

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

I cicli termodinamici degli impianti nucleari

CESARE CODEGONE, direttore del Corso di perfezionamento in Ingegneria Nucleare del Politecnico di Torino, espone brevemente le caratteristiche dei cicli termodinamici adottati negli impianti nucleari, facendo speciale riferimento a quelli ad acqua bollente, che si allontanano come concezione da quelli classici, presentando singolarità di funzionamento che è opportuno mettere in evidenza.

Un ampio orizzonte alle applicazioni termodinamiche si è aperto con la costruzione delle centrali termonucleari (1). In essi l'energia termica è generata dalla fissione dei nuclei atomici dell'uranio, ottenuta bombardandoli con neutroni, particelle insensibili ai campi elettrici intensissimi di cui sono sede i nuclei stessi.

Mentre l'ordinaria combustione modifica la struttura delle molecole, ma lascia inalterata quella degli atomi che le compongono l'anzidetta fissione disintegra la struttura stessa di questi, rendendo disponibile cospicue quantità di energia, corrispondenti ad una sensibile riduzione di massa.

Nel caso dell'isotopo U_{235} tale variazione è all'incirca dell'uno per mille, con una conseguente produzione di più di 20 milioni di kWh termici per ogni kg fissionato.

Si deduce infatti dalla teoria della relatività (Einstein, 1905) che la trasformazione completa di m unità di massa darebbe luogo a mc^2 unità di energia, essendo c la velocità di propagazione della luce nel vuoto.

Per 1 kg si avrebbe pertanto in unità Giorgi:

$$1. (3.10^8)^2 = 9.10^{16} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \\ (\text{o Nm, o Joule}) \\ \text{pari a } (9.10^{16}) : 3600 = 25.10^{12} \text{ Wh,} \\ \text{cioè a 25 miliardi di kWh.}$$

(1) Cfr. C. CODEGONE, C. ARNEODO, *Le applicazioni industriali dell'energia atomica*, Roma, Studium, 1958; P. CHAMBADAL, *Les centrales nucléaires*, Paris, 1957; H. ETHERINGTON, *Nuclear Engineering Handbook*, New York, 1958.

Per confronto si pensi che 1 kWh equivale all'incirca a 10 ore di lavoro muscolare di un uomo robusto, od al calore di combustione di 0,10 kg di buon carbon fossile, od all'energia sviluppabile da 100 litri d'acqua con una caduta di circa 370 metri [infatti $(10^3 \cdot 9,8 \cdot 370 / 3600 \cdot 10^3) \cong 1$].

Se si considera che una tonnellata di uranio naturale contiene circa 7 kg di U_{235} (essendo il resto costituito da U_{238}) e si tiene conto che l'energia prodotta dalla fissione è in definitiva quasi totalmente convertita in energia termica si giunge alla conclusione che sfruttando completamente la suddetta tonnellata con la riduzione di massa dell'1 per mille si potrebbero ottenere:

$$7 \cdot 25 \cdot 10^9 / 1000 = 175 \cdot 10^6 \text{ kWh/t} \\ \text{pari a circa 7000 MW giorno/t.}$$

Brucciando una tonnellata di buon carbon fossile si produrrebbero invece circa 10.000 kWh termici, ma nel confronto sul piano industriale occorre tener conto anche delle perdite e della incompletezza della fissione.

Si comprende allora la equivalenza pratica di 1 tonn. di Uranio naturale con 10.000 tonn. di carbone, quantità corrispondente a 10^8 kWh termici ed occorrente per far funzionare per 1000 ore un gruppo termoelettrico da 30 MW elettrici con un rendimento globale del 30% circa. Con uranio artificialmente arricchito dell'isotopo fissile si accresce ulteriormente il divario fra il com-

bustibile nucleare e il combustibile tradizionale.

Questi dati numerici danno idea delle possibilità industriali di sfruttamento dell'energia nucleare, sfruttamento che è attuato seguendo le direttive della termodinamica.

Infatti l'energia termica prodotta nel reattore nucleare è nei casi più comuni sottratta a questo mediante la circolazione di un fluido adatto e successivamente trasformata in energia meccanica mediante cicli termodinamici.

La scelta del fluido, la cui circolazione mantiene la densità di produzione energetica nelle sbarre di uranio intorno a 10^5 kW/m³ (2) deve tener conto anzitutto della sua attitudine a diventare esso pure radioattivo attraversando i canali praticati fra le sbarre stesse.

All'attuazione dello schema più semplice, realizzante un ciclo termodinamico di Joule (v. fig. 1) con circolazione di elio, gas quasi immune da effetti radioattivi, si

(2) Cfr. C. CODEGONE, *La trasmissione del calore negli impianti nucleari*, «La Termotecnica», n. 10, 1956; n. 2, 1957.

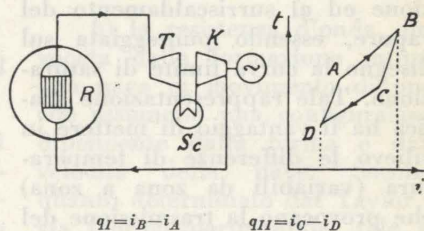


Fig. 1 - Impianto a circolazione di elio. R reattore, T turbina, K compressore, Sc raffreddatore del gas.

oppongono finora il suo costo e le difficoltà di approvvigionamento nelle grandi quantità richieste dalle centrali di potenza.

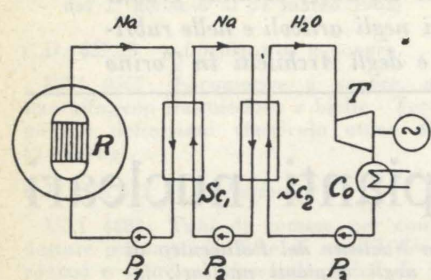


Fig. 2 - Impianto a circolazione di metalli liquidi (Na; Na-K). Il doppio circuito è richiesto da motivi di sicurezza.

R reattore, Sc₁, Sc₂ scambiatori termici, T turbina, Co condensatore, P₁, P₂, P₃ pompe.

L'adozione di metalli liquidi (Na o miscela di Na-K) (v. fig. 2) e dell'anidride carbonica a 8÷10 at (v. fig. 3) si ritrova invece in vari impianti, ma sia in questi, sia in quelli di cui è fatto cenno nel seguito è sempre il vapor d'acqua che in definitiva nell'ultimo dei circuiti concatenati riceve l'energia termica e la trasforma parzialmente in energia meccanica.

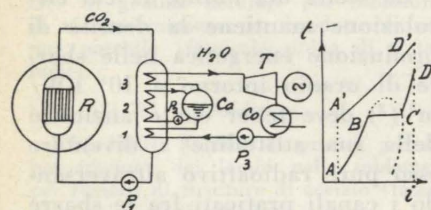


Fig. 3 - Impianto a circolazione di CO₂. $m_{CO_2}(i_{D'} - i_A) = m_{H_2O}(i_D - i_A)$

R reattore, Ca caldaia, 1 preriscaldatore, 2 evaporatore, 3 surriscaldatore, T turbina, Co condensatore, P₁, P₂, P₃ pompe.

Nel diagramma *t, i* di fig. 3 la A'D' rappresenta la linea di riscaldamento della CO₂, la ABCD la linea corrispondente al riscaldamento dell'acqua, alla evaporazione ed al surriscaldamento del vapore, essendo punteggiata sul disegno la curva limite di saturazione. Tale rappresentazione grafica ha il vantaggio di mettere in rilievo le differenze di temperatura (variabili da zona a zona) che provocano la trasmissione del calore.

Indicando con *m* le portate

massiche si ha, a meno dei dispendimenti:

(1) $m_{CO_2}(i_{D'} - i_A) = m_{H_2O}(i_D - i_A)$ ciò che fissa le due scale delle ascisse.

Il ciclo a vapore è di tipo consueto e può essere sdoppiato nello scambiatore termico allo scopo di meglio utilizzare il salto termico disponibile. È pure di tipo comune il ciclo a vapore dell'impianto a circolazione di acqua compressa a 125 at di fig. 4, sistema che ha dato luogo a notevoli applicazioni a bordo di sommergibili.

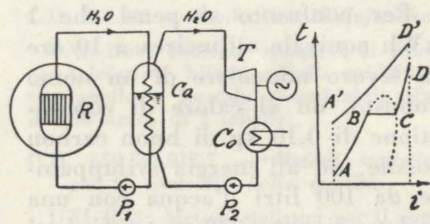


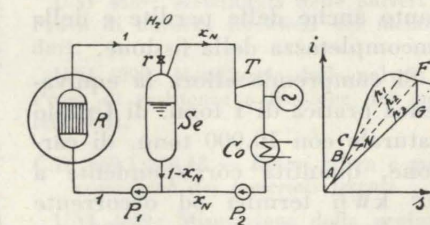
Fig. 4 - Impianto a circolazione di acqua compressa.

R reattore, Ca caldaia, T turbina, Co condensatore, P₁, P₂ pompe.

Singolari invece i cicli termodinamici a vapore degli impianti rappresentati schematicamente nelle figg. 5 e 6.

Poiché difficoltà di regolazione inducono tuttora a limitare a bassi titoli la produzione di vapore attuata direttamente nel reattore nucleare l'acqua compressa è fatta espandere isentalpicamente attraverso le valvole *r* (tratto CN sul diagramma *i, s*) ed è soltanto la frazione così evaporata che va a lavorare in turbina.

Nel caso rappresentato in fig. 5 non si ha vapore generato nel reattore e quindi, detto *r*₃ il ca-



$$L = x_N(i_F - i_G) \quad Q_{II} = x_G(i_G - i_A)$$

$$\eta = \frac{L}{Q_{II} + L} \quad (T_B)_{ott} \cong (T_A + T_C)/2$$

Fig. 5 - Impianto ad acqua compressa con espansione isentalpica in *r*.

R reattore, Se serbatoio, T turbina, Co condensatore, P₁, P₂ pompe, x_N titolo del vapore nel punto N.

lore di condensazione alla pressione *p*₃, si ha:

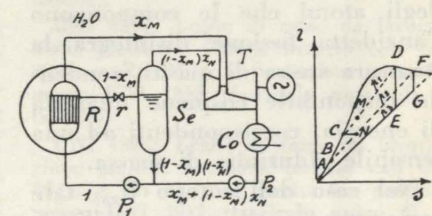
$$(2) \quad L = x_N(i_F - i_G) \quad \text{lavoro sviluppabile}$$

$$(3) \quad Q_{II} = x_G(i_G - i_A) = r_3 x_N x_C \quad \text{calore sottratto}$$

$$(4) \quad \eta = \frac{L}{L + Q_{II}} \quad \text{rendimento termodinamico}$$

Al ritorno, la miscela delle quantità (1-x_M) ed x_N assume una temperatura intermedia fra quelle corrispondenti ai punti A e B. Coll'aiuto del grafico o mediante formule di prima approssimazione si risolve il problema di ricercare il valore della pressione intermedia che rende massimo il rendimento η . Nel campo delle pressioni non troppo elevate si trova che a tale pressione corrisponde una temperatura prossima alla media aritmetica di quelle corrispondenti alle pressioni estreme *p*₁ e *p*₂.

Nel caso dell'impianto ad acqua bollente di fig. 6 la frazione x_M di vapore, generata nel reat-



$$L = x_M(i_D - i_E) + (1 - x_M)x_N(i_F - i_G)$$

$$Q_{II} = x_M(i_E - i_A) + (1 - x_M)x_N(i_G - i_A) = r_3[x_M x_E + (1 - x_M)x_N x_G]$$

$$\eta = \frac{L}{L + Q_{II}}$$

Fig. 6 - Impianto ad acqua bollente (prodotta a basso titolo per esigenze di regolazione). R reattore, Se serbatoio, T turbine, Co condensatore, P₁, P₂ pompe, x_M titolo del vapore in M, x_N titolo del vapore in N.

tore, va direttamente in turbina, mentre la frazione liquida (1-x_M) si espande isentalpicamente in *r*, e di essa la quota evaporata x_N(1-x_M) va pure, ma a minor pressione della precedente, a lavorare nella turbina.

Risulta pertanto:

$$(5) \quad L = x_M(i_D - i_E) + x_N(1 - x_M)(i_F - i_G)$$

$$(6) \quad Q_{II} = x_M(i_E - i_A) + x_N(1 - x_M)(i_G - i_A) = r_3[x_M x_E + x_N(1 - x_M)x_G]$$

$$(7) \quad \eta = \frac{L}{L + Q_{II}}$$

Allo scopo di accrescere il rendimento, piuttosto modesto per la perdita inerente alla espansione in *r*, si costruiscono impianti nei quali la trafilazione isentalpica è suddivisa in più salti successivi mediante serbatoi di acqua e vapore (come Se) disposti in serie.

Compare allora nella espressione del lavoro *L* una sommatoria di

prodotti della *x* evaporata nel salto di pressione considerato, moltiplicata per la Δ_i corrispondente alla caduta isentropica di entalpia utilizzata in turbina, e nella espressione di Q_{II} pure una sommatoria di prodotti del calore di condensazione moltiplicato per i titoli precedenti e per i titoli finali delle espansioni nella mac-

china. Il valore massimo del rendimento η si otterrebbe per un numero ∞ di salti di pressione, ma si comprende che il loro numero dev'essere necessariamente limitato per motivi costruttivi e per le difficoltà inerenti alla regolazione dell'impianto.

Cesare Codegone

Aspetti attuali degli studi per la propulsione navale nucleare

GIULIO CESONI dopo aver posto in luce la rilevante influenza che l'applicazione di apparati propulsivi ad energia nucleare esercita sulla progettazione delle strutture «convenzionali» delle navi, passa in rassegna le realizzazioni fin qui attuate nel settore civile. In particolare espone le caratteristiche di massima del progetto italiano, attualmente in corso, per una petroliera da 50.000 Tpl. In relazione a tale progetto sono brevemente esposti alcuni fondamentali problemi riguardanti la sicurezza degli apparati propulsivi nucleari e le caratteristiche economiche del loro impiego.

La navigazione nucleare è uno degli argomenti ai quali oggi si rivolge in modo particolare l'attenzione dei tecnici che si occupano delle nuove forme di energia.

Le imprese dei sommergibili americani che hanno navigato sotto i ghiacci del polo appaiono ancora oggi quasi favolose e, insieme alle straordinarie prestazioni belliche di queste nuove unità subacquee, danno la misura delle eccezionali possibilità che la navigazione nucleare apre agli uomini.

Le applicazioni pratiche sono però fin qui limitate al campo militare. Anche per le unità di superficie, le realizzazioni più interessanti sono fin'ora quelle delle unità da guerra varate dalla marina degli Stati Uniti. Infatti nel 1961 hanno fatto le prove in mare l'incrociatore nucleare «Long Beach» e la portaerei «Enterprise», alle quali seguiranno altre unità. E le prestazioni militari di queste navi sono tali che, secondo le previsioni del Senatore C. P. Anderson — uno dei massimi esponenti del «Joint Committee on Atomic Energy» del Congresso americano — prima del 1970 la maggior parte delle unità, sia subacquee che di superficie, della marina militare statunitense sarà dotata di apparati propulsivi

nucleari, e prima del 1980 tutte le unità saranno nucleari.

Lo stesso Amm. Rickover — che viene giustamente considerato il padre dei sommergibili atomici — si è schierato da tempo in favore dell'applicazione di tale mezzo propulsivo alle unità di superficie. Egli ha posto in evidenza tra l'altro che, ad esempio, un «destroyer-leader» (supercaccia conduttore) di tipo convenzionale ha un'autonomia di 3.000 miglia alla velocità di 30÷35 nodi e di 8.000 miglia a velocità ridotta (circa 20 nodi), mentre la nave nucleare gemella, il «Bainbridge» che è stata varata nel 1961 ed entrerà in operazione nel prossimo autunno — ha una autonomia di 180.000 miglia a piena velocità e di 400.000 miglia alla velocità di 20 nodi; 50 volte, cioè, quella della nave convenzionale.

Si può quindi affermare che la fase delle realizzazioni su grande scala è già iniziata in America anche per le unità di superficie.

Influenza del «nucleare» sul «navale» e viceversa.

È tuttavia per ora utile, agli effetti di valutare quale sia la influenza del «Nucleare» sul «Navale» e viceversa, riferirsi alle unità nucleari subacquee, cui abbiamo accennato poc'anzi, per

rendersi conto delle fondamentali innovazioni che la nuova tecnica può portare anche alle strutture degli scafi; ciò perché soltanto i sommergibili sono stati costruiti in numero rilevante e hanno potuto quindi subire quelle evoluzioni nella concezione generale e nei dettagli progettativi che in avvenire interesseranno anche gli sviluppi delle unità di superficie militari e civili.

È bene rilevare a questo punto che la navigazione sottomarina, fin qui strettamente limitata a impieghi bellici, potrebbe in avvenire estendersi — mediante l'adozione della propulsione nucleare — anche al settore mercantile.

Occorre infatti considerare che la resistenza incontrata da una nave in movimento è composta essenzialmente di due parti:

a) la resistenza dovuta all'attrito fra lo scafo e l'acqua che è proporzionale alla potenza 1,825 della velocità;

b) la resistenza d'onda, provocata dalla formazione intorno alla nave in movimento di onde che assumono una configurazione dipendente dalla forma e dalla velocità della nave. Secondo quanto determinato dal Taylor in via teorico-sperimentale, tale resistenza è funzione del dislocamento e della lunghezza della

nave ed è proporzionale alla quarta potenza della velocità. A velocità elevata l'esponente diventa ancora superiore e la resistenza d'onda diviene una frazione determinante della resistenza totale fino ad essere dello stesso ordine di grandezza, se non superiore, di quella di attrito (1).

Per uno scafo immerso ad una certa profondità, la resistenza d'onda praticamente scompare: si comprende quindi come a parità di potenza sia possibile, nel caso dei sommergibili, raggiungere velocità più elevate.

Inoltre fino all'avvento della propulsione nucleare tutti i motori, ad eccezione di quelli elettrici, richiedevano la presenza dell'aria, e infatti i sommergibili militari normali adoperano sott'acqua la propulsione elettrica (durante l'ultima guerra sommergibili tedeschi impiegarono anche l'apparato propulsore con turbina Walter a freddo, a perossido di idrogeno, con cui raggiunsero una autonomia di 125 miglia alla velocità di 25 nodi, mentre con i motori elettrici l'autonomia era di sole 40 miglia, ad una velocità di 4,5 nodi).

Oggi è possibile disporre di sorgenti di energia nucleare, che non richiedono la presenza di ossigeno; sono quindi realizzabili macchinari dotati di grandissima autonomia adatti per la propulsione sottomarina. Questa appare una possibilità che, per realizzazioni future, potrebbe essere presa in seria considerazione anche nel settore mercantile. Infatti già alcuni esperti navali (2) hanno prospettato la eventualità di questa soluzione per i futuri trasporti marittimi.

Poiché la maggior convenienza degli apparati nucleari si ha per un coefficiente di utilizzazione molto elevato, cioè riducendo al minimo le soste nei porti, può essere utile, come indica il Pro-

(1) Esiste inoltre una « Resistenza di forma » connessa con la formazione di vortici a poppa (che però è di un ordine di grandezza inferiore rispetto alle precedenti) e che può essere eliminata in parte attraverso opportuni profili idrodinamici.

(2) In Italia il Prof. SPINELLI F., *Propulsione al Corso di Costruzioni Navali Mercantili della Università di Napoli nell'anno 1957-58.*

fessor Spinelli, ricorrere allo sdoppiamento della petroliera in due unità: una fungente da rimorchiatore e l'altra da contenitore. Quest'ultima potrebbe essere lasciata nel porto di arrivo, portando via in sua vece un altro contenitore vuoto; con analoghe operazioni si potrebbero attuare risparmi di tempo nel porto di carico. Ciò potrebbe forse anche consentire di diminuire il numero dei serbatoi esterni per le raffinerie o per i depositi, potendosi prelevare il petrolio dal contenitore che funzionerebbe da cisterna sottomarina, con sensibili vantaggi di economia e di sicurezza.

L'orientamento attuale nel campo delle costruzioni navali per le petroliere e per i carichi alla rinfusa è rivolto verso tonnellaggi sempre più grandi; sono ormai di impiego corrente le petroliere da 50.000 T e più di portata e le « bulk carrier » da oltre 45.000 T di portata.

Tale orientamento tende non solo ad essere confermato, ma anzi esaltato nel caso della propulsione nucleare, per la quale i costi unitari sono tanto minori quanto maggiori è la potenza dell'apparato motore.

Per le unità mercantili sottomarine sarà quindi opportuno far riferimento a navi di questa portata e di velocità superiore a quelle convenzionali, in modo da trarre dalla propulsione nucleare tutti i possibili vantaggi.

Se si considera la manovra di tali mastodonti sommergibili si giunge alla conclusione che, non essendo evidentemente possibile navigare poco sotto il pelo dell'acqua, perchè altrimenti si manifesterebbe una resistenza d'onda e si sarebbe disturbati dal moto ondoso del mare, con navi di tale genere la navigazione tranquilla potrebbe aversi solo in mare relativamente profondo. Quando ciò non fosse possibile si avrebbero notevoli difficoltà di manovra e pericoli di sensibili variazioni di quota con probabilità anche di incagli.

Da un punto di vista pratico l'impiego di navi mercantili sommergibili presenta perciò molte incognite e molte difficoltà: le realizzazioni oggi praticamente studiate riguardano quindi navi

di superficie, mentre più ipotetiche e lontane sono quelle riguardanti la navigazione sottomarina.

Non si può d'altra parte trascurare la considerazione che le navi sommergibili potrebbero permettere in futuro di creare nuove rotte che abbrevino notevolmente le distanze, come ha dimostrato la navigazione compiuta dal « Nautilus » e da altri sottomarini militari sotto i ghiacci del polo nord.

Per ora comunque tali previsioni riguardano l'avvenire relativamente lontano ed i vantaggi della navigazione subacquea sono tangibili solo per le unità militari.

Queste costituiscono, come si è detto, un significativo esempio della fondamentale influenza della propulsione nucleare sull'architettura navale.

Infatti la prima realizzazione in questo campo, costituita dal « Nautilus », si distaccava già per molti aspetti dalle forme tradizionali.

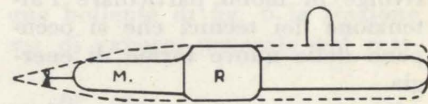


Fig. 1 - Scafo del sommergibile « Nautilus ».

Lo scafo del « Nautilus » (figura 1) ha una sezione centrale di grande diametro nella quale sono alloggiati il reattore, il circuito primario ed i circuiti ausiliari che possono diventare radioattivi.

Il compartimento macchine ed i compartimenti anteriori sono di diametro più piccolo, e sono raccordati al compartimento centrale mediante sezioni tronco-coniche.

Il « Nautilus » tuttavia conserva numerose rassomiglianze con i sommergibili classici. Appareva chiaro ben presto che era necessario modificare la forma e la struttura dei sommergibili, che non superavano i 20 nodi in immersione, per poter sfruttare le particolari risorse offerte dal nuovo mezzo propulsivo.

Occorreva diminuire la resistenza all'avanzamento e tendere ad una manovrabilità enormemente superiore, quale poteva essere consentita dalla propulsione nucleare.

Si studiarono quindi scafi di nuova concezione e, attraverso una fase intermedia rappresentata dal tipo « SKATE » si pervenne alla realizzazione del sommergibile da attacco « SKIPJACK » (fig. 2).

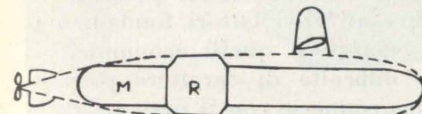


Fig. 2 - Scafo del sommergibile d'attacco « Skipjack ».

Questa unità, le cui modalità di manovra ricordano quasi quelle di un aereo, ha rivoluzionato le tecniche belliche operative dell'attacco subacqueo e fornisce un esempio molto interessante di nave appositamente studiata per la propulsione nucleare.

Essa infatti accoppia i vantaggi della nuova sagoma a « goccia » con le eccezionali caratteristiche del reattore S 5 W, costruito dalla Westinghouse e del quale è equipaggiata la quasi totalità dei sommergibili nucleari americani. L'equipaggio dello « Skipjack » è composto di 90 uomini dei quali 8 ufficiali. L'impianto di propulsione da solo richiede la permanenza a turno di una squadra composta di un ufficiale e 10 uomini.

Si può avere un'idea della praticità raggiunta oggi dagli impianti nucleari navali considerando che un sommergibile come lo « Skipjack » può prendere il mare in quattro ore partendo da freddo, cioè senza essere tenuto in alcun modo parzialmente pronto a salpare.

Il tipo « Skipjack » è stato attualmente già perfezionato con i sommergibili della classe « Thresher », che sono ancora più veloci e possono raggiungere maggiori profondità.

