

package "ESAP" Extended Static Analysis Program

Manuale Utente

ing. Alberto Cucinella - Via Aniello Falcone 386 Napoli 80127
366 1982898 – ing.alberto@cucinella.org

1. Generalità.

Il package "E.S.A.P." (Extended Static Analysis Program), per personal computer, è un programma agli "*elementi finiti*" finalizzato al calcolo di strutture genericamente configurate e vincolate, costituite da un insieme di *nodi* fra loro collegati attraverso un sistema di *aste* rettilinee ed a sezione costante e/o da elementi bidimensionali di *pannello* di forma rettangolare ed a sezione costante; tali elementi possono essere fra loro solidali (incastrati interni) o meno (cerniera interna).

Biblioteca di *TIPI* di elementi monodimensionali (*aste*):

- aste con *deformazione flessionale ed assiale*;
- aste con *deformazione flessionale, assiale e da taglio*;
- aste con "*conci rigidi*";
- aste con "*conci eccentrici*";
- aste "*alla Winkler*";
- aste con sconnessioni ad *entrambi gli estremi* ("*pendoli*");
- aste con sconnessioni ad *un solo estremo*.

Per ciascun *TIPO* vengono distinti i *SOTTOTIPI* di:

- asta "*trave*";
- asta "*pilaastro*".

L' elemento *pannello* (accuratamente descritto nel seguito), costituisce un elemento bidimensionale rettangolare.

E' possibile definire differenti *tipi di materiali* che possono essere attribuiti indifferentemente agli elementi *asta* e *pannello*.

Il programma consente di definire alcuni "*attributi*" dei nodi che sono rappresentati da particolari codici:

- codice "*pilaastro*", che rappresenta la denominazione del ritto cui appartiene il nodo;
- codice "*impalcato*", che indica appunto l'ordine dell'impalcato sul quale il nodo incide;
- codice "*master*", che indica quale è il nodo (*master*) da cui dipende lo spostamento orizzontale del nodo in esame (definito "*slave*").

Attraverso tale ultimo *attributo* è possibile modellare, per le *aste* di sottotipo *trave*, la

indeformabilità assiale, utile per la schematizzazione dell'impalcato rigido ; tale opportunità può essere ottenuta anche per *simulazione*, come nel seguito descritto; gli attributi *codice pilastro* ed *impalcato*, consentono di migliorare la leggibilità del tabulato, permettendo d'individuare la denominazione delle travi e dei pilastri corrispondenti agli *elementi*.

La procedura consente di :

- Calcolare la **matrice traslante di comportamento** (di *rigidezza* [**R**] e di *deformabilità* [**D**]), **propria** (cioè riferita agli effettivi gradi di libertà corrispondenti agli impalcati sui quali il telaio incide), nonché la **espansa** (che tiene conto della eventuale non consecutività degli ordini degli impalcati); tale possibilità consente, in modo estremamente semplice e rapido, di schematizzare controventi appartenenti a strutture caratterizzate da impalcati rigidi *sfalsati* . La matrice di comportamento ottenuta viene automaticamente archiviata per essere assemblata, in forma automatica, nella matrice di rigidezza rototraslante dell'edificio, attraverso le procedure "SPACE" o "B.A.C." (**B**uilding **A**nalysis **C**ode) dello stesso autore .
- Effettuare il **calcolo della struttura** per le azioni assegnate.
- Effettuare il **calcolo della struttura** per le azioni sismiche derivanti dalla ripartizione delle azioni orizzontali d'impalcato, eventualmente archiviate automaticamente dal package **B.A.C.**

Il programma pertanto è stato concepito per consentire l'analisi sia di strutture a se stanti (come calcolo o come analisi di deformabilità), sia di controventi facenti parte di strutture ad impalcato rigido; in tale ultimo caso, la procedura costituisce un modulo del package "B.A.C.", al quale è collegato attraverso archivi, consentendo l'automatica trasmissione dei dati intermedi alle singole fasi del calcolo .

Il programma è corredato da un sistema di moduli che consentono di :

- **Personalizzare** la presentazione dei risultati e il tipo di elaborazioni da compiere ;
- **Autogenerare** nodi, aste e vincoli (Auto Mesh Generator);
- **Modificare** lo schema statico definito, inserendo o eliminando nodi, aste o pannelli;
- **Renumerare** i nodi in modo da ottenere la matrice di rigidezza di minore occupazione di memoria;
- **Risolvere** il sistema di equazioni attraverso tecniche per matrici simmetriche a banda variabile;
- **Effettuare** una diagnostica (*auto check*) dei dati introdotti;
- **Visualizzare** i dati, scorrerli e, ove occorra, modificarli;
- **Eseguire** il calcolo in serie (*batch*) per un insieme di strutture archiviate;

I carichi agenti sulla struttura possono essere distinti in "*permanenti*" e "*sismici*"; i primi possono essere nodali e / o distribuiti sugli elementi e rappresentano la condizione di carico cui si sommano e si sottraggono le altre, individuate da sistemi di forze nodali (Fx) agenti al livello d'impalcato e schematizzanti le azioni orizzontali indotte dal sisma (è possibile definire fino a tre distribuzioni rappresentanti le azioni indotte da: 1) sisma secondo X; 2) sisma secondo Y; 3) coppie torsionali all'impalcato). Ovviamente attraverso tali distribuzioni di azioni d'impalcato è possibile modellare qualunque altro analogo tipo di forze orizzontali (spinta del vento, delle terre, etc.).

Il programma provvede a cumulare la distribuzione "*permanente*" con quelle "*sismiche*",

pervenendo fino a massimo **sette** distinte condizioni di carico .

Per ciascun elemento, il programma fornisce le caratteristiche nodali (momento, taglio e sforzo normale) e, ove significativi, l'ascissa di taglio nullo ed il relativo valore di momento massimo, le pressioni sul terreno in corrispondenza dei nodi estremi.

In caso di calcolo della struttura, è possibile attivare le seguenti opzioni :

- **Diagrammi del momento e del taglio** relativi all'intera struttura ;
- **Deformata elastica** relativa all'intera struttura ;
- **Diagrammi d'involuppo** del momento e del taglio, in scala unica per tutte le aste ;
- **Progetto** delle minime armature a flessione e a taglio per le aste di sottotipo "trave" ;
- **Progetto** delle minime armature a presso-tensoflessione per gli elementi di sottotipo "pilastro" e per i "pannelli" ;
- **Archiviazione** delle sollecitazioni flessotaglianti per gli elementi di sottotipo "trave" (per successive elaborazioni attraverso postprocessors);
- **Archiviazione** delle sollecitazioni flessionali ed assiali per gli elementi di sottotipo "pilastro" e per i "pannelli" (per successive elaborazioni e per la redazione della tabella dei pilastri e degli scarichi in fondazione mediante il package "B.A.C. ").

