

# DETERMINAZIONE DI DEFORMAZIONI CON METODI FOTOGRAMMETRICI IN TRAVI IN ACCIAIO A PARETE PIENA

*Carmelo Sena(\*)*

COMUNICAZIONE PRESENTATA AL XVIII CONVEGNO SIFET - LUCCA - sett. 1973

In una ricerca di instabilità sulle anime irrigidite in travi in acciaio a parete piena, fatta dall'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Trieste, nasceva il problema della determinazione, negli stadi successivi di sollecitazione, delle deformazioni tridimensionali indotte nella struttura.

Questo problema ha avuto diverse soluzioni; la prassi attualmente seguita dalla maggioranza degli sperimentatori in casi analoghi, fa riferimento a misure dirette fatte sul campione, mediante sistemi tastatori, con particolari tipi di comparatori più o meno raffinati.

Questi sistemi hanno di solito un asse o un piano di riferimento fisso ed il più possibile indipendente dalla struttura in esame, rispetto al quale vengono misurate le deformazioni in vari punti, precedentemente scelti.

L'utilizzo di questi metodi presenta però alcuni inconvenienti, quali: tempi abbastanza lunghi richiesti per l'effettuazione delle varie misure dirette; di conseguenza, riduzione delle misure relative solo ad un numero discreto di punti; la non sempre facile possibilità d'avere riferimenti fissi, non variabili cioè durante le operazioni di misure; difficoltà di misurare gli spostamenti « planimetrici »; impossibilità d'un controllo, in tempi successivi, delle operazioni di misura (la struttura, a seguito delle applicazioni dei carichi, si deforma in maniera irreversibile).

Un rilievo con metodi fotogrammetrici, sembra l'ideale in questi casi: ricordiamo infatti che la fotogrammetria del vicino, si interessa anche al rilievo di deformazioni di strutture; anzi, proprio in questo campo, poichè la deformazione è la variazione tra una situazione finale e l'iniziale, l'utilizzo ne risulta persino semplificato: cadono infatti molte delle preoccupazioni che di solito nascono nei casi generali (quando ad esempio si vuole rilevare la vera forma di un oggetto). Nel caso in esame, infatti, non ha alcun interesse la conoscenza della distorsione dell'obiettivo della camera utilizzata e della sua variazione con la distanza di presa; persino gli altri elementi d'orientamento interno non richiedono particolari determinazioni.

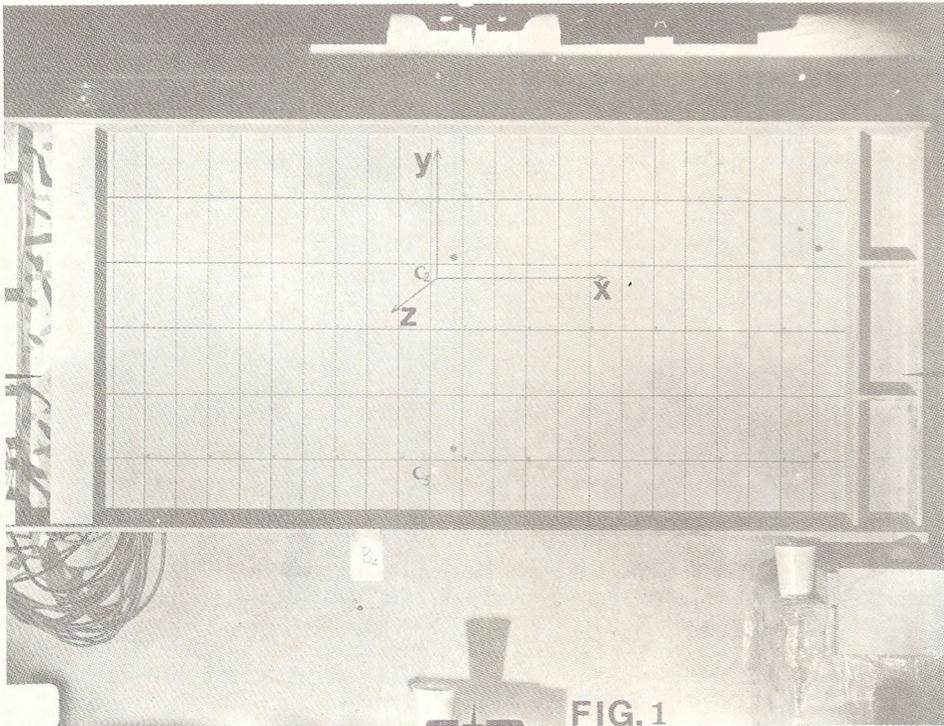
In questi casi, particolarmente vantaggioso si pensa possa poi essere l'utilizzo di una bicamera (la nostra sperimentazione è però stata fatta, come vedremo in seguito, con una camera semplice): infatti, a parte il vantaggio di potere scattare i due fotogrammi contemporaneamente (fondamentale nel caso in cui la struttura varia nel tempo la sua configurazione ed una sola coppia di fotogrammi risulta sufficiente per ricoprire la struttura

