



come un normale "tavolo da disegno". In tal modo l'utente opera con modalità familiari disegnando letteralmente sulla superficie del tavolo, il cui spazio immagine può essere occupato da un'unica rappresentazione grafica come pure contenere riferimenti fotografici, tasti funzione, testi alfanumerici.

Una limitazione solo contingente di tale tipo di realizzazione è rappresentata dalla risoluzione dei sistemi raster caratterizzati attualmente da una indirizzabilità massima di 1024 righe ciascuna di 1024 punti o, più diffusamente, da matrici 512 x 512 o 640 x 480. Ciò limita in certa misura quanto rappresentabile ma, va detto, in misura accettabile specie con riferimento alle versioni 1024 x 1024 o analoghe su formato rettangolare. Tale unità base consente tra l'altro:

- la consultazione di immagini di archivio (su nastro o video tape) o di catalogo (su video disco);
- l'elaborazione grafica di progetto secondo la logica della produzione di piante, prospetti e sezioni permettendo, attraverso la tecnica della trasparenza programmata, di conservare il riferimento con altri elaborati tecnici già redatti;
- la definizione di immagini prospettiche interne o esterne dell'edificio caratterizzato da grado di definizione prossimo al reale anche attraverso operazioni automatiche di fotomontaggio su immagini d'ambiente riprese attraverso telecamera.

Con tale unità e disponendo di risoluzione sufficiente diviene possibile operare, date le dimensioni dell'area di lavoro, conservando l'immagine

pianimetrica completa dell'edificio piuttosto che solo quella di un'area particolare.

Gli strumenti di interazione sonora possono incrementare l'efficacia del sistema accettando comandi in lingua parlata (ad esempio "cambia scala", "esegui prospettiva", ecc.) e fornendo messaggi di utilità riferentesi ad esempio, a disposizioni normative o richieste della committenza non rispettate nella versione oggetto di studio.

Un elemento di rilievo caratterizzante una tale configurazione è rappresentato dall'operare in modo "trasparente" delle varie unità e devices aggregati.

L'operatore può in realtà ignorare l'elettronica a valle del tavolo su cui opera. Il suo lavoro non è disturbato da procedure insolite o onerose o dalla necessità di familiarizzare con tastiere e comandi codificati.

Ovvio completamento di tale configurazione è costituito da un tracciatore automatico per la produzione finale degli elaborati di progetto.

Note conclusive

Come' evidente dalle necessariamente limitate esemplificazioni operative riportate, quanto descritto non può scaturire unicamente come frutto di una aggregazione di strumenti di vario tipo. L'operatore ipotizzato di un tale sistema si basa in maniera altrettanto sostanziale sulla predisposizione opportuna di procedure operanti la "trasparenza" richiamata: sull'integrazione hardware-software finalizzata all'utenza.

mediante un duttile ed universale "linguaggio interattivo", interfaccia del dialogo filosofico-professionale fra progettista strutturale ed elaboratore automatico.

L'impostazione unitaria delle teorie della meccanica strutturale e l'analisi automatica

Nei classici trattati sulla storia della scienza e tecnica delle costruzioni [1, 2] del 1886 e 1953, rispettivamente, non si accennava ancora ad una possibilità di sintesi delle teorie relative alla meccanica dei corpi elastici in modo da poter contare su metodi generali che evitassero di dover affrontare ogni problema a se stante (metodi approssimati di calcolo). In [3, 5] del 1977, 1979 e 1981 rispettivamente, si fa già ampio cenno al "delineamento di un'unica struttura concettuale che enuclea l'energia, l'equilibrio, la congruenza, il legame costitutivo del materiale, come i concetti base su cui sviluppare ogni teoria".

E' interessante notare che, osservando lo sviluppo storico della scienza delle costruzioni, il processo di sintesi unitaria delle diverse teorie della meccanica dei corpi elastici, ottenuta solo nell'ultima metà di questo secolo, a merito principalmente dei metodi energetici, era già possibile molto prima, giacché i procedimenti risolutivi hanno conservato l'impianto generale che gli scienziati dell'Ottocento avevano già compiutamente immaginato: infatti, il modello fisico è rimasto invariato dal tempo di Cauchy (1828); il metodo delle forze impostato da Navier (1826) fu definitivamente sviluppato da Maxwell (1864), Müller-Breslau (1886) e O. Mohr (1892); il metodo dell'equilibrio viene applicato da A. Clebsch (1862) su problemi particolari e la sua grande potenzialità viene riscoperta, dopo circa novant'anni dalla segnalazione di Navier e dopo venti dalla nota di Mohr, da A. Bendixen (1914) e A. Ostenfeld (1926), i quali introdussero il metodo dell'equilibrio nella pratica corrente degli ingegneri; i metodi basati su valutazioni di carattere energetico che, per loro comune fondamento vengono di solito detti "del lavoro di deformazione", sono apparsi con Menabrea (1875), Castigliano (1873) e Maxwell (1864). La causa del ritardo di più di mezzo secolo, nell'impostazione teorica unitaria, è imputabile ad una differente velocità di sviluppo fra scienza e tecnologia associata, tipica dell'epoca pre-industriale. In questo stato di cose la scienza, a sviluppo più rapido, deve aspettare gli elementi tecnologici catalizzatori della sintesi unitaria delle diverse teorie: il linguaggio simbolico e il calcolo automatico. La mancanza di questi elementi di analisi, indispensabili per permettere la risoluzione di numerose equazioni lineari, induceva l'ingegnere, che in questo periodo disponeva dei metodi di determinanti di Leibnitz (1678) e Cramer (1750) e del metodo iterativo di Seidel (1874), basato sul metodo di eliminazione di Gauss (1810), ad adottare schemi strutturali semplificati più semplici di quelli che la teoria disponibile gli avrebbe permesso di risolvere, in modo da diminuire il numero delle incognite e rendere il problema risolvibile per via manuale.

Nascono in questo periodo i "metodi approssimati di calcolo" quali procedimenti escogitati

Computer Aided Design per la progettazione strutturale

M. Majowiecki - Ist. di Tecnica delle Costruzioni di Bologna

Introduzione

Negli ultimi decenni 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 incomensurabilmente 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.

