

## L'auditorium di Renzo Piano a Roma

Vitantonio Vitone

Si propone una lettura tecnico-costruttiva della struttura dell'opera attraverso l'analisi di alcuni suoi interiori e non visibili aspetti, ricercando nell'intima armonia tra forma e funzione statica la ragione delle suggestioni e dell'istintivo coinvolgimento del visitatore.

### **18.1 Criteri generali di scelta**

---

Le singole aree risultano funzionalmente, ed in alcune specifiche loro subparti anche strutturalmente, indipendenti in elevazione.

Al fine, poi, di assicurare le richieste caratteristiche di isolamento acustico, l'intera ossatura strutturale di ciascuna delle tre sale è stata prevista completamente separata ed indipendente da quella delle opere contigue.

Sebbene ciascuna "area" dell'opera sia dotata di un organismo strutturale suo proprio, "congruente" con le proprie specifiche caratteristiche, la progettazione trae spunto da alcuni principi generali, comuni a tutte le aree funzionali.

In primo luogo va rilevato che - malgrado la geometria risulti variabile da "area" ad "area", e peraltro non regolare all'interno di ciascuna di esse - è stata studiata e prevista ove possibile la adozione di elementi strutturali di serie (lastre predalle) per la realizzazione di solai alleggeriti, e di elementi prefabbricati in c.a.p. di solaio alveolare, di tegoli TT e travi a doppio T.

Tuttavia - con riguardo alle tre sale musica - la concezione geometrica dell'opera, ed i suoi peculiari aspetti architettonici sono incompatibili con soluzioni strutturali "da catalogo".

Al contrario essi implicano un orientamento verso la adozione di "muri" portanti continui (pareti verticali; travi-parete) e - per gli organismi spaziali delle sale - di ossature miste (telai-pareti - solette), che traggono dalla solidarietà dei getti in opera la principale garanzia dell'efficacia del loro comportamento. Per questi edifici, dunque, l'impiego della prefabbricazione è stato li-

mitato all'uso - ove possibile - di lastre predalle, che tuttavia coprono la quasi totalità degli orizzontamenti.

## 18.2 Le opere di fondazione

### 18.2.1 Le scelte progettuali

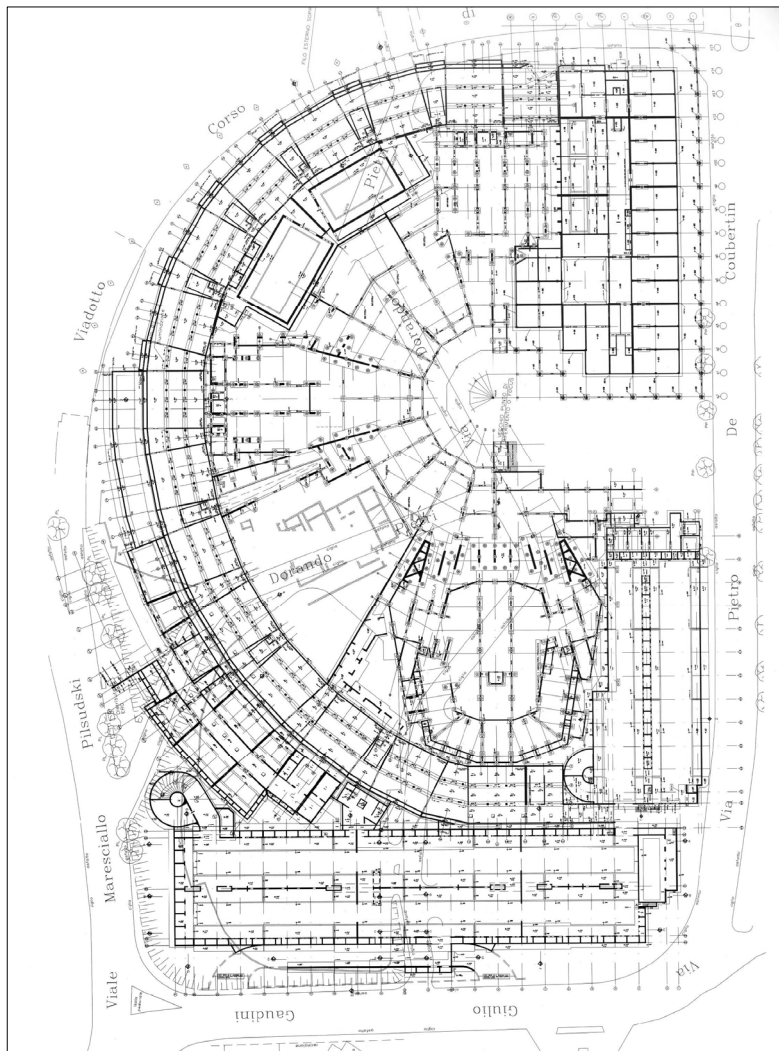


Fig. 18.1 - Planimetria generale delle strutture di fondazione

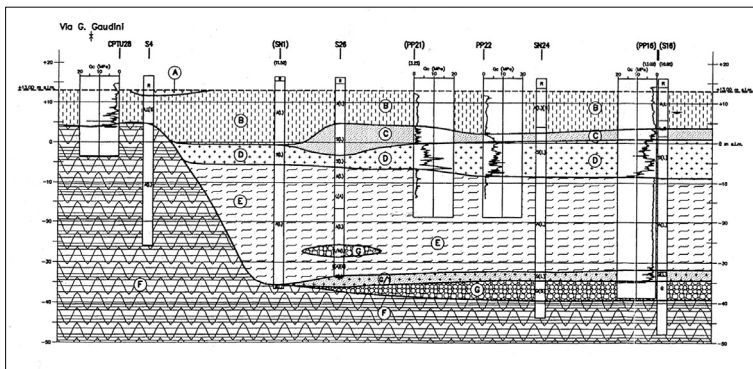
Tutte le opere sono state portate oltre la quota di 13,00 s.l.m., e quindi sufficientemente al di sopra del livello di rinvenimento della falda acquifera.

In armonia con indicazioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si sono realizzate economie di costo di costruzione anche attraverso una differenziazione delle caratteristiche prestazionali delle fondazioni in funzione della sensibilità, propria di ciascun edificio, ad eventuali cedimenti differenziali. Si sono pertanto adottate due tipologie strutturali: fondazioni profonde (per le tre sale musica e per il foyer) e fondazioni dirette superficiali, per tutti gli altri edifici.

### 18.2.2 La geologia

L'origine dei terreni è essenzialmente fluviale, con locale presenza di depositi fluvio-lacustri. Il terreno di base, diffuso in tutta l'area romana, è costituito dalle argille grigio-azzurre plioceniche (dette argille vaticane), caratterizzate da un elevato grado di sovraconsolidazione.

La ricostruzione del tetto di tale substrato mostra la presenza, in epoca pliocenica, di un terrazzo di altezza globale di oltre 40 m, successivamente riempitosi per deposizione di materiale di origine fluviale. Un antico solco di erosione attraversa quasi tutta l'area con direzione NNO-SSE: si tratta di un paleoalveo, ricoperto da successive deposizioni di materiali limosi e sabbiosi.



**Fig. 18.2** - Uno dei profili geotecnici. Si distinguono i seguenti litotipi: Terreno di riporto (A). Limo argilloso-argilla limosa a tratti debolmente sabbioso di colore marrone e contenente rare concrezioni calcaree (B). Sabbia medio-fine con limo o limosa di colore avana (C). Sabbia da medio fine a grossolana, grigia, con intercalazione di orizzonti millimetrici di limo (D). Limo argilloso-argilla limosa con intercalazioni sabbiose, grigio scuro-nerastro (E). Argilla limosa (argille plioceniche) grigia a tratti debolmente sabbiosa con intercalati livelli centimetrici o decimetrici di sabbia medio fine (F). Ghiaia molto fine con inclusione di clasti in prevalenza calcarei (G). Sabbia medio fine con limo o limosa, grigia moderatamente addensata (G1)

### 18.2.3 Le fondazioni profonde

Sono costituite da blocchi impostati su pali trivellati  $\phi$  1000 e  $\phi$  1200 mm in c.a. di lunghezza compresa tra i 30 e i 50 m, penetranti nel substrato compatto (argille plioceniche (formazione F), oppure, ove presenti in spessori idonei, nelle ghiaie addensate ad esse soprastanti (formazione G).

Tale tipologia è stata adottata per gli edifici le cui caratteristiche geometriche ed architettoniche - peraltro non modificabili senza compromettere la generale concezione del progetto - sono manifestamente incompatibili con significativi cedimenti assoluti e differenziali.

Le fondazioni su pali sono state, infatti, adottate per le sale ed i relativi foyer. Le sale sono soggette ad azioni verticali di notevole intensità e concentrazione e da elementi strutturali in elevazione molto rigidi e fortemente impegnati come membri di un organismo globale, il cui funzionamento è garantito solo dalla attivazione della loro solidarietà.

Della importanza decisiva di questo comportamento spaziale di tipo scatolare si propone una analisi (riferita, a titolo di esempio, alla sala media, da 1200 posti) nel successivo paragrafo. Oltre a queste intrinseche ragioni "organiche", la scelta di riservare alle sale musica le fondazioni su pali è stata rafforzata da considerazioni di ordine geologico-geotecnico. Infatti esse sono situate su aree in cui il tetto del substrato rigido (formazione pliocenica) risulta molto inclinato sull'orizzontale, tanto che il piano di sedime di eventuali fondazioni superficiali sarebbe stato caratterizzato da una accentuata deformabilità differenziale agli spostamenti verticali.

I foyer, funzionalmente connessi alle sale, sono dotati di fondazioni di analoghe caratteristiche per evitare - in corrispondenza dei giunti - dislocazioni verticali, la cui evoluzione nel tempo è peraltro di incerta valutazione. Si fa osservare al riguardo che mentre i cedimenti attesi delle opere dotate di fondazione su pali sono dell'ordine di  $4 \div 10$  mm, quelli dei corpi di fabbrica con fondazioni dirette sono dell'ordine di  $5 \div 15$  cm.

### 18.2.4 Le fondazioni dirette superficiali

Sono costituite da nastri e platee, anche nervate, di spessori compresi indicativamente fra i 50 e gli 80 cm.

Tale tipologia è stata adottata per i seguenti corpi di fabbrica: edificio anulare, edificio nord, parcheggio interrato ed altre unità minori.

Data l'elevata deformabilità dei terreni interessati e la notevole disuniformità - anche fra zone contigue - degli spessori compressibili sottostanti il piano di sedime, l'impostazione progettuale globale di tali corpi è stata ispirata soprattutto all'intento di limitare, compatibilmente con le esigenze funzionali ed architettoniche, le sollecitazioni conseguenti a tali sfavorevoli caratteristiche fondali.

