

# 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*

## Valutazione dei fabbisogni di energia termica nella acclimazione di edifici costruiti con elementi strutturali "prefabbricati"

*AURELIO VACCANEO propone un metodo di calcolo per la valutazione (approssimata, su basi statistiche) dei fabbisogni di calore necessari per l'acclimazione di edifici strutturati ad elementi « prefabbricati », con particolare riferimento agli ambienti industriali e ad edifici tipici i cui dettagli di progettazione e costruzione saranno oggetto di un successivo studio di Alberto Giordano.*

### I) Generalità.

Ricordiamo brevemente che l'edilizia moderna orienta sempre più i suoi metodi costruttivi verso soluzioni, cosiddette di prefabbricazione, principalmente per ridurre l'impiego in cantiere di operai qualificati e la durata complessiva della costruzione in opera.

L'industria attinente all'edilizia si è da tempo resa conto di questa effettiva convenienza e si è in corrispondenza attrezzata a costruire — più e meglio — elementi strutturali prefabbricati (indicati nel seguito con il simbolo *P*) che richiedono anzitutto, per la loro messa in opera, un semplice e rapido montaggio d'insieme.

La realizzazione di questo requisito fondamentale impone normalmente l'adozione di unità *P* aventi adeguate tolleranze unitarie e quindi corrispondenti laschi reciproci a montaggio avvenuto. Questi ultimi nelle costruzioni industriali (a cui direttamente ci riferiremo in questa sede, riservando ad altra memoria le considerazioni, in gran parte analoghe, valide per i fabbricati cosiddetti civili) risultano caratterizzati da una entità complessiva talora assai cospicua e comunque quasi sempre molto più elevata in confronto alle costruzioni senza so-

stanziale prefabbricazione: e che per brevità chiameremo tradizionali, indicandole con il simbolo *T*.

È ovvio inoltre che parallele (o conseguenti) esigenze di razionale ed economico magazzinaggio dei prefabbricati in oggetto presso l'industria costruttrice e del successivo loro trasporto e facchinaggio a destino, oltreché la convenienza di realizzare minime dimensioni volumetriche in opera per detti prefabbricati, consiglino in definitiva l'adozione di strutture caratterizzate sia da pesi ridotti che da ingombri piccoli.

Il che comporta, di norma, una bassa capacità termica media ponderale dell'insieme strutturale dell'edificio.

L'insieme dei sopraindicati laschi infrastrutturali — i quali per di più tendono quasi sempre ad aumentare notevolmente nel corso dei primi anni dopo il montaggio — comporta permeabilità ai passaggi d'aria: questi, unitamente alla surriferita bassa capacità termica media ponderale dei fabbricati (ed ambienti) *P* conseguono in definitiva ed in confronto alle soluzioni *T* delle maggiorazioni sensibilissime nei fabbisogni energetici necessari per realizzare le richieste condizioni climatiche am-

bientali (sia per finalità di benessere che tecnologiche).

Si consideri infatti un qualsiasi ambiente delimitato da determinate pareti di involucro perimetrale, e si vogliano realizzare all'interno condizioni climatiche in genere, e termiche in particolare, differenti da quelle vigenti all'esterno.

Tale ambiente deve usufruire di impianti consumatori di energia termica, ed in genere anche elettrica per i servomezzi, capaci di compensare con tempestività e continuità le portate di calore che comunque passano attraverso le pareti di involucro e che nel loro effetto risultante siano atte — se non neutralizzate — a realizzare un clima ambientale sostanzialmente differente da quello richiesto.

Sottoponendo la suddetta ovvia considerazione d'insieme ad una analisi indicativa anche solo dei più significativi dettagli tecnico-funzionali, si rilevano elementi particolari, generalmente poco noti, la cui conoscenza è indispensabile e chiarificatrice per una razionale valutazione tecnico-economica dei consumi di energia in oggetto e dei mezzi idonei ad una loro apprezzabile riduzione.

Facciamo anzitutto presente che i suindicati passaggi di calore, per

uno stesso andamento di differenze climatiche esterno/interno (=DCI) ed a parità di coibenza strutturale complessiva, hanno caratteristiche diverse per gli involucri *P* rispetto a quelli *T*, in funzione della capacità termica effettiva *C* ed a seconda che i suddetti passaggi di calore si verificano in regime prevalente di variazione rapida ovvero lenta delle suddette DCI, cioè sostanzialmente in presenza di atmosfera esterna senza nubi e limpida, ovvero con nubi o brumosa.

Infatti, la *C* di un dato elemento strutturale si comporta di fatto in tutte le fasi di variazioni (lente o rapide) delle DCI nel senso di raccogliere, accumulare e poi restituire buona parte (=1), (vd. Capitolo II) del calore che, in sua assenza, andrebbe disperso all'esterno o non utilizzato all'interno, ad opera dei «passaggi» in oggetto che si realizzano in proporzione al coefficiente globale di trasmissione termica *K* della struttura considerata (=kcal/m<sup>2</sup> struttura × °C × h).

È ovvio che durante ogni variazione di DCI inversa alla precedente (che supponiamo in fase di accumulazione), in periodo di riscaldamento invernale si verifica o una parziale restituzione di energia termica o per lo meno un proporzionale rallentamento nella precedente portata di fabbisogno energetico.

Inoltre, con riferimento specifico alla rapidità con cui si effettuano le variazioni DCI, va posto in evidenza che con atmosfera serena (cioè suscettibile di effettiva insolazione nelle ore diurne) e specialmente durante gli intervalli di transizione dalle, e alle, ore senza insolazione, si realizzano sempre degli sbalzi rapidi e considerevoli di temperatura esterna: ad esempio, a Torino (Italia Settentrionale) detti sbalzi raggiungono sino a 25°C (d'inverno), concretandosi in intervalli anche solo di 1 ÷ 3 ore.

Sottoposte alle sopraindicate condizioni di elevato gradiente termico, le pareti *P* (a minima capacità termica) hanno temperature che si allineano rapidamente a quelle esterne, ripercuotendo pressochè senza isteresi nell'ambiente interno le variazioni termiche esterne, con uno smorzamento dovuto alla sola coibenza e che, come tale, interessa unicamente l'ampiezza ma non la frequenza delle variazioni stesse.

Le corrispondenti variazioni termiche negli ambienti comportano un effettivo disturbo di benessere climatico e quindi adeguate correzioni (=2), (vd. Capitolo II) di apporto ambientale di energia termica (positive di inverno e negative di estate), le quali risultano in definitiva sempre onerose, in funzione della effettiva isteresi termica del complesso dell'impianto generatore-veicolatore-distributore della energia termica stessa negli ambienti interessati.

Queste correzioni risultano in rilevante maggiorazione rispetto alle strutture tradizionali ad uguale coibenza, non solo in funzione diretta della inferiore corrispondente capacità termica della struttura direttamente interessata dalla DCI, bensì anche — in misura minore, ma sempre cospicua — della (più piccola) capacità risultante di tutto il complesso strutturale costituente l'edificio o l'ambiente considerato: di solito, per i fabbricati industriali, nel suddetto complesso l'importanza predominante spetta alle strutture di copertura.

I succitati passaggi di portate caloriche attraverso le pareti di involucro si effettuano non solo per conduzione ed irradiazione, bensì anche per convezione di aria: è ovvio che quest'ultima può assumere importanza eccezionale se è elevata la permeabilità all'aria della struttura e la differenza di temperatura interno/esterno, tramite i suindicati laschi (di fabbricazione e di montaggio).

A parità di permeabilità speci-

fica (per m<sup>2</sup> di involucro strutturale), detta perdita energetica si esalta nelle coperture (prefabbricate) a sheds, da un lato perchè la falda inclinata del shed attiva tutti gli effetti convettivi propri della struttura, d'altro lato, ed essenzialmente, perchè la struttura mista di coperture opache e trasparenti rende più difficile la tenuta media reciproca degli elementi strutturali ed accentua tutti i movimenti di dilatazione termica di questi ultimi.

In definitiva, assistiamo normalmente, durante la stagione fredda, nei capannoni industriali «prefabbricati» ad una massiccia fuga d'aria calda nella zona centrale della copertura e ad una corrispondente entrata d'aria fredda nella zona perimetrale e lungo le pareti verticali periferiche. Durante le stagioni calde il fenomeno è invece pressochè inavvertibile perchè sono molto più piccole le differenze di temperatura esterno/interno e quindi i corrispondenti moti convettivi.

A questo fenomeno corrispondono, durante il periodo di riscaldamento d'ambiente, i seguenti sperperi energetici: Diretto (=3), (vd. Capitolo III) in funzione della fuga di aria calda la quale, si noti, rispetto alla media ambientale presenta il valore più elevato (di ca. 2 ÷ 3°C) nella zona più alta del fabbricato da cui appunto sfugge l'aria. Indiretto (=4), (vd. Capitolo III) perchè il movimento centripeto di entrata aria fredda periferica e di uscita aria calda dal centro realizza naturalmente degli squilibri di temperatura ambientale — a danno della fascia periferica — di più °C (persino 6 ÷ 7°) in relazione, come ovvio, all'entità del fenomeno ed alle dimensioni, specie in altezza, del fabbricato: questo comporta la necessità di immettere più calore nella fascia periferica di quanto sarebbe necessario per compensare di stretta misura la corrispondente entrata d'aria fredda, in quanto il benessere termico delle

persone richiede temperature minime più elevate quando in uno stesso ambiente vi sono squilibri termici di qualche °C.

Infine, lo stesso movimento centripeto e verticale dell'aria calda ambiente accentua la stratificazione diffusa ed uniforme nella zona alta centrale delle fumane e degli inquinamenti dell'aria che sono propri degli ambienti industriali; e che potrebbero essere invece più razionalmente localizzati ed asportati in assenza del fenomeno in oggetto.

Anche questa estesa diffusione stratificata di inquinanti atmosferici richiede evidentemente, per essere neutralizzata, un maggior apporto di aria di ricambio e corrispondente disperdimento calorico (=5), (v. Capitolo III) nella zona alta centrale; aria che però può essere a temperatura più bassa di quella media ambientale semprechè la sua immissione nell'ambiente sia effettuata con particolari accorgimenti tecnici.

Occorre pure tenere conto del maggior disperdimento termico (=6), (vd. Capitolo IV) che deriva direttamente da un'eventuale mediocre coibentazione strutturale.

È ovvio che all'insieme *S* (da 1 a 6) dei suindicati maggiori disperdimenti calorici debbono aggiungersi i corrispondenti maggiori consumi di energia elettrica derivanti direttamente dai precedenti per realizzare sia la suddetta maggior produzione di calore in centrale, sia la distribuzione del calore stesso in ambiente.

L'entità di tali consumi di energia elettrica varia a seconda del tipo di centrale termica e di impianto di riscaldamento.

A titolo indicativo si informa che per gli stabilimenti Fiat in Torino si ha mediamente un consumo specifico di energia elettrica pari a ca. 1 Wh per ogni 60 ÷ 80 kcal erogate.

Il costo globale consuntivo di *S* (=calore utile) è in conclusione composto dal valore di mercato

di *S* stesso dopo maggiorazione delle corrispondenti perdite di rendimento complessivo medio-ponderale-annuale degli impianti generatori e distributori del calore (=7), sommato al valore di mercato (=8) della energia elettrica in corrispondenza consumata e infine a tutte le altre spese (=9) di esercizio (e manutenzione) degli impianti generatori, distributori ed utenti ed infine alle spese (=10) di ammortamento ed interesse dei capitali spesi per gli impianti stessi.

Questi impianti da un lato hanno potenzialità crescente in proporzione diretta dell'entità delle punte orarie (sovrapposte) del fabbisogno termico da superare (le quali producono circa un raddoppio, a Torino, dei suindicati complessivi disperdimenti calorici medi ponderali), e d'altro lato sono caratterizzati da un periodo di ammortamento che è nettamente inferiore (del 70 ÷ 50 %) a quello afferente alle strutture di involucro: il che va tenuto ben presente nel valutare l'incidenza economica che sul costo gestionale complessivo dell'edificio avrebbe un appesantimento delle strutture per dare loro la *C* sopra indicata ed una più piccola permeabilità all'aria.

Su questo lato importantissimo del problema non possiamo qui intrattenerci, perchè fuori tema: invece su quello riguardante le (assai più esigue) ripercussioni energetiche della capacità sull'esercizio estivo degli impianti industriali di raffreddamento e ventilazione, ritorneremo brevemente nel capitolo V.

È evidente che l'analisi, qualitativa ed a sfondo essenzialmente energetico, che abbiamo ora effettuato dalla principale fenomenologia derivante dall'adozione dei prefabbricati e con riferimento all'acclimazione termica degli ambienti interessati, è solo approssimata o meglio ha validità cosiddetta «industriale», cioè non è caratterizzata da rigore scientifico,

il quale richiederebbe uno studio ben più approfondito e di dettaglio termotecnico di quanto riteniamo di compiere in questa sede.

D'altronde, desideriamo far ben presente, e sin d'ora, che un esame veramente rigoroso di tutti gli elementi (additivi e moltiplicativi) che intervengono nella determinazione del risultato finale, se favorirebbe ulteriormente la chiarezza di dettaglio del quadro fenomenologico ora esposto, non ne migliorerebbe di fatto la visione d'insieme nè i risultati «energetici» che ci prefiggiamo nel nostro studio.

Questo perchè gli elementi in oggetto sono, nella realtà operante, continuamente ed irregolarmente variabili (in entità, direzione ed interazione) si può dire da ora ad ora dell'intero periodo (di riscaldamento o raffreddamento) interessato dai consumi energetici; ed in misura ancora più sensibile da località a località anche a parità di latitudine, (in funzione della effettiva entità della insolazione, dei venti dominanti, della piovosità e nevosità, dell'orientamento ecc.).

Occorre pertanto in definitiva ed obbligatoriamente fare riferimento — per ciascuna località — a risultati consuntivi realmente statistici.

Questi risultati potranno essere, con accettabile approssimazione industriale, estrapolati a moltissime applicazioni pratiche: purchè si tenga presente, in modo e misura razionali ed adeguati al caso specifico, tutto il quadro d'insieme che abbiamo in parte già esposto e che completeremo nel seguito dello studio.

Desideriamo perciò far ben presente che tutte le considerazioni qualitative su esposte, così come quelle che seguiranno, poggiano su risultati consuntivi riscontrati in molti fabbricati industriali di cubatura variabile fra i 20.000 ed i 500.000 mc ambiente, costruiti e gestiti a cura della Divisione Co-

struzioni e Impianti della S.p.A. Fiat (Torino - Italia).

Per detti fabbricati infatti (di un volume complessivo d'ambiente pari a oltre 20 milioni di m<sup>3</sup>) si è in possesso di dati sperimentali rilevati con i normali metodi di indagine ed avvalorati da risultati statistici di consumi energetici riscontrati nel corso di molti mesi od anni di esercizio.

Sulla base di tutto quanto sopra passeremo di seguito a precisare indici numerici, industrialmente accettabili, dei (più elevati in confronto a corrispondenti strutture tradizionali) consumi energetici suaccennati prendendo, per base, dei valori assoluti unitari di capacità termica e di permeabilità specifica all'aria riferentisi a strutture prefabbricate generiche. Si farà pure cenno all'effetto specifico della coibenza (termica).

Successivamente applicheremo gli indici medi unitari così ottenuti ad esempi di prefabbricati (già sperimentati in fabbricati industriali) previsti al fine appunto di ridurre i disperdimenti in oggetto.

Facciamo presente a questo punto che tutti i computi numerici riportati nella memoria fanno riferimento implicito al clima di Torino, che è caratterizzato da una temperatura minima invernale di  $-(10 \div 12)^\circ\text{C}$ , da una media ponderale invernale (per 150 gg/anno) di  $+4^\circ$  (e da una massima estiva di  $30 \div 32^\circ\text{C}$  con umidità relativa ca. del 50 %).

Così pure le indicazioni ed i riferimenti energetici dei capitoli II, III, IV riguardano, implicitamente, il solo periodo invernale, in cui cioè si effettua un riscaldamento d'ambiente per realizzare le richieste condizioni di clima; mentre i riferimenti al periodo estivo (nella supposizione di impiegare dell'energia per rinfrescare l'ambiente considerato) saranno considerati esplicitamente nel (solo) capitolo V.

## II) Indici del maggior disperdimento energetico afferente alle strutture prefabbricate in confronto a quelle tradizionali, derivante da minor capacità termica (media ponderale).

Si prendano in esame le caratteristiche termotecniche delle pareti  $T$  e  $P$  costituenti mediamente l'involucro di un ambiente qualsiasi circondato da un ambiente esterno a clima differente, delle quali la  $P$  vuole rappresentare il tipo limite di prefabbricato, cioè caratterizzato sia pure da elevata coibenza ma da capacità termica  $C$  ( $=\text{kcal/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ ) praticamente trascurabile; mentre la  $T$  rappresenta la struttura tipica tradizionale, cioè con una  $C$  di entità apprezzabile e dell'ordine di grandezza ad es. di  $25 \text{ kcal/m}^2 \times ^\circ\text{C}$ , corrispondente mediamente ad un peso in opera di  $150 \div 125 \text{ kg/m}^2$ .

Si consideri una variazione del  $DCl$ , rispetto al clima esistente, quale si verifica nella normale messa a regime termico di un ambiente dopo una interruzione notturna. La messa a regime, come è di norma, si suppone avvenga: in un intervallo di tempo ( $=D\theta$ ) relativamente breve (che per la parete  $P$  sia di ca. 2 ore); con temperatura esterna ( $=+4^\circ\text{C}$ ) praticamente costante; con differenziali termici ( $=DI; DE$ ) fra le temperature superficiali interne ( $=I$ ) e fra quelle esterne ( $=E$ ), considerate alla fine ed all'inizio della messa a regime. Sia  $DI=7,5^\circ$  e  $DE=1,5^\circ\text{C}$  in riferimento a temperature ambientali interne: iniziale di ca.  $9^\circ\text{C}$  e finale di  $17 \div 19^\circ$ , media  $18^\circ\text{C}$ .

Per la parete  $P$  si può ritenere che sia le  $I$  che le  $E$  si adeguino pressochè istantaneamente ai corrispondenti e contemporanei differenziali termici  $Dt$  (fra l'ambiente interno e quello esterno) in modo che il flusso di calore attraverso  $1 \text{ m}^2$  di parete risulti in continuità uguale a

$$K \times Dt / m^2 \times h$$

in cui:

$$K = \frac{1}{1/a_i + 1/c + 1/a_e} \text{ kcal/m}^2 \times ^\circ\text{C} \times h;$$

$a_i$  ed  $a_e$  sono i coefficienti limitari di trasmissione/ $\text{m}^2 \times ^\circ\text{C} \times h$  delle facce interna ( $=i$ ) ed esterna ( $=e$ ) della parete considerata;  $c$  è la conducibilità/ $\text{m}^2 \times ^\circ\text{C} \times h$  della parete in oggetto.

Il coefficiente  $c$  si può ritenere costante nell'ambito delle indicate variazioni di  $I$  e di  $E$ , mentre per i coefficienti  $a_i$  ed  $a_e$  si può ammettere in media che i loro valori corrispondenti aumentino (per un valore iniziale posto uguale ad 1) rispettivamente da 1 a ca. 1,5 e da 1 a ca. 1,2 dall'inizio alla fine della messa a regime.

In corrispondenza, con un  $K$  iniziale (medio ponderale per l'involucro del fabbricato e quindi per  $P$ )  $=1,0$  si avrà un  $K$  finale ca.  $=1,05$ . Tenendo presente che l'aumento della temperatura dell'aria ambiente ha gradiente molto più ripido nella prima ora che nella seconda potremo, con approssimazione industriale, ritenere che la quantità di calore  $Q(K)$  dispersa all'esterno attraverso  $P$  durante le due ore di messa a regime dell'ambiente interno sia valutabile pari a:

$$\geq 1,0 \times 5^\circ + 1,05 \times 14^\circ = \text{ca. } 20 \text{ kcal/m}^2 = Q(K),$$

in cui  $5^\circ$  è il  $Dt$  iniziale ( $=9^\circ-4^\circ$ ) e  $14^\circ$  è quello finale ( $=18^\circ-4^\circ$ ).

Osserviamo ancora (tanto per  $P$  che per  $T$ ) che, di solito, mentre l' $a_i$  tende ad aumentare con il tempo a causa dell'inevitabile insudiciamento della superficie interna  $i$ , invece l' $a_e$  tende piuttosto a ridursi sia per effetto dell'azione decolorante dei raggi solari che del lavaggio e liscivatura effettuati dagli agenti meteorologici in genere; e questo vale specialmente per le pareti di copertura.

Si consideri ora la parete  $T$  e si supponga che i coefficienti  $K$  abbiano lo stesso valore dei  $K$  di  $P$  in corrispondenza agli stessi valori di  $I$  ed  $E$ .

Con la parete  $T$  però (a differenza di quanto si verifica per la parete  $P$ ), ad opera della capacità  $C$  caratteristica di  $T$  ed in corrispondenza ad ogni valore di  $Dt$  non si ottiene durante  $D\theta$  un flusso di calore all'ambiente esterno che sia pari, in continuità, a:  $K \times Dt$ , bensì il flusso è tanto più piccolo quanto maggiore è  $C$ . Questo perchè le temperature  $I$  ed  $E$  si adeguano solo progressivamente ai corrispondenti  $Dt$ , immagazzinando nel corrispondente intervallo di tempo  $D\theta$  una quantità di calore ( $=Q(C)$ ) che in definitiva ed a regime risulta circa uguale a:

$$C \times \left( \frac{DI}{2} + \frac{DE}{2} \right)$$

Quindi nel nostro caso sarà:

$$Q(C) = \text{ca. } 110 \text{ kcal/m}^2.$$

Abbiamo però visto per  $P$  che durante le 2 ore della corrispondente messa a regime il calore  $Q(K)$  che attraversa la parete è valutabile in sole complessive 20 kcal/m<sup>2</sup> ca.

A tale calore occorre: 1) aggiungere quello  $DQ(I)$  che penetra in più entro  $T$  perchè la temperatura  $I$  sale in  $T$  molto più lentamente che in  $P$ , mentre invece — con riscaldamento a sola aria calda, come si effettua di fatto in quasi tutti i capannoni industriali — la temperatura dell'aria ambiente raggiunge il valore di regime ( $=18^\circ\text{C}$ ) in un  $D\theta$  di pochissimo maggiore delle 2 ore necessarie per  $P$ ; 2) sottrarre quello  $DQ(E)$  che comunque sfugge da  $T$  verso l'ambiente esterno, e che è sensibilmente minore di  $DQ(K)$  perchè la  $E$  sale molto più lentamente in  $T$  rispetto a  $P$ ; 3) sottrarre una piccola frazione (che qui trascuriamo) derivante dal fatto che l'accumulo è prevalente nella prima ora rispetto alla seconda, quando cioè il  $K$  è minore.

