

Carlo Baggio,

Dipartimento Ingegneria Strutturale e Geotecnica

Università "La Sapienza", Roma,

APPLICAZIONE DEL TITANIO NEL RESTAURO STATICO DELLA COLONNA  
ANTONINA IN ROMA

Nel corso dei lavori di restauro delle superfici lapidee delle Colonne Coclidi in Roma, la visione ravvicinata dei rocchi dal ponteggio e il loro quadro d'insieme fornito dall'attuale rilievo hanno messo in luce una complessità di progetto e alcune problematiche strutturali poco approfondite dagli studi fino ad oggi intrapresi. Tale trascuratezza è forse da imputare nell'interesse che sempre esercita sull'osservatore il nastro figurato spiraliforme scolpito sul fusto dei due monumenti. Alla luce delle nuove osservazioni la Soprintendenza Archeologica di Roma ha affidato, nel maggio 1986, a tecnici del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica dell'Università "La Sapienza" (1), la valutazione della sicurezza sismica della Colonna Traiana e della Colonna Antonina e lo studio degli interventi di restauro statico resi necessari dallo stato di degrado di alcune delle strutture lapidee.

Le due colonne, la prima presso Piazza Venezia e la seconda in Piazza Colonna, si presentavano con problemi analoghi ma con quadri fessurativi sostanzialmente diversi: i terremoti passati, in special modo quello del 1349, lasciarono evidenti segni nella Colonna Antonina: i pesanti rocchi, svuotati

---

Coautore:

Fabio Ortolani, Università "La Sapienza"

all'interno per la presenza della scala a chiocciola, appaiono ruotati e traslati. Danni della stessa natura sono presenti, ma in modo meno evidente, nella Colonna Traiana. L'esame dei quadri fessurativi ha evidenziato che gli spostamenti interessarono principalmente i rocchi che avevano già perso l'originale monoliticità a causa di fattori legati sia alla struttura intrinseca della pietra sia a cause accidentali esterne come, ad esempio, i fulmini (2).

La Colonna Antonina si presentava a metà del sec. XVI in condizioni che facevano temere per la sua stessa stabilità tanto da far dichiarare a Domenico Fontana, incaricato dal Papa Sisto V di restaurare le colonne, che essa " ... stava per ruinare ... ". Nei disegni eseguiti nella prima metà del '500 è ritratto l'ampio squarcio a 3/4 del fusto e una lacuna dell'abaco del capitello, evidente nel disegno del Dosio (Fig. 1), la cui rottura fu forse causata dalla caduta della statua di Marc'Aurelio. Il Fontana risarciva il fusto con tasselli e grappe. Nei lavori, completati nel 1590, l'architetto erigeva le statue di S. Pietro e S. Paolo sugli attici delle Colonne. Rimodellava lo stilobate di base dell'Antonina, adattandolo all'interro di circa 6 metri (3) subito dalla colonna nei secoli successivi la sua erezione, votata nel 175 d.C., e ne reintegrava il capitello (Fig. 2) ricostruendo l'angolo con i marmi cavati dal Settizonio.

Già dai primi sopralluoghi da noi eseguiti la presenza di lesioni in evoluzione in questi elementi d'angolo destò alcune preoccupazioni per la sua stabilità. L'analisi del quadro fessurativo evidenziò che le nuove lesioni avevano parzializzato gli inserti di marmo messi in opera nel 1590 alterando l'originario schema statico ideato da Fontana. Le rotture della pietra si erano innescate proprio in corrispondenza delle grappe metalliche poste in opera tra i blocchi. Tra le cause potevano addursi sia i fenomeni di

dilatazione termica sia il rigonfiamento del metallo ossidato. Analoghi problemi di contatto tra marmo e inserti metallici erano riscontrabili alla Traiana. Qui i montanti della ringhiera infissi nel marmo avevano espulso i 4 angoli del capitello. Era evidente che le originali sigillature in piombo non erano state in grado nel corso dei secoli di preservare le sedi delle grappe dall'umidità e di assorbire le deformazioni del metallo durante le escursioni termiche. Tali inconvenienti hanno consigliato la sostituzione degli elementi metallici con altri in titanio e il ricorso allo stesso metallo per la realizzazione delle nuove strutture di sostegno. I vantaggi sono costituiti dalle caratteristiche di inalterabilità del titanio unitamente al suo coefficiente di dilatazione termica pressoché simile al marmo ( $\alpha = 8,64 \times 10^{-6} \cong 7 \times 10^{-6}$ ) che rendono meno traumatico il contatto tra i due materiali.