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. E' 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. Questo rapporto può essere ottenuto

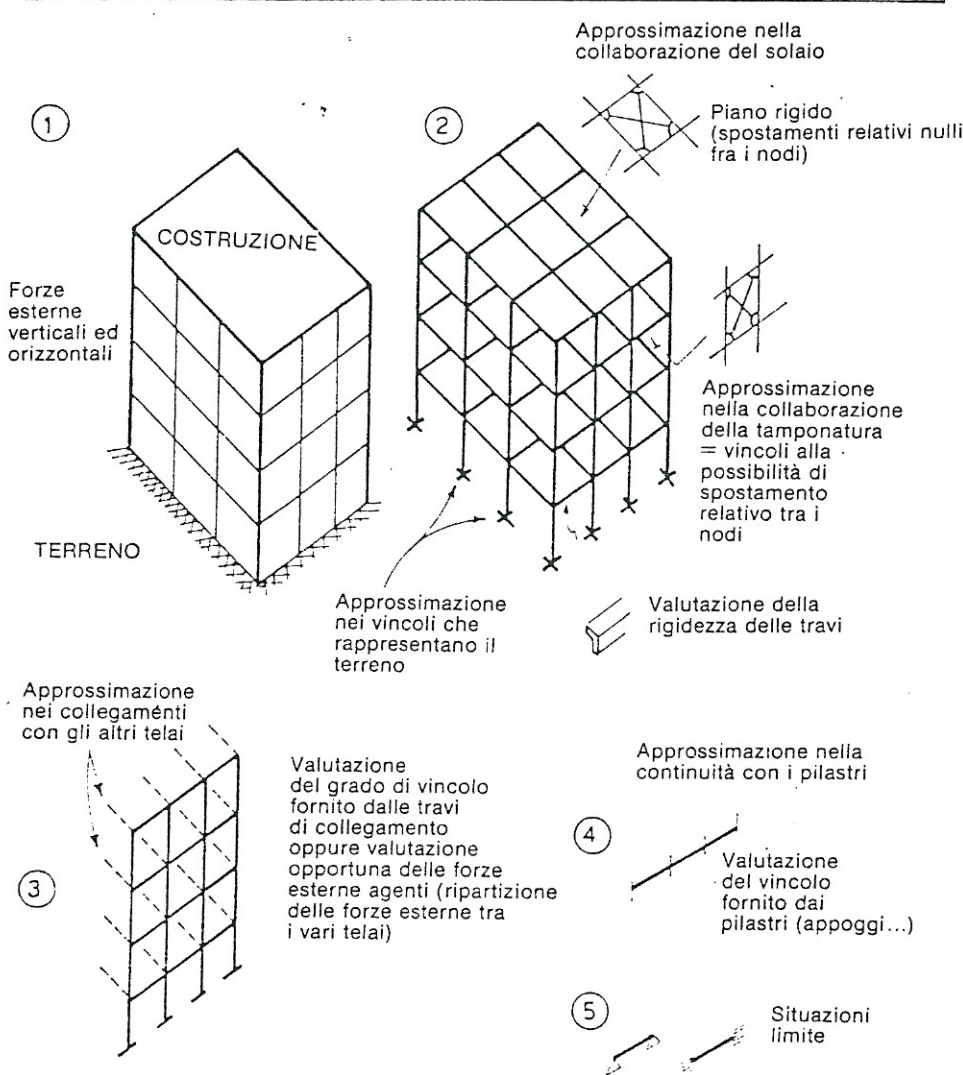


Fig. 1 - Definizione degli schemi con approssimazione nei vincoli, nelle rigidzze, nei carichi.

Fig. 2 - Ciclo interattivo di progetto.

per risparmiare tempo nell'esecuzione manuale dei calcoli. I metodi di H. Cross (1930) e di Grin-ter (1937), basati sulle "slope-deflection equations" di Bendixen, sono tipici esempi di metodi approssimati di calcolo manuale.

Lo sviluppo dei metodi approssimati di calcolo è stato permesso dalla possibilità di risolvere, per via iterativa, il problema numerico associato al problema fisico.

Nel caso del metodo di Cross, il notevole successo avuto nella pratica corrente dell'ingegnere strutturale, fino all'avvento degli elaboratori elettronici, è dovuto all'identificazione della tecnica di rilassamento per fasi successive con la risoluzione di un sistema di equazioni per via iterativa.

Questi procedimenti di calcolo numerico, associati ai problemi strutturali, hanno la massima espressione con R.V. Southwell (1946).

Il ricongiungimento con quanto predisposto nell'Ottocento e l'impostazione unitaria delle diverse teorie è stata tuttavia una conquista laboriosa consentita, oltre che dall'apporto sempre più massiccio del linguaggio simbolico, soprattutto dalle enormi capacità degli elaboratori che, avvalendosi del linguaggio matriciale e dei metodi di discretizzazione, specialmente quello agli elementi finiti, hanno reso di colpo vecchia e superata la maggior parte dei metodi approssimati di calcolo [4].

Lo sviluppo dell'analisi numerica del metodo degli elementi finiti e del calcolo automatico permette la scrittura di programmi di analisi strutturale generale, dove le differenze tra uno schema strutturale ed un altro si registreranno soltanto nei risultati, ma non nei metodi per affrontare l'esame.

Siamo nell'era della "metamorfosi del linguaggio", come viene denominata da E. Benvenuto nella sua recente storia della scienza delle costruzioni, dove il linguaggio simbolico e il formalismo matematico hanno attraversato la meccanica delle strutture per tradurla a servizio del calcolo automatico. E' così mutata la "mentalità", alle radici dell'empirismo scientifico.