Anche i grandi sommergibili armati di missili « Polaris » aventi velocità elevate e dimensioni eccezionali (oltre 6.000 tonn.) hanno potuto essere realizzati soltanto grazie alla propulsione nucleare e sono stati progettati con nuovi criteri.

Rileviamo qui incidentalmente che, come è noto, secondo quanto è stato anche riportato dalla Rivista Nucleonics nel numero di

Settembre 1961 ciascuno di questi sommergibili può portare 16 missili « Polaris » con testata nucleare, che possono avere una potenza di fuoco totale maggiore di quella di tutte le bombe lanciate nell'ultima guerra mondiale da tutti i belligeranti dell'una e dell'altra parte.

In campo militare la propulsione nucleare ha quindi già raggiunto risultati di eccezionale importanza.

Applicazioni civili.

Passando a considerare il campo della navigazione commerciale, si constata invece che l'applicazione dell'energia nucleare è per esso ancora in uno stadio sperimentale.

Infatti le due realizzazioni fin qui attuate, il rompighiaccio russo « Lenin » e la « Savannah » americana hanno ambedue caratteristiche particolari, dovute ai compiti per i quali sono state concepite e quindi possono dare solo una parziale e del tutto incompleta esperienza ai progettisti.

Il « Lenin » possiede caratteristiche operative interessanti perchè permette di rompere spessori di ghiaccio anche di 3 metri ad una velocità di due nodi, con un rifornimento di combustibile ogni due anni, il che gli consente eccezionali prestazioni per la navigazione nei mari artici. Esso è però dotato di un impianto che, a quanto pare, è fortemente arretrato rispetto ad analoghi apparati propulsivi americani. Inoltre la struttura dello scafo è drasticamente condizionata dalle particolari funzioni del rompighiaccio.

La « Savannah » si avvicina di più alla struttura di una nave mercantile e da essa si possono trarre utili insegnamenti per il futuro. Si deve tuttavia rilevare che le misure di sicurezza del tutto eccezionali che il Governo americano ha voluto adottare per questa nave, dati gli specifici scopi di propaganda a cui è destinata, non giocano certo in favore dell'economia di tale realizzazione. È da ritenersi comunque che i progressi che si vanno facendo anche in questo specifico settore della « sicurezza » consentiranno di mantenere inalterate le

garanzie in proposito, pur realizzando notevoli risparmi nei costi.

I dati principali riguardanti le due navi suddette sono i seguenti:

TABELLA I

« SAVANNAH »:	
Dislocamento:	20.000 Tonn.
Numero reattori:	1
Potenza termica del reattore (massima):	70 MW
Potenza dell'asse (massima):	22.000 CVA
Potenza termica del reattore (normale):	64,7 MW
Potenza sull'asse (normale):	20.000 CVA
Velocità normale:	21 nodi
Equipaggio:	109 persone
Passaggeri:	60 persone oltre a una certa quantità di merci.
« LENIN »:	
Numero reattori:	3 (di cui 1 di riserva)
Potenza termica per ciascun reattore:	90 MW
Potenza termica operativa:	180 MW
Potenza sull'asse:	44.000 CVA
Velocità massima:	18 nodi
Velocità in ghiaccio da 3 m.:	2 nodi.

Finora come si vede, nessuna realizzazione si avvicina a quella di una petroliera, che appare invece assai interessante per un pratico avvio della propulsione nucleare mercantile. Di tale tipo di nave si è molto parlato ed è stato fatto anche qualche studio, dedicato però finora principalmente all'apparato propulsivo.

Attualmente è in corso, in Italia, il progetto di una petroliera da 50.000 Tonn., con apparato motore dotato di un reattore moderato e raffreddato ad acqua (3).

Quanto alle navi per merci e passeggeri, mentre la « Savannah » stessa ne offre un esempio, il problema è stato ripreso dai tedeschi con il loro studio di una piccola nave dotata di reattore a moderatore e refrigerante organico (4). Nella tabella II sono riportate le principali caratteristiche delle due navi.

(3) L'Euratom ha stipulato in proposito un contratto con la Fiat e l'Ansaldo. Lo studio viene condotto con il patrocinio e la collaborazione del CNEN.

(4) Questo lavoro è attuato, come quello per la petroliera, nell'ambito dei programmi dell'Euratom, dalle ditte tedesche GKSS e Interatom.

Vari sono attualmente i tipi di reattore allo studio per propulsione navale, in America e in Europa. Tuttavia sono assai pochi gli studi relativi non al solo reattore, ma ad una nave nucleare completa.

Se si prescinde dalle unità militari americane i progetti sono anzi praticamente solo i due succitati (oltre forse ad una nave oceanografica che è patrocinata dall'ENEA, l'organizzazione nucleare che fa capo all'OCDE). Anche in Europa tuttavia si è ormai convinti che soltanto attraverso la costruzione e la pratica operazione in mare di alcune navi nucleari è possibile acquisire la esperienza indispensabile per risolvere alcuni problemi fondamentali relativi alla navigazione nucleare civile.

Per transatlantici quali il « United States » e il « Drance » le caratteristiche sono circa le seguenti:

Portata lorda: 60.000 tonn. di cui 10.000 tonn. di nafta per il viaggio di andata e ritorno)

Potenza: 160.000 CVA

Numero dei passeggeri: 2.000

Velocità: 30 nodi

Durata del viaggio Le Havre-New York: 5 giorni.

Per guadagnare un solo giorno di traversata è stato calcolato che occorrerebbe un transatlantico da 80.000 tonn. di dislocamento a pieno carico (delle quali 20.000 tonn. di nafta), con una velocità di 36 nodi, la quale richiederebbe una potenza di 30.000 CVA. Volendo aumentare il numero dei

l'apparato propulsivo e delle caldaie, con un risparmio in peso che è stato dai francesi valutato in circa 5.000 tonn.

È però comunque evidente che per la realizzazione di un transatlantico occorre tener presente — oltre ad altri fattori fondamentali, compresi quelli economici — le difficoltà di carattere psicologico connesse con il pericolo delle radiazioni. Sarà più opportuno, di conseguenza, limitarsi inizialmente alle navi mercantili.

Tra queste, come si è già accennato, la petroliera riveste un interesse del tutto particolare. Abbiamo quindi scelto tale tipo di nave per il progetto italiano (fig. 3).

Circa le dimensioni occorre innanzi tutti rilevare che, dato lo scopo essenzialmente pratico del nostro progetto, che tende ad avvicinarsi il più possibile alla competitività economica, era necessario scegliere una nave di grandi dimensioni, pari a quelle che attualmente vengono realizzate, appunto in base a considerazioni economiche per le petroliere convenzionali.

La portata lorda di 50.000 tonn. è stata fissata tenendo presente le massime dimensioni consentite dall'attraversamento del Canale di Suez.

Tale tonnellaggio è infatti il massimo che consente di attraversarlo per ora a carico ridotto, ma successivamente anche a pieno carico, dati i lavori di scavo attualmente in corso per l'approfondimento del Canale stesso (eventualmente in un primo tempo la nave potrà completare il suo carico nel Mediterraneo Orientale proseguendo poi verso il nord).

Anche per quanto riguarda la lunghezza della nave, essa è tale da consentire le manovre necessarie nel Canale. Naturalmente è stata presa anche in considerazione la possibile rotta da Amburgo ad Abadan effettuando il periplo dell'Africa.

La scelta di una petroliera di maggiori dimensioni (ad esempio 100.000 tonn. di portata lorda) oltre che impedire la navigazione attraverso Suez avrebbe portato ad aumentare la potenza necessaria in modo tale da esigere l'in-

TABELLA II

Progetto tedesco	Nave Ansaldo-Fiat PWR circ. forzata
Portata lorda	15.000 T
Lunghezza	150 m.
Larghezza	24 m.
Immers. a p.c.	9,20 m.
Velocità a p.c.	16,5 nodi
Potenza termica del reattore	36 MW
Potenza sull'asse	10.000 CVA
Pressione vapore	54 atm. (surriscaldamento)
Centrale elettrica	3 turbogener. da 800 kW
Ritorno a casa	2 caldaie atte a fornire vapore per ritorno a casa a 9 nodi (2.000 HP)
Pressione refrigerante n° « loops »	8 atm.
temp. uscita refrig.	300°C
	84,5 MW
	23.500 CVA
	38 atm.
	3 dieselgener. da 800 kW
	propulsione elettrica alimentata dai diesel generat. (1.900 kW)
	140 atm.
	2
	306°C

Circa le navi per trasporto di passeggeri, soltanto i Giapponesi le hanno finora prese in serio esame. Si tratta però di un tipo particolare, cioè di una nave concepita appositamente per trasporto di grandi gruppi di emigranti tra il Giappone e l'America del Sud.

Se si considerano i transatlantici normali, si vede che è difficile migliorarne le prestazioni (almeno quelle dei più grandi e moderni tra essi). Si riportano qui a titolo di esempio alcune previsioni contenute in una pubblicazione francese.

passeggeri trasportabili a 2500, ferma restando la durata del viaggio in 5 giorni, occorrerebbe un transatlantico da 75.000 tonn. di dislocamento a pieno carico.

Con la propulsione nucleare si potrebbe effettuare il viaggio in 4 giorni con un transatlantico non più grande del « France », mediante un apparato propulsivo della potenza di 240.000 CVA.

Sarebbe anche possibile, probabilmente, aumentare a 2.500 il numero dei passeggeri trasportati tenendo conto dell'alleggerimento derivante dalla sparizione dei fumaioli, delle prese d'aria per

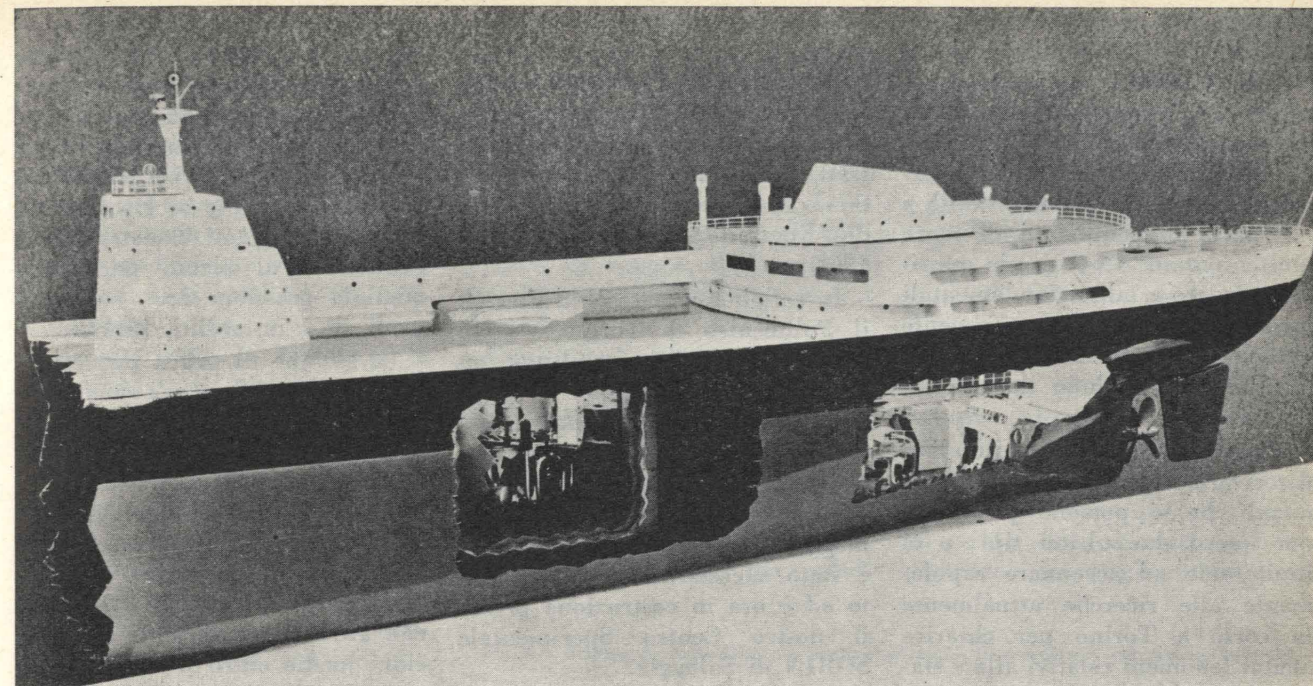


Fig. 3 - Esempio di disposizione dell'apparato propulsore a bordo della petroliera da 50.000 Tpl.

stallazione di due reattori, ed è stata quindi scartata.

In ogni caso una nave sufficientemente grande offre vantaggi di sicurezza, giacché è naturalmente migliore la protezione del reattore da eventuali collisioni.

Infine, argomento di importanza essenziale, i fattori economici spingono a realizzare, come già si è accennato, un reattore di dimensioni abbastanza grandi (relativamente, come è ovvio, a quelle attuabili per navi civili), giacché il costo dell'energia prodotta da un reattore diminuisce con l'aumentare della potenza del reattore stesso.

Il reattore nucleare per propulsione navale: suoi problemi specifici.

Per quest'ultimo si è scelto — come abbiamo detto — la « famiglia » dei reattori moderati e raffreddati ad acqua leggera. Le principali varianti tecnicamente realizzabili e sostanzialmente differenziate tra loro sono quattro; tuttavia per alcune di queste la possibilità di applicazione pratica alla propulsione navale è da dimostrarsi, e richiede ancora una importante sperimentazione.

Soltanto una di esse, costituita dal reattore ad acqua in pressione

a circolazione forzata, ha avuto il crisma dell'esperienza pratica ed anzi, come si è visto, la sua adozione per i sommergibili e per tutte le unità di superficie della Marina Statunitense ha rappresentato un rilevante successo.

La nostra scelta è caduta quindi innanzi tutto su questo tipo di reattore (fig. 4), per il quale sono in corso studi approfonditi. Parallelamente abbiamo in corso un lavoro tendente ad una valutazione comparativa — sia tecnica che economica — tra questo reattore ed i tipi ad acqua in pressione con circolazione naturale, ad acqua bollente a ciclo indiretto (cioè con il circuito del refrigerante diviso in due parti, separate da uno scambiatore di calore) e ad acqua bollente a ciclo diretto (nel quale il vapore viene prodotto nel reattore ed è immerso direttamente in turbina).

Noi riteniamo che il reattore ad acqua in pressione (fig. 5) con circolazione forzata sia oggi il solo che può essere preso in considerazione per una realizzazione che assicuri il 100 % di garanzie tecniche e di « sicurezza » per l'equipaggio.

Con ciò non escludiamo che soluzioni diverse — principalmente nel campo dei reattori ad acqua — possano offrire prospettive

tali da meritare un serio sforzo di sviluppo. Ad esempio il reattore ad acqua in pressione con circolazione naturale ed il reattore ad acqua bollente a ciclo diretto già citati sembrano da non scartarsi « a priori » dato che il primo presenta potenziali vantaggi di notevole interesse (tra i quali citeremo soltanto l'eliminazione delle complesse e costose pompe a « rotore stagno ») ed il secondo offre interessanti aspetti

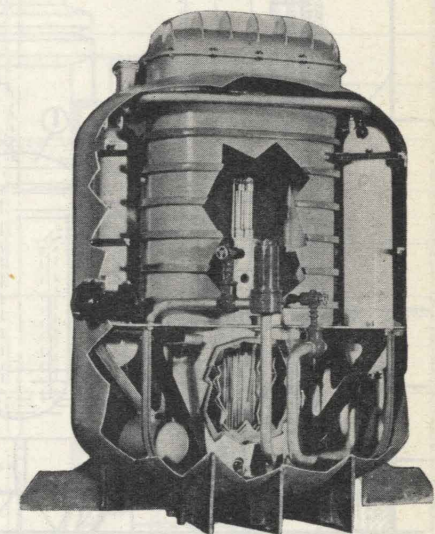


Fig. 4 - Modellino mostrante una possibile sistemazione del reattore ad acqua in pressione a circolazione forzata.

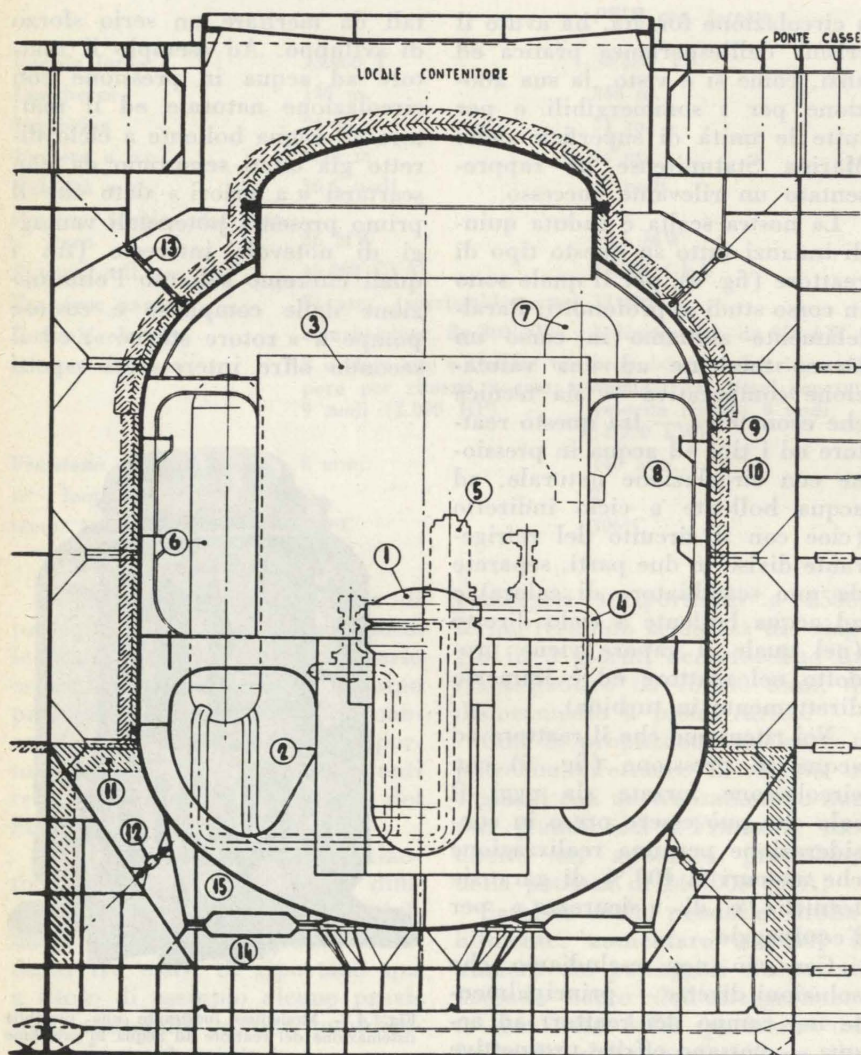
di particolare economicità (fig. 6). Si tratta però di reattori che richiedono ancora un lungo lavoro di perfezionamento e contemporaneamente approfondite ricerche sperimentali intese a determinare se essi siano « stabili » — specie in condizioni di mare molto agitato — e se sia possibile ovviare a taluni fondamentali inconvenienti che attualmente (specie del reattore BWR a ciclo diretto) ne rendono incerta la « sicurezza ».

Non ci soffermeremo quindi a descrivere i possibili perfezionamenti che si possono prevedere per questi due ultimi tipi; e ci limiteremo ad accennare rapidamente alle ricerche attualmente in corso a Torino per chiarire alcuni fenomeni relativi alla « sta-

bilità » dei medesimi, ed ai problemi di installazione a bordo (gli analoghi problemi per il reattore ad acqua in pressione a circolazione forzata sono già stati trattati in una memoria presentata alla Conferenza Mondiale dell'Energia - Madrid, giugno 1960).

In collaborazione tra la Fiat ed il Politecnico di Torino è stato costruito presso quest'ultimo un « loop » o circuito sperimentale, della potenza di 100 kW, mediante il quale sono stati affrontati alcuni problemi di fondo, in preparazione di un circuito di maggiore potenza (500 kW) che è stato successivamente progettato ed è ora in costruzione presso il nostro Centro Sperimentale SORIN di Saluggia.

Fig. 5 - Schema di contenitore per reattore ad acqua in pressione a circolazione forzata.



La fig. 7 mostra il « loop » da 100 kW del Politecnico di Torino.

Si tratta di un circuito con sezione di prova a semplice canale sul quale abbiamo in corso lavori sperimentali, relativi a condizioni di funzionamento in circolazione naturale, tendenti a determinare l'influenza di alcuni parametri, quali la pressione ecc., sui fenomeni di « instabilità idraulica ».

La sezione di prova può essere sostituita con altra a « canale parallelo », nella quale il canale di prova è soggetto ad una perdita di carico imposta da un canale di by-pass. Questa configurazione è molto adatta per rappresentare le condizioni di un canale particolarmente « caldo » in parallelo con altri canali soggetti a condizioni medie entro il « nocciolo ».

Con la seconda sezione di prova è previsto di effettuare ricerche durante il corrente anno. Esse verranno poi proseguite, su scala più ampia, con il « loop » di Saluggia. Frattanto vengono attuate, con il circuito da 100 kW, prove di instabilità dell'intero circuito a pressioni variabili da 60 a 80 kg/cm². Tali prove sono impostate e condotte in modo da dare indicazioni utilizzabili anche per il progetto dei reattori ad acqua bollente.

Circa i problemi di installazione a bordo, il reattore ad acqua in pressione a circolazione naturale presenta alcune difficoltà relative alle sue grandi dimensioni, difficoltà che potranno forse essere superate e che sono attualmente allo studio.

Anche per il reattore ad acqua bollente a ciclo diretto, oltre ad affrontare i numerosi problemi connessi con la progettazione del reattore, con la sua stabilità e con la « sicurezza », si sono esaminati gli aspetti della sua sistemazione a bordo. Accenneremo qui ad alcuni tra i principali.

Il vapore prodotto nel reattore viene immesso, come già si è detto, direttamente in turbina. Quindi turbina, condensatore, circuito del vapore, preriscaldatori d'alimento, pompe d'alimento e d'estrazione, generatori di vapore a

bassa pressione ed impianto di demineralizzazione dell'intero condensato devono essere chiusi in un locale, stagno e schermato, potendo essere radioattivi. L'accessibilità alle apparecchiature è limitata nel tempo, a seconda dell'attività delle apparecchiature stesse: mediamente in tale sala macchine è di qualche ora alla settimana.

Pertanto tutte le valvole e le apparecchiature devono essere servocomandate da un'unica sala di controllo posta all'esterno.

Per quanto riguarda la parte nucleare, questa può essere sistemata o in un apposito contenitore o nell'unica sala macchine. Nella seconda soluzione, tra il compartimento macchine ed il compartimento reattore può esistere una paratia stagna eventualmente anche schermata, ma con valvole o membrane che mettono in comunicazione i due compartimenti in caso di incidente.

Infatti l'incidente nucleare massimo per cui si dimensiona il contenitore dell'impianto nucleare, consiste nella rottura di una tubazione contenente il fluido primario con sua conseguente completa fuoriuscita ed evaporazione.

La pressione finale della miscela acqua vapore dipende sia dal contenuto termico del fluido primario, sia dal rapporto

volume libero d'espansione

peso fluido primario

Pertanto per abbassare tale pressione conviene avere un grande volume libero e cioè, in caso di incidente, l'intera sala macchine (essendo il compartimento macchine ed il compartimento reattore comunicanti).

Per quanto riguarda la pressione di 70 atmosfere prevista per il B.W.R. a ciclo diretto, uno dei problemi più gravi è quello dell'umidità. Nella costruzione delle turbine si hanno ora i mezzi per risolvere tale problema e si ritiene che si possa realizzare una turbina adatta per le condizioni di vapore previste.