Il progetto delle fondazioni dei diversi corpi di fabbrica è stato in conclu-



sione elaborato anche sulla scorta di analisi globali del complesso terreno-fondazione-struttura in elevazione.

### 18.3 Le coperture in legno lamellare delle sale

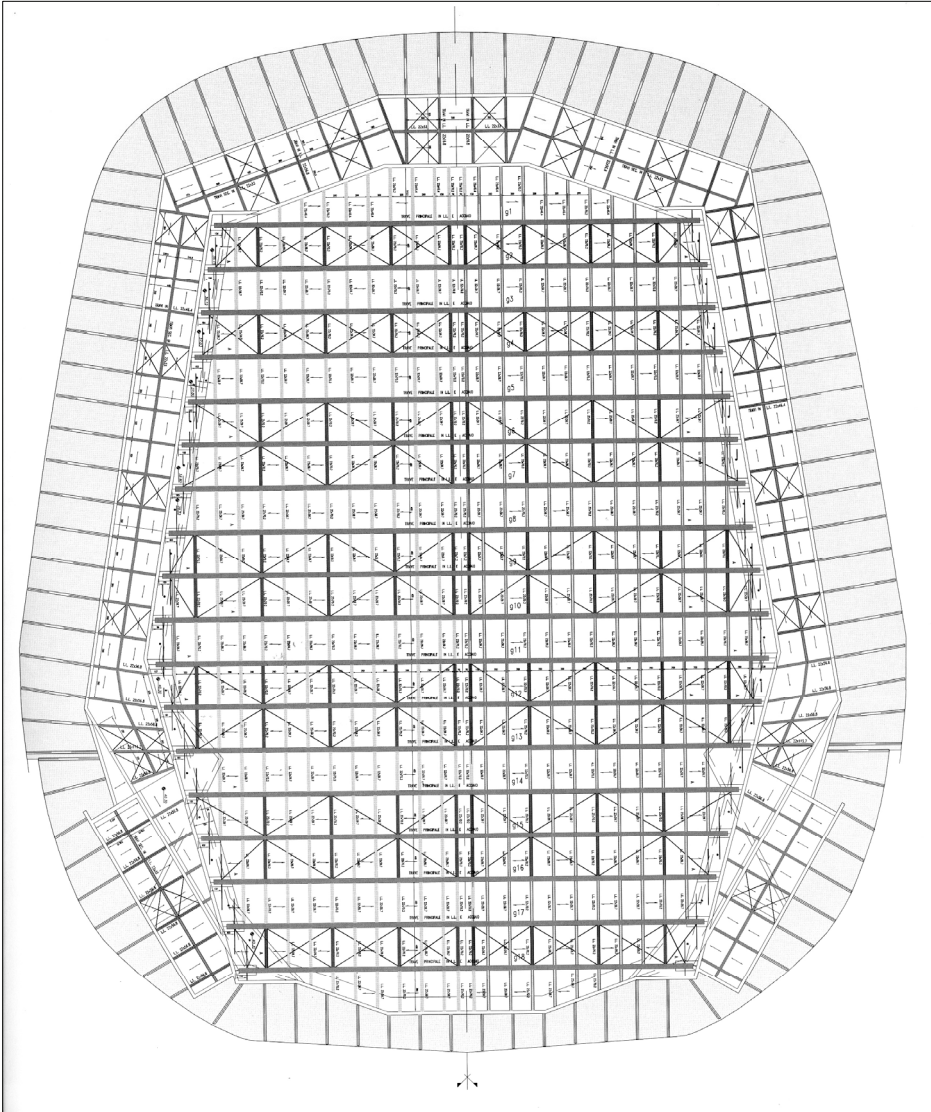


Fig. 18.3 - Sala 2700, pianta di carpenteria delle strutture di copertura

Le strutture portanti di copertura delle tre sale sono costituite da orditure di travi in legno lamellare, associato ad elementi di acciaio.

La loro progettazione e realizzazione ha richiesto la soluzione di problematiche tecniche di inusuale difficoltà, in conseguenza:

- della complessa forma toroidale delle superfici di estradosso;
- delle complesse interazioni spaziali tra i diversi elementi portanti, conseguenti a dette caratteristiche geometriche, analizzate anche attraverso analisi spaziali del 2° ordine per la verifica delle condizioni di stabilità elastica;
- delle eccezionali dimensioni delle luci delle sale (in particolare della Sala 2700);
- della straordinaria entità dei carichi permanenti, conseguenti alla adozione di rivestimenti “massivi” per l’isolamento acustico;
- delle severe condizioni di sollecitazione termica differenziale, correlate alle condizioni di incendio;
- dell’associazione di membrature in legno lamellare (dotato di modulo elastico variabile nel tempo e di bassa sensibilità termica) con elementi integrativi strutturali in acciaio e solette di copertura in c.a. (a modulo elastico costante e ad elevato coefficiente di dilatazione).



**Fig. 18.4** - Una delle fasi di posa in opera della copertura

L’orditura di travi sostiene uno speciale e sofisticato sistema di rivestimento, che svolge anche una essenziale funzione di isolamento acustico.

L’eccezionale entità dei carichi di copertura (complessivamente dell’ordine di quasi 1000 daN/mq), la necessità di superare “luci” libere rilevanti (sino a 54 m, nella “Sala 2700”), l’esigenza di assecondare la complessa geometria formale degli edifici, contenendo peraltro l’altezza di ingombro nei ristretti limiti urbanistici e architettonici disponibili hanno influito in misura determinante sia sulla configurazione degli elementi portanti e sul loro dimensionamento, che sul loro “passo”. Proprio in conseguenza della estrema variabilità geometrica di progetto, le 18 travi principali di copertura della “Sala 2700” risultano tutte di dimensioni diverse tra loro.