Una precedente esperienza di cui si era a conoscenza nell'applicazione di questo metallo su monumenti, era costituita dalla messa in opera in Grecia di grappe di titanio sull'Eretteo e sul Partenone. Le nuove grappe sostituivano quelle in acciaio, messe in opera nella prima metà di questo secolo dal Balanos (4), intaccate in pochi anni dall'atmosfera inquinata di Atene.

Per la Colonna Antonina l'uso del titanio presentava maggiori incognite per le maggiori dimensioni degli elementi necessari per realizzare la carpenteria metallica della struttura di sostegno dell'angolo ricostruito del capitello. La sua progettazione ha preso avvio dalle ipotesi circa i criteri statici usati dal Fontana nella reintegrazione e sulla conformazione dei blocchi utilizzati. Una prima restituzione grafica fu eseguita in base alle linee di discontinuità visibili dall'esterno. Risultò che la lacuna venne reintegrata ponendo in opera tre grandi elementi marmorei. Il primo, a livello della fascia degli ovoli, è un cuneo incastrato a tutto

spessore nel fusto fino al vano scala. La parte aggettante, che ricostruisce due ovoli completi, funge da appoggio ai due blocchi sovrastanti. Questi ultimi, affiancati all'incirca secondo la diagonale del capitello, ricostituiscono la parte mancante dell'abaco. I due blocchi trovano sostegno, oltre che sulla mensola sottostante, su seggiole di appoggio scavate nel marmo antico pressoché in corrispondenza degli assi del capitello. La parte aggettante dei due blocchi risultava svuotata superiormente e riempita da un massetto. Il lavoro di scalpellino per eseguire questo scavo risultò contabilizzato nel libro delle spese del cantiere (5) e quindi fu possibile valutarne a priori l'approfondimento. Nell'ipotesi di calcolo statico seguito dal Fontana l'alleggerimento delle estremità doveva servire a far cadere il baricentro degli inserti sulle seggiole d'appoggio. Inoltre la loro conformazione a coda di rondine impediva il ribaltamento delle mensole nelle delicate fasi di montaggio. Una serie di grappe metalliche aveva la funzione di semplice collegamento tra i vari conci dopo la loro posa in opera. L'originale integrità della pietra era infatti sufficiente a garantire la stabilità dell'angolo. La perdita di monoliticità dei mensoloni costituiva quindi una minaccia alla sicurezza dell'organismo strutturale ideato dal Fontana. Fu subito evidente la necessità di sostenere l'estremità, aggettante dagli ovoli, dei mensoloni superiori. Il progetto si orientò subito verso una struttura metallica a sbalzo dal fusto che, contenuta nel vuoto di alleggerimento superiore, agganciasse l'intradosso dell'abaco, in corrispondenza della bisettrice dell'angolo, impedendone così gli eventuali cinematismi di collasso.

La verifica della fattibilità del progetto richiedeva lo svuotamento dell'angolo e la rimozione di alcune grappe. Solo la conoscenza esatta delle soluzioni di continuità celate dal riempimento rendeva possibile la progettazione esecutiva della mensola in titanio e degli apparecchi di vincolo.

Tali operazioni richiesero la preventiva posa in opera di una struttura provvisoria di sostegno realizzata in acciaio zincato (Fig. 3). Ad un ottagono stretto alla base del peduccio della statua di S. Paolo venne agganciato, mediante un sistema di tiranti e puntoni, un traverso inferiore su cui era stato fatto poggiare, mediante martinetti a vite, l'intradosso dei mensoloni lapidei aggettanti dagli ovoli.

