

INDAGINE RADIOGRAFICA SU PROVINI DI CEMENTO ARMATO E RESTITUZIONE DELL'ARMATURA CON METODI FOTOGRAMMETRICI

(nota preliminare)

Dott. Ing. Elena Baj

COMUNICAZIONE PRESENTATA AL XVIII CONVEGNO S.I.F.E.T. - Lucca 22-27 sett. 1973

La necessità, o comunque l'utilità, di controllare lo stato di una struttura e la sua rispondenza agli elementi di progetto, di individuarne nel tempo gli eventuali difetti, ha portato ad un notevole sviluppo dei metodi basati sulle « prove non distruttive », cioè tali da non alterarne l'integrità.

Nel campo delle opere in ferro tali metodi sono ormai numerosi, comunemente applicati e normalizzati; controlli radiografici, con ultrasuoni, polveri magnetiche, liquidi penetranti, correnti indotte, ecc. ecc., permettono ormai di indagare a fondo l'opera in tutti i suoi elementi costitutivi.

Non altrettanto è avvenuto nel campo delle opere in cemento armato (normale o precompresso). D'altra parte la natura stessa del materiale, di tipo non omogeneo, costituito da calcestruzzo all'interno del quale è annegata, e quindi non visibile, l'armatura metallica, rendeva più difficile l'indagine stessa e ne limitava il controllo alla sola indagine radiografica (1); anche per questo procedimento ispettivo solo in questi ultimi anni vi è stato un maggior interesse e una più vasta utilizzazione, tanto è vero che in alcuni Paesi si sta diffondendo l'uso di inserire, nei capitolati delle opere di maggiore importanza, l'obbligo di controlli campione a mezzo di radiografie ed è pure allo studio l'inserimento di controlli radiografici nei regolamenti ufficiali.

Infatti con l'indagine radiografica è possibile controllare lo stato e le condizioni del manufatto in tutti i suoi elementi principali e secondari e precisamente:

- 1) il numero dei ferri che costituiscono l'armatura, la loro posizione ed il loro stato;
- 2) la compattezza o meno del calcestruzzo, la presenza di fessure o cavità, la presenza di corpi estranei;
- 3) la integrità dei cavi e delle guaine nelle strutture precomprese e la compattezza delle iniezioni all'interno delle stesse.

In sostanza è possibile non solo individuare, e quindi diagnosticare, i « mali » delle strutture dovuti a difetti di esecuzione o a successive vicende, ma anche programmare gli interventi necessari e ciò senza alcuna opera distruttiva che, evidentemente, potrebbe ulteriormente compromettere la struttura già ammalorata.

(1) Solo recentemente si è andato sviluppando il metodo con ultrasuoni per la verifica della consistenza e dello stato del calcestruzzo, per il controllo dell'integrità dei cavi nelle strutture precomprese, ecc. ecc.

Ma ancora l'indagine radiografica potrà essere uno strumento di grande utilità per una più approfondita conoscenza della materia e per un controllo sperimentale delle ipotesi teoriche.

Si potrà, per esempio, indagare, in laboratorio, sull'effettivo comportamento delle strutture sotto carico, o in particolari condizioni di tensione, sia al momento dell'applicazione delle forze che nel tempo.

Attualmente per radiografare le opere in cemento armato vengono comunemente utilizzati i raggi Gamma prodotti da isotopi quali il Cesio 137, l'Iridio 192 ed il Cobalto 60; molto più rara, almeno sino ad ora, l'utilizzazione dei raggi X.

La possibilità di impiego di raggi X piuttosto che di raggi Gamma, dipende da numerosi fattori: presenza o meno di energia elettrica, ubicazione delle opere da radiografare, spessore dei calcestruzzi e conseguenti tempi di esposizione.

I raggi X e Gamma si propagano in linea retta e, ammessa la sorgente puntiforme, la radiografia (o gammagrafia), come la fotografia, si può assimilare ad una proiezione geometrica con centro nella sorgente radiante S e con l'oggetto posto tra il centro ed il piano di proiezione.

La diversità di trasparenza ai raggi X (o Gamma) crea quel contrasto di ombre su cui si basa la radiografia. Nel caso del cemento armato le zone più chiare corrispondono all'elemento metallico molto più opaco ai raggi X (o Gamma) del calcestruzzo, e le zone più scure, al calcestruzzo.

Oggetto della presente nota non è però l'esposizione di quanto precedentemente detto, del resto ben noto a chi si occupa di questi problemi, ma di riferire i risultati relativi alla presa di una coppia di stereogrammi di un cubetto di calcestruzzo armato di circa cm. 11 x 11 ed alla restituzione della sua armatura.