---

(\*) Istituto di Topografia e Fotogrammetria del Politecnico di Torino.

in esame), si abbreviano senz'altro le operazioni di presa (fattore fondamentale, per certe sperimentazioni); non si richiede l'effettuazione di guide d'appoggio per la camera (di solito, necessarie); e si hanno tutti gli altri vantaggi che le bicamere forniscono (base di presa fissa e nota, assi di presa perpendicolari alla base e tra loro paralleli, operazioni topografiche d'appoggio ridotte al minimo, ecc.).

Il rilievo fotogrammetrico elimina poi gli inconvenienti elencati per i sistemi meccanici; non crea problemi di intralci ed ingombri durante le operazioni di carico della trave (la strumentazione di presa può porsi a distanza conveniente dalla trave); garantisce la precisione richiesta (con



s.q.m. dell'ordine di qualche decimo di millimetro), con notevoli risparmi di tempo, in sede di prove, ecc. Pertanto, in conseguenza delle considerazioni esposte e su richiesta dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni di Trieste, è stato eseguito il rilievo, con metodi della Fotogrammetria del vicino, per la determinazione delle deformazioni indotte in una prima struttura, già precedentemente preparata, per la serie delle ricerche in atto sulla instabilità. Più precisamente la trave, oggetto della prova, aveva dimensioni di mm 2600 (lunghezza), mm 614 (altezza) e spessore dell'anima di mm 2,5.

Il carico veniva imposto, tramite un opportuno martinetto idraulico, nella mezzeria della trave, la quale risultava semplicemente appoggiata agli estremi.

L'apparecchiatura da presa disponibile, e da noi utilizzata, è stata la camera F.T.G.2 Galileo, opportunamente adattata per le riprese del vicino, con distanza principale di mm 225,98, formato lastra 13 cm × 18 cm, diaframma 1/32.

Date le caratteristiche della camera, si è scelta una distanza di presa  $D = 2.000$  mm (infatti, la camera era stata precedentemente adattata, per un'altra ricerca in corso, per focare oggetti a distanza di m 2 circa; era quindi necessario non variarne le caratteristiche ed adattare le prese a queste condizioni); la base di presa  $b$  è stata di 600 mm, in modo d'avere un rapporto  $\frac{b}{d} < 4$  (con prese di tipo « normale »).

Furono poi materializzati opportuni punti di appoggio, indipendenti dalla trave, appesi su fili tesi: questi punti furono rilevati mediante misurazioni dirette e riferite ad un sistema cartesiano con origine in uno di essi (punto  $C_2$ ), asse delle X orizzontale, asse delle Y verticale e asse Z ortogonale (fig. 1).

Le prove di ripresa, effettuate nel laboratorio dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni di Trieste, richiesero la opportuna illuminazione della trave, mediante serie di lampade, così da ottenere una sufficiente ed uniforme illuminazione, evitando fastidiosi riflessi.