Si è quindi proceduto allo scavo del riempimento in malta pozzolanica dell'angolo, e alla rimozione della grappa obliqua che univa all'interno i due mensoloni e di quella esterna d'angolo. La rimozione delle grappe, causa delle lesioni più importanti visibili sui lati dell'abaco, ha permesso il riposizionamento dei vari frammenti e la bonifica della pietra mediante la cucitura delle soluzioni di continuità con resine e perni in ottone.

Sulla base del nuovo rilievo, che ha confermato le ipotesi formulate in precedenza, si è proceduto alla definizione della struttura definitiva.

L'apparecchio di sostegno individua una mensola vincolata mediante una cerniera in compressione ed un tirante, poi caricata da forze concentrate trasmesse da 4 pendoli. Il carico complessivo è stato valutato intorno alle 4 t, agenti con un braccio di circa 1 m dalla cerniera di appoggio.

La nuova struttura in titanio risulta essere composta da 3 pezzi principali: la mensola, la barra passante, e il capochiave interno alla scala. Forma e dimensioni sono state determinate più dalla disponibilità del titanio e dalle possibili lavorazioni che non dai risultati delle verifiche delle sezioni.

La mensola ( $l=1580$  mm,  $h=400$  mm) (Fig. 4) è stata ricavata da una lastra  $2000 \times 1000$  mm, di spessore 20 mm. La forma rastremata

è stata dettata dalla necessità di ricavare dalla stessa lastra i pezzi necessari per realizzare il tacco di appoggio inferiore.

La barra (Fig. 5) è stata ottenuta dalla tornitura di un tondo  $\varnothing$  57. L'originale progetto, che prevedeva una sezione  $\varnothing$  60, fu abbandonato per la sparizione dell'attesa barra  $\varnothing$  62 al suo arrivo a Roma.

Il capochiave (Fig. 6) è realizzato da una piastra di ripartizione ricurva, ricavata da una lastra  $s=10$  mm, irrigidita da nervature saldate di  $s=20$  mm. La possibilità di realizzare le saldature anziché bullonature come inizialmente previsto, fu verificata in secondo tempo dopo le prove di lavorazione.

Con la lastra da 10 mm sono state realizzate anche le 3 piastre di ripartizioni inferiori, collegate, mediante bulloni, ai pendoli che sostengono il marmo (6).

Come si può capire i maggiori problemi incontrati nella progettazione della carpenteria in titanio sono stati la limitata disponibilità dei pezzi di maggiori dimensioni e la mancanza di conoscenza, da parte di noi architetti e ingegneri civili, della tecnologia del titanio a cui si è potuto supplire solo dopo le prove di taglio, saldatura, foratura e tornitura eseguite in officina. Comunque anche la modellazione del marmo antico per accogliere il tacco di appoggio e l'esecuzione del foro passante per il tirante non hanno presentato minori difficoltà!

Eseguita la posa in opera del tirante, della mensola e del capochiave sono stati montati i pendolini e le sottostanti piastre di sostegno. Avvitandone i bulloni di fissaggio, a ciascun pendolo è stato imposto un pre-carico di circa 300 kg

per recuperare le deformazioni dovute agli assestamenti iniziali. La tensione è stata controllata mediante strain-gauges i cui cavi di collegamento (Fig. 7) alla centralina di lettura sono stati fatti passare in un foro del fusto e fuoriuscire dalla piastra di partizione in modo da rendere possibili future letture di controllo sugli estensimetri lasciati in opera.

In corrispondenza dei punti di appoggio degli elementi in titanio con la pietra, la superficie è stata livellata con spessori di piombo. A questo è stato interposto un foglio di teflon a contatto del titanio.

La mensola in titanio è stata anche utilizzata per fissare 4 staffe superiori. A queste si aggancia il sistema di grappe studiato per contenere i vari frammenti delle sponde dei mensoloni (Fig. 8).