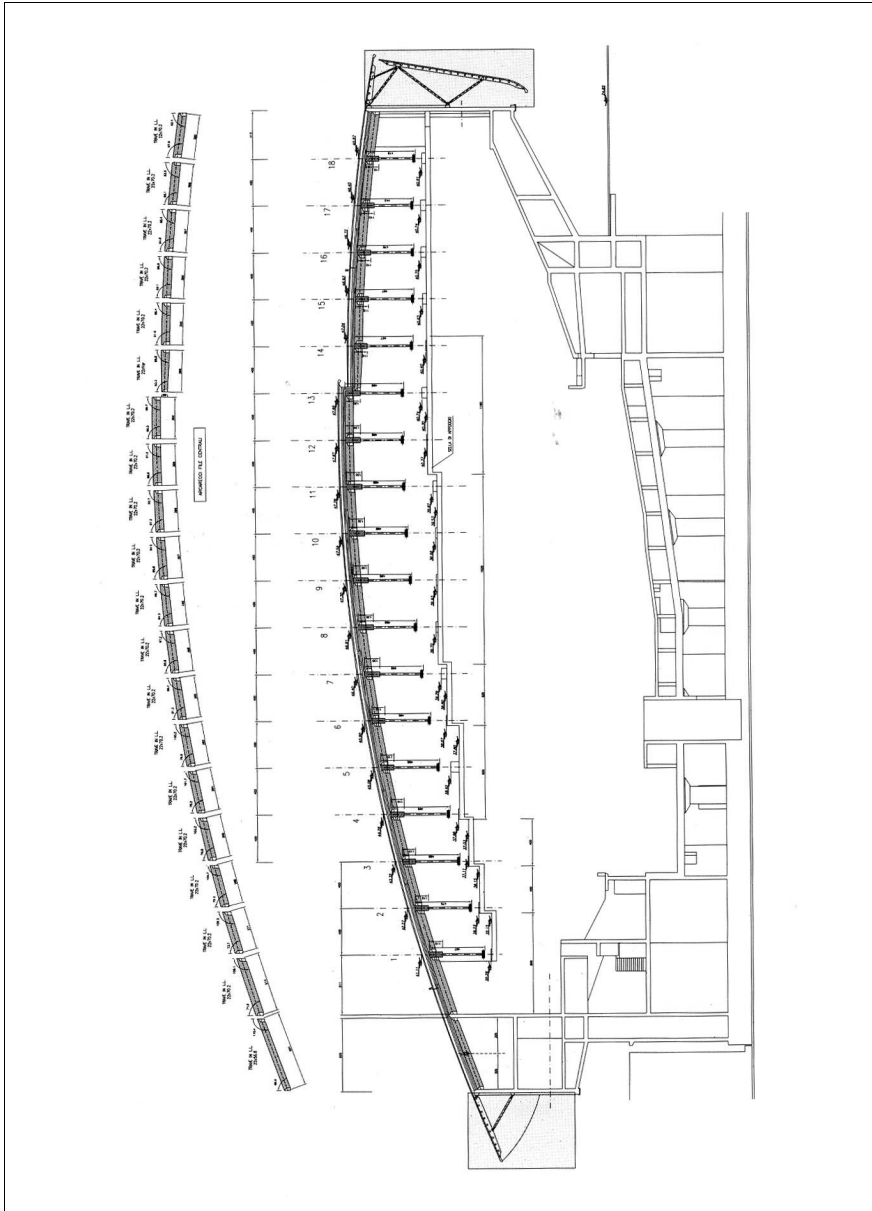


Fig. 18.5 - Sala 2700, sezione longitudinale mediana della copertura

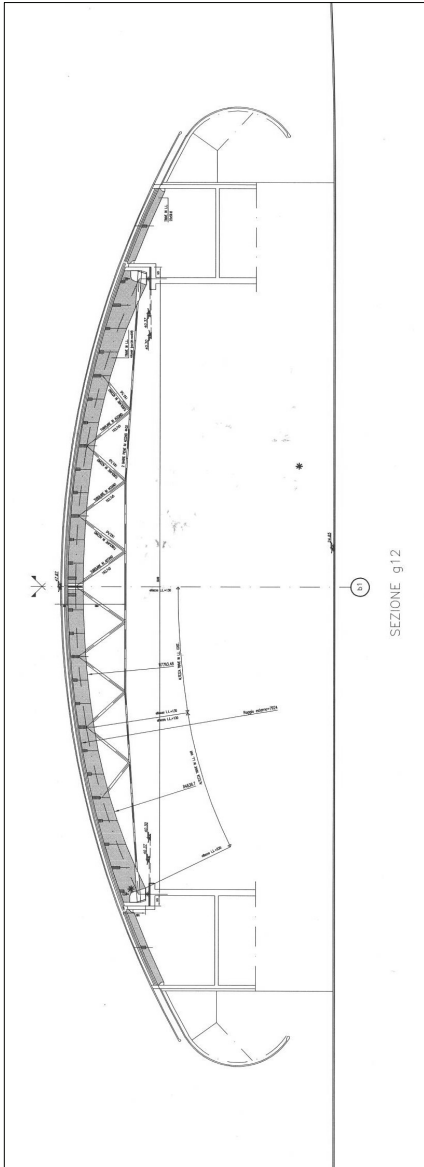


Fig. 18.6 - Sala 2700, schemi di tracciamento delle travi 11 e 12

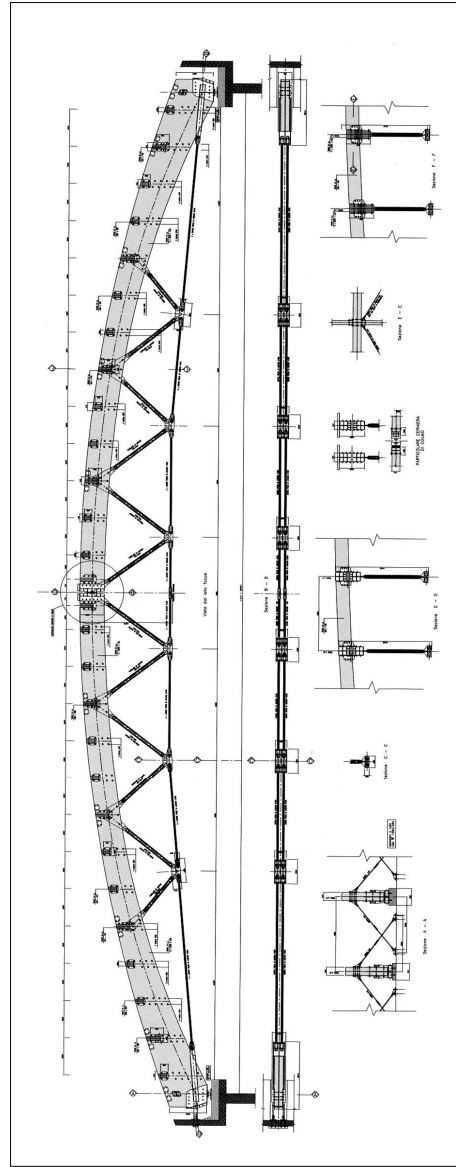


Fig. 18.7 - Sala 2700, carpenteria di una trave ad arco

Le travi principali (ad orditura trasversale) sono state, per tutte e tre le sale, concepite con una configurazione ad arco parzialmente reticolare, con corrente superiore in legno lamellare (l.l.) con aste di parete e catena in acciaio. Gli arcarecci (ad orditura longitudinale) sono costituiti invece da semplici travi in legno lamellare disposte su file parallele.

L'arco reticolare è a tre cerniere, con appoggi scorrevoli a rullo in acciaio, resi fissi ad una estremità con collegamento meccanico alla struttura perimetrale in c.a.. Si è evitato di utilizzare, per tali apparecchi, materiali sensibili al fuoco (tipo teflon o neoprene), eliminando la necessità di una loro periodica sostituzione. L'arco vero e proprio è costituito da due elementi in legno lamellare accoppiati "a spalla" a formare un'unica membratura, di altezza variabile in funzione delle esigenze geometriche e delle rilevanti sollecitazioni di calcolo. I due elementi sono solidarizzati con spinotti e/o bullonature "passanti".

Le aste di parete sono costituite da profili tubolari in acciaio, collegati a cerniera alle estremità. Le catene sono invece formate da coppie di barre piene di grande diametro (da  $\phi 76$  a  $\phi 100$ ), in acciaio speciale da bonifica 41Cr4, filettate per "rullatura" e connesse ai nodi con manicotti o dadi filettati di produzione non di serie.

La tipologia adottata conferisce solo un debole grado di iperstaticità interna alle travi principali, che manifestano - come dimostrato dall'analisi condotta su numerosi modelli spaziali di calcolo nelle diverse condizioni di sollecitazione, comprese quelle "estreme" di incendio - un comportamento sostanzialmente molto vicino a quello di archi reticolari isostatici a tre cerniere.

Le strutture sovrastanti gli spazi perimetrali interni delle sale sono composte da orditure di travi in legno lamellare - anch'esse a profilo curvo, per adeguarsi alla geometria della superficie di copertura - semplici (di base 22 cm) o doppie (di base 2 x 22 cm) in relazione alla misura delle luci da coprire.

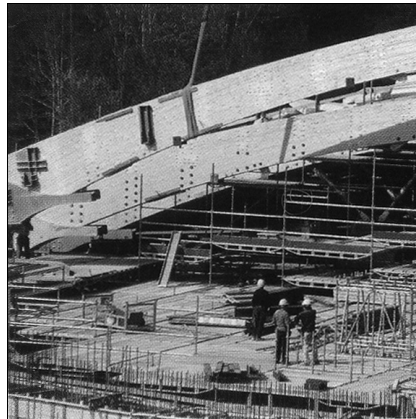


Fig. 18.8 - Fase di montaggio delle travi in legno lamellare

Nelle zone perimetrali esterne - aggettanti a sbalzo, a protezione delle scale metalliche sospese e delle uscite di emergenza - sono state utilizzate travi primarie a orditura radiale, disimpegnate, per motivi acustici, dalle corrispondenti travi ricadenti all'interno delle sale vere e proprie.

In queste zone le travi sono configurate "a ricciolo" e su di esse è direttamente sovrapposto il tavolato di rivestimento ed i relativi elementi di supporto.

La configurazione geometrica di tali elementi strutturali è straordinariamente complessa ed assume una suggestiva valenza architettonica, caratterizzando fortemente l'aspetto esterno delle sale.



Fig. 18.9 - Dettaglio dell'appoggio delle strutture lamellari

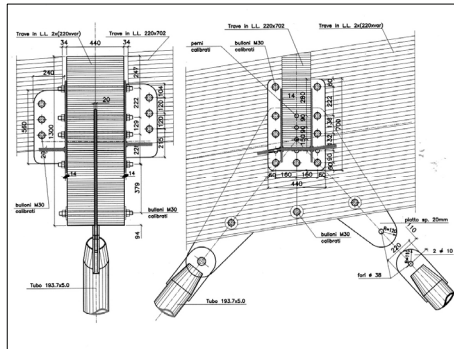


Fig. 18.10 - Sala 2700, particolari delle travi principali ad arco

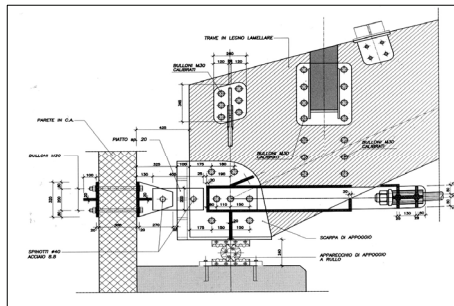


Fig. 18.11 - Sala 2700, particolare della scarpa di appoggio travi ad arco

Le travi principali ad arco sono dotate di un ulteriore sistema di controventamento (oltre quello reticolare di falda), realizzato mediante connessioni meccaniche con la sovrastante soletta portante in c.a.: detto sistema conferisce stabilità alla struttura anche in condizioni "estreme" di incendio, nell'ipotesi che le sollecitazioni termiche da questo indotte compromettano l'efficacia dell'altro irrigidimento di falda.



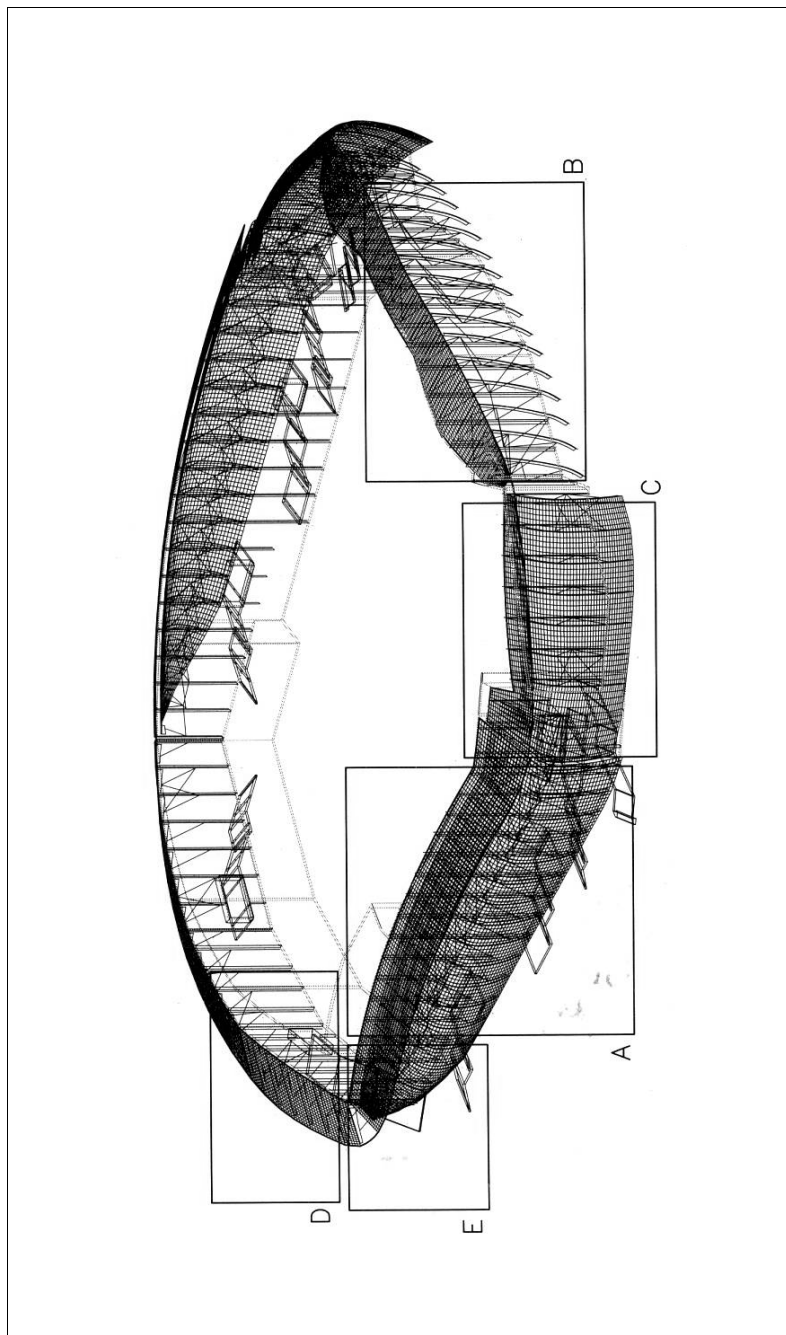


Fig. 18.12 - Sala 2700, geometria delle parti esterne della copertura

Entrambi i sistemi di controventamento sono organizzati in gruppi “autostabili” indipendenti, comprendenti generalmente tre travi adiacenti. Sulle travi di ciascun gruppo autostabile è stata prevista l’applicazione, in fase di montaggio, di una coazione (“precarica”) da disattivare gradualmente con l’applicazione dei rilevanti carichi permanenti. La precarica ha consentito il contenimento delle deformazioni complessive in fase di costruzione.