La procedura consente di definire un "sagomario" di profili ricorrenti delle seguenti tipologie: 1) rettangolari; 2) a "T"; 3) generiche; 4) circolari. Tale archivio può essere modificato e stampato, consentendo di far riferimento alle sezioni in esso definite attraverso un "codice di profilo".

Il programma, grazie alla descritta possibilità di associare e combinare i descritti elementi finiti, consente l'analisi di strutture complesse e di generica tipologia, tanto come controventi di edifici (con la possibilità di collegamento al package "B.A.C."), tanto come schemi isolati . In modo semplice ed intuitivo è possibile schematizzare, nell'ambito della *stessa procedura*, le tipologie strutturali più diverse, analizzando problemi d'interazione suolo struttura (elemento "Winkler"), strutture in acciaio (a nodi di cerniera, incastro o miste), strutture costituite da differenti materiali, strutture da ponte (pile, spalle, impalcati), l'effetto della variazione delle sezioni nelle pilastrate (aste a "conci eccentrici"), telai-parete (attraverso l'associazione di aste con deformazione da taglio con elementi a "conci rigidi"), telai con tamponature o con pannelli in calcestruzzo a "facciavista" (elemento "pannello"), controventi del tutto generici quali telai con tetto, con scale, con impalcati sfalsati, etc.

1.1. Note per gli Utenti del package S.A.P..

Il package "E.S.A.P." deriva dal package "S.A.P. 2.0" del 1984 (e versioni precedenti) dello stesso autore, realizzato su personal computers HP serie 80 [1]/[2].

In seguito alla quotidiana applicazione di tale programma, si é analizzata l'opportunità d'introdurre nuovi *elementi finiti* inediti, che consentissero di estendere le già notevoli possibilità di calcolo, anche in considerazione delle nuove esigenze che si evidenziavano nell'attività professionale, nonché di ottimizzare con opportune utility la gestione del sistema .

Tutto ciò ha comportato la totale *rielaborazione* del programma che, seppure apparentemente analogo al suo *capostipite*, é stato riscritto completamente.

Inoltre si è voluto dare al programma un "taglio" volutamente indirizzato all'analisi delle strutture civili per edifici, senza al tempo stesso limitarne l'applicazione per il calcolo di strutture generiche .

Nel corso del presente manuale sono state contrassegnate con il simbolo (#) i paragrafi ove vi sono argomenti inediti o sono state apportate innovazioni rispetto al package "S.A.P." .

1.2. Principali variazioni rispetto al package S.A.P..

Vengono nel seguito descritte le principali innovazioni del package "E.S.A.P." rispetto all'ultima versione operativa del package "S.A.P 2.0" [1]; tali argomenti sono dettagliatamente descritti nel corso del presente manuale:

- **Nuovi elementi finiti** . Sono stati introdotti essenzialmente due nuovi elementi: l'asta con "*conci eccentrici*" (utile per modellare la variazione di sezione lungo una pilastriata oppure lo spostamento della linea d'asse di una travata per effetto di locali intradossamenti o estradossamenti) e il "*pannello*" che rappresenta un elemento bidimensionale rettangolare (che consente di modellare elementi di tamponatura muraria o pannellature in calcestruzzo armato). Inoltre si sono sostanzialmente modificati due elementi già presenti in biblioteca: l'asta con "*conci rigidi*", per la quale si è tenuto conto anche della deformazione da taglio (oltre alla flessionale ed assiale) e l'asta alla "*Winkler*" per la quale si è modellata anche la presenza di *molle tangenziali*, in aggiunta a quelle *normali* già presenti (utili per valutare la variazione di sforzo normale che si determina, per esempio, lungo pali *galleggianti* o per la verifica delle tensioni di attrito di tiranti di paratia) .

- **Distribuzioni di azioni orizzontali**. Come nel "S.A.P. 2.0" viene definita una condizione *elementare (base)* di carico ("*permanente*") cui si sommano (e sottraggono) distribuzioni di forze F_x *sismiche (base)* indica che la distribuzione in questione verrà sommata e sottratta ad altre per ottenere una particolare condizione di carico, come nel seguito illustrato in 4.). Il package "E.S.A.P." consente di definire fino a tre distribuzioni *base* di forze F_x , utili a simulare l'effetto del sisma: 1) secondo X (SX), 2) secondo Y (SY), 3) torsionale intorno all'asse Z (MZ) (**Fig.3**). Tali tre distribuzioni si sommano alla *base permanente*, combinandosi fra loro e determinando: 1 [solo *permanente*], 3 [*permanente*, + - SX], 5 [*permanente*, + - SX, + - SY], 7 [*permanente*, + - SX, + - (SY + MZ), + - (SY - MZ)] distinte condizioni di carico, a seconda di quante distribuzioni (1, 2 o 3) di forze *sismiche* si sono definite. Tali forze F_x (orizzontali) si considerano applicate ai nodi caratteristici ("*master*") d'impalcato. Il package "B.A.C.", successivamente alla ripartizione delle azioni orizzontali, provvede all'archiviazione delle distribuzioni di forze competenti a ciascun controvento, in modo da semplificare il flusso dei dati da introdurre per la successiva fase di calcolo.

- **Caratteristiche dei materiali variabili** . Insieme al "*sagomario*" è possibile definire una tabella di tipologie di materiali. Nell'ambito di ciascuna struttura si definisce un *tipo* di materiale (il prevalente) che dapprima viene assunto come valido per tutti gli elementi costituenti (*default*); successivamente (in correzione) è possibile modificare il codice di materiale, analizzando così semplicemente strutture *miste*, cioè costituite da materiali differenti.

- **Sagomario** . E' stata estesa la tipologia, inserendo il profilo circolare; inoltre, per migliorare la leggibilità del tabulato, è stato introdotto l'*attributo* testo al profilo generico, consentendo una descrizione della sezione adottata.

- **Matrici di comportamento per controventi incidenti su strutture ad impalcati *sfalsati*** . Il programma determina la matrice di deformabilità [D] *propria* cioè riferita agli effettivi gradi di

libertà, successivamente inverte tale matrice [R], attribuendole i gradi di libertà relativi alla struttura spaziale. La matrice ottenuta in tale forma è pronta per l'assemblaggio alla matrice rototraslante dell'edificio.