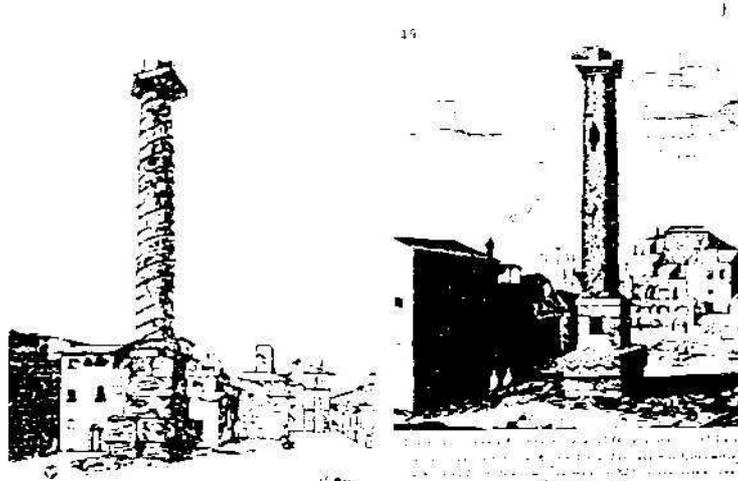
Anche per altre grappe antiche che presentavano problemi di corrosione si è proceduto alla sostituzione con elementi in titanio.

La nuova struttura, annegata in un nuovo riempimento in lapilli vulcanici e malta, è stata ricoperta da una lastra di marmo che ricostituisce il piano di calpestio. Sono rimaste in vista le piastre di sostegno inferiori (Figg. 9 e 10) praticamente invisibili all'altezza di "cento piedi" a cui si staglia la Colonna.

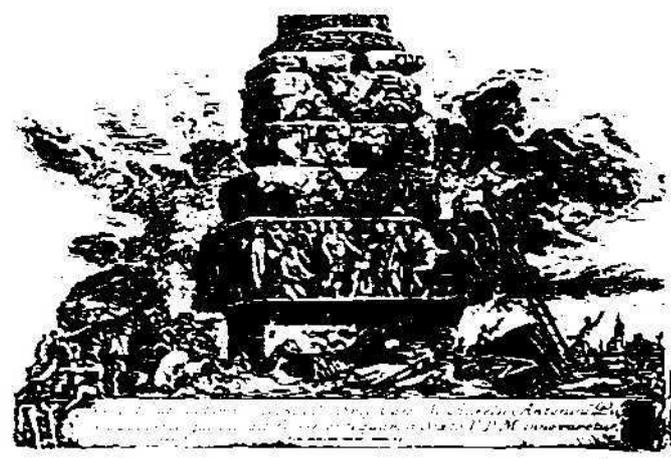
## NOTE

- (1) I lavori di restauro sono stati diretti dall'architetto Giangiaco­mo Martines, della Soprintendenza Archeologica. Il gruppo di studio sui problemi statici era guidato dal Prof. Ing. Antonino Giuffré e ne facevano parte gli architetti Carlo Baggio e Fabio Ortolani con gli ingegneri Roberto Marnetto e Renato Masiani.
- (2) A. Giuffré, F. Ortolani: Le Colonne Coclidi Testimoni dei Terremoti di Roma. "Tecnologia Scienza e Storia per la Conservazione del Costruito", pp. 99-118. Annali del Dipartimento di Costruzioni dell'Università di Firenze, Marzo-Giugno 1988.
- (3) G. Lugli: Come si é trasformato il suolo di Roma. Rendiconti dell'Accademia dei Lincei, s. VII, VI, pp. 477-491. Roma 1951.
- (4) Th. Skoulikidis, N. Beloyiannis, E. Papakostantinou, D. Charalambous: Study for the Restoration of The Partenon. Appendice A: Type of Corrosion. Measures to be taken, pp. 73-76. Ministry of Culture and Sciences, Committee for the Preservation of Acropolis Monument. Athens 1983.
- (5) Libro di Tutta la Spesa Fatta da N.S. Papa Sisto V alla Colonna Antonina e Traiana. Archivio Segreto Vaticano, Arch. Arcis Armario B3. Trascrizione a cura di O. Sforza e M.V. Zaccheo per la Soprintendenza Archeologica di Roma, Aprile 1984.