Tutte le strutture per le quali era richiesta una specifica ed intrinseca resistenza al fuoco, sono state dimensionate e configurate in conformità alle norme vigenti. Per le catene, le aste di parete e gli appoggi a rullo sono stati comunque utilizzati speciali rivestimenti, esenti da amianto, in grado, oltre che di assicurare la prescritta classe di resistenza al fuoco, anche di contenere l’incremento di temperatura degli elementi protetti nelle condizioni dell’incendio di progetto.

Le variazioni termiche, comunque sensibili, di detti elementi di acciaio – differenziali rispetto alle parti in legno, considerate “inerti” – sono state prese in considerazione nei modelli spaziali adottati per il calcolo delle sollecitazioni indotte dall’incendio nei gruppi autostabili di travi.

#### **18.4 L’auditorium di Roma: il metodo del percorso del carico**

---

Lo STM (*Strut and tie Model*), nato da un’idea di Hennebique, successivamente sviluppato da Ritter e Morsch, viene più recentemente proposto dalla Scuola di Stoccarda con un approccio di tipo globale al progetto delle strutture in c.a..

Oggi l’impiego dello STM va sempre più accreditandosi, tanto da cominciare ad essere inserito organicamente all’interno di normative tecniche di importante riferimento internazionale.

Il Metodo del Percorso del Carico (F. Palmisano, A. Vitone, C. Vitone, *From load path method to classical models of structural analysis*. Atti dell’ISEC-02 - International Structural Engineering and Construction Conference, Roma, 23-26 Settembre 2003) - proposto per tracciare quel modello del traliccio (STM) che si mostra sempre più utile per la analisi delle strutture in cemento armato – è nel contempo uno strumento semplice ed efficace di interpretazione del comportamento di una struttura.

La sua applicazione ad alcune opere del complesso dell’Auditorium di Roma mostra la possibilità di accedere, anche attraverso vie molto semplici, ad una lettura non solo intuitiva della correlazione fra forma e struttura, sino a percepire direttamente il rapporto fra dimensione geometrica e intensità degli sforzi.



### 18.4.1 Lo sbalzo verso la cavea della sala 1200

La fig. 18.13 mostra una foto del fronte a sbalzo verso la cavea della sala media (1200 posti), ad opera finita.

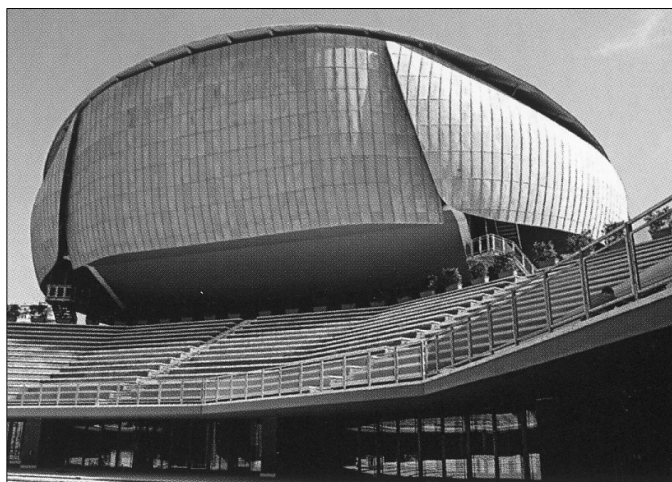


Fig. 18.13 - Sala 1200, il fronte a sbalzo verso la cavea

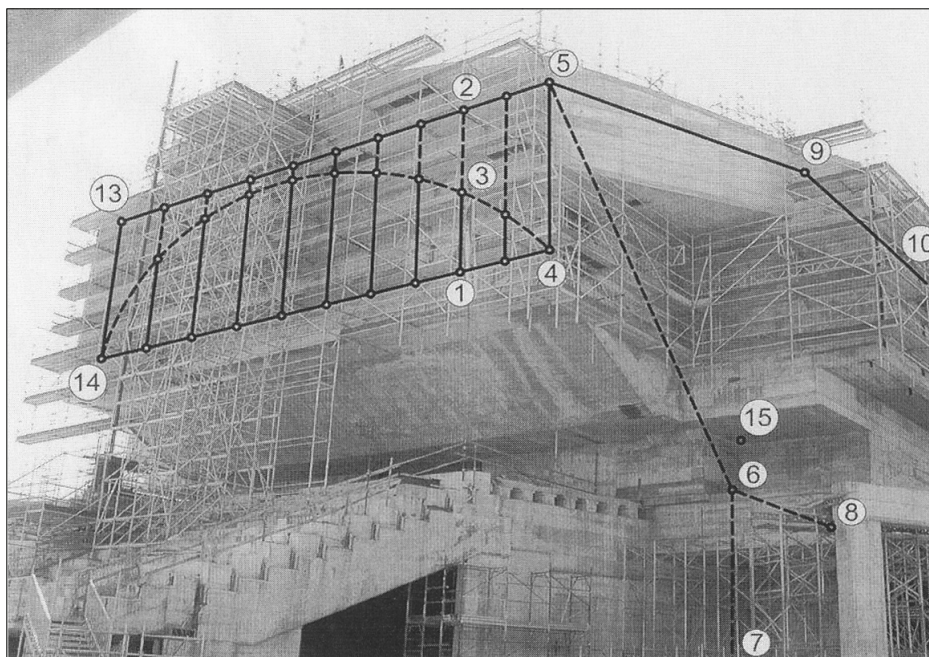


Fig. 18.14 - STM tracciato sulla facciata della Sala 1200

La fig. 18.14 rappresenta lo STM (Strut and Tie Model) tracciato sulla sola facciata esterna – che compare nella foto di fig. 18.13 - del fronte strutturale a sbalzo verso la cavea della sala 1200, prima del completamento con le opere murarie.

Secondo la impostazione classica del modello del traliccio, le aste sono soggette al solo sforzo normale. Infatti i nodi che le solidarizzano sono sconnessi alla rotazione, ed i carichi si ammette siano applicati solo ai suddetti nodi. Il simbolismo grafico adoperato consente di distinguere immediatamente le aste tese (a tratto intero) da quelle compresse (tratteggiate), e, quindi, di distinguere le linee principali di sviluppo delle barre di acciaio - che costituiscono l'armatura di pareti e solette in c.a.- dalle regioni in cui la funzione portante è invece affidata al calcestruzzo compresso.

Si riconosce immediatamente, attraverso un semplice confronto con la fig. 18.15 (che rappresenta il correlativo modello agli elementi finiti), che lo STM non è solo uno strumento di analisi, ma è anche un mezzo di rappresentazione grafica del comportamento strutturale di immediata percezione.

Il modello con elementi finiti (FEM) resta in effetti una pura rappresentazione geometrica che di per sé non può fornire alcuna informazione sulla statica dell'opera.

L'efficacia e la suggestione della immediatezza con cui lo STM propone la sua stessa geometria perché vi si legga anche la natura e persino l'intensità dell'impegno al quale la struttura è soggetta, risultano tuttavia notevolmente rafforzati se al disegno del modello del traliccio si perviene passo passo attraverso la sistematica applicazione del metodo del percorso del carico (LPM), come viene proposto dalle successive figg. 18.16, 18.17, 18.18, 18.19.

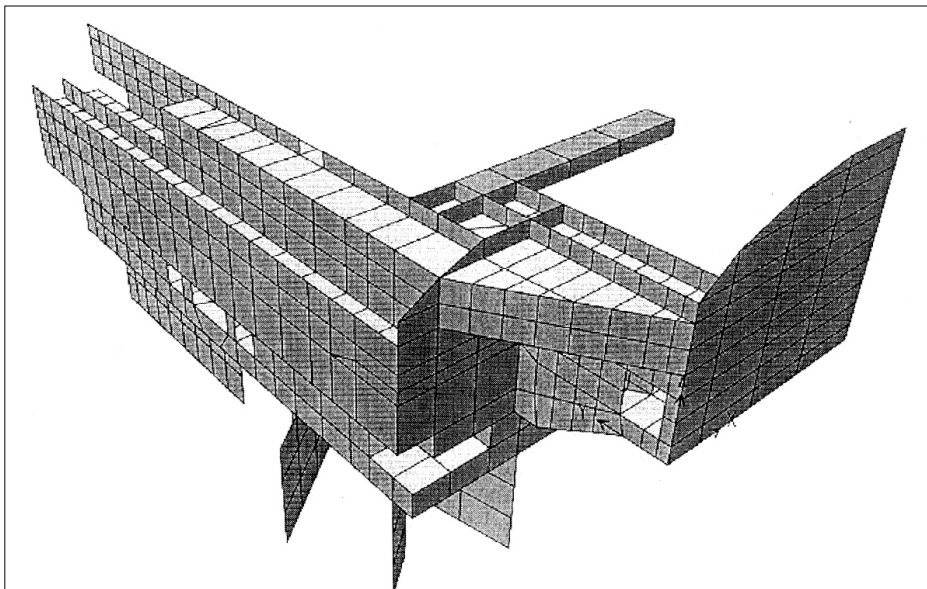
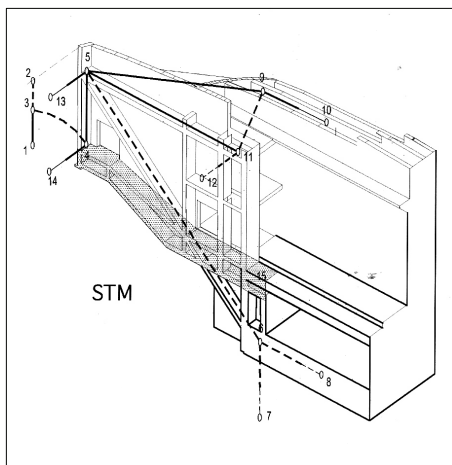
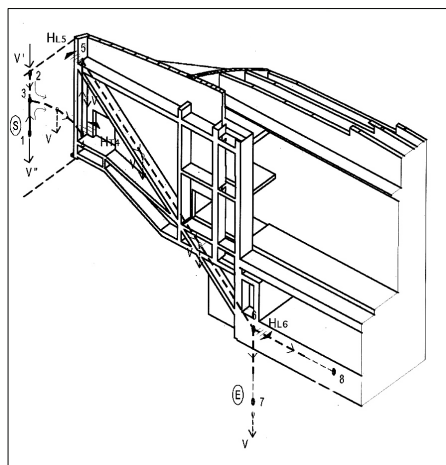


