

Tecniche interattive nella moderna metodologia della progettazione strutturale

Ing. Massimo Majowiecki,
Bologna

Nell'ultimo decennio la metodologia progettuale dell'ingegnere strutturista è stata notevolmente influenzata da due importanti avvenimenti: l'impostazione unitaria delle diverse teorie della meccanica strutturale e l'introduzione degli elaboratori elettronici accompagnati dai linguaggi simbolici, matriciali e dei metodi agli elementi finiti.

Questi avvenimenti hanno reso di colpo vecchi e superati la maggior parte dei tradizionali metodi approssimati di calcolo permettendo di esaminare schemi teorici più rigorosi per mezzo di potenti strumenti di calcolo, in tempi incommensurabilmente minori evitando, da un lato, che eccessive semplificazioni rendano il modello teorico, quale riduzione schematica della realtà costruttiva, non più significativo e, dall'altro, che calcoli estenuanti facciano perdere di vista fatti veramente influenti tendendo a far diminuire gli sforzi del progettista di saggiare diverse soluzioni strutturali e conseguentemente la sua attività di creazione progettuale.

I vantaggi offerti dagli elaboratori elettronici possono, d'altro canto, creare un'esaltazione incontrollata del calcolo automatico e dare l'illusione che l'uomo venga superato dalla macchina e la logica dall'automatismo. È evidente perciò che per cogliere gli aspetti positivi ed evitare errori di «sottovalutazione» o «sopravalutazione» del problema, la metodologia progettuale moderna dell'ingegnere strutturista deve essere basata su un equilibrato rapporto uomo-macchina.

Nell'attuale situazione di sviluppo di sofisticate macchine automatiche e di generali programmi di calcolo strutturale, il rapporto ottimale tra uomo e macchina sembra essere raggiunto

mediante le moderne tecniche di «interazione» tra progettista ed elaboratore elettronico che, nel campo d'applicazione che ci interessa, sono definite da varie sigle sempre più conosciute quali: CG (computer graphics); CAD (computer aided design); CAAD (computer aided architectural design); CASD (computer aided structural design); CAM (computer aided manufacturing).

La tecnica interattiva tra uomo e macchina mette in rilievo i contributi più salienti delle parti permettendo di raggiungere simultaneamente i seguenti obiettivi:

- ottimo rapporto per la fase di ANALISI (operazione affidata alla macchina utilizzandone la potenza, capacità e velocità nel calcolo automatico delle strutture) e la fase di SINTESI (operazione affidata all'uomo responsabile del controllo della validità dei dati, della critica dei risultati e degli ordini di grandezza, ottenibili, questi ultimi, mediante la non sostitutiva ma integrativa validità dei menzionati metodi di calcolo approssimati);

- ottimizzazione progettuale per via interattiva come conseguenza logica del ciclo interattivo di progetto (fig. 1) che permette con estrema facilità e rapidità di modificare i dati e saggiarne le conseguenze mediante successive, iterative verifiche secondo la classica procedura di tentativo, verifica e correzione progettuale fondata sull'esperienza del progettista, il quale ha la capacità di sintetizzare una notevole massa di dati difficilmente esprimibile come problema matematico.

Dall'osservazione del ciclo interattivo di progetto si può constatare come si dia, in un equilibrato rapporto uomo-macchina, a Cesare quel che è di Cesare. La macchina diventa, per mezzo della «interazione», l'utile prolungamento mentale ed operativo del progettista (creatore e non «verificatore») aumentandone enormemente le capacità, velocità e qualità decisionali permettendo all'uomo di essere sollevato da pesanti oneri computazionali e ponendolo al centro del processo di sintesi progettuale.



Fig. 1.

Essendo ora il progettista sollevato dai calcoli matematici, è auspicabile che venga valorizzata, nel ciclo progettuale, l'importanza dell'intuito, dell'inventiva e della cultura scientifica del progettista, principalmente nella scelta dello schema teorico adatto a rappresentare la realtà costruttiva.

Le tecniche interattive sono rese possibili mediante macchine interattive (hard-ware) e programmi strutturali interattivi (soft-ware) completamente innovativi rispetto alla tradizionale tecnica batch dove l'utente non può intavolare un dialogo assistito, ma è soggetto ad un rapporto passivo di immissione dati (input) e verifica dei risultati (output).

Per permettere una introduzione alla tecnica interattiva ed all'hard-ware e soft-ware relativi ad essa, sono di seguito riportate alcune annotazioni sull'argomento.

Hard-ware e soft-ware interattivi

Nell'ambito dell'ingegneria strutturale esistono oggi codici generali per l'analisi delle strutture che sono entrati nella pratica comune dei progettisti strutturali. Questi codici oggi usati comunemente (quali STRESS, SAP, ADINA, NASTRAN, BERSAFE, MARK) richiedono generalmente lunghe elaborazioni dei dati tanto in input quanto in output. Da qui l'importanza della moderna ricerca e sviluppo del soft-ware strutturale in quanto riducono la procedura input-output con opportuna pre-elaborazione dei dati (pre-processor) e post-elaborazione dei risultati (post-processor) (fig. 2).

Le due fasi di pre e post-elaborazione dei dati e risultati rispettivamente, sono ottenibili con opportuni interfaccia in hard-ware (macchina) e in soft-ware (programmi).

Mediante le tecniche interattive la pre-elaborazione dei dati può essere eseguita principalmente con:

- tastiera alfanumerica: hard-ware
- penna luminosa e joysticks: hard-ware
- tavola analogica o digitalizzatore: hard-ware
- video grafico: hard-ware
- menu e tastiera di funzioni: soft-ware, hard-ware
- programmi di generazione di dati automatica: soft-ware.

La post-elaborazione dei risultati può essere ottenuta mediante:

- video grafico: hard-ware
- tavola grafica o plotter: hard-ware
- programmi di rappresentazione grafica dei risultati: soft-ware.

La moderna disponibilità dei linguaggi scientifici per la comunicazione con la macchina e le nuove generazioni di mini-calcolatori estremamente potenti ed a costi sempre più accessibili ci permettono di costituire una combinazione uomo-macchina secondo una configurazione interattiva come schematizzata nella figura 3.

Per mezzo di questa configurazione interattiva (interfaccia soft-ware + hard-ware) la comunicazione tra uomo e calcolatore avviene in linguaggio umano, intendendo con questo l'insieme di dati numerici, simbolici e grafici usati dall'uomo comunemente nell'ambito della propria tecnica.

La comunicazione di tipo grafico, permessa dalle tecniche interattive (IG), è sostanzialmente la più importante nel campo dell'ingegneria strutturale.