Il rilievo fotogrammetrico, com'è noto, richiede la formazione di una coppia stereoscopica di fotogrammi, così da permettere la visione stereoscopica, in fase di restituzione, dell'oggetto da rilevare.

La superficie della trave, oggetto del rilievo, era però di un colore grigio uniforme; ne sarebbe risultata pertanto impossibile la collimazione stereoscopica, perchè non si aveva la possibilità di individuare i punti omologhi dei due fotogrammi. Per ovviare a questo inconveniente, si è effettuato il disegno di una rete a maglie rettangolari (dimensione della maglia, in cm,  $5 \times 10$ , spessore dei tratti 0,5 mm) nella campata di destra della trave (fig. 1), mentre nella campata di sinistra furono disegnate delle macchie a spruzzo, di colorazione diversa (fig. 2). La resa fotografica di questa campata della trave ha un po' lasciato a desiderare; anche l'effetto stereoscopico che, notevole data la base di presa, era ben osservabile nella campata di destra, nella campata di sinistra risultava non percepibile, date le forse troppe variazioni di sfumatura. E' stato pertanto preso in considerazione il rilievo solo della campata di destra; la soluzione del disegno a rete s'è rivelata buona e ne ha permesso i trattamenti voluti. Infatti anche se la collimazione stereoscopica poteva essere fatta solo per punti su linee verticali, le linee orizzontali bene servivano per avere riferimenti metrici utili; era d'altronde necessario potere stabilire dei punti (vertici della rete) ben collimabili per il trattamento numerico, di cui in appresso si riferirà.

Si sono usate per le prese, lastre GEVAPAN 30 PL, con sensibilità di 20 DIN, tempi di esposizione variabili da 1 a 3 sec.

Furono effettuate n. 4 serie di riprese (di « tipo normale »):

- 1<sup>a</sup> serie: con trave completamente scarica (S)
- 2<sup>a</sup> serie: con trave caricata a 5 tonnellate (A)
- 3<sup>a</sup> serie: con trave caricata a 14 tonnellate (B)
- 4<sup>a</sup> serie: con trave caricata a 18 tonnellate (C).