J.T. Oden e K.J. Bathe [6] ravvisano in questa svolta l'inizio di "un'era di empirismo computazionale". In un loro interessante articolo si legge: "La comunità degli ingegneri di 20 anni fa era consapevole che l'uso dei metodi analitici classici offriva limitatissimi strumenti per lo studio del comportamento meccanico e, conseguentemente, era necessario che l'ingegnere arricchisse le sue analisi col soccorso di molto giudizio e intuizione accumulati in molti anni di esperienza. L'empirismo giocava un grande ruolo nella progettazione; benché fossero disponibili alcune teorie generali, i metodi per applicarle erano ancora in fase di sviluppo ed era inevitabile ricadere in schemi approssimati e far appello a indicazioni provenienti da numerose prove e conferme. Oggi è diffusa l'opinione che l'avvento del calcolo automatico abbia posto fine a tale epoca semiempirica dell'ingegneria: ormai, possono essere costruiti modelli matematici raffinati su alcuni dei più complessi fenomeni fisici e, se la potenza del calcolatore è sufficiente, si possono produrre risultati numerici credibili sulla risposta del sistema esaminato".

A questo punto assistiamo ad una inversione di tendenza nella velocità di sviluppo della scienza e delle tecnologie associate. Quando la tecno-



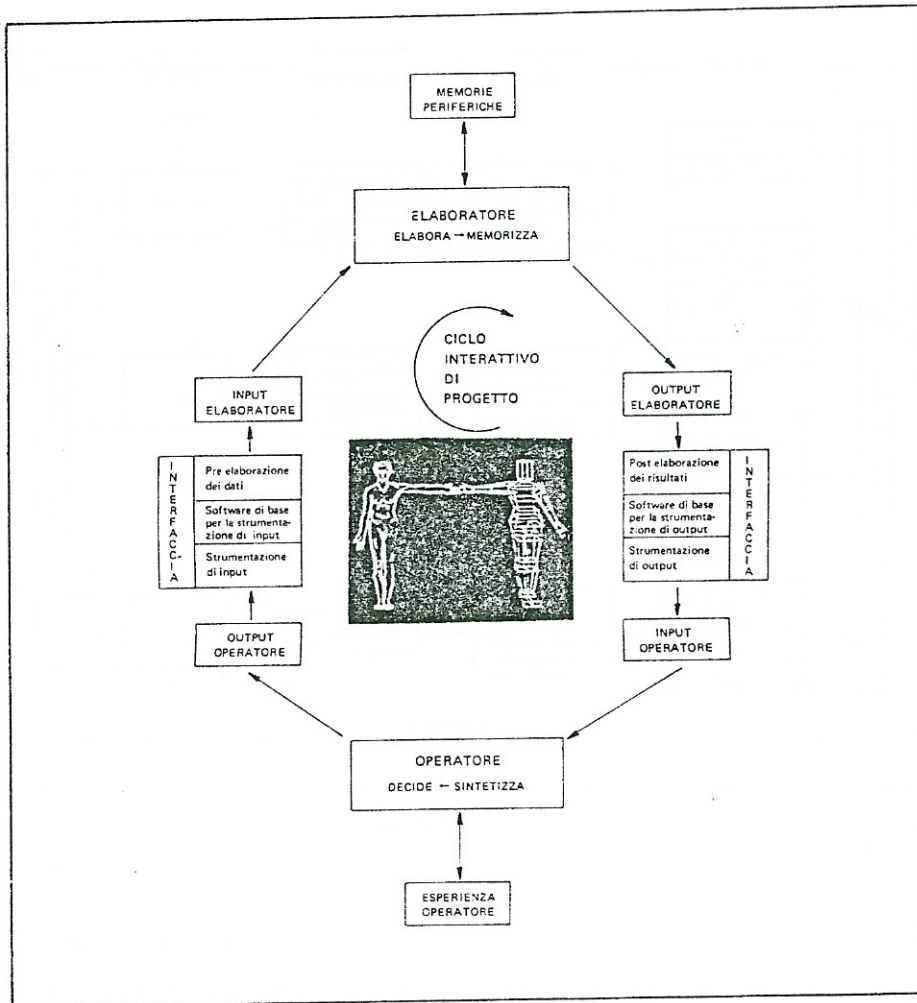


Fig. 3 - Organizzazione interattiva della metodologia progettuale: interfaccia operatore - elaboratore.

logia presenta un'alta velocità di sviluppo, la storia della scienza lo insegna, si incominciano a intravedere periodi di "pollution tecnologica". I rischi di "inquinamento" cui possiamo andare incontro nell'area della scienza che ci interessa sono: nella ricerca scientifica, quello di scambiare il "problema matematico" con il "problema strutturale", il "codice di calcolo" con lo "schema strutturale", il "mezzo" con le "finalità"; nell'ambito della professione si potrebbero innescare processi di "suggestione o di schiavitù elettronica" da parte dell'utente costretto ad accettare risultati di cui non facilmente può effettuare controlli, abituandosi spesso a considerare inappellabili i risultati. Per evitare una sotto/sopra - valutazione del problema, oggi è necessario ricercare, nello stato attuale dello sviluppo scientifico-tecnologico, un equilibrato rapporto uomo-macchina in modo da permettere un "dialogo" costruttivo fra le parti. E' possibile ottenere un rapporto equilibrato modificando opportunamente i "linguaggi simbolici" di "dialogo o comunicazione" tra uomo

ed elaboratore elettronico in modo che questo linguaggio sia il più prossimo possibile a quello naturale dell'uomo-progettista. Tutto ciò può essere ottenuto, come vedremo, con il "linguaggio interattivo grafico indirizzato".