Di fatto, nel caso considerato si può ammettere (sempre con le riserve più sopra indicate) che mediamente il gradiente di aumen-

to di  $I$  nelle due ore considerate sia circa il 40 % di quello per  $P$  e quello di  $E$  circa il 30 % di quello per  $P$ .

In conseguenza, si può ammettere che sia:

$$DQ(I) = 0,4 \quad DQ(K);$$

$$DQ(E) = 0,3 \quad DQ(K),$$

e quindi il  $Q(C)$  dopo le prime 2 ore ( $=D\theta$ ) sarà  $=20(1+0,4-0,3) = 20 \times 1,1 = 22 \text{ kcal/m}^2$ : di questo valore  $Q(K)$  la frazione  $(1-0,3=0,7) \times 20 = 14 \text{ kcal/m}^2$  è gratuitamente recuperata in quanto sottratta al disperdimento  $Q(K)$ .

Pertanto in definitiva  $T$  nelle due ore in oggetto potrà immagazzinare le sole suddette 22 kcal per azione di  $K$ : questo quantitativo sarà tanto più grande quanto maggiore è  $1/a_i$  rispetto a  $1/a_e$ . Il calore immagazzinato sarà in realtà più elevato ad opera della portata d'aria (calda) che passa attraverso le strutture, cedendo a queste del calore per convezione.

L'intero valore  $Q(C)$  di regime sarà raggiunto all'incirca in ulteriori  $4 \div 6$  ore, in funzione, come ovvio, della temperatura esterna (e delle condizioni atmosferiche in genere) durante il periodo successivo alle prime due ore di messa a regime della temperatura ambientale interna. Se infatti durante detto periodo si avesse un effetto di insolazione, la  $C$  della  $T$  insolata riceverebbe contemporaneamente (ed accumulerebbe) calore sia dall'interno che dall'esterno, o per lo meno ridurrebbe sensibilmente i disperdimenti della parete esterna.

Questo accumulo in  $C$  (o almeno riduzione di disperdimenti) è notevole anche perchè durante i periodi di insolazione l' $a_e$  aumenta naturalmente di valore rispetto al periodo senza insolazione.

Ne deriva che (in pratica e mediamente) si può ritenere che nella fase di 1° avviamento la  $C$  accumula ca.  $110 \text{ kcal/m}^2$  di cui sono grauiti ca. i 2/3 nelle giornate insolate e ca. la 1/2 nelle

giornate non insolate (a valere per le latitudini di ca.  $45^\circ$  e cioè dell'Italia Settentrionale).

La fase di avviamento si ripete nel pomeriggio avanzato delle giornate insolate con un effetto termico pari a ca. la metà di quello di 1° avviamento.

Il calore comunque accumulato da  $C$  è di fatto riutilizzato all'interno almeno per i 2/3 durante le ore in cui si ha una riduzione della temperatura ambiente interna o un aumento di quella esterna (maggiore di ca.  $2^\circ\text{C}$ ).

Ammettendo che le giornate insolate della stagione di riscaldamento siano ca. 50, e 100 quelle non insolate, il ricupero di calore gratuito è di conseguenza valutabile stagionalmente in:

$$\begin{aligned} & \text{kcal/m}^2 \times \text{stagione:} \\ 50 \times \left( \frac{2}{3} 110 + \frac{2}{3} \frac{1}{2} 110 \right) \frac{2}{3} &= 3.700 \\ 100 \times \frac{1}{2} 110 \times \frac{2}{3} &= 3.650 \\ & \underline{\underline{7.350}} \end{aligned}$$

Dunque, il totale risparmio per  $\text{m}^2 \times \text{stagione}$  derivante da una  $C$  di ca.  $25 \text{ kcal/m}^2 = ^\circ\text{C}$  è di ben 7350 kcal: questo valore-indice costituisce appunto l'indice (1).

Il valore-indice in oggetto, per le strutture di copertura tende ad aumentare con il crescere dell'altezza ambientale, sotto catena, in ragione di ca.  $5 \div 10$  % in più per ogni metro di altezza al disopra di  $4 \div 6$  e sino a ca. 10 m (per quanto a nostra attuale conoscenza sperimentale): indicheremo con (1') la suddetta maggiorazione.

A questi guadagni netti e diretti (1)+(1') si deve aggiungere il beneficio di regolarizzazione della temperatura ambiente che, come detto, è sostanziale specie per le persone non in movimento, con minima attività fisica e situate in prossimità delle pareti, e che, come noto ai progettisti di impianti di acclimazione in ambienti con pareti cosiddette « sottili », si tra-

duce in un risparmio termico valutabile in ca. 1°C.

Pertanto, in presenza di  $C$ , si può realizzare tale riduzione di 1° ambiente con riferimento, si intende, alle più sopra indicate temperature: esterna media ponderale invernale = +4°; interna ambientale = 18°. Ne consegue una riduzione del  $Dt$  medio ponderale (stagionale), che per  $C=25$  va da 18°,5 — 4°=14°,5 a 17°,5 — 4°=13°,5. La stessa equivale al 7 % sul complesso dei consumi durante le ore (supposte 1500/stagione) in cui la temperatura ambiente è mantenuta a ca. 18°, il che corrisponde praticamente ad un effettivo minor fabbisogno di calore pari a ca. il 5 % dei totali consumi stagionali: risparmio che costituisce l'indice (2) e che si somma integralmente alle 7350 kcal/m<sup>2</sup> × stagione. L'indice (2) è circa proporzionale a  $C/25$ .

### III) Indici del maggior disperdimento energetico delle strutture prefabbricate in confronto a quelle tradizionali, derivante da maggior permeabilità all'aria (media ponderale).

Riferimento a quanto indicato nelle Generalità, gli indici in oggetto sono i tre seguenti:

1) Per fuga diretta di aria calda, nella zona alta dell'ambiente, a temperatura media ca. pari a 18°+2°=20°C, cioè con un  $Dt$  (rispetto all'esterno) medio ponderale stagionale di 20° — 4°=16°. L'entità del corrispondente disperdimento è assai variabile anzitutto con il tipo di struttura  $P$ : per le  $P$  meno stagne — vd. capo VI — in coperture a sheds alte (sotto catena) 5 ÷ 6 m, abbiamo riscontrato fughe pari sino a ca. 8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> ×  $h$  in corrispondenza a  $Dt=16°$ : possiamo ritenere che tali fughe aumentino sensibilmente con la produzione endogena di

calore ( $PEC$ ) per valori superiori a ca. 50 kcal/m<sup>2</sup> ×  $h$  × °C.

Una fuga equivalente a 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> ×  $h$  comporta un indice di disperdimento energetico (che si realizza di fatto per circa 1500+500=2000 ore/stagione) pari a ca. 1 × 2000 × 16 × 0,31=10.000 kcal per stagione e per m<sup>2</sup> della fascia centrale, costituendo l'indice (3).

Questa fascia centrale rispetto alla copertura totale ha un'incidenza valutabile a ca. il 75 %, se l'impianto di riscaldamento, a termoventilazione, realizza una sufficiente uniformità termica orizzontale e specie verticale; con bocchette di immissione dell'aria a quota non inferiore al sottocatena e in ragione di almeno una bocchetta ogni 100 m<sup>2</sup> di copertura; con portate ambientali di aria: in circolazione complessiva ( $AC$ ), di ricambio controllato ( $ARC$ ) e di espulsione controllata ( $AEC$ ) espresse tutte in volumi ambiente/ora, che risultino adeguate alla  $PEC$ . Detti valori dovranno cioè approssimativamente risultare:  $AC$ ,  $ARC$ , comunque non inferiori a 3 rispettivamente. 1, già con  $PEC=50$ ; e crescenti per ogni aumento  $PEC=25$  in ragione di almeno  $AC=1$  e  $ARC=0,5 ÷ 1$  (=in più, ed in funzione, dei ricambi effettuati indipendentemente, per motivi tecnologici). L' $AEC$  dovrà essere commisurata alla  $ARC$ , con modalità adeguate e realizzata preferibilmente nella zona centrale.

Per le suddette enunciazioni e per  $PEC=50$ , l'indice (3) riportato all'intera copertura diventerebbe =0,75 × 10.000=7.500 kcal/m<sup>2</sup>. Ma tenendo conto che il valore delle fughe d'aria aumenta con  $Dt$  in ragione più che lineare, si può ammettere un aumento medio ponderale stagionale pari a ca. il 30 ÷ 35 %: in conseguenza l'indice (3) ridiventa valutabile in 10.000 kcal per ogni m<sup>2</sup> di tutta la copertura (per stagione).

2) Per ovviare agli squilibri termici fra la fascia periferica e

quella centrale: l'indice (=4) si può valutare ca. pari a quello analogo indicato per  $P$  in II, e cioè =5 % totali consumi stagionali (per fughe d'aria di ca. 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> ×  $h$ , c.s.d.).

3) Per ovviare all'inquinamento degli strati superiori dell'aria ambiente: l'indice (=5) può essere valutata in ca. il 2 % dei totali consumi stagionali (sempre per fughe c.s.d.).

L'entità di tutte le tre suindicate dispersioni caloriche tende ad aumentare con l'altezza dell'ambiente, in una proporzione che (sempre con valutazione di massima) è del 20 %/m per la prima, del 10 %/m per la seconda e del 5 %/m per la terza. Questo incremento vale sino a ca. 10 metri sottocatena: oltre non abbiamo oggi dati attendibili. Gli indici corrispondenti sono rispettivamente il (3'); il (4'); il (5').

### IV) Indici di disperdimento energetico derivante dalla conduttività strutturale (media ponderale).

Questi indici valgono sia per le  $P$  che per le  $T$ .

In corrispondenza ad ogni riduzione di 1 kcal/m<sup>2</sup> × °C ×  $h$  nel valore medio ponderale  $K$  di una qualsiasi struttura di parete (verticale), si deve conteggiare un minor disperdimento (=6) di ca. 1 × (18° — 4°) × (1500+500 h)=28 mila kcal/m<sup>2</sup> × stagione. Questo indice tende ad aumentare per le coperture, ad opera della più elevata temperatura dell'aria ambiente in contatto con le stesse, di ca. 1 × (20° — 18°) × (1500+500 h)=4.000 kcal/m<sup>2</sup> × stagione con altezze sotto catena di 5 ÷ 6 m e di un ulteriore 10 % ca. per ogni m in più di altezza oltre i 5 ÷ 6 (e sino a 10 ca.): indichiamo con (6) e (6'') le suddette maggiorazioni.

L'indice (6) tende, invece, a diminuire al crescere di  $C$ .

### V) Disperdimento energetico strutturale, derivante da bassa capacità o da permeabilità all'aria o da conducibilità (medie ponderali), a valere per le sole stagioni calde.

Distinguiamo anzitutto gli ambienti industriali (che sono attualmente in esigua minoranza) in cui si effettua un qualche raffrescamento o condizionamento dell'aria e cioè comunque con apprezzabile impiego di energia, da quelli invece in cui si realizza solo della ventilazione con aria non trattata.

Questi ultimi non sono caratterizzati da un consumo energetico di rilievo e quindi non ci interessano direttamente.

Dei primi invece, e per quanto le corrispondenti possibili riduzioni globali abbiamo, attualmente, entità nettamente inferiore a quelle riguardanti la stagione di riscaldamento, si ritiene opportuno un breve cenno in merito, anche perchè è prevedibile che in un prossimo avvenire gli ambienti in oggetto aumentino sensibilmente in percentuale e, ancora più, per valore assoluto « termoenergetico ».

In detti ambienti, una elevata  $C$  strutturale (a parità di  $K$ ) rallenta sensibilmente (vd. II; e specie al mattino) l'entrata del calore in ambiente tramite le  $T$  che risultano progressivamente insolate: il calore accumulato da  $C$  viene riversato durante le ore diurne in parte nell'ambiente ed in parte all'esterno dalle  $T$  che, in corrispondenza, non sono insolate; e, in qualsiasi ora notturna, da ogni  $T$ .

È evidente che, in confronto alle  $P$ , tutto il calore accumulato che è riversato all'esterno nelle ore diurne, o comunque all'esterno ed all'interno nelle ore notturne va praticamente tutto a beneficio dell'ambiente nelle ore diurne.

Una determinazione numerica di quanto sopra, sia pure con tutte le riserve espresse in I, richie-

derebbe la precisazione quantitativa e simultanea di numerosissime variabili — che invece si differenziano grandemente sia nel tempo che a seconda della località, della esposizione delle  $T$  (oltrèchè, in particolare, delle pareti vetrate), dell'altezza dell'ambiente, del calore endogeno — per il che le conclusioni risulterebbero accettabili in via del tutto eccezionale, anzichè costituire tendenzialmente un indice statistico, che in questo campo non ci sentiamo di presentare.

Preferiamo pertanto indicare le seguenti considerazioni qualitative schematiche che, pur poggiando su qualche attendibile risultato consuntivo, sono necessariamente vaghe, tuttora in corso di studio e di controllo sperimentale di dettaglio e statistico: a valere comunque sempre solo per gli stabilimenti industriali, specie meccanici, di Torino e provincia (con riferimento particolare ad ambienti in cui si effettua una immissione di aria pari a 2,5 ÷ 3,5 volumi ambiente/ora, preliminarmente trattata con acqua freatica avente temperatura di ca. 14°C ed utilizzata, nel differenziale massimo di 6°C, in ragione di 0,5 kg/m<sup>3</sup> aria):

— aumenti (medi) di 100 kg/m<sup>2</sup> nel peso delle coperture comportano riduzioni ambientali termiche di circa 2 ÷ 3°C nei giorni ad elevata insolazione, purchè la produzione di calore endogeno non superi all'incirca le 50 kcal/m<sup>2</sup> ×  $h$ . Le riduzioni aumentano di ca. il 20 % per ogni metro in più di altezza sottocatena, oltre i 5 m e sino a 10;

— la permeabilità specifica all'aria non ha praticamente alcuna importanza;

— la coibenza termica è comunque indispensabile sino almeno al valore medio ponderale (specie in copertura) di 2 ÷ 2,5 kcal/m<sup>2</sup> × °C ×  $h$ . Al di là la sua azione è tanto meno apprezzabile quanto maggiore è il  $C$  corrispondente, la cui influenza diventa invece predominante;

— la natura fisico-chimica dell'isolante (specie di copertura) sembra abbia una influenza rilevante sul benessere delle persone, quanto più l'altezza dell'ambiente è ridotta;

— così pure la sensazione di malessere ambientale delle persone — e quindi la correlativa necessità, o convenienza, di più energetiche azioni di raffrescamento — è assai aumentata (molto più che durante la stagione di riscaldamento) dalla presenza di inquinanti nell'aria ambiente e, inversamente, dal suo stato di agitazione.

### VI) Applicazione esemplificativa degli indici II, III, IV di disperdimento energetico a prefabbricazioni realizzate.

Tutti i disperdimenti di calore fanno riferimento ad un fabbricato industriale a sheds, altezza libera 5 m, di 150 × 300 m: cioè di 45.000 m<sup>2</sup> coperti e 4800 m<sup>2</sup> di parete. Con una  $PEC$  di 40 ÷ 50 kcal/m<sup>2</sup> ×  $h$  ed un consumo medio stagionale (per le strutture figg. 1 e 2) di circa 125 kcal/h × m<sup>2</sup> coperto, si prevede un totale stagionale di 250.000 kcal/m<sup>2</sup> coperto, equivalente a 11.250 × 10<sup>6</sup> kcal per tutto il fabbricato.

Considerando un rendimento medio stagionale del 0,75 (risultante, di produzione e distribuzione) e un potere calorifico inferiore effettivo del fuel oil (che si suppone di bruciare)=9.600 kcal/kg, il consumo stagionale totale e per tutto il fabbricato è uguale a 1.560 tonnellate di combustibile (=FO).

In confronto al consumo-base suindicato, per ogni abbinamento parete+copertura delle strutture-tipo considerate negli allegati, si valutano, come segue, le corrispondenti variazioni dei corrispondenti disperdimenti (1) ÷ (6) ed infine gli FO relativi.

Soluzioni - base (1) + (2) : (3)  $\cong 6 \times 10.000 = 60.000 \text{ Kcal/m}^2 - \text{FO} = 1.560 \text{ tonn}$

Soluzione (3) (copertura):

$$\begin{aligned} (1) &\cong \frac{5}{25} \times 7.350 = + 1.470; \times 45.000 = + 67 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (3) &\cong (6-4) \times 10.000 = + 20.000; \times 45.000 = + 900 \times 10^6 \text{ »} \\ (6) &\cong 0,2 \times 32.000 = + 6.400; \times 45.000 = + 290 \times 10^6 \text{ »} \\ &\Sigma + 1.257 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (2) &\cong 5\% \frac{5}{25} = 1\%; \quad (4) \cong 5\% \frac{(6-4)}{2} = 5\%; \quad (5) \cong 2\% \frac{(6-4)}{2} = 2\% \end{aligned}$$

Soluzione (4) (parete):

$$\begin{aligned} (1) &\cong \frac{20}{25} \times 7.350 = + 5.850; \times 4.800 = + 28 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (6) &\cong (-0,3) \times 28.000 = - 8.300; \times 4.800 = - 40 \times 10^6 \text{ «} \\ &\Sigma - 12 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (2) &\cong 5\% \frac{20}{25} \times \frac{4.800}{45.000} \cong 1\% \end{aligned}$$

Soluzioni (3) + (4)  $\equiv (1) + (3) + (6) = 1.257 \times 10^6 - 12 \times 10^6 = + 1.245 \times 10^6$   
Kcal/stagione che equivalgono ad una riduzione « diretta »  $= + \frac{1.245 \times 10^6}{11.250 \times 10^6} = 0,11 \equiv 11\%$ .

A tale riduzione bisogna aggiungere le altre (2); (4); (5) di copertura e di pareti, con un totale del 20% :  $\text{FO} \cong 1.560 (1 - 0,2) = 1.250 \text{ tonn}$ .

Soluzione (5) (copertura):

$$\begin{aligned} (1) &\cong \frac{18}{25} \times 7.350 = + 5.300; \times 45.000 = 540 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (3) &\cong (6-2) \times 10.000 = + 40.000; \times 45.000 = 1.800 \times 10^6 \text{ »} \\ (6) &\cong (-0,1) \times 32.000 = - 3.200; \times 45.000 = 144 \times 10^6 \text{ »} \\ &\Sigma + 2.196 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (2) &\cong 5\% \frac{18}{25} = 3,6\%; \quad (4) \cong 5\% \frac{6-2}{2} = 10\%; \quad (5) \cong 2\% \frac{6-2}{2} = 4\% \end{aligned}$$

Soluzione (6) (parete):

$$\begin{aligned} (1) &\cong \frac{25}{25} \times 7.350 = + 7.350; \times 4.800 = + 35 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (6) &\cong (-0,9) \times 28.000 = - 25.000; \times 4.800 = - 120 \times 10^6 \text{ »} \\ &\Sigma - 85 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (2) &\cong 5\% \frac{25}{25} \times \frac{4.800}{45.000} \cong 1\% \end{aligned}$$

Soluzioni (5) + (6)  $\equiv (1) + (3) = + 2.111 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \equiv$  riduzione « diretta »  $= \frac{2.111 \times 10^6}{11.250 \times 10^6} = 0,187 \equiv 18,7\%$ ; aggiungendo le riduzioni (2); (4); (5) di copertura e pareti, si ha un totale del 37% :  $\text{FO} \cong 1.560 (1 - 0,37) = 985 \text{ tonn}$ .

Soluzione (7) (parete):

$$\begin{aligned} (1) &\cong \frac{50}{25} \times 7.350 = + 14.700; \times 4.800 = + 70 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (6) &\cong (-2) \times 28.000 = - 56.000; \times 4.800 = - 270 \times 10^6 \text{ »} \\ &\Sigma - 200 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \\ (2) &\cong 5\% \frac{50}{25} \times \frac{4.800}{45.000} \cong 2\% \end{aligned}$$

Soluzioni (5) + (7)  $\equiv (1) + (3) + (6) = + 1.996 \times 10^6 \text{ Kcal/stagione} \equiv$  riduzione « diretta »  $= \frac{1.996 \times 10^6}{11.250 \times 10^6} = 0,177 \equiv 17,7\%$ ; aggiungendo le riduzioni (2); (4); (5) di copertura e pareti, si ha un totale del 37% :  $\text{FO} \cong 1.560 (1 - 0,37) = 985 \text{ tonn}$ .

Fig. 1

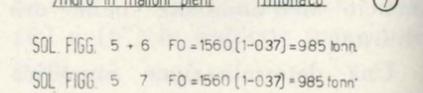
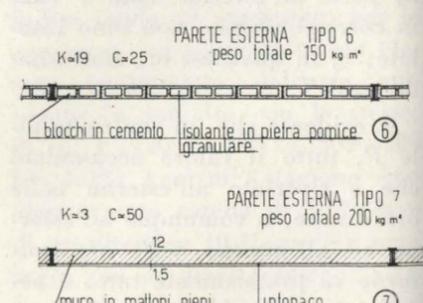
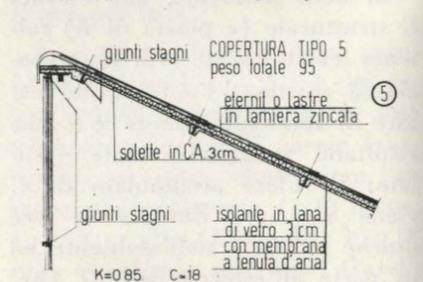
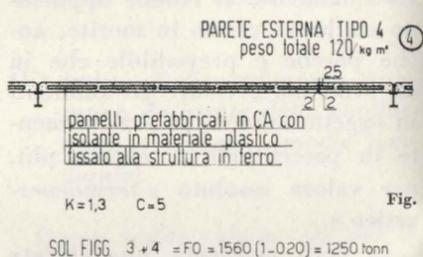
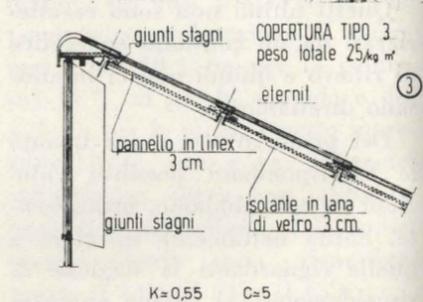
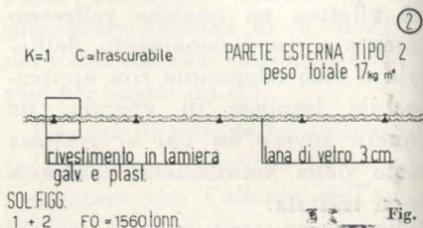
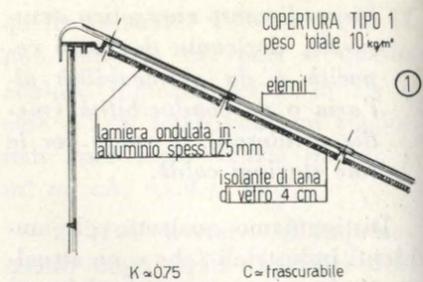


Fig. 4 Aurelio Vaccaneo

# L'influenza delle tinte in luce naturale nell'architettura degli ambienti

GIACOMO DONATO riferisce sui risultati di una serie di esperienze eseguite in ambiente simulato con modello, al variare della tinta delle pareti, del soffitto e del pavimento con illuminamento esterno costante e superficie illuminante variabile.

