

Relazione di progetto e calcolo statico esecutivi

riguardante l'ossatura portante in calcestruzzo armato del costruendo nuovo Ospedale di Cattinara a Trieste.

A) Premesse e generalità.

Data la planivolumetria del complesso, lo stesso è stato suddiviso in otto corpi di fabbrica distinti ed aderenti, staccati tra loro mediante introduzione di appositi giunti di dilatazione, quali appaiono nei disegni esecutivi allegati e descritti nel capitolato speciale d'appalto: documenti a cui perciò si rimanda per ogni dettaglio, così come agli stessi si rinvia per maggior chiarezza in tutto quanto nel seguito si riferisce a nomenclature d'individuazione degli elementi strutturali, ad accorgimenti e prescrizioni costruttive particolari, ecc.

Ogni corpo di fabbrica è stato considerato come a sè stante ed assoggettato alle sollecitazioni separatamente spettantegli: carichi verticali permanenti ed accidentali nonchè, per le torri di degenza (unici elementi elevantisi a notevole altezza e pertanto sensibili all'azione della bora e degli altri venti), carichi accidentali orizzontali.

L'ossatura portante di ogni corpo di fabbrica è costituita da un'intelaiatura spaziale in calcestruzzo armato, con travi di piano quasi esclusivamente in spessore di solaio che sorreggono solai in laterocemento armato a nervature prevalentemente incrociate.

Sulla base delle risultanze favorevoli di apposita indagine geognostica fatta eseguire dagli Ospedali e di cui a separata relazione del prof. Mosetti, è stato scelto un sistema fondazionale di tipo diretto, a plinti isolati od a suole continue nervate a seconda dell'entità dei carichi trasmessi alla base dei pilastri, tale da contenere la pressione sul terreno entro il limite ammissibile di  $3 \text{ kg/cm}^2$ .

Data la presenza di un piano completamente interrato, interessante gran parte della superficie coperta dei fabbricati, si è prevista la costruzione di un muro d'intercapedine e sostegno terra, anch'esso in calcestruzzo armato, perimetralmente a detto piano. Questo muro è stato reso solidale alla sua base con le fondazioni dei pilastri dei vari corpi di fabbrica, così da poter usufruire dell'effetto stabilizzante dei pesi propri di questi ultimi.

Per adeguarsi a particolari esigenze architettoniche ed impiantistiche e per compensare l'effetto dei fenomeni viscosi nel calcestruzzo, si sono studiati - a latere degli elementi strutturali portanti veri e propri - accorgimenti costruttivi atti a controllare, contenere e per quanto possibile eliminare la possibilità di cavillature nei muri di tamponamento e nei solai. Tra questi in particolare: i profilati metallici all'estremità degli sbalzi perimetrali di maggior entità, i rinforzi dei bordi dei fori maggiori, ricavati nel corpo delle travi a passaggio delle tubazioni per gli impianti, gli elementi non portanti - epperò prefabbricabili - in calcestruzzo armato, (costituenti velette di serramenti o cornicioni per le coperture), le monte di costruzione da dare all'atto del getto.

B) Analisi dei carichi.

Nella valutazione delle azioni cui considerare assoggettate le strutture, si sono di norma assunti i valori prescritti nella circolare n.4773 dd.8/6/68 dal Consiglio Superiore del Ministero dei Lavori Pubblici - Servizio Centrale.

Fatte salve talune maggiori diverse ed ulteriori incidenze locali, (ad esempio scale mobili, serramenti, pareti perimetrali, vetrate di dimensioni particolari e simili), si possono perciò riassumere come segue i carichi normalmente assunti a base del calcolo statico:

I) Carichi permanenti verticali

- calcestruzzo armato kg/mc 2500
- solai in laterizio armato (il secondo termine si riferisce all'eventuale cap  
pa superiore):
 

- altezza	$h = 16 + 0 = 16$ cm	kg/mq	130
- "	$h = 16 + 4 = 20$ cm	"	230
- "	$h = 34 + 2 = 36$ cm	"	370 (v)
- "	$h = 38 + 4 = 42$ cm	"	460
- "	$h = 43 + 4 = 47$ cm	"	510
- murature a cassetta di tamponamento perimetrale (pietra artificiale esterna, laterizio forato spessore 26 cm con spritzatura e strato isolante interno, camera d'aria, tramezzo forato da 8 cm, intonaco interno)
 

$0,03 \times 2,00 + 0,26 \times 1300 + (0,015 \times 1800 + 0,02 \times 430) + 0,08 \times 1100 + 20$	"	550
---	---	-----
- pavimenti e soffitti (inclusi sottofondi)



- ai piani kg/mq 150
- in copertura " 100
- tramezzi interni forati ed intonacati kg/ml 100

## II) Carichi permanenti orizzontali:

- spinta del terrapieno sui muri perimetrali, variabile secondo diagramma trapezio ...

$$s = (1600 \times h \times \operatorname{tg}^2(27,5^\circ) \text{ kg/m}^2$$

... essendo h l'altezza in metri del battente di spinta, comprensiva della quota localmente dovuta ad eventuali sovraccarichi sul terrapieno stesso.

