono poco numerosi, quanto per il metodo seguito.

Prima di parlarne osserviamo preliminarmente che i criteri di confronto tra dati sperimentali ottenuti con macchine diverse devono essere sostanzialmente differenti a seconda che si tratti di risultati già ottenuti in passato oppure di programmi di prove futuri.

Per le prove già eseguite, dobbiamo constatare che la variabile da confrontare non è solo la « macchina », ma altresì la « fune »: è noto infatti che non basta

sapere che il tale autore ha operato ad esempio su funi 6x19 (1+6+12), parallele destre, di un certo diametro, con una data resistenza dei fili per sentirci autorizzati ad effettuare confronti con prove di altro autore che ha operato su funi analoghe. I confronti tra risultati ottenuti su macchine diverse e con funi diverse dovranno essere analizzati con la riserva che le variabili indipendenti sono due: macchina e fune, e quindi con particolare cautela.

Per le prove future riteniamo che il criterio fondamentale per mettere in luce l'effetto della macchina sia di operare con un'identica fune di caratteristiche ben costanti. Sarà inoltre necessario possedere tutti i dati dell'esperienza e quindi possedere schede del tipo di quelle proposte da Calderale e Rossetti, (che dovranno essere completate ed integrate secondo i suggerimenti che speriamo non manchino), in modo da ottenere tutti gli elementi per analizzare i risultati secondo schemi del tipo di quello indicato da Strebelle e Ramioulle.

Confronti fra i risultati ottenuti da diversi sperimentatori sono stati eseguiti in molte occasioni, anche se non sempre sono stati pubblicati date le molte incertezze sui valori di base. Personalmente abbiamo confrontato, sia pure con elementi in parte incerti, i risultati conseguiti a Torino in questi ultimi anni, con quelli dei russi Shitkow e Pospechow, trovando spesso delle soddisfacenti concordanze. Ma quale garanzia offre un confronto in cui tanti punti sono oscuri?

A nostro avviso quindi non può sussistere un confronto ragionevole tra i risultati forniti da macchine diverse, se la fune su cui si opera non è la stessa.

Per questo la memoria comune dei Laboratori Fornara di Torino, A.I.B. di Bruxelles e del Politecnico di Torino rappresenta un

esempio di corrette premesse per la ricerca.

La stessa fune, allestita espressamente dalla Soc. Fornara, è stata provata nei tre Laboratori su tre diverse macchine, all'incirca nello stesso periodo di tempo (aprile-giugno 1961), con modalità sperimentali concordate in modo che i parametri più importanti (sforzo di trazione e rapporto D/d) fossero identici, come pure identico il modo di contare le flessioni: passaggio da posizione diritta ad inflessa e ritorno a diritto.

Analogamente ci pare significativo il confronto illustrato da Strebelle e Ramioulle, eseguito sulla MECFA XB (macchina alternativa convenzionale) e sulla MECFA XI (macchina rotativa), utilizzando le identiche funi sull'una e sull'altra macchina.

Riprendendo il commento alla memoria comune Fornara-AIB-Politecnico, osserviamo che per quanto riguarda la rottura ciascun Laboratorio ha conservato le sue convenzioni: Fornara contando i fili rotti fino ad un certo valore massimo, l'A.I.B. pervenendo a rottura completa, il Laboratorio del Politecnico misurando la durata « corretta » alla discontinuità del diagramma deformazioni-durate.

I risultati sono comunque soddisfacenti, in quanto si è constatata una buona concordanza tra i valori ottenuti sulle diverse macchine nonostante i diversi criteri adottati per la misura delle durate: infatti con la tensione adottata di circa 25 kg/mm² (1/5 del carico di rottura teorico), la differenza tra i risultati a rottura valutati nei tre diversi modi è assai modesta. È però probabile che non lo sarebbe con una tensione più debole o con rapporti di avvolgimento meno severi. Come noto si tratta di prove di flessione ripetuta, le uniche possibili per un confronto corretto tra macchine diverse come sono le alternative e la MECFA XI.

Ci pare di aver così sommariamente indicato i criteri fondamentali per predisporre prove di confronto su macchine diverse. Desideriamo concludere sottolineando che della memoria qui presentata su tale argomento, possiamo trarre un auspicio per il futuro nostro lavoro. Da essa infatti appare che si sono trovati riuniti, nel comune intento di approfondire le ricerche sulle funi, i Laboratori di una Università, di un Ente Tecnico di Ricerca e Controllo, di una Industria: l'appartenenza a due Paesi diversi e la distanza di oltre mille chilometri non ha impedito la discussione e l'esecuzione di un programma sperimentale comune.

Questo fatto ci pare degno di attenzione, perchè segna un esempio di cooperazione in campo internazionale tra ricercatori, Enti di controllo ed Industria. È auspicabile che questi esempi di collaborazione si diffondano sempre di più, non solo nell'ambito di ciascuna Nazione come ne è esempio in Italia il programma di ricerca sotto gli auspici del Consiglio Nazionale delle Ricerche illustrato dal prof. Gatto, ma tra i diversi Paesi: in questo senso ci pare interessante segnalare la recente pubblicazione dell'inchiesta su studi ed esperienze su problemi di funi e di impianti, svolta dall'O.I.T.A.F. e curata dal professor Greco, recante notizie di studi austriaci, belgi, francesi, tedeschi, italiani e polacchi, che nel futuro potrebbero essere utilmente inquadrati in programmi di ricerca coordinati.

La miglior conclusione della nostra relazione ci pare essere l'augurio che lo spirito di mutua collaborazione di cui abbiamo constatato i primi frutti durante i lavori del Colloquio, si sviluppi e si intensifichi, allo scopo di far progredire nel modo più efficace le ricerche e gli studi di comune interesse.

Ugo Rossetti

Indagini e controllo su funi in servizio

PIETRO D'ARMINI, Presidente dell'Organizzazione Internazionale Trasporti a Fune (OITAF) e relatore generale al Colloquio Internazionale sulla Fatica delle Funi Metalliche, illustra i risultati di indagini sistematiche su funi in esercizio ed osservazioni su comportamenti tipici ed eccezionali, sulla base della sua vasta esperienza personale e delle notizie comunicate da vari autori ed esperti.

Le memorie e relazioni che sono pervenute sull'argomento costituente il tema che mi è stato assegnato, sono quattro e riguardano tutte osservazioni e rilievi sul comportamento di funi metalliche in servizio per vari impieghi industriali e principalmente su impianti funiviari e teleferici, con riferimento alle cause di deterioramenti rilevati ed anche con proposte intese a migliorare sia le condizioni di lavoro e quindi la durata delle funi, sia la conoscenza della loro capacità di resistere alle sollecitazioni derivanti dal lavoro a cui sono sottoposte.

Inoltre, giudicando opportuno avere ragguagli su alcuni particolari casi di impiego di funi metalliche per impianti funiviari, ho richiesto alcune notizie in proposito che mi sono state cortesemente fornite e che esporrò dopo avere sunteggiato e sintetizzato le suddette memorie e relazioni.

L'ing. Bellone, dirigente industriale di Torino, riferisce, nella sua relazione, sui rilievi ed osservazioni effettuate sullo snervamento di funi metalliche in servizio per vari impieghi industriali.

Sembra interessante mettere in rilievo la disuniformità di comportamento di funi diverse per lo stesso impiego, come di funi simili per impieghi formalmente diversi ma sostanzialmente analoghi. Così per impiego in forni elettrici dove le funi (per il comando dello spostamento degli elettrodi) si avvolgono e svolgono su pulegge con rapporti tra i diametri di 18 rispetto alla fune e di 315 rispetto al filo, si sono avuti dissesti e rotture con funi crociate a 222 fili dopo 200.000 avvolgimenti, mentre si è raggiunta la cospicua cifra di 3.250.000 avvolgimenti con funi tipo DIEPA e D.S.C.

Analoghe funi tipo DIEPA e D.S.C. impiegate per il sollevamento su una gru a ponte scorrevole, con avvolgimenti su pulegge con rapporti 19 e 335, hanno invece raggiunto solo un massimo di circa 1 milione di avvolgimenti.

Infine l'esperienza acquisita su un impianto per pozzi di estrazione in una miniera di carbone ha fatto registrare durate fino a 3 anni (2.100.000 avvolgimenti) con grosse funi Seale avvolte su tamburi, con rapporto dei diametri pari a 100, mentre si sono avute durate di appena 1 anno (700.000 avvolgimenti) con funi di formazione normale. Viceversa per un altro impianto analogo equipaggiato con una fune di diametro maggiore avvolta su puleggia con rapporto dei diametri pari a 104, funi Seale hanno registrato una durata massima di un anno e mezzo, mentre si raggiungevano durate anche superiori a 3 anni con funi di formazione speciale Keystone.

L'interessante memoria del Professor Bertolini e dell'Ing. Paolini tratta di alcuni rilievi effettuati su spezzoni di funi portanti, del tipo chiuso, per teleferiche, per la ricerca delle cause delle alterazioni sui vari strati di fili, sagomati e tondi, ed in particolare nelle zone di contatto tra i fili dei vari strati. Per avere maggiori elementi di giudizio per l'interpretazione dei rilievi, gli autori hanno eseguito anche prove sperimentali tendenti a riprodurre alterazioni analoghe a quelle rilevate.