Il problema dell'illuminazione degli ambienti si pone in via generale nell'architettura di ogni epoca. La ricerca da parte dei pittori di una maggiore luminosità nelle loro opere li portò, con lo sviluppo delle teorie ottiche e del colore fissate dal Newton, alla creazione tra le altre di una scuola pittorica nota sotto il nome di Divisionismo; questo movimento pittorico sorto alla fine dell'800 in Italia, osservò tra l'altro che due sostanze coloranti mescolate mantenevano attive ed inalterate le proprie facoltà di assorbimento della luce: ogni miscuglio assorbiva quindi più luce dei colori singoli e distintamente impiegati, per cui conservando i colori allo stato puro in piccole particelle accostate in puntini o lamelle, ciascuna piccola unità assorbiva luce in modo diverso e diminuiva l'effetto del nero dando maggiore luminosità all'insieme.

La scuola divisionista riprende la tecnica del mosaico: Gaetano Previati va considerato il divisionista per eccellenza, infatti in tutte le sue opere egli è stato convinto e rigoroso assertore di quella tecnica per cui, colore, disegno ed espressione sono assorbiti quasi totalmente dalla continuità ed indefinibile vibrazione della luce. I critici vedono il colore in quanto nasce come fenomeno luminoso in relazione al trattamento delle superfici delle opere su cui è collocato; si può dire, in un certo senso, che il colore non esiste se non è luce. Il colore quindi ha validità nell'estetica architettonica solo se è sensazione di luminosità calda che trasferisce vita all'opera che si osserva. D'altra parte risulta convincente il fatto che una medesima parete dipinta con la stessa tonalità di colore, dà effetti di diversa intensità luminosa in relazione al trattamento di detta superficie:

sia essa liscia, opaca, traslucida o rugosa, può comparire quindi più o meno calda la stessa tinta applicata pur provenendo dallo stesso colore base. Gli spazi interni, oltre che dai rapporti dimensionali, sono infatti caratterizzati da parametri diversi, che influiscono in grado notevole sul risultato architettonico, tra essi particolarmente importanti l'illuminazione. Il presente studio vuole essere un contributo alla opportuna scelta cromatica e dell'illuminamento dello spazio architettonico, in funzione della prevista destinazione. Il metodo che si propone, basato sull'esame sistematico di convenienti combinazioni di colori, se organicamente applicato, sembra idoneo a raggiungere direttamente condizioni prestabilite, senza pregiudizio di una libera scelta, in quanto combinazioni diverse possono condurre allo stesso grado d'illuminamento.

TABELLA I. - Grado di visibilità opportuno secondo l'uso dei locali - Norme C.E.I.

Utilizzazione	Grado di visibilità			
	Mediocre	Normale	Buono	Ottimo
Locali senza speciali posti di lavoro . .	Corridoi - Passaggi - Spogliatoi - Gabinetti	Magazzini		
Uffici . . . . .		Locali di attesa Sportelli	Locali di scrittura a mano o a macchina - Macchine calcolatrici e contabili	Locali di disegno
Industrie meccaniche e metallurgiche	Grosse fusioni - Trafilatura - Laminatura - Forgiatura - Pulitura grossolana.	Piccole fusioni - Fusioni di forma semplice - Tornio revolver - Stampaggio - Fresatura - Montaggio grossolano.	Fusioni complesse - Trafilatura e laminatura fini - Regolazione macchine operatrici - Fresatura - Stampaggio - Montaggi fini	Lavorazione di precisione - Orologeria - Incisioni, ecc.

\*\*\*

Le norme del Comitato Elettrotecnico Italiano (C.E.I.) definiscono *mediocre, normale, buono, ottimo* il grado di visibilità da richiedersi a seconda della destinazione: locali senza speciali posti di lavoro, uffici, industrie meccaniche e metallurgiche (Tabella I). Corrispondentemente vengono indicati i valori raccomandati dall'illuminamento sulla superficie di utilizzazione in luce naturale (Tabella II).

Per un confronto, riportiamo nella Tabella III i dati corrispondenti di alcuni regolamenti esteri; è interessante notare come la

scala di visibilità, generalmente più estesa di quella italiana, s'inizi col grado *scarso* e termini con quello *eccezionalmente buono*.

In questa nota vengono esaminate le condizioni di illuminamento in luce naturale di un ambiente simulato con modello in scala 1:10, al variare del colore e della superficie finestrata attraverso la quale si suppone avvenga l'immissione della luce. L'ambiente prototipo risponde alle seguenti caratteristiche:

altezza	4 m
superficie	24 m <sup>2</sup>
parete di fondo	24 m <sup>2</sup>
pareti laterali,	
ciascuna	16 m <sup>2</sup>

TABELLA II. - Valori raccomandati degli illuminamenti sulla superficie di utilizzazione - Norme C.E.I.

Grado di visibilità	Fattore di luce diurna		Illuminamento (per 5000 Lux esterni)	
	Medio %	Nel punto più oscuro %	Medio Lux	Nel punto più oscuro Lux
Mediocre . . . . .	0,8	0,6	40	30
Normale . . . . .	1,6	1,2	80	60
Buono . . . . .	3,3	3	165	150
Ottimo . . . . .	6,6	6	330	300

Per una soddisfacente visione dei colori occorre un illuminamento dell'ordine di 1000 Lux.

TABELLA III. - Valori dell'illuminamento industriale raccomandati dai regolamenti Esteri (Lux).

Grado di visibilità	U.S.A. (1)	G.B. (2)	Svezia (3)	Finlandia (4)	Olanda (5)	Belgio (6)	Francia (7)
Scarso . .	50	30	20	40	30	—	—
Mediocre .	100	70	60	80	80	—	50
Normale .	300	100	150	150	80	80	100
Buono . .	500	300	300	300	250	250	300
Ottimo .	1000 (8)	1000 (8)	500	500	500	500	500
Eccellente	10.000 ÷ 30.000	2000	1000 ÷ 2000	1000 ÷ 2000	1000	1000	500 ÷ 2000

- (1) Ies Handbook.
- (2) Ies Handbook.
- (3) Società Svedese per la illuminazione.
- (4) Ies e Associazione Produttori Energia Elettrica.
- (5) Philips.
- (6) Comitato Nazionale della Illuminazione.
- (7) Dati di installatori.
- (8) Con luce suppletiva locale.

In ciascuna delle serie di esperienze eseguite restano immutati i colori del pavimento e del soffitto, variando soltanto quello delle pareti. Per ogni singola combinazione cromatica l'esame è stato condotto in corrispondenza di tre

TABELLA IV. - Pavimento grigio - Soffitto verde.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	350	210	140
Giallo .	300	190	130
Verde .	240	170	100
Arancio .	230	160	95
Grigio .	220	160	60
Marrone .	180	130	50

valori diversi della superficie finestrata:

tutta parete	24 m <sup>2</sup>
1/3 parete	8 m <sup>2</sup>
1/6 parete	4 m <sup>2</sup>

Il luxmetro era collocato sulla verticale baricentrica dell'ambiente, alla quota corrispondente a 1,25 m dal suolo.

TABELLA V. - Pavimento grigio, soffitto grigio.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Giallo .	285	185	90
Grigio .	270	200	115
Arancio .	240	160	60
Bianco .	240	140	80
Marrone .	220	165	115
Verde .	210	150	55

Essendo la destinazione degli ambienti quanto mai varia, e d'altra parte, assai numerose le variabili in gioco, risulta praticamente impossibile enunciare regole generali. L'orientamento, ad esempio, influisce decisamente sull'illuminamento, a parità di dimensioni e di situazione cromatica; lo schermo di eventuali edi-

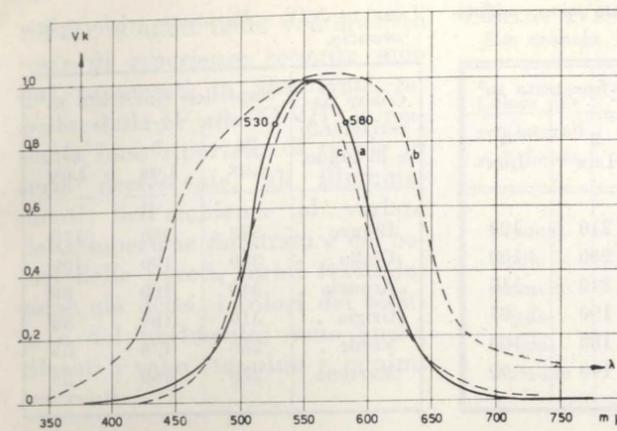


Fig. 1 - a) Curva di visibilità relativa a elevata luminanza per visione fotopica (illuminamenti superiori a 0,003 Lux); b) Curva di sensibilità spettrale relativa di una fotocellula al selenio senza filtro di correzione; c) Come la curva b, ma con filtro di correzione.

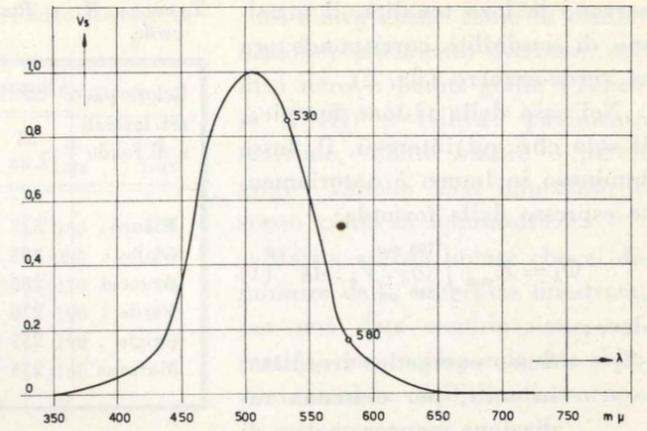


Fig. 2 - Curva di visibilità a bassa luminanza per visione scotopica.

fici fronteggianti varia le condizioni, anche in relazione all'esposizione; la stessa natura dell'ambiente — una pineta, un lago, il mare, le montagne — condiziona l'architettura non solo nella composizione, ma anche nell'illuminazione degli interni.

A seconda dei casi può convenire moderare o accentuare il colore prescelto in base all'illuminamento che si cerca di ottenere. Sul risultato si può anche influire ricorrendo a carte o tessuti da parato o rivestimenti di varia natura, lucenti opachi o traslucidi. La pittura ad olio, benchè onerosa, si addice ai locali poco luminosi; è durevole e dà luogo a superfici che, pur essendo opache si presentano lisce e smaglianti. Le carte da parato moderne non scoloriscono più all'azione della luce; sono lavabili, durevoli e alla brillantezza associano la vivacità dei colori.

La fotometria si riferisce notoriamente ad una *curva di sensibilità tipo*, relativa all'occhio umano medio, desunta dalla media di un grandissimo numero di osservazioni eseguite su soggetti definiti normali. Il riferimento presuppone, ovviamente, che l'occhio degli individui normali non si scosti molto, nel suo comportamento, dall'occhio tipo, pur non

escludendo casi di scostamenti sensibili, specialmente verso gli estremi del visibile.

In figura 1 è riportata la curva di sensibilità relativa ad elevata luminanza (visione fotopica). Da essa si rivela che la sensibilità dell'occhio umano medio ha un massimo in corrispondenza della lunghezza d'onda  $\lambda = 555 \text{ m}\mu$  (giallo verdastro), mentre si annulla per le lunghezze d'onda  $\lambda = 380 \text{ m}\mu$  e  $780 \text{ m}\mu$ . L'effetto Purkynie, che sposta la curva di sensibilità verso le frequenze più elevate in corrispondenza di illuminamenti molto bassi (visione scotopica), può spiegare partico-

TABELLA VI. - Pavimento marrone, soffitto verde.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Giallo .	275	180	130
Bianco .	270	200	115
Arancio .	240	165	100
Verde .	220	170	100
Marrone .	200	140	75
Grigio .	180	135	90

lari effetti architettonici, sia compositivi sia cromatici, quando la visione si effettui al crepuscolo o con illuminazione artificiale: i rossi appaiono neri, i verdi con-

TABELLA VII. - Pavimento marrone, soffitto grigio.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Giallo .	300	215	135
Bianco .	300	215	130
Grigio .	280	210	135
Arancio .	280	200	135
Verde .	275	205	135
Marrone .	270	165	120

TABELLA VIII. - Pavimento viola, soffitto verde.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco . .	270	170	100
Giallo .	250	170	90
Arancio .	230	150	80
Grigio .	210	140	80
Marrone .	210	150	80
Verde .	210	110	75

TABELLA IX. - Pavimento viola, soffitto grigio.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	305	200	120
Giallo .	290	200	120
Arancio .	275	197	110
Grigio .	270	190	100
Verde .	260	170	105
Marrone .	250	165	90

servano la loro tonalità, il massimo di sensibilità corrisponde ora al verde-azzurro (fig. 2).

Nel caso della visione fotopica, il solo che qui interessi, il flusso luminoso in lumen è notoriamente espresso dalla formula:

$$\Phi_{\lambda} = K_{max} \int_{380}^{780} \frac{\rho_{\lambda} \cdot V_{\lambda}}{m\mu} \cdot d\lambda \quad (1)$$

dove:

$\rho_{\lambda}$  = flusso energetico irradiato, in watt, per ciascuna radiazione monocromatica di lunghezza d'onda  $\lambda$ ,

$V_{\lambda}$  = fattore di visibilità relativa internazionale, alla lunghezza d'onda  $\lambda$ ,

$K_{max}$  = costante il cui valore attualmente si ritiene di 680 lumen/watt.

L'integrale si intende esteso a tutte le radiazioni di lunghezza d'onda dello spettro visibile presenti nel fascio in esame.

Nelle nostre esperienze il flusso incidente sul posto di misura al-

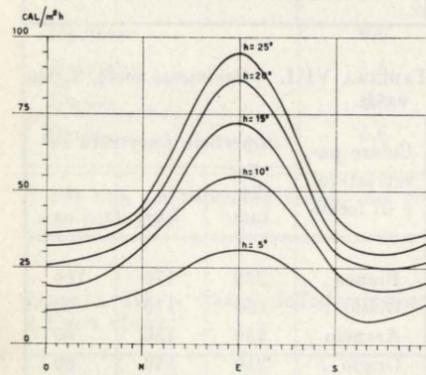


Fig. 3 - Diagramma della radiazione diffusa in funzione dell'orientamento e dell'altezza solare.

l'interno del modello era costituito in parte da radiazione diretta, proveniente dalla finestratura, e in parte da radiazione riflessa, proveniente dalle pareti, dal soffitto e dal pavimento dopo una o più riflessioni.

È stato usato per le misure un luxmetro *Gossen* tipo Trilux, la cui scala, tarata in lux, cioè nell'unità di misura adottata per gli illuminamenti (1 lux = 1 lumen/m²), fornisce direttamente il va-

TABELLA X. - Pavimento nero, soffitto verde.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	315	210	120
Giallo .	295	200	100
Arancio .	285	210	115
Verde .	270	190	95
Grigio .	255	180	90
Marrone .	235	140	90

TABELLA XI. - Pavimento nero, soffitto grigio.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	295	180	105
Arancio .	285	190	100
Verde .	275	200	95
Grigio .	260	185	85
Giallo .	260	180	100
Marrone .	240	140	85

TABELLA XII. - Pavimento viola, soffitto arancio.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Giallo .	255	170	90
Bianco .	250	150	80
Arancio .	230	140	75
Verde .	175	100	50
Grigio .	145	85	42
Marrone .	140	80	40

TABELLA XIII. - Pavimento viola, soffitto giallo.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Giallo .	180	110	50
Bianco .	170	90	50
Arancio .	160	85	50
Verde .	140	90	35
Grigio .	110	50	30
Marrone .	100	60	30

TABELLA XIV. - Pavimento grigio, soffitto arancio.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	590	280	170
Giallo .	360	190	100
Arancio .	340	160	80
Grigio .	310	180	50
Verde .	260	130	55
Marrone .	240	160	25

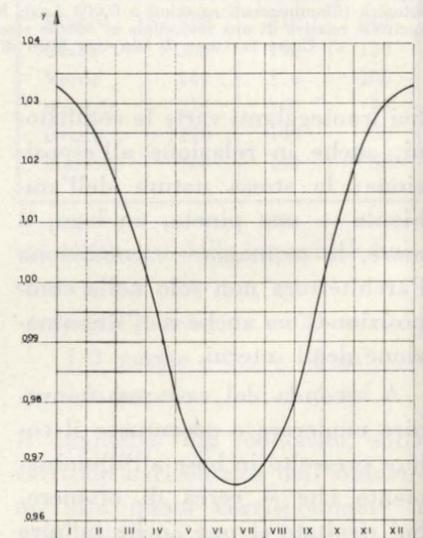


Fig. 4 - Rapporto  $y$  fra l'intensità della radiazione solare fuori dell'atmosfera e la costante solare.

lore della densità del flusso incidente, definito dalla (1).

Le osservazioni indicano quindi esattamente l'intensità della sensazione visiva dell'occhio umano, considerando globalmente le radiazioni di qualsiasi lunghezza di onda dello spettro visibile, anche se i vari valori dell'illuminamento sono stati ottenuti mediante una diversa distribuzione cromatica.

La ricerca comprende complessivamente n. 432 misure (1). I ri-

(1) All'impostazione del programma sperimentale e all'esecuzione delle misure ha validamente collaborato il Dott. Ing. Roberto Bini dell'Istituto di Elettrotecnica dell'Università di Pisa, cui porgo i dovuti ringraziamenti.

sultati ottenuti nelle ventiquattro serie di esperienze eseguite sono qui presentati in altrettante tabelle, dalla IV alla XXVII; in ciascuna sono riportati, di regola in serie decrescente, gli illuminamenti dell'ambiente al variare della superficie finestrata e dei colori delle pareti, fermi restando, come già detto, i colori del soffitto e del pavimento; sono anche rilevati i valori massimi e minimi osservati.

TABELLA XVI. - Pavimento marrone, soffitto arancio.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	490	260	100
Giallo .	450	280	100
Arancio .	330	170	60
Verde .	320	190	30
Grigio .	320	190	35
Marrone .	270	150	40

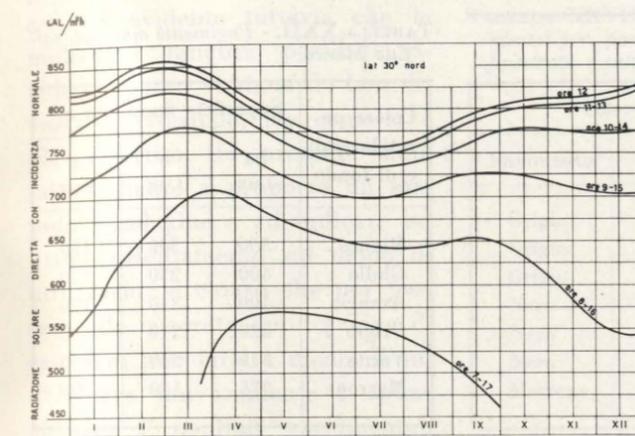


Fig. 5 - Intensità della radiazione solare diretta, su un piano normale ai raggi, con cielo sereno a 30° di latitudine nord.

TABELLA XV. - Pavimento grigio, soffitto giallo.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	600	290	170
Giallo .	500	260	120
Arancio .	450	240	100
Verde .	255	140	50
Grigio .	255	140	50
Marrone .	180	100	35

\*\*\*

Le osservazioni mettono intanto in evidenza come la sostituzione di un colore più chiaro in una data combinazione non migliori necessariamente la luminosità. Infatti, nelle condizioni delle esperienze, associato a pareti bianche e soffitto arancio o giallo, il nero

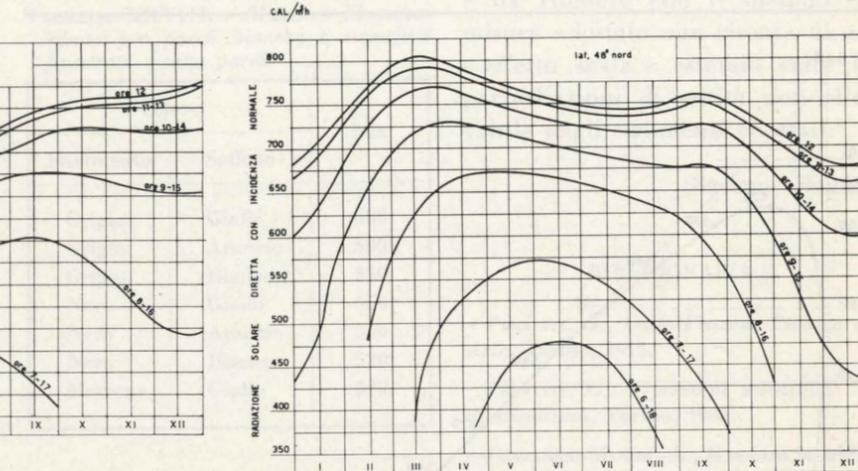


Fig. 6 - Intensità della radiazione solare diretta, su un piano normale ai raggi, con cielo sereno a 48° di latitudine nord.

a pavimento (Tabelle XVIII e XIX) dà luogo a luminosità minore del grigio, almeno per superficie finestrata a tutta parete (Tabelle XIV e XV), ma sempre sensibilmente maggiore del marrone (Tabelle XVI e XVII) e assai più elevato del viola (Tabelle XII e XIII).