## III) Carichi accidentali verticali:

- sulle coperture (tutte non praticabili o praticabili solo per servizio) kg/mq 100
- ambienti in genere, in quanto suscettibili di affollamento " 350
- ambienti particolari, suscettibili di affollamento particolare (chiesa, zone arrivo visitatori, ecc.) " 500  $\textcircled{P}$
- zona arrivo autolettighe (pronto soccorso) " 300  $\checkmark$

## IV) Carichi accidentali orizzontali:

- vento, considerato agente contemporaneamente sopra e sottovento e con la massima intensità sull'intera superficie fuori terra delle facciate delle torri di volta in volta considerate. Il tutto quale carico statico, a norma di quanto previsto nella su nominata Circolare Ministeriale per la nostra zona, secondo le espressioni (in  $\text{kg/m}^2$ )

$$p_e = (100 + 60 \frac{h - 20}{100}) 0,8 \dots \text{sopravento}$$

$$p_i = - \frac{p_e}{2} \dots \text{sottovento}$$

A controllo della validità ed economicità d'applicazione della norma nel caso specifico stanno i risultati della prova al tunnel eseguita dal prof. Mortarino del Politecnico di Torino, su modello in scala 1 : 200, alle cui conclusioni della relazione si rinvia per ogni maggior dettaglio.

--- . --- . ---

Data la spazialità e l'altissima iperstaticità di ogni singolo corpo di fabbrica strutturale, che ha indotto a scegliere il sistema di calcolo di cui si dirà nel seguito:

- si è dovuto rinunciare ad usufruire del disposto di cui al paragrafo 3.1. della Circolare Ministeriale, che ammette la riduzione graduale fino ad 50% dei sovraccarichi verticali, a partire dalla copertura verso la fondazione;
- non si è potuto usufruire dell'ammessa adozione di coefficienti di sicurezza diversi per tensioni indotte da azioni principali e tensioni dovute ad azioni complementari;
- a parziale compenso delle rinunce di cui sopra, si è adottato il coefficiente di trasmissione  $t = 0,8$  per i carichi accidentali verticali nel passaggio dai solai alle travi che li sorreggono e, date le dimensioni degli ambienti in rapporto al loro uso ed all'effettivo loro grado di massimo affollamento teorico, si è conglobato il peso dei mezzi divisorii interni nel carico d'esercizio dei locali.

I dati "INPUT" introdotti nell'elaborazione con calcolatore elettronico di cui si dirà nel seguito permettono del resto di verificare, trave per trave, le condizioni di carico particolari, dedotte da quanto precede, cui le travi stesse si

sono considerate sottoposte.

Merita qui far notare:

- che si è voluto prudenzialmente ammettere, in tutti i corpi fondati prevalentemente su plinti isolati, una cedevolezza anelastica relativa (abbassamento differenziale) alla base di appoggio sul terreno. Ciò sia al fine di valutare l'entità degli sforzi ridotti da una condizione del genere, per quanto improbabile, che l'opportunità della scelta fatta per il sistema fondazionale delle due torri;
- che, data la fortissima prevalenza dei carichi verticali permanenti su quelli accidentali, si sono considerati completamente e contemporaneamente caricati al massimo tutti i piani.

C) Materiali di prescritto impiego; prescrizioni relative.

Pur rinviando al Capo II del Capitolato Speciale per ogni maggior delucidazione sulla qualità e provenienza dei materiali, sulle norme per la loro accettazione e sulle modalità d'esecuzione dei lavori che costituiscono base previsionale del calcolo statico, si riportano qui di seguito i dati relativi alle prescrizioni di fondamentale interesse per la realizzazione dell'ossatura portante.

Si è presunto:

- che verranno rispettate integralmente le "Istruzioni per il progetto e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato" emanate dal Consiglio Nazionale delle Ricerche il 22/12/1967 e che tale rispetto verrà controllato preventivamente ed in corso d'opera nelle dovute forme e con la necessaria frequenza;



- che, ad integrazione, per tutto quanto non contemplato in dette Istruzioni varranno le norme sullo stesso argomento contenute nel D.L. 16/11/1939 n.2229;
- che lo stesso varrà per le norme di accettazione dei materiali componenti;
- che, data l'estensione dei singoli getti e l'opportunità di diminuire al massimo gli effetti delle conseguenti eventuali riprese di getto, si useranno idonei additivi ritardanti;
- che a loro volta i solai dovranno corrispondere a quanto disposto nelle "Istruzioni per il progetto e l'esecuzione dei solai misti in cemento armato e laterizi, emanate dal Consiglio Nazionale delle Ricerche il 20/12/67 in aggiunta al contenuto delle norme di accettazione di cui al D.L.16/11/39 n.2233.