Praticamente le alterazioni rilevate mostravano la presenza di detriti di varia colorazione (neri, rossastri, bruno-rossastri), aventi spesso impronte di contatto, di aspetto rugoso e butterate da piccole cavità, specie nei contatti tra

strati vicini alla zona di rotolamento delle ruote dei carrelli.

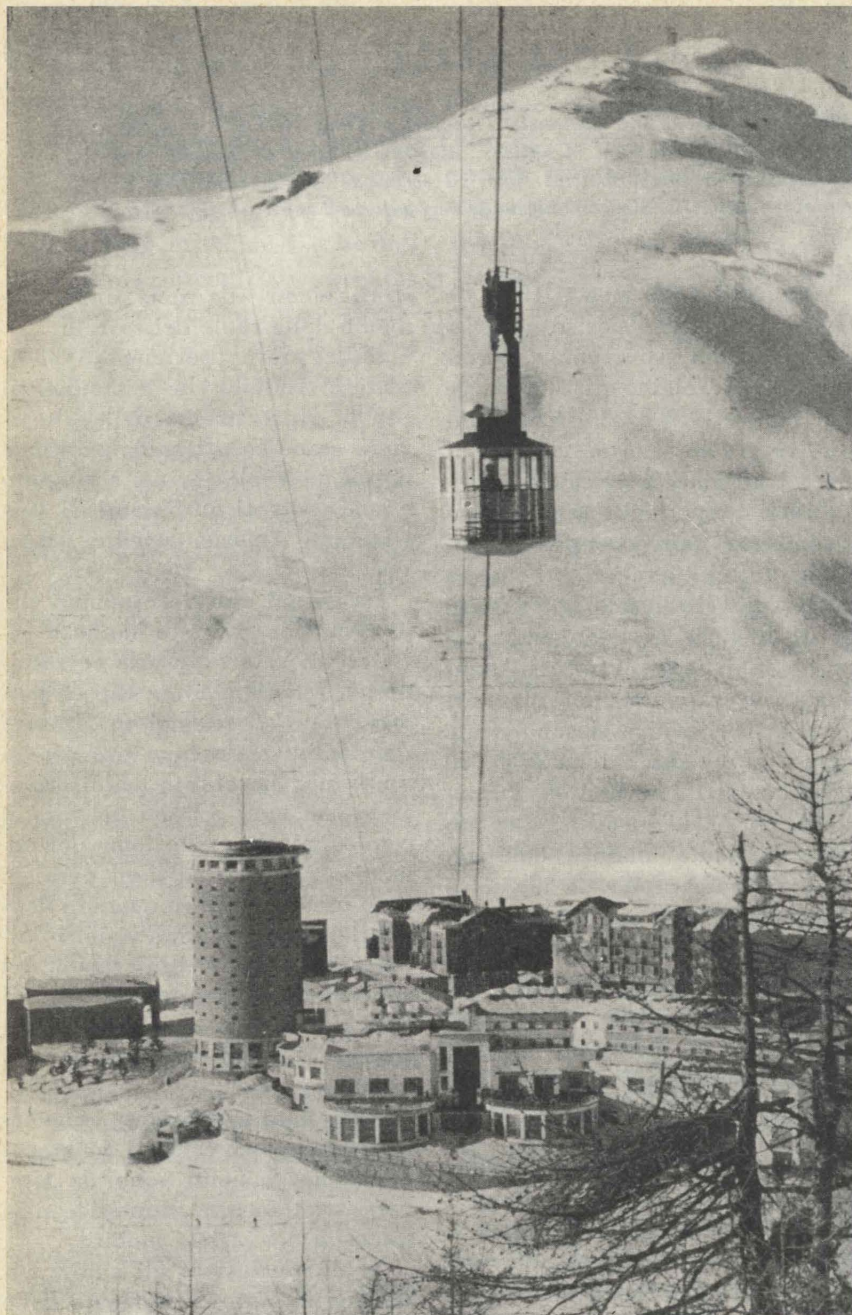
Dalle prove sperimentali effettuate è risultato che le condizioni per la riproduzione delle alterazioni erano costituite da pressione mutua notevole tra fili a contatto e concomitanti movimenti di strisciamento sufficientemente numerosi.

Da ciò gli autori desumono che le alterazioni rilevate hanno il carattere di vera e propria corrosione per strisciamento e che di conseguenza l'effetto del movimento dei carichi sulla fune provoca in realtà una instabilità delle formazioni con moti relativi dei fili, in condizioni di esaltazione del fenomeno. Tali condizioni peraltro sono preoccupanti in quanto i danneggiamenti non sono visibili dall'esterno e ciò è confermato dal rilevamento di rotture di soli fili interni o di rottura a fatica di fili esterni con inizio però dall'interno.

Altro dato interessante enunciato dagli autori è che i fenomeni di danneggiamenti sono da ritenersi strettamente connessi con la intensità dei carichi mobili.

Nelle conclusioni gli autori auspicano un approfondimento delle indagini per valutare quantitativamente la pericolosità del fenomeno ed inoltre per esaminare la possibilità di rilevare le corrosioni attraverso esami non distruttivi.

Nella sua memoria il Dottor Hanzalek di Zagabria, costruttore di funivie, esprime alcuni commenti ed osservazioni relativamente a rilievi eseguiti su particolari comportamenti in servizio di diversi tipi di funi e per diversi impieghi su funivie e teleferiche. Il concetto base dell'autore è quello di studiare alcuni fattori che influiscono sul comportamento e sulla durata delle funi in servizio



mento dei fili e dei trefoli, tenendo tra l'altro presente l'influenza sulla durata delle funi della qualità dell'anima tessile e delle modalità di esecuzione delle impalmature per le funi chiuse ad anello.

L'ing. Lello Prudenza di Torino, progettista di funivie, si intrattiene, nella sua relazione, sulle cause che influiscono sulla degradazione delle funi portanti-traenti in servizio su funivie monofuni, mettendo particolarmente in luce l'influenza degli attacchi dei veicoli alla fune per le azioni combinate della pressione delle morse e delle brusche deviazioni all'uscita delle morse stesse.

L'autore si sofferma anche sulla diversa rispondenza dei vari tipi di avvolgimento, in rapporto alla maggior durata in servizio, esprimendo la sua preferenza per le funi crociate e per le formazioni Seale, Warrington, Filler e simili. Egli conclude segnalando l'insufficienza delle prove classiche stabilite dai regolamenti ufficiali, nei riguardi della previsione della durata in servizio, ed accennando alla possibilità di prevedere prove di fatica aderenti all'impiego in servizio delle funi.

La relazione che il Geom. De Francisco, direttore di esercizio del complesso funiviario francese da Chamonix al Colle del Gigante (Punta Helbronner), mi ha cortesemente inviato su mia richiesta e che gradirei vedere inserita negli Atti del Colloquio, riguarda il comportamento delle funi dell'impianto funiviario a cabinette dei ghiacciai (Aiguille du Midi-Punta Helbronner) e degli impianti a va e vieni Chamonix-Aiguille du Midi, e contiene dati interessanti specie tenendo presente che il primo impianto si svolge tutto a quota superiore ai 3500 m s.l.m. (da 3500 a 3800 m s.l.m.) e che i secondi hanno il complesso dell'anello trattivo composto di 3 funi in parallelo e raggiungono la quota di 3800 m s.l.m.

Per il primo impianto oltre a notare il buon comportamento delle funi portanti chiuse, è da mettere in rilievo il diverso comportamento in servizio delle due funi traenti successivamente impiegate dovuto principalmente alle caratteristiche della seconda fune

più aderenti al tipo di lavoro che è chiamata a fare.

Per gli impianti da Chamonix all'Aiguille du Midi oltre al buon comportamento anche qui delle funi portanti chiuse, sono interessanti le notizie sulle funi traenti multiple e sulle cause di alcuni deterioramenti rilevati, consistenti sia nello sfregamento mutuo per accavallamenti, sia nelle manovre brutali per disinserrarle dalla presa del ghiaccio nel tronco superiore. È da rilevare anche l'utilità dei rilevamenti eseguiti con l'esame magneto-induttivo.

Le conclusioni del De Francisco naturalmente vertono sulla necessità della scelta oculata della formazione delle funi, in dipendenza del tipo di impiego e sulle preoccupazioni che possono dare le funi traenti multiple.