TABELLA XVII. - Pavimento marrone, soffitto giallo.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	520	280	120
Giallo .	430	250	80
Arancio .	400	220	80
Grigio .	330	220	50
Verde .	300	180	40
Marrone .	270	190	60

Si rileva anche come la combinazione: pavimento marrone, soffitto nero e pareti gialle (Tabella XXIII) e l'altra: pavimento marrone, soffitto bianco e pareti grigie, Tabella XXII importino lo stesso grado di luminosità.

Merita ancora notare che al diminuire della superficie finestrata, per una data combinazione cromatica, non corrisponde una riduzione scalare dell'illuminamento.

TABELLA XVIII. - Pavimento nero, soffitto arancio.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m²		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	550	325	130
Giallo .	470	300	100
Arancio .	440	280	95
Grigio .	340	220	60
Verde .	325	225	45
Marrone .	280	200	30

Nella Tabella XXVIII sono riportati i valori di massimo illuminamento a parete totalmente vetrata nell'ambiente simulato, estratti dai risultati sperimentali. Dai valori elencati risulta lo stesso grado di illuminamento di 550 lux per le combinazioni seguenti: soffitto bianco, pavimento grigio,

TABELLA XIX. - Pavimento nero, soffitto giallo.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	550	320	130
Giallo .	460	270	110
Arancio	400	250	90
Verde .	320	210	60
Grigio .	320	210	65
Marrone	270	180	40

salutario, il metodo proposto mira a rendere meno arbitraria la scelta cromatica e conseguire il massimo effetto utile ai fini della visibilità, oppure a conoscere il quanto da esso ci si discosti, se si desiderano effetti particolari.

Infatti, per illuminazione naturale, i valori di illuminamento dipendono direttamente dalle condizioni esterne, che a loro volta sono funzioni di elementi variabi-

TABELLA XXI. - Pavimento nero, soffitto nero.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	370	230	110
Giallo .	350	230	100
Arancio	310	215	90
Grigio .	300	210	60
Verde .	260	180	75
Marrone	240	165	50

TABELLA XXII. - Pavimento marrone, soffitto bianco.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	500	300	150
Giallo .	400	250	130
Arancio	400	250	100
Grigio .	320	210	90
Verde .	310	200	100
Marrone	275	180	90

TABELLA XXIII. - Pavimento marrone, soffitto nero.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	370	240	150
Giallo .	320	210	90
Arancio	310	210	85
Grigio .	280	200	85
Verde .	280	190	90
Marrone	250	180	70

TABELLA XXIV. - Pavimento grigio, soffitto bianco.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	550	330	200
Giallo .	480	290	160
Arancio	450	275	155
Verde .	370	250	130
Grigio .	360	240	120
Marrone	330	230	100

lissimi, quali lo stato atmosferico, l'eventuale presenza e natura (colore, superficie, ecc.) di corpi riflettenti e schermanti, la latitudine, il mese, il giorno, l'ora, ecc. Sono istruttivi al riguardo i diagrammi indicativi riportati nelle figure 3, 4, 5 e 6, esprimenti il ciclo di variazione dell'intensità della radiazione solare.

Le combinazioni di colori sperimentate sono state ottenute impiegando cartoncini gialli, verdi, ecc.; è evidente tuttavia che le molteplici tonalità possibili richiederebbero al riguardo ben diversa precisazione. Ma come si è già avvertito, la presente nota mira soltanto a proporre un metodo d'indagine e ad indicare un primo orientamento sul modo di utilizzarlo; è chiaro che per passare alla concreta applicazione di esso non può farsi a meno di individuare univocamente i colori affinché i risultati sperimentali

TABELLA XXV. - Pavimento grigio, soffitto nero.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	400	260	130
Giallo .	350	225	110
Arancio	350	240	90
Verde .	300	220	70
Grigio .	290	220	60
Marrone	280	210	90

TABELLA XXVI. - Pavimento viola, soffitto bianco.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	460	380	130
Giallo .	440	260	120
Arancio	390	250	120
Verde .	330	230	85
Grigio .	330	230	100
Marrone	280	200	60

TABELLA XXVII. - Pavimento viola, soffitto nero.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	350	215	70
Giallo .	330	210	99
Arancio	310	210	60
Verde .	300	230	90
Grigio .	300	220	95
Marrone	275	210	110

TABELLA XXVIII. - Massimo illuminamento per pareti bianche e superficie finestrata a tutta parete.

Pavimento	Colore		Lux
	Pavimento	Soffitto	
Grigio	Giallo		600
Grigio	Arancio		590
Grigio	Bianco		550
Nero	Giallo		550
Nero	Arancio		550
Nero	Bianco		520
Marrone	Giallo		520

TABELLA XXIX. - Combinazioni equivalenti per un illuminamento di 350 Lux e superficie finestrata a tutta parete.

Pavimento	COLORE		Pareti laterali e di fondo
	Pavimento	Soffitto	
Grigio	Verde	Bianco	
Grigio	Arancio	Giallo	
Nero	Arancio	Grigio	
Nero	Nero	Giallo	
Grigio	Bianco	Grigio	
Grigio	Nero	Giallo	
Viola	Nero	Bianco	

siano universalmente utilizzabili. Tale scopo potrebbe essere raggiunto assai semplicemente ricorrendo, ad esempio, al triangolo di colore X Y Z della *Commission International de l'Eclairage* (figura 7), che permette di specificare un colore mediante le coordinate tricromatiche del suo punto rappresentativo.

Si deve infine avvertire che, al

fine di mettere in evidenza l'entità della perturbazione introdotta nelle misure dalla presenza della fotocellula all'interno del modello, si sono effettuate alcune misure utilizzando luxmetri con fotocellule di differenti dimensioni. In corrispondenza delle medesime condizioni esterne di irradiazione le diverse fotocellule hanno fornito sempre misure perfettamente identiche. Poiché la fotocellula è l'unico elemento perturbatore introdotto nel modello, è da ritenere che il metodo di misura adottato non risenta di un « effetto scala » essendo state le perturbazioni di entità non rilevabile dagli strumenti adottati.

Giacomo Donato

BIBLIOGRAFIA

PREVIATI, G., *Dalla Pittura, Tecnica ed Arte*, Torino, 1913.

PREVIATI, G., *I principi scientifici del divisionismo*, Torino, 1906.

CAVALLARI-MURAT, A., *Il colore in architettura*, « Atti e Rassegna Tecnica », Torino, giugno 1958.

CAVALLARI-MURAT, A., *La teoria della pura visibilità e l'architettura*, « Atti e Rassegna Tecnica », Torino, febr. 1957.

RALPH M. EVANS, *An Introduction to Color 1948*, New York, John Wiley Sons, Inc.

MOON PARRY, *The Scientific Basis of Illuminating Engineering*, New York, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1936, Chapters 1, 2, 3.

PARSONS, SIR. JOHN HERBERT, *An Introduction to the Study of Colour Vision*, 2nd ed., Cambridge, England: The University Press 1924, Chapter 1, Section 1.

WRIGHT, W. D., *The Measurement of Colour*, London: Adam Hilger Ltd. 1944, Chapter 1, 5.

GIBSON, K. S., and TYNDALL, E. P. T., *Visibility of radiant Energy*, Scientific Papers of the Bureau of Standards, 19: 131-191 (1925).

MAC ADAM, DAVID L., *Maximum Visual Efficiency of Colored Materials*, Journal of the Optical Society of America.

ARTOM, M., *Colorimetria e specificazione del colore*, Ottica, vol. VI, 1952.

THRELKLED, J. L., *Thermal Environmental Engineering*.

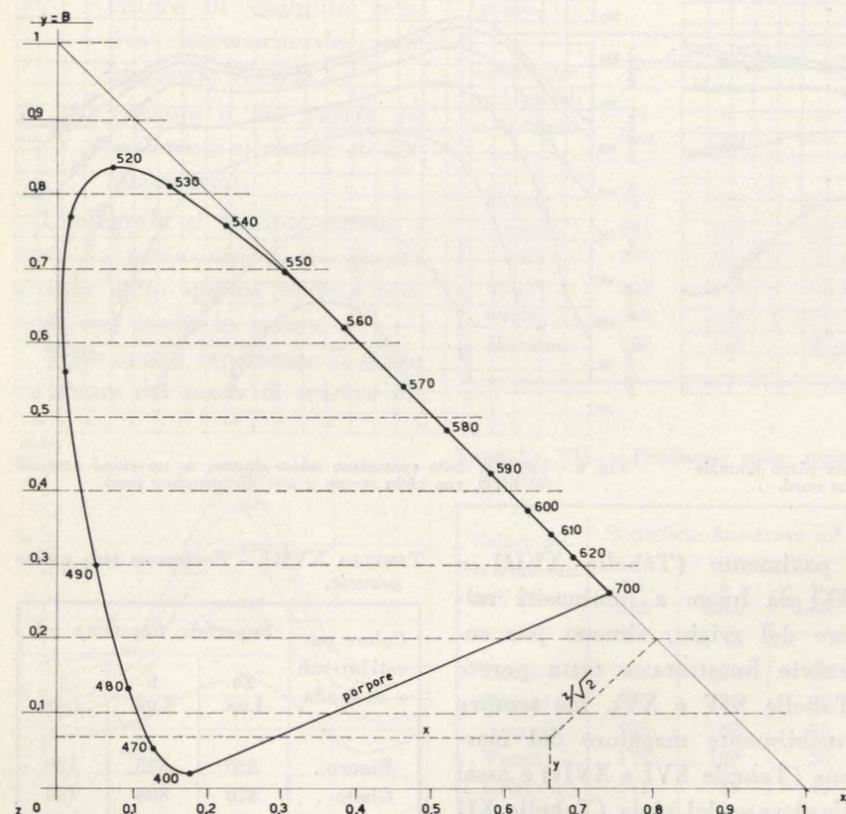


Fig. 7 - Triangolo di colore x, y, z, della C.I.E.

soffitto giallo, pavimento nero, soffitto arancio, pavimento nero, fermo restando nei tre casi il colore bianco delle pareti.

La Tabella XXIX indica infine sette combinazioni di colori che, con superficie illuminante di mq. 24, importano tutte lo stesso grado di illuminamento di 350 lux.

Più che ad ottenere un prefissato illuminamento, che si verificerebbe ovviamente in modo

TABELLA XX. - Pavimento nero, soffitto bianco.

Colore pareti laterali e di fondo	Superficie finestrata m <sup>2</sup>		
	24 Lux	8 Lux	4 Lux
Bianco .	520	300	150
Giallo .	440	265	125
Arancio	400	250	100
Verde .	320	225	70
Grigio .	320	210	70
Marrone	280	200	60

# Metodo rapido di predeterminazione di illuminamento diretto per tubi piegati ad arco di cerchio

GIUSEPPE ANTONIO PUGNO illustra lo studio, applicabile per due distinte giaciture di piani riceventi ortogonali tra di loro, riferendosi a sorgenti lineari disposte lungo circonferenze intere, o parti di esse di sviluppo qualunque in posizione qualunque. Per quanto riguarda la caratteristica di emissione, tali sorgenti sono state pensate costituite da tubi al neon per i quali si può ammettere costante il prodotto della luminanza lineare per il coseno dell'angolo di emissione e da tubi a vapore di mercurio, di sodio e le altre sorgenti con stesso comportamento, compresi quindi i tubi fluorescenti per i quali con buona approssimazione la luminanza lineare non muta nelle varie direzioni.

In generale il calcolo dell'illuminamento prodotto da sorgenti estese su superfici o lineari diviene, quando ci si allontani appena da particolari condizioni di simmetria, notevolmente laborioso.

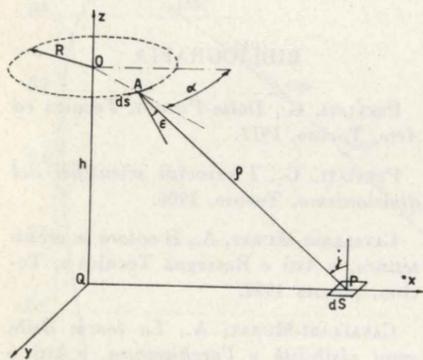


Fig. 1

Ma non ostante ciò, qui esamineremo un caso abbastanza gene-

rale: quello in cui la sorgente, lineare, sia disposta secondo una circonferenza (di raggio R e centro O).

Riferiamoci ad una terna di assi coordinati cartesiani ortogonali il cui asse z sia la retta uscente da O e perpendicolare al piano della sorgente; ad una distanza OQ = h stia l'origine Q degli assi; gli assi x ed y risulteranno paralleli al piano della sorgente (vedasi fig. 1).

Ci proponiamo di esprimere l'illuminamento in corrispondenza di un punto generico P, situato sull'asse x, tanto su un elemento superficiale giacente nel piano xy quanto su un altro parallelo al piano yz.

Indichiamo con ds un elemento

lineare infinitesimo della sopra ricordata sorgente, con A il suo punto medio, con α l'anomalia del raggio OA rispetto alla retta uscente da O e parallela all'asse x, con ρ la distanza AP.

L'angolo ε\* sia quello formato dalla retta di emissione AP con una retta qualunque passante per A e normale a ds; anche mantenendo fermo P ma variando il punto A, l'angolo ε\* varia esso pure; sia ε il suo valore minimo. Sia infine j l'angolo di incidenza.

Per determinare l'angolo ε o, almeno una sua funzione trigonometrica, ad es., il suo coseno, esprimiamo cos ε\* e determiniamone le condizioni di massimo annullandone la derivata.

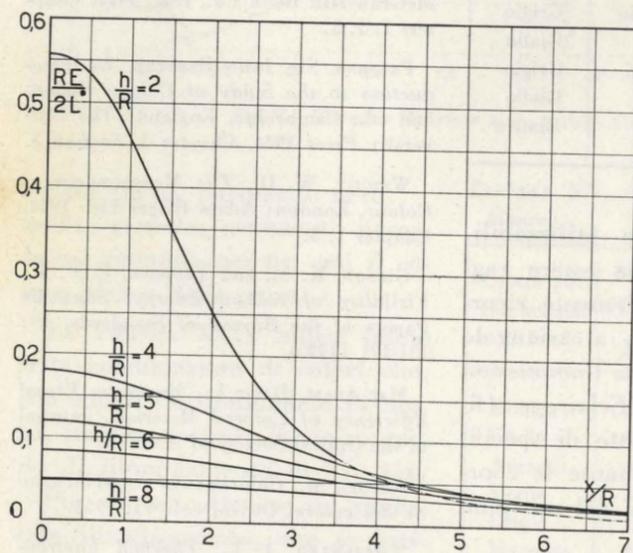


Fig. 2

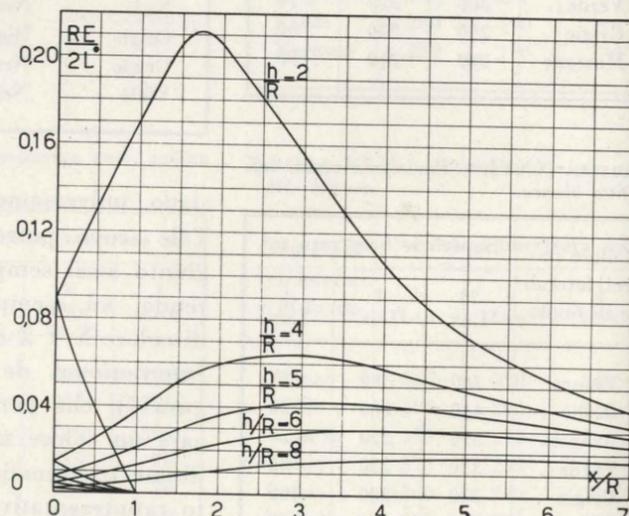


Fig. 4

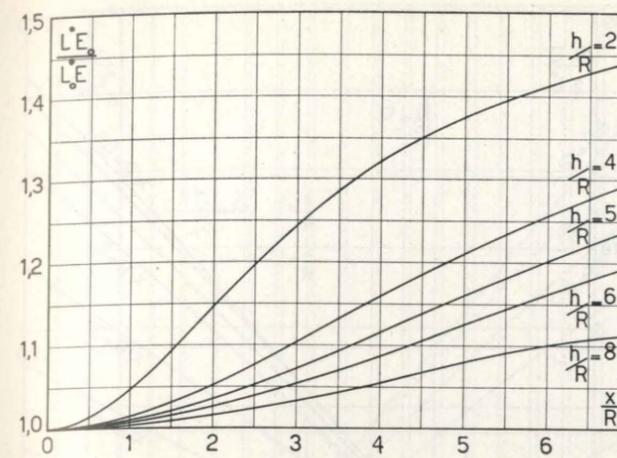


Fig. 3

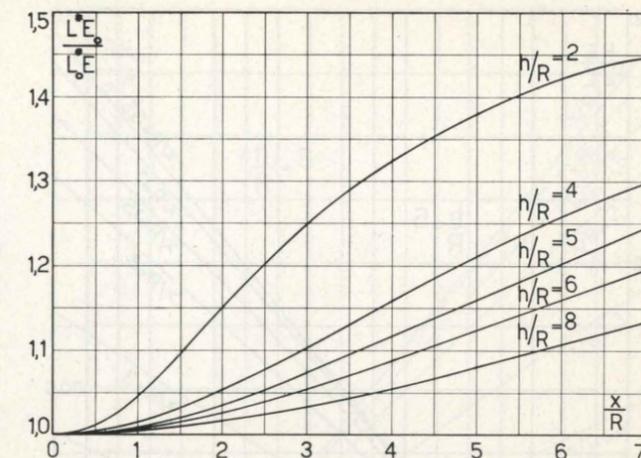


Fig. 5

L'espressione di cos ε\*, come può dimostrarsi, è:

$$\cos \varepsilon^* = \frac{x R \cos \alpha - R^2 - h (h - z)}{\rho \sqrt{R^2 + (z - h)^2}}$$

e derivando

$$\frac{d(\cos \varepsilon^*)}{dz} = h \sqrt{R^2 + (z - h)^2} - \frac{[x R \cos \alpha - R^2 - h (h - z)] (z - h)}{\sqrt{R^2 + (z - h)^2}}$$

Con facili passaggi si trova:

$$z = h \frac{x \cos \alpha}{x \cos \alpha - R}$$

e sostituendo nell'espressione di cos ε\*

$$\cos \varepsilon = \frac{\sqrt{(R - x \cos \alpha)^2 + h^2}}{\rho}$$

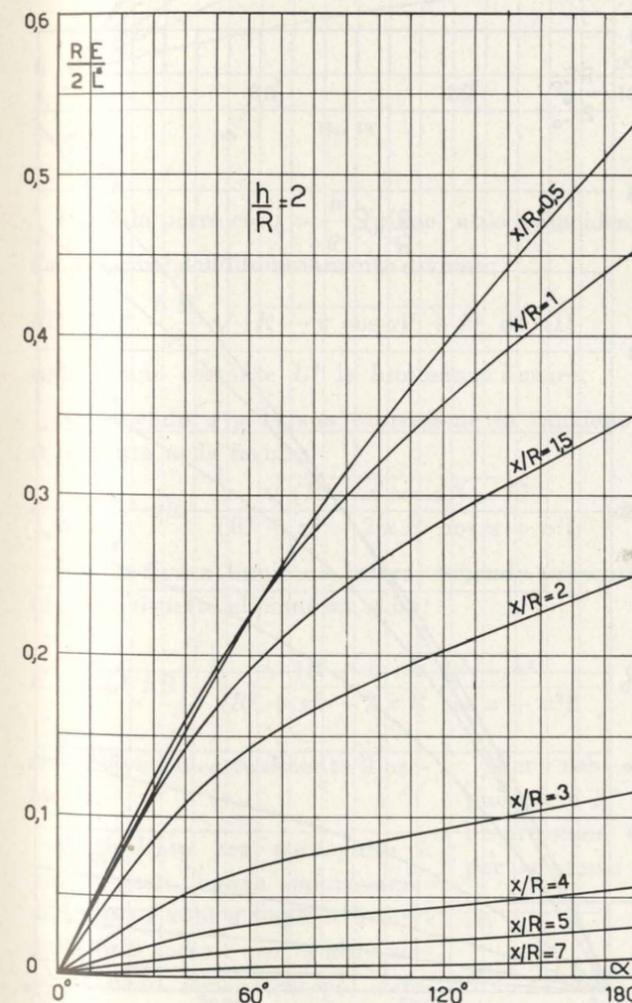


Fig. 6

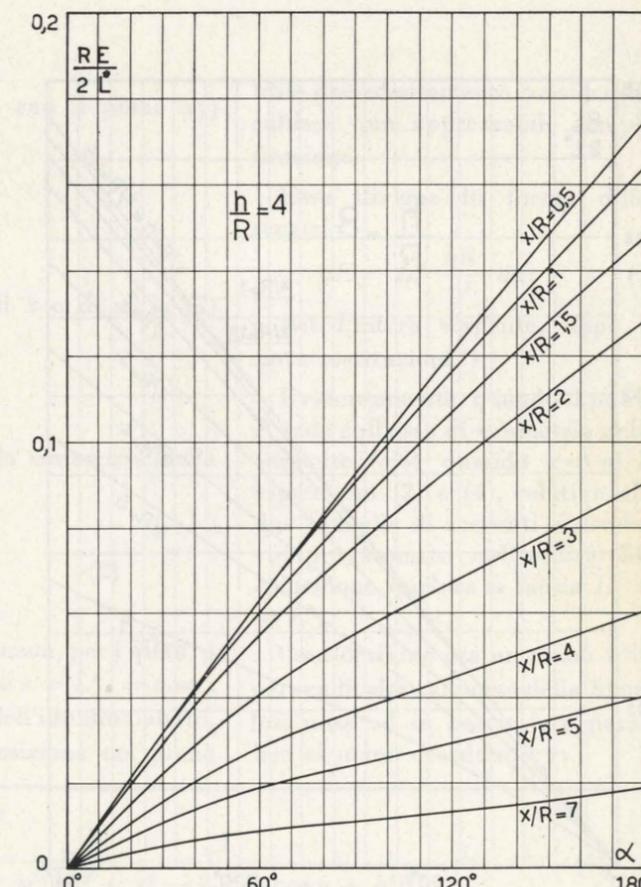


Fig. 7

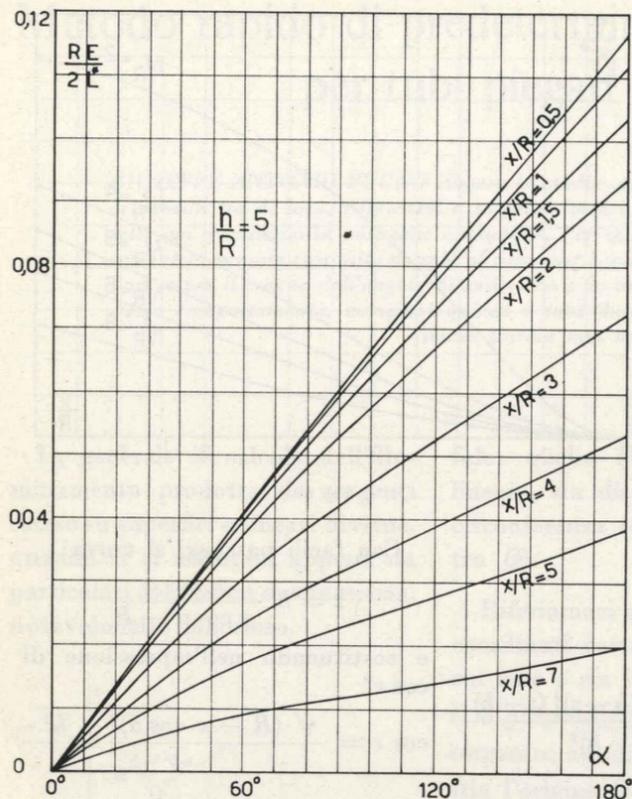


Fig. 8

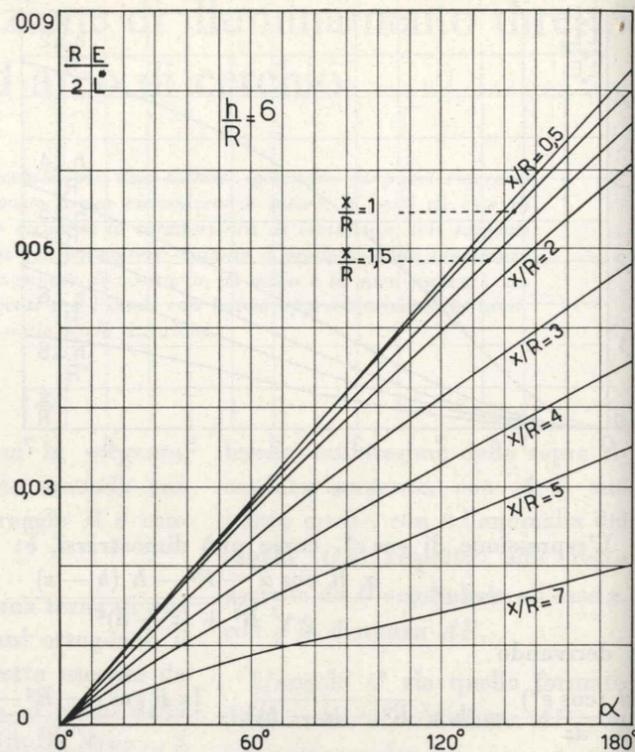


Fig. 9

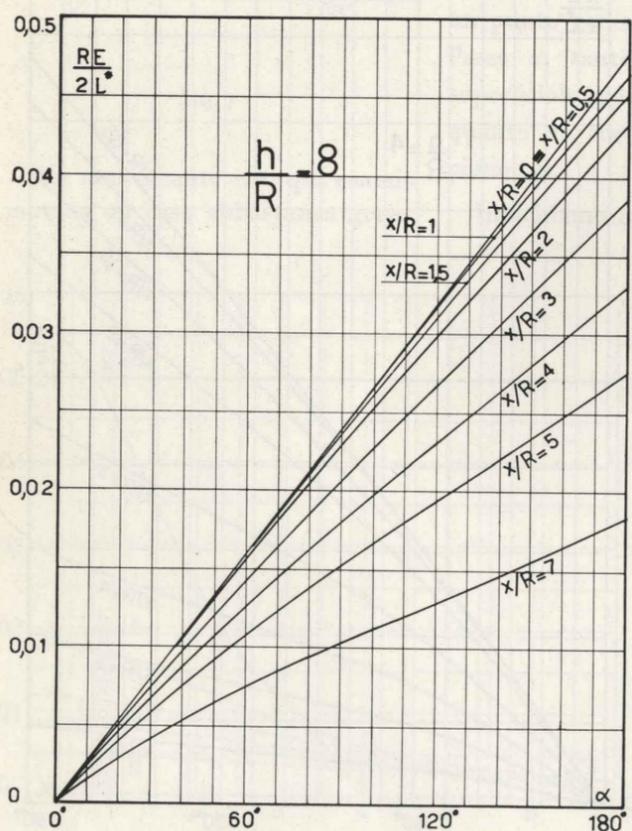


Fig. 10

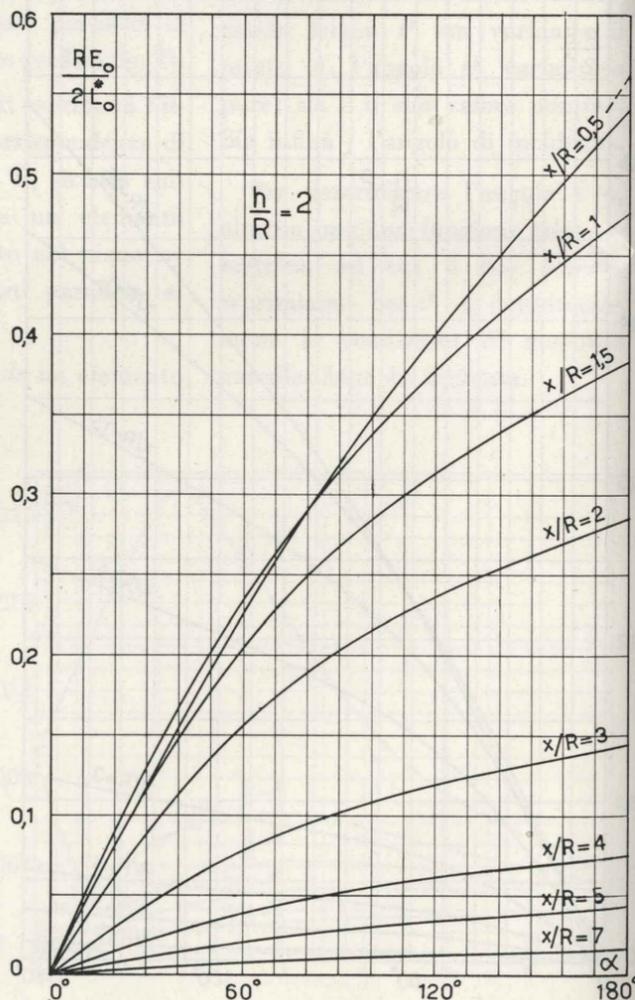


Fig. 11

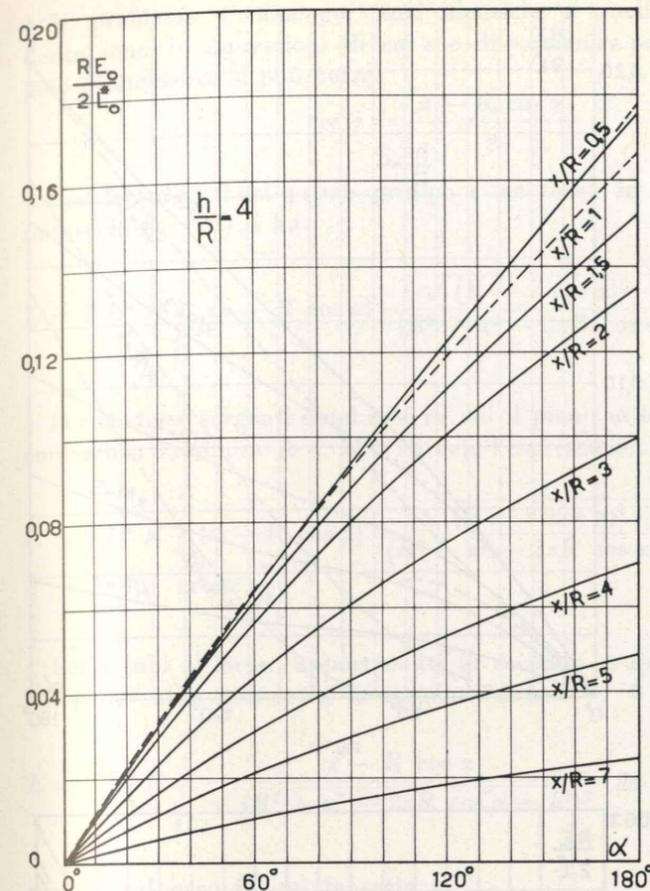


Fig. 12

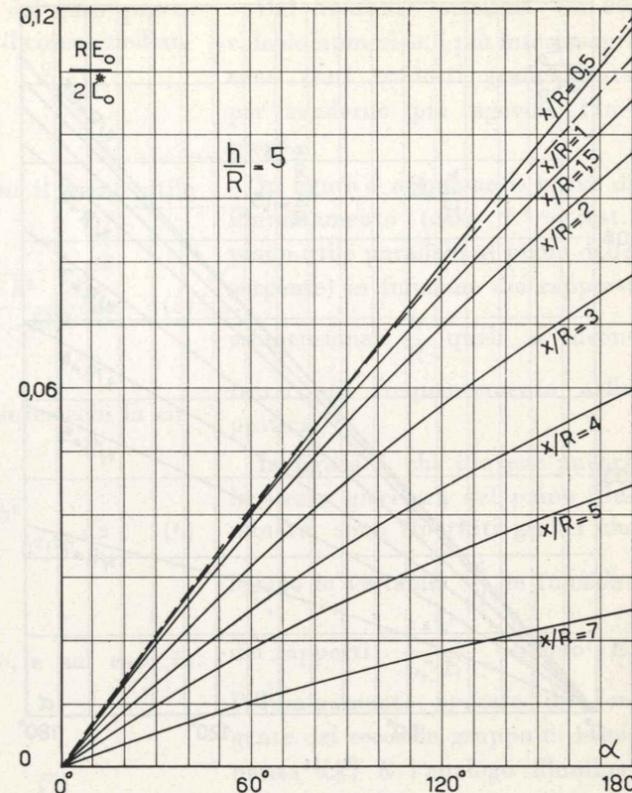


Fig. 13

Potendo porre  $\cos j = \frac{h}{\rho}$  (piano utile coincidente con il piano  $xy$ ) l'espressione dell'illuminamento diviene:

$$dE = L^* \frac{hR}{\rho^4} \sqrt{(R - x \cos \alpha)^2 + h^2} dx \quad (1)$$

supponendo costante  $L^*$  la luminanza lineare.

Sostituendo a  $\rho$  la sua espressione in funzione di  $x$  e di  $\alpha$ , la (1) si presenta nella forma:

$$dE = L^* hR \frac{\sqrt{(R - x \cos \alpha)^2 + h^2}}{(R^2 + x^2 - 2xR \cos \alpha + h^2)^2} dx$$

Per la figura luminosa intera, tenendo presente la simmetria della sorgente rispetto al piano  $xz$ , si ha:

$$E = 2L^* hR \int_0^\pi \frac{\sqrt{(R - x \cos \alpha)^2 + h^2}}{(R^2 + x^2 - 2xR \cos \alpha + h^2)^2} dx \quad (2)$$

che risolve concettualmente il problema.

Il risultato ora conseguito è valido, con buona approssimazione per i tubi a vapore di mercurio e di sodio e per le altre sorgenti dello stesso gruppo, compresi quindi i tubi fluorescenti.

Per i tubi al neon, per i quali si può porre  $L^* \cos \varepsilon = L^*_0 = \text{cost.}$ , l'espressione dell'illuminamento, per la stessa posizione del piano

$$(*) \quad E = 2L^*_0 hR \int_0^\pi \frac{1}{\sqrt{[R^2 + x^2 - 2xR \cos \alpha + h^2]^3}} dx \quad (4)$$

utile precedentemente considerata, subisce una apprezzabile semplificazione.

Essa diviene in forma differenziale

$$dE = L^*_0 \frac{hR}{\rho^3} dx; \quad (3)$$

e per l'intera sorgente, dopo le note sostituzioni(\*)

Evidentemente, quando il punto  $P$  cade sull'asse di simmetria della sorgente (cioè quando  $x = 0$ ) le espressioni (2) e (4), relative alle due famiglie di sorgenti a diverso comportamento nell'emissione, coincidono qualora si faccia  $L^* = L^*_0$ .

Consideriamo ora un piano utile perpendicolare al piano della figura luminosa ed in particolare parallelo al piano coordinato  $yz$ .

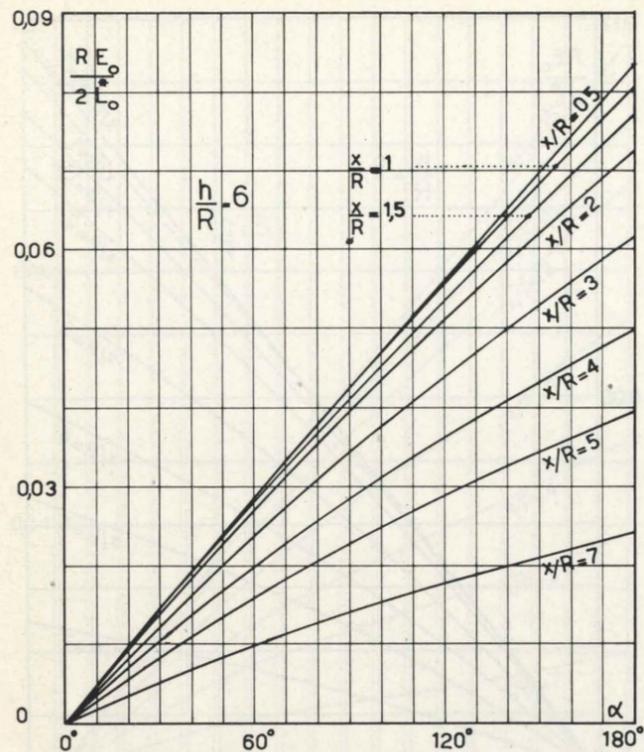


Fig. 14

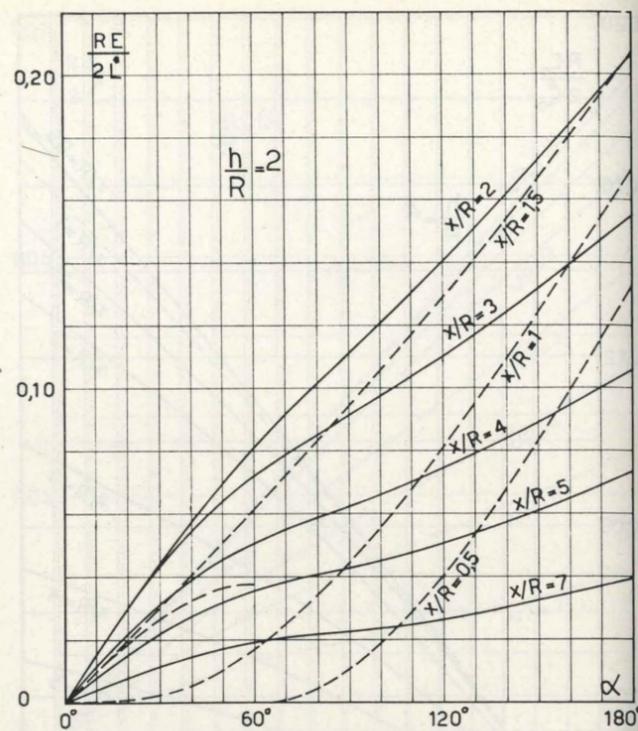


Fig. 16

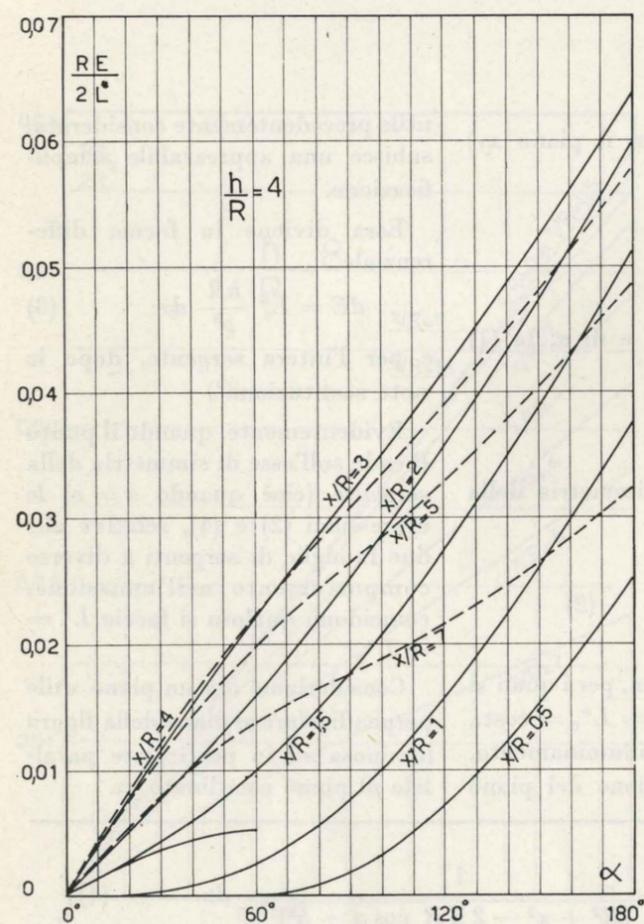


Fig. 17

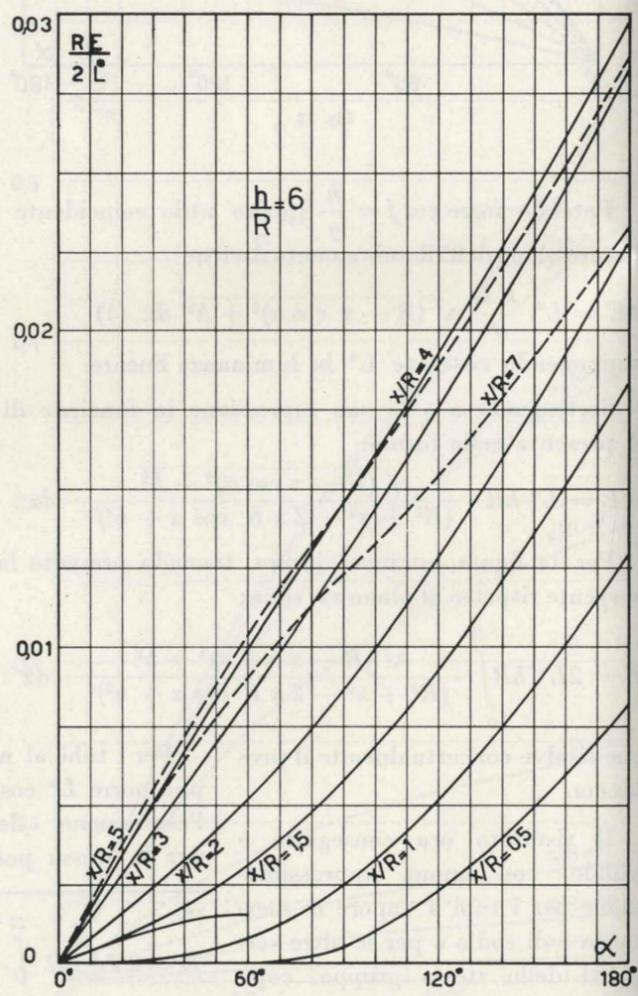


Fig. 19

Il problema è analogo, anzi identiche a quelle del caso precedente sono le espressioni di  $\cos \varepsilon$  e di  $\rho$ , mentre per il coseno dell'angolo di incidenza si può porre:

$$\cos j = \frac{x - R \cos \alpha}{\rho}$$

Per le sorgenti del primo gruppo e nel caso in cui il piano utile non sechi ( $x > R$ ) si ha:

$$E = 2 L^* R \int_0^\pi (x - R \cos \alpha) \frac{\sqrt{(R - x \cos \alpha)^2 + h^2}}{(R^2 + x^2 - 2xR \cos \alpha + h^2)^2} dx \quad (5)$$

Per le stesse sorgenti e nel caso in cui il piano utile intersechi la circonferenza luminosa ( $0 < x < R$ ) vale l'espressione:

$$E = 2 L^* R \int_{\arccos \frac{x}{R}}^\pi (x - R \cos \alpha) \frac{\sqrt{(R - x \cos \alpha)^2 + h^2}}{(R^2 + x^2 - 2xR \cos \alpha + h^2)^2} dx \quad (6)$$

Per i tubi al neon, appartenenti al secondo gruppo, e nel caso in cui piano utile non sechi la sorgente si ha:

$$E = 2 L_0^* R \int_0^\pi \frac{x - R \cos \alpha}{\sqrt{(R^2 + x^2 - 2xR \cos \alpha + h^2)^3}} dx \quad (7)$$

mentre nel caso in cui la sechi:

$$E = 2 L_0^* R \int_{\arccos \frac{x}{R}}^\pi \frac{x - R \cos \alpha}{\sqrt{(R^2 + x^2 - 2xR \cos \alpha + h^2)^3}} dx \quad (8)$$

Gli integrali (2), (4), (5), (6), (7), (8) sono stati calcolati approssimativamente operando sulle corrispondenti sommatorie. E precisamente:

$$\frac{RE}{2L^*} = \frac{h}{R} \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{1 - \frac{x}{R} \cos \left[ \sum_{i=1}^n \Delta \alpha + \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right] + \frac{h^2}{R^2}}}{\left( 1 + \frac{x^2}{R^2} - 2 \frac{x}{R} \cos \left[ \sum_{i=1}^n \Delta \alpha + \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right] + \frac{h^2}{R^2} \right)} \Delta \alpha_i \quad (2')$$

$$\frac{RE_0}{2L_0^*} = \frac{h}{R} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{\left\{ 1 + \frac{x^2}{R^2} - 2 \frac{x}{R} \cos \left[ \sum_{i=1}^n \Delta \alpha + \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right] + \frac{h^2}{R^2} \right\}^3}} \Delta \alpha_i \quad (4')$$

$$\frac{RE}{2L^*} = \sum_{i=m}^n \frac{\left( \frac{x}{R} - \cos \left[ \sum_{i=m}^n \Delta \alpha + \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right] \right) \sqrt{\left( 1 - \frac{x}{R} \cos \left[ \sum_{i=m}^n \Delta \alpha + \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right] + \frac{h^2}{R^2} \right)^2 + \frac{h^2}{R^2}}}{\left( 1 + \frac{x^2}{R^2} - 2 \frac{x}{R} \cos \left[ \sum_{i=m}^n \Delta \alpha + \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right] + \frac{h^2}{R^2} \right)^2} \Delta \alpha_i \quad (5' \text{ e } 6')$$

$$\frac{RE_0}{2L_0^*} = \sum_{i=m}^n \frac{\frac{x}{R} - \cos \left[ \sum_{i=m}^n \Delta \alpha + \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right]}{\sqrt{\left( 1 + \frac{x^2}{R^2} - 2 \frac{x}{R} \cos \left[ \sum_{i=m}^n \Delta \alpha + \frac{\Delta \alpha_i}{2} \right] + \frac{h^2}{R^2} \right)^3}} \Delta \alpha_i \quad (7' \text{ e } 8')$$

Dei risultati ottenuti con il calcolo numerico, i più interessanti sono stati tradotti graficamente per renderne più agevole l'impiego.