Lo schema teorico e l'analisi automatica delle strutture

Gli obiettivi principali dell'ingegnere strutturista sono: la conoscenza più precisa possibile della realtà costruttiva e il relativo grado di sicurezza. Per individuare questi obiettivi ci si avvale di norma di una procedura di analisi di un modello fisico-matematico (schema teorico), traduzione numerica della realtà fisica della costruzione. La scelta dello schema teorico, determinata principalmente dalla cultura scientifica del progettista, si svolge in due fasi successive: in una prima fase si esegue la "riduzione" della realtà ad un modello fisico che riguarda essenzialmente [4]:

- 1) la geometria delle Costruzioni, e cioè:
 - la scelta monodimensionale, bidimensionale, tridimensionale
 - la definizione delle superfici medie, delle linee d'asse, dei punti d'intersezione della configurazione dei bordi
 - la discretizzazione nel passaggio dal continuo al discontinuo o viceversa;
- 2) i vincoli, intesi come approssimazioni della Realtà al contorno dello schema geometricamente definito e precisamente:
 - la schematizzazione dei vincoli con il suolo
 - l'alterazione dei collegamenti con gli elementi strutturali non direttamente rappresentati nello schema o "non strutturali" (tamponature, tramezzi...)
 - la riduzione dei vincoli dal contesto spaziale ad una situazione piana
 - l'idealizzazione in vincoli perfetti ("appoggi scorrevoli", "incastro"...);
- 3) le rigidzze che vengono ad essere alterate, sia in conseguenza dell'alterazione nella continuità dei collegamenti, riconducendosi in un certo senso alle approssimazioni dei vincoli, sia per l'opportunità di adottare, ai fini operativi, alcuni valori limite;
- 4) il legame costitutivo del materiale, che viene ad essere spesso semplificato in una legge lineare, trascurando la dipendenza dal tempo, l'effetto della ripetitività o dei cicli del carico, l'effetto di una eventuale degradazione del materiale, ecc.;
- 5) i carichi e le azioni in genere che risentono, sia nel valore che nella distribuzione, della geometria, dei vincoli e delle rigidzze precedentemente definite.

In una seconda fase viene impiegato un modello analitico matematico-numerico basato sui metodi generali di analisi strutturale o su metodi approssimati di calcolo.

L'indagine approssimata può essere abordata manualmente; l'indagine generale, più sofisticata, deve essere condotta necessariamente per via automatica, 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 (fig. 1).

L'analisi strutturale moderna, perciò, vede ormai inscindibile il binomio progettista-elaboratore se si vogliono esaminare schemi teorici sempre più prossimi al funzionamento reale delle strutture.

Il progettista, una volta definito il modello fisico (INPUT) può, mediante codici di calcolo automatico dove è programmato il modello matematico (central processor), ottenere i risultati dell'analisi strutturale (OUTPUT). Questa tecnica batch, diffusa con l'impiego di codici di calcolo strutturale generale, presenta diversi aspetti negativi:

- lunga preparazione e difficile controllo dei dati;
- difficile controllo dei risultati;
- passività dell'utente durante le fasi di elaborazione.

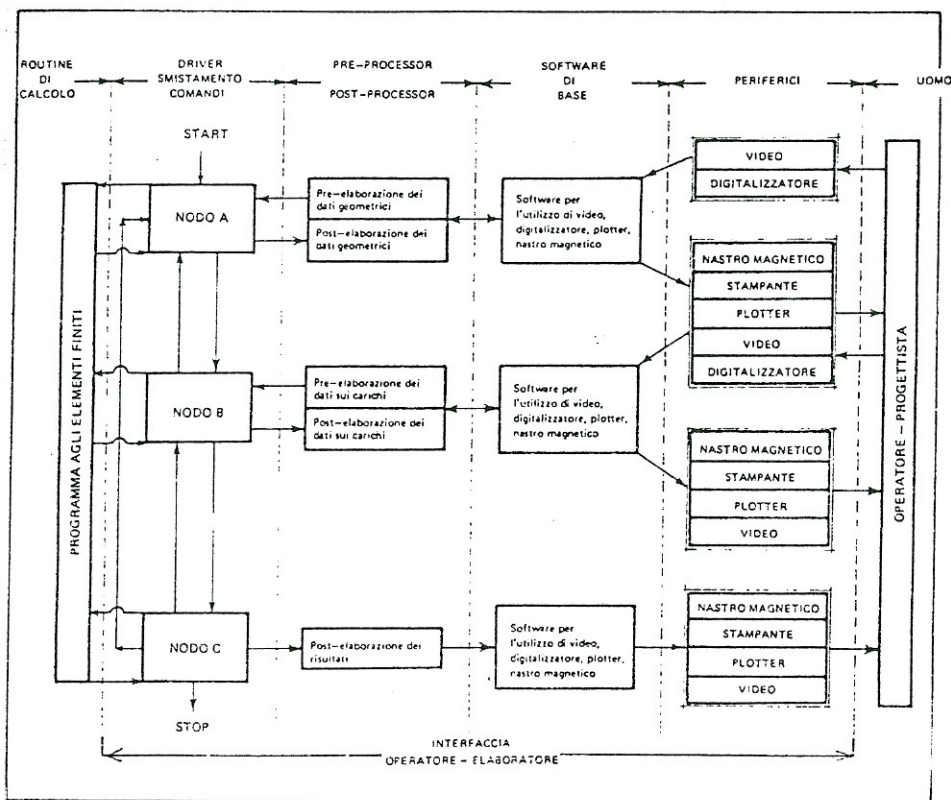
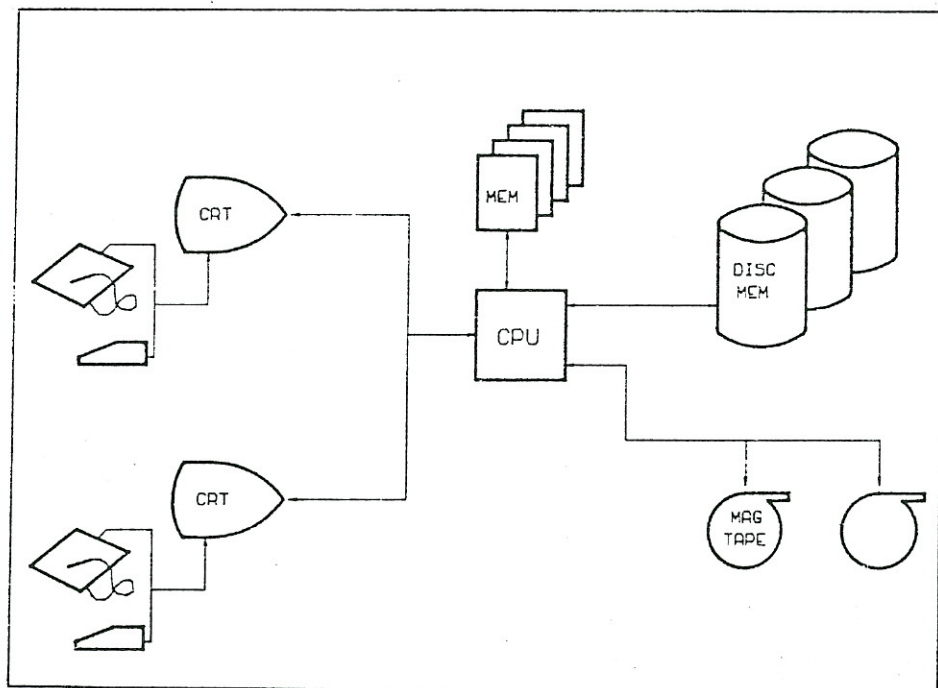


Fig. 4 - Schema a blocchi della struttura logica del programma strutturale.

