

## SULLA PROGETTAZIONE INTERATTIVA DI TELAI PIANI METALLICI

Dott. Ing. Massimo Majowiecki  
Dott. Ing. Maurizio Montanari,  
Bologna

Con questo articolo iniziamo la pubblicazione di alcuni studi relativi alla progettazione assistita da elaboratore nel campo della strutturistica e della architettura civile.

### Premessa

Quale obiettivo principale questa nota si propone di illustrare la metodologia interattiva di progetto-verifica per le costruzioni metalliche in cui la realtà costruttiva possa essere ridotta ad uno schema teorico costituito da elementi finiti monodimensionali (beam element).

La metodologia grafica qui adottata è già stata collaudata precedentemente per alcuni problemi strutturali più complessi [1], [2], [3], e si ricollega alla moderna tendenza nello sviluppo del soft-ware strutturale di creare, partendo da codici di calcolo strutturale esistenti sul mercato, delle pre-elaborazioni dei dati (pre-processor) e post-elaborazioni dei risultati (post-processor), in modo da facilitare la comunicazione tra operatore ed elaboratore. Nell'ambito di quest'ottica, avvalendoci di un codice generale agli elementi finiti, ci si è proposto di dotarlo di una organizzazione bidirezionale adatta alla progettazione assistita dall'elaboratore. Parallelamente all'illustrazione della tecnica interattiva (hard-ware e soft-ware) adottata, verranno messi in risalto gli arricchimenti apportati al programma di calcolo di base in modo da dotarlo di possibilità di progettazione esecutiva. Mediante l'impiego del sistema interattivo di progetto ci si è proposti di scrivere un programma (FRAME) strutturato secondo lo schema della figura 1 dove sono indicate, a blocchi, le finalità operative da implementare.

La parte hard-ware interattiva sulla quale è stato implementato il programma nominato FRAME è formata da un elaboratore HP 1000 modello 45 (fig. 7/A) del Laboratorio di Computer Aided Design di Bologna che fruisce di un ricco parco di devices periferici quali:

- un video grafico-alfanumerico HP modello 2648 A
- un digitalizzatore HP modello 9874 A
- una stampante seriale modello 2631 A

- un plotter a tamburo CALCOMP modello 936
- una unità disco.

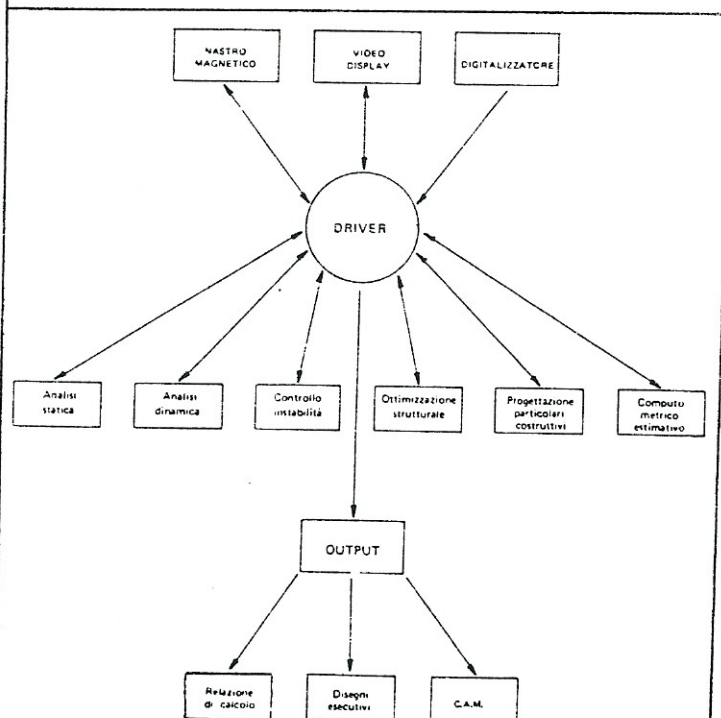


Fig. 1. Diagramma a blocchi delle finalità operative del programma interattivo.



## L'interfaccia operatore-elaboratore

Chiunque abbia avuto occasione di lavorare con uno qualunque di quei grossi programmi strutturali agli elementi finiti, implementati su grossi elaboratori, tipo SAP, STRUDL, NASTRAN, ecc., conosce quanto sia onerosa la preparazione dei dati e quanto può essere lunga e noiosa l'analisi dei risultati che rispettivamente si devono introdurre e si possono ottenere da essi.

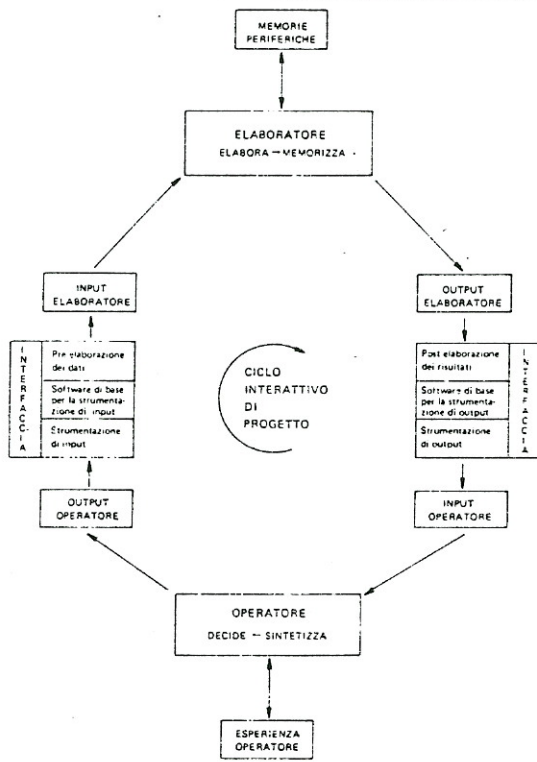


Fig. 2. Organizzazione interattiva della metodologia progettuale: interfaccia operatore-elaboratore.

Tutto ciò perché vengono a trovarsi a contatto due entità quali l'elaboratore e l'ingegnere strutturista che lavorano secondo modalità molto diverse.

L'elaboratore è sommariamente un efficiente strumento di analisi di una enorme quantità di dati elementari, tramite una serie di elaborazioni logiche ed aritmetiche condotte su di essi, in tempi brevissimi.

L'ingegnere strutturista lavora essenzialmente mediante un'opera di sintesi dalla quale deriva la riduzione della realtà costruttiva in un modello teorico analizzabile per via numerica: lo schema strutturale.

La grafica (disegni di massima ed esecutivi) è il linguaggio simbolico del progettista per rappresentare la realtà.

Riassumendo, possiamo quindi affermare che l'input e l'output naturali al calcolatore sono essenzialmente numeri o caratteri, mentre l'input o l'output naturali al tecnico sono simboli grafici, cromatici, sonori.