È allo studio la possibilità di eliminare il preriscaldamento dell'acqua di alimento del reattore,

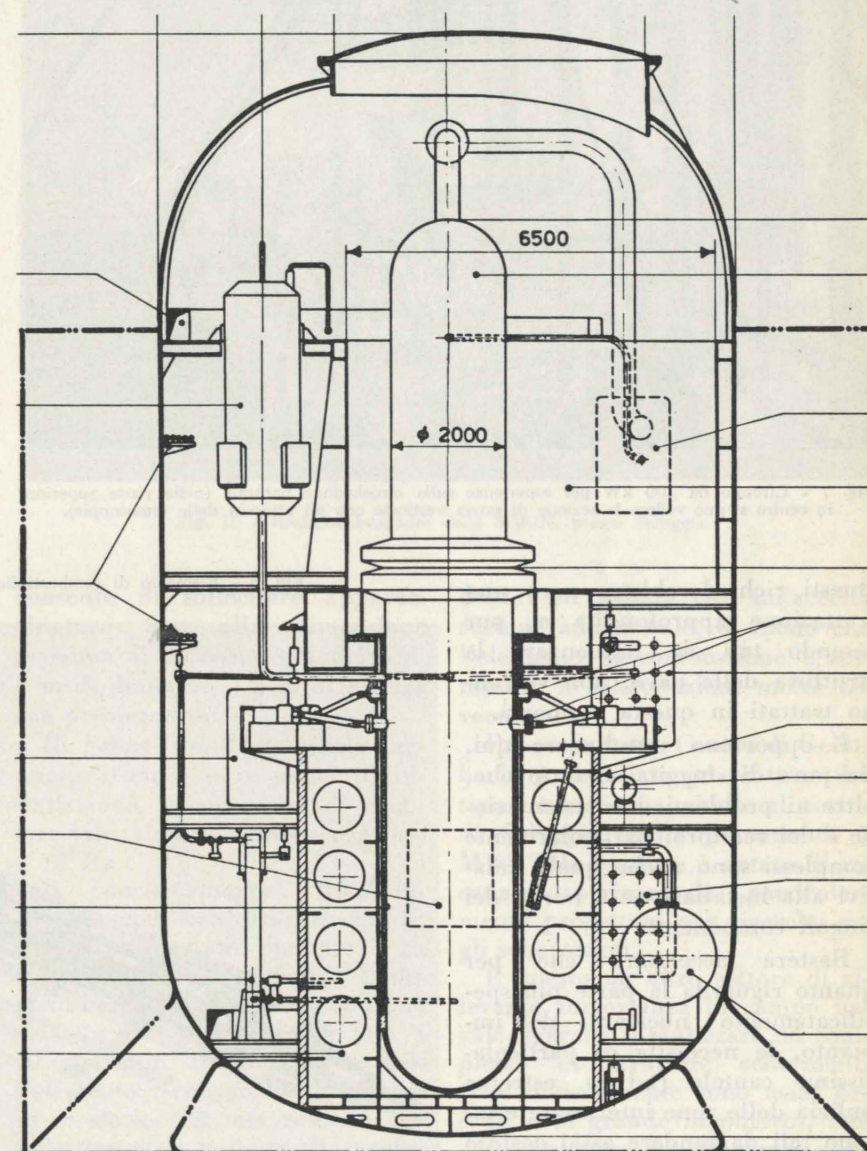
con conseguente eliminazione dei relativi riscaldatori. A questo proposito esistono tuttavia pareri discordanti circa la stabilità del reattore al variare della temperatura d'ingresso dell'acqua di alimento. Nel caso in cui si dovesse eliminare il preriscaldamento, gli spillamenti di vapore, dalla turbina verrebbero naturalmente inviati al condensatore.

Circa quest'ultimo, se si fa riferimento al tipo adottato per l'impianto SENN, si constata che esso è a tubi saldati ed è degassante, in modo che il contenuto di O₂ all'estrazione dal condensatore sia nella proporzione di 0,01 cmc/lit. (Nel re. per radio-

lisi si forma una grande quantità di gas, che deve essere eliminato). Sorgono però difficoltà all'avviamento in quanto il degassaggio non è possibile con condensatore freddo.

Occorre notare in proposito che negli impianti terrestri con reattore a circolazione forzata si fa la partenza a caldo preriscaldando il reattore con le pompe di circolazione; in alcuni impianti dotati di reattore ad acqua bollente, il reattore viene invece preriscaldato con vapore ausiliario. I problemi della sistemazione a bordo non si esauriscono qui, ed anzi altri ve ne sono, di essenziale importanza, circa gli schermaggi.

Fig. 6 - Schema di contenitore per reattore ad acqua in pressione a circolazione naturale.



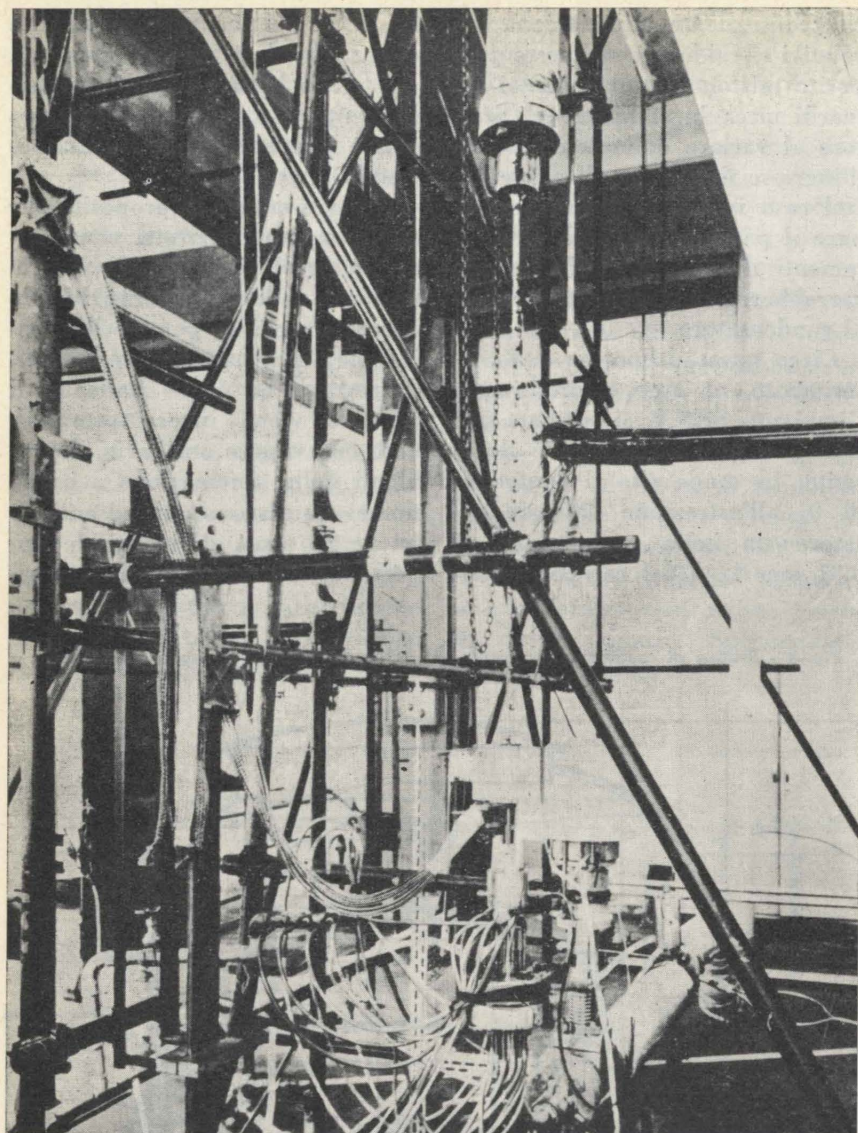


Fig. 7 - Circuito da 100 kW per esperienze sulla circolazione naturale (nella parte superiore in centro si può vedere la sezione di prova verticale con gli attacchi delle termocoppie).

il complesso delle operazioni di installazione.

Il reattore ad acqua in pressione a circolazione forzata.

Ritornando al reattore ad acqua in pressione a circolazione forzata rileveremo che esso, benchè praticamente provato in mare con successo, presenta ancora molti problemi, dovuti in parte al fatto che le sue versioni navali (ad eccezione di quella installata sulla nave « Savannah ») sono coperte da un rigoroso segreto militare, in parte al fatto che esse sono state progettate senza tener conto dei costi — considerazione che è anche in parte valida per il reattore della « Savannah ».

La ovvia preminenza dei fattori economici nel caso delle applicazioni mercantili rende quindi necessaria una progettazione « ex novo » per la quale i criteri seguiti dai progettisti della « Savannah » possono valere tutt'al più come indicazioni di partenza.

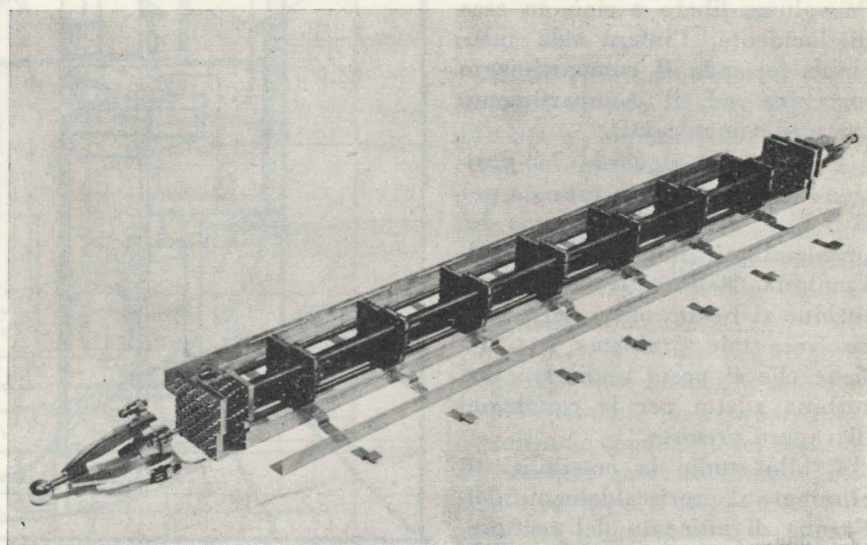
Per dare un'idea del vasto lavoro di « ottimizzazione » necessario al fine di giungere a soluzioni opportune, diremo che per limitarci all'esempio del solo « nocciolo » o « core » — si sono già calcolati e studiati comparativamente ben 86 diversi tipi (dei quali 43 con una « vita » di due anni e 43 con vita di 4 anni). Nu-

Questi richiederebbero però una trattazione approfondita e, pur essendo tali da influenzare la struttura della nave, non verranno trattati in questa memoria.

È opportuno sottolineare qui, sia pure di sfuggita, il fatto che, oltre ai problemi di « sistemazione » del reattore, particolarmente complessi sono anche quelli relativi alla installazione a bordo dei singoli componenti.

Basterà accennare che per quanto riguarda la parte più specificatamente nucleare dell'impianto, le necessità di particolarissime cautele (ad es. estrema pulizia delle zone interessate ecc.) sono tali da rendere assai costoso

Fig. 8 - Elemento di combustibile a pastiglie di ossido di Uranio.



merosi sono inoltre i perfezionamenti per i quali abbiamo in corso un ampio lavoro sperimentale. Ad esempio l'applicabilità di nuove soluzioni nella progettazione degli « elementi di combustibile » richiede di essere sperimentata a fondo.

Citeremo qui un tipo che è stato da noi costruito su disegno americano, e per il quale abbiamo in corso lo studio di alcuni perfezionamenti. Esso rappresenta una delle più avanzate concezioni nel campo degli elementi di combustibile a pastiglie di ossido di uranio sinterizzato racchiuse entro tubi di acciaio inossidabile, perchè introduce un particolare sistema di assemblaggio meccanico in luogo della brasatura che viene normalmente impiegata per riunire tra loro i singoli tubi in « fasci » di forma e dimensioni opportune (figg. 8 e 9).

Allo scopo di studiare sperimentalmente gli effetti delle sollecitazioni accidentali sui vari componenti dell'impianto, verranno da noi effettuate esperienze — almeno per i componenti più delicati — su speciali apparecchiature che sono state predisposte — nel quadro della collaborazione, patrocinata dallo Euratom, tra i Paesi della Comunità per la propulsione navale nucleare — presso il Centro di ricerche nucleari di Geesthacht, nei pressi di Amburgo.

Si tratta essenzialmente di un banco rollante, di un banco oscillante e di un banco rotante, mediante i quali si possono simulare le più severe condizioni dipendenti da mare agitato.

Il *banco rollante* (Schlingerstand), attualmente in funzione,

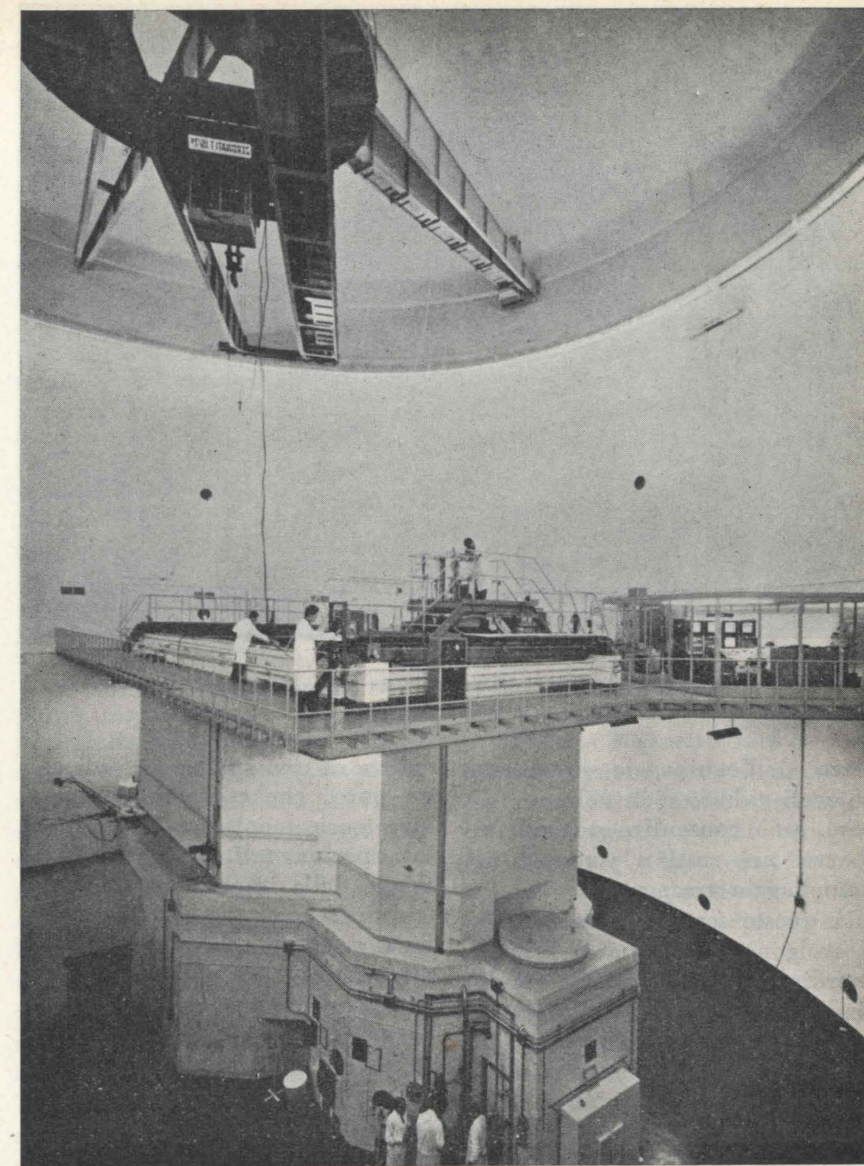


Fig. 10 - Reattore Avogadro della SORIN, presso Saluggia.

consente di sollecitare apparecchiature fino alla dimensione massima di un corpo cilindrico di 8 m di diametro e 2 m di altezza con accelerazioni di 3 g.

Il *banco oscillante* (Schwingsprüfstand) è in corso di installazione, e consentirà di simulare vibrazioni con frequenza fino a 70 Hz.

Il *banco rotante* (Rotationstand), anch'esso in costruzione, è stato progettato per prove su elementi di combustibile. L'elemento viene fatto ruotare con una velocità che può arrivare fino a 40 giri/min. Il contenitore dell'elemento viene poi fatto ruotare su se stesso con una velocità che è da una a tre volte quella prece-

dente: si realizza così un'accelerazione addizionale, di modo che l'elemento di combustione è sottoposto a sollecitazioni molto severe.

Presso lo stesso Centro di Geesthacht è installato un reattore del tipo « a piscina », simile al nostro di Saluggia, della potenza di 5 MW. Tale reattore è dotato di un canale sperimentale particolarmente progettato per ricerche sugli schermaggi.

È questo un altro settore di rilevante importanza in campo navale, giacchè il realizzare un complesso di strutture schermanti (che normalmente sono assai pesanti e di grande ingombro), tale da consentire la massima sicu-

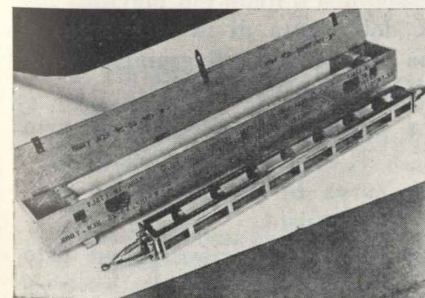


Fig. 9 - Elemento di combustibile a pastiglie di ossido di Uranio.

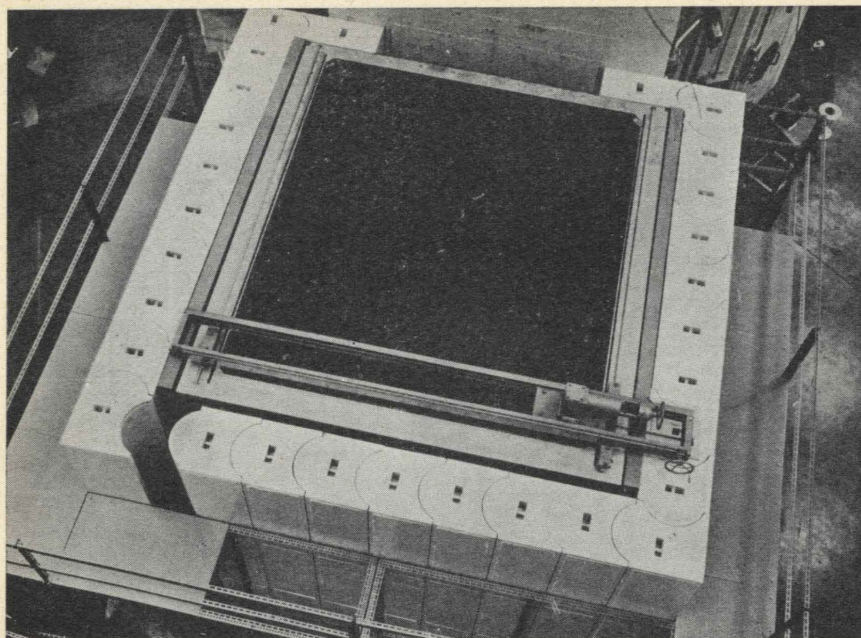


Fig. 11 - Attrezzatura per lo studio degli schermaggi.

rezza dell'equipaggio e insieme notevoli riduzioni in volume e in peso, può consentire notevoli risparmi nei costi e vantaggi nel tonnellaggio trasportato.

A questo scopo le ricerche che si svolgono a Geesthacht saranno coordinate con quelle che conduciamo a Saluggia. Qui il reattore Avogadro, che attualmente funziona a 2 MW, ma può anche esso raggiungere i 5 MW (fig. 10) è dotato di un'altra speciale attrezzatura per lo studio degli schermaggi. Questa consiste essenzialmente in una grande vasca, che è adiacente, con una delle sue facce, alla « colonna termica » del reattore (fig. 11). Su questa faccia la vasca reca una grande lastra di uranio metallico (dimensioni metri 1,20 x 1,20) la quale, colpita dai neutroni termalizzati uscenti dalla « colonna termica » produce radiazioni corrispondenti allo « spettro puro di fissione ».

Tali radiazioni vanno a colpire, nell'interno della vasca, grandi piastre di materiali di varia natura ivi predisposte, e permettono di studiare l'effetto schermante.

Il vantaggio della nostra attrezzatura rispetto a quella di Amburgo consiste appunto essenzialmente nella possibilità di di-

sporre di uno spettro di radiazione puro, che consente di correlare teoricamente tra loro i risultati sperimentali, con grande vantaggio della impostazione di queste ricerche — che sono di natura assai complessa — e della attendibilità dei risultati. È probabile comunque che le collaborazioni con i tedeschi, e più tardi anche con il CAMEN di Livorno (che nel suo reattore di San Pietro in Grado disporrà di un'attrezzatura simile a quella di Geesthacht) possano condurre a interessanti conclusioni.

Problemi riguardanti la « sicurezza ».

Queste considerazioni ci conducono ad esaminare, brevemente, più da vicino un aspetto di fondamentale importanza del progetto di una nave nucleare, e cioè quello della « sicurezza » al quale abbiamo più volte accennato.

Esso coinvolge, oltre a numerosi problemi che riguardano più specificamente le caratteristiche del reattore, alcuni dei quali sono già stati brevemente trattati, anche le cause esterne di possibili incidenti, ed in particolare i pericoli di collisione e arenamento, che richiedono l'adozione di speciali cautele.

Anche il progetto italiano pre-

vede strutture protettive al cui studio verranno dedicate particolari cure, sulla base delle esperienze già acquisite fin qui.

Sono in corso anche accurate analisi dei diversi modi secondo i quali può avvenire una collisione.

Ciò riveste una grande importanza agli effetti di determinare le accelerazioni accidentali che si verificano come si è detto in caso di collisione, e la cui conoscenza — almeno in via orientativa — è necessaria al progettista per dimensionare i singoli componenti dell'impianto e i loro attacchi di connessione con lo scafo, le stesse strutture di quest'ultimo, le barriere anticollisione ecc.

Consideriamo ad esempio una collisione che avvenga in modo tale che la nave investitrice navighi con rotta perpendicolare a quella della nave investita, e vada a colpire di prora quest'ultima a circa metà della sua lunghezza.

Indicando con T_0 il tempo di impatto (cioè il tempo necessario perché le due navi abbiano una uguale velocità V_F nella direzione

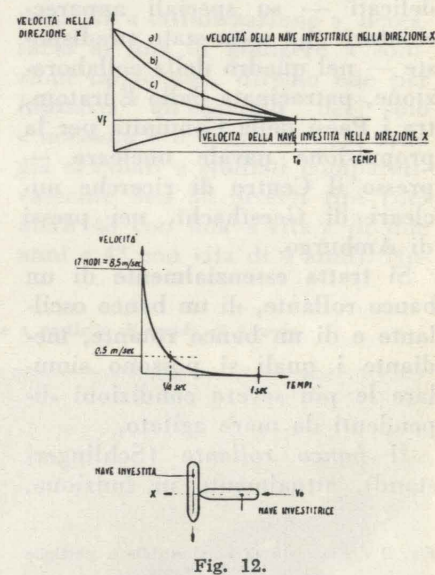


Fig. 12.

X della rotta di investimento) si ha il seguente diagramma velocità-tempo (fig. 12):

La curva a) si riferisce ad urto tipicamente anelastico

La curva b) si riferisce ad urto misto

La curva c) si riferisce ad urto tipicamente elastico.

Si è visto che, esaminando i tipi di nave e di collisioni possibili con una curva tipo a) si ha una decelerazione max di 0,5 g mentre con una curva di tipo c) si può arrivare a 40 g. Comunque le curve reali sono molto prossime alla curva a).

Considerando il caso peggiore (urto della nave a piena velocità ad es. contro una scogliera) per avere una accelerazione di 3 g, occorrerebbe arrivare al caso illustrato dal diagramma successivo, caso che è ovviamente ritenuto assolutamente improbabile.

Appare quindi chiaro come le regole stabilite da Loyd's Register⁽⁵⁾ siano troppo restrittive. Infatti secondo esse nemmeno la « Savannah », potrebbe essere approvata.

È comunque di estrema importanza l'approfondire gli studi intesi a raggiungere una efficiente regolamentazione delle caratteristiche degli impianti e della navigazione, che eviti la possibilità di incidenti nucleari.

Un altro settore che è strettamente collegato con la sicurezza del reattore è quello dei suoi sistemi di controllo.

Accenneremo soltanto ad alcuni problemi riguardanti uno dei componenti più importanti, che richiede lo studio di soluzioni del tutto particolari per l'applicazione ad un reattore navale: il meccanismo di comando delle barre di controllo.

Esistono vari tipi di tali meccanismi attualmente in funzione nei reattori nucleari. Essi possono essere di massima raggruppati in tre categorie: tipo meccanici; elettromeccanici; idraulici o idropneumatici. Si hanno anche, a volte, sistemi misti.

Sullo « Savannah », ad esempio, sono montati dei meccanismi ciascuno dei quali è composto di 3 dispositivi:

1) Un sistema meccanico per la « regolazione » che comprende un motore elettrico con riduttore e interruttori di fine corsa; due

(5) LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING, *Provisional Rules for the classification of nuclear ships*, Edizione 1960

alberi filettati che comandano la barra centrale e il comando di sgancio per lo spegnimento immediato del reattore (scram).

2) Un sistema idraulico per attuare lo « scram ».

3) Un sistema elettrico di controllo e strumentazione con interruttori, servo controllo ecc.

All'uscita dal coperchio del contenitore del nocciolo un premistoppa con circolazione d'acqua purificata assicura la tenuta verso l'esterno.