Fig. 5 - Sistema grafico interattivo.



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.

Una prima soluzione a questo problema è quello di elaborare efficienti pre e post-processor che permettano una più facile costruzione e controllo dei dati e risultati. La necessità di tale elaborazione è stata evidenziata dalla Scuola di Berkeley (intervento del prof. Scrdelis al Congresso I.A.S.S. di Madrid, 1979), la quale asseriva che "lo sviluppo dei "central processor" era ormai compiuto e che tutti gli sforzi futuri dovevano essere fatti nella messa a punto di efficienti "pre e post-processor", sede della definizione dello schema teorico strutturale.

Il controllo non è ancora perfetto e il calcolo è puramente analitico; il progettista ancora rimane esterno alla elaborazione, non potendo intervenire in maniera attiva alle sue varie fasi. Solo nell'ultimo decennio si intravedono, nel campo dell'analisi strutturale assistita da elaboratore, delle soluzioni ottimali al rapporto uomo-macchina e perciò tra sintesi progettuale (definizione dello schema teorico) e analisi strutturale (codice di calcolo) [7-10].

Tecniche interattive nella progettazione strutturale

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 utilizzando la potenza, capacità e velocità nel calcolo automatico delle strutture);
- ottimo rapporto per 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. 2), 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,

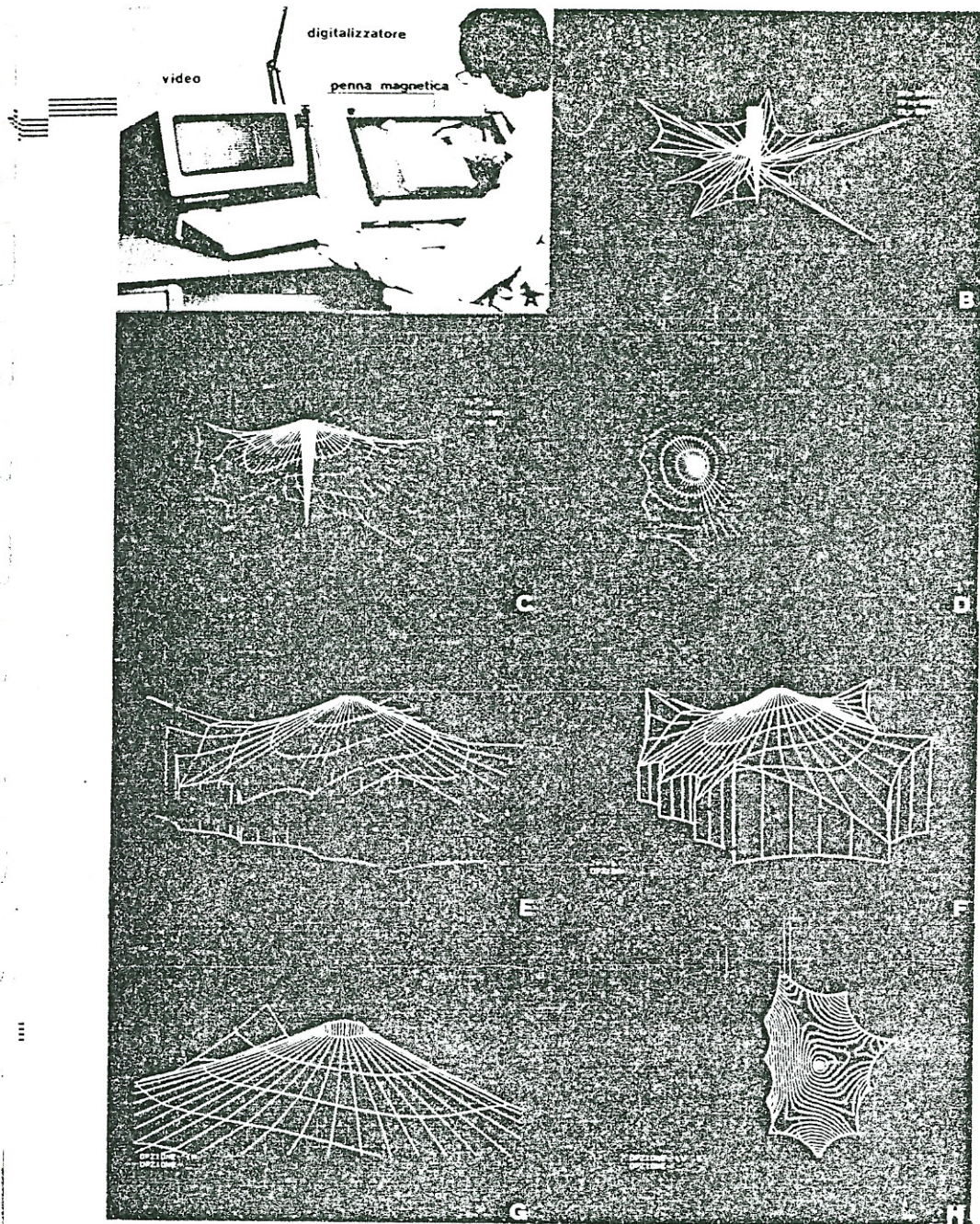


Fig. 6 - Sequenza interattiva di progetto di membrana persollecitata
 a) Introduzione dati con hardware interattivo (digitizer, video, tastiera alfanumerica).
 b) Inizio calcolo della ricerca della forma
 c) Soluzione di stato "0"
 d) Pianta
 e) Prospettiva con linee nascoste
 f) Rotazione
 g) Zoom
 h) Curve di livello