(6) La lastra da 10 mm é stata messa a disposizione dall'Istituto Centrale del Restauro. La lastra da 20mm è stata fornita dalla SEIPI di Milano che l'ha reperita in Gran Bretagna con conseguenti problemi sui tempi di consegna. Meno problematica è stata la fornitura dei restanti pezzi curata dalla GINATTA. Il titanio utilizzato é del tipo denominato Commercially Pure - Grade 2.



... della Col. Anton. nel 1590 di Domenico Fontana (metà del sec. XVI) e ...



COLONNA ANTONINA: G.B. Piranesi, (1760. Disegno ispirato dalla

Fig. 1 - Disegno di A. Dosio (metà del sec. XVI) in cui è visibile l'angolo sbrecciato del capitello della Colonna Antonina reintegrato da Domenico Fontana in occasione dei lavori di restauro e consolidamento conclusi nel 1590.

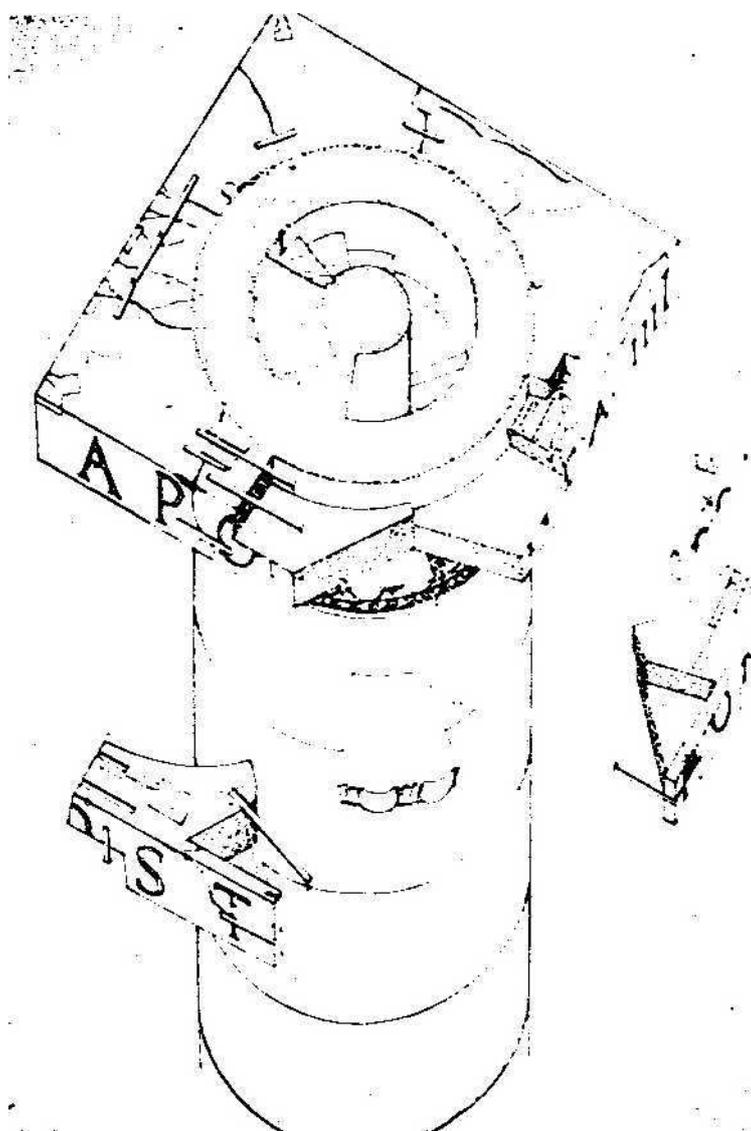


Fig. 2 - Rilievo del capitello con evidenziati gli inserti marmorei posti in opera da Fontana. Sono visibili le lesioni passanti in corrispondenza delle grappe d'angolo.