Esiste quindi il problema di rendere compatibili i due «partners» in modo da ottenere una proficua collaborazione.

Cio è possibile costruendo un'apposita interfaccia fra elaboratore ed operatore (fig. 2) che si interponga, in questo caso, fra l'ingegnere ed il programma strutturale realizzato sull'elaboratore e che abbia praticamente il compito di «tradurre» i messaggi scambiati dalle parti.

L'interfaccia sarà logicamente/fisicamente costituita da tre moduli distinti:

a) strumentazione hard-ware dei periferici che costituiscono il legame fisico tra operatore ed elaboratore;

b) software di base e procedure operative per il migliore sfruttamento delle capacità di questa strumentazione;

c) pre-processor e post-processor, cioè routine di pre-elaborazione dei dati per adattarli all'input richiesto dal programma di calcolo e di post-elaborazione dei risultati per adattarli alle esigenze del singolo tipo di operatore.

Fra interfaccia e programma di calcolo vero e proprio occorrerà poi disporre di un ulteriore filtro costituito da un «driver», cioè da una procedura di smistamento delle direttive decise dall'operatore e dei messaggi inviati dall'elaboratore.

Nella figura 3 appare schematizzata la sovrapposizione di

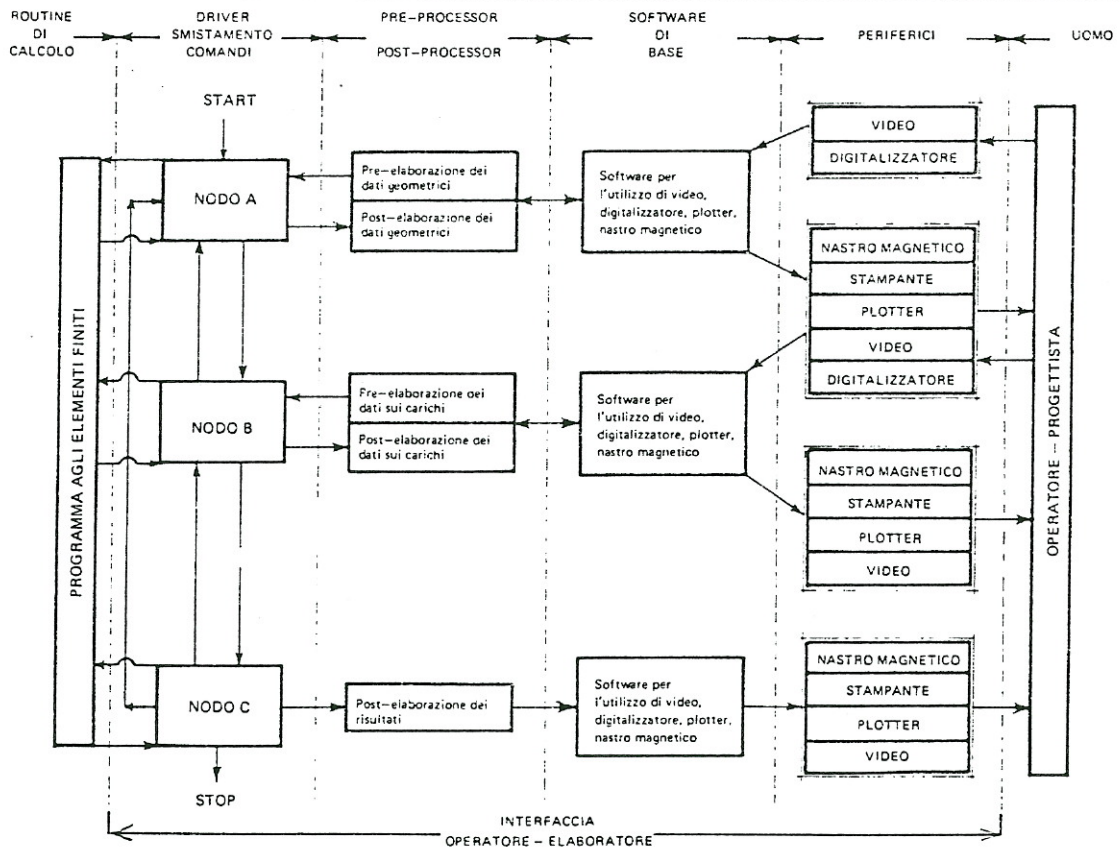


Fig. 3. Schema a blocchi della struttura logica del programma FRAME.



questa serie di filtri giustapposti fra programma di calcolo ed ingegnere strutturista così come sono stati realizzati nel programma FRAME al fine di rendere quella opportuna «opacità» fra le due entità cooperanti.

Ci pare a questo punto essenziale soffermarci un attimo sulle funzioni e sulla realizzazione del «driver» (pilota), essendo esso il tramite logico fondamentale fra programma ed operatore, la sede o ambiente propri dell'interattività.

Se seguiamo passo passo il flusso logico di un programma agli elementi finiti, tenendo presente che questo flusso dovrà essere ripetuto più volte reinnestandosi in punti diversi a seconda delle esigenze che sorgono durante le successive verifiche, ci accorgiamo che esistono, per la natura stessa del problema, alcuni punti nodali in cui il programma richiede informazioni all'operatore ed in cui può presentare a quest'ultimo i risultati dell'elaborazione completa o parziale. Questi punti sono rappresentati principalmente da:

- fase di introduzione, gestione ed elaborazione dei dati geometrici e statici della struttura;
- fase di introduzione, gestione ed elaborazione dei dati concernenti i carichi applicati alla struttura;
- fase di elaborazione finale dei risultati e delle verifiche.

Parallelamente, nella procedura manuale di calcolo, possiamo riscontrare queste tre fasi:

- determinazione dello schema statico della struttura
- analisi e schema dei carichi applicati nelle varie condizioni di carico
- controllo dei risultati tramite diagrammi delle sollecitazioni e verifica delle sezioni.

Ci è quindi apparso logico strutturare il «driver» (fig. 4) come costituito da tre blocchi o nodi chiamati «check point», mutuamente collegati fra loro, i quali gestiscano queste tre fasi di comunicazione fra operatore e programma.

Il «check point» non rappresenta altro che un arricchimento dell'istruzione Fortran «Pause» che arresta il flusso logico di un programma interattivo per restituire all'operatore l'incarico di decidere se e in che modo procedere nell'elaborazione.