L'immissione dati avviene secondo il modo naturale di operare del progettista mediante schizzi geometrici che possono essere rilevati per mezzo del digitalizzatore (vedere oltre). I dati così

introdotti possono essere controllati su video. Altri dati, quali le caratteristiche meccaniche della struttura, possono essere introdotti mediante tastiera alfanumerica.

Eseguito il calcolo, possono essere ottenute graficamente su video o su plotter informazioni visive immediate sullo stato di deformazione e di sollecitazione.

Il sistema grafico interattivo può essere utilizzato per disegnare, progettare e verificare particolari costruttivi permettendo di eseguire cambiamenti e modifiche controllabili visivamente facendo ruotare e traslare la figura in esame e chiedendo, a soluzione ottenuta, la rappresentazione su carta.

Per interagire graficamente è necessario «comunicare» con il programma mentre esso viene eseguito con opportuni dispositivi hard-ware.

In pratica essi interrompono il programma in modo che informazioni nuove o diverse possano essere disposte. Fra i tanti, il più semplice è la tastiera alfanumerica (fig. 4a) come nelle telescriventi. Dispositivi più sofisticati includono penne luminose (fig. 4b), «joysticks» (fig. 4e) (vedere Glossario), tastiere di funzioni (fig. 4c), dispositivi di controllo e tavolette analogiche (fig. 4g) (vedere Glossario). Ne esporremo brevemente le caratteristiche.

Con una tastiera alfanumerica si possono inviare messaggi precisi al programma, ma con una velocità di interazione non troppo alta, specialmente se l'utente non è un buon dattilografo.

Forse il dispositivo più conosciuto è la penna luminosa. Quando si posa su una linea o una qualsiasi area illuminata dello schermo e si attiva, la posizione della penna è inviata al calcolatore.

Il joystick funziona con lo stesso principio. Muovendo un'astina di controllo si comunica al calcolatore una posizione bidimensionale.

I dispositivi di controllo sono essenzialmente potenziometri a rotazione. Sono particolarmente usati per attivare rotazioni, traslazioni e zooming di sistemi hard-ware e soft-ware.

Tutti questi sono dispositivi analogici e il segnale viene convertito in informazione digitale da un convertitore analogico/digitale (A/D).

Le tastiere di funzioni sono composte da bottoni o interruttori, le posizioni dei quali influenzano il programma grafico.

La tavoletta analogica è il dispositivo più versatile ed accurato per comunicare informazioni di posizione al calcolatore. Usata convenientemente, la tavoletta può svolgere tutte le funzioni della penna luminosa, del joystick, della tastiera di funzioni e dei dispositivi di controllo. Associata alla tavoletta c'è una penna o un cursore (fig. 4f) che possono essere mossi sulla superficie e dai quali viene rilevata la posizione. In genere hanno una precisione di $\pm 0,01$ pollici, che può arrivare fino a $0,001$ pollici. La posizione della penna e la relativa disposizione sull'area del-

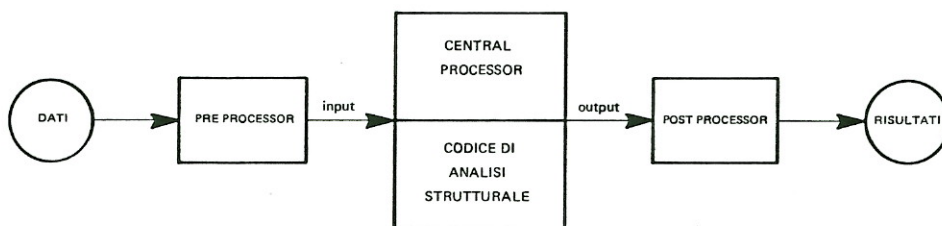


Fig. 2.

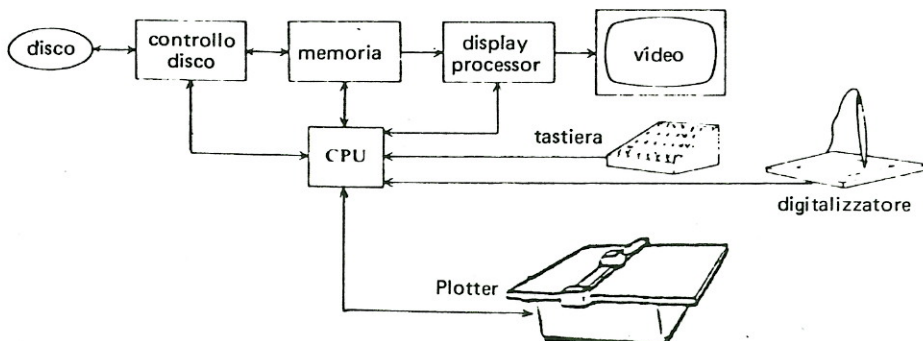


Fig. 3.