Infatti una sola radiografia non contiene elementi sufficienti per determinare le dimensioni dei vari ferri e la loro posizione relativa, mentre la restituzione di una coppia di stereogrammi ovvia anche a queste limitazioni.

Modalità di presa dei radiogrammi

Come sorgente di raggi X si è impiegato un apparecchio di Roentgen-terapia e si sono impiegate pellicole Ferrania SM a doppia emulsione con schermi di rinforzo costituiti da uno strato di sostanza fluorescente e con griglia al fine di assorbire le radiazioni diffuse. La coppia di stereogrammi è stata ripresa tenendo immobile l'oggetto e spostando il tubo radiogeno, tra la I e la II ripresa, di una quantità b , base, parallelamente al piano della pellicola radiografica ed al lato maggiore della stessa.

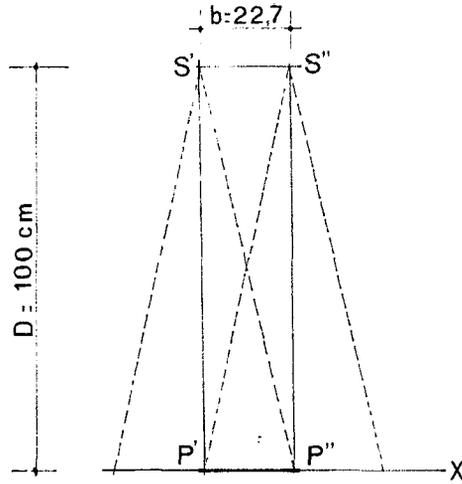
Gli elementi di presa sono: distanza D tra sorgente S e pellicola - cm 100, pari alla distanza di focalizzazione della griglia, base b - cm 22,7. L'errore di cui sono affetti tali valori non supera certamente 3 mm.

Su ogni lastra è impresso il punto P , piede della perpendicolare calata da S , sorgente, sulla lastra; quindi su ogni lastra sono individuati il punto P e la direzione della base che chiameremo X ; la normale ad X nel piano della lastra è la direzione Y e la direzione normale al piano XY è la Z .

Lo schema della presa è rappresentato nella fig. 1.

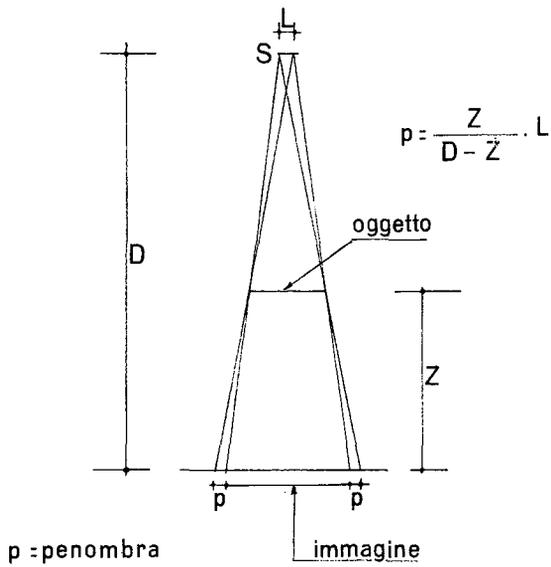
Nello schema la sorgente S viene considerata puntiforme anche se realmente ha un'area intorno al mm^2 ; questo perchè nel nostro caso le dimensioni della cosiddetta « penombra » sono trascurabili (fig. 2).

fig 1



Presca dei Radiogrammi $\underline{10}$ cm

fig 2



Nella fig. 3 si vedono i due radiogrammi stereoscopici del cubetto in cemento armato armato con due ferri ad aderenza migliorata, con sezioni diverse. Si nota che il contorno dell'immagine dei ferri è abbastanza ben delimitato e che è pure possibile rilevarne le due differenti sagomature. Sul contorno della lastra si nota il punto P.

Restituzione dei radiogrammi

L'armatura relativa al cubetto è stata restituita dapprima con uno strumento analogico per fotogrammetria aerea con distanza principale $p = 20$ cm e per questo si è dovuto ricorrere all'artificio di risalire dalle proiezioni originali a quelle su un piano parallelo posto a distanza p dal centro di proiezione.

Successivamente l'armatura è stata restituita con la nuova apparecchiatura Zeiss StR 3, uno stereocomparatore espressamente ideato per la osservazione e restituzione per punti delle radiografie mediche e non, sino ad un formato di 40x40 cm. Di seguito verranno riportati i risultati ottenuti con questo strumento.