Sopra il premistoppa è montato il sistema meccanico: più in alto, il sistema idraulico e per ultimo il motore elettrico. Tutto questo insieme forma una colonna di 5,20 metri d'altezza.

Un tipo di apparato così complesso era destinato a presentare probabili inconvenienti. Infatti dalla revisione del progetto « Savannah » condotta dalla AEC nel marzo 1961 è apparso che il materiale originariamente scelto per gli alberi penetranti attraverso le tenute dei meccanismi (acciaio inossidabile temprato 17-4 PH trattato a 482 °C) non sembra adeguato all'uso previsto, anche in relazione alle esperienze negative avute nella Centrale di Dresden. Tale materiale è infatti soggetto a « stress - corrosion ».

Sono perciò stati sviluppati e costruiti nuovi alberi dello stesso materiale ma soggetto ad un diverso trattamento termico, in modo da ottenere una tempra ancora abbastanza buona, non tale però da sensibilizzare il materiale alla « stress - corrosion ».

Il nuovo materiale chiamato NPH 17 è stato provato nella Centrale di Dresden e poi è stato adottato anche sulla « Savannah ». Pur con questa sostituzione i meccanismi in oggetto presentavano però altri inconvenienti. Infatti essi, non essendo a tenuta stagna, ma solo con una tenuta a contro-

pressione, sono in contatto con un ambiente contenente un liquido a pressione superiore a quella esistente all'interno dei meccanismi. Si è però constatato che il liquido che garantisce la tenuta

si attivava e si avevano quindi grandi quantità di tale liquido radioattivo da inviare al deposito a bordo (Waste disposal).

Comunque erano stati prudenzialmente ordinati, fino dal 1959, alla Borg Warner altri meccanismi di tipo completamente stagno, e recentemente, in seguito agli inconvenienti suaccennati, si è deciso di sostituire ai meccanismi precedenti quelli di nuovo tipo.

È questo un esempio della delicatezza di tali apparati e dei problemi che possono emergere dalla loro pratica applicazione.

Di conseguenza appare chiara la necessità di uno studio approfondito per la scelta e progettazione del meccanismo più opportuno. Un tipo che presenta notevole interesse è quello elettromeccanico disegnato dalla Westinghouse per impianti terrestri e denominato « Magnetic Jack ».

Il « Magnetic Jack » funziona mediante l'attivazione successiva, « a programma », di una serie di elettromagneti che comandano il sollevamento o la discesa delle aste che reggono le barre di controllo.

Tale principio rende possibile la costruzione di un meccanismo a tenuta stagna, semplice e robusto.

Un meccanismo di comando delle barre di controllo per un reattore navale deve soddisfare requisiti del tutto particolari in condizioni di funzionamento anche assai gravose; in particolare esso deve assicurare l'attuazione dello « scram » qualunque sia la posizione della nave e quindi anche a nave capovolta.

Inoltre, ad evitare che si abbiano slittamenti sotto l'azione di particolari sollecitazioni durante la navigazione è necessario progettare una variante del suddetto meccanismo dotata di particolari arpionismi adatti allo scopo.

Un meccanismo di questo genere offre i seguenti vantaggi. Rispetto a un tipo totalmente idraulico non presenta problemi di slittamento per contro-reazione.

— Rispetto a un tipo meccanico ha il vantaggio di essere a tenuta stagna.

— Rispetto ad altri tipi più complessi ha il vantaggio del minor costo.

Grande interesse presentano anche un tipo idraulico perfezionato, ed un tipo misto « magnetic jack » e idraulico, nel quale la parte idraulica serve per attuare lo « scram ».

Infatti uno svantaggio del tipo elettromeccanico suddetto è la necessità di affidarsi alla forma di gravità per attuare lo « scram » cosa che non è ovviamente possibile su di una nave. Occorre quindi ricorrere per lo « scram » a sistemi addizionali di tipo diverso (ad esempio: idraulico o a molle).

Il prototipo del meccanismo prescelto, che verrà costruito dalla Fiat, sarà da noi provato in condizioni simulanti quelle reali di navigazione sul banco rollante, o « Schlingerstand » di Amburgo, del quale abbiamo già parlato.

Su tale apparato verranno probabilmente effettuate prove sia su componenti delicati sia per la parte convenzionale dell'impianto.

Anche per quanto riguarda quest'ultima i problemi che richiedono nuove soluzioni tecnicamente ed economicamente convenienti sono molteplici. Accenneremo quindi soltanto ad alcuni dei più importanti.

Occorre ad esempio, studiare ovviamente con grande cura le condizioni del vapore ed i bilanci termici, che devono essere ottimizzati anche con particolare riguardo per i problemi di peso ed ingombro.

Inoltre occorre studiare le possibilità di variazione della potenza in varie condizioni di manovra, nonché l'inerzia dell'apparato motore in caso di improvvisa caduta del carico, ecc.

Tutto questo lavoro è in corso, in collaborazione con i tecnici dell'Ansaldo.

Una delle considerazioni veramente sorprendenti alle quali si giunge esaminando i risultati delle esperienze pratiche attuate fin qui, è l'elevatissimo grado di « affidamento » che è offerto dagli apparati propulsivi nucleari. Esso è in realtà indispensabile perchè

si possa contare appieno sui sostanziali vantaggi di indipendenza, flessibilità d'impiego e autonomia che l'energia nucleare conferisce alle navi, sia di superficie che subacquee.

Per darne un'idea concreta, ricorderemo (secondo quanto è stato dagli Americani reso noto alla metà del 1961) che su nessuno dei 22 reattori in operazione sui sommergibili si è mai verificato un incidente nucleare.

In effetti i pochissimi casi di rotture o inconvenienti verificatisi hanno riguardato parti « convenzionali » dell'impianto.

Emerge da ciò un'altra caratteristica che è particolarmente della costruzione di navi nucleari: l'estrema cura, cioè, che deve essere dedicata alla costruzione ed ai collaudi di tutti i componenti, non solo nucleari ma anche convenzionali, per evitare che banali guasti di questi ultimi possano frustrare le eccezionali prestazioni dei primi.

Certamente gli elevati « standards di qualità » richiesti da tali impianti incidono gravosamente sui costi e spiegano (insieme alla mancanza di una fabbricazione in serie) le cifre veramente impressionanti che caratterizzano i preventivi delle navi nucleari.

Tuttavia è certo che, attraverso gli sforzi attualmente condotti con ritmo incessante sia in America che in Europa, si potranno ottenere sostanziali diminuzioni nei costi.

Per ora si può fare riferimento, a titolo di esempio, ai dati riferiti dall'Amm. Rickover circa i costi dei sommergibili già realizzati fin qui.

Il primo nocciolo del « Nautilus », di una durata pari a 69.000 miglia marine, è costato 4 milioni di dollari.

Il costo del terzo nocciolo, avente una vita assai più lunga, pari a 140.000 miglia, è disceso a 3 milioni di dollari.

Lo stesso Ammiraglio Rickover ha fornito questi dati relativi alle riduzioni ottenuti negli ultimi 5 anni:

« Nautilus » (v. sopra):
riduzione nel costo del nocciolo 25 %
aumento della durata 100 %

« Skate »:

riduzione nel costo del nocciolo 65 %
aumento della durata 20 %

« Skipjack »:

riduzione nel costo del nocciolo 65 %
aumento della durata 20 %

Non è il caso di soffermarci ora su questo aspetto essenziale, ma ancora soggetto in larga misura a numerosi imprevisti, della propulsione nucleare.

Ci limitiamo quindi ad osservare che possono attendersi in avvenire diminuzioni di costo assai rilevanti le quali, aggiunte alla considerazione delle probabili maggiori economie attuabili in campo civile rispetto a quello militare, inducono a previsioni favorevoli circa il possibile raggiungimento della competitività economica nel settore mercantile.

Ciò richiederà tuttavia, tra l'altro, intensi sforzi tendenti a stabilire opportune regolamentazioni della navigazione nucleare civile, sia in campo giuridico che assicurativo.

Giulio Cesoni

BIBLIOGRAFIA

(1) TID 8528, *Design studies for selecting a prototype reactor for a nuclear tanker*, Summary and evaluation report.

(2) R. GIBRAT, *La propulsion nucléaire des navires marchands. Fantôme ou réalité*. Nouveautés Techniques Maritimes 1960; publié par le Journal de la Marine Marchande.

(3) G. CESONI, *Problemi di installazione di reattori su navi a propulsione nucleare*. Conferenza mondiale dell'energia, Madrid, giugno 1960. (V. anche « Il Calore », 1960, n. 8).

(4) L. CHINAGLIA, P. RUCCI, *Some safety problems in the FIAT-Ansaldo nuclear ship study* (*).

(*) « Nuclear Ship Propulsion » - Proceedings of the Symposium on Nuclear Ship Propulsion with Special Reference to Nuclear Safety Sponsored by the International Atomic Energy Agency and Held at Taormina, Italy 14-18 November 1960.

Metodo di calcolo approssimato delle volte sottili cilindriche di tipo corto e intermedio

CARLO EMANUELE CALLARI propone un metodo di calcolo approssimato delle volte sottili cilindriche di tipo « corto » e « intermedio » consistente nel suddividere idealmente le volte in spicchi tali che ad essi sia applicabile il metodo « delle sezioni longitudinali » fondato sul principio del comportamento « a trave ». Lo stato di sollecitazione reale della struttura è quindi analizzato come somma, in ciascuno degli spicchi, delle sollecitazioni prodotte dai carichi esterni, dalle reazioni iperstatiche di bordo, e dalle reazioni mutue che sorgono lungo le generatrici di suddivisione per ristabilire la congruenza delle deformazioni totali. Il procedimento presenta il vantaggio pratico di utilizzare anche per le volte corte e intermedie i coefficienti degli spostamenti dei bordi e quelli delle sollecitazioni assiali e trasversali che sono stati tabellati per varie condizioni di carico nello sviluppo del metodo « delle sezioni longitudinali ».

1) Il principio del procedimento.

In un precedente lavoro abbiamo proposto un criterio di classificazione delle volte cilindriche autoportanti che indica i limiti di applicabilità dei vari procedimenti di calcolo semplificato; in tale sede abbiamo in particolare analizzato i fattori che limitano l'applicabilità del concetto di calcolo « a trave » (nella sua forma globale o per mezzo delle sezioni longitudinali lungo i bordi) alle volte del tipo « lungo » [1].

Dal momento che tale concetto, soprattutto nella sua particolare applicazione che considera la volta separatamente dalle travi di bordo, e ristabilisce la congruenza delle deformazioni lungo le generatrici di riva, mediante opportune reazioni iperstatiche, si è rivelato assai utile nel calcolo pratico delle volte autoportanti, ci siamo proposti di estenderne il campo di validità alla categoria delle volte « intermedie » e « corte », mediante alcuni accorgimenti che, pur aumentando alquanto il lavoro di calcolo, permettono ancora una certa semplificazione rispetto al procedimento analitico differenziale, soprattutto nel caso di volte intermedie (1), e in presenza di condizioni di vincolo e di carico dissimmetriche.

La semplificazione che soprattutto limita la validità del metodo di trave nella sua forma più generale è quella che consiste nel trascurare la portanza flessionale e torsionale delle strisce longitu-

(1) Si è infatti posto in evidenza in [1] che alle volte « corte » (come sono ivi definite) risulta di facile applicazione il metodo analitico che comporta invece, per le volte intermedie, lo stesso maggior lavoro necessario per il calcolo delle volte « lunghe ».

dinali della lastra costituente la volta; tale effetto diviene mano mano più importante rispetto alla portanza per effetto trave quanto più la distanza fra i timpani di appoggio diminuisce per rapporto alla larghezza della volta.

Per tener conto, in modo approssimato, della rigidità flessionale e torsionale di tali strisce longitudinali, noi possiamo considerare una generica volta del tipo corto o intermedio come idealmente divisa in due o più elementi continui trasversalmente ottenuti dalla volta reale mediante sezioni longitudinali eseguite secondo piani diametrali del cilindro (2); ciascuno di tali elementi (spicchi) costituisce dunque una volta che ha per direttrice un arco della direttrice della volta reale e può presentare una ampiezza angolare uguale o diversa da quella degli elementi adiacenti, a seconda che le particolarità della struttura, consiglino una piuttosto che un'altra suddivisione.

Se ora applichiamo a tali spic-

(2) Tali sezioni longitudinali interessano la volta propriamente detta, e la suddividono in un certo numero di spicchi; le sezioni longitudinali usate in [2] e [3] separano invece la volta propriamente detta dagli elementi irrigidenti posti sulle generatrici di bordo; il concetto di calcolo « a trave » viene quindi applicato in [2] e [3] alla volta isolata ma ancora intera, mentre nel presente lavoro si studiano separatamente col metodo di trave i singoli spicchi di volta; naturalmente lo spicchio di volta adiacente alla generatrice di riva della volta reale sarà separato dagli elementi irrigidenti di bordo, quando questi siano presenti.

Il metodo esposto in [2] e [3] è stato denominato « delle sezioni longitudinali »; il procedimento esposto in questo articolo verrà invece indicato come « metodo della suddivisione in spicchi » della volta.

chi di volta (porzioni della volta reale) il metodo di trave, verremo a tener conto della loro portanza longitudinale sui timpani esplicata per mezzo della flessione deviata e della torsione « di trave »; la congruenza delle deformazioni dovute all'effetto « trave » e all'effetto « anello di volta », fra due elementi contigui, viene ristabilita da opportune reazioni iperstatiche che si esercitano lungo il bordo di ideale divisione. L'analisi della portanza longitudinale diretta viene così eseguita mediante lo studio di elementi finiti di volta anziché delle strisce longitudinali di larghezza infinitesima; tale approssimazione si è rivelata tuttavia pienamente accettabile per un gran numero di strutture, come viene esposto nel seguito. La scelta degli elementi di divisione dovrà essere fatta in modo che a ciascuno di essi risulti applicabile, con buona approssimazione, il metodo « di trave » (e cioè il singolo elemento di struttura dovrà costituire, considerato a sé stante, una volta del tipo « lungo », secondo la definizione da noi data di tale tipo di struttura) (3).

(3) Gli elementi di volta che studiamo come se fossero isolati, salvo renderne successivamente congruenti le deformazioni, sono in realtà mutuamente collegati fra loro, almeno lungo un bordo; i limiti di applicabilità del metodo di trave sono allora più estesi di quelli indicati dai diagrammi riportati in [1], che si riferiscono a volte realmente isolate; in attesa di determinare più precisamente tali limiti per varie condizioni di vincolo laterale, si è già accennato nel medesimo lavoro che per volte continue trasversalmente il rapporto φ_s/φ_l (che nella pratica interessa in modo particolare) si può approssimativamente considerare pari a 0,8. Alcuni esempi di calcolo riportati nel seguito confermano questa ipotesi.

Il procedimento esposto permette di rendere più attendibile, anche per le volte corte, un'altra ipotesi posta alla base del metodo « di trave » e cioè quella dell'indeforabilità della sezione tra-

Nel procedimento in esame abbiamo analizzato in modo approssimato la portanza diretta delle volte corte; tale fenomeno non si presenta tuttavia soltanto in tali strutture: infatti, un caso di por-

Come abbiamo esposto più sopra tale divisione della struttura in elementi curvi, considerati ciascuno come una volta trave, permette un'analisi più completa, seppure ancora approssimata, del

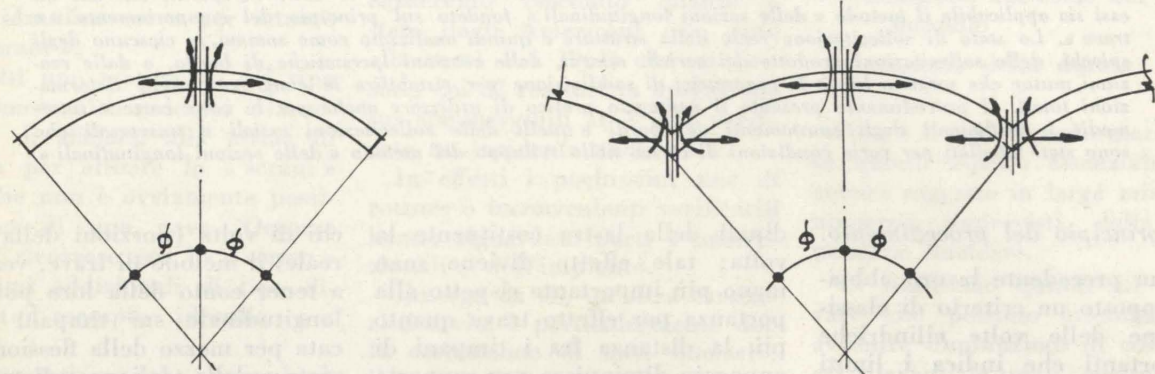


Fig. 1.

sversale della volta; tale ipotesi, che col procedimento esposto in [2] e [3] è tuttavia richiesta solo per il calcolo delle tensioni assiali e tangenziali nella volta (in quanto nel calcolo delle reazioni di bordo si tien conto della deformazione trasversale), risulta naturalmente tanto più vicina al vero quanto più la larghezza della volta è piccola rispetto alla lunghezza; ora le deformazioni sono evidentemente molto minori per gli elementi di suddivisione

tanza longitudinale diretta da parte di determinate zone della volta (e cioè un effetto di sostentamento prodotto da altri fattori che non siano la rigidità di trave dell'intera volta) si verifica anche nelle volte lunghe, allorchando una porzione della lastra costituente la volta si trovi ad avere una piccola inclinazione rispetto al piano d'azione delle forze esterne; tale fenomeno, caratteristico delle zone di bordo della volta è stato esaminato in precedenti lavori dello scrivente ([2] e [4]); in tale sede si è proposto di tenerne conto mediante la considerazione di una « trave fittizia » formata da una opportuna porzione della lastra stessa costituente la volta; mediante questo accorgimento risulta ancora possibile l'applicazione del metodo di trave in forma globale all'intera sezione della volta (separata dalla trave di bordo).

Tale procedimento, valido tuttavia per le sole volte lunghe, costituisce in un certo senso la premessa al metodo di calcolo delle volte corte, esposto nel presente lavoro, in quanto suggerisce il principio della presa in conto della portanza longitudinale diretta degli spicchi di volta, in aggiunta all'analisi della portanza dell'intera volta per effetto « trave ».

regime statico della lastra curva: infatti con tale procedimento oltre a tener conto della portanza longitudinale « di trave » di ciascuna delle volte ideali in cui si è suddivisa la volta reale, si analizza lo stato di sollecitazione e deformazione trasversale; in questo senso il metodo in esame può considerarsi lo sviluppo e la generalizzazione del procedimento della « trave fittizia ».

2) Campo di applicazione e limiti di validità del procedimento.

Il procedimento « di suddivisione in spicchi » permette di estendere il campo di validità del metodo di trave applicato non più globalmente all'intera sezione della volta, ma a singole porzioni di essa; in tal modo esso risulta adattabile al calcolo delle volte corte e di quelle intermedie. Per queste ultime esso riveste una particolare importanza pratica, sia perchè il metodo analitico non presenta ancora le semplificazioni possibili nel campo delle volte « corte », sia perchè proprio per le volte intermedie la suddivisione in elementi può essere ridotta al minimo; numerosi esempi ci hanno infatti indicato che nel campo di queste ultime strutture

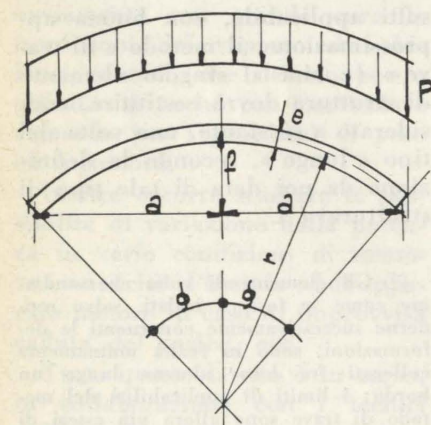


Fig. 2.

della volta, che non per la struttura intera. Lo stato di deformazione reale della struttura verrà poi ristabilito mediante le incognite iperstatiche introdotte nel calcolo.

la suddivisione della volta in due soli spicchi, porta a risultati sufficientemente approssimati anche nel caso particolarmente sfavorevole delle volte libere ai bordi. I risultati sono poi in ottimo ac-

Volta n. 1
MOMENTO FLETTENTE TRASVERSALE IN MEZZERIA

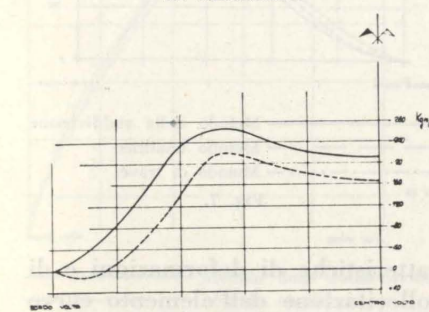


Fig. 3.

cordo con quelli desunti dalla teoria analitica per le volte vincolate trasversalmente, che costituiscono la maggior parte delle strutture reali. Si è invece posto in evidenza in [1] che nel campo delle volte corte il metodo analitico differenziale presenta la massima semplificazione, tanto da risultare di applicazione più comoda dei metodi approssimati (purchè si disponga di opportune tabellazioni dell'effetto dei carichi di bordo). La validità del metodo qui esposto anche nel campo delle volte corte permette tuttavia interessanti applicazioni in casi particolari come quando ad esempio la volta abbia una direttrice policentrica o presenti una situazione di carico inusuale oppure spessore variabile; il procedimento analitico porta infatti anch'esso, in tali casi, alla divisione in elementi con raggio di curvatura, carico e spessore costanti, ciascuno dei quali può però facilmente presentare un angolo di apertura minore dell'angolo limite delle perturbazioni, e richiedere quindi lo studio simultaneo dei due bordi opposti.

Lo studio di tali strutture risulta pertanto sempre molto laborioso per la quantità di incognite

iperstatiche da determinare e per le condizioni di dissimmetria di vincolo e di carico che si verificano in quasi tutti gli elementi; risulta quindi in tali casi particolarmente utile la semplicità della determinazione dei coefficienti di bordo, propria del procedimento delle sezioni longitudinali (cfr. tabelle riportate in [2]); come è noto, la determinazione esplicita di tali coefficienti mediante la teoria analitico-differenziale, quando i due bordi siano interdipendenti, è possibile allo stato attuale della bibliografia soltanto per condizioni simmetriche di vincolo e di carico (v. tabelle del manuale ASCE n. 31 [7]).

Per lo studio delle volte corte col metodo degli spicchi può essere necessaria la divisione in un numero di elementi maggiore di due; nel seguito del presente lavoro abbiamo tuttavia riportato il calcolo di alcune volte corte, dal quale si osserva che, specie in presenza di vincoli ai bordi, si ottiene una buona approssimazione anche con la divisione in due soli elementi. La divisione della volta in numero molto limitato di elementi permette, non solo di semplificare il calcolo, ma anche di studiare volte anche molto « corte », in quanto le volte ideali costituenti gli spicchi di suddivisione non divengono troppo « piatte », sì da non essere più assimilabili a strutture portanti essenzialmente per effetto trave [1].

A questo proposito si vuole sottolineare ancora che gli elementi ideali in cui si suddivide la volta ai fini del calcolo sono in realtà vincolati sui bordi; tale fatto allarga sostanzialmente i limiti superiore ed inferiore di validità della trattazione della singola striscia considerata come trave, rispetto ai valori dati in [1], come d'altronde nel lavoro citato si è già ripetutamente affermato.

Per quanto riguarda i limiti di applicazione del metodo della suddivisione in spicchi, le numerose strutture che abbiamo calcolato, e di cui riportiamo nel seguito alcuni esempi particolar-

mente significativi ci hanno indicato che essi si trovano senz'altro nel campo di volte assai « corte » anche per strutture libere ai bordi, che impongono sempre le maggiori restrizioni; risulta im-

Volta n. 1
TENSIONI ASSIALI IN MEZZERIA

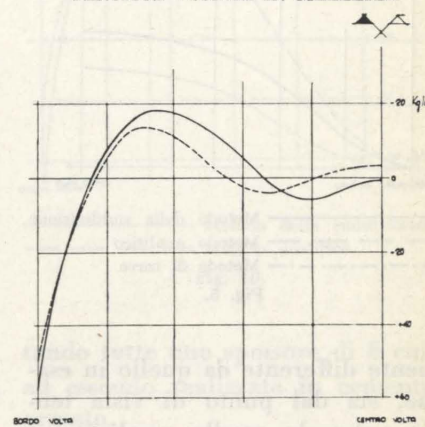


Fig. 4.

plicitamente che esso è valido in tutto il campo delle volte intermedie.