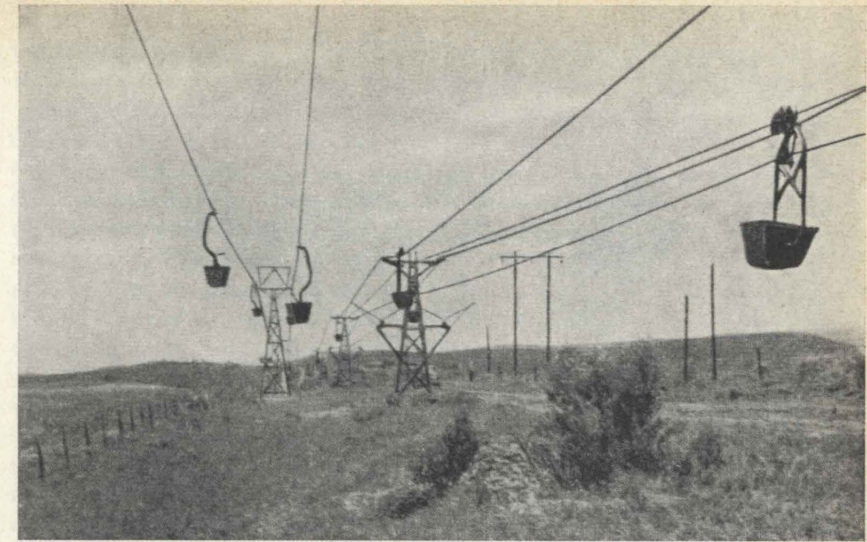
Infine l'ing. Ettmayer di Linz, direttore di esercizio della funivia del Dachstein che, come noto, ha le funi portanti ancorate alle due estremità, mi ha cortesemente fatto avere alcuni dati interessanti sul comportamento in servizio di tali funi che sopportano durante i viaggi delle vetture, tensioni notevolmente variabili.

Sul primo tronco sono in servizio dal 1951 funi portanti Ercole di 56 mm di diametro e sono state effettuate 85.000 corse; il tronco può considerarsi ad unica campata perchè l'unico sostegno è a 170 m dalla stazione superiore e la fune su esso scorre solo di pochi centimetri.

Sul secondo tronco sono in servizio dal 1956 funi portanti chiuse di 48 mm di diametro e sono state effettuate 42.000 corse; il tronco ha due sostegni intermedi e due campate lunghe (800 e 1200 m) per cui per ogni corsa si hanno due scorrimenti su ogni scarpa.

Allo stato attuale, dall'esame esterno a vista non si rileva alcuna alterazione su tutte le funi che si presentano ancora come nuove. Circa lo stato interno nulla può ancora sapersi in quanto solo nell'ottobre prossimo sarà effettuato il primo controllo con apparecchio magnetoinduttivo, dopo l'esame originario eseguito nel 1956.

Da tutte le sopraccitate memorie, relazioni e notizie, possono sintetizzarsi due conclusioni alle



quali si richiamano genericamente tutti i presentatori e sulle quali in via di massima concordo: 1) necessità dell'approfondimento delle indagini sul comportamento delle funi in servizio; 2) scelta oculata del tipo di fune in relazione al lavoro cui sarà sottoposta nell'impiego.

Riferendomi all'osservazione formulata dall'ing. Prudenza circa l'insufficienza delle prescrizioni regolamentari sul collaudo delle funi per funivie, nei riguardi del giudizio sulla durata in servizio delle funi stesse, debbo obiettare anzitutto che le prescrizioni rego-

lamentari hanno come fine la sicurezza degli impianti per la quale la durata in servizio delle funi rappresenta un elemento secondario e non prevalente. Nel contempo però posso dichiarare che ormai sia in campo nazionale italiano, sia in campo internazionale costituito dalle riunioni annuali delle Autorità di Sorveglianza e dal lavoro dell'OITAF, il problema della fatica delle funi, o meglio della resistenza alla fatica, e delle eventuali prescrizioni atte a inquadrare tali caratteristiche, è già preso in considerazione ed il suo studio certamente condurrà a



od in altri termini sulla resistenza a fatica delle funi stesse.

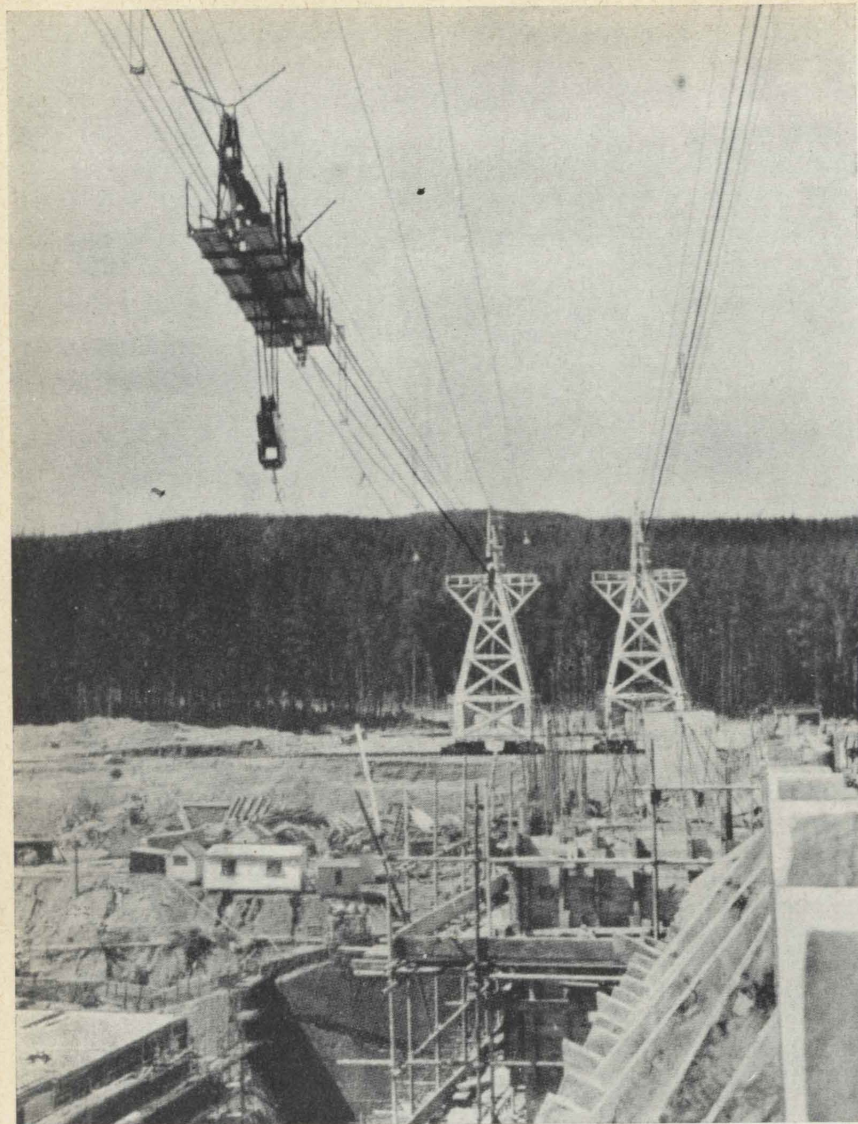
Per alcuni di questi fattori l'autore dà una risposta precisa, per altri tratteggia l'opportunità di rilievi e controlli sistematici.

Desidero porre in particolare rilievo alcune delle osservazioni del Dott. Hanzalek, affinché dalla discussione che ne seguirà possano trarsi elementi utili per l'impostazione delle future indagini.

Innanzitutto mi sembra opportuno indagare sull'eventuale influenza nel comportamento delle funi, di fenomeni elettrici (di ori-

gine elettrostatica o elettrolitica), connessi con l'esercizio dell'impianto.

Sembra poi ragionevole approfondire le indagini sulle cause di dissesti di funi chiuse, dovute ad irregolarità di costruzione o di montaggio, onde stabilire delle norme di buona pratica per la manipolazione di questo speciale tipo di funi. Infine sarebbero opportuni rilievi sistematici sul comportamento delle funi flessibili (con anima di canapa) in relazione alla loro formazione con particolare riguardo al senso di avvolgi-



qualche cosa di concreto nel senso auspicato dall'ing. Prudenza.

Occorre però a mio parere, se si vuole fare un lavoro razionale e veramente costruttivo, tener ben conto della prima delle conclusioni sopra sintetizzate, ed in ciò molto opportuno risulta questo Colloquio e molto utili saranno tutte le discussioni che intervengono.

La necessità di approfondire la conoscenza del comportamento delle funi in servizio deriva soprattutto dal fatto che da questa conoscenza potranno trarsi elementi utili di giudizio per la durata delle funi stesse, ma è anche appoggiata alla constatazione di quanto dispersi siano i risultati delle indagini fatte finora, seppure tali indagini non abbiano avuto sempre la sistematicità voluta.

In realtà trattasi di materia difficile e difficilmente inquadrabile, poichè, se da un lato ci si trova di fronte a svariati tipi di impieghi di funi metalliche, da ciascuno dei quali dipendono condizioni di lavoro e sollecitazioni estremamente diverse, dall'altro lato si ha a disposizione una serie numerosissima di tipi di fune diversi tra loro per formazione e per caratteristiche di materiale. Ciò è confermato da alcune delle considerazioni svolte dai presentatori di memorie e valga l'esempio dell'accurato studio del Prof. Bertolini e dell'ing. Paolini, dal quale peraltro deriva già per un solo particolare argomento, quale quello della corrosione per strisciamento nelle funi portanti chiuse di teleferiche per merci, la ne-

cessità di continuare in controlli sistematici e di impiegare sistemi di indagine non distruttiva per avere un'idea chiara del fenomeno ed i mezzi per controllarlo.