Nello StR quando la marca spaziale viene posta in coincidenza con un punto qualsivoglia del modello ottico, le coordinate lastra x, y, px del punto collimato vengono visualizzate su un tubo di Nixie con l'ultima unità leggibile pari a 0,1 mm per x, y e 0,01 per px e trasmesse, tramite interface, ad un calcolatore opportunamente programmato per fornire le coordinate effettive X, Y, Z , del punto, che chiameremo coordinate modello, rispetto ad un'opportuna origine degli assi.

In questo primo esperimento sono stati restituiti solamente dei punti che appaiono sul contorno dell'immagine dei ferri in modo da poterne definire il diametro e la posizione; comunque non dovrebbero esserci particolari difficoltà per restituire altri punti significativi.

In totale sono stati rilevati 27 punti del ferro a diametro maggiore e 14 punti dell'altro.

Nelle tabelle 1 e 2 sono riportate le coordinate lastra e le coordinate modello di questi punti.

Le coordinate lastra riportate sono le medie dei valori ottenuti in tre successive operazioni.

Le formule che ci permettono di passare dalle coordinate lastra x, y, px alle coordinate modello X, Y, Z sono le seguenti (in mm):

$$X = \frac{(200 - \frac{b}{2}) px + bx}{b + px} ; \quad Y = \frac{200 px + by}{b + px}$$

$$Z = \frac{D px}{b + px} \quad \text{dove } 200 \text{ è una costante strumentale.}$$

Nella fig. 4 è rappresentata la planimetria dei due ferri e nella fig. 5 la sezione verticale YZ.

Nella sezione YZ, i bordi superiori ed inferiori dei tondini sono stati dedotti da diametri ottenuti con la restituzione.

Nella fig. 6 è riprodotta la foto del cubetto parzialmente rotto al fine di mettere in evidenza i ferri.

Dal confronto tra le misure dirette con i valori ottenuti nella restituzione si sono riscontrati scarti inferiori al mm in planimetria, di 2-3 mm in altimetria.

Per quanto riguarda gli errori riscontrati, considerato che lo scopo della ricerca era individuare l'ubicazione, diametro ed il tipo dell'armatura all'interno del cubetto, si può ritenere che siano accettabili.

Di per se non trascurabili risultano gli errori altimetrici: le maggiori discordanze riscontrate in Z erano, del resto, prevedibili data l'impostazione del calcolo delle coordinate modello.

Per ovviare a queste difficoltà, sarà necessario un più approfondito studio delle varie cause di errore sia nella fase di presa che di restituzione; in ogni caso però è possibile scegliere il piano di proiezione in modo che la Z risulti essere il parametro meno importante.

Conclusioni

Le prove eseguite, oltre a ribadire i buoni risultati ottenibili con le radiografie a raggi X in questo campo specifico, hanno confermato l'ipotesi posta a base del presente studio, e cioè che attraverso una coppia di stereogrammi è possibile ottenere tutti gli elementi relativi alle armature in una struttura in cemento armato.

Il sistema adottato pare più semplice e più sicuro rispetto a metodi già impiegati da altri ricercatori per lo stesso scopo.

E' inoltre importante notare che l'impiego di raggi X comporta minori difficoltà tecniche e burocratiche rispetto ai raggi Gamma per i quali, data la loro pericolosità, sono richieste maggiori precauzioni.

In conclusione si ritiene di poter affermare che lo sviluppo di tale ricerca potrà essere di grande utilità nel campo pratico e scientifico.

BIBLIOGRAFIA

- I) M. TOYER: *Nouvelle methode pour le reperage des armatures dans le beton*: Conférence sur les techniques des rayonnements et des isotopes dans l'industrie du bâtiment - Bruxelles 1970.
- II) A. SETTIPANI: *Gammagrafia del calcestruzzo* - Radiazioni e radioisotopi 9 - Anno III/M4/Ottobre-Dicembre 1970.
- III) E. BAJ, M. LAVIZZARI: *La restituzione delle stereoradiografie mediante tecnica fotogrammetrica* - Bollettino S.I.F.E.T. n. 1, 1973.
- IV) GILARDONI: *Defectologie* - Ed. Gilardoni S.p.A.
- V) B. HALLERT: *X Ray Photogrammetry* - Amsterdam 1970.