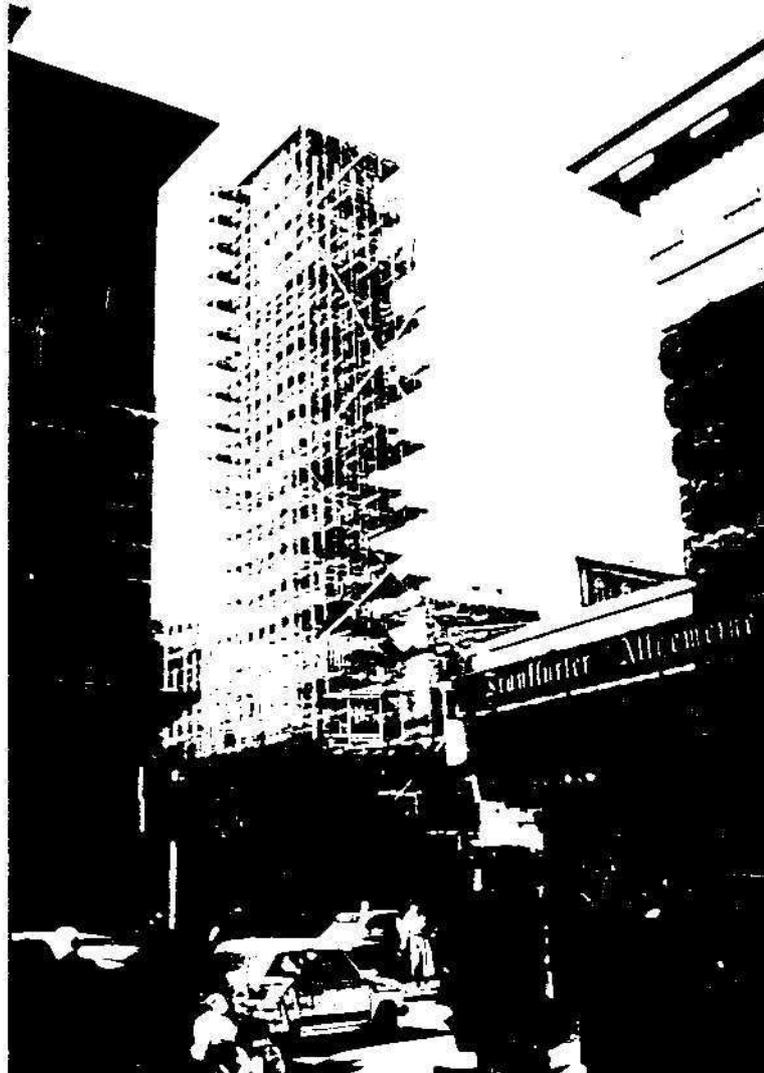


Fig. 3 - Struttura provvisoria in acciaio per sostenere i mensoloni durante le fasi di rimozione del massetto di riempimento dello scavo di alleggerimento superiore, di smontaggio delle grappe e di bonifica delle sponde frammentate.