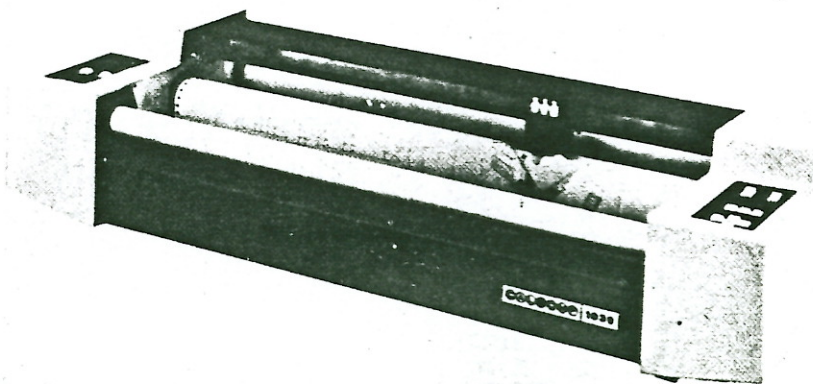
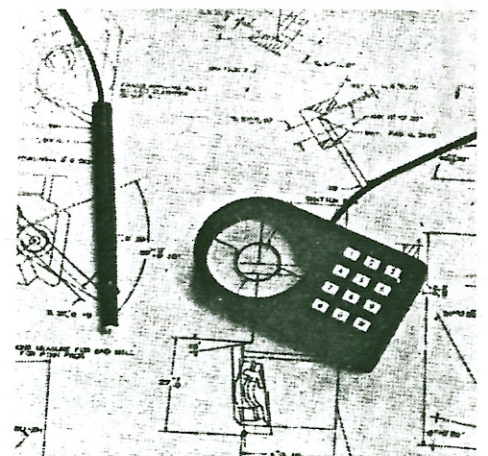
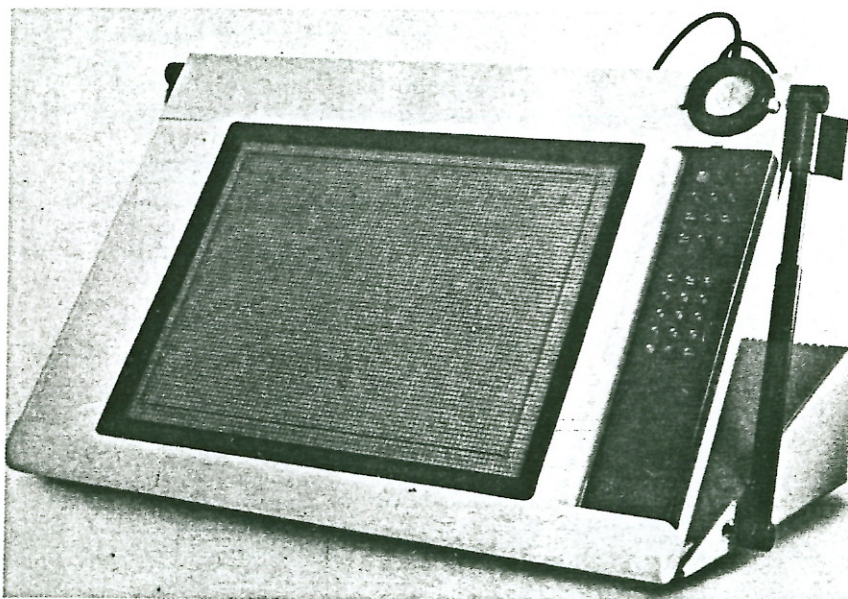
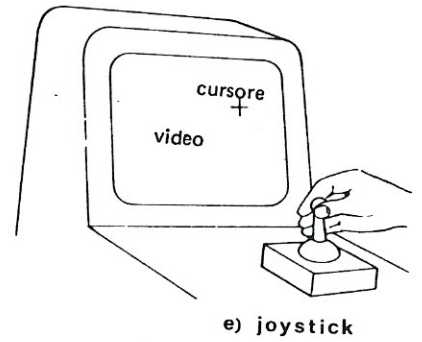
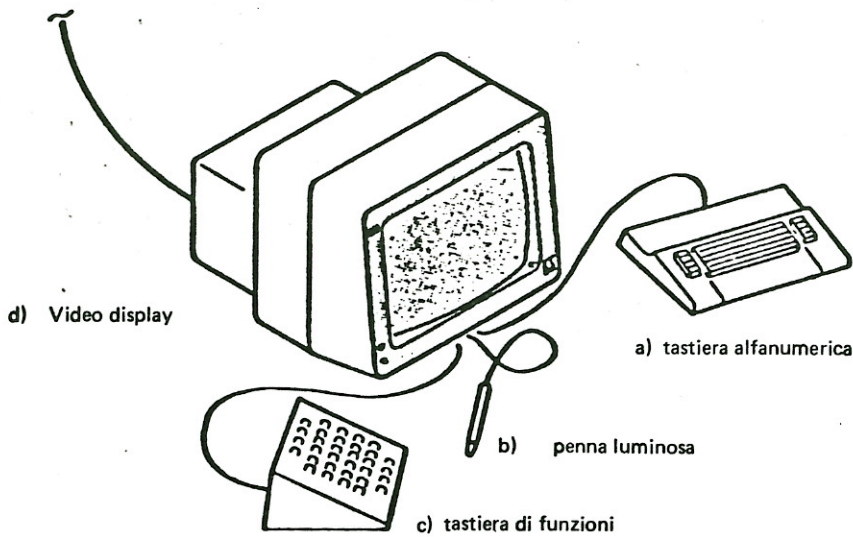


Fig. 4. Hardware interattivo.

lo schermo sono collegate per mezzo di cursori (un simbolo appena visibile) il cui movimento sullo schermo è in relazione con quello della penna sulla tavoletta. La tavoletta analogica ha un vantaggio sulla penna luminosa. Quando la tavoletta è usata per rilevare un punto, le indicazioni avvengono nel data base e non nel display file. Così il programma è semplificato.

Descriveremo solo un limitato numero di dispositivi grafici rappresentativi, in particolare tre diversi tipi di CRT (vedere Glossario e grafici della figura 4d): quello a tubo a memoria, a rinfresco e raster scan: un plotter a penna e inchiostro; e un plotter elettrostatico a matrice di punti.

I tubi a raggi catodici a memoria, chiamati anche a memoria bistabile, possono essere considerati simili a un oscilloscopio con il fosforo ad alta persistenza. Una linea o un carattere sullo schermo rimarranno visibili finché non verranno cancellati generando uno specifico segnale elettrico. La procedura di cancellazione richiede circa mezzo secondo. Alcuni vantaggi di questo dispositivo sono: l'immagine libera dal flicker (vedere Glossario), la buona risoluzione (normalmente 1024×1024 «raster points» in un quadrato di cm 20×20) e il basso costo. In più è facile ottenere una «hard copy» della figura (vedere Glossario). Il principale svantaggio è che non si può cancellare solo una parte della figura sullo schermo, ma tutta la figura ogni volta. A causa di ciò non possono essere effettuate visioni dinamiche. In più questa caratteristica rallenta l'interazione tra l'utente e la figura.

Uno schermo CRT a rinfresco è basato su un tubo a raggi catodici simile a quello della TV, ma la generazione delle immagini è molto differente. La TV usa una tecnica «raster scan» (vedere oltre), mentre il tradizionale schermo a rinfresco usa la tecnica «calligrafica» o «per vettori». Un dispositivo di questo tipo richiede due elementi: un buffer (vedere Glossario) di schermo e un controller di schermo. Per capire meglio i vantaggi e gli svantaggi di questo dispositivo vediamo di analizzare brevemente il suo funzionamento.

Poiché il fosforo usato sul tubo a raggi catodici di un dispositivo a rinfresco si disattiva molto rapidamente, cioè ha una breve persistenza, è necessario ridipingere o ricostruire la figura molte volte al secondo (frequenza di rinfresco). Una frequenza di rinfresco troppo bassa produce il fenomeno chiamato flicker, che è simile all'effetto che risulta dal proiettare un film troppo lentamente. È necessaria una frequenza di rinfresco di almeno 30 volte al secondo e l'ideale è 40 volte al secondo. La funzione del buffer di schermo è quella di immagazzinare in sequenza tutte le istruzioni necessarie per disegnare la figura sullo schermo. La funzione del controller di schermo è di accedere (mediante un ciclo) a queste istruzioni alla frequenza di rinfresco. È subito chiara una limitazione di questo

dispositivo: la complessità della figura è condizionata dalle dimensioni del buffer e dalla velocità del controller. Comunque la corta persistenza dell'immagine può essere usata per movimenti dinamici. In particolare la figura può essere aggiornata ad ogni rinfresco o ciclo di rinfresco. In più ogni istruzione del buffer di schermo può essere cambiata, cosicché ogni elemento della immagine può essere cancellato o cambiato, o altri elementi possono essere aggiunti. Un altro svantaggio è la relativa difficoltà di ottenere una hard copy dell'immagine sullo schermo. Per concludere, anche se i dispositivi a rinfresco sono generalmente più costosi di quelli a memoria, le loro caratteristiche li rendono utili quando si desiderano immagini dinamiche in tempo reale o una rapidità di interazione con la figura veramente alta.