Fig. 18.15 - Modello agli elementi finiti della sala 1200



**Fig. 18.16** - STM tracciato sullo spaccato assometrico della sala 1200



**Fig. 18.17** - LP del carico verticale.  
 $V = V' + V''$

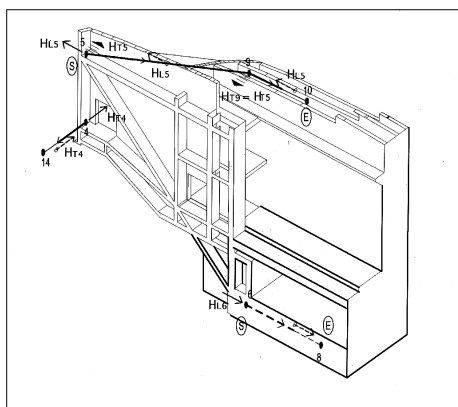
Criterio generale per la lettura di una struttura attraverso la sua forma, adoperando il LPM, è quello di distinguere preliminarmente gli itinerari dei carichi verticali propriamente detti, da quelli delle spinte impresse dai medesimi alla restante parte dell'opera, in corrispondenza dei nodi nei quali il vettore che porta il carico deve deviare il suo percorso.

Nei tre tipi di forze (vettore, carico e spinta), il cui significato fisico è peraltro di immediata percezione, e nelle fondamentali due leggi, dell'equilibrio e della congruenza, si esaurisce il semplice impianto del metodo, pur tanto versatile nelle pratiche applicazioni.

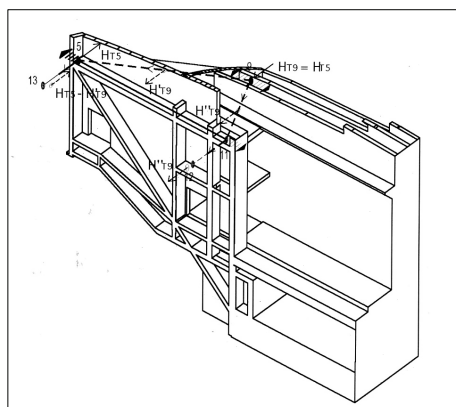
Come si è detto, la distinzione fra LP di V (itinerari dei carichi verticali) ed LP di H (itinerari delle spinte) è un momento essenziale per attribuire alle aste dello STM un correlativo semplice significato fisico, riconoscendovi un tratto di uno dei due suddetti percorsi.

Ma è anche uno strumento interessante di valutazione, sulla base di semplici considerazioni geometriche, della influenza che sulle scelte formali globali hanno avuto, da un lato, la necessità di liberare volumi dalle masse strutturali funzionali al trasporto dei carichi verticali, dall'altro, la necessità di inserire volumi funzionali alla canalizzazione delle spinte orizzontali esercitate dai carichi costretti a deviare.

Il tema proposto per il caso illustrato della sala 1200 è quello conseguente alla necessità di realizzare il grande corpo a sbalzo verso la cavea, che è illustrato dalle figg. 18.13 e 18.14. Secondo la chiave di lettura del LPM è come dire che l'intento funzionale del progettista è quello di liberare il volume sottostante la galleria da ingombri strutturali che sarebbero indispensabili se i carichi verticali corrispondenti ai pesi della suddetta galleria dovessero percorrere i loro naturali itinerari verticali, sino alle fondazioni.



**Fig. 18.18** - LP delle spinte orizzontali primarie



**Fig. 18.19** - LP delle spinte orizzontali secondarie

La fig. 18.17, riportando i soli itinerari dei carichi V (ed appena accennate le spinte impresse nei nodi di deviazione), mostra con chiarezza le regioni strutturali (e la loro forma) funzionali a questa specifica esigenza.

Si notino i percorsi di discesa, tutti compressi, e quelli di risalita, che al contrario risultano tutti tesi: i carichi della grande parete frontale in c.a., che dall'alto scendono (nodi 2-3) e dal basso risalgono (nodi 1-3) verso il flusso principale ad arco (3-4). E poi, ancora, la risalita (tirante 4-5) di tutti i carichi, per poi ridiscendere con il percorso obliquo del puntone fondamentale (nodi 5-6) verso l'itinerario finale, verticale, che li porta finalmente in fondazione (nodi 6-7).

L'elevatezza della quota massima raggiunta dai carichi (nodo 5), di decisiva rilevanza architettonica e formale, risulta anche immediatamente correlata alla esigenza dei carichi di sfruttare al massimo la geometria disponibile perché siano utilizzati percorsi finali di discesa verso le fondazioni che richiedano il minore investimento in energia di deformazione (attraverso itinerari 5-6 il meno possibile ribassati).

Le fig. 18.18 e 18.19, infine, sono esclusivamente dedicate al tracciato degli itinerari delle spinte orizzontali H, prodotte sia dalle deviazioni dei carichi verticali (spinte primarie: fig. 18.18), sia dalle deviazioni delle stesse spinte primarie (spinte secondarie: fig. 18.19). Si riconosce immediatamente che la forma e le caratteristiche scatolari dell'opera risultano fondamentali proprio ai fini dello sviluppo di queste traiettorie orizzontali delle spinte, che assumono, lungo l'intero perimetro, ed ai lembi superiori della sala, spiccate caratteristiche di percorsi di trazione. Così come appare evidente la stretta correlazione fra il comportamento strutturale descritto e la corrispondente programmazione delle fasi esecutive di getto e di maturazione graduale dell'opera.

### 18.4.2 La tribuna della cavea

Un altro esempio, forse insospettabile, di integrazione forma-struttura è rappresentato dalla cavea dell'Auditorium di Roma.

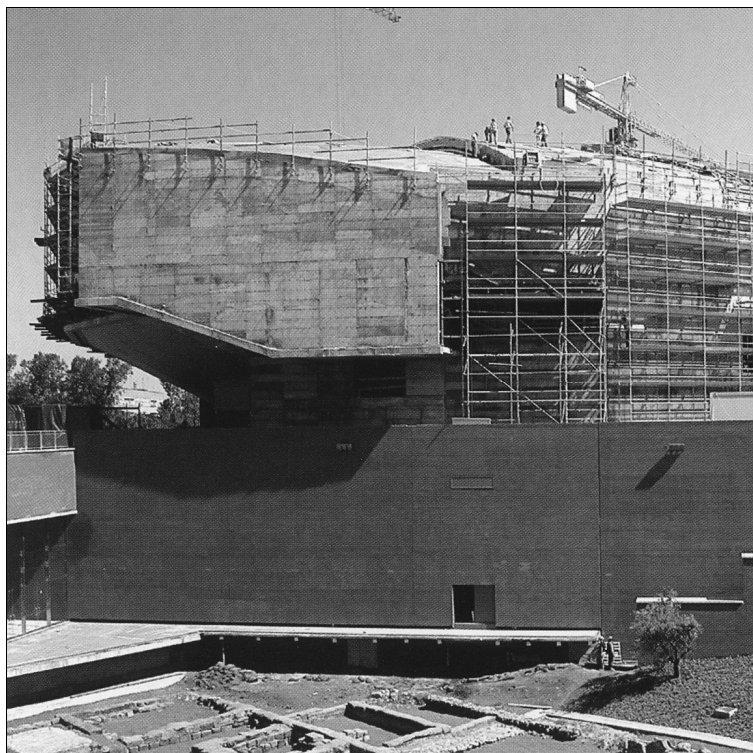


Fig. 18.20 - Vista dello sbalzo della Sala 2700

La tribuna della cavea si sviluppa lungo un settore circolare nel cui centro si può riconoscere il punto di convergenza virtuale (“focus”) di tutta l’opera. Al foyer, sottostante la tribuna scoperta, è affidato il compito della integrazione funzionale delle tre sale. Questa sensazione di unitarietà è certamente accentuata dalla particolare concezione strutturale, a sbalzo in direzione radiale, che lascia tutto il fronte anulare del foyer completamente libero da qualsiasi soluzione di continuità (fig. 18.13). Come si mostrerà in seguito, la “leggerezza” della soluzione è una conseguenza di una ricerca mirata ad utilizzare le risorse di resistenza insite nella forma, nella geometria strutturale della tribuna.

L’aspetto strutturalmente più impegnativo è rappresentato dalla estremità a sbalzo, contrassegnata con i nodi 0-1-2-3 (fig. 18.21).



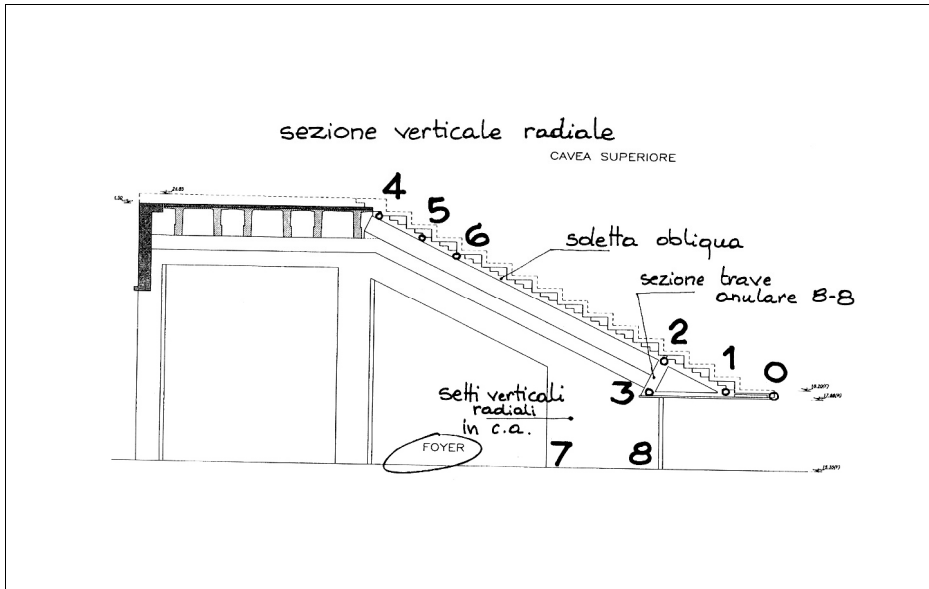


Fig. 18.21 - Sezione verticale radiale del foyer

La trave anulare, la cui sezione trasversale rettangolare, fra i nodi 2-3, è inclinata rispetto alla verticale, appare infatti del tutto inadeguata in considerazione della rilevante luce, fra i due setti verticali radiali in c.a. (7/8-7/8: si veda la fig. 18.25). L'impegno al quale sarebbe chiamata la trave, qualora si trascurasse di attivare le risorse di resistenza di cui pure la tribuna è dotata "per forma", sarebbe poi di molto aggravato dalla circostanza che il carico complessivo agente - peso proprio e accidentali - su tutta la regione 0-1-2-3 è non solo di per sé elevato ma anche eccentrico rispetto alla trave.