- **Vettori laterali per carichi permanenti** . Il programma calcola le azioni *laterali* che il singolo controvento determina sugli impalcati per effetto dei carichi distribuiti sugli elementi e concentrati sui nodi, ipotizzando il controvento vincolato alla traslazione al livello di piano. Tali azioni, in fase di ripartizione, vengono composte per tutti gli elementi, determinando un sistema di azioni orizzontali aggiuntive (*statico*). In tal modo si considera lo schema spaziale assemblato non solo per le azioni orizzontali, ma anche per carichi statici (package **B.A.C.**), ottenendo la congruenza dei controventi anche in tale condizione.

- **Auto Mesh Generator (AMG)** . E' stato reso ancora più veloce, consentendo il *multireplay* anche per le aste.

- **Gestione dei file** . Il programma provvede a costruire ed a gestire autonomamente i propri file di servizio, ottimizzando così l'occupazione della memoria di massa (già estremamente contenuta); per la soluzione in serie non è necessaria la consecutività degli archivi da analizzare affinché venga eseguito il calcolo.

Le matrici di comportamento vengono automaticamente archiviate, per successive utilizzazioni (package "SPACE" o "B.A.C."); in ciascuna *directory* vengono gestiti fino a 9999 file.

- **Utility di sistema** . Questo modulo racchiude un sistema di procedure che consentono di :

- **Personalizzare la presentazione dei risultati**, cioè di fissare che cosa stampare (sollecitazioni di travi, di pilastri, sistema completo di spostamenti, diagrammi di tutte le condizioni di carico o solo di quelle *significative*, etc.); in tal modo, è possibile personalizzare il tipo di tabulato che, di volta in volta, meglio si adatta al problema esaminato (*opzioni di stampa*).

- **Fissare le opzioni standard da impiegare**, cioè descrivere un sistema di opzioni da adottare per il calcolo e di parametri per il semiprogetto di *travi e pilastri*; in tal modo, richiamando tali opzioni *standard* si evita di definire di volta in volta il tipo di compiti (*batch*) da far svolgere nell'esecuzione di ciascuna struttura.

- **Trasformare la struttura introdotta**, cioè aggiungere o eliminare nodi, aste, pannelli, in forma interattiva (cioè sempre osservando graficamente l'evoluzione che ciascun comando determina nello schema); in particolare è consentito, fra due nodi congiunti da un'asta, inserire un nuovo nodo, ottenendo l'automatica formazione di una nuova asta avente le stesse caratteristiche geometriche di quella iniziale. Con tale routine è possibile autogenerare (**AMG**) schemi semplici e successivamente trasformarli; nel caso di telai di scala, per esempio, basta far generare la parte *regolare*, quindi inserire i nodi e le aste relativi al rampante.

- **Operare sui file disponibili**, cioè duplicarli, eliminarli, indagare sul loro contenuto, etc. Per esempio è possibile leggere un file, trasformarlo adattandolo alle proprie esigenze, e memorizzarlo in un altro file .

- **Renumerazione dei nodi** . Il programma consente opzionalmente di effettuare la ricerca automatica della migliore numerazione che determina il minimo scarto fra i nodi congiungenti gli elementi, (e conseguentemente la minima semibanda nella matrice di rigidità) adottandola per l'attribuzione dei gradi di libertà. Tale algoritmo consente di scegliere, in fase di input o di autogenerazione della struttura, liberamente la numerazione più *comoda*; successivamente la routine

di renumerazione provvederà a ottimizzare la gestione della matrice di rigidezza.

- **Soluzione del sistema di equazioni con algoritmi a "banda variabile"**, con i quali la matrice viene analizzata tenendo conto della effettiva *forma* della semibanda (*skyline*), quindi senza memorizzare ed elaborare i termini esterni alla semibanda significativa. Tale algoritmo consente un notevole risparmio di memoria e di tempo di calcolo (in caso di strutture irregolari il tempo di calcolo viene **ridotto anche al 10%**); tale strategia, accoppiata alla routine di renumerazione dei nodi, rende enormemente più versatile il settore matematico utilizzato dal package .

- **Routine di correzione aste** . Consente di visualizzare il profilo richiamato, evidenziandone le caratteristiche geometriche; inoltre è possibile, nel contesto della procedura, accedere direttamente al *sagomario*, consentendo di aggiungere, eliminare, trasformare i profili presenti.

- **Stampe di controllo e autoverifica (echo e autocheck)** . Il programma consente, al lancio della esecuzione, di avere la sola stampa dei dati (*echo*), in modo da *spuntare* preventivamente i dati e quindi eventualmente modificare i dati errati; inoltre, in corso di stampa il programma provvede ad una diagnostica dei dati introdotti, evidenziando gli errori formali (*autocheck*).

Da quanto sinteticamente esposto, si evidenzia quanto il package "E.S.A.P." sia solo remotamente affine al suo precursore "S.A.P. 2.0" [1], presentandosi come un prodotto del tutto innovativo, sia come concezione che come potenzialità applicative.

Il package, pur conservando la possibilità di calcolo di strutture complesse a se stanti, consente di analizzare i controventi come facenti parte esplicitamente di un complesso spaziale, ciò snellendo la fase di introduzione dati e l'impegno da parte dell'Utente, ma allo stesso tempo migliorando enormemente le potenzialità del sistema di calcolo; il sistema "B.A.C."-"E.S.A.P." rappresenta un sofisticato, ma al tempo stesso semplice, strumento di analisi di strutture ad impalcato rigido, cioè un codice di calcolo per edifici (appunto **B**uilding **A**nalysis **C**ode).

Inoltre esso è strutturato e concepito per essere arricchito da sistemi di *pre-post processors* utili a migliorarne uso e potenzialità operative.

Come anticipato, i paragrafi nei quali vi sono innovazioni sono contrassegnati dal simbolo (#).

2. Metodo di calcolo.

Viene adottato il classico *metodo delle deformazioni* in forma matriciale, nella formulazione dell'"*Analisi agli Elementi Finiti*" ("FEA") [1]/[2]/[3]/[4]/[5]/[6].

Il problema viene cioè ricondotto alla determinazione delle *matrici di rigidezza* e dei *vettori d'incastro perfetto* dei singoli elementi, prima nel riferimento *locale*, poi in quello *generale*, e successivamente all'*assemblaggio* di questi rispettivamente nella matrice di rigidezza generale della struttura e nei vettori termine noto.

I sistemi lineari ottenuti vengono risolti simultaneamente attraverso algoritmi di fattorizzazione (in forma non iterativa) specifici per matrici simmetriche definite positive a *banda variabile (skyline)*.