Uno schermo CRT raster scan usa la tecnica di un terminale televisivo standard. In questa tecnologia la figura è composta di una serie di punti. Questi sono tracciati usando una tecnica raster scan, cioè con una serie di linee orizzontali. Prima è necessario convertire le istruzioni di linee e caratteri in una forma compatibile con la discretizzazione. Questo processo è chiamato «scan conversion». Una volta convertita, l'informazione deve essere immagazzinata in modo da permettere ad essa un ragionevole accesso. Ciò sta diventando più facile con i progressi nella tecnica della memorizzazione dei

dati. I vantaggi e gli svantaggi sono simili a quelli dei dispositivi calligrafici, con qualche considerazione in più. Uno schermo CRT raster scan è generalmente più lento ed è difficile implementare la cancellazione selettiva, ma ha i vantaggi di essere esente da flicker e può essere facilmente connesso con un sistema televisivo a circuito chiuso.

I plotters a penna e inchiostro (fig. 4h) sono di due tipi: a tavolo o a tamburo. La maggior parte dei plotters opera in modo incrementale, cioè l'equipaggio scrivente, non necessariamente delle penne, si muove sulla superficie da plottare con una serie di piccoli passi, generalmente da 0,01 a 0,001 pollici.

Mentre nei plotters a tavolo la carta è ferma e si muove l'equipaggio scrivente, in quelli a tamburo le penne si muovono in una direzione mentre la carta scorre su un tamburo sotto di loro nella direzione ortogonale. Comparati con gli schermi CRT essi sono molto lenti, perciò non adatti alle applicazioni in tempo reale.

Il plotter-stampante a matrici di punti opera depositando particelle di inchiostro su piccole aree di carta speciale caricata elettricamente.

In particolare, una speciale carta trattata che può contenere cariche elettriche viene passata su una testina scrivente che contiene una fila di pennini o stili. In genere da 70 a 200 stili per pollice. Gli stili depositano una carica elettrica sulla carta speciale. Poiché le

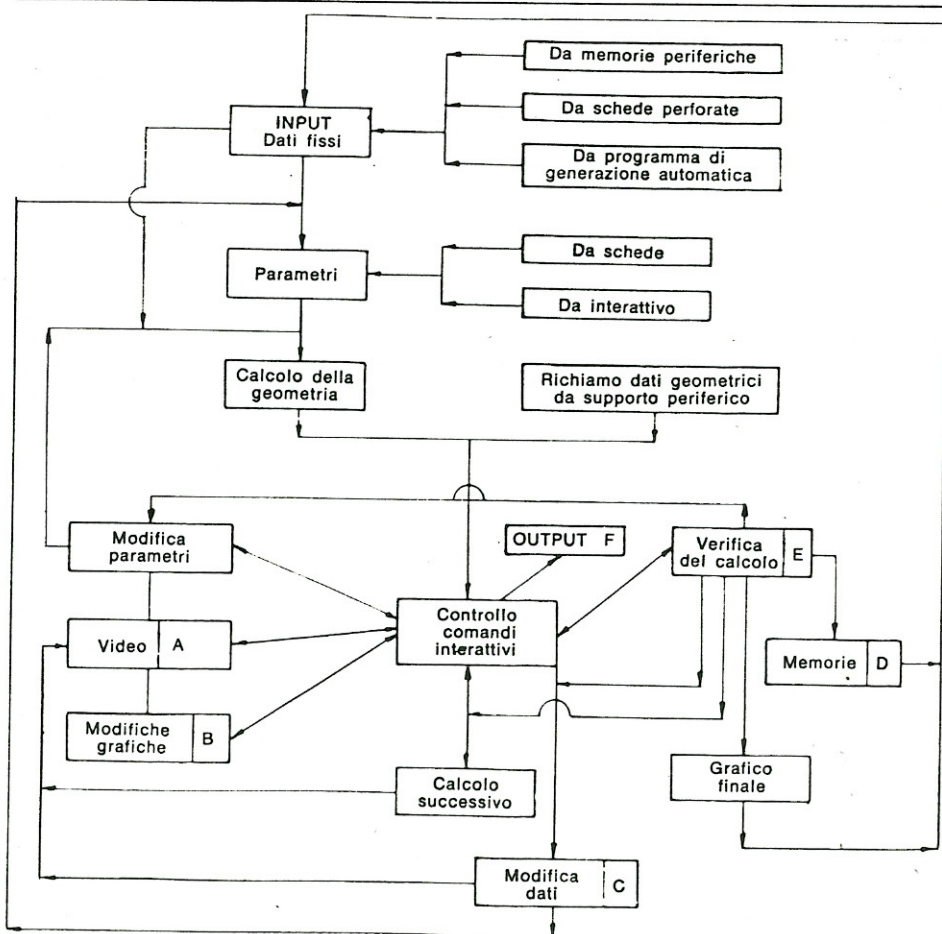


Fig. 5.

cariche da sole non sono visibili, la carta è passata sotto un applicatore di particelle di inchiostro che sono attratte dalle aree caricate elettricamente, rendendole così visibili. La carta viene poi essiccata e presentata all'utente. Si possono ottenere velocità molto alte: in genere da 500 a 1000 linee al minuto.

Il plotter elettrostatico a matrici di punti è un dispositivo raster scan, cioè presenta l'informazione una linea alla volta. Per questo richiede una grossa disponibilità di memoria per costruire completamente la figura. Questo e la bassa risoluzione (0,01 pollici) sono gli svantaggi. I vantaggi sono dati dall'alta velocità e dall'eccellente regolarità di funzionamento.

Parte integrante e qualificante del sistema è il soft-ware.

Questo normalmente è suddiviso in due livelli: uno di base per un impiego generalizzato delle apparecchiature interattive con linguaggi evoluti particolarmente studiati e sviluppati a questo scopo. Il secondo è costituito da un programma specializzato per ogni campo applicativo come può essere quello della strutturistica. Quest'ultimo programma deve essere strutturato bidirezionalmente (può ricevere informazioni e fornire risultati) e perciò durante l'esecuzione delle operazioni può interrompere momentaneamente il calcolo, apportare modifiche ai dati e ripartire elaborando i nuovi valori. I di

positivi interattivi sopra menzionati consentono di agire dall'esterno, intervenendo sul programma quando lo si ritenga opportuno secondo una tipica operazione di correzione, tentativo e verifica progettuale. Una tipica organizzazione bidirezionale di un programma interattivo strutturale è illustrata nella figura 5.