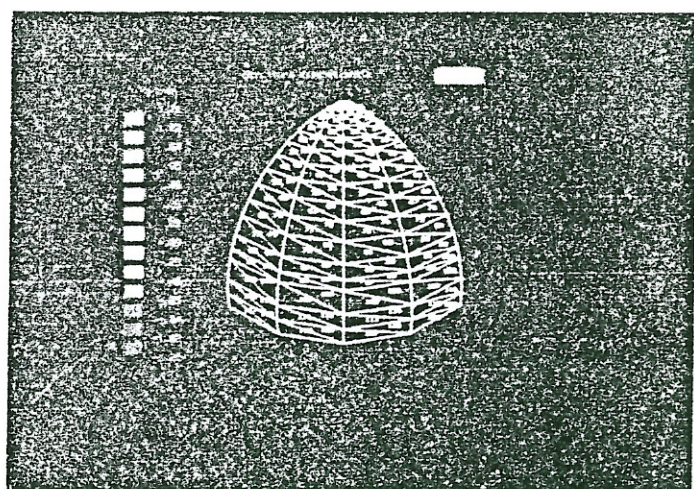
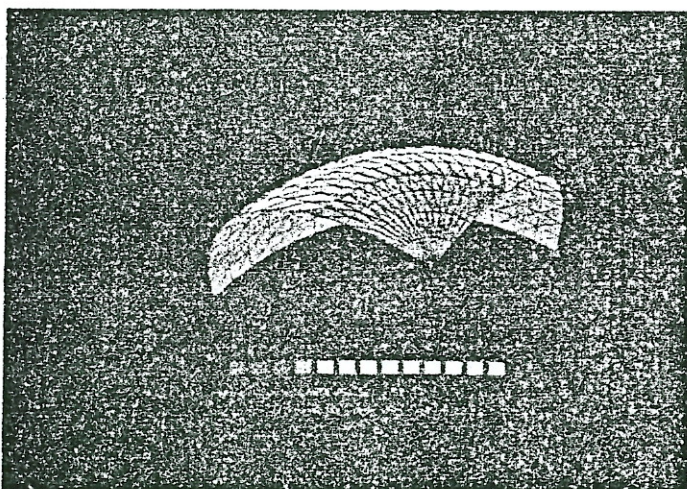


Fig. 7 - Analisi di gusci a doppia curvatura.
 — controllo dei dati su elementi finiti a membrana
 — controllo dello stato di tensione associato ad una scala cromatica.

INGR		AGG	RID VINC	SPO NOOI	AGG	RID ASTA		INTE				S.N.	STOP
SCALA INIZ.		INS		ASS X	ELIM		SEZ CORR	ARCH GEOM				S.T.	CALCOLO
VAR. SCALA	OTT	ANN		ASS Y	ANN		ASS SEZ	RIC GEOM				M.F.	ELIM DIAG
ARR	PLOT	ELIM		ASS X N		TIPO	ARCH C.C.	DT			STA GEOM	7 8 9	N
PRCC	TT	NUM		ASS Y N		NUM	RIC C.C.	ELIM D	ELIM C		STA AIS	1 2 3	CL

Fig. 8 - Menu interattivo grafico del programma telaio

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 la macchina diventa, per mezzo della "interazione", l'utile prolungamento mentale ed operativo del progettista, aumentando 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. Per permettere il dialogo interattivo è necessario

rendere compatibili i due "partners" in modo da ottenere una proficua collaborazione. Questa compatibilità può essere ottenuta osservando che:

- l'elaboratore è sommariamente un efficiente strumento di analisi di una enorme qualità 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.

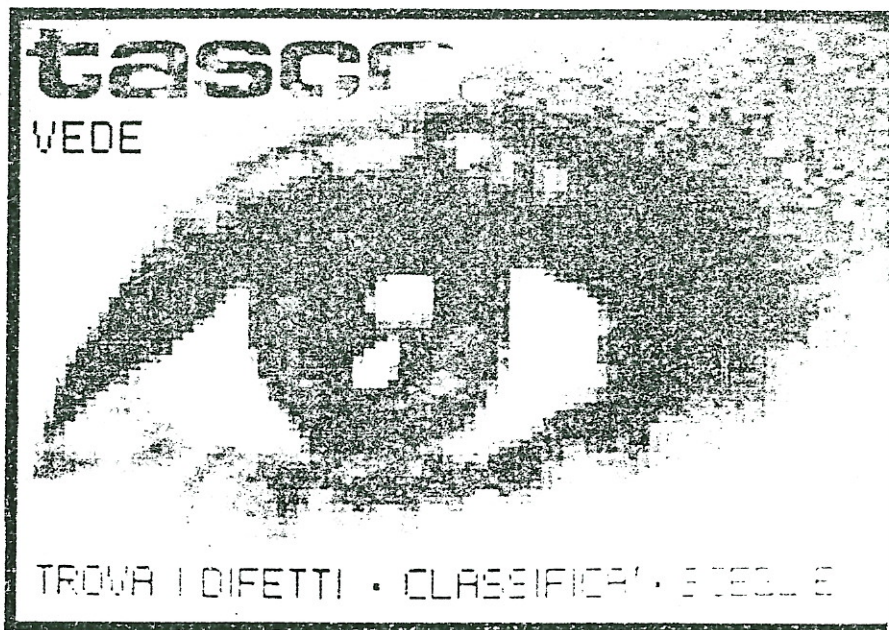
La necessaria interfaccia fra elaboratore ed operatore (fig. 3) sarà costituita logicamente/fisicamente da tre moduli distinti:

- strumentazione hardware dei periferici che costituiscono il legame fisico tra operatore ed elaboratore;
- software di base e procedure operative per il migliore sfruttamento delle capacità di questa strumentazione;
- 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

i nostri sistemi sostituiscono il controllo a vista dei prodotti industriali in linea

TASCO



SISTEMI DI ELABORAZIONE IMMAGINI - IMPIANTI DI SELEZIONE INDUSTRIALE
s.p.a. - Via Montenapoleone, 8 - 20121 Milano - Italia - Telefono 02/783071