La rilevanza del carico e della eccentricità, a loro volta, rappresentano una conseguenza inevitabile dell'intento progettuale di accentuare l'effetto "a sbalzo". Sono infiniti gli STM possibili (e cioè equilibrati): la ricerca (utilizzando il *Load Path Method*) della "congruenza", e cioè del minor investimento possibile in energia di deformazione, si identifica con quella della soluzione che assicura al meglio l'utilizzazione delle risorse di resistenza disponibili per effetto della geometria funzionale propria dell'opera. Come mostra la fig. 18.22, la soluzione del problema consiste, dunque, nel tracciare i percorsi dei due carichi  $V_1$ ,  $V_2$  e della spinta  $O_1$ , oltre a quelli delle spinte da loro impresse (in corrispondenza dei nodi ove tali percorsi vengono "deviati"): si deve scegliere, fra le infinite possibilità disponibili, quella di cui si possa apprezzare la modesta entità della energia di deformazione investita.

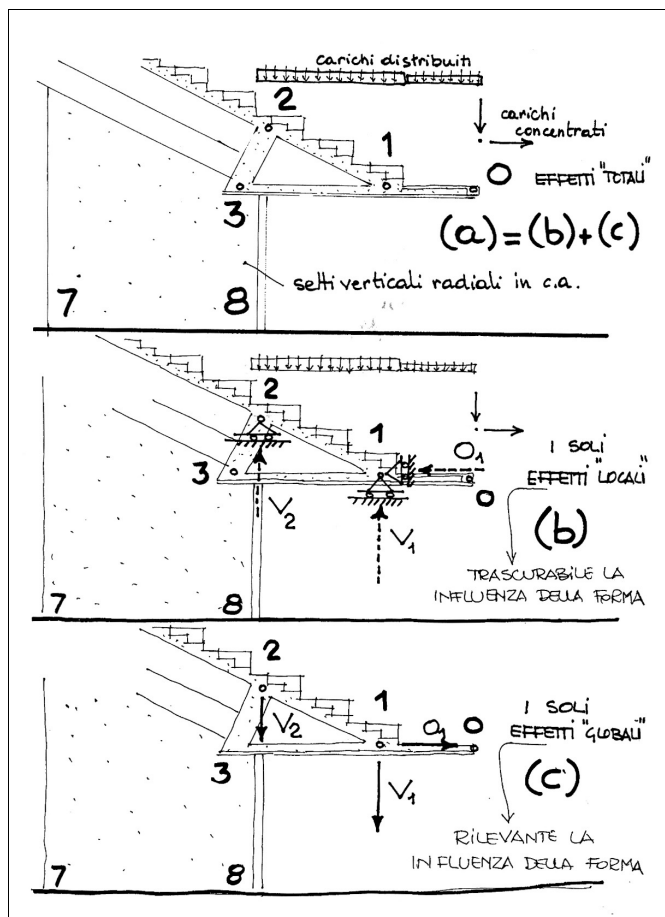


Fig. 18.22 - Dettaglio della parte a sbalzo della tribuna

Sotto il profilo metodologico giova sempre, applicando il LPM, distinguere ed analizzare separatamente l'itinerario dei carichi da quello delle spinte. È un criterio che del resto si mostra particolarmente utile quando, analizzando la forma di un'opera, si vuole non solo riconoscere la misura in cui essa aderisce alla concezione strutturale, ma anche distinguere l'influenza che su di essa può avere avuto la scelta adottata per i percorsi dei due tipi di azioni (verticale ed orizzontale: carichi e spinte).

Nel caso in esame i carichi  $V_1$  e  $V_2$  (fig. 18.23) guadagnano la quota più elevata disponibile, proprio alla ricerca della massima economia in energia di deformazione. Infatti solo partendo dalla sommità i due carichi possono ridiscendere verso i setti portanti verticali in c.a. (che costituiscono la stazione di "destinazione") utilizzando gli itinerari (ad arco: fig. 18.25) meno dissipativi, che sono appunto quelli più "rialzati".

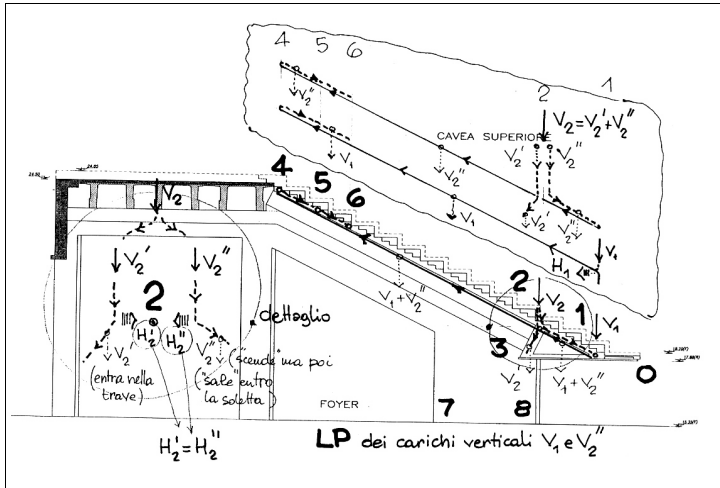


Fig. 18.23 - LP dei carichi  $V_1$  e  $V_2$

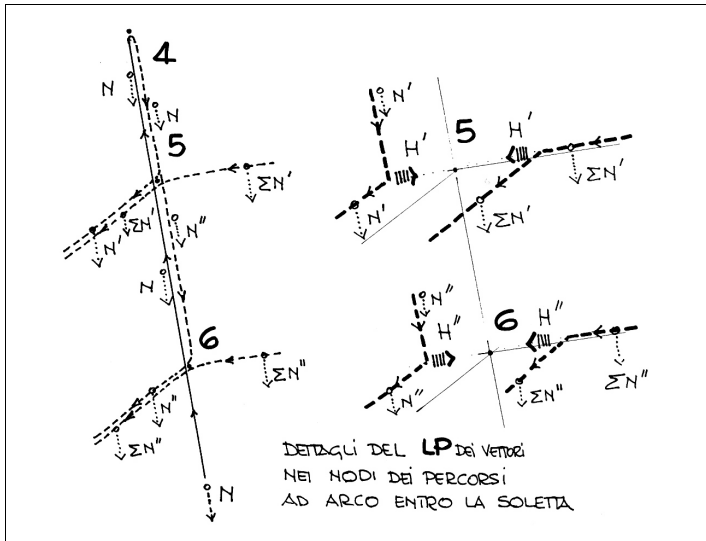


Fig. 18.24 - Dettaglio del LP dei vettori nei nodi dei percorsi ad arco entro la soletta



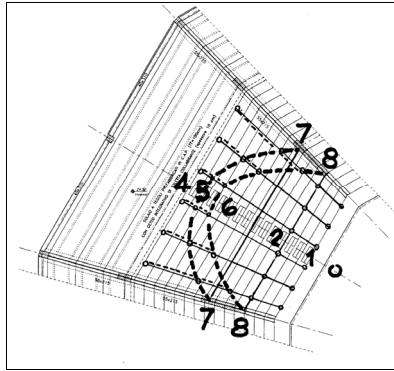


Fig. 18.25 - STM nella soletta

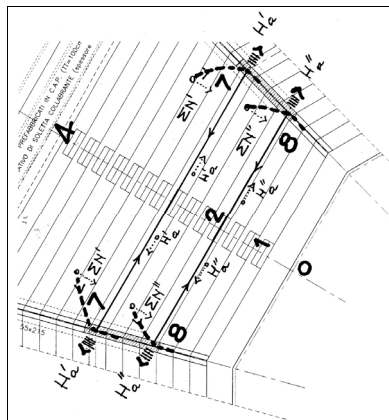


Fig. 18.26 - LP delle spinte anulari

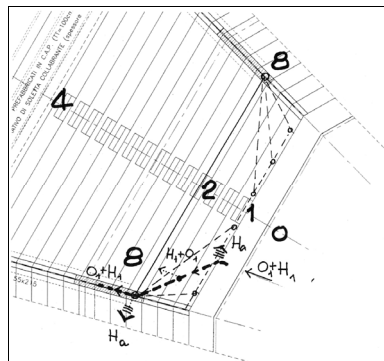


Fig. 18.27 - LP delle spinte orizzontali radiali

La fig. 18.25 mostra il modello del traliccio (STM) relativo alla soletta obliqua della gradonata. Le figg. 18.24 e 18.26 mostrano dettagli del LP. Si noti (fig. 18.24) l'effetto della solidarietà nei nodi, a proposito della correlazione fra forma e statica: i carichi provenienti da monte deviano (tracciando così il profilo dell'arco) quanto basta per imprimere la spinta sufficiente ad equilibrare quella che il carico esercita per deviare a sua volta ed entrare nel flusso dell'arco che si dirige verso le estremità vincolate.

La fig. 18.27, infine, illustra STM e LP parziale della spinta  $H_1$  esercitata dal carico  $V_1$ , per deviare lungo la risalita 0-4 (fig.18.23). Il modello mostra chiaramente che il ballatoio orizzontale alla estremità inferiore viene utilizzato come lastra-trave, capace di portare ai setti radiali anche le spinte orizzontali ( $O_1+H_1$ ).

## 18.5 Conclusioni

L'analisi delle caratteristiche tecniche strutturali dell'Auditorium di Roma, attraverso la descrizione di alcune sue parti (dalle fondazioni, alle strutture in elevazione in c.a., alle coperture in legno lamellare), è una occasione di riflessione per apprezzare l'integrazione fra i valori estetici della forma ed i contenuti prestazionali della struttura che in quella forma si esprime. Lo strumento di indagine prescelto è lo STM (*Strut and Tie Model*), ed il metodo proposto per disegnarlo è il LPM (*Load Path Method*).