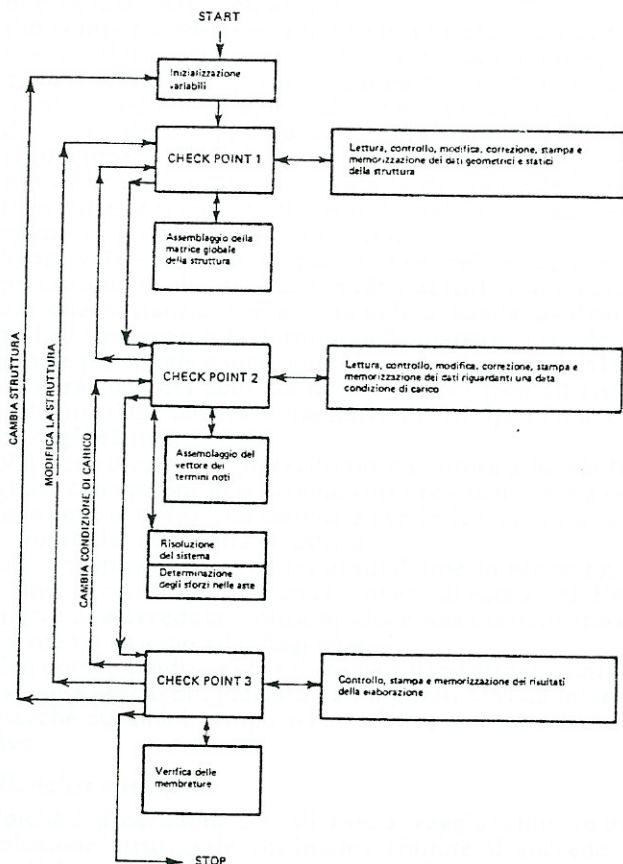


Fig. 4. Schema a blocchi della struttura logica interattiva del programma FRAME.

Occorre però aggiungere che se si lascia all'operatore la possibilità di indirizzare l'elaborazione, sarà necessario fornirgli tutte le informazioni atte ad evitargli possibili errori e capaci di aiutarlo nella scelta, tenendo sempre presente il tipo di operatore che interagisce con la macchina, il quale, di norma, non conosce la struttura logica del programma in esecuzione.

L'operatore dovrà quindi sapere quali sono le direttive che può impartire in questo momento al programma, tenendo presente l'ultimo comando eseguito. In tal modo potrà non solo pilotare l'esecuzione vera e propria del programma, ma anche richiedere una serie di controlli sui dati di input o sui risultati parziali o finali dell'elaborazione.

Ecco quindi che la struttura del «check point» si evidenzia come una entità logica che essenzialmente compie queste operazioni (fig. 5):

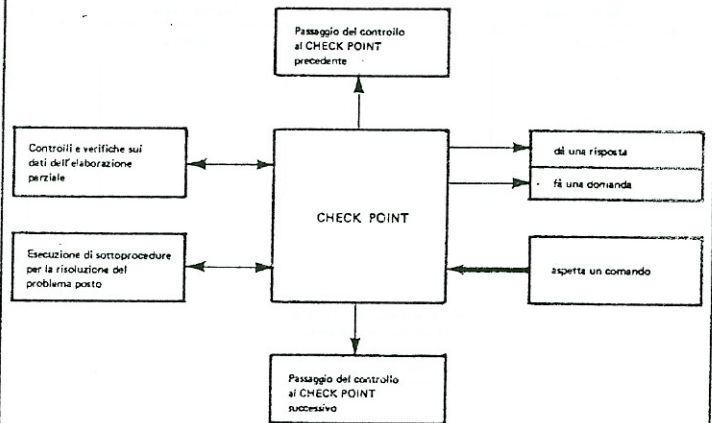


Fig. 5. Schema logico di un «check point».

- Dà una risposta alle domande:  
A che punto siamo dell'elaborazione?  
Quale è l'ultimo comando eseguito?  
Quali sono i comandi disponibili in questo momento?
- Pone una domanda:  
Che cosa devo fare?
- Aspetta un comando:  
Esegui la procedura numero.....
- Avvia un'esecuzione o esegue un controllo
- Fa ritornare il controllo su se stesso o lo passa ad un altro «check point».

#### Alcune considerazioni sul calcolo strutturale

Come già accennato precedentemente, è stato necessario introdurre alcune modifiche al programma generale di calcolo strutturale implementato nel programma FRAME. Le modifiche di importanza determinante si sono rese necessarie per:

- implementare il programma su un mini-elaboratore
- adattarlo alle esigenze di una veloce interazione uomo-macchina.

Tenendo presenti queste finalità è stato necessario esaminare:

- la precisione dei risultati;
- la possibilità di analizzare strutture con molti gradi di libertà e perciò il problema della risoluzione di sistemi con un grande numero di incognite;
- l'economicità (in termini di tempo) di una procedura di analisi;
- l'aggiunta di una fase di dimensionamento e verifica automatica della struttura, in accordo alla normativa vigente e principalmente secondo il metodo delle tensioni ammissibili ed il metodo semi-probabilistico agli stati limite.



### La precisione dei risultati

Per quanto riguarda il problema della precisione dei risultati occorre ricordare che il programma agli elementi finiti originario era implementato su un CDC cyber 76, elaboratore estremamente potente e veloce che lavora con una «parola» di 60 bit, il che equivale, in termini di matematica finita, a considerare uno «zero di macchina» dell'ordine di  $10^{-14}$ . Sull'HP ci troviamo di fronte invece a diversi tipi di «parola»; una costante intera o alfanumerica viene rappresentata tramite 16 bit, mentre per le reali sono disponibili una rappresentazione normale da 32 bit e due doppie precisioni da 48 e da 64 bit rispettivamente.

Si è quindi operato riducendo a variabili intere tutte le variabili su cui non si desiderava una grande precisione, quali, per esempio, le coordinate dei nodi espresse in cm, e servendosi del primo tipo di doppia precisione per memorizzare i termini della matrice di rigidezza ed i coseni direttori delle singole aste.

### Risoluzione di sistemi a grandi numeri

Nel campo degli algoritmi per la risoluzione di grandi sistemi di equazioni lineari per problemi strutturali esistono oggi essenzialmente due metodologie diverse di approccio: la risoluzione a banda e la risoluzione frontale che possono a loro volta essere applicate singolarmente alla risoluzione di una struttura completa o suddivisa in sottostrutture.

Entrambi i metodi si basano sull'algoritmo di eliminazione di Gauss applicato con «pivoting» sulla diagonale principale, stante la superiorità di questi termini della matrice, evento che di regola si verifica nei problemi strutturali.

I risolutori a banda assemblano i termini della semibanda (costante o frastagliata) della matrice globale della struttura in un vettore che risiederà dinamicamente, durante la risoluzione, parte in memoria centrale e parte in memoria di massa.

I risolutori frontali, invece, assemblano e risolvono delle particolari matrici costituite dalla opportuna sovrapposizione delle matrici locali di tutti gli elementi che confluiscono in un dato nodo le cui equazioni di equilibrio debbano, in questa fase, essere eliminate.