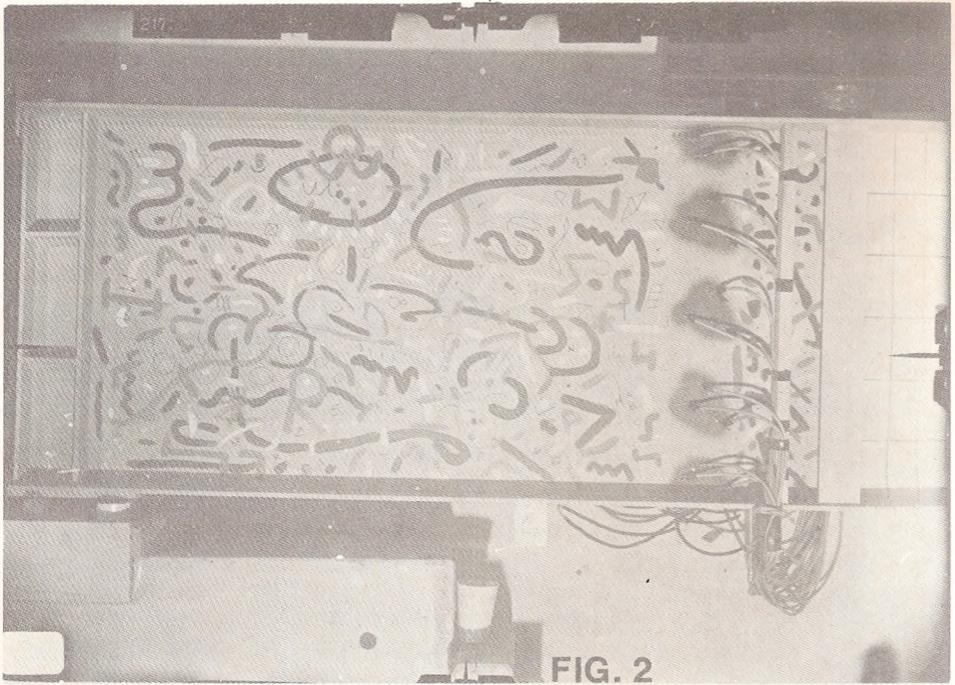
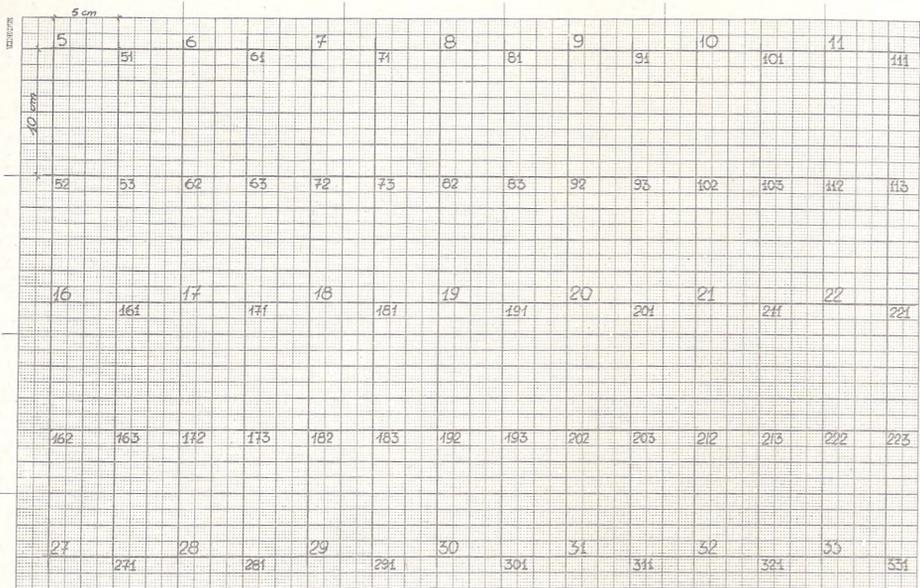


FIG. 2



Furono anche effettuate delle prese convergenti (con trave scarica e sulla posizione finale).

Parte del materiale di cui sopra è stato utilizzato per un trattamento di restituzione con monocomparatore ed elaborazione dei dati con calcolatore elettronico (restituzione analitica) e per un trattamento di restituzione con strumenti analogici (restituzione analogica). E' stato fatto un confronto tra i risultati ottenuti con i metodi sopradetti.

Più precisamente:

#### 1°) *Restituzione analitica:*

a) Sono state misurate in primo tempo le coordinate di opportuni punti nelle lastre che costituivano i modelli S4-S5 e C4-C5, con il monocomparatore TA1/P OMI. Come è noto, questo strumento permette di misurare le coordinate lastra con s.q.m. di  $\pm 1,5 \mu\text{m}$ .

I punti di cui si sono misurate le coordinate erano i vertici d'incontro della rete (fig. 3).

In totale, in ogni lastra, sono stati rilevati (in doppia lettura) n. 70 punti, oltre le marche e le immagini dei punti di appoggio.

Si rendono necessarie alcune considerazioni critiche su certe operazioni preliminari alla presa: lo spessore della parametratura (rete) della trave (mm 0,5) è risultato piuttosto ampio, rispetto alla dimensione della marca di collimazione utilizzata nel monocomparatore.

Questo ha creato una certa difficoltà di lettura agli incroci delle linee di parametratura: si è però fatto in modo che tra più letture successive ci fossero scarti massimi dell'ordine di  $\pm 5 \div 6 \mu\text{m}$ .