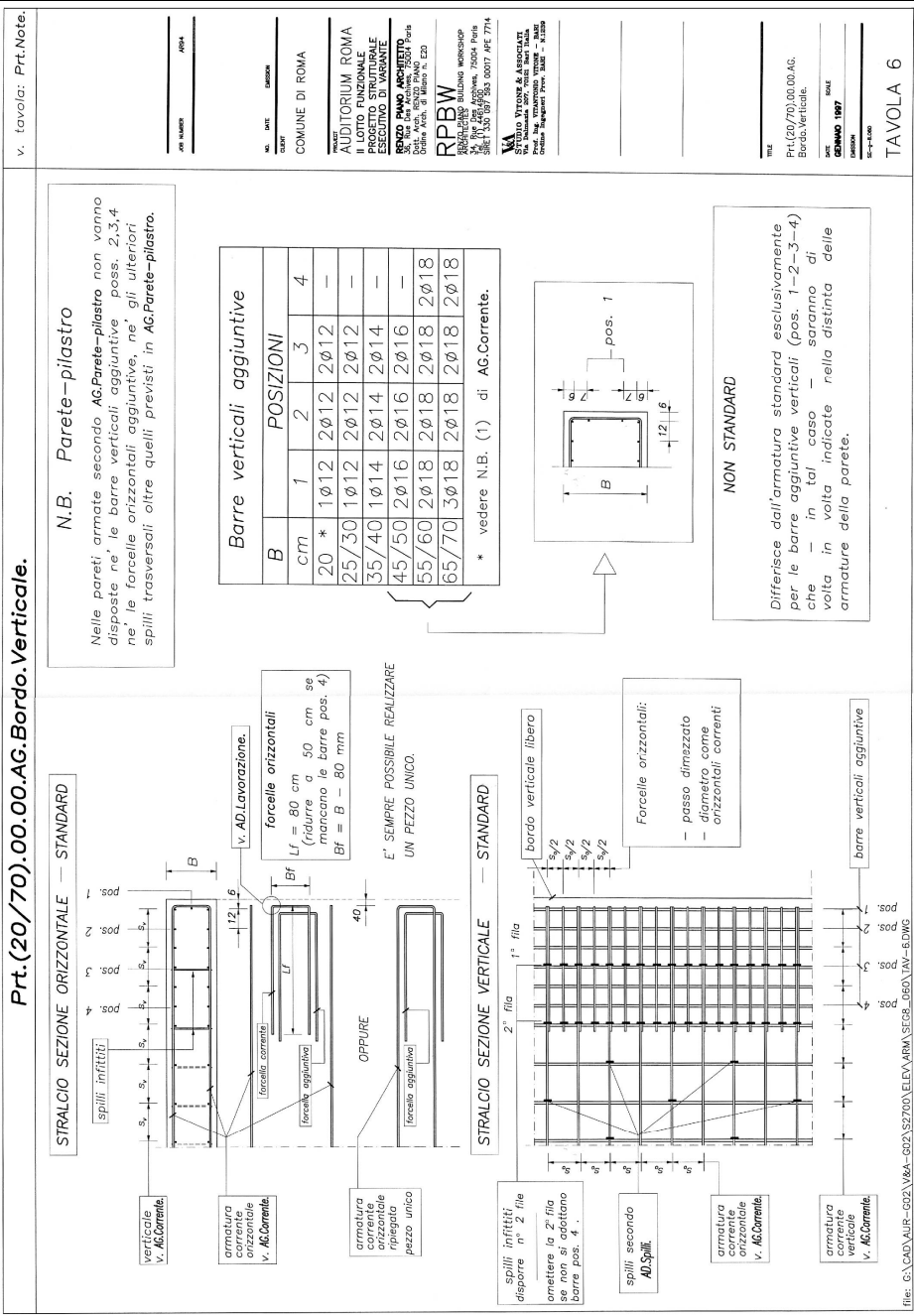
L'efficacia del metodo dipende naturalmente dalla misura in cui il modello – anche grazie ad una adeguata organizzazione “geometrica” delle sue aste – aderisce all'effettiva configurazione della struttura. Riveste, dunque, particolare interesse, in questa prospettiva, la ricerca (oggi in atto) di strumenti che rendano meno empirica la scelta del disegno del modello.

Il LPM (*Load Path Method*), come si è detto, è stato proposto come metodo per disegnare lo STM.

Nel paragrafo sul corpo a sbalzo della Sala 1200 sono riportati alcuni esempi di applicazione. Si costruisce lo STM passo passo, attraverso l'attribuzione di un preciso significato fisico a ciascuna delle aste del traliccio al quale è assimilata la struttura principale in c.a.

Il flusso del percorso dei carichi (LPM) non rappresenta dunque solo un disegno suggestivo del comportamento della struttura, ma anche un efficace e chiaro strumento di indagine e di giudizio.

L'organica e sistematica applicazione dello LPM sembra aprire nuove prospettive nella ricerca di un linguaggio comune all'ingegnere ed all'architetto, perché - in unico disegno - si possano esprimere in armonia gli aspetti formali, estetici, funzionali e strutturali dell'opera.



v. tavola: Prt.Note.