In figura 2 appaiono le curve di illuminamento (caso  $L^* = \text{cost.}$ , piano utile parallelo al piano della sorgente) in funzione dei rapporti adimensionali  $\frac{h}{R}$  quali si incontrano più frequentemente nella pratica.

In figura 3, che prevede ancora la stessa giacitura del piano illuminato, sono riportati grafici che legano la variabile  $\frac{x}{R}$  in funzione

dei rapporti  $\frac{L^* E_0}{L_0^* E}$  essendo  $E_0$  l'illuminamento operato da sorgente del secondo gruppo di luminanza  $L_0^*$ ,  $E$  l'analogo illuminamento operato da sorgente del primo gruppo di luminanza  $L^*$ .

In figura 4 sono presentate curve di illuminamento nel caso di piano utile normale al piano della sorgente per la quale si può porre  $L^* = \text{costante}$ .

Nel campo di variazione

$$0 < \frac{x}{R} < 1$$

si dispone di due valori di illuminamento, di cui l'inferiore è relativo alla faccia esterna del piano ricevente e di cui il superiore è relativo alla faccia interna.

Per  $\frac{x}{R} = 0$  ovviamente le due facce risultano possedere ugual illuminamento.

I massimi delle curve si spostano nel senso delle  $\frac{x}{R}$  crescenti all'aumentare di  $\frac{h}{R}$  secondo una legge facilmente individuabile.

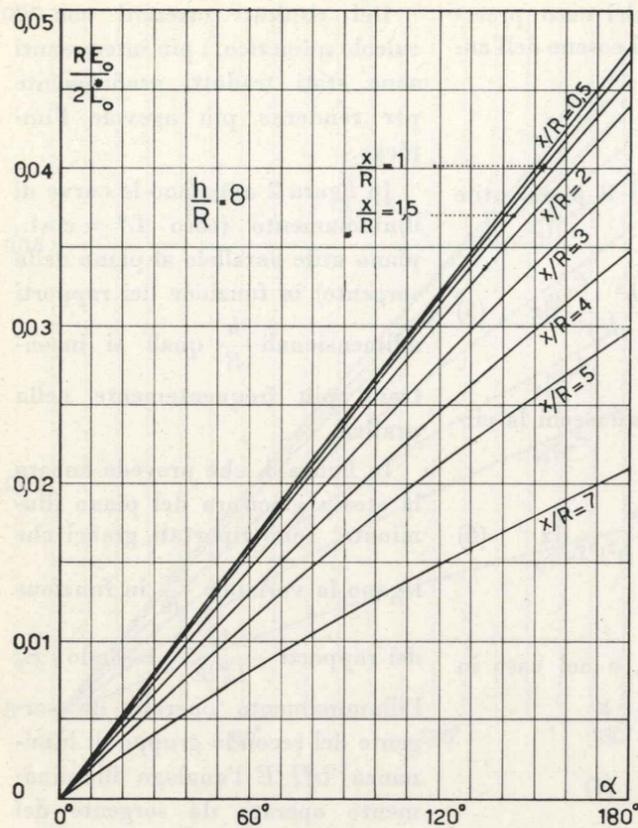


Fig. 15

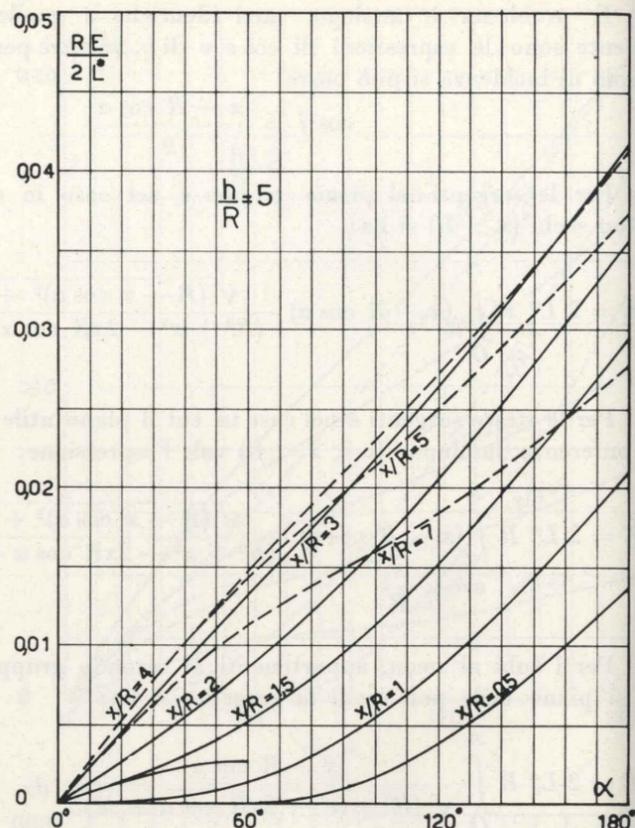


Fig. 18

La figura 5 è la corrispondente di fig. 3 per piano utile parallelo al piano  $yz$ .

Tutto ciò risulta di utile consultazione per sorgenti intere o parzializzate in quanto non completamente viste da  $P$ .

Per risolvere il problema in forma del tutto generale entrano in aiuto le figg. 6, 7, 8, 9, 10 applicabili al caso di sorgenti del primo gruppo e di piano utile parallelo a quello della linea luminosa; le figg. 11, 12, 13, 14, 15 applicabili al caso di sorgenti del secondo gruppo e di piano parallelo a quello della linea luminosa; le figg. 16, 17, 18, 19, 20 applicabili al caso di sorgenti del primo gruppo e di piano parallelo a quello coordinato  $yz$ ; le figg. 21, 22, 23, 24, 25 applicabili al caso di sorgenti del secondo gruppo e di

piano utile parallelo al piano coordinato  $yz$  (\*).

Esse forniscono i valori di illuminamento per sorgenti non intere di sviluppo qualunque in posizione qualunque. Ne deriva immediatamente la possibilità di valutare l'illuminamento in qualunque punto del piano utile per tutti i casi esaminati, quando la sorgente sia rappresentata da figure complesse, purchè sempre costituita da archi di cerchio sia pur di raggio diverso. Pure il problema proprio a sorgenti lineari disposte

(\*) Per motivi di chiarezza in tali figure non sono stati riportati i grafici per  $\frac{x}{R} = 0$ , i cui andamenti sono del resto ben conosciuti. Per piani utili paralleli al piano della sorgente, infatti, l'illuminamento è funzione lineare dello sviluppo dell'arco luminoso e quindi dell'angolo  $\alpha$ ; per piani utili paralleli al piano coordinato  $yz$  l'illuminamento è funzione sinusoidale di  $\alpha$ .

lungo ellissi pensabili come successione di archi di cerchio di opportuni raggi può essere risolto con sufficiente approssimazione.

Prendiamo pertanto, a scopo di esempio, in considerazione la sorgente di fig. 26 costituita da una successione di tubi a  $L^* = \text{cost.}$ , disposti ad archi di cerchio di cui i contigui presentino raggi di curvatura rispettivamente di 1 m e 4 m, posta ad una altezza di sospensione tale per cui  $\frac{h}{R}$  valgano rispettivamente 8 e 2.

Il problema del calcolo dell'illuminamento in un punto qualunque del piano utile parallelo al piano della sorgente è risolvibile, con discreta rapidità ed in modo semplice, consultando le figure 6, 7, 8, 9, 10. Ci si proponga, ad esempio, di valutare l'illuminamento in

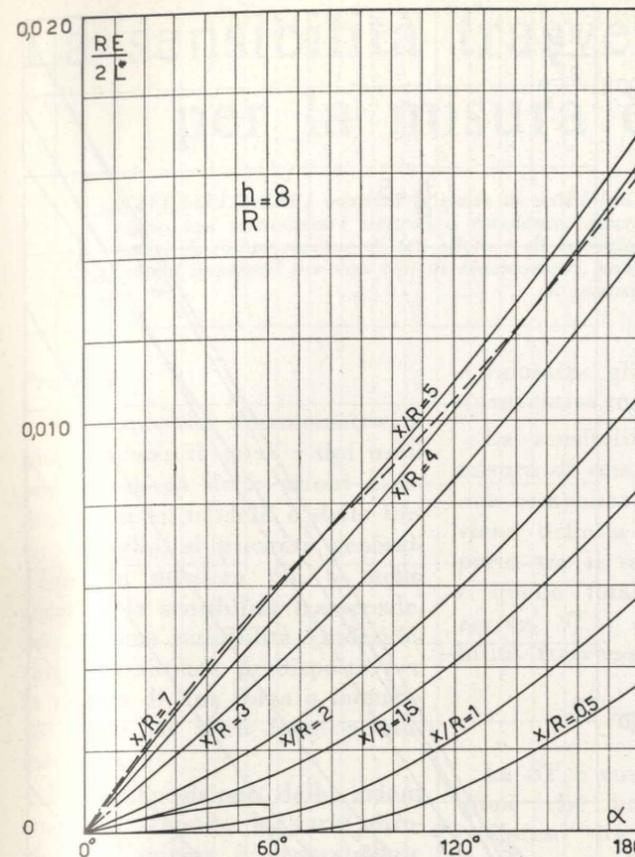


Fig. 20

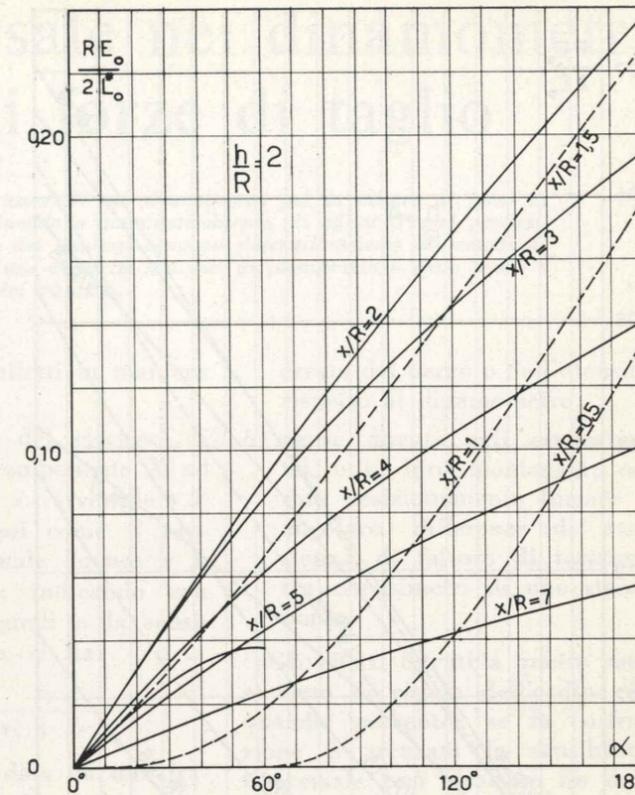


Fig. 21

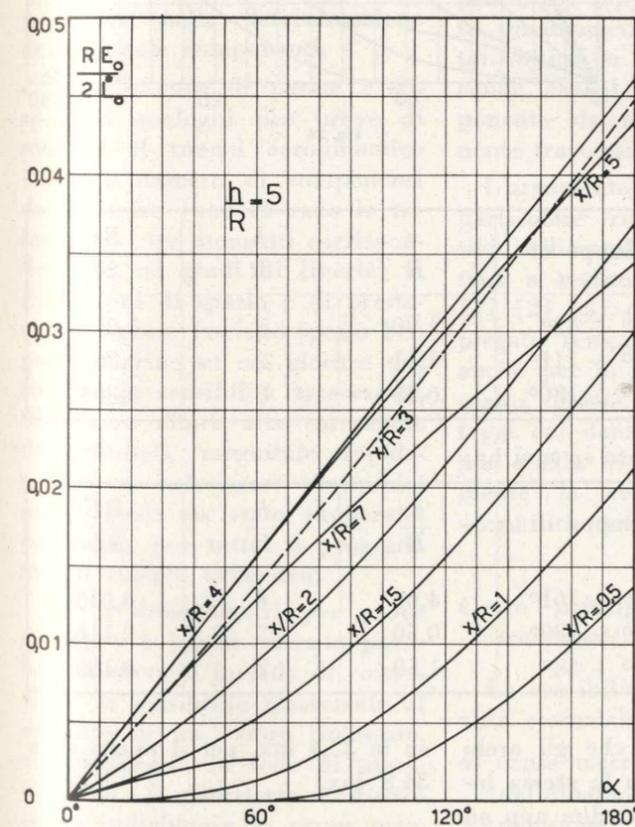


Fig. 23

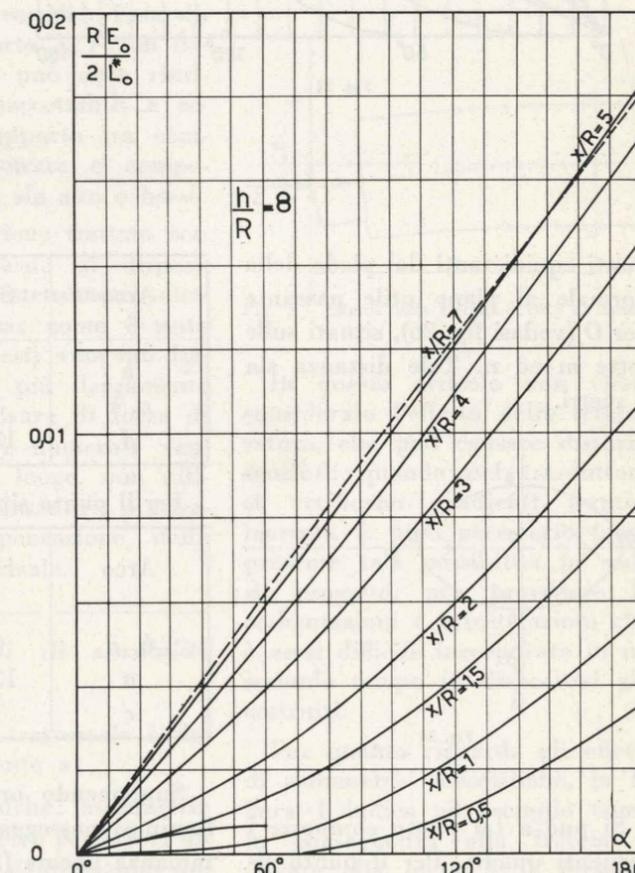


Fig. 25

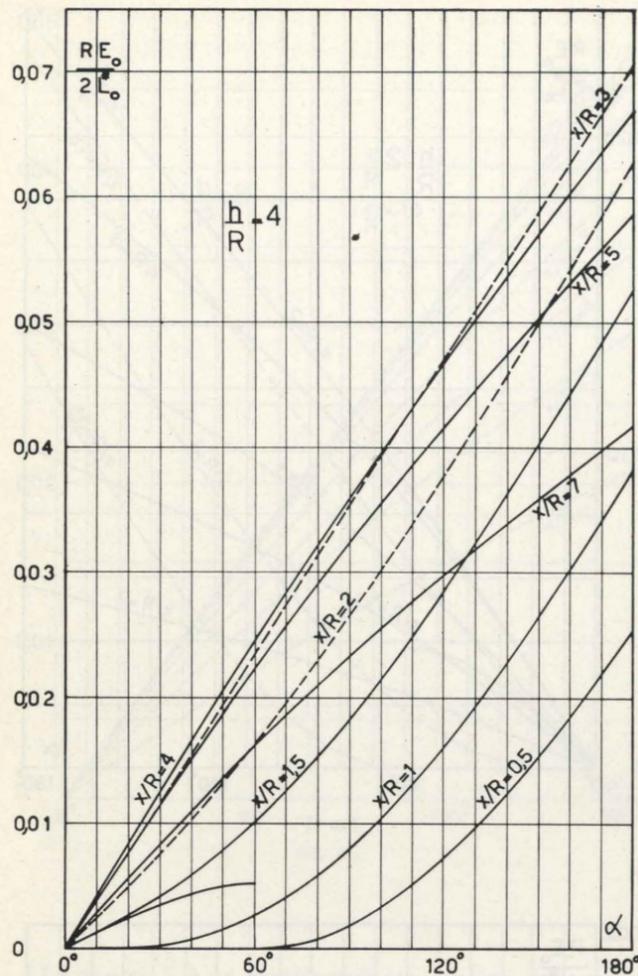


Fig. 22

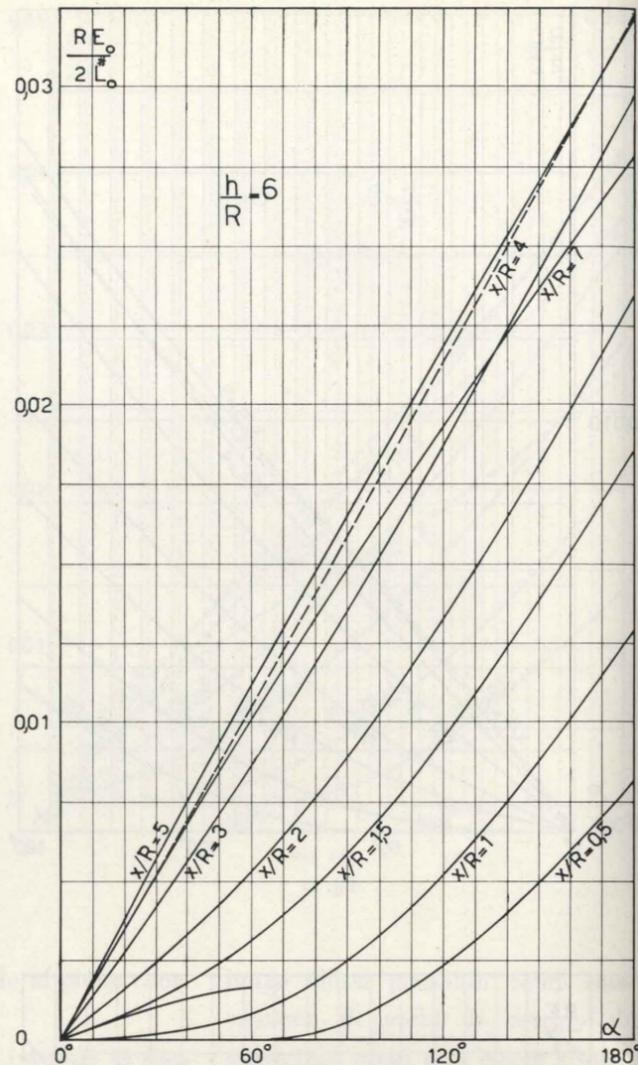


Fig. 24

punti equidistanti dal piede della normale al piano utile passante per  $O$  (vedasi fig. 26), situati sulle rette  $m$  ed  $n$ . Tale distanza sia 4 metri.

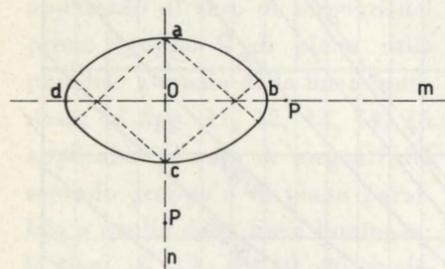


Fig. 26

Si può a tal punto comporre i seguenti quadri. Per il punto situato su  $m$  si ha:

Arco	Sviluppo di	$\frac{x}{R}$	$\frac{h}{R}$	$\frac{RE}{2L}$
$b$	$0^\circ \div 42^\circ$	1,70	8	0,0106
$a, c$	$15^\circ \div 111^\circ$	1,11	2	0,2630
$d$	$138^\circ \div 180^\circ$	6,25	8	0,0044

Per il punto situato su  $n$  si ha:

Arco	Sviluppo di	$\frac{x}{R}$	$\frac{h}{R}$	$\frac{RE}{2L}$
$b, d$	$76^\circ \div 161^\circ$	4,60	8	0,013
$a$	$132^\circ \div 180^\circ$	0,50	2	0,116
$c$	$0^\circ \div 48^\circ$	1,50	2	0,180

Supponendo ora che gli archi su  $m$  32,4 lux, per il punto su  $n$  luminosi posseggano la stessa luminosità lineare (200cd/m app ad esempio) si avrebbe per il punto

34,8 lux.

Giuseppe Antonio Pugno

## La sensibilità trasversale nei dinamometri per la misura di forze di taglio

RAFFAELLO LEVI analizza le cause di sensibilità trasversale nei dinamometri per la misura di forze di taglio con estensimetri elettrici a resistenza, determinandone quantitativamente gli effetti. I vari procedimenti di compensazione di tali effetti e di correzione dei risultati vengono descritti assieme ai metodi di misura impiegati per vari tipi di dinamometri, con l'uso di mezzi statistici di pianificazione delle prove e di analisi dei risultati.

### Premessa.

Nei dispositivi dinamometrici a più componenti, quali i tipi usati per la misura delle azioni aerodinamiche su modelli o delle forze di taglio, si presenta generalmente in maniera più o meno marcata la sensibilità trasversale, intesa come sensibilità (indesiderata) del sistema predisposto per la misura di una forza o momento anche ad altre forze o momenti.

La scomposizione delle azioni in gioco secondo le varie direzioni di misura è generalmente imperfetta, ed i risultati devono essere ulteriormente elaborati quando si desidera la massima precisione nella determinazione delle singole componenti.

Nelle bilance di parete e dispositivi analoghi per prove di modelli al tunnel aerodinamico l'elevato numero di componenti da misurare (non di rado le tre forze ed i tre momenti corrispondenti ai sei gradi di libertà) le limitazioni di spazio e di prestazioni imposte lasciano spesso ben poco margine su cui giocare per ridurre la sensibilità trasversale. Si ricorre allora alla correzione dei risultati, eseguibile rapidamente su calcolatori elettronici per i quali sia stato preparato, una volta per tutte, il programma di calcolo necessario.