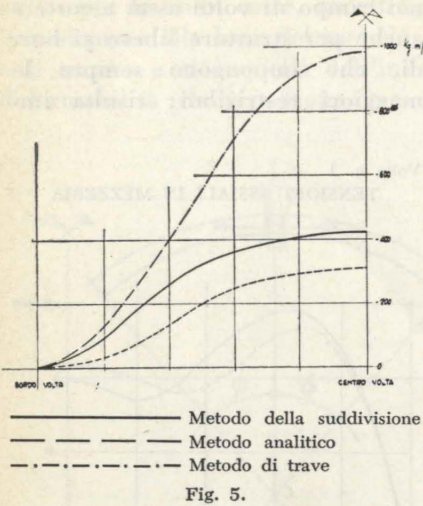
All'altro estremo del campo di applicazione del metodo in esame, e cioè verso le volte « lunghe » non esiste un limite dal punto di vista teorico: la scomposizione in elementi infatti non può che migliorare i risultati, anche laddove è sufficiente l'applicazione del metodo di trave in forma globale; a riprova di ciò a partire da un certo grado di « lunghezza » della volta (e variabile coi vincoli) i risultati ottenuti mediante la suddivisione in spicchi coincidono con quelli ottenuti col metodo di trave applicati all'intera sezione della volta.

3) Confronto con il metodo della scomposizione della volta in strisce piane.

Il calcolo delle volte cilindriche mediante la scomposizione in elementi piani, trasformando cioè la volta a direttrice circolare in una con direttrice poligonale è già stato proposto da vari autori (vedi ad es. [5] e [6]).

Tale metodo risulta notevol-

Volta n. 2
MOMENTO FLETTENTE TRASVERSALE
IN MEZZERIA

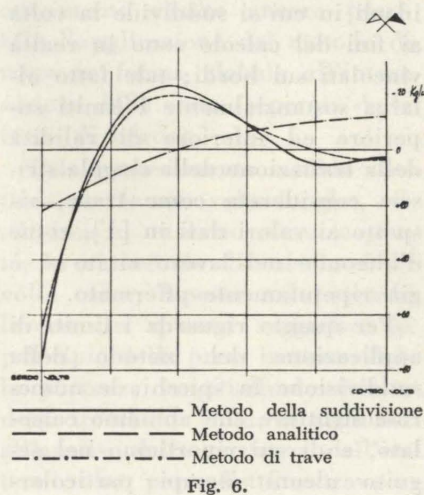


più lontana da quella reale che non la volta considerata idealmente divisa in elementi curvi.

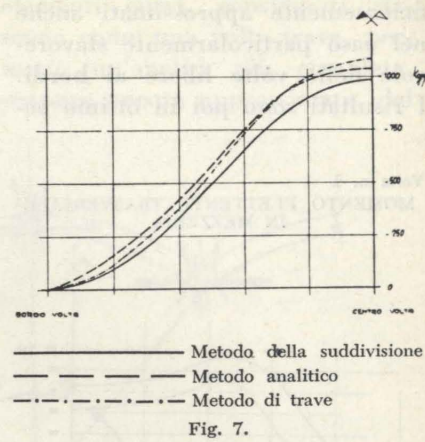
Oltre a queste considerazioni teoriche, anche il calcolo numerico di diverse strutture ha indicato, mediante confronto coi risultati forniti dal procedimento analitico, che per ottenere una buona approssimazione col metodo della volta scatolare, occorre dividere la struttura in un numero di strisce molto elevato; tale numero deve poi naturalmente aumentare per volte corte; è molto interessante a tale proposito la memoria di G. S. Ramaswami, citata nella bibliografia [5]; in tale lavoro è riportato il confronto fra i risultati ottenuti per varie volte calcolate col metodo analitico e mediante la volta poligonale ausiliaria; si nota che, per ottenere una buona approssimazione già per le volte lunghe è necessaria la divisione in una decina di strisce piane, cosa che rende il calcolo alquanto laborioso, anche con i metodi più recenti di calcolo pratico delle volte a direttrice poligonale. (Si vedano ad es. i lavori di Simpson e Whitney citati in bibliografia [8] e [9]). Dal punto di vista del calcolo numerico il metodo della suddivisione in spicchi curvi permette invece la presa in conto di pochissime porzioni di volta; d'altra parte utilizzando le tabelle riportate in [2] la determinazione delle ca-

mente differente da quello in esame, sia dal punto di vista teorico che da quello applicativo; innanzitutto sostituendo la volta poligonale a quella curva si introduce una approssimazione di carattere geometrico della forma della sezione, tanto più lontana dal vero quanto minore è il numero di strisce piane che si considerano. Risulta quindi implicitamente, già da un'analisi qualitativa, la necessità di suddividere la volta in un numero elevato di strisce piane, mentre la suddivisione in elementi curvi può essere mantenuta in limiti modesti, dettati soltanto da ragioni di precisione numerica di risultati; infatti essa non costituisce una approssimazione geometrica della struttura, ma soltanto un artificio introdotto al fine di calcolare le sollecitazioni e deformazioni della volta in modo più conforme al vero. Gli elementi piani presentano poi un comportamento statico molto lontano da quello degli elementi curvi: infatti con questi ultimi si tiene conto, oltre che della portanza diretta di origine flessionale e torsionale, (che è lo scopo del procedimento in esame) anche della portanza per forma, che non sussiste negli elementi piani: anche da questo punto di vista si rileva che la volta scatolare ausiliaria costituisce una struttura di partenza

Volta n. 2
TENSIONI ASSIALI IN MEZZERIA



Volta n. 3
MOMENTO FLETTENTE TRASVERSALE
IN MEZZERIA

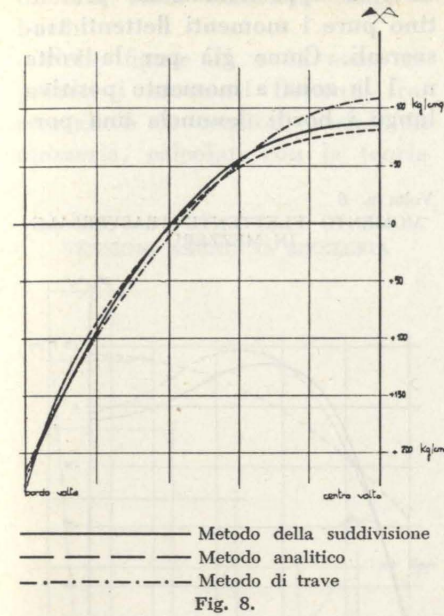


ratteristiche di deformazioni e di sollecitazione dell'elemento curvo risulta immediata, e non più complessa del lavoro da svolgere per il calcolo della volta scatolare, mentre rimane il vantaggio della divisione in un minor numero di elementi.

4) Esempi di applicazione e confronto con i risultati della teoria matematica.

Abbiamo eseguito lo studio di alcune volte opportunamente scelte per fornire un quadro delle possibilità del metodo della « suddivisione in spicchi »: a tal fine sono state scelte alcune volte del tipo « corto » e del tipo « intermedio » e sono state calcolate con la suddivisione in due sole semivolte. Tale suddivisione è stata fatta di proposito, per far vedere come, con un lavoro relativamente semplice, si possano calcolare volte anche sensibilmente « corte ». Si sono considerate volte libere ai bordi e volte continue trasversalmente; nella prima condizione di vincolo si sono ottenuti risultati in ottimo accordo con quelli della teoria matematica per una volta intermedia, e ancora abbastanza approssimati per due volte « corte »; nella seconda condizione di vincolo si sono considerate due volte molto « corte »: i valori delle sollecitazioni forniti dal metodo approssimato sono risultati ancora in ottimo accordo con quelli forniti dal procedimen-

Volta n. 3
TENSIONI ASSIALI IN MEZZERIA



to analitico. Attraverso il calcolo di tali volte continue trasversalmente si è ottenuta una conferma di quanto già esposto in [1] e cioè che i vincoli laterali permettono di estendere i vari limiti dei procedimenti di calcolo fondati sul principio « della trave ».

Riportiamo di seguito le caratteristiche delle varie volte studiate con i relativi valori dei momenti flettenti trasversali e delle tensioni assiali in mezzeria desunti dal calcolo col metodo in esame e con la teoria matematica (seguito il procedimento esposto in [7]). Tutte le strutture sono state considerate semplicemente appoggiate sui timpani di estremità e soggette a carico verticale uniforme distribuito sulla superficie. Il calcolo è stato eseguito per tutte le strutture considerandole idealmente divise in due semivolte uguali, separate dalla generatrice di chiave; le incognite iperstatiche considerate sono quindi per le volte libere ai bordi una coppia di continuità e una spinta orizzontale applicate sulla generatrice di separazione fra i due spicchi costituenti le due voltine ausiliarie (cioè sulla generatrice di chiave della volta reale); le condizioni di congruenza esprimono che per la simmetria sono

nulli lo spostamento orizzontale e la rotazione dei bordi adiacenti delle voltine.

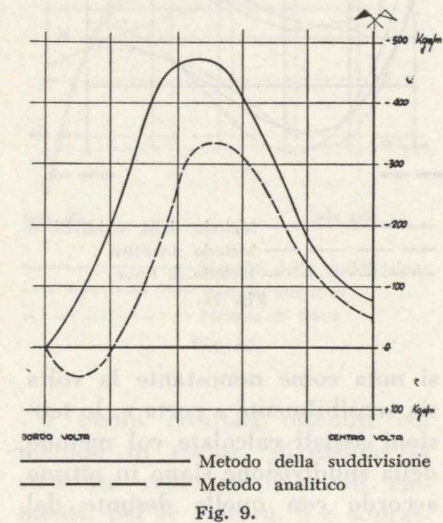
Per le volte continue trasversalmente (di cui si è studiata una generica volta intermedia) si aggiungono a tali incognite quelle consuete, applicate sulla generatrice di imposta (v. fig. 1); le condizioni di congruenza sono ancora quelle indicate più sopra. Ciascuna delle due semivolte ausiliarie in cui si è divisa la struttura ideale è studiata col procedimento valido per le volte lunghe esposto in [2].

Nella figura 2 sono indicate le grandezze caratteristiche della volta i cui valori numerici sono poi riportati per ciascuna struttura; e precisamente:

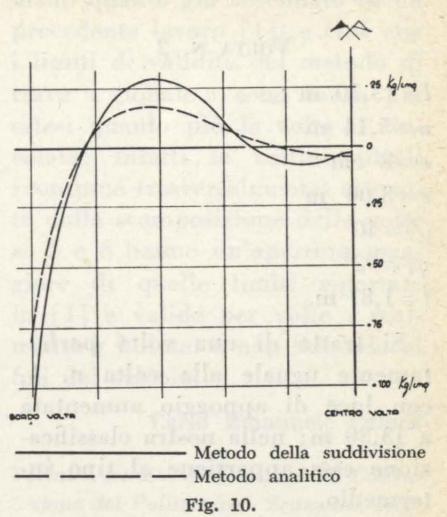
- l = luce di appoggio fra i timpani di estremità
- p = carico per unità di superficie sulla falda
- a = semi-corda della volta
- f = freccia della volta
- e = spessore della volta
- $2\varnothing$ = angolo di apertura
- r = raggio di curvatura medio
- φ_1 = angolo limite delle perturbazioni (cfr. [1]).

Tutte le strutture descritte nel seguito sono state calcolate per il peso proprio, pari a 200 kg per metro quadrato di falda, presen-

Volta n. 4
MOMENTO FLETTENTE TRASVERSALE
IN MEZZERIA



Volta n. 4
TENSIONI ASSIALI IN MEZZERIA



tando tutte uno spessore di 8 cm, ed essendo realizzate in cemento armato.

VOLTA N. 1

- $l = 10,33$ m
- $a = 5,14$ m
- $e = 8$ cm
- $r = 8,00$ m
- $\varnothing = 40^\circ$
- $\varphi_1 = 81^\circ$
- $f = 1,87$ m.

Si tratta di una volta libera ai bordi, al limite fra quelle intermedie e quelle corte, secondo la classificazione da noi esposta in [1]. Nelle figg. 3 e 4 sono riportati i diagrammi del momento flettente trasversale e delle tensioni assiali in mezzeria della luce per metà della volta reale (sull'altra metà si hanno i valori simmetrici).

Si nota come i risultati dedotti col metodo in esame siano in buon accordo con quelli forniti dalla teoria matematica; non si deve infatti dimenticare che le volte libere ai bordi presentano le maggiori difficoltà alle semplificazioni di calcolo; la presenza di una zona prossima al bordo soggetta a momento positivo (secondo la teoria) denuncia il comportamento a « trave fittizia » del bordo stesso (cfr. [2]); prendendo in conto tale trave si otterrebbe un ulteriore miglioramento

dei risultati ottenuti col metodo in esame.

VOLTA N. 2

$l=13,30$ m
 $a=5,14$ m
 $e=8$ cm
 $r=8,00$ m
 $\varnothing=40^\circ$
 $\varphi_1=92^\circ$
 $f=1,87$ m.

Si tratta di una volta perfettamente uguale alla volta n. 1, con luce di appoggio aumentata a 13,30 m; nella nostra classificazione essa appartiene al tipo intermedio.

Nelle fig. 5 e 6 sono riportati i momenti flettenti trasversali e le tensioni assiali in mezzzeria della volta calcolate col metodo in esame e con la teoria matematica; si nota come l'accordo fra le due serie di risultati diventi ottimo nel campo delle volte intermedie. Si sono anche riportate nelle medesime figure i diagrammi delle sollecitazioni calcolate col metodo di trave « globale »: essi risultano ben lontani dalla realtà, e offrono un termine di confronto per valutare l'efficienza del metodo in esame, anche limitando la suddivisione della volta a due soli elementi.

VOLTA N. 3

$l=40,00$ m
 $a=5,14$ m
 $e=8$ cm
 $r=8$ m
 $\varnothing=40^\circ$
 $\varphi_1=160^\circ$
 $f=1,87$ m.

Si tratta di una volta con sezione trasversale uguale alle due precedenti ma con luce pari a 40 m: essa appartiene quindi al tipo « lungo » e avendo un'apertura $2\varnothing=0,5$ φ_1 è calcolabile col metodo di trave globale (cfr. [2]); la struttura è stata calcolata col metodo analitico, con quello di trave « globale » e col metodo in esame, con la consueta divisione in due semivolte; si nota come i

risultati forniti da quest'ultimo procedimento, applicato alle volte « lunghe » coincidano con quelli desunti dal metodo di trave « globale ».

Nelle figg. 7 e 8 sono al solito riportati i diagrammi dei momenti flettenti trasversali e delle sollecitazioni assiali in mezzzeria.

VOLTA N. 4

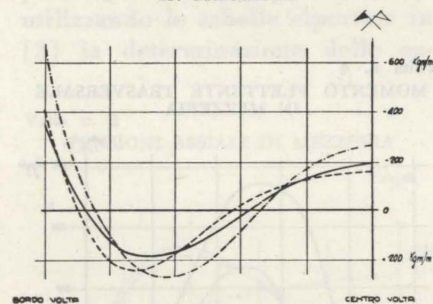
$l=12,60$ m
 $a=8,00$ m
 $e=8$ cm
 $r=16,00$ m
 $\varnothing=30^\circ$
 $\varphi_1=53^\circ 30'$
 $f=2,14$ m.

Si tratta di una volta libera ai bordi, di tipo « corto », con rapporto lunghezza/larghezza piuttosto basso, e pari precisamente a 0,79.

Tale volta, come esposto in [1] è facilmente calcolabile con la teoria matematica; si è tuttavia applicato il procedimento in esame, per mostrarne le notevoli possibilità anche nel campo delle volte corte.

Nelle figure 9 e 10 sono riportati i momenti flettenti trasversali e le tensioni assiali in mezzzeria;

Volta n. 5
 MOMENTO FLETTENTE TRASVERSALE IN MEZZERIA

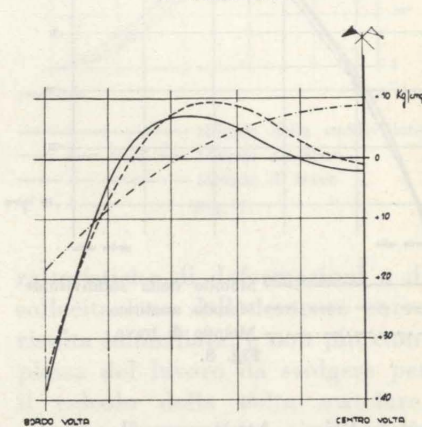


Metodo della suddivisione
 Metodo analitico
 Metodo di trave
 Fig. 11.

si nota come nonostante la volta sia sensibilmente « corta », le tensioni assiali calcolate col metodo della suddivisione siano in ottimo accordo con quelle desunte dal

procedimento analitico, e che una discreta approssimazione presentino pure i momenti flettenti trasversali. Come già per la volta n. 1 la zona a momento positivo lungo i bordi denuncia una por-

Volta n. 6
 MOMENTO FLETTENTE TRASVERSALE IN MEZZERIA



Metodo della suddivisione
 Metodo analitico
 Metodo di trave
 Fig. 12.

tanza diretta a « trave fittizia » di tale zona.

Dal punto di vista del dimensionamento pratico il maggior lavoro di calcolo non giustifica però la presa in conto della « trave fittizia », in quanto gli scarti ottenuti fra il procedimento approssimato e quello esatto sono ancora accettabili: non si deve inoltre dimenticare che nella generalità dei casi una volta come quella in studio è calcolabile senza difficoltà col metodo analitico-differenziale.

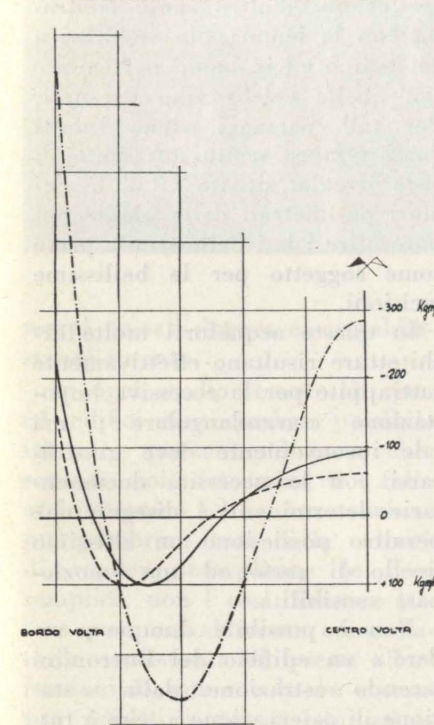
VOLTA N. 5

Tale struttura ha tutte le caratteristiche geometriche della precedente ma costituisce la volta centrale di una serie di volte continue trasversalmente; il calcolo è stato ancora condotto con la divisione in due semivolte. Si nota come i risultati ottenuti siano in ottimo accordo con quelli della teoria matematica; l'approssimazione è naturalmente maggiore

che per la volta n. 4, trattandosi di una volta vincolata lungo i bordi.

Nelle figure 11 e 12 sono riportati i momenti flettenti trasversali e le tensioni assiali in mezzzeria, calcolati con la teoria

Volta n. 5
 TENSIONI ASSIALI IN MEZZERIA



Metodo della suddivisione
 Metodo analitico
 Metodo di trave
 Fig. 13.

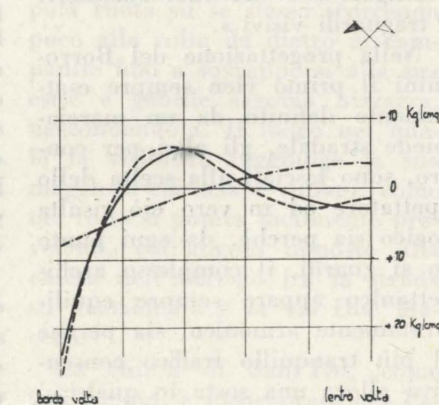
matematica, col metodo in esame e col metodo di trave « globale ». Si nota, a proposito dei risultati forniti da quest'ultimo procedimento che sono ancora abbastanza approssimati per quanto riguarda la flessione trasversale, mentre sono molto lontani dalla realtà nelle tensioni assiali; questo fatto è spiegato se si osserva che nelle volte continue trasversalmente e senza travi di bordo le reazioni di bordo (che rendono lo stato di sollecitazione più vicino a quello « di trave ») influiscono soltanto sulla flessione trasversale e non sullo stato di sollecitazione assiale, purchè si tratti di struttura simmetrica e simmetricamente caricata.

VOLTA N. 6

$l=8,00$ m
 $a=8,00$ m
 $e=8$ cm
 $r=16,00$ m
 $\varnothing=30^\circ$
 $\varphi_1=42^\circ 30'$
 $f=2,14$ m.

Si tratta di una volta continua trasversalmente con le stesse caratteristiche geometriche della volta n. 5, ma con luce minore, pari a 8 m; la volta è quindi ancora più « corta » delle volte 4 e 5. Trattandosi però di una volta vincolata ai bordi, il metodo in esame, pur con la divisione della volta reale in due soli elementi, fornisce risultati in ottimo accordo con quelli della teoria analitico-differenziale. I diagrammi del momento flettente e delle tensioni assiali calcolati con i due metodi sono riportati nelle figure 13 e 14 dove sono pure indicati i diagrammi calcolati con il metodo di trave « globale »; per la volta in esame, più corta della volta n. 5, anche i momenti trasversali calcolati con questo ultimo procedimento si discostano sensibilmente da quelli reali.

Volta n. 5
 TENSIONI ASSIALI IN MEZZERIA



Metodo della suddivisione
 Metodo analitico
 Metodo di trave
 Fig. 14.

I buoni risultati ottenuti col metodo in esame, dividendo la struttura reale in due soli elementi, per le volte n. 5 e soprat-

tutto per la volta n. 6, confermano quanto già accennato in un precedente lavoro [1], e cioè che i limiti di validità del metodo di trave « globale » sono tanto più estesi quanto più la volta è vincolata; infatti le voltine ideali (continue trasversalmente) ottenute dalla scomposizione delle volte n. 5 e 6 hanno un'apertura maggiore di quelle limiti riportate in [1] e valide per volte « realmente » isolate, e non tali solo ai fini del calcolo.

Carlo Emanuele Callari

Torino - Istituto di Scienza della Costruzione del Politecnico - Settembre 1962.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. E. CALLARI, *Criterio di classificazione dei vari tipi di volte cilindriche autoportanti e relativo calcolo pratico*, « Atti e Rassegna Tecnica », febbraio 1962.
- [2] C. E. CALLARI, *Sviluppo e controllo di un calcolo approssimato di volte sottili cilindriche*, « Giornale del Genio Civile », parte I (novembre 1959); parte II (marzo 1960); parte III (marzo 1961); parte IV (ottobre 1961).
- [3] J. BARETS, *Résultats d'essais et théorie de calcul des voûtes autoportantes rigides*, « A.I.T.B.T.P. », febbraio 1958.
- [4] C. E. CALLARI, *Méthode simplifiée de calcul des voiles minces cylindriques soumis à des charges non symétriques*, Congresso I.A.S.S., Bruxelles 1961.
- [5] G. S. RAMASWAMI, *Approximate analysis of cylindrical shells as folded plates*, Congresso I.A.S.S., Bruxelles 1961.
- [6] D. YITZHAKI, *The design of prismatic and cylindrical shell roofs*, North-Holland - Publ. Co., Amsterdam 1959.
- [7] A.S.C.E., *Design of Cylindrical Concrete Shell Roofs*, Manuale n. 31, New York 1952.
- [8] H. SIMPSON, *Design of Folded Plate Roofs*, Proc. of. A.S.C.E., gennaio 1958.
- [9] C. S. WHITNEY, *Reinforced Concrete Folded Plate Construction*, Proc. of. A.S.C.E., ottobre 1959.

La carrellata lunga del Borromini

ENRICO PELLEGRINI presenta una serie di fotografie dei complessi di Sant'Andrea delle Fratte e di Sant'Ivo alla Sapienza, eseguite lungo itinerari prestabiliti, mettendo in evidenza il mutevole, ma sempre valido, gioco dei rapporti architettonici.

Abbiamo tempo fa esaminato un celebre complesso borrominiano, San Carlino alle Quattro Fontane, inteso come una coreografia di tre architetture in moto: facciata, campanile angolare e lanterna della cupola. Ciò in relazione agli spostamenti dell'osservatore lungo due assi normali fra loro e obbligati, quali sono le Vie Venti Settembre e Quattro Fontane in Roma.

Poichè gli stabili sono fermi per loro natura e destinazione, mentre il viandante è mobile per sua definizione, appare logico che, nella relativa visibilità, i primi sembrino in movimento nei confronti del secondo, che, a tutti gli effetti, a parte la fatica fisica, si comporta come un reale spettatore.