APPALTO

AG. NOME

AG. DIR. CAPOFILA

COMUNE DI ROMA

PROGETTO AUDITORIUM ROMA

PROGETTO STRUTTURALE

ESECUTIVO DI VARIANTE

**RENZO PIANO ARCHITETTO**

VIA MONTENAPOLEONE, 10000 ROMA

TEL. 06/4782100

06/4782100

**RPBW**

RENDERING STUDIO WORKSHOP

VIA MONTENAPOLEONE, 10000 ROMA

TEL. 06/4782100

06/4782100

**MA**

MARCONI ARCHITETTI ASSOCIATI

VIA MONTENAPOLEONE, 10000 ROMA

TEL. 06/4782100

06/4782100

DATE: **GIUGNO 1997**

SCALE

SP-1-1/20

**TAVOLA 6**

Fig. 18.28

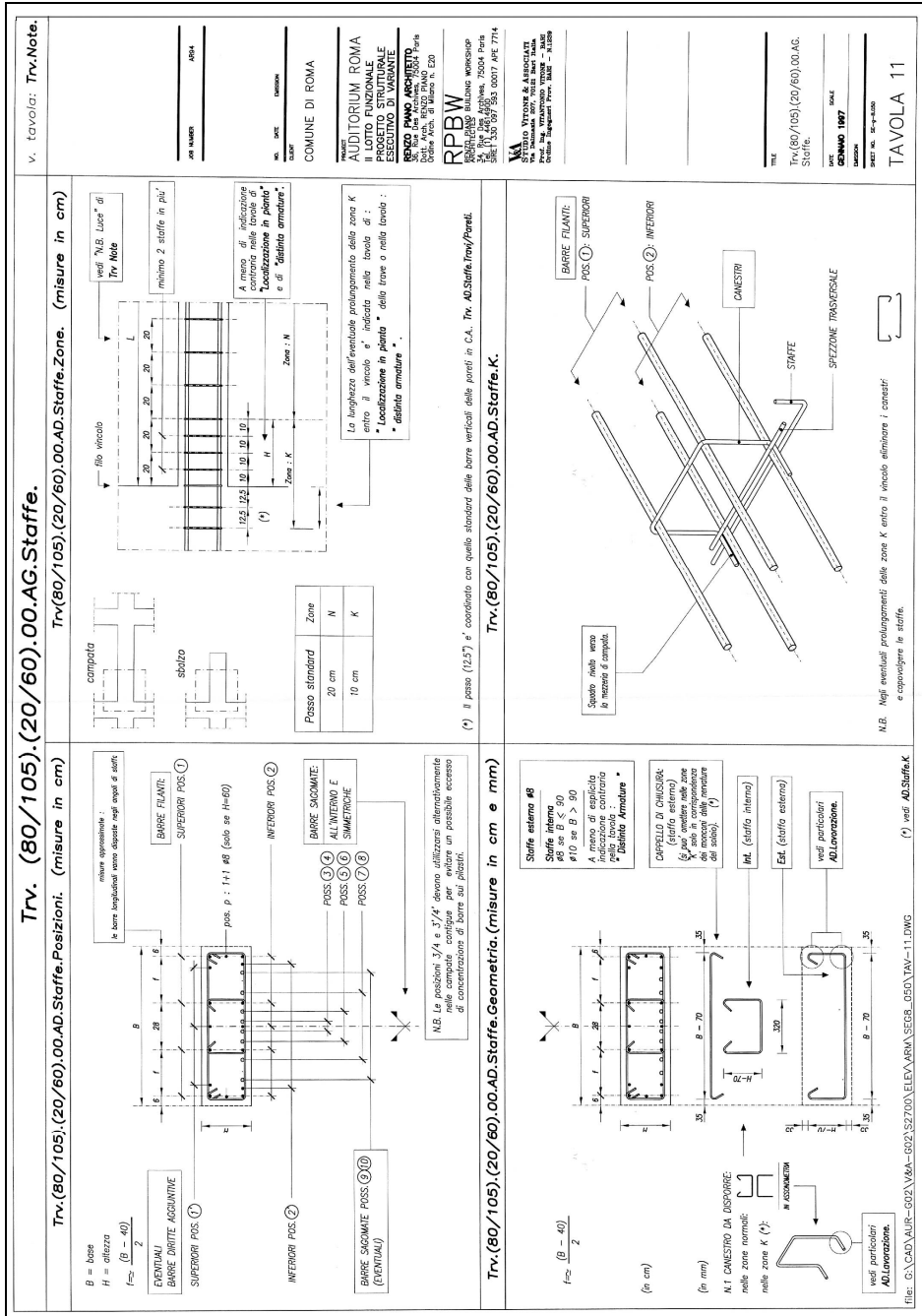


Fig. 18.29

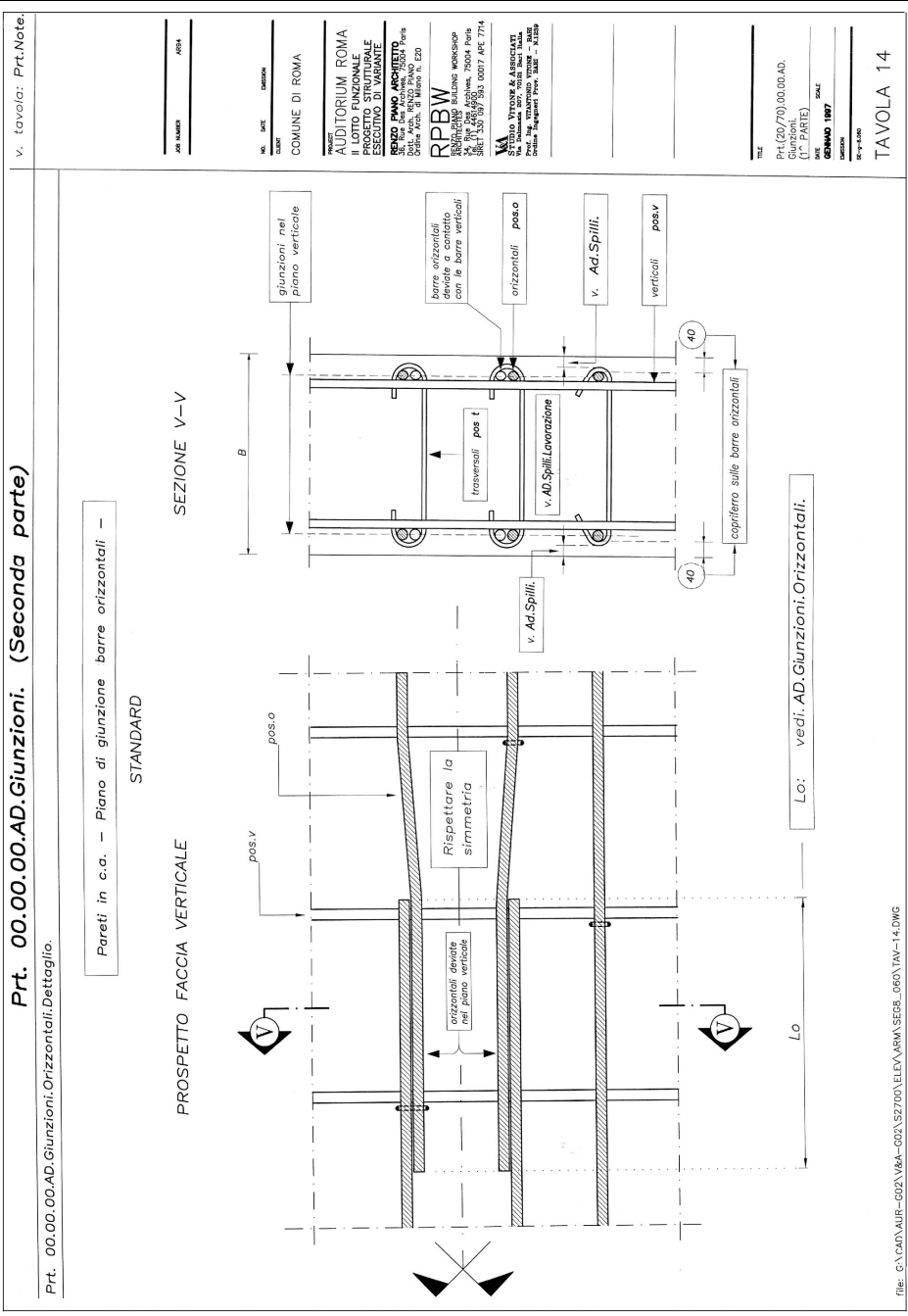


Fig. 18.30

File: C:\CAD\AUR-CO2\W&A-CO2\S270D\ELEV\ARMA SEGS\_0RD\TAV-14.DWG

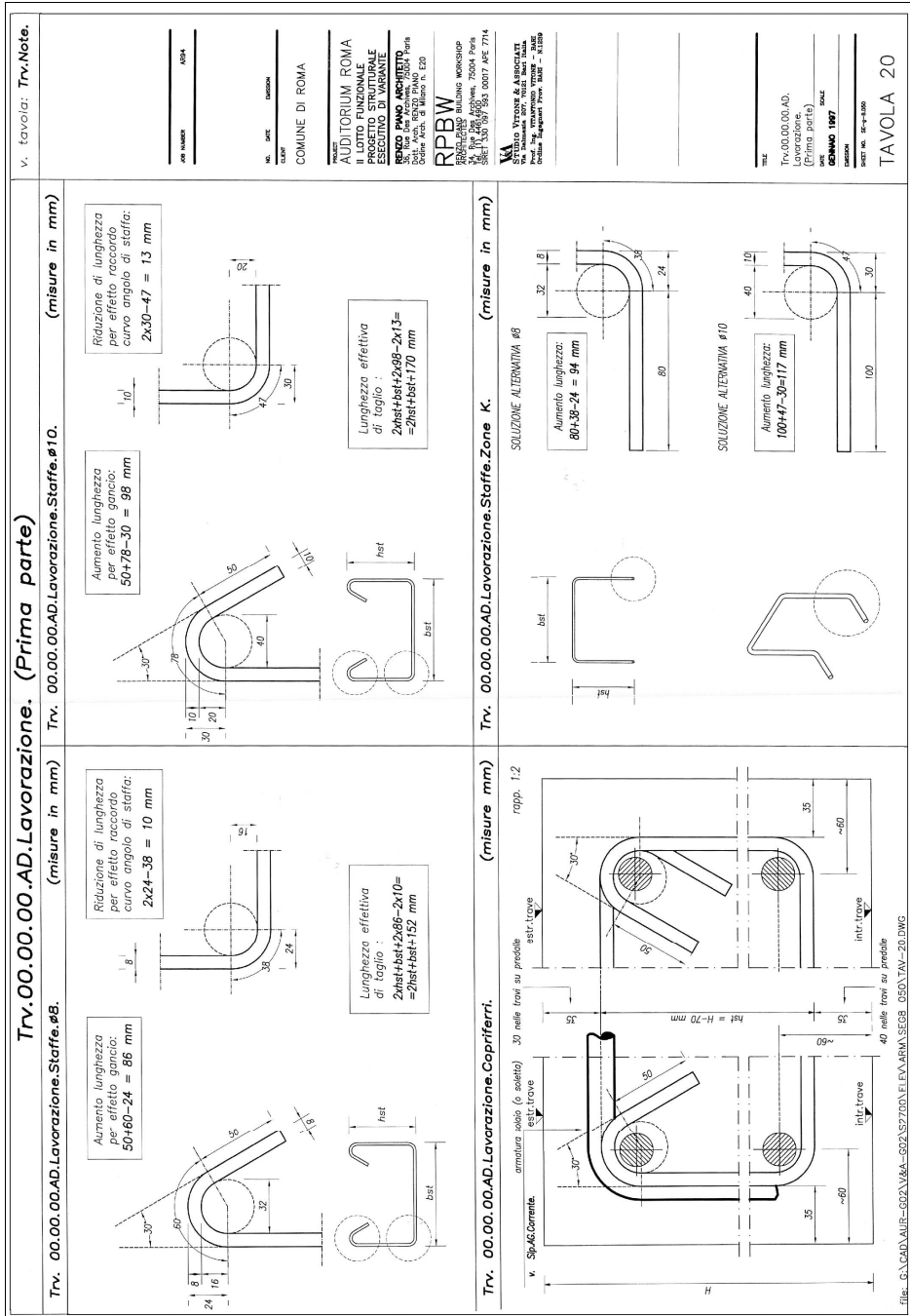


Fig. 18.31

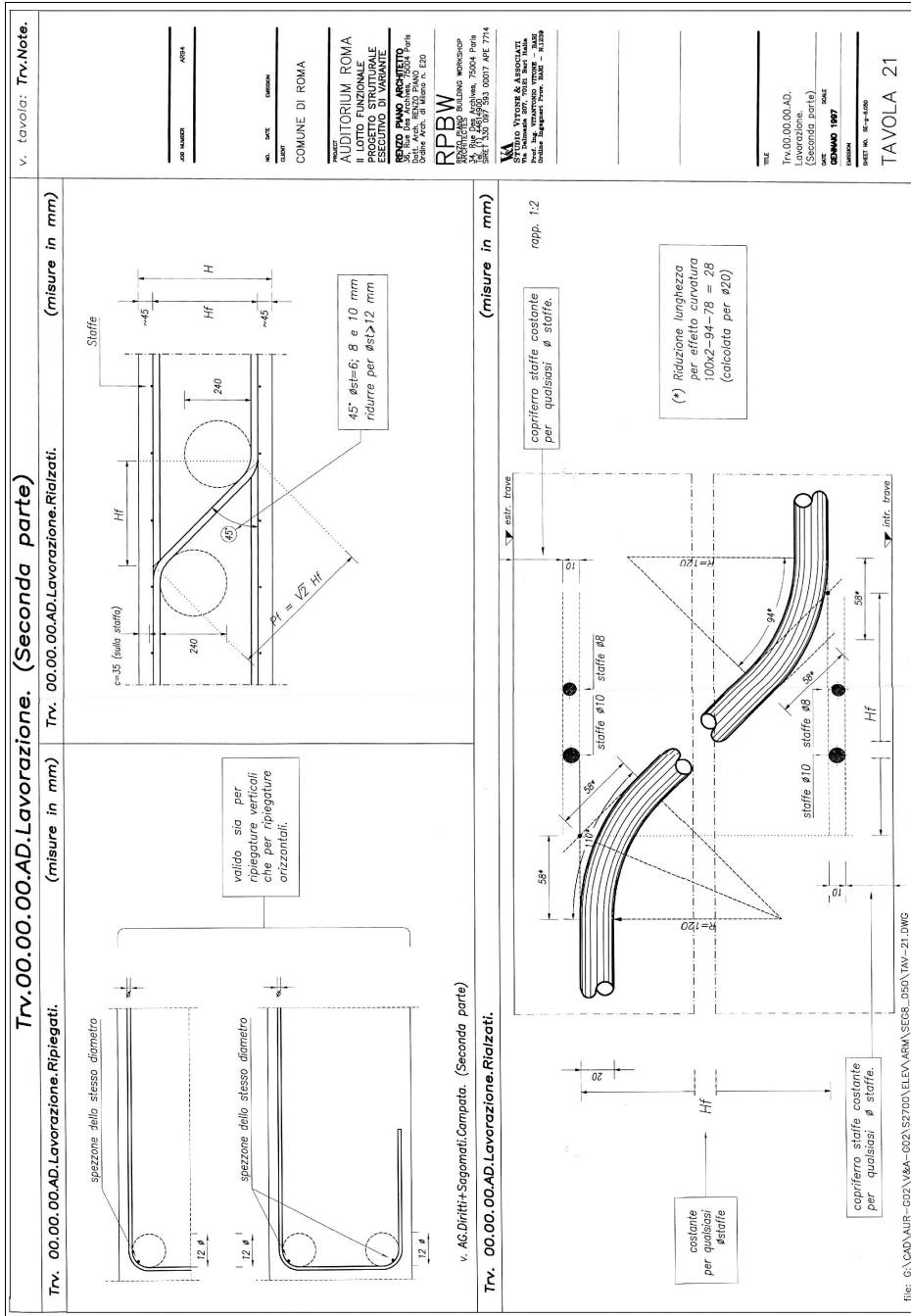


Fig. 18.32