Le incognite assunte sono le caratteristiche cinematiche strettamente necessarie (e cioè le rotazioni e spostamenti dei nodi liberi).

Note le caratteristiche cinematiche, vengono determinate le sollecitazioni relative ai singoli elementi nel riferimento *generale*, come prodotto della matrice di rigidezza per gli spostamenti generalizzati; successivamente vengono ricavate le sollecitazioni nel riferimento *locale*.

Per tutte le variabili utilizzate (elementi delle matrici e dei vettori termine noto etc.), si è adottato il massimo numero di cifre significative ammesso dal linguaggio di programmazione impiegato.

2.1. Risoluzione del sistema di equazioni (#).

Il package "E.S.A.P." adotta per la risoluzione del sistema di equazioni un algoritmo non iterativo valido per matrici *simmetriche* e *definite positive*, tipiche nei problemi strutturali in campo statico [7].

In particolare, la routine adottata tiene conto della *forma* della matrice trattata, cioè della sua particolare conformazione, analizzando i soli termini significativi e definendo, per ciascuna colonna, l'ampiezza della *semibanda*; la routine pertanto individua il *profilo (skyline)* della matrice, delimitando la zona significativa.

Tale strategia risulta particolarmente efficace: basti pensare alle equazioni di equilibrio alla traslazione di un traverso, ove viene richiamato un grosso numero di variabili cinematiche, comportando *picchi* nella conformazione della parte significativa della matrice; in tali casi, l'adozione di algoritmi a *banda costante*, comporta l'immagazzinamento e l'elaborazione di un grandissimo numero di termini nulli, con notevole dispendio di tempo e con riduzione della precisione (nel caso di matrici mal condizionate).

Il metodo adottato per la risoluzione del sistema di equazioni è basato sull'algoritmo di **Cholesky** [4], immagazzinando in un vettore i termini della matrice di rigidezza per colonne successive e tenendo conto dell'ampiezza della *semibanda* di ciascuna [7].

Tale metodologia è valida per matrici definite *positive*, che sono le uniche ricorrenti nell'analisi statica; ove la struttura presentasse labilità, la matrice di rigidezza non godrebbe di tale caratteristica. Il programma pertanto effettua un controllo preliminare sulla matrice, segnalando la eventuale non *positività* della medesima; in tal caso occorre rivedere i dati introdotti ed eliminare le eventuali labilità operando sui codici di vincolo.

Eventuali errori matematici [es. SQR(-)] nella fase di soluzione del sistema di equazioni, sono analogamente imputabili alla stessa circostanza.

2.2. Ottimizzazione della procedura.

Ove non si richieda la autorenumerazione ottimizzata dei nodi (vedi paragrafo successivo), si ricade nella normale procedura, che esegue l'assegnazione dei gradi di libertà nell'ordine in cui sono stati numerati i nodi.

Il numero di equazioni, come è ovvio, è esclusivamente funzione della configurazione geometrica della struttura. La *forma* della matrice (nel caso non si utilizzi la routine di renumerazione), è però condizionata dalla numerazione adottata in fase di input: infatti da essa dipende

l'ampiezza della *semibanda*; una numerazione caotica determina matrici *sparse*, una ben studiata, ordinata e regolare, determina matrici *compatte ed a banda ristretta* intorno alla diagonale principale, con conseguente riduzione dell'occupazione di memoria necessaria e del tempo di calcolo (nella soluzione del sistema di equazioni).

Per ridurre l'ampiezza della *semibanda* è opportuno numerare i nodi in modo che, detti i e j i nodi estremi di una generica asta (o analogamente detti is , id , js , jd i nodi estremi di un generico pannello), per ciascun elemento lo scarto $i - j$ (o analogamente $is - id$, $js - jd$, $is - js$, $id - jd$) sia il più piccolo possibile.

A tale scopo, il più delle volte conviene assegnare la numerazione *percorrendo* la struttura con una certa regolarità; per esempio per strutture *a torre* conviene procedere da sinistra verso destra, numerando consecutivamente i nodi di un traverso, passando quindi al successivo, ripetendo così l'operazione per tutti i piani; al contrario, per schemi allungati (elevato numero di campate), conviene procedere per ciascuna verticale dal basso verso l'alto, numerando consecutivamente i nodi di una verticale, passando alla successiva seguendo la stessa metodologia [Fig.1].

In taluni casi, l'introduzione di alcuni nodi intermedi, seppure determinando l'aumento della dimensione della matrice, può far diminuire l'ampiezza della *semibanda*, facendo così conseguire, nel complesso, un risparmio di occupazione di memoria e di tempo di elaborazione, che può risultare anche rilevante.

Il programma segnala in fase di stampa l'eventuale superamento della capacità operativa: in tal caso la revisione della numerazione adottata (manuale o automatica) può rimuovere l'inconveniente.

2.3. Routine di ricerca della migliore numerazione dei nodi (#).

Come è noto [1], la scelta della numerazione dei nodi condiziona la *forma* della matrice delle rigidezze; infatti, detti rispettivamente i e j i nodi estremi di una generica asta (o analogamente is , id , js , jd i nodi estremi di un generico pannello), l'ampiezza massima della *semibanda* è funzione del massimo *scarto* che si determina fra *tutti* gli elementi costituenti la struttura.

Pertanto, pur rimanendo inalterata la dimensione della matrice (numero di equazioni), all'interno della *semibanda* vengono inseriti numerosi termini nulli che oltre ad essere immagazzinati, vengono anche elaborati, con dispendio di tempo.

Tale circostanza suggerisce di numerare opportunamente i nodi in modo da ridurre al massimo tale *scarto*. L'operazione di ricerca della numerazione più *opportuna* ovviamente richiede tempo ed una certa esperienza; inoltre l'adozione di tale numerazione rende talvolta poco *comodo* l'uso di procedure automatiche di auto generazione di nodi (A.M.G).

La risoluzione dei sistemi di equazioni con algoritmi a banda variabile (*skyline*) ha reso meno sentito il problema in questione: infatti la *semibanda* non viene considerata costante per tutta la matrice, ma viene definita colonna per colonna; quindi la presenza di *picchi* locali nella *semibanda* non determina effetti globali su tutta la matrice, ma solo sulla colonna corrispondente. L'adozione di algoritmi a *banda costante*, invece, determina l'effetto opposto: il *picco* nella *semibanda* anche di una colonna si riverbera nell'immagazzinamento di termini nulli su tutte le altre. Tali *picchi* sono essenzialmente determinati dalle equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale dei traversi, che richiamano in gioco le caratteristiche cinematiche di tutti i nodi giacenti sull'impalcato.