Risultati grafici

Per restare nel concreto, e a titolo di esempio di come sia possibile lavorare con un sistema interattivo, nelle figure seguenti è possibile osservare i risultati ottenuti dopo sequenze di progettazione interattiva.

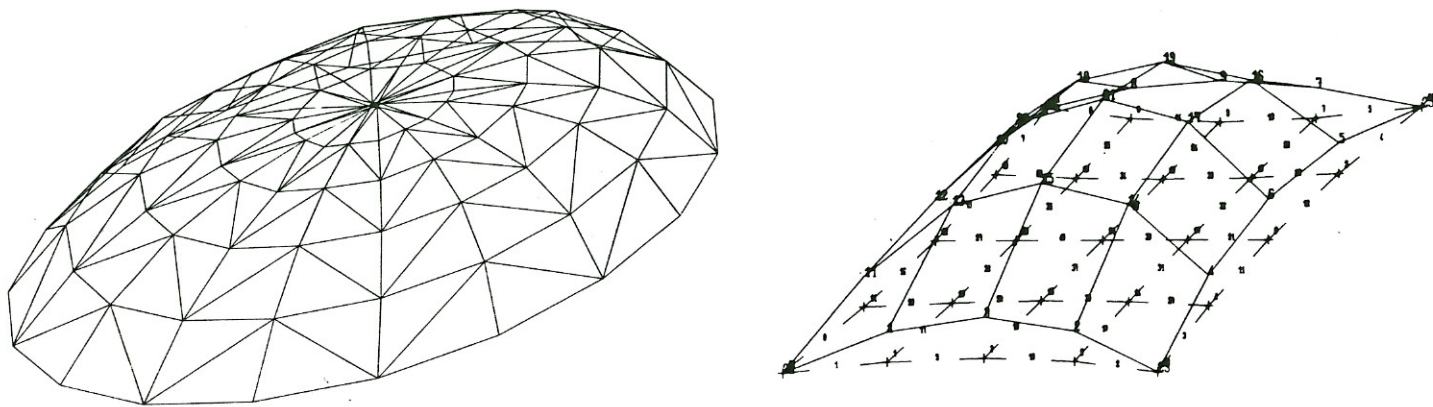


Fig. 6a. Cupole metalliche e assonometrie (su plotter).

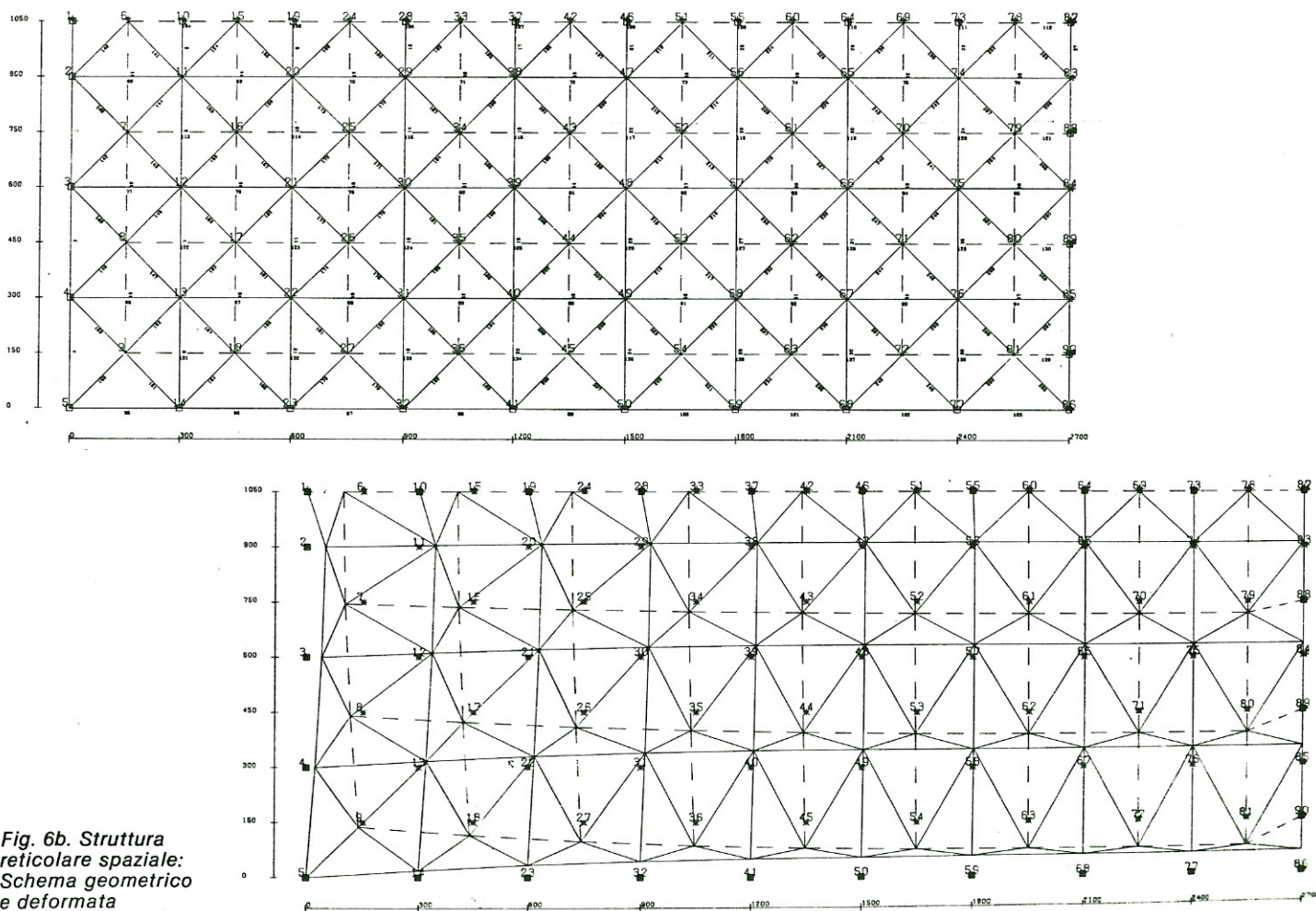
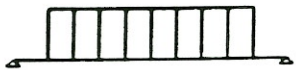
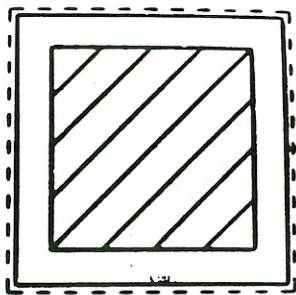
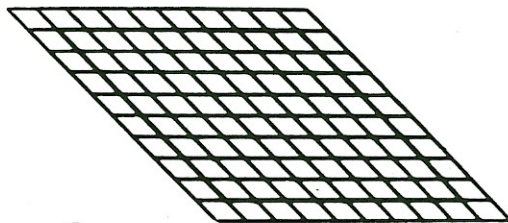