Anche la materializzazione dei punti di appoggio ha creato qualche problema e la soluzione adottata può senz'altro essere migliorata nel futuro, mediante la realizzazione di opportuno telaio. Dato però lo scopo della presente esperienza, anche la soluzione trovata, nel complesso è risultata soddisfacente, pur nella sua semplicità.

Prima di procedere alle letture sulle lastre, nel monocomparatore, è stata fatta una serie di prove su reticolo di precisione, per un controllo dello strumento. La prova ha confermato le soddisfacenti condizioni di rettifica strumentali.

b) Dalle coordinate lastra sono poi state ottenute mediante elaborazione con calcolatore elettronico IBM 360/44, le coordinate reali, nel caso di trave scarica (S) e di trave caricata a 18 ton (C) (tab. I e tab. II).

#### 2°) *Restituzione analogica*

E' stata fatta la restituzione analogica degli stessi modelli (S4-S5 scarica e C4-C5 carica a 18 ton), con il restitutore Stereocartografo IV Galileo-Santoni. Come è noto, la massima distanza principale imponibile in questo strumento è di 215 mm, mentre la distanza principale della nostra camera è, come detto, di 225,98 mm.

Ricordiamo che pochissimi sono i restitutori che accettano, anche se con accorgimenti particolari, distanze principali così grandi (tra questi ricordiamo l'autografo Wild A10, il C-8 ed il Planimat Zeiss). La differenza di

# TAB. 1

PUNTO	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
5	-58.287	408.388	-78.636
51	-8.468	407.793	-78.798
6	40.850	407.212	-78.841
61	90.620	406.950	-78.962
7	140.329	406.563	-79.092
71	189.743	406.039	-79.499
8	239.450	405.562	-79.591
81	289.331	405.159	-79.845
9	338.604	404.737	-80.822
91	387.374	404.298	-81.386
10	437.566	403.639	-81.314
101	486.899	403.252	-81.515
11	536.545	402.742	-81.249
52	-58.984	309.486	-78.049
53	-9.295	308.888	-78.649
62	40.189	308.290	-78.924
63	89.967	307.927	-79.123
72	139.649	307.373	-79.634
73	189.150	306.772	-79.280
82	238.672	306.362	-80.258
83	288.478	305.790	-80.560
93	336.781	304.718	-81.692
102	436.849	304.367	-81.817
103	486.309	303.864	-81.947
112	535.971	303.215	-81.009
113	585.625	302.693	-80.442
16	-59.720	209.371	-79.665
161	-10.089	209.083	-80.069
17	39.440	208.547	-80.093
171	89.172	208.020	-79.858
18	138.903	207.503	-79.575
181	188.294	207.165	-79.779
19	237.846	206.757	-80.266
191	287.725	206.187	-80.856
20	336.960	205.699	-81.092
201	386.028	205.162	-81.547
21	436.077	204.650	-81.269
211	485.603	204.303	-81.420
22	535.165	203.735	-80.530
221	584.864	203.287	-79.653
162	-60.434	109.711	-81.466
163	-10.780	109.603	-80.832
172	38.895	109.236	-80.454
173	88.423	108.716	-80.085
182	138.153	108.397	-78.949
183	187.601	108.094	-78.783
192	237.109	107.673	-78.779
193	286.989	107.343	-78.878
202	336.181	107.010	-79.493
203	385.513	106.628	-78.981
212	435.411	106.345	-79.382
213	484.937	105.901	-79.311
222	534.579	105.597	-78.774
223	583.992	105.248	-78.486
27	-61.060	10.458	-81.367
271	-11.523	10.149	-80.721
28	38.203	9.686	-80.634
281	87.721	9.417	-79.772
29	137.358	9.027	-79.495
291	186.860	8.562	-78.898
30	236.284	8.313	-78.402
301	286.237	7.837	-78.310
31	335.254	7.463	-77.954
311	384.833	7.115	-77.822
32	434.576	6.543	-77.791
321	484.261	5.978	-78.009
33	533.897	5.094	-77.515
331	583.085	5.483	-77.399