Ciò comporta che questa matrice conterrà, oltre ai termini che si riferiscono ai gradi di libertà da eliminare, anche quelli riferentisi a tutti i nodi collegati tramite i suddetti elementi al nodo in questione. Il numero variabile di questi nodi viene indicato appunto come «larghezza del fronte» della risoluzione.

Naturalmente, una volta operata la riduzione delle incognite in tutte le equazioni presenti, le righe eliminate vengono memorizzate su memoria di massa.

Senza volere entrare, in questa sede, nel dettaglio dei due procedimenti, che risultano indubbiamente complessi, diremo che sostanzialmente i metodi a banda usufruiscono dell'addensamento dei termini della matrice ai lati della diagonale principale e sono notevolmente influenzati dal tipo di numerazione dei nodi adottati. I metodi frontali risultano influenzati in maniera meno sensibile dal tipo di numerazione degli elementi.

Nel nostro caso si è preferito un risolutore a banda frastagliata con opzione di soluzione «in core» (in memoria centrale) e «out of core» (con memorie periferiche) in funzione del numero dei nodi della struttura.

Il problema dei telai piani (3 gradi di libertà per nodo), difficilmente coinvolge un grande numero di equazioni. Una numerazione avveduta inoltre produce una matrice abbastanza «densa» vicino alla diagonale.

Con queste condizioni la soluzione a banda frastagliata è più veloce e perciò più indicata da un punto di vista interattivo giacché durante il tempo di calcolo l'operatore si trova inattivo.

### Rianalisi strutturale

Poiché il programma è finalizzato al raggiungimento di una soluzione strutturale «ottimale» tramite il succedersi di analisi su strutture via via modificate dall'operatore-ingegnere in risposta ai risultati riferentisi alla precedente configurazione strutturale, è stato necessario cercare di ridurre al minimo le operazioni occorrenti per risolvere le

successive strutture. Si è ricorsi ad un procedimento di iterazione fra la struttura originaria (di cui conosciamo i termini della matrice fattorizzata) e la struttura positiva o negativa dei cambiamenti, cioè quella struttura «virtuale» che si può ottenere «sottraendo» la nuova struttura da quella precedente (fig. 6) e di cui possiamo facilmente costruirci i termini di rigidezza. È chiaro infatti che se intendiamo la nuova struttura «B» ottenuta come sovrapposizione delle strutture «A» e «C» (ciò è lecito nel campo dell'elasticità lineare), potremo affermare che le azioni dei carichi riportate sui nodi comuni alle due strutture si spartiranno in maniera proporzionale alle rigidezze delle strutture stesse.

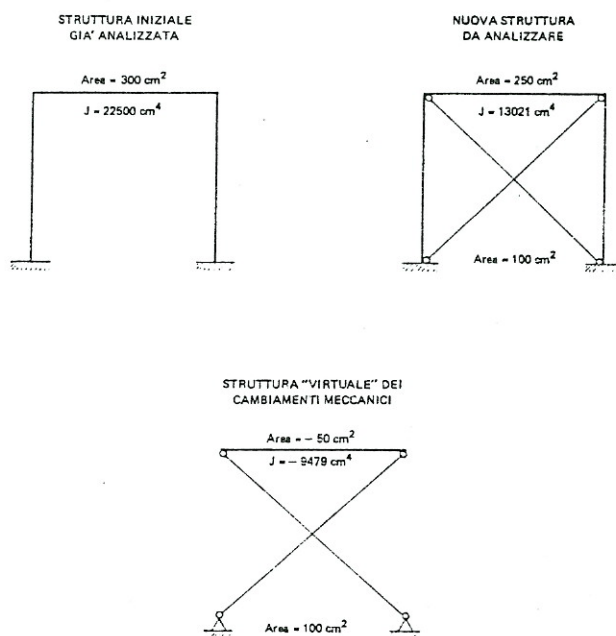


Fig. 6. Schema di rianalisi strutturale.

Se intendiamo con  $[K_a]$  e  $[K_c]$  le matrici di rigidezza delle rispettive 2 strutture «A» e «C» riportate nella figura 6 potremo scrivere:

$$\begin{aligned} \{F_a\} &= [K_a] \{u\} \\ \{F_c\} &= [K_c] \{u\} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{con } \{F_a\} + \{F_c\} = \{F\} \quad (2)$$

ma in seguito alle precedenti elaborazioni sulla struttura «A» noi non abbiamo più disponibile la matrice  $[K_a]$ , bensì la matrice triangolare  $[L_a]$  ottenuta mediante la nota fattorizzazione di Gauss modificata.

$$[K_a] = [L_a] [D] [L_a]^T \quad (3)$$

da cui le (1) si trasformano in

$$\{F_a\} = [L_a] [D] [L_a]^T \{u\} \quad (4)$$

$$\{F_c\} = [K_c] \{u\} \quad (5)$$

Ora date le azioni  $\{F\}$ , partiamo applicandole solamente alla struttura «A». Ponendo  $\{F_{a1}\} = \{F\}$  perverremo rapidamente alla determinazione di un vettore di spostamenti  $\{u_1\}$ .

Applicati ora gli spostamenti  $\{u_1\}$  alla struttura «C» potremo determinare tramite una semplice moltiplicazione della matrice  $[K_c]$  per il vettore  $\{u_1\}$  il vettore di forze  $\{F_{c1}\}$  capaci di provocare gli spostamenti  $\{u_1\}$  sulla struttura «C».

L'equilibrio globale rimane però, in questa fase, insoddisfatto dato che  $\{F_{a1}\} + \{F_{c1}\}$  risulta essere uguale ad  $\{F\}$  solo nel caso che il vettore  $\{F_{c1}\}$  sia identicamente nullo.

Possiamo a questo punto applicare il fattore squilibrante  $F_{c1}$  cambiato di segno alla sola struttura «A», determinarne gli spostamenti e ripetere il procedimento fino a convergenza.



Per evitare il pericolo di non convergenza, possibile solo quando la struttura dei cambiamenti è paragonabile come rigidità alla struttura originaria, è necessario applicare il procedimento con degli opportuni fattori di sottorilassamento applicando quindi alla struttura «C» nella *i*-esima iterazione invece del vettore di spostamenti  $\{u_i\}$  il vettore

$$g\{u_i\} + (1-g)\{u_{i-1}\}$$

dove appunto con *g* abbiamo indicato il fattore di sottorilassamento.

#### Dimensionamento automatico

Ulteriore e fondamentale modifica aggiunta al programma originario è stata la possibilità di verifica e cambiamento automatico delle aste che non soddisfavano i criteri di sicurezza secondo il metodo delle tensioni ammissibili o, a scelta, il metodo semi-probabilistico agli stati limite.