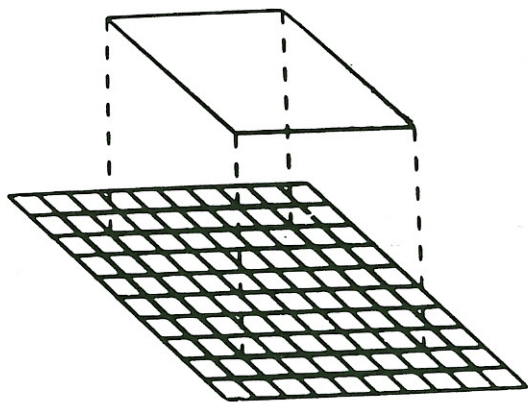
Fig. 6b. Struttura reticolare spaziale: Schema geometrico e deformata (su plotter).



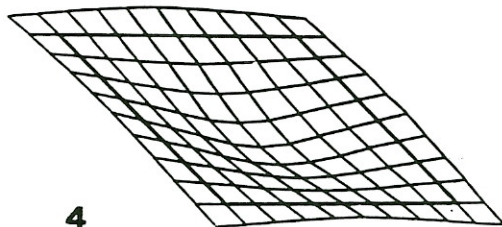
1



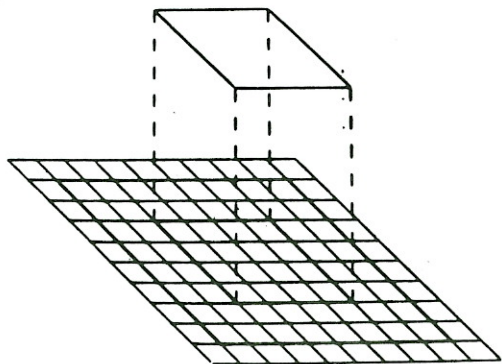
2



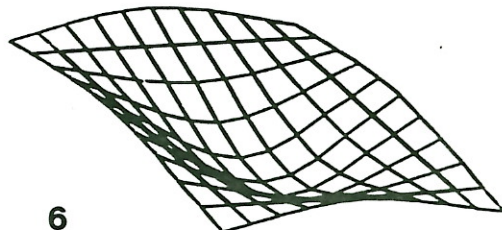
3



4



5



6

Fig. 6c. Lastra: schema, caricamento, superficie elastica (su video).

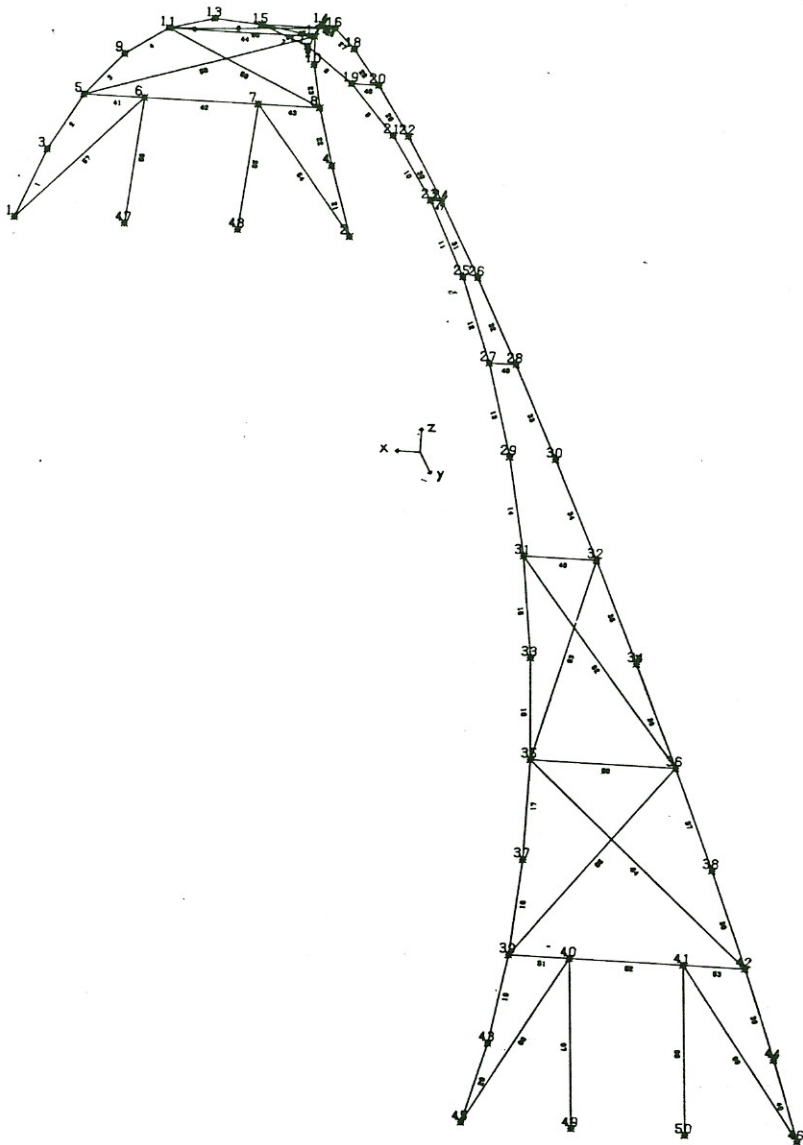
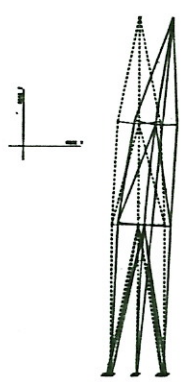
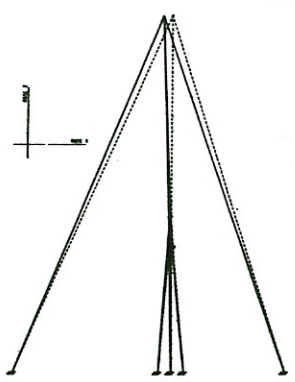


Fig. 6d. Arco spaziale: assonometria (su plotter).