Nel contempo è però chiaro, e mi riferisco sempre alla memoria Bertolini-Paolini, che il fenomeno controllato sulle funi portanti chiuse delle teleferiche per merci e che qui desta una seppur lieve preoccupazione, non può presentarsi ugualmente preoccupante per le funi chiuse di impianti funiviari per viaggiatori, in quanto la corrosione per strisciamento dipende dall'intensità del carico singolo che viaggia sulla portante, e questo carico nel caso delle funivie non solo è controllato attraverso il rapporto con la tensione minima della fune, ma è anche applicato con l'interposizione di un elemento elastico che è la guarnizione delle ruote dei carrelli. Tutt'al più per le funivie, occorrerà stare bene attenti a non alterare le prescrizioni regolamentari riguardanti l'argomento.

Inoltre, come altro esempio, può asserirsi che le osservazioni dell'ing. Bellone riguardano impieghi eccezionali dove le condizioni di lavoro non possono considerarsi uniformi e dove perciò non potrebbe farsi una correlazione attendibile tra i tipi di fune, le durate ed il numero di avvolgimenti su pulegge nei vari casi accennati.

Le indagini ed i controlli delle funi metalliche in servizio, eseguiti per avere idea del loro comportamento, hanno avuto perciò finora carattere sporadico ed occasionale e può dirsi che gli unici controlli sistematici sono stati quelli imposti dalle regolamentazioni ufficiali, che riguardano soprattutto impianti di trasporto passeggeri e sono tesi a determinare quando una fune deve essere tolta dal servizio, ma non hanno fin qui avuto il carattere di controlli atti a migliorare la conoscenza del comportamento delle funi in servizio, e cioè la loro attitudine a resistere alla fatica.

Si deve solo alla buona volontà ed alla diligenza dei Direttori di esercizio di vari impianti se oggi può disporsi di materiale docu-

mentario di osservazione su questo ultimo argomento, che però fino ad ora non è stato divulgato e che vede in parte la luce in questo Colloquio attraverso le relazioni e notizie presentate. Sono certo che molto altro materiale esiste e, tra l'altro, intendo riferirmi alle numerosissime osservazioni fatte fino ad ora nei vari Paesi a mezzo degli esami magneto-induttivi: posso dire al riguardo che solo con gli apparecchi Integra disponibili in Italia, dove da cinque anni si stanno eseguendo questi esami con una certa sistematicità, sono stati finora visitati 157 impianti funiviari (alcuni ripetute volte) ed esaminate 305 funi, tra le quali, per 4 volte, la fune traente dell'impianto francese a cabine del Monte Bianco.

Seppure ancora non può asserirsi con assoluta sicurezza di sapere interpretare esattamente i rilievi ottenuti con tale mezzo, sento il dovere di comunicare che in molti casi dall'esame magneto-induttivo si sono ricavati segni certi di degradazione delle funi o per lo meno si sono rilevate alterazioni che hanno condotto ad indagini più accurate sullo stato delle funi. Ciò, come ho già detto, è anche accennato in qualcuna delle relazioni presentate, ma sarebbe oltremodo interessante poter disporre in forma organica dei risultati di tutte le osservazioni magneto-induttive effettuate non solo in Italia ma anche nelle altre Nazioni che hanno adottato tale metodo, perchè è mia opinione che, almeno per determinati comportamenti, moltissime notizie interessanti potrebbero ricavarsi.

Comunque sull'argomento degli esami magneto-induttivi si sta attivamente studiando in sede OITAF e spero che molto presto altre interessanti notizie potranno essere divulgate in proposito, facendo seguito alla prima relazione di carattere generale pubblicata l'anno 1959.

Ma l'esame magneto-induttivo, che costituisce ora l'unico mezzo di esame non distruttivo a disposizione per indagare sullo stato complessivo (esterno ed interno) delle funi, non può considerarsi fine a sè stesso agli effetti di mi-

gliorare la conoscenza del comportamento delle funi metalliche in servizio.

Occorre infatti tener conto anche delle osservazioni, dei rilievi e delle sperimentazioni, così come è stato tratteggiato nelle relazioni presentate delle quali ho cercato di sintetizzare gli aspetti più interessanti, ed anzi tali osservazioni, rilievi e sperimentazioni debbono poter essere estesi ed opportunamente sistematizzati, specie nei casi di comportamenti speciali, onde contribuire a formare la massa di materiale documentario che deve condurre a formulare giudizi della più grande attendibilità possibile sull'attitudine delle funi a resistere alla fatica. E desidero richiamare particolarmente l'attenzione sul fenomeno della corrosione-fatica, perchè questo, a mio giudizio, è quello che maggiormente preoccupa nel servizio delle funi per impianti di trasporto funicolari aeree e terrestri, ed è forse quello che, specie in alcuni casi, meno si presta ad essere rilevato ed osservato con relativa certezza a mezzo dell'esame magneto-induttivo.

A sostegno dell'importanza di tale ultima questione desidero citare alcuni esempi significativi.

È a tutti noto ormai il fenomeno di deterioramento delle funi traenti nella zona adiacente agli attacchi a testa fusa, e sono pure noti gli inconvenienti e gli incidenti a cui tale fenomeno ha dato luogo, presentandosi spesso in maniera non visibile dall'esterno.

Un approfondimento dello studio di questo fenomeno si è operato in questi ultimi tempi in Italia e dalle verifiche ed osservazioni fatte fino ad ora può trarsi il convincimento che le rotture di fili nelle immediate vicinanze o proprio all'imbocco delle teste fuse sono in realtà preoccupanti, perchè si manifestano anche poco tempo dopo la messa in servizio dell'attacco (in alcuni casi già nel primo anno di servizio), sono notevolmente generalizzate e sono dovute certamente alla corrosione-fatica. Per difesa contro tale fenomeno si stanno studiando in Italia nuovi sistemi di confezione delle teste fuse ed è in applicazione

provvisoria un metodo che elimina la stagnatura, operazione che potrebbe essere la causa delle future corrosioni.

Altro esempio importante è costituito dal comportamento delle funi traenti delle funicolari terrestri: anche qui molti inconvenienti ed incidenti si sono avuti per deterioramento di tali funi, deterioramento che in alcuni casi è stato rapidissimo (anche solo in pochi mesi) e che è sempre dovuto alla corrosione partente dall'interno (contatto tra l'anima di canapa e la parte interna dei trefoli) e talvolta però forse alla corrosione-fatica.

Una estesa indagine anche su questo argomento è in corso in Italia, onde trarre elementi per giudicare, ad esempio, se i fenomeni di corrosione sono legati al carico di lavoro od al sistema di lavoro di tali funi e se è possibile in qualche modo non solo controllare il fenomeno, ma operare anche per difendersi da esso.

Su quest'ultimo argomento, salvo un vecchio studio per un incidente capitato su un impianto funicolare europeo, non mi risulta che siano stati divulgati dati o notizie interessanti.

A conclusione finale di questa mia sommaria e sintetica relazione, debbo quindi mettere in evidenza l'auspicabilità che da questo Colloquio, oltre a sortire il maggior numero di dati e notizie sulle indagini e controlli eseguiti fino ad ora nei vari Paesi nei quali è seguito l'impiego delle funi metalliche per i vari usi e specie per gli impianti di trasporto, sortisse pure un voto per l'impostazione organica di un piano di ricerche sulle funi in servizio, che raggrupasse e sistematizzasse tutte le ricerche e rilievi già effettuati od in corso nei vari Paesi e che prevedesse anche la divulgazione dei relativi risultati, dai quali evidentemente potranno trarsi elementi importantissimi per la conoscenza del comportamento delle funi in servizio e quindi anche per la scelta dei tipi di fune, onde impiegarle nei vari usi e per i vari lavori secondo le rispettive reali attitudini a resistere alla fatica conseguente.

Pietro D'Armini

Correlation entre les essais de fatigue des cables et les resultats en service

M. YVON VERWILST, Direttore Generale dell'Ass. Industriali del Belgio, tratta successivamente: della correlazione tra i risultati delle prove di fatica in Laboratorio ed il comportamento in servizio; tra prove classiche statiche e prove di fatica su funi e fili; dei controlli sulla progressione di rotture dei fili, sia col conteggio, sia con metodi magneto induttivi (Relazione generale sul 2° Tema del Colloquio Internazionale sulla Fatica delle Funi).

1. Introduction.

Le thème II de ce colloque se divise en 3 parties:

1) la corrélation qui existe entre les essais de fatigue de laboratoire d'une part et les résultats en service d'autre part;

2) la corrélation qui pourrait exister entre les essais de fatigue des câbles et les essais de fatigue des fils et les essais classiques;

3) le contrôle sur les ruptures des fils en laboratoire et en service; les essais magnétiques.

Les communications présentées dans le cadre de ce thème sont les suivantes:

1) Comparaison des résultats de certaines épreuves électromagnétiques et d'endurance des câbles d'acier, par Dr. Eng. Z. Kawecki - Wieliczka.

2) Mesures de la destruction progressive par fatigue des câbles à travers le contrôle des fils cassés et la détermination de la résistance à la traction par Prof. Ing. Rossetti, Torino.

3) Corrélation entre les essais de fatigue de laboratoire et la tenue des câbles en service, par J. Verwilst, Ing. A. I. Br. - Bruxelles.

4) Corrélation entre les essais de fatigue et les résultats de la tenue des câbles en service sur les ascenseurs, par Ing. E. Zanone, Direttore della SAFOV - Torino.