Le aste, le cui dimensioni comportano tensioni non accettabili, vengono sostituite automaticamente, nell'ambito della stessa categoria, secondo la tecnica di ottimizzazione F.S.D. (Fully Stressed Design). È possibile inoltre costituire un «directory» o lista di aste che, per semplicità di esecuzione e montaggio, devono essere uniformate.

#### La sequenza interattiva di progetto

Mediante l'aiuto delle Tavole 1, 2, 3 e di alcune fotografie (fig.7) è possibile farsi un'idea di una sequenza o seduta di progetto di un telaio metallico, assistito da elaboratore.

L'assistenza è da intendersi nei seguenti termini:

— gli strumenti di calcolo e di visualizzazione grafica non sono sostitutivi degli aspetti di creatività del processo, che restano necessariamente ma giustamente demandati agli operai progettuali;

— gli strumenti si assumono tutti i compiti di routine (operazioni di calcolo, di disegno, di memorizzazione, di parametrizzazione, ecc.) che gravano sull'attuale progettazione, espletando perciò anche compiti di controllo progettuale;

— il rapporto operatore-macchina avviene in «tempi reali» (per uso di terminali interattivi): cioè correzioni, trasformazioni, disegni, verifiche ecc., avvengono in tempi confrontabili con quelli dell'elaborazione mentale dell'operatore, che, di conseguenza, può procedere con continuità operativa;

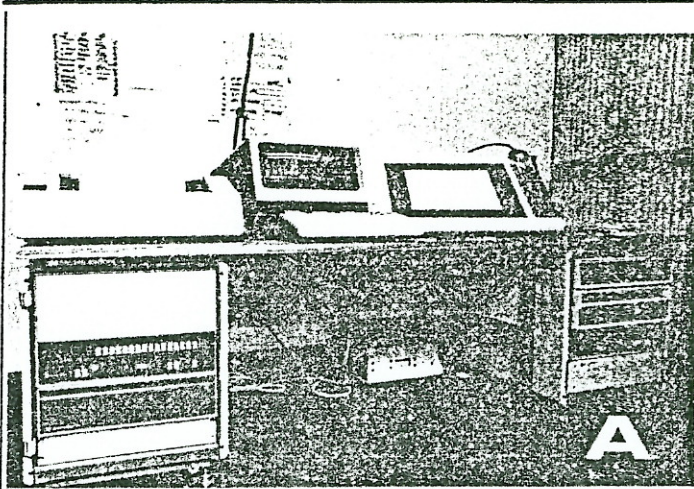
— la grande potenzialità operativa dell'elaboratore, nel consentire di esplorare tutte le tipologie ammissibili con i gradi di libertà di una determinata fase elaborativa, impone un nuovo modo di intendere la stessa tipologia (è possibile passare da una tipologia intesa staticamente ad una tipologia intesa dinamicamente, come campo di possibili soluzioni ammesse dalle condizioni di un problema).

La Tavola 1, associata alla sequenza fotografica della figura 7, elenca tutte le possibilità interattive di «pilotaggio» del programma da parte del progettista, permettendo di giungere, partendo da un sommario schema statico, tracciato su carta millimetrata, al progetto e verifica definitivi della struttura.

TAVOLA 1 - Menù interattivo del programma FRAME

<i>Check point n. 1</i>	(fig. 7/B)
1) Introduzione dell'origine, dell'asse X e della scala del disegno dello schema strutturale iniziale (digitalizzatore)	(fig. 7/C)
2) Introduzione delle coordinate dei nodi e del grado di vincolo (digitalizzatore)	(fig. 7/D)
3) Introduzione dell'incidenza e del tipo di asta (digitalizzatore)	(fig. 7/E)
4) Consultazione tabella dei profili (video)	
5) Scelta profili (video)	
6) Disegno schema statico della struttura (video)	(fig. 7/F)
7) Eventuali correzioni sui dati geometrici e statici	
8) Eventuale disegno dello schema statico corretto	
9) Stampa dei dati geometrici e statici	(fig. 7/G)
10) Memorizzazione su cassetta dei dati geometrici e statici	(fig. 7/H)
11) Assemblaggio della matrice globale	
<i>Check point n. 2</i>	(fig. 7/I)
1) Introduzione dei carichi distribuiti e concentrati (digitalizzatore) ed eventualmente del peso proprio	
2) Disegno dello schema di carico (video)	(fig. 7/L)
3) Eventuali correzioni sui dati dei carichi	
4) Eventuale disegno dello schema di carico corretto	
5) Stampa dati sui carichi	
6) Memorizzazione dei dati sui carichi	
7) Assemblaggio del vettore dei termini noti	
8) Risoluzione del sistema	
9) Determinazione delle sollecitazioni nelle aste	
<i>Check point n. 3</i>	(fig. 7/M)
1) Disegno diagrammi delle sollecitazioni (video)	(fig. 7/N-O-P)
2) Stampa dei risultati	
3) Memorizzazione dei risultati	
4) Verifica delle sezioni e cambiamento automatico dei profili	(fig. 7/Q)
5) Modifica la struttura (video)	(fig. 7/R)





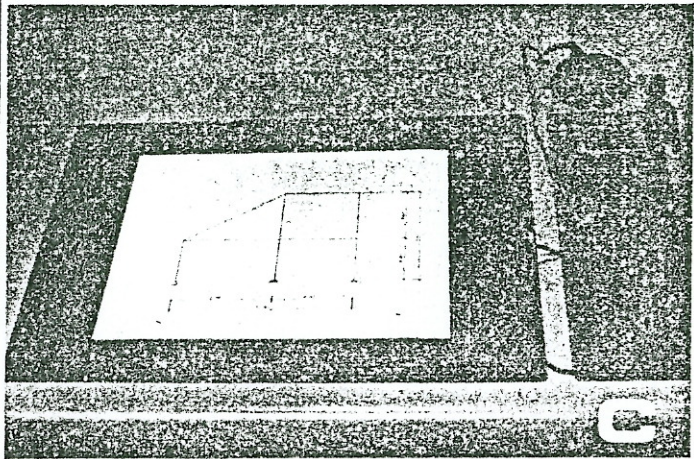
**A**

CHECK POINT NUM. ....  
 .....