Il fenomeno, che può sembrare singolare applicandolo ad architetture antiche, seppure barocche e per tale ragione eccezionalmente dinamiche, è del tutto naturale per noi che viaggiamo in treno oppure in automobile e, stando comodamente seduti, così da crederci fermi, vediamo scorrere sotto i nostri occhi il paesaggio col moto simile ad una semplice rotazione nel caso della ferrovia, quando la visione è laterale, e ad un duplice giro nella veduta frontale del guidatore dell'automobile. Questo accade perchè gli oggetti più vicini sfilano più rapidamente delle montagne all'orizzonte, che ad un osservatore superficiale per un breve tempo possono anche sembrare ferme.

Il pensiero di un reciproco spostamento intercorrente fra edificio e viandante, che in epoche precedenti non venne quasi mai applicato nel campo dell'architettura (si possono citare al riguardo il noto itinerario di avvicinamento al Partenone e i celebri traguardi visivi situati ai diversi accessi della Piazza San Marco a

Venezia), trova la sua intuitiva enunciazione al termine della rinascenza in non molti casi, ma sempre una precisa formulazione in quasi tutte le costruzioni progettate dal Borromini.

Questo Grandissimo al moto intimo delle sue architetture, nate più come statue astratte che come strumenti di necessità umana, unisce sempre una « possibilità coreografica » legata all'iter del passante. A noi sembra che il concetto sia inedito e che metta, più di ogni altro, in luce la originalissima personalità dell'artista, lasciando vasti, seppur difficili, campi di applicazione nella vita attuale, che è fatta di movimento sempre più accelerato. In effetti certi nostri edifici, sorti lungo le autostrade, dove la velocità è forte ed impossibile l'arresto, dovrebbero tener conto nel loro aspetto di tali particolari condizioni di rapida e multipla visibilità.

Ci pare anche molto interessante il concetto d'« itinerario obbligato » e dei suoi successivi « traguardi visivi ».

Nella progettazione del Borromini il primo vien sempre esattamente definito da un marciapiede stradale, gli altri per contro, sono lasciati alla scelta dello spettatore ed in vero ciò risulta logico sia perchè, da ogni punto lo si guardi, il complesso architettonico appare sempre equibratamente armonico, sia perchè il più tranquillo traffico consentiva allora una sosta in qualsiasi luogo la si volesse fare.

La imposizione di una visibilità obbligata, se ribadisce l'ammonimento che già ci fu rivolto da altre architetture barocche, fra le quali anche lo stesso borrominiano Oratorio dei Filippini nella formazione di una delle principali arterie della Roma ottocentesca, che uscirono visivamente

sfasciate dagli imprudenti allargamenti delle strade sulle quali prospettavano, d'altro canto contrasta con la iconografia vedutistica del tempo ed in modo particolare con quella celebre del Piranesi. Per tali paesaggi viene infatti quasi sempre scelto un punto di vista irreali, situato al di là dei muri perimetrali delle piazze oppure oltre i lati delle strade prese come soggetto per le bellissime incisioni.

In queste acqueforti molte architetture risultano effettivamente rattrappite per la eccessiva impostazione « grandangolare »; ma tale inconveniente deve giustificarsi con le necessità documentarie determinanti i disegni, che peraltro possiedono un altissimo livello di gusto ed una emozionata sensibilità.

Non è possibile dunque « vedere » un edificio del Borromini facendo astrazione dalla « stazione di osservazione », che è tuttavia sempre la più immediata, come s'è detto, e si trova immancabilmente sul marciapiede opposto al fabbricato all'altezza dell'occhio umano. Nelle fotografie del Palazzo della Propaganda Fide, sopra riprodotte, appare evidente il dinamismo delle cornici « viste dal basso » e « non visibili altrimenti » nello scorrere del viandante lungo l'asse del suo movimento.

Lo sciogliersi ed il riannodarsi dei ritmi di queste sagome, che si torcono visivamente come corpi di serpenti saettando improvvisi e lucide punte, è ammirevole. Esso è reso solo palese all'osservazione che parte dal breve spazio di una striscia alta una trentina di centimetri ed elevata da terra circa un metro e mezzo, che corre di fronte al fabbricato a distanza di poco più di cinque metri.

Si tratta dunque di un traguardo stretto e preciso, obbligatissimo da un traffico che qui pur nei



tempi passati doveva essere abbastanza intenso.

In ogni studio sensato di questi edifici non sembra possibile ignorare questa condizione, che, secondo noi, determina il « fatto architettonico ». La osservazione può sembrare nata dalla volontà di rendere complicate le cose semplici: non è così. Ciascun lettore può comodamente controllare la consistenza di queste affermazioni in una sua breve e sempre istruttiva passeggiata attraverso il centro di Roma.

Se il gioco architettonico in questo caso risulta così serrato nel tempo e nello spazio, esaurendosi esso nel breve percorso di una cinquantina di metri, non altrettanto può dirsi per la Chiesa di Sant'Andrea delle Fratte nella quale l'opera del Borromini si è limitata tuttavia alla costruzione del campanile, leggero e prezioso, e nella definizione del volume occupato dalla cupola ad esso retrostante.

Anche qui, come in San Carlino, tale importante elemento architettonico vien celato alla vista e, come in Sant'Ivo alla Sapienza, racchiuso in una forma cilindrica assai movimentata.

In San Carlino gli attori erano tre: lanterna, campanile e facciata; qui sono ridotti in numero perchè la facciata, dignitosa e fredda, appartiene al discorso neoclassico e ad un'altra « area visiva ».

La strada però, si tratta di via Capo le Case, larga e in rapida discesa, si presta assai meglio della stretta via Venti Settembre e dei due rami della via Quattro Fontane, entrambi in forte salita, alla « carrellata lunga » che deve aver sollecitato la fantasia del nostro Grande, rendendolo architettonicamente felice. Ancora oggi possiamo ammirare questi elementi plastici in reciproco continuo moto percorrendo l'itinerario propostoci.

Com'è facile constatare, spostando lo sguardo da una immagine all'altra, il volume della cupola ruota su se stesso scorrendo poco alla volta da dietro al campanile fino a sovrapporsi alla sua esile e gentile sagoma bizzarra, nascondendola. Il luogo nel quale la visibilità raggiunge la sua maggiore efficacia è situato, come del resto si poteva facilmente prevedere, sull'angolo opposto alla chiesa nell'incrocio fra la strada su menzionata e la via Due Macelli.

La chiesa di Sant'Ivo, come tutti sanno, è incorporata nel Palazzo della Sapienza e si affaccia inaspettatamente nel suo cortile e, ancor più di sorpresa, appare a chi attraversa la retrostante piazza di Sant'Eustachio.

Che la visibilità legata alla prima situazione sia la più importante, appare indubitato: qui siamo lontani dalle due direttrici ortogonali fra loro, che abbiamo

notato prestabilire nella via Venti Settembre e nella via Quattro Fontane per la chiesa di San Carlino, e da quelle uniche, ma laterali, adottate tanto per il palazzo di Propaganda Fide che per la chiesa di S. Andrea delle Fratte.

La centralità del percorso si riflette sulla struttura dell'edificio, che è rigorosamente simmetrico e quindi impostato su di un concetto opposto a quello determinante le due chiese prima citate, le quali avvalorano con una dinamica asimmetria i punti di vista laterali dai quali vengono necessariamente guardate.

Tutti sanno che il Borromini trovò l'edera a conclusione del cortile già prestabilita e, con una abile serie di passaggi, inserì nell'area assegnatagli un vano con sei lobi, che erroneamente, anche se qualche studio preliminare sembra indicarlo, si vuol assimilare ad uno schema formato da due triangoli equilateri intrecciati.

In una pianta di tipo centrale, ripartita in sei spicchi uguali tre a tre, è lecito inserire moltissime figure assai diverse fra loro, ma che, tutte, rispondano all'impostazione esaminata. A nostro modo di vedere, tuttavia, deve essere considerato effettivamente importante solo ciò che appare agli occhi di chi entra proprio nello spazio contenuto dall'architettura. Orbene, nessuno può leggere nel vano della chiesa, nè a prima vi-

sta, nè con uno studio più attento, l'intreccio planimetrico di una stella a sei punte.

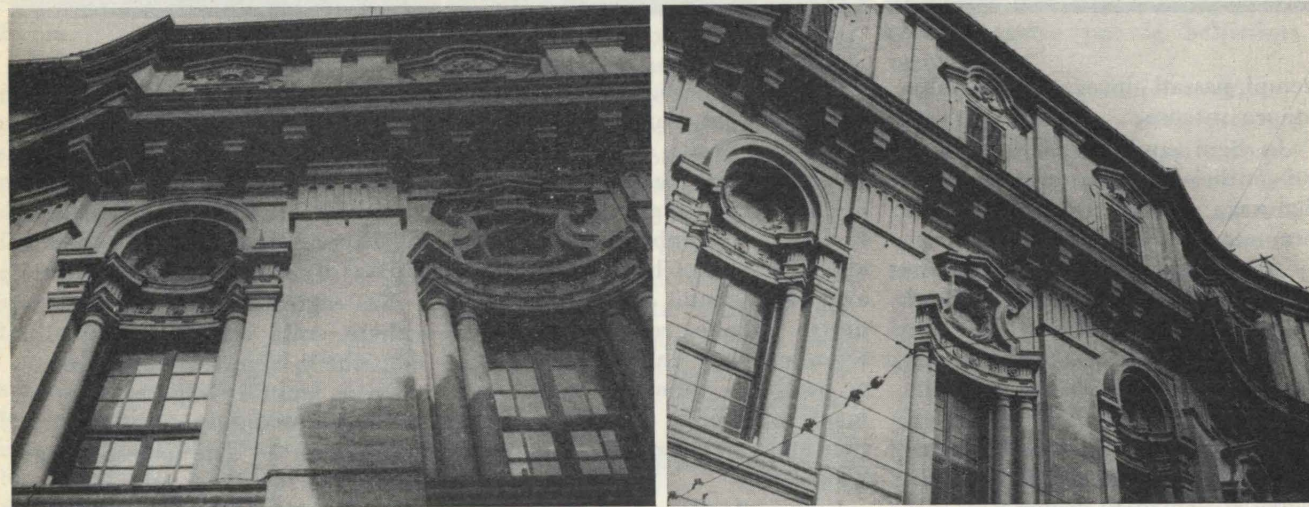
La ricerca di complesse strutture schematiche nella pianta degli edifici, ossature che risultano poi incomprensibili a chi si accosta all'edificio, ci è sempre sembrata faticosa interessante, ma spesso ritenuta più importante di quanto non lo sia in realtà. Così la vicina chiesa di Sant'Agnes in Agone, che, secondo i teorici, riposerebbe anch'essa su geometrie stellari appoggiate al pavimento, nella sua presentazione visiva al

tescono la serena contemplazione della mirabile e studiattissima chiesa di Sant'Ivo. Secondo noi, se è indispensabile seguire la genesi grafica di questi importanti monumenti essenzialmente plastici, appunto, per la loro particolare impostazione, deve essere data la preminenza ai problemi ottici affrontati e risolti già in progetto con un geometrismo legato alla prospettiva da una parte e all'esperienza pratica dall'altra.

Se si sostiene che tanto la cupola quanto la cuspide ardita di questo edificio siano nate sulla

Ci troviamo dunque ancora e sempre di fronte ad un fatto visivo, anche se predisposto con una certa precisione in sede di progetto; ma solo visivo agli effetti pratici perchè un'architettura allo stato di disegno è come una musica non suonata, lo sappiamo, e, quando vien realizzata, stabilisce un rapporto ottico, e solo quello, con l'osservatore.

Un'altra affermazione possiamo azzardare, penetrando nell'area emotiva dell'edificio, che, contrariamente a quanto è stato più volte e da diverse parti affermato,



fedele o al visitatore nulla lascia trapelare della elaborata codificazione della sua pianta.

Costruzioni assai più semplici, come la chiesa della Trinità degli Spagnoli, nella via dei Condotti, riescono a malapena a rivelare il loro spazio ellittico non certo guardando il pavimento, ma solamente se si solleva l'occhio alla cupola, là dove, restringendosi, s'innesta la lanterna.

Siamo stati condotti a presentare queste osservazioni non certo dal desiderio di diminuire il valore di studi, che noi stessi riteniamo molto importanti, ma dal fatto che molto spesso, esaminando i grafici di rilievo si è portati a stabilire delle coerenze geometriche che la realtà non riesce poi a comprovare. Si viene con ciò a creare un eccessivo numero d'infrastrutture teoriche che appesantiscono

carta come un cristallo e siano frutto di un puro pensiero, si pecca, secondo noi, almeno di ingenuità nei confronti del Borromini perchè solamente le infinite anomalie, che rendono così difficile imprigionare le slanciate forme in rigorose costruzioni geometriche, dimostrano che esse sono frutto di un sensibile e appassionato mestiere e non di una preconstituita struttura teorica.

Guardando Sant'Ivo alla Sapienza ci troviamo, come del resto abbiamo anche osservato per il campanile di Sant'Andrea delle Fratte, di fronte ad una grandiosa statua astratta, progettata su carta ed eseguita da altre mani sotto la stretta sorveglianza dell'autore, il quale durante l'esecuzione dei lavori ha ancora probabilmente apportato alcune necessarie correzioni ottiche.

agli effetti strutturali apparenti, cioè stando a quello che l'architettura intende lasciar vedere di se stessa, non esiste coerenza tra interno ed esterno della costruzione.

Ciò risulta abbastanza strano perchè, all'esame dei grafici, ogni volume interno sembrerebbe riflettersi fuori ed il progetto sembra nascere dalla pianta. Se prendiamo infatti la straordinaria lanterna, che rappresenta la felicissima conclusione della volumetria esterna, osserviamo che essa visivamente si perde in un foro oscuro ed angusto all'interno e, se si comporta come l'ombelico della cupola, assume un significato completamente diverso ed opposto a quel che si poteva supporre osservando la facciata.

La cupola stessa, che all'interno s'innerva nelle anse della

pianta, opponendo, con ritmo caro al Borromini e ricorrente nelle sue opere, superfici concave ad altre convesse con un elegantissimo e drammatico moto, venne racchiusa all'esterno in un tamburo, pure a sei lobi. Esso tuttavia si legge solo come un volume cilindrico, sebbene movimentato, atto a sostenere la straordinaria cuspide centrale. Infatti, sia nella visione diretta che all'esame delle fotografie riprodotte, la sensazione di una planimetria a forma di una margherita esalobata non risulta evidente.

Le fotografie della chiesa di Sant'Ivo alla Sapienza, qui riprodotte, furono prese lungo un percorso rettilineo, « di gala », perchè l'itinerario di tutti i giorni scorreva evidentemente sotto il porticato del cortile. Esse sono state scattate partendo dall'esterno del palazzo e guardando verso l'interno. Da quel punto di vista l'elica scultorea resta ancora coperta. Per la seconda si fece stazione nel centro del porticato, fatti pochi passi dalla precedente sosta, ed allora l'elemento di sorpresa appare all'improvviso in tutta la sua importanza; la suc-

sorbita dalle curve dei volumi inferiori fino a sparire del tutto.

La prima fotografia di questo complesso, presa appunto dal piede esterno della scalinata di accesso al palazzo, riflette la visione di chi entra: il cornicione della lontana esedra parte otticamente dai vicinissimi capitelli del porticato e il limite superiore dell'arcata, a sua volta, è tangente alla parte più alta del corpo cilindrico nella mezzeria del tamburo. Si tratta dunque di un traguardo ottico rigorosamente calibrato che nasce certamente non da una casualità, ma attraverso un'accorta messa a punto del progetto in relazione ai fasci visivi che si possono proiettare da un determinato luogo singolarmente importante e di obbligata sosta: l'ingresso del palazzo.

La seconda immagine, eseguita, come s'è detto, dalla metà del porticato, ferma lo sguardo sulla chiesa da un altro punto obbligato ed importante, da dove cioè si svolta per proseguire al coperto rinunciando al seguito della coreografia architettonica. Questa è la stazione dalla quale si gode, come era logico pensare, la ve-

vuol continuare il suo cammino al riparo del porticato.

Il cornicione dell'esedra sopporta visivamente il piede delle lesene di separazione fra lobo e lobo del tamburo; le due stelle, che adornano le sculture gentilizie ai lati risultano tangenti ai lobi laterali nella loro mezzeria chiudendo esattamente il volume cilindrico del tamburo con un'altra serie di ricorsi architettonici.

Come si può notare, la scelta dei luoghi di stazione per l'apparecchio fotografico s'identifica con il più immediato e logico pensiero dell'architetto; esaminando queste due prime immagini viene agevole ed evidente la prova che almeno da questi due punti obbligati venne esercitato un controllo prospettico ancor prima che fosse iniziata la costruzione perchè l'architettura dell'edificio tiene certamente conto di tali visibilità obbligate. Si trattava comunque, e non si vede come potesse avvenire altrimenti, della proiezione delle principali direttrici visive su di una sezione longitudinale passata probabilmente attraverso l'asse del simmetrico fabbricato.



cessiva ad un terzo del cortile e le altre, via via, da distanze sempre minori rispetto alle precedenti.

È agevole constatare come la cuspide, col progredire verso la chiesa, venga poco alla volta as-

sumpta più completa del fondale. Anche qui il ragionamento ottico vien impostato con rigore: effetto a sorpresa e presentazione della chiesa in tutta la sua grandiosità a beneficio dell'osservatore che

Nella veduta da un terzo del cortile, il controllo affermato per le precedenti situazioni sfugge, secondo noi, dalla scelta di altri punti obbligati sfumandosi, anche qui, nel continuo divenire

della « carrellata lunga », ricorrendo prima. È pur vero che ricorrono numerose ed importanti coerenze geometriche ed architettoniche, che vedremo, ma, non essendovi più reali traguardi visivi, esse hanno una sequenza meno impegnativa e serrata.

I rapporti fra le diverse parti della chiesa, già identificati prima, si mantengono stranamente pressochè inalterati per tutto lo spazio antistante al monumento; il cornicione del tamburo ha però già completamente assorbito la

la costruzione se si fosse realmente partiti con un ben definito programma nella successione degli equilibri ottici; però appare evidente che appunto in quel sito le tangenze descritte hanno luogo e, spostandoci, esse si trasformano in altre che, a lor volta, si concludono ai due terzi del percorso della nostra « carrellata ».

Se vien ammesso il criterio di pura visibilità nella composizione della chiesa di Sant'Ivo, e tale fatto sembra indubitabile per il carattere astratto, essenzialmente

contenute visivamente nello spazio delimitato dalle due lesene centrali dello stesso.

Anche questa ricorrenza, che si può facilmente controllare, nasce evidentemente per ragioni puramente ottiche. Sembra strano dover insistere tanto su questo argomento, però è bene ricordare che, sia i valori della luce che il gioco degli equilibri spaziali, rappresentavano in quel momento la scoperta, la novità e la preoccupazione nel campo pittorico.

La continuità nel campo delle

gnò alla lanterna. Il suo cornicione convesso risulta visivamente tangente alla linea dell'abaco, che si prolunga sulla concava trabeazione, avvicinando, secondo una abitudine, che abbiamo detta cara al Borromini, curve opposte, rese in tal modo assai più elastiche e scattanti.

Avremmo potuto arrampicarci sul fabbricato e prendere fotograficamente scorci architettonici assai più arditi come, del resto, si vedono riprodotti in numerose pubblicazioni; tuttavia abbiamo preferito pedestremente percorrere il nostro iter di avvicinamento, senza lasciarci distrarre da lusinghe fotogeniche, persuasi che la corretta visibilità dell'edificio, secondo le intenzioni dell'autore, potesse verificarsi soltanto per quella via e, in linea subordinata, dal loggiato superiore, del quale tuttavia non ci occupiamo. L'occasione ci conduce anche ad osservare che la tendenza attuale, la quale porta a valorizzare i particolari sia delle grandi tele che delle architetture a scapito di una loro visione complessiva, se mette in evidenza dettagli vivissimi approfondendo lodevolmente lo studio dell'opera, tende a deviare l'attenzione dell'osservatore dall'insieme del dipinto o dell'edificio ai suoi particolari che, ovviamente hanno una importantissima funzione complementare e, se isolabili, rappresentano il più delle volte un « divertimento » dell'artista, che « racconta » qualcosa per concludere uno spazio

impossibile da lasciar vuoto. Nella sesta veduta si è così prossimi al fabbricato che la cuspide e con essa naturalmente anche la lanterna, sono completamente spariti. Diventa in questo caso efficiente il ragionamento sui dettagli, sopra esposto. Non è dunque possibile una visione complessiva del monumento, molte sue parti essenziali sono anche scomparse, alcuni particolari compositivi, come i due gruppi plastici gentilizi ai lati dell'edera e le stelle ad otto punte nel frontone, diventano inefficaci. Altri elementi sono stati qui predisposti per una veduta ravvicinata; entra dunque in gioco ora la loro presenza nella precisa funzione per la quale erano stati creati.

Si tratta di una innumerevole serie di teste di cherubini, disposte lungo tutto il cornicione del tamburo, che da lontano sembrano esattamente a un fregio di ovuli, di un « agnus dei » scolpito nello sguancio della finestra centrale del tamburo in posizione così inclinata che solo ora si presenta con una buona visibilità a chi alza gli occhi, di una serie di mascheroni di diverse dimensioni, scolpiti in modo un po' fiabesco i più piccoli sulle lesene isolate ed i più grandi a raccordo di quelle doppie.

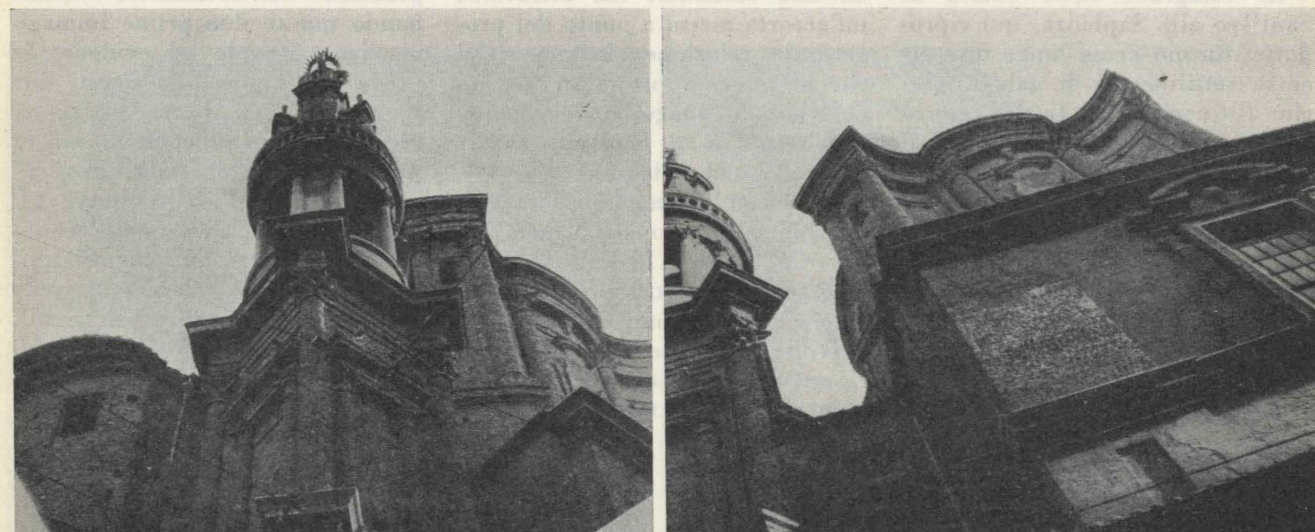
Il nostro viaggio di avvicinamento alla chiesa di Sant'Ivo alla Sapienza, più lungo in verità da descrivere che da compiere, è così terminato; non resta che da entrare nell'edificio dalla porta

principale (cosa oggi pressochè irrealizzabile) e godere della « sorpresa » accuratamente preparataci dal Borromini con la visione interna della cupola elegantissima, che prima aveva gelosamente nascosto alla vista racchiudendola esternamente nel tamburo cilindrico di cui abbiamo già parlato a lungo.

I problemi ottici, che abbiamo cercato d'individuare e di analizzare, furono impostati e risolti dal Borromini in « sede di progetto » con una cura così minuziosa che poteva solo venir applicata ad edifici da realizzare singolarmente, cioè considerando ciascuno di essi come « un momento conclusivo del proprio essere », e attraverso gli anni praticando successivi controlli durante i lavori e adottando di conseguenza eventuali modifiche o rielaborazioni.

Questo complicato procedimento compositivo sembrerebbe riservato al singolo artista, quale frutto della sua distillata personalità: invece, a nostro modo di vedere, esso rappresentava il risultato di un civilissimo costume fatto di mutuo rispetto e di collaborazione.