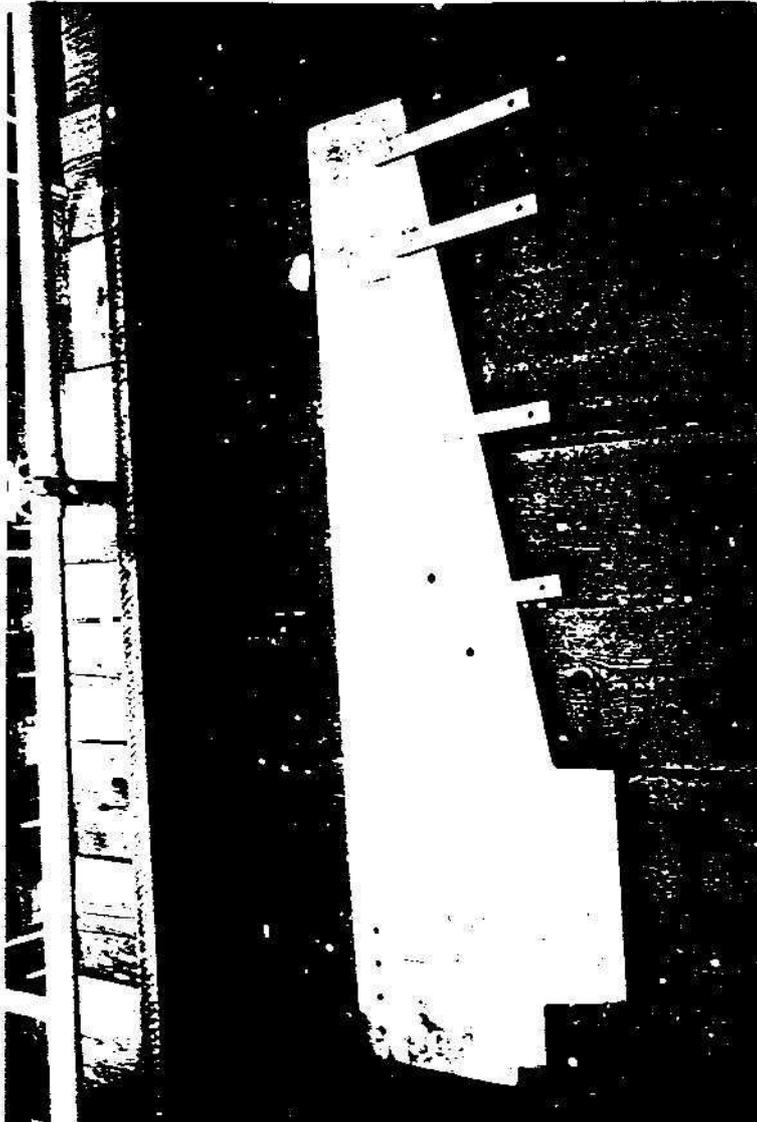


Fig. 4 - La mensola sul ponteggio prima della sua posa in opera. Sono montati gli agganci dei pendolini di sostegno inferiori; sono visibili i 4 fori per i perni di fissaggio del tirante superiore e in basso l'intonaco per l'apparecchio di appoggio, costituito da un angolare di titanio alloggiato nel marmo.



Fig. 5 - La barra, che costituisce il tirante superiore della mensola, vista fuori opera. E' visibile la filettatura per il fissaggio del capochiave.



Fig. 6 - Capochiave realizzato da piastra ricurva



Fig. 7 - La mensola posta in opera. I cavi collegano gli "strain gages" posti sui pendolini per controllare i valori di pre-carico imposti alla struttura, alla centralina di lettura all'interno della Colonna.