I conglomerati da impiegare saranno di classe R 350 per le fondazioni ed i muri perimetrali di sostegno ed intercapedine e di classe R 450 per tutti gli altri getti in elevazione, portanti e no. Per il calcestruzzo armato si impiegheranno barre in acciaio ad aderenza migliorata con tensione di snervamento  $\geq 44 \text{ kg/mm}^2$  e di rottura  $\geq 55 \text{ kg/mm}^2$ .

Pur essendosi prevista la vibrazione o pervibrazione dei getti, si è ritenuto di dover lasciare all'Appaltatore la facoltà di proporre il sistema e gli attrezzi più idonei al raggiungimento dello scopo. Ciò perchè la soluzione ottimale in materia dipende sia dal tipo di impianto di betonaggio installato, che dal materiale impiegato per le casseforme orizzontali che, infine, dal tipo di additivo ritardante da aggiungere al conglomerato: scelte, queste, che non è opportuno anteporre alla assegnazione dei lavori.

D) Criterio di calcolo e dimensionamento delle strutture. Verifiche di stabilità.

Ognuna delle otto ossature componenti è una struttura spaziale di notevole complessità statica. Ciò anzitutto per le caratteristiche seguenti:

- la grande distanza a cui prevalentemente si trovano i pilastri, le colonne e gli altri elementi portanti verticali;
- la presenza di notevoli sbalzi al perimetro esterno di tutto il complesso, accompagnata (torri solo parzialmente escluse) ad uno sviluppo di serramenti del tipo a nastro tale da comportare lo studio di un sistema di architravatura direttamente solidale con l'ossatura e d'altronde non portante nè soggetto a fessurazioni particolari;
- le conseguenti notevoli dimensioni planimetriche delle singole campiture dei solai, che hanno determinato l'obbligatoria scelta di solai di tipo pressochè esclusivamente incrociato;
- la necessità di conservare per quanto possibile le travi di piano nello spessore dei relativi solai, onde permettere comunque una facile ed economica rete di distribuzione orizzontale per gli impianti la cui progettazione di dettaglio potrà così seguire l'appalto dell'ossatura senza condizionarla;
- l'altissima iperstaticità strutturale, tale da escludere da un lato la possibilità di una valida ed economica progettazione manuale o comunque con mezzi ordinari, attraverso quell'esame separato di singole membrature che, con detti mezzi, è il solo normalmente affrontabile;
- la previsione ed il rispetto del complesso sistema di fori, nicchie, tracce, passaggi, ecc. in genere studiato per l'installazione e la distribuzione verticale di tutti gli impianti.



A quanto precede va poi aggiunta l'assoluta necessità di tener conto, nel calcolo delle ossature delle due torri di degenza, dell'effetto sia sollecitante che deformante del vento.

Lo studio su modello strutturale in scala avrebbe comportato un costo proibitivo e, soprattutto, una schematizzazione semplificativa che avrebbe portato a risultati di approssimazione inaccettabile: indagine preliminare in tal senso, appunto con diagnosi negativa, è stato fatto con la collaborazione dello ISMES di Bergamo.

Si è perciò ricorso all'elaborazione e risoluzione con calcolatore elettronico del problema, profittando della circostanza che negli ultimi anni l'IBM ha messo a punto un programma precisamente adatto allo scopo e suscettibile di derivazioni e sfruttamento successivo dei dati, sempre a mezzo calcolatore, tale da portare a risultati attendibili e soddisfacenti.

Il programma in questione è denominato FRAN. Per il procedimento d'utilizzazione, molto complesso e specialistico, cui è stato necessario ricorrere per il suo corretto sfruttamento nel nostro caso particolare, si rinvia alle dispense didattiche relative allo stesso programma, consultabili presso la filiale di Milano dell'IBM-Italia, nonché - per il caso particolare - agli allegati elaborati che comprendono non solo la stampa dei risultati OUTPUT bensì pure tutta la serie dei dati INPUT forniti al calcolatore (un "360/50") per permettergli di esaminare, controllare - e quindi accettare o respingere - ed infine risolvere il problema della soluzione strutturale della singola ossatura.