Per i dinamometri per prove di taglio è invece sovente possibile mantenere in sede di costruzione la sensibilità trasversale al di sotto di un valore prefissato, o riportarvela in sede di messa a punto. È necessario a questo scopo individuare le cause principali di sensibilità trasversale,

e valutarne gli effetti in maniera quantitativa.

La sensibilità del circuito di misura di una componente  $X$  ad una componente « trasversale »  $Y$  viene definita qui come il rapporto tra il segnale dovuto a  $Y$  e quello totale; indicando con  $s_x, s_y, ST$  i segnali e la sensibilità trasversale, si ha:

$$ST = \frac{s_y}{s_x + s_y}$$

La  $ST$  è così data da una frazione che presenta un valore compreso tra zero (sensibilità trasversale nulla) e uno (tutto il segnale in uscita è dovuto alla componente trasversale). Essa dipende dal rapporto  $X/Y$ ; un dato dinamometro può dare risultati ottimi o inaccettabili a seconda che il rapporto tra componente da misurare e componente trasversale sia alto o basso.

L'argomento viene trattato con particolare riguardo ai dispositivi utilizzando estensimetri elettrici a resistenza; come è noto [1] [2] [3] questi vengono impiegati sempre più largamente anche per la misura di forze di taglio, grazie ai numerosi vantaggi cui danno luogo, non ultimo quello di consentire praticamente la compensazione della sensibilità trasversale.

### Cause principali di sensibilità trasversale.

La sensibilità trasversale è dovuta essenzialmente a:

a) cause meccaniche; asimmetrie del dinamometro per errori dimensionali o deformazioni dovute al carico, posizionamento

errato del pezzo o dell'utensile rispetto al dinamometro;

b) cause dovute agli estensimetri, o al loro montaggio; errato posizionamento lineare o angolare, differenze di resistenza, di fattore di taratura tra estensimetri di uno stesso ponte.

Gli effetti dovuti a queste cause sono di regola dell'ordine di qualche per cento; se la costruzione è accurata la sensibilità trasversale può risultare fin dall'inizio dell'ordine di poche unità per mille, e quindi senz'altro trascurabile nelle misure correnti.

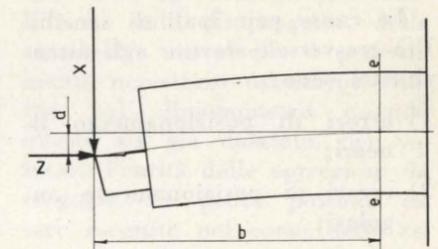


Fig. 1 - Effetto della freccia dovuta al carico.

In questo articolo non viene considerato l'effetto della temperatura, che può causare disturbi sensibili quando nel trasduttore si verificano gradienti termici marcati. È però necessario tener presente tale possibilità in sede di progetto, per prevedere le coibentazioni e refrigerazioni che è assai difficile incorporare in un secondo tempo in dispositivi già costruiti.

Per quanto riguarda gli effetti di asimmetrie meccaniche, la figura 1 indica ad esempio come in conseguenza alla freccia  $d$  dovuta alla forza  $X$  la forza  $Z$  eserciti anche un momento  $Zd$

che verrà misurato dagli estensimetri e usati per la misura di X. Un centraggio errato dell'utensile avrebbe effetti paragonabili.

Considerando il corpo del dinamometro a sezione costante, si può calcolare rapidamente la sensibilità trasversale dovuta a questo contributo; tenendo presente che le deformazioni di egual segno su estensimetri opposti vengono eliminate per via elettrica, si ottiene

$$C_1 = \frac{1}{\frac{3EJX}{(Zb)^2} + 1}$$

Si nota l'importanza della rigidità del dinamometro; per conciliarla con la sensibilità, è conveniente in certi casi [1] concentrare le deformazioni nella zona di applicazione degli estensimetri mediante intagli. Il calcolo di  $C_1$  viene eseguito agevolmente conoscendo le relazioni tra carichi, frecce e deformazioni; per anelli circolari e ottagonali sono state pubblicate le formule necessarie [4] [5].

Le cause principali di sensibilità trasversale dovute agli estensimetri sono:

- 1) errori di posizionamento lineari;
- 2) errori di posizionamento angolari;
- 3) differenze di fattore di taratura;
- 4) differenze di resistenza.

In quanto segue le griglie estensimetriche verranno considerate di dimensioni piccole rispetto al corpo del dinamometro.

L'effetto di errori lineari di posizionamento si determina semplicemente nel caso schematizzato nella fig. 2. Nei punti 1 e 2 le deformazioni dovute a flessione valgono:

$$\varepsilon_1 = KY \quad \varepsilon_2 = KX$$

Se l'estensimetro in 2 viene disposto in 2', spostato di  $\Delta l$  in senso circonferenziale, si misurerà una deformazione

$$\alpha\varepsilon_1 + \beta\varepsilon_2 = K(\alpha Y + \beta X)$$

Per errori  $\Delta l$  piccoli rispetto a  $D$ , si ha, con buona approssimazione:

$$\alpha \cong 1 \quad \beta \cong \frac{2\Delta l}{D}$$

e la sensibilità trasversale risulta

$$C_2 = \frac{1}{\frac{Y}{X} \frac{D}{2\Delta l} + 1}$$

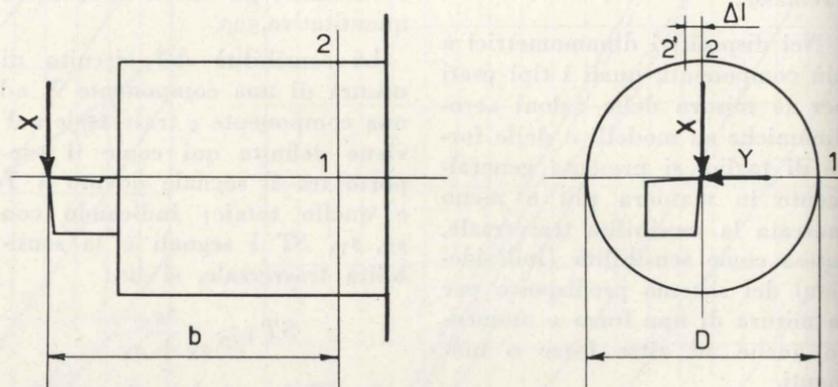


Fig. 2 - Errore lineare di posizionamento di un estensimetro.

In pratica non è possibile scendere con  $\Delta l$  al di sotto di qualche decimo di millimetro; specie con rapporti sfavorevoli di  $Y/X$  risulta necessario scegliere alti valori di  $D$ , e quindi elementi sensibili tubolari a parete sottile, volendo limitare l'entità delle compensazioni successive.

La valutazione dell'effetto di errori angolari di posizionamento viene fatta considerando il cerchio di Mohr per le deformazioni, indicato nella fig. 3.

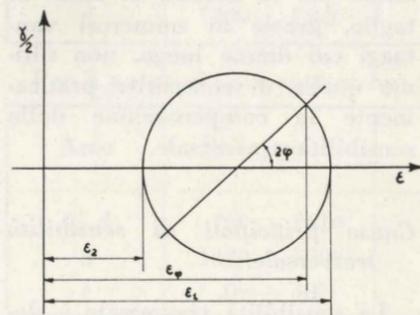


Fig. 3 - Cerchio di Mohr per le deformazioni.

Se l'estensimetro deve essere disposto con la griglia orientata secondo un angolo  $\varphi$  rispetto

alle direzioni principali, derivando rispetto a  $\varphi$  l'espressione di  $\varepsilon_\varphi$  in funzione di  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  si ha

$$\frac{d\varepsilon_\varphi}{d\varphi} = -(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \sin 2\varphi$$

Nel caso di un elemento tubolare (diametro esterno  $D$ , interno  $d$ ) sottoposto ad uno sforzo assiale  $N$  e ad un momento torcente  $M$  da misurare separa-

tamente, un estensimetro disposto secondo una generatrice oltre a misurare una deformazione  $\varepsilon$  data da:

$$\varepsilon = \frac{4N}{\pi E(D^2 - d^2)}$$

per effetto di un errore angolare di posizionamento  $\Delta\varphi$  misurerà anche un contributo dovuto a  $M$ ,

$$\Delta\varepsilon = M\Delta\varphi \frac{32D(1+\nu)}{E(D^4 - d^4)}$$

Otteniamo quindi

$$C_3 = \frac{1}{\frac{N}{M\Delta\varphi} \frac{D^2 + d^2}{8D(1+\nu)} + 1}$$

per un estensimetro longitudinale; l'estensione ai rimanenti che compongono il ponte di misura di  $N$  è immediata.

Per la misura del momento torcente  $M$  si usano spesso con vantaggio in luogo di estensimetri singoli rosette a  $90^\circ$ , sempre con le griglie estensimetriche orientate a  $45^\circ$  rispetto alle generatrici. L'errore angolare di posizionamento relativo tra due griglie di una stessa rosetta è al-

lora trascurabile rispetto a quello di posizionamento dell'intera rosetta.

Procedendo come sopra, per un errore di posizionamento  $\Delta\varphi$  otteniamo un coefficiente di sensibilità trasversale per la rosetta

$$C_4 = \frac{1}{\frac{M}{N\Delta\varphi} \frac{4D}{D^2 - d^2} + 1}$$

Differenze di fattore di taratura tra estensimetri di uno stesso ponte hanno principalmente l'effetto di compromettere la eliminazione di prima approssimazione per via elettrica dei segnali dovuti alle componenti trasversali, quando queste producono sugli estensimetri deformazioni non trascurabili rispetto a quelle da misurare.

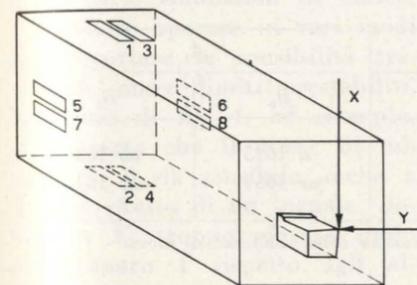


Fig. 4 - Dinamometro a flessione a due componenti; disposizione degli estensimetri e loro montaggio nei ponti.

Nel montaggio classico della fig. 4, con due ponti completi per la misura separata di  $X$  e  $Y$ , gli estensimetri sono disposti in modo da misurare deformazioni dovute ad entrambe le forze. Le componenti indesiderate del segnale vengono poi eliminate per via elettrica coi montaggi a ponte indicati. Condizione necessaria per tale eliminazione è che la somma algebrica dei prodotti delle deformazioni da eliminare nei quattro estensimetri per i rispettivi fattori di taratura  $g$  sia eguale a zero.

Si ammetta che una forza (applicata secondo la direzione di  $X$  o  $Y$ ) produca deformazioni eguali in valore assoluto sugli estensimetri di uno stesso ponte. Indicando con  $K$  il rapporto tra i valori assoluti delle deformazioni prodotte su un estensimetro del ponte di misura di  $X$  da forze eguali agenti rispettivamente nelle direzioni di  $X$  e  $Y$ , si ottiene per il coefficiente di sensibilità trasversale del ponte di misura di  $X$ , dovuto a differenze tra i fattori di taratura  $g_i$ , l'espressione

$$C_5 = \frac{1}{\frac{X}{KY} \frac{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}{g_1 - g_2 + g_3 - g_4} + 1}$$

Si nota l'utilità di disporre gli estensimetri in prossimità dell'asse neutro per la componente da eliminare, in modo da avere un basso valore di  $K$ .

Gli scarti nel fattore di taratura degli estensimetri impiegati possono essere ridotti ricorrendo alla misura diretta di  $g$  mediante una tecnica particolare [6], anziché basarsi sul valore determinato su base statistica dal costruttore.

Differenze di resistenza tra i vari estensimetri del ponte compromettono la compensazione per via elettrica della sensibilità trasversale in modo analogo a quanto visto sopra per il fattore di taratura.

Dall'equazione base del ponte di Wheatstone, che lega la tensione di uscita e alla tensione di alimentazione  $V$ ,

$$e = V \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

posti [7]

$$R_1 = R_0(1 + a)$$

$$R_2 = R_0(1 + b)$$

$$R_3 = R_0(1 + c)$$

$$R_4 = R_0(1 + d)$$

differenziando e scartando infinitesimi di ordine superiore si ottiene

$$\frac{\Delta e}{V} = \frac{g}{8} [(2 + a + b)(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + (2 + c + d)(\varepsilon_3 - \varepsilon_4)]$$

Nel caso ad esempio di un elemento sensibile cilindrico con un ponte completo di estensimetri per la misura del momento torcente  $M_t$ , il coefficiente di sensibilità trasversale ad un momento flettente  $M_f$  per effetto di uno squilibrio resistivo iniziale risulta, sempre considerando la base degli estensimetri piccola rispetto al diametro esterno

$$C_6 = \frac{1}{2 \frac{M_t}{M_f} \frac{1 + \nu}{1 - \nu} \frac{4 + a + b + c + d}{a + b - c - d} + 1}$$

Si noti però che è sufficiente montare nello stesso ponte estensimetri la cui resistenza iniziale sia eguale a meno di  $0,1 \Omega$  per rendere il valore di  $C_6$  trascurabile nei casi normali, anche tenendo conto delle piccole variazioni di resistenza che si verificano tra i vari estensimetri per effetto del montaggio.

#### La misura della sensibilità trasversale.

Data la variabilità di origini, non tutte agevolmente controllabili in sede di progetto, della sensibilità trasversale, è generalmente necessario misurarne l'entità sul dinamometro quando questo sia già montato, per valutare l'entità delle correzioni da eseguire. Le prove possono essere eseguite nel corso della taratura statica, applicando varie combinazioni di carichi e misurando le uscite corrispondenti dei vari circuiti di misura. I diversi carichi devono poter essere applicati indipendentemente l'uno dall'altro, dai minimi ai massimi valori di progetto; a tale scopo sono state realizzate diverse soluzioni costruttive.

Preso la S.E.M.O. è stato messo a punto [2] un banco di taratura per portautensili da tornio, con tre martinetti a vite disposti secondo una terna di assi ortogonali, agenti su un grano montato al posto dell'utensile sul dispositivo in prova. Le forze applicate vengono misurate con dinamometri meccanici, ad anello o a cella, a seconda della por-

tata, con precisione dell'ordine di 0,1 %.

È stato realizzato [8] un dispositivo di taratura utilizzabile senza smontare il dinamometro dal tornio. Una leva con romano applica la componente corrispondente alla resistenza principale di taglio, un dinamometro meccanico fissato alla controtesta quella corrispondente alla resistenza all'avanzamento. La precisione del dispositivo è dell'ordine dello 0,4 %.

Un semplice montaggio messo a punto per la taratura di un portautensili dinamometrico a due componenti [9] permette di ottenere una combinazione qualsiasi tra le due componenti uti-

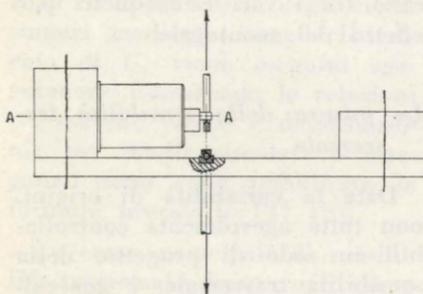


Fig. 5 - Dispositivo di taratura di un dinamometro a due componenti.

lizzando un solo carico esterno, secondo lo schema di fig. 5.

Il dinamometro montato nel suo supporto, equilibrato staticamente rispetto alla linea d'azione del carico, viene sospeso tra le traverse di una macchina di taratura a pesi diretti, di precisione 1:50.000. L'uso di snodi sferici e coltelli permette di evitare spostamenti della linea di azione del carico durante i cicli di taratura; con una livella a bolla d'aria si controlla che non si verifichino rotazioni. È sufficiente ruotare il dinamometro sul suo asse (A-A in fig. 5) per ottenere tutte le combinazioni volute tra le due componenti.

I risultati ottenuti mostrano che per il ponte di misura della

resistenza principale di taglio  $X$  la sensibilità trasversale porta a variazioni del fattore di taratura contenute entro lo 0,5 %. Per il ponte di misura della resistenza all'avanzamento  $Y$  si ha invece una variazione del 3 % del fattore di taratura passando da  $X/Y=1$  a  $X/Y=3$ , di cui si tiene conto nell'elaborazione dei risultati.

Fattore		Livello	
		0	1
A	Momento torcente . . . . . kgm	0	40
B	Momento flettente . . . . . kgm	0	10
C	Sforzo assiale . . . . . kg	0	500

TABELLA 1 - Fattori e livelli del piano di prove.

	$A_0$		$A_1$	
	$B_0$	$B_1$	$B_0$	$B_1$
$C_0$	(1) 0	$b - 9$	$a 1625$	$ab 1609$
$C_1$	$c 20$	$bc 10$	$ac 1657$	$abc 1644$

TABELLA 2 - Risultati (in  $\mu\epsilon$ ) e codificazione delle condizioni di prova.

(1)	0	1625	3225	6556
$a$	1625	1600	3331	6514
$b$	-9	1677	3243	-48
$ab$	1609	1654	3271	-10
$c$	20	1625	-25	106
$ac$	1657	1618	-23	28
$bc$	10	1637	-7	2
$abc$	1644	1634	-3	4

TABELLA 3 - Elaborazione dei risultati delle prove.

La misura della sensibilità trasversale di un portafresa dinamometrico per fresatura frontale

Fattore	Effetto, $\mu\epsilon$	Fattore di taratura
Momento torcente . . . . .	1628,5	0,0245 kgm/ $\mu\epsilon$
Momento flettente . . . . .	-12	0,83 kgm/ $\mu\epsilon$
Sforzo assiale . . . . .	26,5	19 kg/ $\mu\epsilon$
Interazione AB . . . . .	-2,5	—
Interazione AC . . . . .	7	—

TABELLA 4 - Effetti del primo ordine e interazioni significativi; fattori di taratura per le tre componenti applicate.

richiede l'applicazione di una serie di combinazioni di momenti flettenti, sforzi assiali e momenti torcenti al trasduttore, per determinare l'effetto delle varie componenti isolate e delle loro eventuali interazioni.

Il numero di prove necessario anche per una valutazione di prima approssimazione di tali effetti è tale da rendere conveniente un

lo 1 % (in base alla analisi degli scarti quadratici delle singole misure, di cui le tabelle riportano i valori medi) sono indicati nella Tab. 4; si ritroverà per la sensibilità al momento torcente il valore ottenuto in un'altra serie di prove [11] con diversa attrezzatura, a meno dello 0,4 %. Il significato fisico delle interazioni è in questo caso quello di variazioni di sensibilità ad una componente, per effetto delle deformazioni dell'elemento sensibile dovute ad un'altra.

#### Compensazione elettrica della sensibilità trasversale.

Eseguita la determinazione delle uscite dei singoli estensimetri nelle varie condizioni di carico, è possibile operare in vari modi per riportare la sensibilità trasversale entro limiti prestabiliti. Nel caso di fig. 4, ad esempio, si ammetta che il ponte di misura di  $X$  sia sensibile anche a  $Y$ , per effetto di un segnale, dovuto a  $Y$ , troppo elevato dallo estensimetro 1 rispetto agli altri tre.

Si può allora disporre in serie all'estensimetro 1 una resistenza  $R_s$ , e in parallelo una resistenza  $R_p$ , e determinarne i valori imponendo di ottenere la riduzione voluta di segnale, mantenendo l'equilibrio iniziale del ponte. Una breve analisi indica che, posta  $A$  l'attenuazione da ottenere sul segnale dell'estensimetro 1, si ha con buona approssimazione

$$R_s = R_1 (1 - \sqrt{A})$$

$$R_p = R_1 \frac{\sqrt{A}}{1 - \sqrt{A}}$$

In questo modo l'uscita del ponte di misura di  $X$  risulta attenuata di  $(A+3)/4$ .

Questo genere di compensazione è possibile solo quando si deve variare solo l'ampiezza, e non il segno, del segnale dato dall'estensimetro su cui si agisce per ottenere la compensazione.

Se ciò non si verifica, si può ricorrere ad una compensazione di tipo « attivo », introducendo nel ponte di misura di  $X$  anche un estensimetro addizionale, disposto in modo da dare un segnale essenzialmente proporzionale a  $Y$  di ampiezza e segno opportuni.

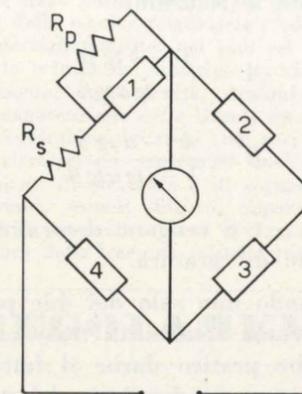


Fig. 6 - Inserimento di resistenze nel ponte per l'attenuazione del segnale di un estensimetro.

I valori delle resistenze di adattamento introdotte assieme allo estensimetro addizionale vengono determinati in modo da introdurre il segnale proporzionale a  $Y$  nella misura necessaria per la compensazione, senza variare la resistenza iniziale del ramo del ponte su cui si agisce.

Uno degli schemi più semplici con cui si può raggiungere lo scopo è indicato nella fig. 7. Indicando con  $\Delta R_c$  la variazione di resistenza da ottenere per la compensazione,  $\Delta R_5$  la variazione di resistenza dell'estensimetro addizionale 5 dovuta ad  $Y$ , si ha

$$\Delta R_c = \Delta R_5 \frac{R_5}{R_5 + R_b}$$

e ponendo  $R_5 = R_1$ , si ottiene

$$R_b = R_1 \frac{\Delta R_c}{\Delta R_5 - \Delta R_c}$$

$$R_p = \frac{R_1^2}{R_b}$$

L'attenuazione  $A$  del segnale dell'estensimetro 1 risulta

$$A = \left( \frac{R_1}{R_1 + R_b} \right)^2$$

Inserendo in un lato del ponte estensimetro resistenze addizionali secondo gli schemi delle figg. 6 e 7, occorre tener conto di due effetti addizionali [7]; perdita di linearità e perdita della compensazione per via elettrica degli effetti di dilatazioni termiche uniformi.

Il primo effetto è generalmente di poca importanza; indicando con  $R_T$  la resistenza del lato del ponte in cui sono inserite le resistenze  $R_p$  e  $R_s$  (fig. 6), con  $c$  il fattore di non linearità, si ha

$$\frac{\Delta R_T}{R_T} = \frac{A}{1+c} \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

da cui

$$c = \sqrt{A} (1 - \sqrt{A}) \frac{\Delta R_1}{R_1}$$

Ponendo (p. es.):

$A=0,25$ ,  $\epsilon=10^{-3}$ ,  $g=2$ , si ottiene:

$$c = 5 \times 10^{-4}$$

che è senz'altro trascurabile per le misure di forze di taglio.