DEFORMAZIONE DELLA STRUTTURA
PER EFFETTO DELLA
PRESOLLECITAZIONE E DELLA
CONDIZIONE DI CARICO 2

SCALA DISCORSO 1 / 50
SCALA SPOSTAMENTI 1 / 10

CONVULSIONE DI GRUPPO 2
- 0000 4 / 000000 00-0000 000000
- 0000 00 / 000000 00-0000 000000
- 0000 00 / 000000 00-0000 000000
- 0000 00 / 000000 00-0000 000000

SPOSTAMENTI NEI PUNTI CARICATI (cm)

GRUPPO	SP. 1	SP. 2	SP. 3
1	0.0	0.0	0.0
2	-0.2	0.0	-0.2
3	-0.1	0.2	-0.1

VALORI DELLA TENSIONE NEI MEMBRI (kg/cm²)

MEMBRO	TENSIONE	MEMBRO	TENSIONE
1	0.00	11	0.00
2	0.00	12	0.00
3	0.00	13	0.00

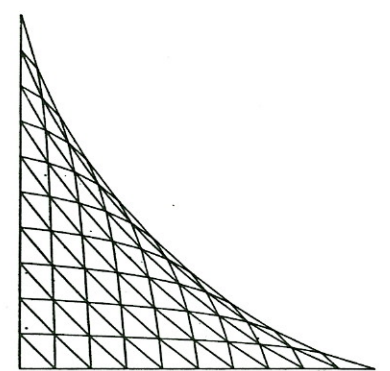


Fig. 6e. Albero strallato da barca: schema geometrico e deformata (su plotter).
Vela da barca: geometria in regime di membrana (su plotter).

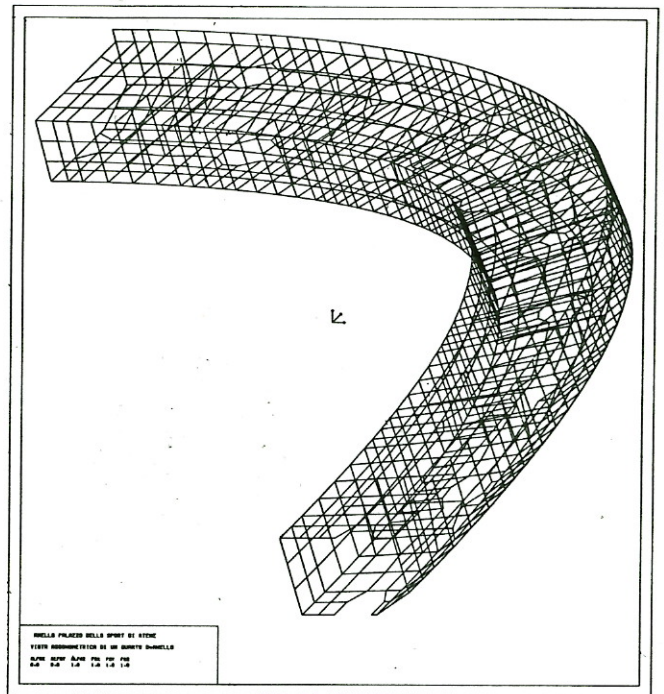
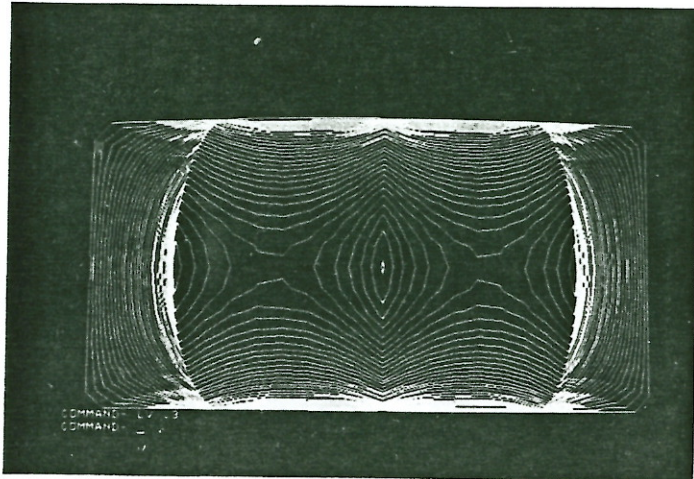
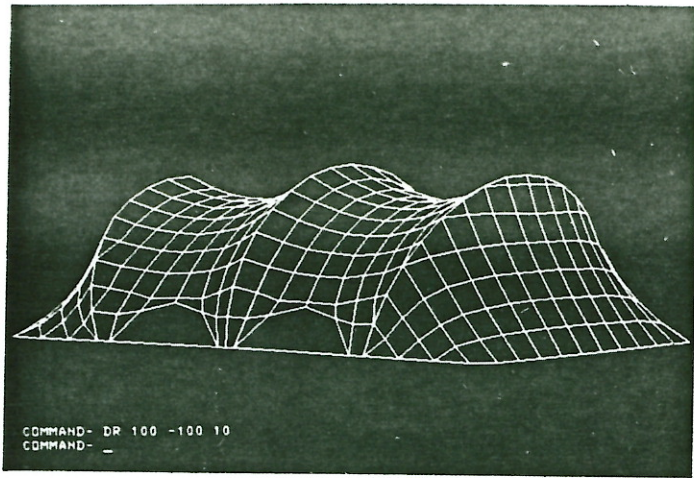
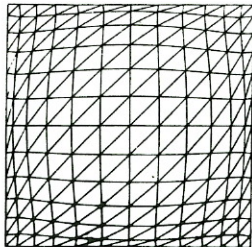


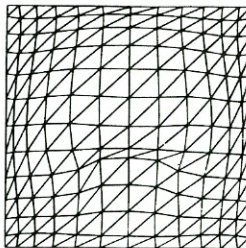
Fig. 6h. Controllo geometrico di una generazione automatica ad elementi finiti per la struttura di bordo del nuovo Palazzo dello Sport di Atene (su plotter).

Fig. 6f. Membrana spaziale: geometria con eliminazione delle linee nascoste e curve di livello (su video).

a) STATE "O"



b) UNELASTIC STATE



c) ELASTIC STATE

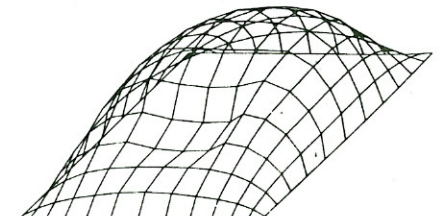
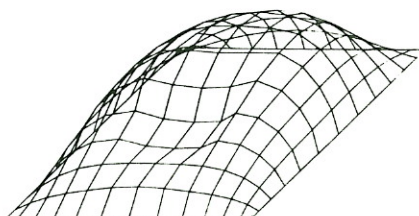
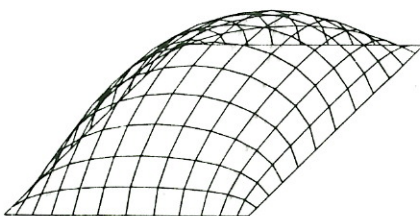
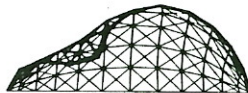
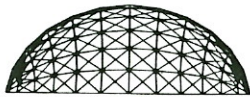
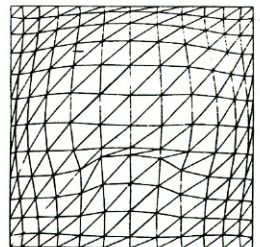


Fig. 6g. Struttura pneumatica: ricerca della forma e stato di deformazione (su plotter).