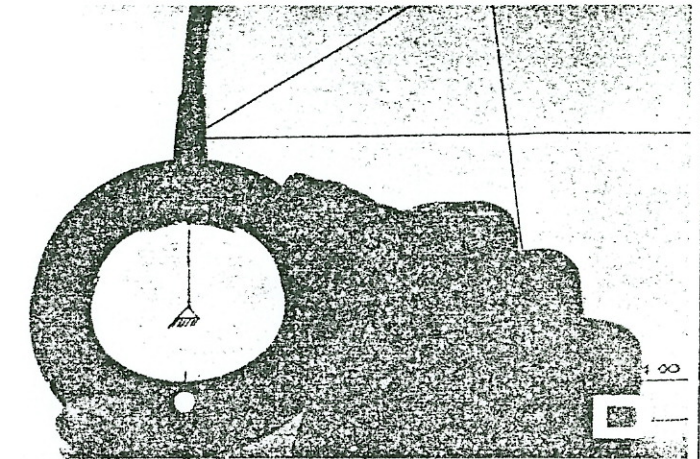
- ...aggiungi nodi alla rete
- ...modifichi i carichi nodi e sulle linee
- ...modifichi i carichi le aste
- ...cambia la geometria
- ...stampi la geometria
- ...imponga le restrizioni globali
- ...cavi di cura printing

.....

**B**



**C**

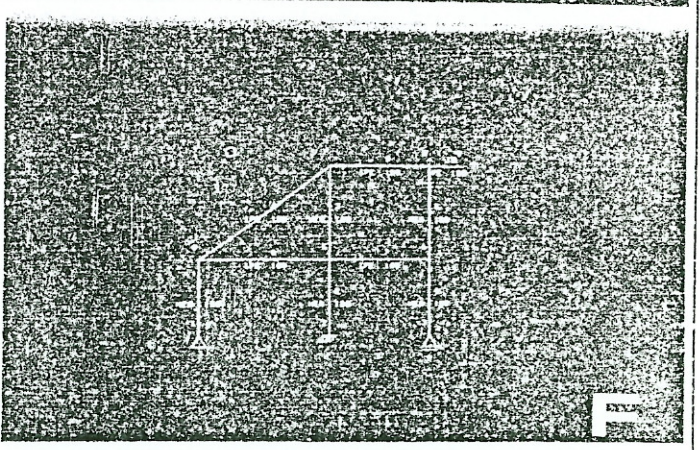


**D**

TABELLA PROFILI STEEL HEA

PROFILI	A	C	IC	MC	IL	PI	SA	SA
	Cent.	Cent.	Cent.	Cent.	Cent.	Cent.	Cent.	Cent.
HEA 100	5.00	6.80	248.0	225.0	4.80	11.00	12.00	1.00
HEA 120	6.20	8.20	305.0	275.0	6.00	14.00	15.00	1.20
HEA 140	7.50	9.80	375.0	340.0	7.50	17.00	18.00	1.50
HEA 160	8.80	11.50	455.0	415.0	9.00	20.00	21.00	1.80
HEA 180	10.00	13.00	545.0	495.0	10.50	23.00	24.00	2.00
HEA 200	11.50	14.50	645.0	585.0	12.00	26.00	27.00	2.20
HEA 220	13.00	16.00	755.0	685.0	13.50	29.00	30.00	2.40
HEA 240	14.50	17.50	875.0	795.0	15.00	32.00	33.00	2.60
HEA 260	16.00	19.00	1005.0	915.0	16.50	35.00	36.00	2.80
HEA 280	17.50	20.50	1145.0	1045.0	18.00	38.00	39.00	3.00
HEA 300	19.00	22.00	1295.0	1185.0	19.50	41.00	42.00	3.20
HEA 320	20.50	23.50	1455.0	1335.0	21.00	44.00	45.00	3.40
HEA 340	22.00	25.00	1625.0	1495.0	22.50	47.00	48.00	3.60
HEA 360	23.50	26.50	1805.0	1665.0	24.00	50.00	51.00	3.80
HEA 380	25.00	28.00	1995.0	1845.0	25.50	53.00	54.00	4.00
HEA 400	26.50	29.50	2195.0	2035.0	27.00	56.00	57.00	4.20
HEA 420	28.00	31.00	2405.0	2235.0	28.50	59.00	60.00	4.40
HEA 440	29.50	32.50	2625.0	2445.0	30.00	62.00	63.00	4.60
HEA 460	31.00	34.00	2855.0	2665.0	31.50	65.00	66.00	4.80
HEA 480	32.50	35.50	3095.0	2895.0	33.00	68.00	69.00	5.00
HEA 500	34.00	37.00	3345.0	3135.0	34.50	71.00	72.00	5.20
HEA 520	35.50	38.50	3605.0	3385.0	36.00	74.00	75.00	5.40

**E**



**F**

PORTALE

STRUTTURA 90

DATI GEOMETRICI E STATICI

NUM	183	177	126	SCOP	TCOR
1	0	0	0	0.00	0.00
2	0	0	0	0.00	0.00
3	0	0	0	0.00	0.00
4	0	0	0	0.00	0.00
5	0	0	0	0.00	0.00
6	0	0	0	0.00	0.00
7	0	0	0	0.00	0.00
8	0	0	0	0.00	0.00
9	0	0	0	0.00	0.00
10	0	0	0	0.00	0.00