5) Le défautographe magnétique polonais, par Prof. Dr. Szklarski, Krakow.

On remarquera, en premier lieu, le petit nombre de communications consacrées à ce thème II, ce qui nous indique que les esprits sont tournés plutôt vers le problème de la compréhension ap-

profondie de la fatigue dans les câbles et vers le problème de l'adaptation des machines d'essais.

Ces bases fondamentales une fois établies, c'est alors seulement que nous pourrions parler valablement de corrélations entre les essais et le fonctionnement en service et que les documents traitant de ce thème pourront affluer.

Avec le peu d'indications que nous possédons actuellement, il est utile néanmoins de faire un tour d'horizon dans le domaine pratique, d'examiner ce qui a été fait, ce qui reste à faire et la façon dont cela pourra se faire.

2. Corrélation entre les essais de fatigue en laboratoire et les résultats en service.

2.1 Généralités.

Le problème de cette corrélation est une des questions fondamentales de l'application à la pratique des connaissances que l'on peut obtenir sur la fatigue des câbles, grâce aux machines d'essais.

Pour que cette corrélation puisse se faire, il faut d'abord s'assurer que les phénomènes en jeu sont les mêmes (fondamentalement parlant) en service d'une part et lors de l'essai d'autre part. Par la définition même de ces journées d'études, on ne s'intéressera ici qu'aux phénomènes de fatigue dans les câbles.

En ce qui concerne le phénomène de fatigue proprement dit, on peut déclarer sans plus que l'on ne parviendra jamais à répéter en laboratoire toutes les sollicitations principales et secondaires que peut subir un câble en service; il suffit, pour s'en convaincre, de penser à l'impossibilité de faire agir la corrosion en laboratoire comme elle agit en service. Partant de là,

il faudra donc essayer de saisir dans la fatigue en service le phénomène principal que l'on s'attachera à reproduire en laboratoire.

Si on examine les causes de détérioration d'un câble, on peut citer, dans toute leur généralité, les causes suivantes: corrosion, usure, efforts alternés ou répétés provoquant la rupture de fatigue.

Parmi ces efforts alternés, on peut citer:

— les efforts alternés de traction;

— les efforts alternés de flexion (et de pression dans les gorges de poulies);

— les efforts alternés de torsion.

Mais l'expérience journalière nous montre que, parmi toutes les sollicitations auxquelles on peut soumettre les câbles, c'est la flexion sous tension sur petites poulies qui provoque les dégradations les plus rapides: exemples: appareils de levage, engins de maintenance, etc...

Les câbles, dans ces cas-là, ont une vie moyenne de quelques semaines ou de quelques mois, alors que les câbles de mines, les câbles de téléphérique ont des durées de vie de plusieurs années.

Cette première constatation faite, voyons si d'autres indices peuvent renforcer notre hypothèse qui fait de la flexion sous tension sur petites poulies le phénomène fondamental le plus sévère au point de vue des dégradations.

Examinons, à cette fin, l'aspect de la dégradation d'un câble fonctionnant en service, sur les appareils de levage par exemple.

1) On remarque que ces fils présentent des fissurations de fatigue perpendiculaires à leur axe

et cela dans les couches extérieures du câble, en premier lieu;

2) Si de câble n'a pas de possibilité de se détordre, on remarque même que ces fils brisés se présentent suivant la génératrice du câble en contact avec les poulies;

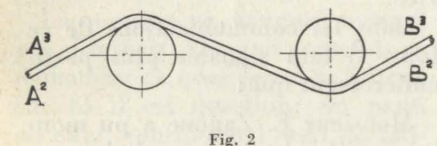
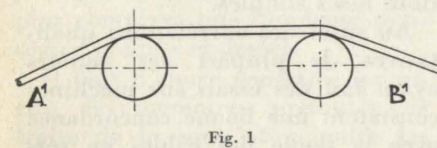
3) Si l'on peut délimiter sur le câble des zones passant plus souvent sur des poulies, on remarquera également une dégradation plus forte en ces endroits.

Nous pouvons, grâce au seul aspect de ces détériorations, conclure qu'il s'agit d'un phénomène de fatigue agissant sur les fils du câble qui sont en contact avec les poulies d'une manière périodique.

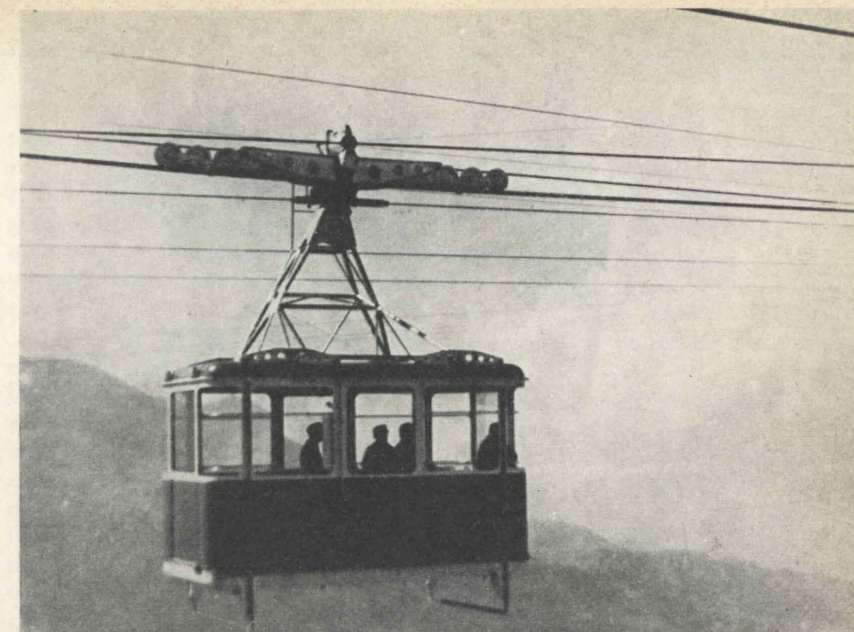
Il ne s'agit donc pas d'une fatigue par traction répétée du câble puisque celle-ci devrait agir et sur tous les fils et sur toute l'étendue du câble.

Il pourrait s'agir de flexions périodiques provoquant des tensions périodiques les plus fortes dans les couches extérieures, ou encore de pression périodique du câble sur la gorge de poulie.

Ce dernier phénomène peut être rapidement écarté comme n'étant pas fondamental, si on étudie la tenue d'un câble sur deux installations différentes, une de flexion répétée sur deux poulies, l'autre de flexion alternée sur deux poulies (voir figures 1 et 2).



Le point A^1 allant en B^1 et revenant en A^1 subit 4 cycles de pression répétée par course; les points A^2 et A^3 subissent chacun 2 cycles par course. Si le facteur pression était fondamental, le câble dans la fig. 2 devrait donc casser après celui de la fig. 1, mais, en pratique, on observe l'inverse: le câble de la fig. 2 casse 3 à 4



fois plus vite que celui de la fig. 1. La pression répétée entre câble et poulie n'est donc pas le phénomène fondamental de la fatigue.

On conclut donc que le phénomène fondamental qui explique et l'aspect de la rupture des fils; et l'endroit de ruptures de ces fils; et la durée des câbles sur les installations, est le phénomène de fatigue par flexion sous tension sur poulies.

Ces constatations pratiques ont amené les chercheurs à étudier ce phénomène, à en connaître les variables (le thème I de ce colloque traite de ces études) et à concevoir des machines qui puissent reproduire ce phénomène en laboratoire (le thème IV de ce colloque s'attache à l'étude de ces machines).

Dans le cadre du thème II, c'est-à-dire la corrélation entre les essais de fatigue et les résultats en service, il était de la plus grande importance de savoir si on allait comparer des phénomènes analogues.

Nous avons vu que les machines conçues pour faire subir au câble une fatigue de flexion sous tension créent des sollicitations similaires à celles obtenues en service sur des installations telles que appareils de levage, engins de maintenance, parce que là, la fatigue par flexion est primordiale.

Il n'en est pas de même pour

l'étude des câbles de mines, où les diamètres des poulies sont grands et où la corrosion peut jouer un grand rôle, ni pour les câbles de téléphériques, où la tension dans le câble est faible et où la flexion se fait avec des angles d'enroulement faibles.