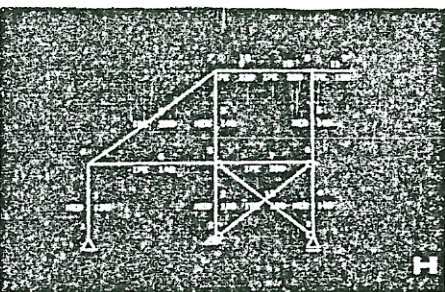
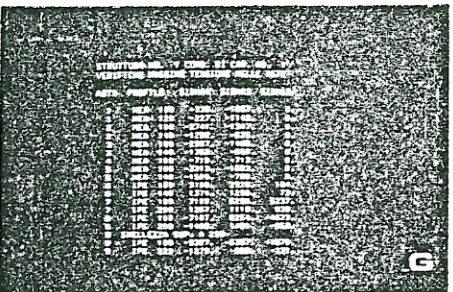
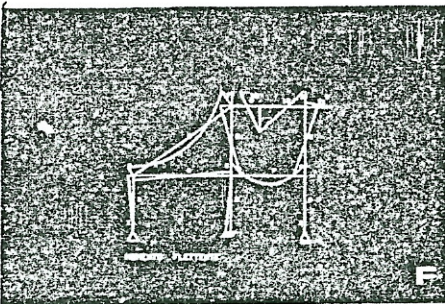
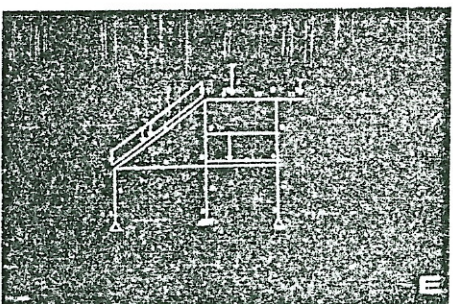
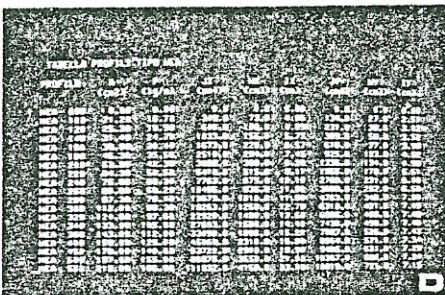
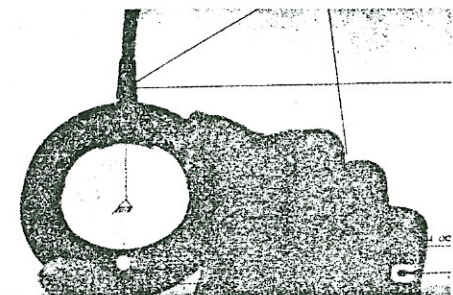
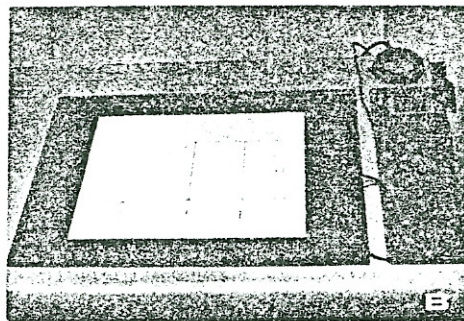
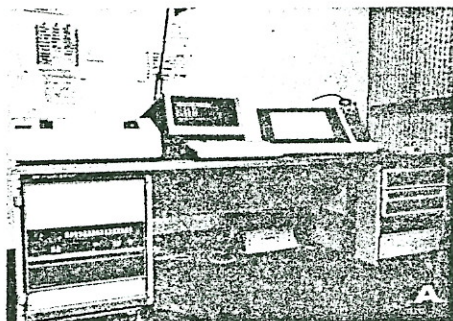


Fig. 9 - Sequenze interattive di progetto e verifica di un telaio metallico:
 a) Hardware interattivo
 b) Input dello schema teorico (schizzo rilevato con digitalizzatore)
 c) Definizione dei vincoli (con digitalizzatore attivando comando RID-VINC su menu grafico)

d) Scelta dei profili metallici su direttorio
 e) Definizione e controllo grafico dei carichi
 f) Visualizzazione delle sollecitazioni
 g) Ottimizzazione strutturale (fully stressed design) e controllo tensioni
 h) Cambiamento dello schema » decisione progettuale.

di smistamento delle direttive decise dall'operatore e dei messaggi inviati dall'elaboratore (fig. 4).

Hardware e software 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, MARC) richiedono generalmente lunghe elaborazioni dei dati tanto in input quanto in output.

Da qui l'importanza della moderna ricerca e sviluppo del software strutturale in quanto riducono la procedura input-output con opportuna pre-elaborazione dei dati (pre-processor) e post-elaborazione dei risultati (post-processor).

Le due fasi di pre e post-elaborazione dei dati e risultati rispettivamente, sono ottenibili con opportune interfacce in hardware (macchina) e in software (programmi).

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

- tastiera alfanumerica: hardware
- penna luminosa e joystick: hardware
- tavola analogica o digitalizzatore: hardware
- video grafico: hardware
- menu e tastiera di funzioni: software, hardware
- programmi di generazione di dati automatica: software.

La post-elaborazione dei risultati può essere ottenuta mediante:

- video grafico: hardware
- tavola grafica o plotter: hardware
- programmi di rappresentazione grafica dei risultati: software.

La moderna disponibilità dei linguaggi scientifici per la comunicazione con la macchina e le nuove generazioni di minicalcolatori estremamente potenti e a costi sempre più accessibili ci permettono di costituire una combinazione uomo-macchina secondo una configurazione interattiva come schematizzato nella fig. 5.

Per mezzo di questa configurazione interattiva (interfaccia software + hardware) 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.

Il controllo dei dati e risultati è eseguito su video (figg. 6, 7).

Un menu interattivo grafico di un programma tipico nell'ingegneria strutturale (TELA) è illustrato in fig. 8, 9. e tab. 1.