ASTA 1 2 E TIPO PROFILLO AREA TIRAZZO LUNGHEZZA

**G**

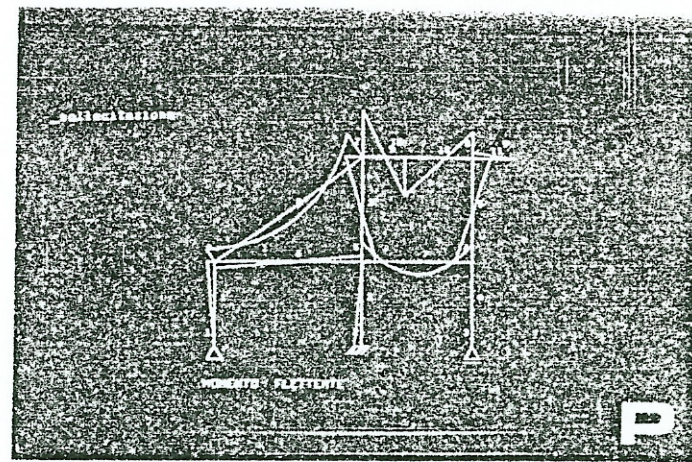
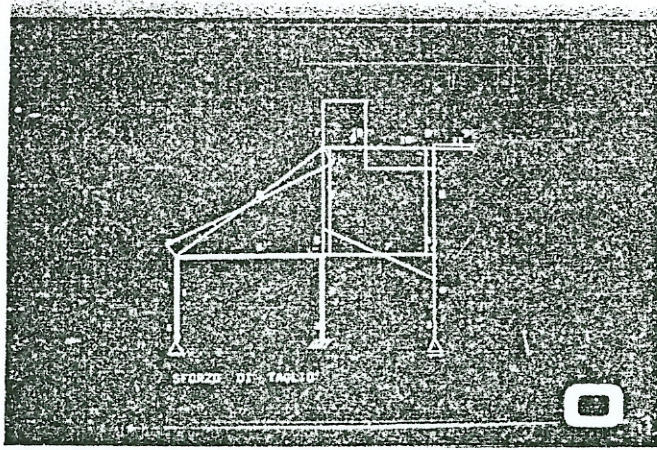
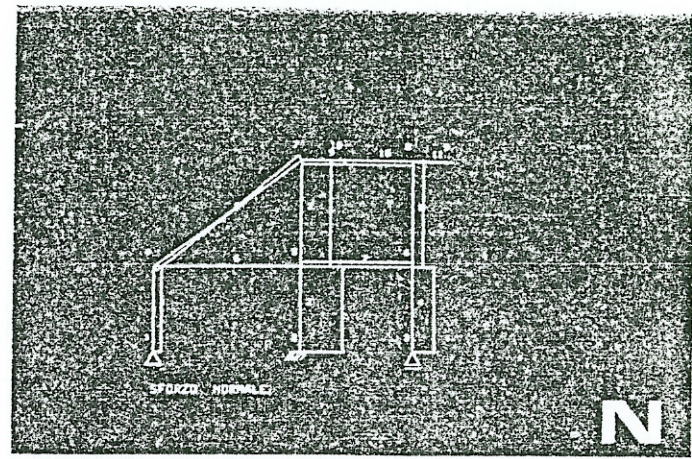
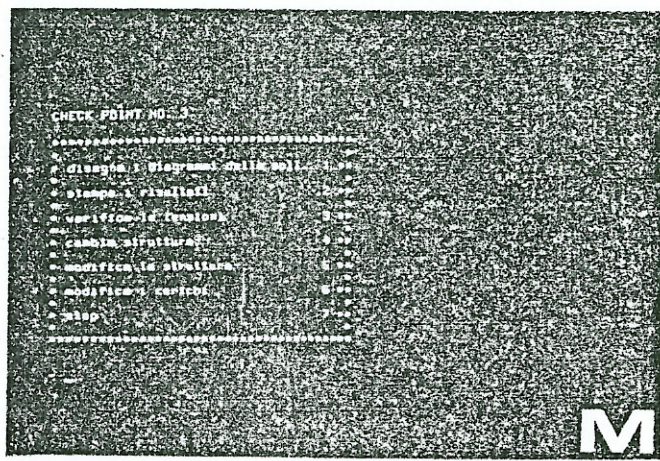
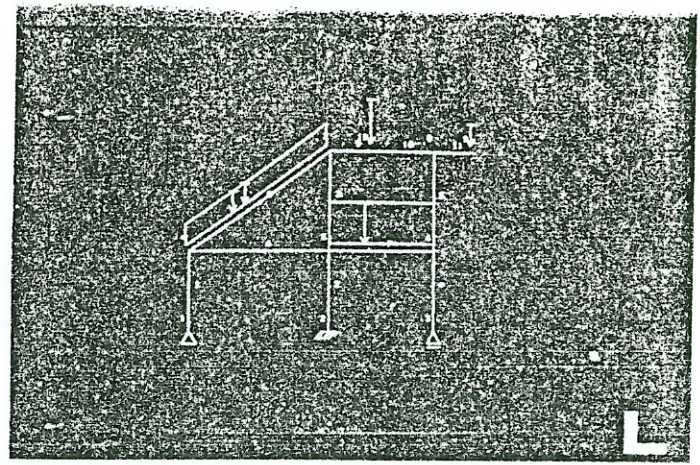
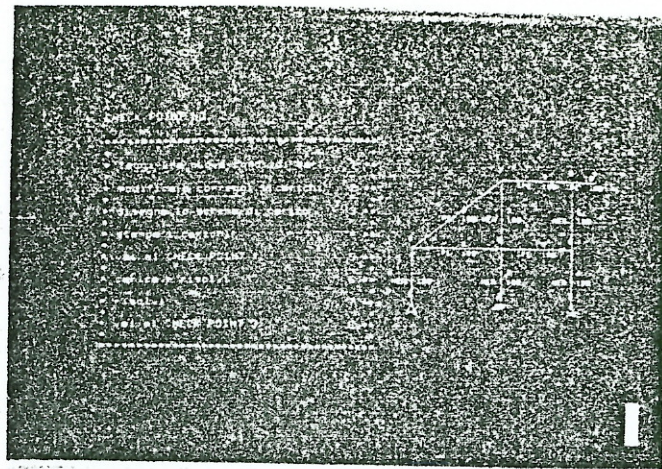
ASTA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

TOTALE DELLA STRUTTURA 477 TON

**H**

Fig. 7.





STRUTTURA NO. 11 COND. DI CAR. NO. 1

VERIFICHE MASSIME TENSIONI NELLE ASTE

ASTA	PROFILA	SIOMA	SIOMA	SIOMA
1	HEA 100	228	1567	8
1	HEA 120	227	7182	8
2	HEA 100	249	3347	8
2	HEA 140	1282	425	8
3	HEA 100	2257	1452	8
3	HEA 140	1282	826	8
3	HEA 100	718	718	8
3	HEA 100	2873	1023	8
3	HEA 140	1158	788	8
4	IPE 140	210	2028	15A
6	IPE 140	1374	1228	72
7	IPE 100	718	2237	8
7	IPE 200	1257	1110	320
8	IPE 100	7187	1452	1452
8	IPE 200	1452	1452	320
8	SNELLEZZA SUP. A 215			
8	IPE 100	2227	1457	1457
8	IPE 200	1277	1457	320

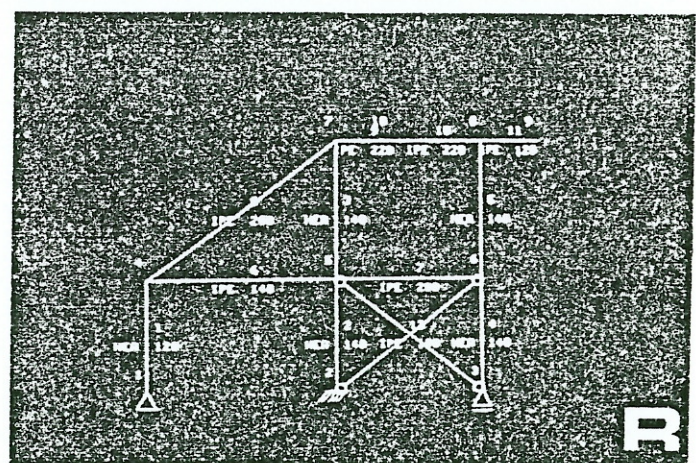


Fig. 7.