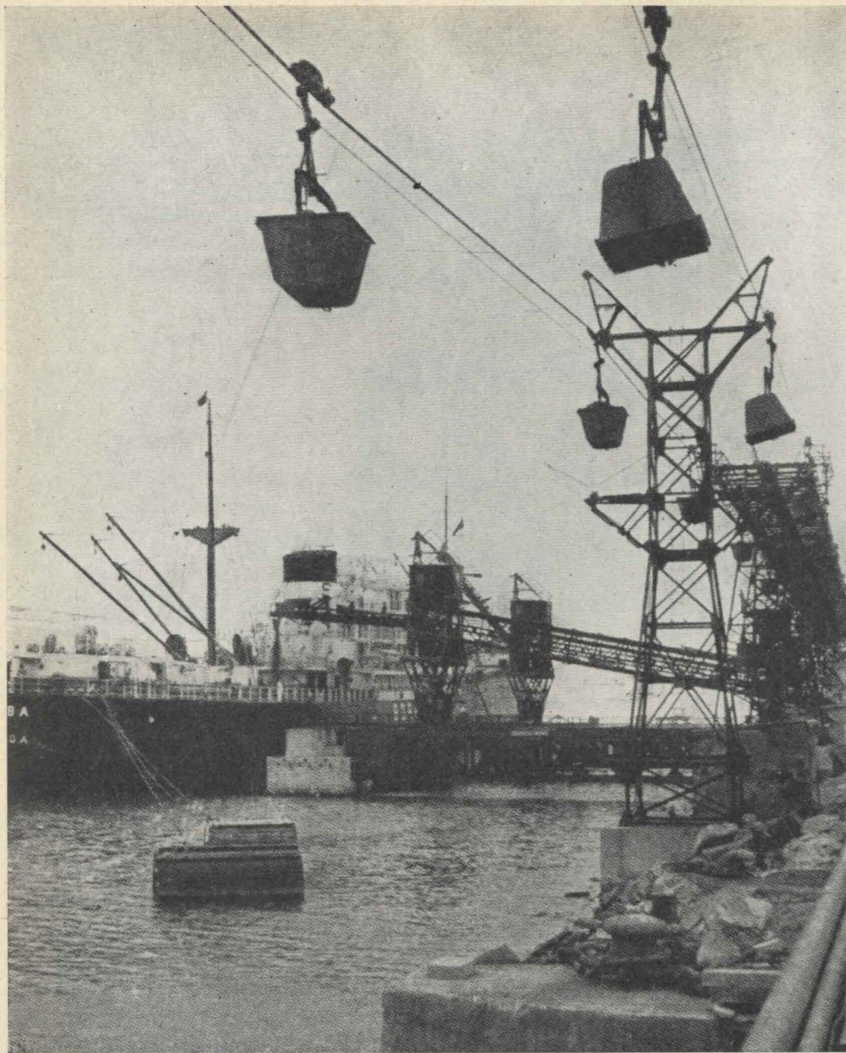
Les comparaisons devront se faire dans ce cas avec des machines spéciales, par exemple (voir thème IV), des machines reproduisant la flexion avec angle d'enroulement faible. Mais, dans ce domaine, comme dans celui des ruptures de câbles de mines, les machines d'essais sont moins nombreuses et les résultats d'études encore moins. Ces restrictions étant faites, il est donc permis de poser le problème suivant:

2.2 Corrélation entre les essais de fatigue en laboratoire et les résultats en service.

Le problème peut se poser de la façon suivante et en deux étapes:

1^{ère} étape: plusieurs types de câbles ayant été classés par ordre de mérite d'après les résultats d'essais de fatigue en laboratoire, va-t-on retrouver ce même ordre de mérite quand ces câbles seront utilisés en service normal?

2^{ème} étape: le résultat de l'essai de fatigue en laboratoire (exprimé, par exemple, en nombre de cycles à la rupture) peut-il,



pour un câble donné, servir à prédéterminer le temps de service auquel le câble pourra résister?

Rien que l'énoncé du problème soulève une foule de questions qu'il faut se poser au préalable.

1) les conditions d'essai en laboratoire ou en service ne sont pas les mêmes dans tous leurs détails: nous avons admis que, pour faire une comparaison plus ou moins valable, il fallait que le phénomène fondamental soit le même, et c'est bien le cas pour la flexion sous tension. Mais, en service, il existe, par contre, une série de facteurs accélérant la fatigue, qui échappent à toute mesure et qui ne peuvent donc pas être reproduits en laboratoire (corrosion, choc, atmosphère abrasive, etc.). On voit donc immédiatement que la corrélation à laquelle on peut s'attendre ne sera pas par-

faite mais montrera une dispersion plus ou moins grande, si l'on adopte le nombre de cycles de fatigue comme base de comparaison.

2) En plus, si l'on suppose que la machine d'essai peut être réglée pour respecter les variables essentielles de la sollicitation du câble ($\frac{D}{d}$, d , σ , forme de la gorge de poulie, flexion répétée ou alternée), il faut définir la variable qui mesurera l'endurance du câble: par exemple le nombre de cycles à rupture.

Mais une difficulté surgit dès que l'on veut estimer l'endurance d'un câble en service pour la comparer à l'endurance trouvée en laboratoire.

Il faut établir d'abord quelle zone du câble sera fatiguée, quel genre de cycles de fatigue il subi-

ra, mais, en plus, il faut trouver une tension statique moyenne, un $\frac{D}{d}$ moyen, et une relation liant le nombre d'heures de travail au nombre de cycles de fatigue subis par le câble en service.

Si cela est encore possible pour des installations très simples, cela devient tout-à-fait hypothétique pour des installations plus complexes.

En résumé, nous pouvons dire que l'on semblerait devoir tendre vers une comparaison qualitative entre les câbles essayés sur les machines d'essais et les câbles cassés en service, plutôt que vers des mesures absolues de temps de fonctionnement des câbles en service partant des cycles de fatigue subis sur les machines d'essais.

Ces comparaisons qualitatives, qui reviennent à établir un ordre de mérite, doivent tendre à démontrer le bien-fondé des hypothèses ayant présidé à l'établissement du choix des machines.

2.3 Réflexions particulières extraites de la littérature existante et des communications de ce jour.

La littérature existante parle très peu de la corrélation entre essais sur machine et résultats en service.

L'auteur russe Shitkow exprime les nombres de cycles de fatigue en fonction du temps de fonctionnement, pour certaines applications assez simples.

Au sujet des corrélations qualitatives, la plupart des auteurs ayant fait des essais sur machines constatent une bonne concordance avec la tenue des câbles en service.

Dans les communications de ce jour, il faut signaler plus particulièrement que:

Monsieur E. Zanone a pu montrer qu'il existait une relation entre la tenue en service des câbles d'ascenseur et les résultats obtenus pour ces câbles sur les machines de fatigue;

Monsieur J. Verwilt analyse des câbles cassés en service pour démontrer le bien-fondé de l'hypothèse de la fatigue de flexion fondamentale et de la conception des sollicitations (zone de fatigue, etc...);

— montre la difficulté de choisir le nombre de cycles de fatigue comme base de comparaison;

— donne un exemple de perte d'endurance ou % d'endommagement qu'un câble a subi en service (cette mesure a une valeur plus grande que la perte de résistance).

A ce dernier sujet, il semble qu'il soit utile de s'orienter vers une mesure du % d'endommagement ou, ce qui revient au même, du nombre de cycles qu'il pourrait encore faire avant de casser, pour juger de l'état d'un câble. Il faut évidemment que cette notion soit clairement définie dans toutes les conditions de sollicitation.

3. Corrélation entre les essais de fatigue sur câbles, les essais de fatigue sur fils et les essais classiques.

Portée de la question.

A supposer que le problème soit résolu par l'affirmative et que l'on ait trouvé une corrélation étroite entre les résultats de l'essai de fatigue sur câble et les résultats de l'essai de torsion sur fils, par exemple, on en conclurait qu'il suffit de faire des essais de torsion pour obtenir une mesure de la résistance à la fatigue du câble. C'est là le sens général du problème, mais on peut fort bien deviner que la réalité sera beaucoup plus complexe que l'esquisse sommaire donnée ci-dessus.

Il faut d'abord constater qu'aucun des mémoires présentés ne traite de la corrélation entre fatigue sur câble et fatigue sur fil.

La question ne manque pourtant pas d'intérêt. On doit toutefois se demander de quel genre de fatigue sur fil il est question; on peut, en effet, considérer l'essai de fatigue sur fil en traction pure, en flexion alternée, en flexion rotative ou encore en torsion alternée.

Compte tenu du fait que les sollicitations d'un fil dans un câble sont très complexes (traction, compression, pression locale, flexion, torsion, etc...), et changent d'ailleurs avec l'état de dégradation du câble (glissement plus difficile des fils l'un sur l'autre), il est impossible a priori de dire à

quel essai il faudrait faire confiance.

Ce n'est donc que l'expérience qui peut trancher et il y a là matière à une recherche importante, relative à l'établissement des critères de qualité des fils pour la résistance à la fatigue des câbles et aux contrôles des fils ayant subi un certain endommagement en service.

Les machines de fatigue de fils en traction existent dans plusieurs laboratoires ainsi que les machines pour la flexion rotative; les machines pour torsions alternées sont plus rares et quant aux machines pour essais de flexion, les machines à poulies fixes ou tournantes peuvent convenir, du moins celles qui sont assez rapides pour permettre l'essai en un temps assez court, telles que les machines MECFA XI de l'A.I.B.

En ce qui concerne la corrélation entre la fatigue des câbles et les essais classiques sur fils, plusieurs études ont été effectuées

déjà et notamment, celle qui fait l'objet de la communication du Prof. Rossetti.

Cette dernière étude montre qu'il est très dangereux de vouloir apprécier le dommage par fatigue subi par un câble en comptant les fils brisés ou même en mesurant la résistance statique restante.