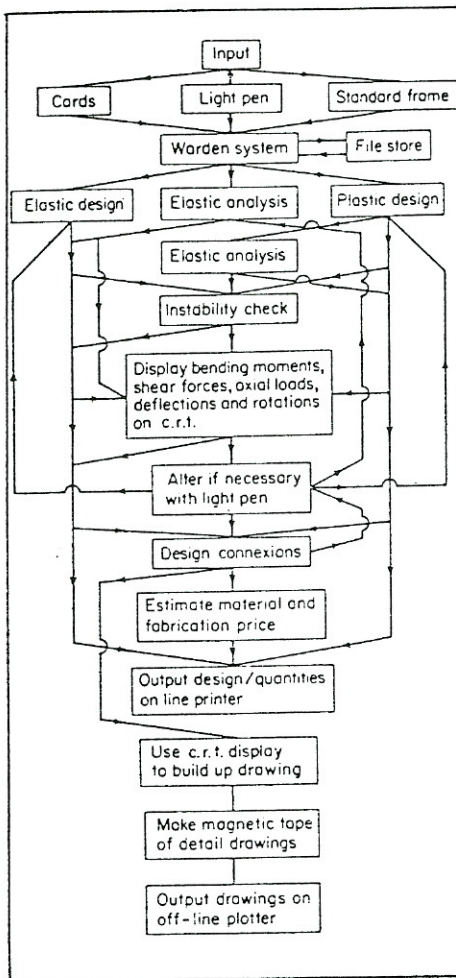


Fig. 10 - Flow-chart di un sistema completo di progetto analisi strutturale (da "Optimum Structural Design", R.H. Gallagher e D.C. Zienkiewicz, John Wiley, 1972)

- ELENCO COMANDI -

IN - Ingrandimento	RI - Scala iniziale
OTT - Ottimizzazione	DIMF - Dimen. freccia car.
DIMP - Rapporto scala car.	DIMD - Rapporto scala diag.
DIMV - Dimensione vincoli	ARR - Arrotondamento
PREC - Precisione	NUMN - Numer. nodi
NUMA - Numer. aste	DISS - Tipo aste
DISP - Disegna carichi	AGGN - Aggiungi nodo
INSN - Inserisci nodo	ANNN - Annulla nodo
ELIN - Elimina nodo	RIDV - Ridef. vincolo
ASSX - Assegna X ai nodi	ASSY - Assegna Y ai nodi
ASXN - Assegna X a un nodo	ASYN - Assegna Y a un nodo
SPON - Sposta nodo graf.	LIE - Libero
X - Carrello verticale	Y - Carrello orizzontale
R - Imped. rotazione	XY - Appoggio
XR - Inc. scorr. vert.	YR - Inc. scorr. orizz.
XYR - Incastro	AGGA - Aggiungi asta
ELIA - Elimina asta	ANNA - Annulla asta
UROZ - Orditura oriz.	ORVE - Orditura vert.
RIDA - Ridefinizione asta	AT1 - Asta solid. solid.
AT2 - Asta incer. solid.	AT3 - Asta solid. incer.
AT4 - Asta incer. incer.	DEFS - Definizione sezioni
SC - Sezione corrente	ASSS - Assegna sezione
DT - Delta T	DTF - Delta T lineare
QD - Car. distrib.	QDY - Car. distrib. vert.
QDX - Car. distrib. oriz.	ELIQ - Elimina car. distr.
PX - Car. conc. oriz.	PY - Car. conc. vert.
PMOM - Coppia conc.	ELIP - Elimina car. conc.
STGE - Stampa geometria	INT - Intestazione
CALC - Calcolo	SN - Sforzo normale
ST - Taglio	MF - Momento flettente
ELID - Elimina diagrammi	AG - Archivia geometria
AC - Archivia carichi	RC - Richiama carichi
PLOT - Plotter	N - Numero nodo o asta
ID - Trasf. contr. digit.	? - Menu dei comandi
STOP - Fine programma	RG - Archivia geometria
STRI - Stampa risultati	DX - Cedimento vinc. X
DY - Cedimento vinc. Y	DR - Cedimento vinc. R
STCA - Stampa carichi R	
RETURN per continuare	

Tab. 1 - Elenco comandi per il programma telai.

Conclusioni

Il ciclo interattivo di progetto - analisi delle strutture permette al progettista - operatore di essere al centro dei meccanismi di controllo. L'organizzazione software di tipo CAD l'unica che possa permettere, come illustrato in fig. 10, la possibilità di elaborare tutte le fasi di progettazione esecutiva (verifiche in campo elastico, progetto in campo elasto-plastico, instabilità, disegni costruttivi, valutazioni costi e materiali, CAM, ecc.). La realizzazione esecutiva della flow-chart di fig. 10 è l'obiettivo attuale della ricerca applicata sull'elaborazione automatica interattiva delle strutture.

BIBLIOGRAFIA

[1] K. Pearson, I. Todhunter, "A history of the PIXEL n. 4, 1982

theory of elasticity", Cambridge, Univ. Press, 1886;
 [2] S. Timoshenko, "History of Strength of Materials", MacGraw, New York, 1953;
 [3] E. Benvenuto, "La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico", Sansoni, 1981;
 [4] G. Croci, "La scienza delle costruzioni tra teoria e realtà", Nota III, L'industria delle costruzioni, 1979;
 [5] P. Pozzati, "Teoria e tecnica delle strutture", U.T.E.T., 1977;
 [6] J.T. Oden, K. J. Bathe, "A Commentary on Computational Mechanics", Appl. Mech. Rev., 31, 1978.
 [7] M. Majowiecki e G. Tironi, "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;
 [8] M. Majowiecki e G. Tironi, "Alcune applicazioni di progettazione interattiva mediante calco-

latore nello studio di strutture fortemente deformabili", INARCOS, Bologna, Aprile 1978;
 [9] M. Majowiecki e M. Montanari, "Sulla progettazione interattiva di telai piani metallici", ACCIAIO, 1980;
 [10] M. Majowiecki "Tecniche interattive nella moderna metodologia della progettazione strutturale" ACCIAIO, 1980.