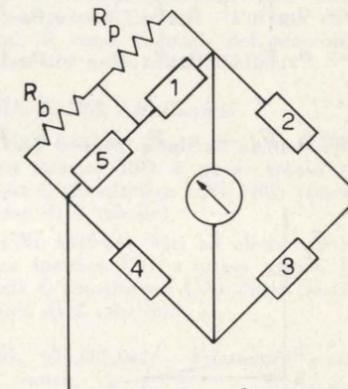


Fig. 7 - Inserimento di un estensimetro addizionale di compensazione.

Anche il secondo effetto, eliminabile agendo su due lati adiacenti del ponte invece che su uno solo, è in genere di poca importanza in questo campo. Infatti da un lato schermatura e refrigerazione devono per altri motivi essere proporzionate in modo da non consentire scarti di temperatura superiori, al massimo, a pochi gradi all'elemento sensibile, dall'altro le prove con-

sentono un frequente controllo della linea di zero sulla registrazione, al termine di ogni passata; in tale modo eventuali piccole derive termiche possono venire adeguatamente controllate.

In prove ininterrotte di lunga durata si può usare un montaggio particolare [12] che consente di controllare in qualunque momento l'uscita di zero, indipendentemente dalla presenza di carichi statici o dinamici sul trasduttore.

#### Correzione dei risultati per via analitica o grafica.

I risultati delle misure possono essere corretti per via grafica o analitica, per eliminare gli effetti di sensibilità trasversale non compensati sul trasduttore.

Le uscite  $E_1, E_2 \dots E_n$  dei ponti di misura possono essere date in funzione delle componenti  $F_1, F_2 \dots F_n$  applicate sotto la forma

$$E_1 = a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + \dots + a_{1n}F_n$$

$$E_2 = a_{21}F_1 + a_{22}F_2 + \dots + a_{2n}F_n$$

$$\dots$$

$$E_n = a_{n1}F_1 + a_{n2}F_2 + \dots + a_{nn}F_n$$

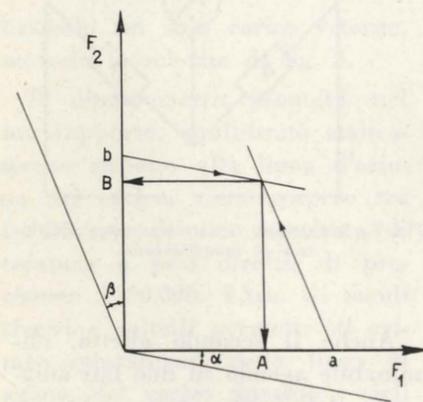


Fig. 8 - Correzione grafica di risultati.

da cui noti i coefficienti  $\alpha_{ij}$  a seguito della taratura, si può risalire alle  $F_i$ . Il procedimento è conveniente solo nel caso di  $n$  molto piccolo, o quando si disponga di calcolatori elettronici,

come è stato accennato in precedenza.

I procedimenti grafici sono pratici quando si hanno solo due componenti; la semplice costruzione di fig. 8 permette di ricavare dai risultati sperimentali  $a, b$  i valori corretti  $A, B$  delle componenti  $F_1$  e  $F_2$ .

Valgono le relazioni

$$A = \frac{a - b \operatorname{tg} \beta}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}$$

$$B = \frac{b - a \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}$$

in cui  $\alpha$  e  $\beta$  vengono determinati in sede di taratura.

Quando uno solo dei due ponti presenta sensibilità trasversale è anche pratico darne il fattore di taratura in funzione del rapporto tra le uscite, specie se i risultati devono essere elaborati in forma tabellare.

#### Conclusioni.

I metodi indicati consentono di calcolare in sede di progetto del trasduttore gli effetti della sensibilità trasversale, e di compensarli nella messa a punto. Risultata assai difficile ridurre il segnale indesiderato a meno di qualche millesimo del segnale principale; ciò corrisponde già all'ordine di grandezza degli errori di riproducibilità dei dispositivi elastici usati per la misura delle forze applicate nei banchi di taratura a più componenti [13]. Inoltre perturbazioni di ordine di grandezza analogo possono essere introdotte dalla strumentazione di misura. Il circuito di equilibramento di vari amplificatori a frequenza portante contiene, inserite in parallelo a due lati adiacenti del ponte estensimetrico, resistenze variabili, che alterano nel modo precedentemente esaminato la compensazione della sensibilità trasversale.

Anche per questi motivi è difficile spingere la precisione di

dinamometri a più componenti molto al di là di valori dell'ordine dello 0,5%; sono spesso superiori [14] gli errori che si verificano con dinamometri (per una componente) di precisione 0,1%, quando il carico da misurare ha componenti trasversali di qualche entità.

Raffaello Levi

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] E. G. LOEWEN, E. R. MARSHALL, M. C. SHAW, *Electric Strain Gage Tool Dynamometers*, Proceedings of the S.E.S.A., v. VIII N. 2 p. 1, 1951.
- [2] L. CHAMPETIER, *La S.E.M.O. et les études sur le contrôle des machines*, La Machine Moderne, N. 8 p. 35, 1953.
- [3] G. PAHLITZSCH, G. SPUR, *Einrichtungen zum Messen der Schnittkräfte beim Bohren*, Werkstatttechnik, N. 6 p. 302, 1959.
- [4] E. G. LOEWEN, N. H. COOK, *Metal Cutting Measurements and their Interpretation*, Proceedings of the S.E.S.A. v. XIII N. 2 p. 57, 1956.
- [5] B. L. WILSON, D. R. TATE, G. BORKOWSKI, *Proving Rings for Calibrating Testing Machines*, N.B.S. Circular 454, Washington 1946.
- [6] A. BRAY, *The Recovery of Resistance Strain Gages*, Acta IMEKO, Budapest 1961.
- [7] W. M. MURRAY, P. K. STEIN, *Strain Gage Techniques*, M.I.T., Cambridge 1958.
- [8] B. L. TEN HORN, R. A. SCHÜRMAN, *Dynamomètre de tour à deux composantes*, Microtecnic, N. 2 p. 58, 1957.
- [9] R. LEVI, *Indagini sperimentali sulla misura di forze di taglio*, Macchine Utensili, N. 2 p. 5, 1963.
- [10] R. A. FISHER, *The Design of Experiments*, Oliver & Boyd, Edinburgh 1960.
- [11] R. LEVI, *Dispositivi per la misura di forze di taglio nella fresatura*, Ingegneria Meccanica (in corso di stampa).
- [12] V. A. RIKHTER, *Zero Point Control in Resistance Wire Strain Gauge Measurements*, Izmeritel'naya Tekhnika, N. 5 p. 21, 1963.
- [13] L. CHAMPETIER, *La mesure des efforts de coupe à l'aide de jauges de contrainte*, La Machine-Outil Française, N. 4 p. 57, 1957.
- [14] A. L. THURSTON, *Commercial Weighing with Resistance Strain Gages* (Discussion) N.B.S. Circular 528, Washington 1954.

## R E C E N S I O N I

GIANNI ROBERT, *Le Ferrovie nel Mondo*, Vallardi, Milano, 1964.

L'ing. Robert (Direttore C.le e Consigliere di Amministrazione delle Ferrovie dello Stato) è uno studioso ben noto ed apprezzato dei problemi attuali dei trasporti ed uno scrittore fecondo che, con queste qualità, ha affrontato la rigorosa indagine sulle diverse situazioni delle principali ferrovie esistenti, valutandole con spirito critico e con sicura visione del loro divenire, anche in rapporto all'aspetto concorrenziale degli altri vettori. Egli riesce in tal modo, a suscitare — attraverso una piacevole lettura — l'interesse più vivo di un largo pubblico, con un'opera divisa in quattro parti: 1) *Cenno storico generale*; 2) *Panorama delle Ferrovie nel Mondo*; 3) *I grandi settori della tecnica ferroviaria*; 4) *Fatti e cifre. Uomini e cose*.

Nella prima parte, dopo essersi soffermato sulle lontane e difficoltose origini della strada ferrata, cui ha fatto seguito un periodo di sempre crescente affermazione e largo sviluppo del nuovo mezzo di trasporto, l'Autore ci conduce all'esame della situazione del nostro tempo, nel quale la ferrovia, perduto il passato monopolio ed insidiata dalla concorrenza di mezzi più moderni, deve rinnovarsi e perfezionarsi se vuole ancora svolgere un importante ruolo nel campo dei trasporti.

La seconda parte si articola su cinque Capitoli nei quali sono descritte le principali reti ferroviarie, raggruppate per Continenti: in ciascun Capitolo, però, le indicazioni relative ad ogni singola rete sono precedute da notizie e considerazioni di carattere generale (storico-geografico, tecnico e politico) per meglio inquadrare il mezzo di trasporto nell'ambiente ove opera.

Il maggior sviluppo dello studio è dato alle ferrovie europee, ed in particolare a quella italiana, sia per il preminente interesse che la ferrovia ha rappresentato e rappresenta tuttora nel sistema di trasporti europei rispetto ad altri paesi, sia per la evoluzione subita ed in corso per riaffermare maggiormente i legami internazionali fino a costituire quasi una vera e propria rete ferroviaria internazionale, soggetta a tecniche comuni e gestita con criteri uniformi e di stretta collaborazione, ciò che appare tanto più necessario in quanto tutte le ferrovie europee sono fortemente insidiate dalla concorrenza degli altri mezzi di trasporto e debbono organizzarsi per sostenerla, ammodernandosi negli impianti e nei mezzi di esercizio, ridimensionandosi — se del caso — nell'estensione chilometrica e nei servizi, per conseguire l'indispensabile riduzione dei costi di esercizio al minimo possibile.

Il problema non si pone negli stessi termini per altri paesi extraeuropei, nei quali la ferrovia ha già superato la crisi che ancora travaglia la rotaia nel nostro Continente, oppure nei quali, per l'arretratezza di tutti i sistemi di trasporto o per la loro insufficienza rispetto al progressivo sviluppo della produzione agricola e industriale, si rende necessario un

rapido accrescimento delle linee esistenti e dei mezzi di trasporto in generale.

Nella illustrazione delle reti dei diversi paesi — ed in particolare di quella delle ferrovie italiane — sono fornite numerose notizie circa l'entità del traffico, gli impianti fissi, i parchi di materiale rotabile, i piani tecnici e finanziari per l'ammodernamento ed il loro graduale sviluppo.

La terza parte riguarda « i grandi settori della tecnica ferroviaria » ed esamina dettagliatamente, nei suoi sei Capitoli: la tecnica del binario (tracciato, armamento, opere d'arte, stazioni, lavori di manutenzione delle linee); quella della circolazione dei treni (nei vari sistemi di circolazione esistenti); quella degli impianti di sicurezza e di segnalamento (scambi, segnali, blocco, apparati centrali di manovra e loro evoluzione); la tecnica della trazione (sistemi trazione e

tipi di locomotive, dalla ormai sorpassata trazione a vapore a quella più recente elettrica e diesel); la frenatura (il problema in generale e la realizzazione dei vari tipi di freno in uso); le tecniche ferroviarie verso il futuro e cioè quelle realizzazioni sperimentali che possono aprire la via ad un grande progresso, forse non molto lontano, del mezzo ferroviario per adeguarlo alle grandi realizzazioni già in atto o di prossima attuazione in altri campi del trasporto.

La quarta ed ultima parte (« Fatti e cifre. Uomini e cose ») è una raccolta di notizie storiche e di « curiosità » che si riferiscono ad alcuni grandi treni o servizi, alla ferrovia come ispiratrice di artisti (pittori, letterati, musicisti) e di registi cinematografici, ecc.; in essa viene riservato un posto di giusto rilievo ai grandi uomini che con la capacità o con l'intuito politico hanno permesso alla ferrovia di nascere e di affermarsi nel mondo.

M. CIRILLO

## REGOLAMENTAZIONE TECNICA

NUOVE UNIFICAZIONI (pubblicate dal 1° ottobre al 31 dicembre 1964)

C.D. 621.78:669.1 - Trattamenti termici dei materiali ferrosi.

UNI 5464-64: Trattamenti termici dei materiali ferrosi - Sherardizzazione (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5478-64: Id. - Nitrazione (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 5479-64: Id. - Carbonitrurazione e cianurazione (fascicolo unico di 4 tabelle).

C.D. 621.882 - Cuscinetti volventi.

UNI 5417-64: Cuscinetti volventi - Codice di identificazione per cuscinetti a sfere ed a rulli (fascicolo unico di 26 tabelle).

UNI 5453-64: Id. - Cuscinetti radiali, orientabili, a due corone di rulli, con foro conico - Serie di dimensioni 03 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5454-64: Id. - Id. - Serie di dimensioni 30 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5455-64: Id. - Id. - Serie di dimensioni 31 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5456-64: Id. - Id. - Serie di dimensioni 23 (Sostituisce UNI 3079) (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5457-64: Id. - Id. - Serie di dimensioni 02 (Sostituisce UNI 3075) (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5458-64: Id. - Id. - Serie di dimensioni 03 (Sostituisce UNI 3076) (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5459-64: Id. - Id. - Serie di dimensioni 04 (Sostituisce UNI 3077) (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5460-64: Cuscinetti volventi - Cuscinetti a rulli conici, con angolo di contatto oltre 10 fino a 17° - Serie di dimensioni 20 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5461-64: Id. - Cuscinetti a rulli conici, con angolo di contatto oltre 24 fino a 32° - Serie di dimensioni 03.

C.D. 621.876 - Ascensori.

UNI 3173-64: Montalettighe elettriche con argano a frizione - Portate, cabine, vani di corsa e locali del macchinario (fascicolo unico di 4 tabelle).

C.D. 621.882 - Bulloneria.

UNI 5448-64: Dadi ad alette - Filettatura metrica ISO a passo grosso Categoria C (Sostituisce UNI 2401) (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 5449-64: Viti ad alette - Filettatura metrica ISO a passo grosso Categoria C (Sostituisce UNI 2394) (fascicolo unico di 2 tabelle).

C.D. 621.882.082 - Filettature e tolleranze.

UNI 4533-64: Filettature ISO a profilo triangolare - Profilo e procedimento di calcolo degli elementi geometrici (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 4534-64: Id. - Generalità, serie diametri e passi (Sostituisce parzialmente UNI 2702) (fascicolo unico di 5 tabelle).

UNI 4535-64: Id. - Dimensioni nominali (Sostituisce UNI 2703, 2704 e 2705 e parzialmente UNI 159 (2ª Ed.) e UNI 160 (2ª Ed.) (fascicolo unico di 9 tabelle).

UNI 4536-64: Id. - Dimensioni nominali per bulloneria (Selezione della UNI 4535-64) (Sostituisce parzialmente UNI 2706 e UNI 2707) (fascicolo unico di 3 tabelle).

C.D. 621.9 - Macchine utensili.

UNI 4788-64: Macchine utensili - Scalinature a T.

UNI 5445-64: Sensi di manovra degli organi di comando delle macchine utensili - Norme generali (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5471-64: Tornio parallelo - Sensi di manovra.

UNI 5472-64: Tornio a torretta - Sensi di manovra.

UNI 5473-64: Fresatrice orizzontale universale - Sensi di manovra (Con UNI 5474-64 sostituisce UNI 3087).

UNI 5474-64: Fresatrice verticale - Sensi di manovra (Con UNI 5473-64 sostituisce UNI 3087).

UNI 5475-64: Alesatrice fresatrice universale - Sensi di manovra.

UNI 5476-64: Limatrice - Sensi di manovra.

UNI 5477-64: Dentatrice orizzontale a creatore - Sensi di manovra.

UNI 5529-64 - Macchine utensili - Distanze tra scanalature a T e dimensioni delle superfici utili di fissaggio per tavolo e piattaforme portapezzo.

C.D. 621.9:621.88 - *Macchine utensili - Viti dadi e linguette.*

UNI 5530-64: Linguette di appostamento per macchine utensili - Dimensioni e direttive d'applicazione (Sostituisce UNI 1936).

UNI 5531-64: Dadi per scanalature a T (Sostituisce UNI 1938).

UNI 5532-64: Viti a testa quadra per scanalature a T (Sostituisce UNI 1939).

UNI 5533-64: Viti a testa a martello per scanalature a T (Sostituisce UNI 1940).

UNI 5534-64: Tiranti filettati per dadi (Sostituisce UNI 1941).

UNI 5535-64: Manicotti di giunzione per tiranti (Sostituisce UNI 1942).

UNI 5536-64: Dadi esagonali di manovra per macchine utensili (Sostituisce UNI 1943).

C.D. 621.918.02/.4 - *Lime e raspe.*

UNI 5480-64: Lime - Termini e definizioni (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 5481-64: Id. - Caratteristiche generali.

UNI 5482-64: Raspe - Termini e definizioni (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5483-64: Id. - Caratteristiche generali.

UNI 5484-64: Lime e raspe - Densità di taglio e numero intagli (fascicolo unico di 5 tabelle).

UNI 5485-64: Id. - Lunghezze e sezioni trasversali (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 5486-64: Id. - Prospetto dei tipi unificati (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5487-64: Lime per meccanica - Piatte.

UNI 5488-64: Lime per meccanica - Piatte a punta.

UNI 5489-64: Id. - Mezzo tonde.

UNI 5490-64: Id. - Piatte strette.

UNI 5491-64: Id. - Piatte a punta sottili.

UNI 5492-64: Id. - Quadre.

UNI 5493-64: Id. - Tonde.

UNI 5494-64: Id. - Triangolari.

UNI 5495-64: Id. - A coltello.

UNI 5496-64: Id. - A foglia di salvia.

UNI 5497-64: Id. - Ovali.

UNI 5498-64: Id. - A doppio coltello.

UNI 5499-64: Id. - A barretta.

UNI 5500-64: Lime per meccanica per impieghi speciali - Piatte per tornio.

UNI 5501-64: Id. - Piatte per alluminio e leghe leggere.

UNI 5502-64: Id. - Mezzo tonde per alluminio e leghe leggere.

UNI 5503-64: Id. - Piatte per leghe di rame.

UNI 5504-64: Id. - Mezzo tonde per leghe di rame.

UNI 5505-64: Id. - Piatte per metalli teneri.

UNI 5506-64: Id. - Mezzo tonde per metalli teneri.

UNI 5507-64: Id. - Piatte per acciai inossidabili.

UNI 5508-64: Id. - Mezzo tonde per acciai inossidabili.

UNI 5509-64: Id. - Tonda prova tempera.

UNI 5510-64: Id. - Triangolare prova tempera.

UNI 5511-64: Lime per sega - Piatte normali.

UNI 5512-64: Id. - Piatte leggere.

UNI 5513-64: Id. - Piatte a punta.

UNI 5514-64: Id. - A barretta parallela.

UNI 5515-64: Id. - Triangolari regolari.

UNI 5516-64: Id. - Triangolari sottili.

UNI 5517-64: Id. - Triangolari estrattili.

UNI 5518-64: Id. - Triangolari pesanti.

UNI 5519-64: Lime per sega - Triangolari pesanti parallele.

UNI 5520-64: Id. - Triangolari parallele per macchina.

UNI 5521-64: Raspe - Piatte a punta.

UNI 5522-64: Id. - Piatte.

UNI 5523-64: Id. - Mezzo tonde.

UNI 5524-64: Id. - Mezzo tonde sottili.

UNI 5525-64: Id. - Tonde.

UNI 5526-64: Id. - Per maniscalco.

UNI 5527-64: Id. - Mezzo tonde per calzolaio.

UNI 5528-64: Id. - Forette.

C.D. 624.94:381.717 - *Prodotti acciaio: condizioni di fornitura.*

UNI 5447-64: Condizioni tecniche generali di fornitura per i prodotti di acciaio (fascicolo unico di 4 tabelle).

C.D. 625.7 - *Costruzione e manutenzione delle strade.*

CNR-UNI 10015: Costruzione e manutenzione delle strade - Caratteristiche geometriche delle autostrade (fascicolo unico di 9 tabelle).

C.D. 669:620.17 - *Prove meccaniche dei materiali metallici.*

UNI 5446-64: Prove meccaniche dei materiali metallici - Invecchiamento artificiale dell'acciaio (fascicolo unico di 2 tabelle).

C.D. 669.14-46 - *Tubi di acciaio senza saldatura.*

UNI 5462-64: Tubi di acciaio senza saldatura - Tubi per caldaie, per apparecchi e per tubazioni di impianti termici ad alte temperature ed alte pressioni - Qualità prescrizioni e prove (fascicolo unico di 8 tabelle).

UNI 5463-64: Id. - Tubi per caldaie - Dimensioni e pesi (fascicolo unico di 4 tabelle).

C.D. 669.71 - *Alluminio - Leghe di alluminio.*

UNI 5452-64: Lega di alluminio-magnesio primaria da lavorazione plastica (Mg 4,4 %) (fascicolo unico di 3 tabelle).

C.D. 669-72 - *Magnesio.*

UNI 5537-64: Magnesio di prima fusione in pani da fonderia - Qualità, prescrizioni e prove (fascicolo unico di 2 tabelle).

C.D. 672.6 - *Brache di catena.*

UNI 5425-64: Brache di catena per sollevamento - Generalità (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5426-64: Id. - Catene a maglie corte (Selezione UNI 4418).

UNI 5427-64: Id. - Carichi di esercizio.

UNI 5428-64: Id. - Brache semplici a gancio.

UNI 5429-64: Id. - Brache doppie a gancio.

UNI 5430-64: Id. - Brache triple a gancio.

UNI 5431-64: Id. - Brache quadruple a gancio.

UNI 5432-64: Id. - Brache semplici ad anello.

UNI 5433-64: Id. - Brache doppie ad anello.

UNI 5434-64: Id. - Brache triple ad anello.

UNI 5435-64: Id. - Brache quadruple ad anello.

UNI 5436-64: Id. - Brache quadruple a doppio cesto.

UNI 5437-64: Id. - Brache continue ad anello chiuso.

UNI 5438-64: Id. - Anelli di unione per brache semplici e di unione inferiore per brache multiple.

UNI 5439-64: Id. - Anelli di unione superiore per brache doppie e quadruple.

UNI 5440-64: Id. - Anelli di sospensione per brache semplici e anelli di attacco al carico.

UNI 5441-64: Id. - Anelli di sospensione per brache multiple (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5442-64: Id. - Anelli di collegamento per brache triple e quadruple (fascicolo unico di 2 tabelle).