È nota la leggendaria rivalità fra il Bernini e il Borromini, che diede luogo a tanti coloriti aneddoti. Proprio nella vicina piazza Navona i due Grandi lavorano a contatto e quasi contemporaneamente, uno alla fontana dei Fiumi e l'altro alla chiesa, già ricordata, di Sant'Andrea in Agone. Ebbene, in quel complesso si ri-



gradinata di sostegno alla lanterna e l'occhio lo vede tangente a tale corpo fortemente chiaroscurato. In più, la balaustra superiore della gradinata e la base attica sotto alla finestra della lanterna, una convessa l'altra concava, risultano tangenti fra loro. Le quattro facce in pietra situate alla sommità di questo elemento architettonico sono tutte tangenti al contorno dell'elica nella cuspide.

Queste ricorrenze sono effettivamente meno importanti, ma sufficienti a giustificare la scelta di un punto, già di per se stesso planimetricamente notevole, quale luogo di stazione dell'apparecchio fotografico. Non possiamo stabilire con certezza, lo ripetiamo, che il Borromini abbia esercitato ivi un controllo visivo sull'architettura, che avrebbe, tra l'altro, fortemente condizionato l'altezza dei diversi elementi del-

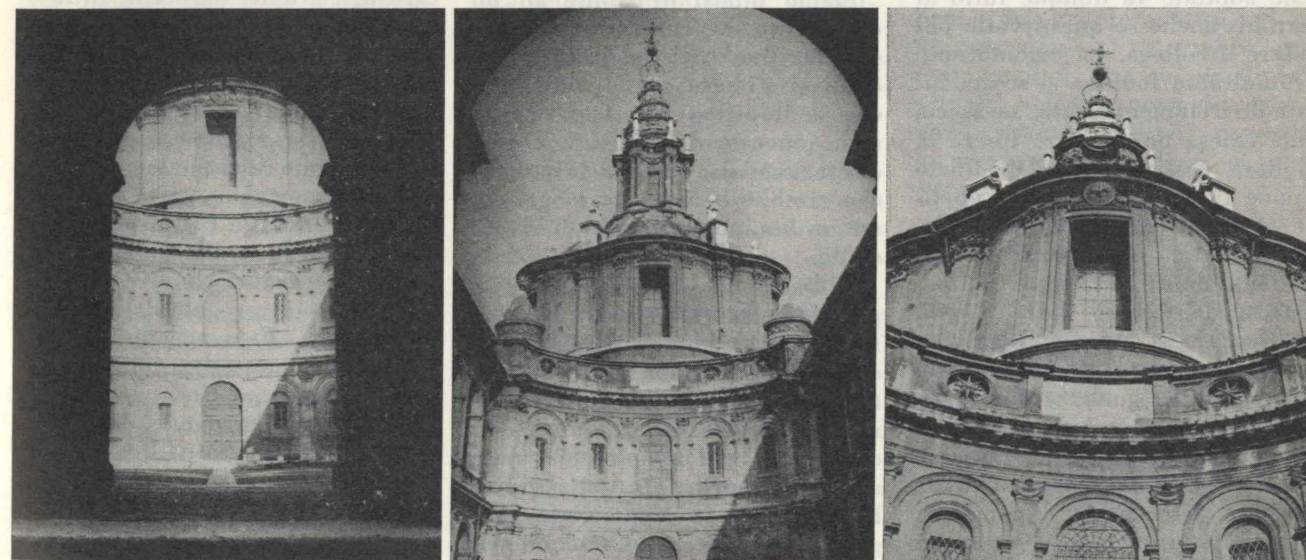
plastico e scevro da ogni scopo pratico della costruzione, si deve anche accettare una riprova visiva del progetto per controllarne l'efficacia. La deduzione più facile ed immediata fa appunto cadere il luogo di tali controlli a distanze suddivise in terzi dello spazio antistante la facciata.

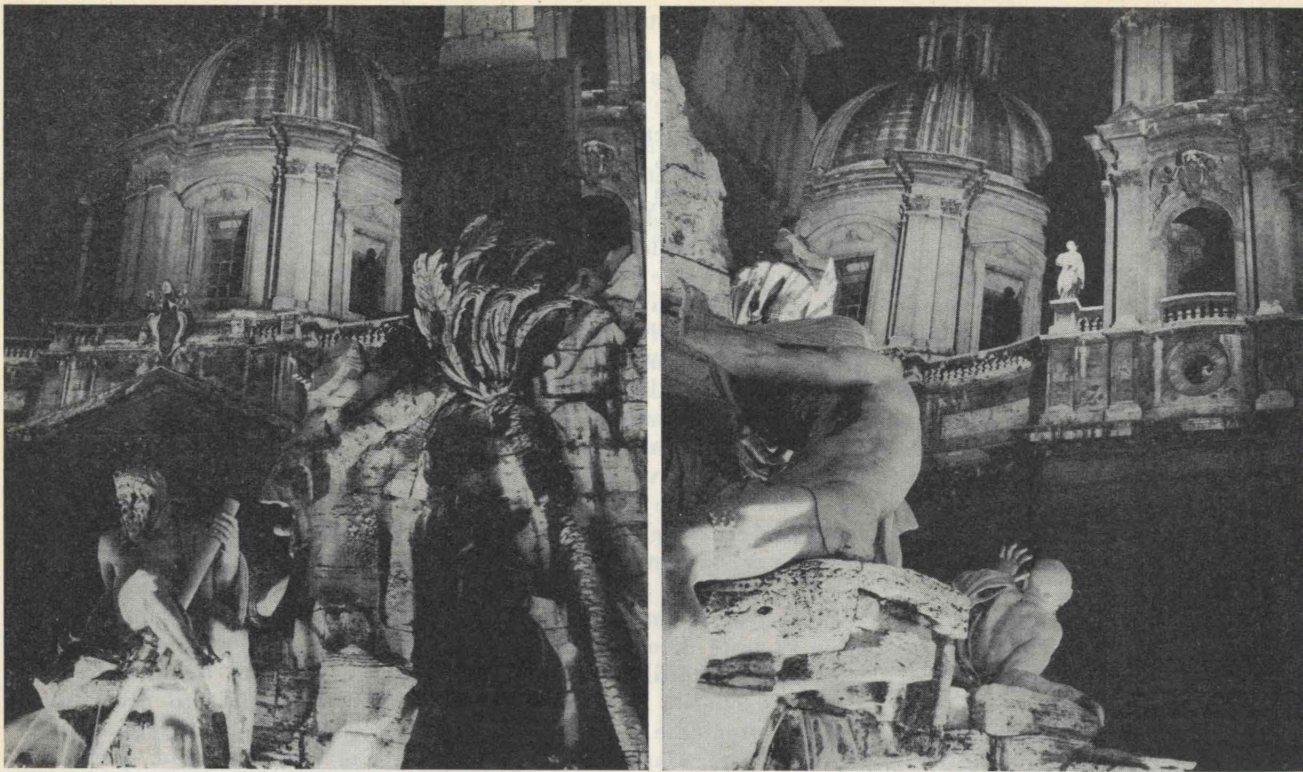
La quarta veduta da un punto ancor più prossimo all'edificio ci porta ad osservare, restando le coerenze esaminate in precedenza pressochè inalterate, una ulteriore contrazione della cuspide, la cui elica a molla si comprime sempre più.

La balaustra della lanterna e la base attica sono assorbite dal volume del tamburo, che da ora in avanti si gonfierà sensibilmente alla vista sporgendo sempre di più. Le colonne della lanterna appoggeranno dunque su tale elemento architettonico e saranno

arti e della cultura, che in quel tempo portava il Bernini ad essere contemporaneamente architetto, pittore e scultore, non poteva lasciare indifferente il Borromini ai problemi dei colleghi e rivali ed infatti lo vediamo sensibilissimo ai giochi della luce sulle sue architetture in movimento, le quali ad un certo punto si sciolgono in unico lampeggiamento. Lo troviamo anche preoccupato a preordinare gli spazi da costruire stabilendo delle ricorrenze visive così come Michelangelo Merisi da Caravaggio strutturava otticamente le sue tele fino a farle diventare delle vere architetture astratte e viventi.

La quinta veduta ci porta ancor più vicini alla chiesa: il tamburo esalobato, del quale tuttavia prende importanza solo il corpo centrale, ha inghiottito anche il fusto delle colonne di soste-





scontra il più assoluto rispetto architettonico reciproco e una vasta, intelligente collaborazione paesistica. La consuetudine a porre e a risolvere delicati problemi visivi deve aver certo influito sulla disposizione planimetrica dei due monumenti che, secondo noi, non può attribuirsi solo al caso o ad un piatto geometrismo.

Sappiamo esattamente che la chiesa non poteva, per ragioni relative alla disponibilità dell'area, trovare una posizione diversa; il merito delle sciolte soluzioni ottiche adottate va dunque tutto al Bernini, anche se questi volle poi beffare il collega. La ingombrante e tumultuosa fontana si scosta infatti discretamente dalla mezzeria della chiesa per lasciare libera la migliore visibilità di tale edificio e pone il suo fulcro, cioè l'obelisco, di fronte al campanile di destra. Questo disassamento non si deve attribuire alla ricerca geometrica del centro della piazza, che l'occhio in sito comunque non legge, perchè molto più evidente è l'anomalia segnalata testè.

Se tentiamo le varie entrate nel vano dell'antico stadio notiamo che solo da quella corrispondente alla così detta Corsia Agonale si ha una vista sulla chiesa, in un

dinamico scorcio reso ancor più emozionante dal contrapporsi delle curve concave e convesse e dall'accorta disposizione dei campanili, messi assai più avanti rispetto alla facciata.

Proprio da quell'ingresso la fontana riprende la sua posizione di centralità rispetto alla chiesa completandola con la sua massa, non più soverchiante, data la distanza dell'osservatore, e ristabilendo l'equilibrio simmetrico che la stessa struttura della facciata borrominiana richiedeva.

Siamo infatti di fronte ad un capolavoro di collaborazione visiva fra due Artisti, ciascuno dei quali si stimava grandissimo, anche se il primo era stato in vita meno onorato dell'altro, e di una discrezione da parte del secondo che sarebbe bene portare oggi come un luminoso esempio di vivere civile.

Abbiamo passato in rassegna le più importanti architetture del Borromini traendo la sensazione che per la maggior parte di esse (possiamo soltanto escludere l'Oratorio dei Filippini e questa chiesa di Sant'Agnesa) sia stato adottato il principio della visibilità secondo la « carrellata lunga ». Tale concetto, che condizio-

na fortemente l'idea compositiva dell'edificio, non si ritrova in altri architetti contemporanei, nemmeno nel grandissimo Bernini, che guardava l'opera del rivale sempre con giustificata apprensione. Ciò avviene sia negli edifici di normali dimensioni, come in Sant'Andrea al Quirinale, sia in quelli vastissimi, come il colonnato di San Pietro, nel quale, tuttavia, fu necessario adottare altri e importanti accorgimenti ottici.

Il principio della visibilità, così caro agli artefici barocchi, in nessun altro caso, sebbene fosse stato applicato su vasta scala e anche per soluzioni architettoniche minime a Roma, in Italia e fuori, raggiunse le raffinate perfezioni, che abbiamo esaminato, limitandosi, nella maggior parte dei casi, al controllo dalle fughe prospettiche reciproche e alla creazione di tagli scenografici improvvisi secondo le nuove regole della tecnica teatrale. Esso si annullò del tutto nella successiva impostazione neoclassica, che, anch'essa, prediligeva gl'impianti architettonici a carattere prospettico, orientandoli però verso un'assoluta simmetria e frontalità.

Enrico Pellegrini

P R O B L E M I

Su alcuni aspetti dell'impiego dell'aria compressa

RENATO GRIGNOLIO pone in linea generale a confronto l'impiego dell'aria compressa e della energia elettrica nel trasporto a distanza di energia, con particolare riguardo ai cantieri di sottosuolo.

E certo che la attuale tecnica della trasmissione di energia a mezzo dell'aria compressa ha raggiunto un soddisfacente livello; anche se praticamente non molto dissimile da quanto già realizzato vari decenni or sono.

Il veterano 2+2 Diatto perforò egregiamente le gallerie del Pabusio e del fronte Austro-Ungarico, ed ancora lo ritrovammo, a fianco di qualche meno antico Ingersoll-Rand, nelle opere in roccia del fronte Tunisino, di Solum e di Bardia; i moderni unitariamente potenti compressori presentano in sostanza perfezionamenti di carattere strettamente meccanico rispetto ai macchinari che realizzarono i grandi trafori alpini.

In molte speciali applicazioni di delicata tecnica gli impieghi dell'aria compressa si sono rivelati utilissimi ed atti a risolvere, talvolta in modo prezioso anche se non del tutto intuitivo, difficili problemi.

Ma nei riguardi dell'impiego di questo mezzo nel trasporto, a distanze spesso rilevanti, di massicce quantità di energia mi sia lecita qualche sommessa considerazione.

Già nel lontano 1935 doveti dare un duro giudizio negativo nei riguardi di attrezzature pneumatiche, al di fuori dai normali martelli perforatori (si trattava di macchine utensili portatili per varie lavorazioni), confrontate con analoghe, e neppure del tutto soddisfacenti, attrezzature alimentate da gruppo elettrogeno. Giudizio che probabilmente concordò con altri più autorevoli, dato che nel lungo successivo periodo operativo non incontrai mai più apparecchiature di quel tipo.

Effettivamente, ed in modo tradizionale, l'impiego dell'aria compressa quale agente atto ad imma-

gazzinare, trasportare e restituire energia meccanica è sancito da alcuni elementi fondamentali che giustamente devono essere presi in considerazione.

Sta anzitutto il fatto che il parziale scarico di aria, a pressione residua superiore a quella ambiente, attraverso al foro del fioretto della macchina perforatrice consente una efficace pulizia del foro da mina con la asportazione dei detriti di roccia prodotti dalla percussione a secco. Sta però anche il fatto che generazioni di operai vennero colpite da silicosi in esito alla respirazione dei minutissimi detriti potentemente soffiati e sospesi nell'aria dello stretto fronte di avanzamento; portando alla unica possibile conclusione secondo cui era necessario immettere nel foro opportuni liquidi atti a fissare, anche con formazione di schiume, la minutissima polvere altamente aggressiva dei tessuti polmonari.

Già circa cento anni or sono perforatrici idrauliche ottenevano ottimamente lo sgombero dei detriti dal foro da mina con il lavaggio con acqua.

La sempre incumbente, specialmente nel nostro Paese, minaccia di trasudamenti di metano nei cantieri di sottosuolo, fornisce una severa ragione di preferenza nell'impiego dell'aria compressa contro l'impiego della energia elettrica. Di ciò converrà però trattare più dettagliatamente. Osservando per intanto che nelle pur elettivamente pericolose miniere di carbone di molte Nazioni europee l'attrezzatura di coltivazione è, in modo predominante, elettrica.

Argomento spesso proposto a favore dell'impiego dell'aria compressa è quello secondo cui il flusso d'aria scaricato dagli apparecchi utilizzatori fornisce una efficace ventilazione del fronte di

avanzamento. Anche questo argomento merita di essere approfondito.

Altre minori questioni meccaniche possono avere un certo peso; ad esempio la facilità con cui, per mezzo di un fluido compresso, può essere regolata ed elasticamente mantenuta una pressione sull'utensile o su di un dispositivo di avanzamento. Ma anche sotto questo punto di vista non sembra fuori di luogo il rilevare che alcune, non del resto recenti, macchine elettriche, avvolte secondo schema metadinamo, godono della pregevole caratteristica di poter fornire, anche da fermo, una determinata coppia e di poter resistere ed anche cedere sul tiro a sforzo costante (proprietà non facilmente ottenibile con il comunemente diffuso e noto motore asincrono la cui caratteristica meccanica, per indotto chiuso, ha l'andamento di una iperbole equilatera). La stessa variazione continua di velocità è d'altra parte ottenibile, con determinati motori ed apparecchiature elettriche, in modo più semplice ed esatto che non con motori ad aria compressa.

Vedemmo, nei passati decenni, a bordo delle navi con apparati motori tradizionali a vapore, i vari servizi ausiliari (dai servocomandi del timone agli argani dei paranchi e delle ancore) evolversi verso il comando elettrico in sostituzione della energia motrice ottenibile dal pur ampiamente disponibile vapore acqueo; l'impiego del quale, oltre che alla propulsione, venne limitato all'azionamento dei gruppi elettrogeni di sala macchine. Non sembra, per molte ragioni, che ciò sia dovuto soltanto ad una normalizzazione degli impianti ausiliari suggerita dal crescente estendersi di altri sistemi di propulsione.

Non è forse errato il considerare che, essendo molte applicazioni dell'aria compressa sorte e successivamente sviluppatesi quando l'elettrotecnica era ai primissimi incerti passi non scevri da insuccessi, nel mentre che il rapido sviluppo delle ferrovie portava ad un livello oggi non molto superato la tecnica dei cantieri di sottosuolo e dei grandi trafori, l'aria compressa abbia a quel tempo

conquistato senza seria lotta posizioni che oggi tradizionalmente mantiene. Posizioni altresì efficacemente difese.

Ricordo per esempio le dure difficoltà che incontrai per tempestivamente reperire perforatori elettrici (ben più silenziosi che non il grossolano perforatore pneumatico, rumoroso e legato al suo compressore) destinati alla esecuzione notturna di lavori di mina sotto l'agguerritissimo tiro di un fronte egregiamente organizzato. Dalle centrali di tiro, in pochi istanti, per semplice intersezione di iperbolici, veniva localizzata la sorgente del suono nella gran piana buia e silenziosa; ed automaticamente, durante qualche breve minuto, si concentrava sull'opera, con sconcertante precisione, un conclusivo tiro di distruzione.

Due gravi elementi stanno contro la razionalità dell'impiego dell'aria compressa come fluido atto al trasporto di energia; e cioè il veramente modesto rendimento meccanico globale e la scarsa elasticità della linea di trasporto, sempre necessariamente rigida e macchinosa.

Non è altresì trascurabile l'onere di manutenzione dei motori ad aria compressa, qualunque ne sia il tipo; i quali sono sempre più complessi e delicati che non macchine elettriche di moderno tipo chiuso.

Altri due elementi starebbero invece a favore dell'aria compressa e cioè: la possibilità di sviluppare con mezzi semplici forze relativamente grandi (cosa però ottenibile anche con il semplice sistema di pompa e di pressione idraulica) ed una certa facilità, nei confronti di quanto offerto dalla energia elettrica, di realizzare ove necessario, con semplici schemi di rimbalzo elastico, il rapido moto alternativo di masse non trascurabili. Sotto questo aspetto, però, si deve sottolineare che la tecnica dell'impiego della energia elettrica non ha avuto molte ragioni di perfezionarsi; e vediamo del resto vibratorii per calcestruzzo che soddisfacentemente funzionano con energia meccanica (albero flessibile) o direttamente alimentati da energia elettrica.

Il rendimento meccanico, misurate le potenze agli assi del compressore e del motore ad aria compressa, in buone e normali condizioni di impianto e di lavoro, risulta in pratica sensibilmente prossimo a 0,20. Il che, a parte l'esigenza delle apparecchiature di trasformazione dell'energia (motore-compressore-motore), significa altresì l'esigenza di dimensionare tali apparecchiature in modo massiccio. E significa ancora un consumo di energia cinque volte maggiore di quella nominalmente resa alle macchine utilizzatrici. Il che incide già sensibilmente sui costi ove esista la disponibilità di energia elettrica di linea; ma diviene molto grave, sia per onere di gestione che per costo di impianti, quando si debba ricorrere a produzione sul posto di energia meccanica con motori termici.

Cento Kwh resi all'asse delle macchine utilizzatrici considerano mediamente un afflusso di circa 6.000 mc di aria (pressione normale) ed un consumo di 500 Kwh all'asse del compressore.

Lo stesso risultato (100 Kwh resi alle macchine operatrici e 6.000 mc di aria di ventilazione fornita sul fronte di avanzamento), con macchine comandate da motori elettrici ed in condizioni severe per sviluppo e per esigenze di limitato ingombro dei condotti di aria, può al massimo richiedere un dispendio di 125 Kwh. A parità di risultato l'onere relativo all'energia si riduce in tal caso ad un quarto rispetto a quanto sopra indicato.

(Incidentalmente: non ho mai compreso perchè, con una certa frequenza, nelle lunghe condotte di aria di ventilazione si usi installare ventilatori intermedi sulla condotta destinata a fornire aria soltanto alla estremità. È chiaro che, rispetto alla soluzione considerante un unico ventilatore (o gruppo di ventilatori) all'imbocco, il consumo di energia con detta disposizione risulta alquanto maggiore ed è altresì maggiore la complessità e l'onere degli impianti; mentre non appaiono ragioni plausibili di scindere in stadi salti di pressione modesti quali quelli considerati).

È probabile che nella infinita

varietà dei casi particolari, e per piccoli cantieri, possa essere individuato qualche caso in cui i vantaggi rappresentati da un unico servizio atto a fornire energia e sufficiente ventilazione sul fronte di avanzamento, possano compensare l'inconveniente di un elevato fabbisogno di energia. Per quanto ciò lasci sempre insoluti i problemi dello sfumo.

Ma ove si consideri che i problemi di ventilazione sono spesso condizionati dalla presenza di metano che occorre diluire al di sotto dell'1 % nell'aria (e che non è opportuno, anche ove ciò risultasse possibile, asportare misto in alta percentuale ad aria, in condotta a ciò destinata: basti ricordare un grave incidente dovuto ad esplosione per scarica elettrica atmosferica di una condotta che evacuava miscela tonante di metano ed aria) subito si vede che, per grande che sia la potenza meccanica fornita con aria compressa sul fronte di avanzamento, il costosissimo flusso di aria ottenuto come sottoprodotto rappresenta una ben modesta aliquota del totale fabbisogno d'aria di ventilazione. Si che necessariamente vengono di norma a coesistere i due impianti di aria a bassa ed a bassissima pressione.

In proposito vedemmo anche un certo impiego di lampade ad aria compressa (norma di legge relativa alla illuminazione, almeno 5 lux, dei luoghi di lavoro e di transito degli operai) il cui ingentissimo costo globale di gestione per lumen ora è ben lontano dall'essere compensato dal modesto flusso di aria utile alla ventilazione dalle stesse fornite.

Argomento principe sempre vantato a favore dei macchinari di cantiere azionati dall'aria compressa è quello della sicurezza che tale mezzo consente.

In linea subordinata si dovrebbe osservare che le purtroppo gravi e relativamente frequenti esplosioni che si verificano in cantieri di sottosuolo sono anzitutto condizionate dalla presenza di un agente pericoloso; e poichè ogni norma di legge ed ogni ragionevole norma di prevenzione dell'infortunio vietano tassativamente e senza eccezioni il lavoro in tali condizioni di pericolosità (pre-

samente: percentuale di metano nell'aria in nessun punto superiore all'1 %) parrebbe ragionevole che proprio su questo aspetto della questione debbasi concentrare ogni sforzo ed ogni mezzo di prevenzione.

L'infortunio per esplosione o incendio di metano avviene soltanto quando il metano è presente in almeno il 5 % e non oltre il 15 % nell'aria; ed in ciò sta di per sé stesso il fatto determinante, indipendentemente da quale che possa essere la causa che ha provocato l'accensione della miscela, sia o no questa causa dovuta a reale forza maggiore. E sta anche il fatto che una corretta tecnica di ventilazione e soprattutto di costante controllo permette con soddisfacente sicurezza di evitare e soprattutto di tempestivamente avvertire il pericolo (intendendosi però controllo non limitato alla sola misurazione della percentuale di gas nell'aria evacuata dal cantiere: si pensi tra l'altro alle pericolose sacche che facilmente si formano nei fornelli ed in genere nelle irregolarità delle volte, e che nei vorticosi movimenti dell'aria indotti dall'onda di pressione, iniziata in un punto la reazione esotermica, costituiscono successivi focolari di alimentazione della fiamma con il rapido rimiscelamento del gas con l'aria della galleria; sì che, successivamente alimentata e rinfocolata, la esplosione si propaga lungo chilometri di miniera via via potenziandosi. Meccanismo di sciagura che più volte si dovette dolorosamente ricostruire tra le divelte armature dei cunicoli).

Sempre in linea subordinata, si deve rilevare che la formazione di scintilla (che costituisce in genere un anello intermedio della catena che porta al disastro) può essere dovuta ad infinite cause di ordine meccanico; ad esempio una grave esplosione venne in un non lontano passato generata dall'essere rimaste in moto le ruote motrici, di cui una a dolce contatto con la rotaia, di un locomotore antideflagrante sviatosi e pressochè rovesciato; sì che l'ingente attrito portò in breve l'acciaio a temperatura di accensione (>632° C) del gas presente; ad esempio troppo spesso si trascura il fatto

che per i così detti esplosivi di sicurezza esiste una densità limite di caricamento, al di là della quale cessa ogni carattere di « senza fiamma » essendo la temperatura di esplosione di tali prodotti, pur artificialmente e con mezzi diversi abbassata, sempre molto superiore a quella di accensione della miscela di metano ed aria; ed ancora, si dovette sperimentalmente riscontrare la pericolosità di scintille dovute all'urto dell'utensile su determinate rocce, e delle scintille elettrostaticamente generate dall'ugello in metallo dei getti di lavaggio di aria compressa, ugello collegato con tubo di gomma alla tubazione e manovrato con mani guantate.