Ciò determina spesso che, su strutture caratterizzate da un elevato numero di campate, venga immagazzinato un enorme numero di termini nulli non significativi, cosa che si ripercuote sia sul

tempo di elaborazione che sui limiti operativi; comunque tali circostanze sono state evitate con l'adozione dei succitati algoritmi operanti su *banda variabile*.

In ogni caso una numerazione opportuna, modificando la *forma* della matrice, può ulteriormente ridurre l'impegno di memoria e di tempo; la ricerca di tale numerazione però richiede un'operazione preliminare che si rivela talvolta ponderosa per l'Utente, occorrendo anche più tentativi; successivamente l'adozione di tale numerazione può rendere poco *comode* le routine di generazione automatica dei nodi (A.M.G.).

Per quanto esposto, si è ritenuto opportuno inserire nella procedura una routine *opzionale* di ricerca della numerazione ottimale [8]. L'algoritmo adottato è funzione del numero di nodi, nel senso che il tempo di elaborazione è essenzialmente condizionato dalla dimensione della struttura; il metodo è non iterativo e ricerca una numerazione migliore di quella assunta in fase di input, lasciando quella assegnata se migliore.

Non vi è unicità nella soluzione del problema, ma in generale vi sono alcune soluzioni, fra loro indipendenti, che sono egualmente soddisfacenti (basti pensare che, trovata la numerazione *ottimale*, la numerazione *inversa*, ottenuta cioè numerando a ritroso i nodi, è ugualmente valida).

Essenzialmente vi sono due distinte metodologie adottabili:

- miglioramento iterativo della numerazione inizialmente assegnata (Grooms e Rodrigues);
- stabilire, in base alle connessioni interne dei nodi, la numerazione che conferisce scarti minimi fra i nodi collegati (Cuthill e McKee).

I primi procedono iterativamente; il tempo di elaborazione, non prevedibile, è funzione della numerazione iniziale.

Il metodo adottato appartiene alla seconda categoria. Ottenere la numerazione *ottimale* porta in generale a tempi di elaborazione che possono essere sensibili e ciò rende discutibile il loro impiego (una buona numerazione serve a *ridurre* i tempi di elaborazione nella soluzione del sistema di equazioni; se per renumerare la struttura si perde troppo tempo si vanifica il risultato ottenuto). Pertanto si è adottata una soluzione di compromesso, impiegando un algoritmo semplificato che non determina la *migliore* numerazione, ma quella che rappresenta un equilibrio fra tempo impiegato per ottenerla e beneficio conseguito; in alcuni casi la soluzione suggerita dall'algoritmo potrebbe non risultare la *migliore* in assoluto, ma essa è certamente accettabile, specie se si considera il tempo richiesto per la ricerca.

Il programma non modifica la numerazione fornita in fase di input (anche per non creare confusione all'Utente nella lettura dei risultati) ma associa a ciascun nodo una *etichetta (label)* che rappresenta il numero d'ordine che si *sarebbe dovuto assegnare* e che viene adottato per l'assegnazione dei gradi di libertà.

E' opportuno tenere conto del fatto che la nuova numerazione adottata modifica la *forma* della matrice di rigidità, rendendola più *compatta*; confrontando i risultati conseguiti con un'altra numerazione potrebbe riscontrarsi qualche lievissima variazione sulle ultime cifre significative delle caratteristiche cinematiche; ciò è imputabile al fatto che, modificando l'ordine dei termini, nello sviluppo delle somme dei prodotti delle colonne (nell'algoritmo di fattorizzazione di Cholesky), si determinano differenti arrotondamenti e troncamenti fra le varie soluzioni esaminate; ciò è ovviamente del tutto irrilevante.

3. Sistema di riferimento e convenzioni.

Alla struttura viene associato un sistema di riferimento detto **generale**; esso giace nel piano medio della struttura ed è costituito da una coppia di assi ortogonali x O y tali che x si sovrappone ad y ruotando rispetto all'origine O in verso antiorario (vedi **Fig. 2a** in appendice).

I segni di tutte le caratteristiche statiche e cinematiche saranno letti coerentemente a tale riferimento e saranno rispettivamente:

- rotazioni, coppie e momenti, positivi **antiorari**;
- spostamenti, forze applicate e reazioni vincolari, positivi se **concordi** con gli assi x ed y ;

Ne consegue che le azioni nodali derivanti da carichi verticali, lette in tale riferimento risultano **negative**.

Ad ogni *asta* è associato un riferimento *locale* t i n ortogonale avente origine nel nodo i , asse t diretto da i verso j , asse n tale che t si sovrappone a n ruotando in verso **antiorario** intorno all'origine i . Per le aste con *conci eccentrici* l'asse t è diretto da i^* a j^* (vedi **6.5.1.3.1.** e **Fig. 7a**)

I carichi uniformi agenti sulle aste (*normali* qn e *tangenziali* qt) sono definiti positivi se concordi al riferimento *locale*: qni e qnj positivi se **concordi** all'asse n , qt positivo se **concorde** all'asse t (vedi **Fig. 2a** in appendice).

Le caratteristiche *nodali* della sollecitazione (intese come *azione del nodo sull'asta*), sono positive se concordi al riferimento *locale*: M_i ed M_j positivi se **antiorari**, T_i e T_j positivi se concordi all'asse n , N_i e N_j positivi se concordi all'asse t .

I *momenti massimi in campata* (in corrispondenza della sezione ove il taglio si annulla $xT=0$), si leggono nella convenzione *classica* applicata all'asta: sono **positivi** se risultano *tese* le *fibre* ove le *ordinate locali* n sono **negative**.

Tale convenzione è adottata anche per le caratteristiche della sollecitazione nelle sezioni estreme delle aste a **conci rigidi** ed **eccentrici** (momenti M_i' , M_j' e tagli T_i' e T_j').

3.1. Elementi pannello (#).

Gli elementi *pannello* (descritti diffusamente nel seguito) sono elementi rettangolari di lastra collegati a quattro nodi (due inferiori is e id e due superiori js e jd vedi **Fig. 2b** in appendice).

Tale elemento deve essere disposto in modo tale che le congiungenti i nodi $is - id$, $js - jd$ siano parallele all'asse x e che analogamente $is - js$ e $id - jd$ risultino parallele all'asse y (cioè che lo schema del pannello sia un **rettangolo** avente i lati **paralleli** agli assi x ed y [**Fig. 2b**]).