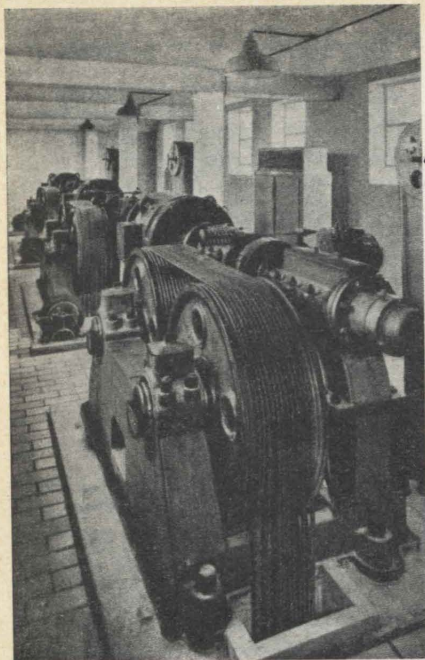
Dans ce domaine, il serait utile de faire ces essais de traction également sur bout de câble fléchi sur une poulie en mouvement plutôt que sur brin droit.

La corrélation avec les essais de fil en traction, flexion et torsion a été surtout étudiée en U.R.S.S. et a donné des résultats notables.

Des essais de fatigue ont été effectués par Shitkow sur des câbles de même composition soumis aux mêmes efforts mais ayant des caractéristiques différentes au point de vue du fil.

Ces essais montrent une diminution d'endurance lorsque le nombre de torsions des fils et nombre de flexions des fils (ma-





chine Tarnogrocky) diminuent. Mais, malheureusement, le nombre d'essais est beaucoup trop faible pour que l'on puisse conclure. Trop de facteurs interviennent: % C, réduction de section au tréfilage, etc...; l'on n'est pas certain des variables indépendantes qu'il faut choisir pour faire l'étude.

En Belgique, un plan de recherche à l'étude, sous l'égide du C.R.I.F., (Centre de Recherches Scientifiques et Techniques de l'Industrie des Fabrications Métalliques), prévoit différentes étapes qui permettront d'éclaircir le problème de l'influence du facteur « fil » sur l'endurance des câbles;

la première étape constituerait un tour d'horizon dans ce domaine visant à faire le point:

on ferait des essais dans les mêmes conditions sur 12 câbles qui diffèrent en ce qui concerne les qualités de fil:

il y aurait 9 types de fils en acier clair: trois % C différents, trois réductions de section différentes; 3 types de fils galvanisés.

Cette première étape permettra déjà de dégager les variables importantes et les corrélations pouvant exister entre elles et la valeur de l'endurance.

La seconde étape sera une étude

statistique complète où toutes les variables intervenant dans la fatigue varieront et où, par exemple, l'importance relative du facteur fil sera caractérisée par une des variables importantes trouvée dans la première étude.

La troisième étape constituera un approfondissement des données recueillies pour certains points de détails.

4. Le contrôle des ruptures de fils en laboratoire et en service. - Les appareils magnétiques.

Sous cet énoncé en apparence limité, se cache un problème assez vaste qu'il importe de délimiter, le but final à atteindre étant une meilleure connaissance de l'état d'endommagement d'un câble par toute méthode appropriée et en s'appuyant aussi sur les résultats des études de fatigue des câbles.

Contrôles de fils brisés et contrôles magnétiques ont en effet comme but évident de permettre l'estimation du degré de dégradation d'un câble, que ce soit un câble essayé en laboratoire ou câble en service.

Encore faudrait-il tenter de définir clairement les états de dégradation ou d'endommagement.

Lors d'essais de fatigue en laboratoire de câbles sur machines de flexion, il est clair que c'est la fatigue de flexion sous tension qui constitue le prédominant fondamental et qui crée, cycle par cycle, un dommage croissant jusqu'à destruction complète du câble.

Par contre, pour les câbles en service, les phénomènes sont en général plus compliqués et la fatigue pure, comme définie ci-dessus, est fortement aggravée par d'autres phénomènes tels que corrosion, usure, indentation.

Il en résulte qu'en laboratoire, le témoin tangible du dommage est le fil brisé, ce qui n'est plus nécessairement le cas en service où, pour estimer le dommage, il faut aussi pouvoir apprécier la corrosion, l'indentation et l'usure.

Pour les essais en laboratoire, l'idée qui vient immédiatement consiste à dénombrer les fils brisés au fur et à mesure de l'avance-

ment de l'essai ou encore à essayer le câble en traction lente pour mesurer sa résistance restante.

Comme l'a montré le Professeur Rossetti, il ne faut utiliser cette méthode qu'avec beaucoup de prudence.

Il nous semble, en ce qui concerne l'essai de traction, qu'il y aurait grand intérêt à casser les câbles non pas en brin droit mais en brin fléchi sur poulie en mouvement alternatif; cet essai doit donner une idée beaucoup plus précise de la résistance restante d'un câble fléchi comme c'est presque toujours le cas en service.

Il va cependant de soi que l'épreuve de traction ne peut pas s'appliquer à un câble en service sous peine de le détruire.

Revenant à la question des fils brisés, on peut envisager de les dénombrer non plus par comptage individuel, ce qui est fastidieux, mais à l'aide d'un appareil magnéto-inductif placé sur le câble dans la machine d'essai; il serait vain d'espérer compter exactement de cette manière le nombre de fils brisés, mais on peut s'attendre à ce que les signaux fournis par l'appareil aillent en croissant au cours de l'essai. Il est même possible qu'en utilisant un appareil à courant alternatif, on puisse recueillir une indication qui soit assez directement liée à l'« état de fatigue » du câble sans passer par le truchement des fils brisés qui, comme l'a montré le Professeur Rossetti, ne constituent pas un critère univoque de dommage.

Reprenant le problème du câble en service, on constatera qu'il ne suffit plus de compter le nombre de fils brisés, car il existe nombre de cas où le câble est devenu dangereux sans montrer de fils brisés en nombre notable. Par contre, il peut arriver aussi qu'un câble exempt de corrosion et d'usure périsse par fatigue tout comme cela se passe en laboratoire.

Le dommage d'un câble en service doit donc être vu sous deux aspects pour être complet: d'abord la fatigue pure et ensuite la fatigue accélérée (parfois dans d'énormes proportions) par la corrosion et l'usure.

Quelles sont les méthodes qui permettent d'estimer cet endommagement?

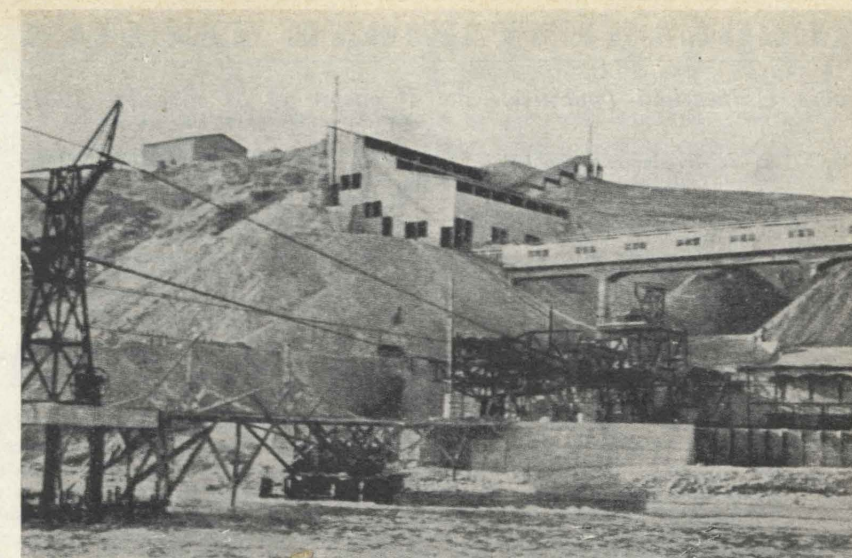
Nous ne signalons que pour mémoire l'inspection visuelle pratiquée universellement par des opérateurs longuement entraînés et qui ne fournit qu'un jugement purement *subjectif* bien qu'indispensable.

On peut aussi, comme l'a signalé Monsieur J. Verwilt et aussi le Dr. Kawecki, enlever un câble, le placer sur une machine de fatigue et mesurer le nombre de cycles qu'il peut encore faire avant de casser, puis comparer au nombre de cycles obtenus à l'état neuf sur ce câble ou un câble identique. On accède ainsi à la notion très intéressante d'*endurance restante* par opposition à celle de résistance statique restante.

Mais il s'agit de nouveau d'un test destructif très utile pour la connaissance de l'endurance, mais inapplicable en pratique.

Il nous apparaît cependant que l'endurance restante (ou éventuellement la résistance restante d'un brin fléchi sur poulie en mouvement) constitue le terme de comparaison idéal auquel il convient de se référer pour juger de l'excellence des mesures fournies par d'autres méthodes non destructives et à caractère indirect, telles les méthodes magnéto-inductives. C'est ce qu'a fait le Dr. Kawecki dont le rapport fait état entr'autre d'une bonne concordance entre l'*endurance restante* et la hauteur des signaux de l'appareil magnéto-inductif à courant continu. C'est, à notre connaissance, la première fois qu'une telle expérience est faite. Une bonne concordance avait été, à plusieurs reprises, démontrée à l'A.I.B. entre hauteur des signaux et résistance restante des fils; les résultats positifs obtenus en Pologne renforcent magistralement l'idée d'une concordance entre dégradations et signaux magnéto-inductifs.