Di fronte ad infiniti possibili casi indipendenti dal tipo di energia utilizzato, le considerazioni sulla sicurezza fornita dal costoso impiego delle attrezzature ad aria compressa devono evidentemente essere ridimensionate.

I modi di trasporto di energia sono in pratica limitati a pochi sistemi. Lasciate da parte le trasmissioni idrauliche ed oleodinamiche e considerato sconsigliabile sia l'impiego di vapore acqueo che di motori termici funzionanti sul fronte di avanzamento, resta elettricamente in alternativa all'impiego dell'aria compressa l'alimentazione diretta delle macchine operatrici con energia elettrica. Nei riguardi della quale si possono vantare:

rendimenti meccanici assai prossimi alla unità; semplicità di macchinari; elasticità e facilità di montaggio delle linee di trasporto e minime perdite lungo queste; massima elasticità e prontezza di impiego e facile adattabilità ai vari problemi meccanici.

Sta sommamente in contrasto il solo elemento negativo comunemente assunto a sfavore, e consistente nei rischi che si presumono connessi in genere all'impiego della energia elettrica. Rischi che, si conviene, non debbono essere considerati soltanto nelle normali condizioni di impiego ma, in senso assoluto, connessi al fatto eccezionale sempre incombente nei cantieri di sottosuolo: il cedimento delle armature; la frana; il

carrello che si svia o si sgancia e strappa le linee che incontra nella sua corsa incontrollata; lo stesso purtroppo frequente errore o trascuratezza del personale. Tutto quanto cioè costituisce in sostanza il vasto quadro dell'imprevisto che sempre è connesso alla imperfetta e non perfezionabile attività umana. Possono fare scuola esempi vicini e lontani.

Ma occorre notare che già da molti anni sono impiegati in miniera impianti elettrici aventi particolari caratteri di sicurezza; purtroppo non ovunque; ma tali impianti hanno già la fondamentale caratteristica di interrompere automaticamente la corrente ove il cavo conduttore venga lesionato al di là di un piccolo limite superficiale.

È chiaro che, agli effetti della sicurezza, eminentemente gioca il tempo reale in cui avviene l'interruzione della corrente. Del tutto insufficiente appare in verità la velocità di apertura comunemente ottenuta in relazione alla frequenza delle normali correnti alternate (interruzione, in ottimi apparecchi, al primo passaggio per lo zero) e che può facilmente superare un tempo di apertura di 10 ms. La rottura del cavo può avvenire in tempo notevolmente più breve, quando cioè sussiste ancora differenza elevata di potenziale tra i conduttori messi allo scoperto.

La rapida rottura di cavi di sicurezza sotto carico effettuata in macchine di prova, in atmosfera di butano-aria (che è di più facile accensione che non la analoga miscela con metano) ha quasi sempre provocato l'accensione del gas. Tuttavia tali sistemi vennero già, per molti anni, considerati di assoluta sicurezza e come tali realmente si comportarono.

A tempi di rottura più brevi si oppongono elementari ma rigorose ragioni elettrotecniche, in relazione alla inevitabile e spesso rilevante induttanza dei circuiti ($e = -L \text{ di/dt}$: sono le stesse ragioni che gravemente, tra altre, ostano all'impiego della corrente continua nelle grandi linee di distribuzione di energia elettrica).

Impianti più recenti (impiegati per esempio ora in sale macchine ove si teme la possibilità di invasione di gas esplosivi), risolvendo

per altra via la grave difficoltà, raggiungono attualmente la apertura in tempi inferiori a 2 ms nelle condizioni più severe, cioè in angolo di fase da 0° a 120°. La protezione è estesa alla stessa del tutto eccezionale rottura della carcassa dei motori ed ai contatti interni di massa; e con particolari avvertenze è resa altresì impossibile in modo totale ogni differenza di potenziale verso terra e l'accesso a qualsiasi parte elettrica sotto tensione, anche se ciò viene tentato con smontaggio meccanico delle apparecchiature.

La normale verifica pratica dell'apparecchiatura viene effettuata con rottura meccanica rapida del cavo sotto carico, in macchina di prova, a mezzo di utensile foggia-to a tagliolo e comandato meccanicamente, in atmosfera dosata di butano ed aria. Le verifiche elet-

triche vengono effettuate con normale oscillografo.

Con tali relativamente moderni sistemi di protezione diviene lecito ed attendibile l'auspicare un più ampio sviluppo del certamente più razionale e semplice impiego dell'energia elettrica nella diretta alimentazione delle macchine destinate ai cantieri di sottosuolo.

Tali sviluppi sono altresì connessi ad un generale perfezionamento delle prevenienze di sicurezza; permettendo ad esempio un più dettagliato e sicuro controllo continuo e centralizzato della presenza di gas pericolosi; unitamente a qualche perfezionamento nella tecnica della ventilazione. Ma ciò rientra in altro e diverso campo di cui conviene trattare in diversa sede.

Renato Grignolio

LOTTA "ANTI SMOG"

GIUSEPPE BOIDO riferisce, in una relazione fatta per il Gruppo Culturale « Lotta contro i rumori e gli inquinamenti atmosferici », sui suggerimenti proposti all'Autorità tutoria torinese.

Il Gruppo Culturale « Lotta contro i rumori e gli inquinamenti atmosferici », costituitosi in seno alla nostra Società, con Aldo Pilutti Presidente e Vasco Rossi Segretario, ha ottenuto i primi concreti risultati presentando al Sindaco di Torino una serie di raccomandazioni che hanno già stimolato alcuni utili provvedimenti da parte dell'Ufficio di Igiene intesi a ridurre il preoccupante « smog ».

Il Gruppo, sollecitando i progettisti ad un più accurato studio degli impianti di riscaldamento che sono una delle cause principali degli inquinamenti atmosferici urbani, segnala che l'imperfetto funzionamento e la fumosità di questi impianti è stata principalmente riscontrata come effetto dei seguenti difetti: inadeguato apporto di aria per la combustione nel locale caldaia, scarsa sezione dei camini, troppa piccola camera di combustione delle caldaie, mancanza di camera di decantazione e di eventuali depuratori, impreparazione dei fuochisti, combustibili troppo scadenti ed, indirettamente, dello scarso potere coibente dei muri esterni e di troppo elevate temperature nei locali di abitazione.

Si è inoltre riconosciuta la necessità di stimolare con tutti i mezzi la centralizzazione, in pochi e grandi impianti razionalmente costruiti e governati, della produzione del calore da distribuire in vasto raggio, nonché di tendere alla esclusiva alimentazione con gas metano delle piccole centrali termiche esistenti e che non si possano eliminare.

Ricordiamo che la nostra rivista partecipa da tempo a questa doverosa cam-

pagna anti-smog: già nel numero di marzo 1957 pubblicava la relazione di Vasco Rossi « L'inquinamento atmosferico nelle città », nel novembre riportava per esteso le « Norme aggiuntive al Regolamento d'Igiene per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico », nell'aprile 1958 pubblicava « Attualità dei combustibili gassosi per applicazioni nell'edilizia » di Arrigo Böhm ed infine nel settembre 1961 pubblicava ancora « Lotta contro l'inquinamento atmosferico » di L. Voillot.

Nella seguente relazione, Giuseppe Boido, che ha partecipato attivamente alle sedute del Gruppo, illustra il Suo punto di vista in merito ai problemi inerenti ai camini, alla ventilazione della centrale termica ed alle caldaie, offrendo ai progettisti molti dati convalidati da decenni di positiva applicazione.

Ci auguriamo che da queste pagine, altri colleghi intervengano e contribuiscano alla soluzione dei tanti e complessi aspetti di questo problema ormai assillante per alcune grandi città come Torino.

Suggerimenti in merito proposti dall'Ing. Giuseppe Boido:

Il problema è di considerevole importanza ed estensione e non ha necessità di specificazioni già essendo stata ampiamente illustrata e riconosciuta da tutti la necessità di provvedimenti pratici, semplici, di efficienza e di possibile ed immediata applicazione.

Gli « inquinamenti atmosferici » avvengono per molte cause e circostanze

tra le quali una delle più diffuse e dannose è l'inquinamento causato dagli impianti di riscaldamento difettosi e dalle caldaie di stabilimenti, centrali termiche e simili.

Volendo limitare la lotta agli inquinamenti atmosferici dovuti alla « combustione in genere ed agli esercizi di impianti di riscaldamento in specie » faccio presente che in trenta anni di esercizio professionale, quale progettista ed esecutore di impianti di riscaldamento, sia di minime consistenze, sia di centrali termiche di grandi unità, sono sempre riuscito ad eseguire impianti « senza produzioni di fumo » essendo in proposito convinto che nella lotta contro il fumo ci si deve attenere al principio: di « non produrre fumo » anziché dover « eliminare il fumo ».

Per questo, sorpassando per ora sulle qualità di combustibile, sulle capacità dei fuochisti, su altre occorrenze di impianto, che potranno essere considerate in seguito, mi limito ad illustrare « tre requisiti di basilare importanza e di indiscutibile necessità » che debbono essere applicati per ottenere l'esercizio: « senza produzione di fumo ».

I tre requisiti sono:

- Camino di efficienza;
- Apporto aria per la combustione;
- Caldaia « omologata ».

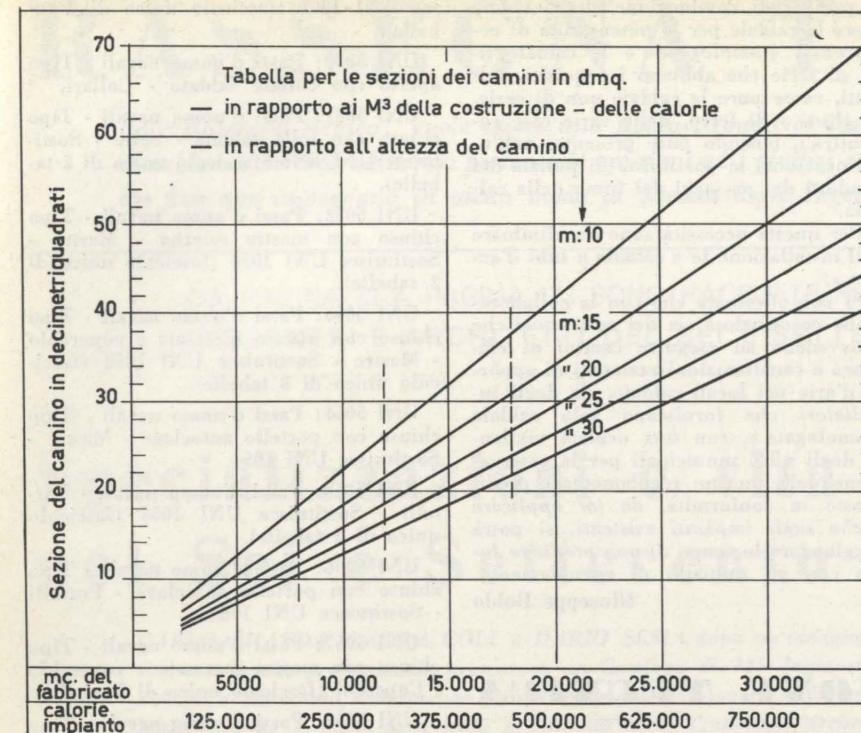
a) Camino: Il camino deve avere una sezione sufficiente per la necessità della combustione, deve essere determinato in base alla potenzialità prevedibile ed in rapporto all'altezza di possibile esecuzione, protetto da raffreddamenti e con possibilità di facile pulizia.

La sezione del camino deve essere determinata in fase di progettazione della costruzione, quando ancora non sempre è possibile fare un computo della potenzialità dell'impianto di riscaldamento, che è in relazione a modalità della costruzione, all'uso dei locali, ecc. elementi non sempre già determinati e che possono variare durante il corso della costruzione.

È bene quindi determinare la potenzialità dell'impianto in base alla cubatura ossia al volume del fabbricato, da conteggiare a vuoto per pieno, per una occorrenza termica di 25 calorie/mc, corrispondenti ad una occorrenza per case di normale costruzione, con muri di normale spessore ed isolamento, aperture di finestre di sezioni comuni, ecc.

Per la determinazione della sezione del camino, valevole per ogni tipo di impianto con funzione a carbone, nafta o gas, espressa in dmq. propongo la tabella grafica seguente, che è dedotta con l'applicazione di una formula che contiene un coefficiente fisso (che raggruppa i dati che si possono ritenere costanti: temperatura dei fumi, velocità ascensionale, attrito nei canali, quantitativo d'aria di combustione, ecc.), è direttamente proporzionale alla potenzialità prevista dell'impianto ed è inversamente proporzionale all'altezza del camino.

Le stesse sezioni dei camini si possono dedurre dalla seguente tabella numerica espressa in rapporto alla altezza del camino, calcolata con la stessa formula sopra specificata sempre considerando l'uso del camino per le occorrenze della combustione a carbone.



Per le combustioni a nafta le sezioni dei camini possono essere ridotte del 20 %, ma è consigliabile non applicare tale riduzione essendo più opportuno disporre di un camino di maggior sezione: per ogni evenienza.

con diametro inscritto nel quadrato. Se di sezione rettangolare il lato minore non deve essere inferiore al 50 % del lato maggiore.

Nel considerare i metri di altezza del fabbricato sono da dedurre dall'altezza

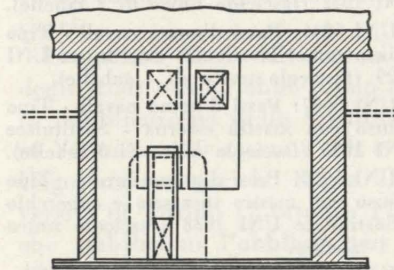
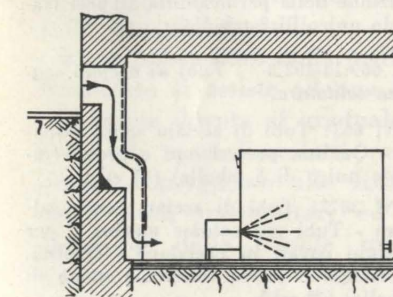
TABELLA NUMERICA - Sezione dei camini in dmq.:

Volume							
Fabbricato mc	2.000	5.000	8.000	12.000	18.000	25.000	30.000
Calorie/Ora	50.000	125.000	200.000	300.000	450.000	625.000	750.000
Altezza Camino							
10 m.	7.5	11.6	18.5	26.0	38.0	52.0	61.0
15 m.	6.0	10.4	15.0	22.0	31.0	42.2	50.0
20 m.	5.0	8.3	13.0	19.0	27.0	36.0	44.0
25 m.	4.5	7.5	12.0	16.5	24.0	33.5	38.0
30 m.	4.1	7.0	10.5	15.0	22.1	30.0	34.0

Le sezioni specificate sono da ritenere le più opportune per camini a tiraggio naturale, e se per difficoltà di esecuzione dei camini fosse necessario ridurre la sezione, può essere ammessa una ridu-

zione sino a 120/150 della sezione specificata.

Ritenendo necessario sistemare un ven-



tilatore per migliorare il tiraggio del camino, se insufficiente, si deve disporre la posa del ventilatore in aspirazione alla sommità del camino, per le case di abitazione, uffici e locali abitati.

Nel determinare le misure dei lati della canna fumaria è preferibile adottare la sezione quadrata, o sezione circolare

Le sezioni specificate in dmq., come detto in base al volume del fabbricato, possono essere aggiornate in base alla potenzialità effettiva dell'impianto calcolata sulla « cubatura riscaldata » applicando un coefficiente di variazione della sezione del camino, fermo restando l'altezza, pari al rapporto tra la potenzialità accertata sulla cubatura riscaldata e riportata a mc. di volume fabbricato e la occorrenza termica di 25 calorie/mc. ritenuta a base dei computi:

esempio:

casa 20.000 mc. — calorie 500.000 —
H.=20 metri
sezione camino 30 dmq.
calcolo a cubatura riscaldata: calorie 620.000 — H=20 metri
calorie 620.000/25=pari a mc. 24.800
sezione camino 36 dmq.

b) Apporto aria per la combustione: Per ottenere una buona ed efficiente combustione è necessario ed indispensabile provvedere ad un apporto d'aria sufficiente ed ossigenata da prelevarsi dall'esterno e da convogliare in prossimità del pavimento del locale caldaia, non potendo fare affidamento sulle prese d'aria dalle aperture di accesso che possono solo apportare aria dai sotterranei, aria vizata, umida e poco adatta alla combustione.

Così pure non si può avere un sicuro apporto d'aria dalle finestre che se con infisso possono venire chiuse, e se tenute aperte portano gravi disturbi nel locale e grave danno alle caldaie.

Solo l'apporto di aria in prossimità del pavimento con una canalizzazione libera, senza chiusure, assicura un ottimo convogliamento d'aria con aspirazione dei gas nocivi dal locale, che spesso sono causa di infortuni dei fuochisti per avvelenamento ed asfissia.

Le prese d'aria possono essere fatte dalla finestra stessa utilizzando parte dell'apertura, conservando la rimanenza ad uso finestra, oppure dall'intercapedine che abbia presa d'aria sull'esterno, o con una canalizzazione propria in collegamento con l'esterno.

La sezione del condotto di apporto d'aria non deve avere una sezione minore di 6 dmq. per fabbricati con un volume sino a 8000 mc., ed una maggior sezione di un dmq. per ogni 1500 mc. di fabbricato oltre gli 8000 mc.

La presa d'aria diretta dall'esterno è oggi indispensabile anche in seguito alle disposizioni del Corpo dei Pompieri che prescrivono chiusure ermetiche, con porte in ferro, dei locali caldaie per una intercettazione sicura con i locali vicini.

È da tenere presente che l'apporto di aria esterna favorisce la combustione ed apporta una economia di esercizio per il miglior rendimento dell'impianto che può essere valutata nel rapporto dal 5 al 3% del consumo di combustibile!

c) Caldaie omologate: La caldaia è il « cuore » dell'impianto, sia per il rendimento dell'installazione, sia in special modo per « evitare la formazione del fumo ».

Le caldaie di riscaldamento debbono avere una camera di combustione di volume in rapporto alla produzione di ca-

lore richiesto per poter ottenere la completa combustione. Per ogni metro cubo di camera di combustione non si deve produrre più di 220/240.000 calorie ora, se si vuole evitare produzione di fumo.

Le caldaie in ghisa ad elementi di costruzione in serie di normale uso ed in costruzione da decenni hanno camere di combustione per le potenzialità suddette.

Nelle caldaie di recente fornitura specie del tipo « marina » di costruzione economica, del tipo bollitori si rilevano produzioni di calorie ora per mc. sino a 450/480.000 calorie! e sono state installate caldaie specificate per 20-40-60 Mq con un volume di caldaia insufficiente e che potrebbe valere per caldaia di 12-24-36 Mq.

Le caldaie così installate sono la causa principale della produzione del fumo ed è necessario prevenire che altre caldaie deficienti vengano installate, e provvedere che le caldaie già installate siano in breve sostituite.

Si propone pertanto che gli uffici tecnici municipali provvedano a mezzo di ufficio apposito a prescrivere i volumi del-

le camere di combustione che debbono avere le caldaie per le potenzialità di occorrenza, « omologando » le caldaie tipo di serie che abbiano i requisiti suddetti, come pure le caldaie non di serie, di ghisa o di ferro, delle varie case costruttrici, tenendo pure presente, nell'omologazione, la possibilità di pulizia dei condotti dei passaggi del fumo della caldaia.

Per questa necessità sono da eliminare dall'installazione le « caldaie a tubi d'acqua ».

Si può affermare che con la collaborazione coscienziosa sia dei costruttori che provvedano ad eseguire camini di efficienza e canalizzazioni razionali di apporto d'aria nei locali caldaie, sia degli installatori che forniscano solo caldaie « omologate », con una oculata vigilanza degli uffici municipali per la osservazione delle norme regolamentari predisposte in conformità, da far applicare anche sugli impianti esistenti, si potrà raggiungere lo scopo di non produrre fumo con gli impianti di riscaldamento.

Giuseppe Boido

REGOLAMENTAZIONE TECNICA

NUOVE UNIFICAZIONI (pubblicate dal 1° gennaio al 31 marzo 1962)

C.D. 678.01 — *Elastomeri.*

UNI 4906: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Temperature normali.

UNI 4907: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Preparazione del campione.

UNI 4908: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Estrazione con solventi (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4909: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Determinazione dello zolfo nell'estratto acetone.

UNI 4910: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Determinazione dello zolfo libero.

UNI 4911: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Determinazione dei componenti saponificabili con idrato di potassio in soluzione etanolica.

UNI 4912: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Riconoscimento qualitativo mediante spettrofotometria nell'infrarosso (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 4913: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Deformazione residua dopo compressione del 25 % - Sostituisce UNI 4191 e parzialmente UNI 2033 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 4914: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Determinazione della resistenza alla lacerazione (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 4915: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Determinazione del carico di distacco fra elastomeri vulcanizzati e strati tessili (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 4916: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Requisiti dei durometri tipo Shore A, C e D (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 4917: Elastomeri: Prove su vulcanizzati - Determinazione dell'azione di contatto sui metalli.

NUOVE UNIFICAZIONI (pubblicate dal 1° luglio al 30 settembre 1962)

C.D. 621.869.3 — *Palette di caricamento.*

UNI 5042: Palette di caricamento - Termini e definizioni (fascicolo unico di 3 tabelle).

C.D. 629.12.011 — *Passi d'uomo navali.*

UNI 5043: Passi d'uomo navali - Generalità e designazione - Con UNI 5044 sostituisce UNI 1017 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5044: Passi d'uomo navali - Prospetto dei tipi unificati - Con UNI 5043 sostituisce UNI 1017.

UNI 5045: Passi d'uomo navali - Tipo aperto con collare saldato - Sostituisce UNI 1022 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5046: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con sella saldata - Sostituisce UNI 1029 (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 5047: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con mastra esterna - Sostituisce UNI 1035 (fascicolo unico di 3 tabelle).

UNI 5048: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con mastra incassata e coperchio - Sostituisce UNI 1038 (fascicolo unico di 4 tabelle).

UNI 5049: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con portello autoclave - Sostitui-

sce UNI 1041 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5050: Passi d'uomo navali - Tipo aperto con collare saldato - Collari.

UNI 5051: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con sella saldata - Selle - Sostituisce UNI 1046 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5052: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con mastra esterna - Mastre - Sostituisce UNI 1050 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5053: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con mastra incassata e coperchio - Mastre - Sostituisce UNI 1052 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5054: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con portello autoclave - Mastre - Sostituisce UNI 1054.

UNI 5055: Passi d'uomo navali - Portelli - Sostituisce UNI 1058 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5056: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con portello autoclave - Portelli - Sostituisce UNI 1060.

UNI 5057: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con mastra incassata e coperchio - Coperchi (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5058: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con portello autoclave - Cavalletti - Sostituisce UNI 1061.

UNI 5059: Passi d'uomo navali - Guarnizioni per portelli - Sostituisce UNI 1055 (fascicolo unico di 2 tabelle).

UNI 5060: Passi d'uomo navali - Tipo chiuso con portello autoclave - Guarnizioni - Sostituisce UNI 1057.

UNI 5061: Passi d'uomo navali - Viti da saldare.

C.D. 644.627 — *Apparecchi di produzione di acqua calda a gas per uso domestico.*

UNI 5039: Apparecchi di produzione di acqua calda a gas per uso domestico - Termini e definizioni (fascicolo unico di 7 tabelle).

UNI 5040: Apparecchi di produzione di acqua calda a gas per uso domestico - Caratteristiche e prove (fascicolo unico di 20 tabelle).

C.D. 666.76:620.1 — *Materiali refrattari.*

UNI 5032: Materiali refrattari - Determinazione della permeabilità all'aria (fascicolo unico di 2 tabelle).

C.D. 669.14-462.3 — *Tubi di acciaio senza saldatura.*

UNI 663: Tubi di acciaio senza saldatura - Qualità, prescrizioni e prove (fascicolo unico di 6 tabelle) (4ª ed.).

UNI 3872: Tubi di acciaio senza saldatura - Tubi per caldaie marine e per tubazioni navali in pressione - Qualità, prescrizioni e prove (fascicolo unico di 7 tabelle) (2ª ed.).

Direttore responsabile: **AUGUSTO CAVALLARI-MURAT**

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

STAMPERIA ARTISTICA NAZIONALE - TORINO