L'elemento è modellato attraverso un'asta deformabile *equivalente* (parallela all'asse y e giacente sulla *linea d'asse* del pannello, di estremi i' e j'), collegata ai nodi estremi attraverso quattro *conci indeformabili* ($is-i'$, $i'-id$, $js-j'$, $j'-jd$) [**Fig.2b**].

Il riferimento *locale* pertanto è un sistema ortogonale $x'i'y'$ parallelo a quello *generale*, con origine nel nodo i' : l'asse y' è diretto da i' verso j' (parallelo ed equiverso a y , coincidente con la linea d'asse del pannello, equivalente alla retta t per le aste), l'asse x' è ortogonale a y' , passante per i' (parallelo ed equiverso a x), passante per i' , avente verso tale che x' si sovrappone a y' ruotando in senso *antiorario* [Fig. 2b].

Nell'ambito del pannello le caratteristiche della sollecitazione (relative alla *linea d'asse* del medesimo), si leggono con riferimento all'asta *equivalente*; pertanto, per la lettura delle sollecitazioni, valgono le stesse convenzioni assunte per gli *elementi asta*.

Su tale elemento sono previsti carichi *tangenti* (q_y) e *normali* (q_x) all'asse geometrico del pannello; per i segni di tali azioni vale il riferimento *generale*. Il carico q_y consente la modellazione del peso proprio del pannello.

4. Azioni sulle strutture (#).

Le azioni si distinguono in **nodali** e **distribuite** sugli elementi (*aste o pannelli*).

Le **azioni orizzontali** sono delle distribuzioni (massimo quattro) di forze nodali di tipo F_x , agenti sui nodi *caratteristici d'impalcato*; la *prima* di queste distribuzioni viene sommata alle azioni nodali concentrate (F_x, F_y ed M_z) e a quelle distribuite sugli elementi *aste e/o pannelli* (q_n e q_t), determinando la (*prima*) condizione di carico **permanente P**; ad essa si sommano e si sottraggono gli effetti derivanti dalle altre (massimo tre) distribuzioni di *azioni orizzontali* che servono a simulare gli effetti del *sisma*.

Ipotizziamo che il controvento da elaborare faccia parte di un edificio giacente in un riferimento spaziale $O X, Y, Z$, che l'eventuale lato *corto* (di dimensione B secondo normativa [13]) sia disposto parallelamente all'asse Y , mentre quello *allungato* (D) sia parallelo all'asse X [Fig. 3].

Le distribuzioni di azioni *orizzontali sismiche* possono essere al massimo tre e simulano rispettivamente l'effetto di un sisma *traslante*, agente nelle direzioni longitudinale (SX) e trasversale (SY), nonché *torsionale* (MZ).

Sotto il profilo metodologico il programma elabora fino a quattro distinte condizioni di carico (definite *base*); esse successivamente vengono fra loro cumulate (sommate e sottratte), pervenendo fino a massimo *sette* condizioni *complessive* di carico.

Avendo indicato la prima di queste quale *permanente P*, derivano le seguenti *condizioni complessive di carico* (in funzione del numero di condizioni *base* prescelto):

- 1) solo P
- 2) P ; P+ SX ; P- SX
- 3) P ; P+ SX ; P- SX ; P+ SY ; P- SY
- 4) P ; P+ SX ; P- SX ; P+($SY+MZ$) ; P-($SY+MZ$) ; P+($SY-MZ$) ; P-($SY-MZ$)

E' opportuno porre in evidenza che, nel caso di quattro condizioni *base* (cioè presenza di sisma torsionale MZ), si considerano maggiormente *significative* le condizioni $P+/- (SY+/-MZ)$ nei confronti di $P+/-SY$ (vedi 8.4.1.); esse corrispondono a sisma SY agente in direzione Y (positiva e negativa) in presenza di eccentricità eX (positiva e negativa, riferita al lato allungato D), tale che $\{M_z\} = eX * \{SY\}$, (con $eX = \lambda * D$) in conformità alla normativa vigente (punto C.6.1.2 [13]).

Le distribuzioni di *azioni orizzontali sismiche* (come abbiamo visto 2,3 e 4) e le *orizzontali statiche* (la 1), si suppongono applicate ai *nodi caratteristici d'impalcato*, intendendo per essi i nodi a cui si associano gli *impalcati*.

La corrispondenza fra particolari nodi (*caratteristici*) e gli *impalcati* serve a definire i nodi a cui applicare le azioni di piano (quali per esempio le spinte sugli orizzontamenti dovuti a sisma o vento); ciò viene ampiamente descritto nel seguito (vedi *nodi master d'impalcato* e *simulazione dell'indeforabilità assiale*).

4.1.1. Azioni nodali permanenti.

Possono essere del tipo F_x , F_y , M_z ; i loro segni sono positivi se concordi al verso del riferimento generale [Fig. 2a].

Nel caso in cui vi siano azioni concentrate (coppie o forze) su talune aste, basta introdurre, in corrispondenza di tali sezioni, dei nodi intermedi (che saranno *liberi*), applicando ad essi tali azioni concentrate e spezzando l'asta in due elementi.

4.1.2. Azioni nodali orizzontali.

Sono state descritte precedentemente (vedi 4. Azioni sulle strutture). Esse sono del tipo F_x e si considerano applicate ai *nodi caratteristici d'impalcato*; sono previste fino a quattro distribuzioni di carico; la prima si somma alle azioni nodali e a quelle distribuite sugli elementi, determinando la *condizione di carico permanente*, cui si combinano le rimanenti distribuzioni di azioni orizzontali (*sismiche*), determinando complessivamente massimo sette distinte condizioni di carico (vedi 4.).

4.2. Azioni distribuite sugli elementi.

Esse si dividono in carichi uniformi *normali* e *tangenziali* all'asse dell'elemento, ed i loro segni vengono letti nel riferimento *locale*.

Per quanto attiene le aste, un carico uniforme agente sull'elemento dovrà essere preliminarmente scomposto nelle due componenti *normale* (q_n) e *tangenziale* (q_t), con particolare attenzione ai segni dei medesimi, in funzione della concordanza di verso con gli assi del riferimento *locale*.

4.2.1.1. Elementi asta : azioni distribuite normali (q_n).

Il programma prevede più tipi di distribuzioni di carichi normali in funzione del tipo di asta adottata. Esse possono essere carichi distribuiti con uniformità (intensità costante) o variabile linearmente lungo l'asse dell'asta. Si distinguono pertanto le due ordinate di carico estreme (q_{ni} e q_{nj}); nel primo caso si avrà $q_{ni}=q_{nj}$, mentre nel secondo $q_{ni}\neq q_{nj}$.