Glossario

Alfanumerico, carattere:

un dato che il calcolatore interpreta come un simbolo (lettera dell'alfabeto, cifra, carattere speciale).

Buffer:

area di memoria utilizzata come parcheggio per operazioni di INPUT/OUTPUT (entrata-uscita).

Batch:

procedimento di utilizzo di un calcolatore secondo il quale il programma e i dati vengono preparati (in genere perforati su schede) e introdotti nel calcolatore il quale produce tutti i risultati al termine dell'elaborazione. È il contrario di interattivo.

Compilatore:

programma del sistema operativo che traduce le istruzioni in un linguaggio ad alto livello (Fortran) in istruzioni di linguaggio macchina.

Chiave (key):

informazione il cui compito è di identificare un record; facilitano la gestione di tutti i files.

CPU (Control Processor Unit):

il cuore del calcolatore. È l'unità che decodifica le istruzioni e gestisce tutte le operazioni.

Coordinate:

una coppia di numeri che individua un punto dello schermo e dello spazio virtuale; in genere si usano coordinate cartesiane.

Cursore:

un segnalatore mobile usato come riferimento sullo schermo.

Cursore grafico (Graphic cursor):

cursore usato per definire la posizione di un punto sullo schermo.

C.A.D. (Computer Aided Design):

progettazione assistita da computer; non coinvolge necessariamente la grafica.

C.R.T. (Cathod Ray Tube):

tubo a raggi catodici; il cinescopio degli apparecchi televisivi.

Data base (banca dati):

una collezione di dati interrelati, organizzati secondo uno schema che permette una o più applicazioni, adoperandoli indipendentemente dalla loro posizione fisica nella memoria.

Display (schermo):

la parte di un terminale grafico CRT sulla quale appare l'immagine.

Display buffer:

buffer nel quale stanno i codici del disegno che deve essere ricostruito periodicamente nei terminali grafici (CRT a rinfresco).

Display controller:

dispositivo in grado di rinfrescare l'immagine più volte al secondo, nei terminali a refresh.

Display file:

un file nel quale è memorizzato il disegno in forma di coordinate.

Digitalizzatore (digitalizer):

dispositivo di input grafico. Invia al calcolatore le coordinate di un punto, definite appoggiando uno stilo su una tavola nel punto desiderato.

E.D.P. (Electronic Data Processing):

il trattamento dell'informazione mediante procedimenti elettronici.

File:

gruppo di informazioni logicamente correlate; il più grande insieme di informazioni al quale si può accedere mediante il nome del file.

Hard copy:

una copia permanente delle elaborazioni grafiche comparse sul video (fotocopia).

Hardware:

l'insieme di tutto ciò che c'è di fisico in un sistema di elaborazione, dai circuiti alle parti elettromeccaniche.

Input/Output (I/O):

operazione di immissione/uscita di dati nel/dal calcolatore.

Interattivo, collegamento:

una tecnica di comunicazione utente/sistema nella quale il sistema riconosce i comandi dell'operatore alla stazione di lavoro e agisce di conseguenza. Permette di colloquiare col programma mentre è in esecuzione. È il contrario di batch.

Informatica distribuita:

la diffusione di un sempre maggior numero di risorse e strumenti per l'elaborazione dati di sempre più facile impiego e ubicati in corrispondenza della fonte stessa dei dati «grezzi», che corrisponde, in molti casi, al luogo stesso di utilizzo dei dati elaborati.

Keyboard (tastiera):

parte del terminale che permette di inviare dati alfanumerici al calcolatore.

Memoria di massa:

dischi, cilindri e disk-pack che possono avere accesso diretto (accesso Random).

Menu:

area dello schermo o della tavoletta analogica o del digitalizzatore riservata a un gruppo di comandi; si può selezionare un comando appoggiandovi sopra la penna luminosa o i cursori o lo stilo.

Penna luminosa:

dispositivo che permette di individuare, tramite un fascio di luce, un punto sullo schermo di un terminale.

Plotter:

dispositivo in grado di eseguire automaticamente un disegno su carta o su supporti analoghi.

Periferica, unità:

dispositivo che può essere collegato con la CPU dell'elaboratore (es. unità dischi, terminali, lettori di schede e nastro perforato, etc.).

Refresh (rinfresco):

metodo per ottenere immagini su terminali CRT con fosforo a bassa persistenza per il quale l'immagine viene ridisegnata (rinfrescata) più volte al secondo.

Record:

sottostruttura dei files; corrisponde al più grande insieme di dati che può passare in I/O.

Sistema operativo (operating system):

insieme di programmi non destinati a risolvere problemi specifici, ma aventi lo scopo di coordinare le parti che compongono un sistema di elaborazione.

Software:

insieme di programmi e istruzioni. È tutto ciò che non è hardware. Risiede in dispositivi di memoria.

Tempo reale (real-time):

le applicazioni real-time sono quelle per le quali l'elaboratore deve sincronizzarsi con eventi esterni (ad es. le domande del progettista) e rispondere con opportune azioni entro tempi prefissati (ad es. i tempi di elaborazione progettuale).

Tavoletta analogica:

dispositivo di input grafico legato al terminale grafico. Concettualmente lavora come il digitalizzatore che però è indipendente dal terminale.

Terminale grafico a memoria:

dispositivo grafico che, per visualizzare le immagini, usa un tubo a memoria.

Terminale a rinfresco:

dispositivo grafico che, per visualizzare le immagini, usa la tecnica detta «a rinfresco».

Terminale raster scan:

dispositivo grafico che visualizza l'immagine scomponendo lo schermo in un certo numero di punti discreti.

BIBLIOGRAFIA

Newmann/Sproull: «Principles of Interactive Computer Graphics», Computer Science Series, MacGraw-Hill, 1973.

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.

Pozzati P.: «Teoria e tecnica delle strutture», UTET, 1977.

Croci G.: «Lo sviluppo della scienza del pensiero filosofico ed il suo apporto all'evoluzione delle costruzioni», Industria delle Costruzioni, maggio 1979.