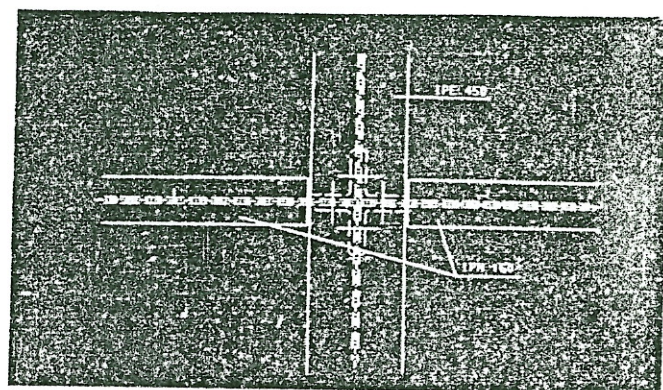
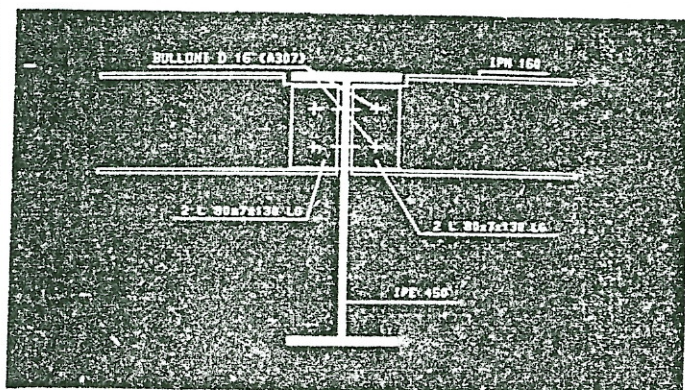
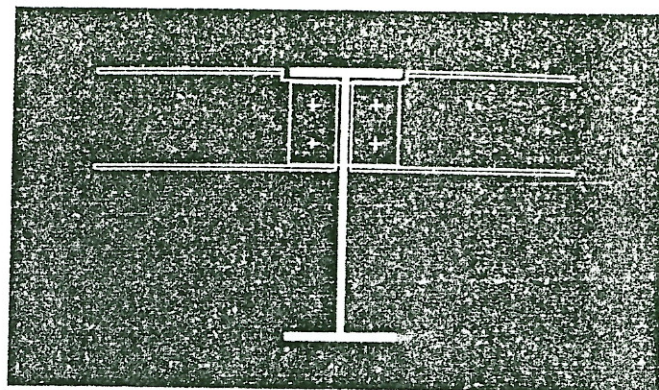
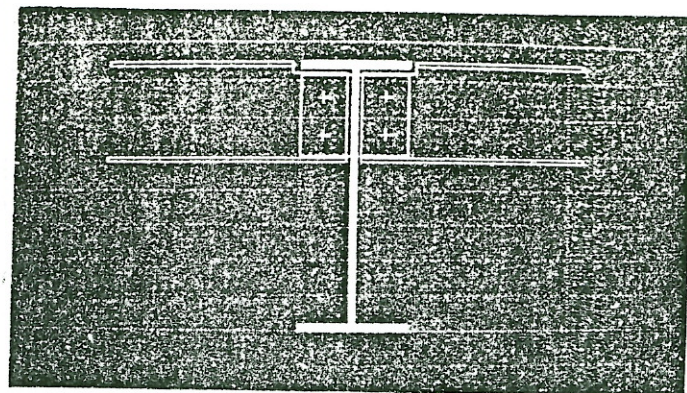


Fig. 8. Sequenza di disegno di nodo trave-trave mediante digitalizzatore + video: a) disegno su griglia di riferimento - b) rimozione griglia - c) aggiunta delle scritture - d) pianta.

Nella Tavola 2 sono elencate le 5 situazioni in cui l'operatore si può trovare una volta che la verifica sia stata completata e nella Tavola 3, per ognuna delle 5 situazioni suddette, vengono sintetizzate le diverse vie da seguire per le successive elaborazioni.

Notiamo che le direttive si possono suddividere essenzialmente in due grandi categorie: quelle per acquisire le informazioni strettamente necessarie per iniziare e condurre a termine l'elaborazione, che naturalmente devono seguire una successione rigidamente prefissata, e quelle opzionali riguardanti controlli e verifiche su dati parziali, stampe e memorizzazioni, così come consultazione di tabelle o introduzione di dati particolari.

Ora, mentre le prime possono essere naturalmente automatizzabili, le seconde devono essere invece completamente gestibili e controllabili dall'ingegnere. L'insieme delle possibili opzioni viene convenzionalmente chiamato «menù» del programma e la sua ampiezza e flessibilità possono rappresentare una buona misura del grado di interazione uomo-macchina possibile con quel determinato programma.

#### TAVOLA 2

- 1) La verifica è stata soddisfatta, ho analizzato tutte le condizioni di carico, termino o passo ad analizzare un'altra struttura?
- 2) La verifica è stata soddisfatta, mantengo la struttura così com'è e passo ad un'altra condizione di carico.
- 3) La verifica non è risultata soddisfatta in tutte le aste, il programma ha cambiato e uniformato le aste nell'ambito del tipo di profilo scelto; si tratta ora di rifare l'analisi con queste aste modificate.
- 4) La verifica non è risultata soddisfatta, e per motivi di disponibilità di profili preferisco apportare altre modifiche a quelle fatte automaticamente dal programma.
- 5) La struttura denota un comportamento non desiderato; provo a cambiare alcuni vincoli o ad aggiungere e togliere alcune aste.

#### TAVOLA 3

- 1) Vado in STOP oppure riparto da capo con una nuova struttura.
- 2) Vado al «check point» n. 2 e introduco una nuova condizione di carico, riassembro il vettore dei termini noti e risolvo.
- 3) Vado al «check point» n. 1, mi costruisco la matrice delle modificazioni e la faccio interagire con la matrice fattorizzata della vecchia struttura sempre per la stessa condizione di carico.
- 4) Vado al «check point» n. 1, eseguo le modifiche alle aste, costruisco la matrice delle modificazioni e la faccio interagire con la matrice fattorizzata della vecchia struttura per la stessa condizione di carico.
- 5) Vado al «check point» n. 1, eseguo le modifiche ai nodi ed alle aste, poi di seguito come al punto 3) e 4).

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Majowiecki M. e Tironi G.: «Geometrical Configuration of Pneumatic and Tent Structures Obtained with Interactive Computer Aided Design», I.A.S.S. World Congress on space enclosures (W-Cose), Montreal, 1976.
- [2] Majowiecki M. e Tironi G.: «Interactive Computer Aided Design in the Field of Pneumatic Structures», International Symposium on pneumatic structures, Venezia, Giugno 1977.
- [3] Majowiecki M. e Tironi G.: «Alcune applicazioni di progettazione interattiva mediante calcolatore nello studio di strutture fortemente deformabili», INARCOS, Bologna, Aprile 1978.
- [4] SAP IV: «A Structural Analysis Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems», College of Engineering, University of California, Berkeley, USA.

(continua)