Cependant les appareils magnéto-inductifs à courant continu ne prétendent pas déceler l'endommagement par fatigue pure qui fait appel à des modifications structurales que la méthode à cou-



rant continu n'est pas en mesure d'apprécier.

Cette remarque est spécialement importante dans le cas cité plus haut de câbles exempts de corrosion et d'usure, périssant par fatigue pure. Comme dans ce cas les fils brisés peuvent se manifester seulement peu de temps avant la rupture finale, il serait souhaitable de détecter la fatigue pure par des appareils magnéto-inductifs à courant alternatif. Sous cet aspect, la voie de la recherche est toute tracée: des appareils à courant alternatif peuvent être placés sur des câbles essayés en fatigue en laboratoire et l'on pourra vérifier s'il est possible de mesurer un certain état de fatigue pure. L'attention de nombreux pays et notamment ceux de la CECA est tournée vers ce problème, ce qui peut faire augurer des résultats intéressants dans un délai raisonnable.

Le contrôle des câbles, auparavant *subjectif*, tend, grâce aux méthodes magnétiques et aux enseignements fournis par les machines de fatigue, à devenir un contrôle objectif et de plus en plus précis.

5. Conclusion.

En conclusion de ce rapport, les points suivants méritent d'être notés.

Les connaissances actuelles permettent de dire que, dans des cas simples, il existe une bonne concordance entre les résultats des

essais de fatigue et la tenue des câbles en service, pour autant que la machine d'essai reproduise fidèlement les conditions de sollicitation fondamentales du service.

On peut souhaiter que l'on s'attache à rechercher l'éventuelle corrélation entre résistance à la fatigue d'un câble et résistance à la fatigue des fils.

D'autre part, il est apparu que le dénombrement des fils brisés ou la mesure de la résistance statique restante n'étaient pas en corrélation bien nette avec la fatigue du câble.

Enfin, il a été fait mention d'une bonne corrélation entre les indications des appareils magnétiques à courant continu et l'endurance restante d'un câble en service.

Ce tour d'horizon aura montré combien intéressante était l'idée de l'essai de fatigue des câbles en laboratoire; on a vu se dessiner plus clairement le rôle des machines de fatigue qui peut se résumer comme suit:

1) établir un ordre de mérite des câbles;

2) trouver le câble convenant le mieux pour des conditions bien particulières d'exploitation en service;

3) servir de base de comparaison pour juger des performances des méthodes non destructives de contrôle des câbles.

M. Yvon Verwilt

REGOLAMENTAZIONE TECNICA

Nuove Unificazioni (pubblicate dal 1° ottobre al 31 dicembre 1961)

C.D. 371.63 = *Arredamenti scolastici*.

UNI 4856: Arredamenti scolastici - Cattedra e relativa poltroncina (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4857: Id. - Tavolini senza e con sottopiano, sedie e sgabelli (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 4858: Id. - Materiali, lavorazione e finitura (fascicolo unico di 5 tabelle).

C.D. 531.7:681.2 = *Strumenti di misura e controllo*.

UNI 4793: Strumenti di misura e controllo - Righe di lavorazione (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4794: Id. - Righe di controllo per macchine utensili (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 4795: Id. - Righe millimetriche per officina (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4796: Id. - Righe millimetriche per collaudo (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4797: Id. - Righe millimetriche semirigide e flessibili.

UNI 4798: Id. - Righe angolari.

UNI 4799: Id. - Righe triangolari di riscontro con impugnature (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4800: Id. - Guardapiani doppi.

UNI 4801: Id. - Guardapiani a coltello.

UNI 4802: Id. - Guardapiani a sezione quadrata e triangolare.

UNI 4803: Id. - Squadre semplici a 90° (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4804: Id. - Squadre semplici a 90°, tpo leggero (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4805: Strumenti di misura e controllo - Squadre semplici a 90°, con bisello.

UNI 4806: Id. - Squadre a tallone (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4807: Id. - Squadre a zoccolo semplici (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4808: Id. - Squadre a zoccolo, con bisello (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4809: Id. - Squadre semplici a 120° e 135° (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4810: Id. - Squadre a 120° e 135°, con bisello.

UNI 4811: Id. - Squadre a 120° e 135°, a tallone (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4812: Id. - Squadre semplici a T (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4813: Id. - Squadre a T, a tallone (fascicolo unico di 2 tabelle).

C.D. 620.918 = *Trattamenti superficiali dei materiali metallici*.

UNI 4876: Trattamenti superficiali dei materiali metallici - Prova di durezza

Vickers su riporti elettrolitici di cromo duro su materiali ferrosi.

UNI 4877: Id. - Classificazione, caratteristiche e prove dei rivestimenti elettrolitici di argento su rame e sue leghe (fascicolo unico di 3 tabelle).

C.D. 621.873 = *Gru - Generalità*.

UNI 4821: Gru - Dati fondamentali per il calcolo delle ruote di traslazione (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 4822: Id. - Calcolo del carico sui cuscinetti delle ruote di traslazione per determinare la durata dei cuscinetti volventi (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4823: Id. - Profili della superficie di contatto delle ruote di traslazione (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4824: Id. - Ruote di traslazione - Prospetto dei tipi unificati (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 4825: Id. - Ruote di traslazione con cuscinetti radenti, senza corona dentata (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 4826: Gru - Ruote di traslazione con bordini, con cuscinetti radenti, con corona dentata (fascicolo unico di 6 tabelle).

UNI 4827: Id. - Ruote di traslazione con cerchione a bordini, con cuscinetti radenti, senza corona dentata (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 4828: Id. - Ruote di traslazione con cerchione a bordini, con cuscinetti radenti, con corona dentata (fascicolo unico di 6 tabelle).

UNI 4829: Id. - Ruote di traslazione con bordini, con cuscinetti volventi, senza corona dentata (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 4830: Id. - Ruote di traslazione con bordini, con cuscinetti volventi, con corona dentata (fascicolo unico di 8 tabelle).

UNI 4831: Id. - Ruote di traslazione con cerchione a bordini, con cuscinetti volventi, senza corona dentata (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 4832: Id. - Ruote di traslazione con cerchione a bordini, con cuscinetti volventi, con corona dentata (fascicolo unico di 6 tabelle).

UNI 4833: Id. - Corone dentate a flangia e bussole di recisione per ruote di traslazione (fascicolo unico di 6 tabelle).

UNI 4834: Id. - Corone dentate da montare alla pressa, per ruote di traslazione con cuscinetti volventi (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4835: Id. - Cerchioni lavorati per ruote di traslazione (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4836: Id. - Coperchi di chiusura per ruote di traslazione con cuscinetti volventi (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 4837: Id. - Bussole per cuscinetti radenti per ruote di traslazione (fascicolo unico di 2 tabelle).

C.D. 621.882.072:381.717 = *Bulloneria - condizioni di fornitura*.

UNI 3740: Bulloneria di acciaio - Classificazione, collaudo e imballaggio (fascicolo unico di 21 tabelle). (2ª Ediz.).

C.D. 625.2 = *Materiale rotabile ferroviario*.

UNI 4816: Organi del rodiggio dei rotabili ferroviari - Termini e definizioni (fascicolo unico di 13 tabelle).

C.D. 625.82 = *Carrozze motrici tranviarie urbane*.

UNI 3332: Carrozze motrici tranviarie urbane - Cerchioni delle ruote (2ª Ediz.). C.D. 629.113.018 = *Avvisatori - segnali per veicoli terrestri*.

RECENSIONI

MARIO LORIA, *Il cavouriano molino da riso del Regio Parco in Torino*, Torino, «Atti dell'Accademia delle Scienze», 1961 (vol. 95).

La trasformazione del risone in riso mercantile era ancora intorno al 1845 un problema molto complesso.

Tale trasformazione avveniva con macchine primordiali, che impegnavano la manodopera delle aziende per tutto l'inverno e la primavera, e talora non si arrivava a elaborare tutto il raccolto dell'annata.

Solo nel 1869, si arriva con macchine moderne ad una trasformazione razionale.

In alcuni scritti del Cavour al suo fattore e a un amico, competente tecnico, l'autore nota che fin dal 1844, lo statista, non ancora ministro, si era impegnato a fondo, nel tentativo di risolvere il problema, mantenendo dapprima collegamenti con tecnici francesi e creando infine una società per iniziare tale lavorazione in Torino.

L'autore desideroso d'accertare quali fossero i metodi di lavorazione iniziati dal Cavour, si pone in caccia.

Ritrova all'Archivio di Stato una pratica riguardante la concessione di privilegi alla Società del Molino del Regio Parco. Un misterioso e introvabile plico di disegni sigillati lo spinge nell'Archivio dell'Accademia delle Scienze.

I disegni e le unite spiegazioni tornano alla luce, ed è bello osservare come queste prime iniziative per risolvere una lavorazione abbiano contribuito alla definitiva risoluzione avvenuta 25 anni dopo.

Due piccole cose ancora da notare: l'elegante veste tipografica in una concessione governativa di quell'epoca, e la squisita finezza del Cavour, rimasto momentaneamente a corto, nel chiedere quattrini.

G. CAPPA BAVA

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT**

Autorizzazione Tribunale di Torino, n. 41 del 19 Giugno 1948

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - TORINO