Fig. 8 - Sistema di grappe in titanio

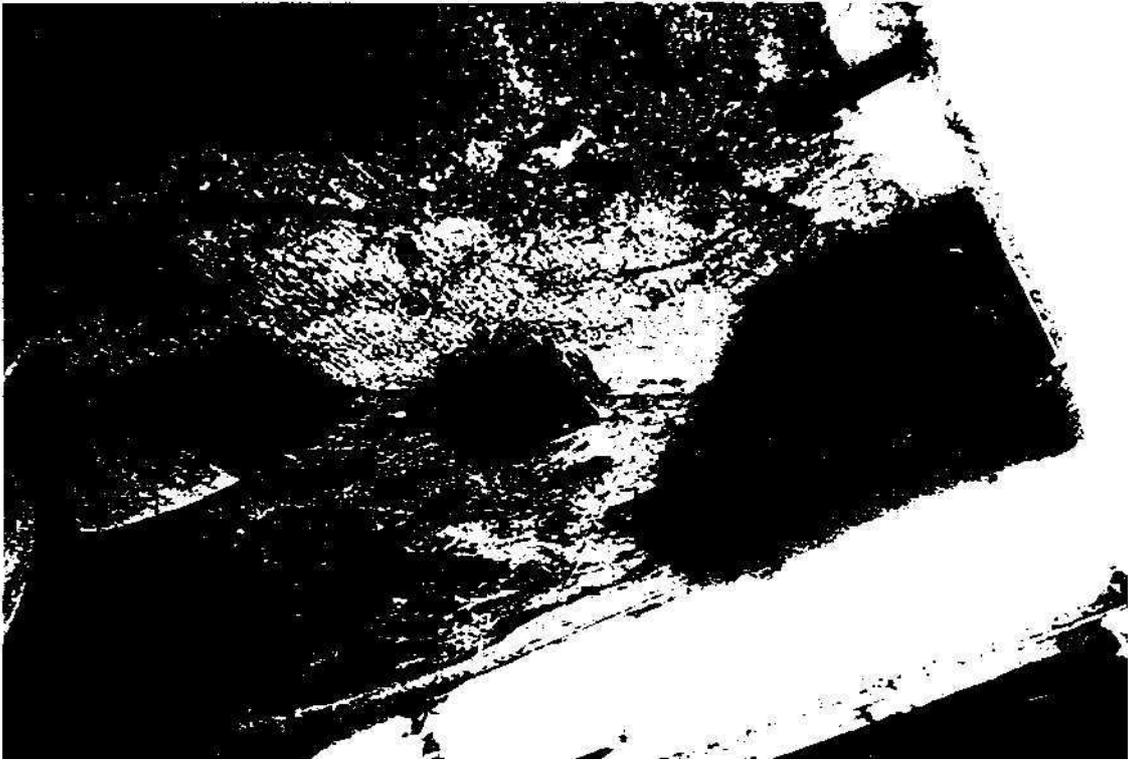


Fig. 9 - Piastre di sostegno inferiori

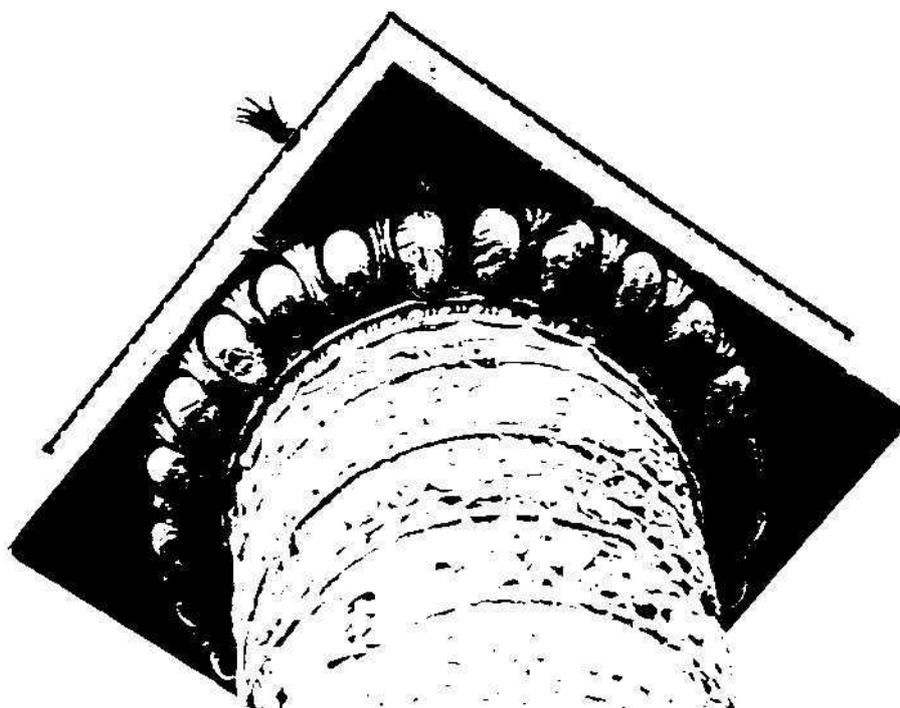


Fig. 10 - Vista dal basso delle piastre di sostegno inferiori