V. tabelle e figure alle pagg. seguenti.

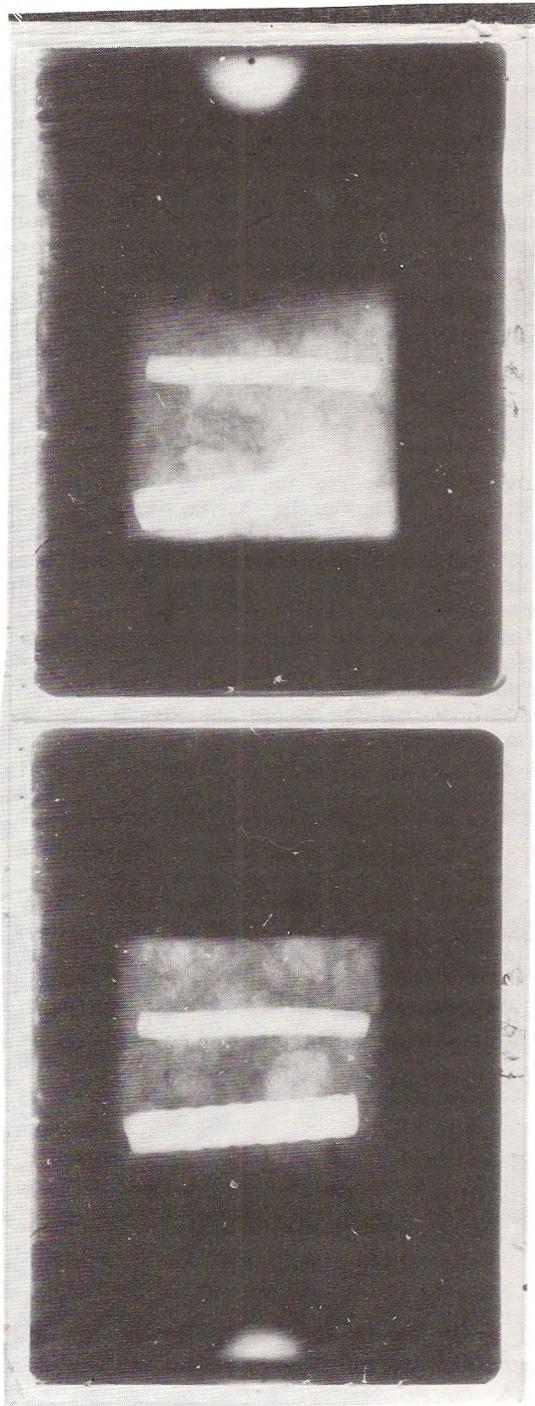


fig. 3

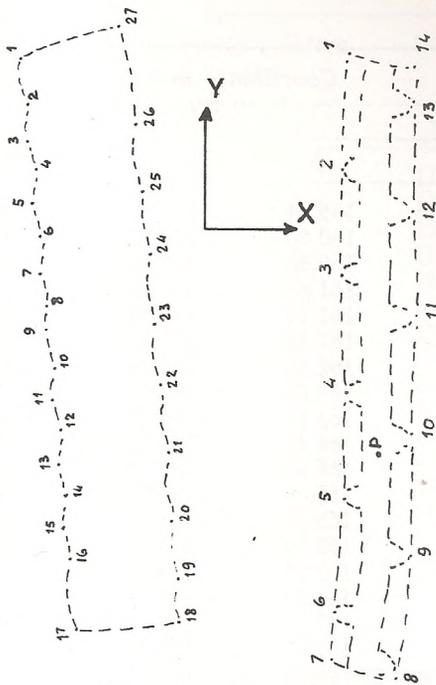


fig. 4



fig 6

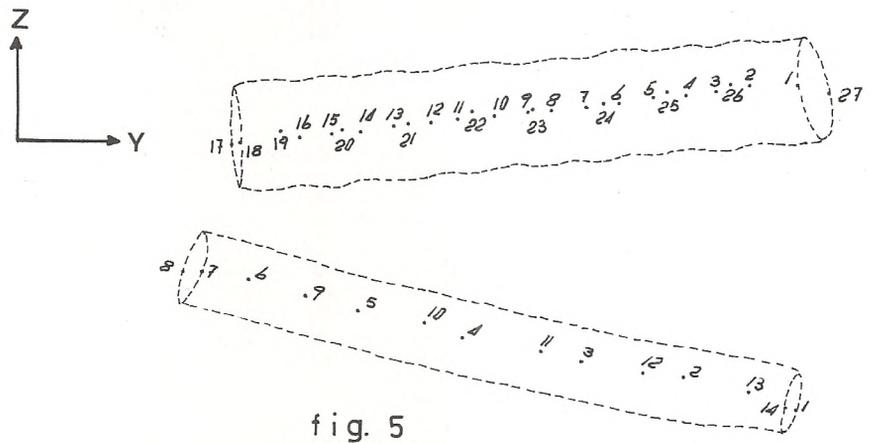


fig. 5