In tale ultimo caso è chiara la degenerabilità al caso di carichi triangolari, costanti e bitriangolari; inoltre, introducendo dei nodi intermedi è possibile descrivere un carico ripartito di qualunque andamento, suddividendolo in tronchi di carico trapezio.

In appendice è riportata la biblioteca degli elementi asta con indicazione dei tipi di carichi normali disponibili [Fig. 7a].

4.2.1.2. Elementi asta : azioni distribuite tangenziali (q_t).

Sono azioni distribuite con uniformità e agenti lungo l'asse t , positive se concordi col suo verso.

4.2.2.1. Elemento pannello : azioni distribuite normali (q_x).

Come anticipato, per il pannello il riferimento *locale* $x'i'y'$ è parallelo ed equiverso al *generale* $x\ 0\ y$. Le azioni distribuite **normali** al pannello sono parallele all'asse x' e vanno lette in tale riferimento: saranno pertanto positive se dirette nello stesso verso di x (da sinistra verso destra).

Su tale tipo di elemento è disponibile il carico distribuito **uniforme** q_x [Fig. 7b].

4.2.2.2. Elemento pannello : azioni distribuite tangenziali (q_y) .

Le azioni, supposte distribuite con uniformità lungo l'asse del pannello *locale* y' , vanno lette in tale riferimento: risultano cioè positive se dirette concordemente a tale asse y' (o analogamente all'asse y).

L'azione q_y è utile per modellare i carichi tangenziali al pannello, quale il *peso proprio*; tale tipo di carico, conformemente al riferimento adottato, risulta pertanto **negativo**.

5. Gli attributi dei nodi: codice di pilastro, d'impalcato, *master* (#).

Come affermato in premessa, sono stati introdotti tre nuovi codici relativi ai nodi: *codice di pilastro, d'impalcato e master*.

I primi due servono a migliorare la leggibilità del tabulato, consentendo d'individuare per ciascun elemento non solo i nodi estremi, ma (nel caso di una *trave*) anche l'impalcato sul quale giace ed i pilastri di estremità, oppure (nel caso di un ritto, modellato come *asta* o *pannello*) il pilastro corrispondente e quali sono gli impalcati estremi cui è collegato. Questi due codici non hanno un concreto effetto sull'elaborazione (salvo quanto espresso in 5.2.), se non quello di arricchire il tabulato con informazioni che creano una corrispondenza fra la numerazione adottata nella descrizione dello schema statico e quella reale propria delle membrature della struttura.

Il codice *master* consente di *modellare* una dipendenza fra gli *spostamenti orizzontali* di un nodo (definito *master* cioè *padrone*), ed altri (*slave* cioè *servi*). I nodi *slave* quindi assumono lo *stesso spostamento orizzontale* del *master*.

Attraverso tale codice, descritto compiutamente nel seguito, è possibile *modellare* in modo rigoroso la *indeformabilità assiale* delle aste che collegano i nodi assoggettati da tale legame, consentendo così l'analisi di sottostrutture facenti parte di sistemi ad *impalcato rigido*, come è nello spirito della procedura.

5.1. L'indeformabilità assiale : l'operatore *master-slave* (#).

In numerosi casi, sorge la necessità di *modellare* la *indeformabilità estensionale* degli elementi *asta (trave)*.

Tale esigenza deriva dalla diffusa ipotesi, postulata nel calcolo delle *strutture ad impalcato rigido* [2]/[5]/[9]/[10]/[13], in base alla quale i nodi giacenti sugli impalcati sono animati da moto rigido, nel senso che il diaframma al livello di piano, dotato di elevata rigidità estensionale, rende *solidali* alla traslazione orizzontali gli elementi su di esso incidenti.

Tale *modellazione* è stata ottenuta per *simulazione* nel package **S.A.P.2.0**, amplificando fittiziamente le aree degli elementi *trave* ai fini del calcolo della loro rigidità assiale; questa *strategia*, già soddisfacente è stata conservata anche nell'**E.S.A.P.** (con una piccola variante), ma ad essa è stata associata l'altra più rigorosa (operatore *master-slave*), anche in considerazione del *taglio* del programma, volutamente orientato all'analisi di strutture per edifici (modulo del **B.A.C.**).

Un nodo è *slave* di un altro (detto *master*) se assume lo *stesso spostamento orizzontale*; in tal caso, il suo *codice master* è un numero intero che indica (direttamente o indirettamente) proprio tale nodo.

Il *codice master* può essere di tre tipi:

- ***master di nodo*** : è un numero ***intero negativo*** ed indica *direttamente* il nome del nodo *master* che è rappresentato dal valore assoluto del codice;

- ***master libero*** : il codice è zero ed indica che non vi è alcuna dipendenza funzionale fra il nodo in questione ed alcun altro. Un nodo *master* assume ovviamente tale codice, in quanto il suo spostamento orizzontale non è funzione di quello di nessun altro (un nodo *master* non può essere a sua volta *slave*).

- ***master d'impalcato*** : è un numero ***intero positivo*** che indica a quale *impalcato* il nodo in questione appartiene. In tal caso il nodo *master* è il *caratteristico dell'impalcato*. Si tratta in sostanza di un indirizzamento *indiretto*, nel senso che non viene esplicitamente indicato il nodo *master*, ma l'impalcato di appartenenza, al quale corrisponde il *nodo caratteristico*.

Come premesso i codici di pilastro e d'impalcato servono essenzialmente a meglio descrivere la struttura, senza per altro interferire con il calcolo; il programma automaticamente definisce il ***codice master = codice d'impalcato***, cioè presume che il nodo in esame, in quanto facente parte dell'impalcato, assuma come *master* quello *caratteristico*. Ciò però non costituisce alcuna limitazione in quanto è sempre possibile modificare il *codice master*, assumendone un altro o *rendendo libero* il nodo (cioè *sganciandolo*), cosa indispensabile per quei nodi che, seppure fisicamente alla stessa quota di diaframma di altri, non condividono lo stesso moto rigido. In tal modo si possono descrivere strutture per le quali l'ipotesi di elevata rigidità dell'impalcato non è valida per tutti i nodi, oppure non corrisponde alla circostanza di spostamento orizzontale uguale per tutti i nodi collegati.