Riassumiamo qui brevemente ed ordinatamente quanto sta a monte dell'elaborazione elettronica con il FRAN:

- si progetta a dimensione la struttura con criteri e procedimenti largamente approssimati, considerando a sè il singolo elemento dell'ossatura (trave, pilastro, solaio, ecc.) ed affidandosi largamente ai mezzi usuali per un proporzionamento di massima e, dove questi non permettono un'indagine sufficientemente attendibile, a valutazioni semiempiriche;
- si schematizza la struttura in sistema reticolare spaziale (aste facenti capo a nodi interni e vincoli esterni), di ogni asta del reticolo valutando le caratteristiche geometriche e fisiche e, ad ogni modo a vincolo esterno, indicando le caratteristiche di solidarietà delle aste che vi fanno capo;
- si individuano i carichi e le altre sollecitazioni agenti sulla singola asta o nodo, raggruppandoli nel modo più opportuno per una successiva considerazione a ricerca delle condizioni globalmente più gravose per il singolo elemento resistente;
- si riportano su schede, con apposito sistema ed ordine di perforazione, tutti i dati su calcolati;
- si affida il tutto al calcolatore per un primo controllo sull'attendibilità del reticolo e dei suoi vincoli e carichi e, in caso di sua accettazione, per la risoluzione del sistema iperstatico tridimensionale considerato.

La macchina, eseguito il calcolo e risolto il sistema, trasmette ad una stampatrice, previo fissaggio nastro magnetico, i risultati ottenuti (OUTPUT) facendoli precedere da tutta la serie di indicazioni avute in entrata ed accettate (INPUT).

Sulla base dei risultati FRAN si controlla la validità della progettazione eseguita, eseguendo quelle verifiche locali approssimate (perchè fatte senza tener conto dell'armatura metallica, a questo stadio non ancora progettata) che assicurano dell'



la stabilità dell'ossatura.

Per le strutture reticolari vere, cioè caricate ai soli nodi, ogni ricorso successivo al calcolatore elettronico è superfluo o può quanto meno ridursi al calcolo delle combinazioni maggiormente gravose (anche queste comunque con l'ausilio di un elaboratore molto meno complesso, quale ad esempio il "1130" della stessa IBM, appunto programmato per un "post-processor" di sfruttamento dei risultati forniti dal FRAN): ciò data la linearità delle variazioni di sollecitazione lungo le aste e data perciò la certa ubicazione all'estremità delle stesse aste dei massimi e minimi delle singole sollecitazioni componenti.

Nei casi, invece, in cui le aste sono caricate lungo il loro sviluppo (ed il nastro appartiene a questa categoria, per di più i diagrammi di carico essendo complessi e diversi asta per asta e piano per piano), a valle del FRAN sta tutta la programmazione per il calcolo e la diagrammazione della variazione delle sollecitazioni combinate massime e minime lungo dette aste, a partire dalla quale il residuo lavoro di progettazione di dettaglio dell'armatura metallica e, di conseguenza, verifica locale sistematica delle condizioni di lavoro dei materiali, può essere eseguito anche con mezzi manuali ordinari.

La fase a cui è giunto il nostro calcolo statico, e conseguentemente la progettazione, è quella immediatamente successiva al FRAN. Sono stati cioè verificati localmente, con esito sempre positivo, gli elementi strutturali che avrebbero potuto costituire punti critici per la stabilità della struttura e, conseguentemente, confermata e pertanto reso esecutivo ogni particolare relativo ai dettagli costruttivi esteriori (travi, solai, pilastri,



fondazioni, velette, organismi accessori anche senza funzione portante, ecc. a tutti i piani), si sta predisponendo quanto serve a dettagliare l'armatura resistente.

I disegni esecutivi allegati, unitamente agli schemi serviti alla ricerca degli elementi per la programmazione FRAN ed ai dati IN- ed OUTPUT stampati a conclusione dell'elaborazione con il "360/50" fin qui impiegato, possono guidare il lettore in quell'interpretazione e controllo del calcolo statico che non è possibile illustrare oltre in questa sede.

Tra le conclusioni, come detto tutte favorevoli, finora dedotte c'è anche la constatazione che, se eventuali cedimenti vincolari alla base dei plinti non comporteranno eccessivi incrementi nelle sollecitazioni massime degli organi portanti, è stato pur sempre opportuno prevedere di fondere su platea nervata le due torri di degenza.

E) Elaborati grafici ececutivi.

Oltre agli elaborati di cui si è detto precedentemente, in rapporto al ricorso al calcolatore elettronico, staranno a base e conclusione del calcolo e dell'appalto i disegni esecutivi di tutta l'ossatura nonché degli organi non portanti ad essa connessi.

Per una loro precisa elencazione si rinvia al Capitolato Speciale d'Appalto per la parte relativa alle strutture (disegni numerati con indice S).

Trieste, 30 aprile 1969

Dott. Ing. BRUTO GELLETTI



SERVIZIO TECNICO ED ORGANIZZAZIONE

IL DIRIGENTE

*dott. Ing. Bruto Galletti*

Allegati: - n.19 schemi reticolo per FRAN;  
- n.2 schemi azione orizzontale dovuta al vento;  
- n.5 stampe dati e risultati FRAN.