Per esempio, per i tetti a spiovente con più falde non complanari, i nodi, pur appartenendo fisicamente allo stesso impalcato, non sono animati dallo stesso moto rigido: le falde infatti, per carichi verticali hanno la tendenza a *divaricarsi* per i tipici effetti *spingenti*. In tal caso l'uso dell'operatore *master-slave* (comunemente ed erroneamente impiegato), equivale a inserire una *catena rigida* che inibisce tali effetti spingenti [Fig. 5]. La corretta modellazione potrà essere ottenuta per *simulazione* attraverso l'indeformabilità assiale delle *aste trave* giacenti sul tetto e *sganciando* i nodi che non condividono lo stesso cinematismo del *master* (per tutti il *codice d'impalcato* potrà rimanere invariato, per descrivere la circostanza che appartengono comunque allo stesso piano).

L'adozione dell'operatore *master-slave* è in taluni casi indispensabile: per gli elementi pannello, i nodi inferiori *is-id* e superiori *js-jd* devono subire lo stesso spostamento orizzontale (infatti rappresentano i lembi estremi della parete e non avrebbe senso se si verificasse una deformazione trasversale delle sezioni rette).

5.1.1. Uso dell'operatore *master-slave* (#).

Come precedentemente descritto, l'operatore *master-slave* consente, in modo estremamente semplice, di effettuare sofisticate *modellazioni* in relazione ai legami fra gli spostamenti orizzontali di taluni nodi; occorre però rispettare alcune semplici regole, che sono nel seguito esposte:

- un nodo può essere *slave* di **un solo *master***;
- un nodo ***master*** non può essere a sua volta *slave*;
- un nodo *slave* assume gli stessi parametri di spostamento **orizzontale del *master*** e non **viceversa, quindi:**

- se ***master*** è **bloccato** (alla traslazione orizzontale), **anche *slave* è bloccato**, ma

- non è possibile che **contemporaneamente slave sia bloccato mentre master è libero** (condizione di errore).

In sintesi, per un nodo master (m giacente su un impalcato i), il codice può essere:
zero (0 =nodo libero), i (d'impalcato, sempre che si sia indicato m come *caratteristico*),
oppure $-m$ (di nodo, cioè *slave* di se stesso).

5.2. Simulazione dell'indefornabilità assiale (#).

L'operatore *master-slave* descritto consente di definire legami funzionali fra gli spostamenti orizzontali, utili per *modellare* l'assenza di spostamenti relativi fra nodi incidenti sullo stesso impalcato; ciò ovviamente vale nel caso in cui l'impalcato sia orizzontale, mentre non ha senso in casi di *falde spingenti*.

Infatti in tali casi l'impalcato conserva il comportamento a diaframma rigido nel *proprio* piano, ma ciò non si traduce nella mancanza di spostamenti relativi orizzontali dei nodi su esso incidenti (come prima) ma nell'assenza di deformazioni estensionali nel piano della falda. Pertanto, nella formulazione del comportamento dell'elemento *asta*, si tiene conto della deformabilità assiale (indispensabile per la descrizione del comportamento dei pilastri in edifici alti, *a torre*), ma al tempo stesso, per il sottotipo *trave*, in numerosi casi occorre inibire tale effetto per non contrastare l'ipotesi d'*impalcato rigido*, posta alla base del calcolo convenzionale degli edifici. Tale circostanza può essere ottenuta in due modi :

- con l'*operatore master-slave* per impalcati posti in piano, operando in modo *rigoroso*;
- con la ***indefornabilità assiale***, per impalcati *a falda*, operando per *simulazione*.

L'opzione di ***indefornabilità assiale*** consente di amplificare *fittiziamente* l'area delle aste di *sottotipo trave* ***unicamente*** per il calcolo del termine di rigidezza assiale (cioè del tipo $E \cdot A / l$). Pertanto la procedura richiede di definire il parametro di amplificazione k , cioè quel numero per il quale verrà moltiplicata l'area per simulare l'effetto descritto, cioè :

$$A'(\text{area fittizia}) = A (\text{area reale}) * k$$

A differenza del package "**S.A.P. 2.0**", tale circostanza non viene attuata *indistintamente* per **tutte** le aste di *sottotipo trave*, ma solo per quelle caratterizzate dalla condizione :

$$\mathit{imp}(i) = \mathit{imp}(j).$$

Quindi tale opzione **non viene attivata** per quelle aste *trave* che non giacciono su un *impalcato*, cioè per le quali si verifica una delle due circostanze:

- **i codici d'impalcato relativi ai nodi estremi sono fra loro differenti**, oppure
- **entrambi i codici sono nulli**.

Ciò è estremamente utile per differenziare il comportamento delle aste *trave* giacenti sull'*impalcato* dalle altre; basti pensare ai telai con travi a ginocchio, fortemente caratterizzate da regime estensionale e non giacenti sull'*impalcato*: amplificare anche tali aree sarebbe un grave errore, in quanto porterebbe a sopravvalutarne la rigidezza.

Per evitare d'incorre in problemi di *mal condizionamento* della matrice di *rigidezza generale* è opportuno scegliere valori del coefficiente amplificativo k non elevati (per strutture ricorrenti

nella pratica tecnica si può adottare un valore compreso fra 100 e 50). Ove non occorra amplificare le aree delle *aste trave* (perchè non necessario, o perchè si adotta l'operatore *master-slave*), basta assumere $k=1$; in tal caso nel tabulato non compare alcuna indicazione circa l'*amplificazione assiale*.

6. Descrizione dei dati richiesti.

6.1. Caratteristiche generali della struttura (#).

Esse sono :

- **testo**: viene riportato sul tabulato per commento al calcolo eseguito;
- **Tipo di materiale** [*codice numerico intero* che indica i valori assunti per i Moduli di elasticità E (normale) e G (tangenziale)]. G viene utilizzato solo per gli elementi che tengono conto degli effetti della *deformazione da taglio* (*pannelli*, aste con *conci rigidi* {7-8} ed *eccentrici* {15-16}), aste con *deformazione da taglio* {3-4}).

E e G vanno definiti obbligatoriamente se:

- 1) si desidera conoscere gli spostamenti reali;
- 2) vi sono nella struttura gli elementi sopra richiamati;
- 3) vi sono nella struttura aste alla *Winkler* {9-10}.

Se non ricorrono i casi 2 e 3, e si è adottato per E il valore di 1 kg/cmq, per conoscere gli spostamenti reali basta dividere quelli ottenuti nel tabulato per E (valore effettivo).

Il package assegna a tutti gli *elementi* il *codice di materiale* indicato (che assume pertanto il significato di *prevalente*); è comunque sempre possibile, nella routine di correzione, modificare tale codice per ciascun *elemento* occorra; sono così facilmente calcolabili strutture costituite da materiali differenti. E' possibile definire (vedi *sagomario*), una biblioteca di massimo 5 distinti tipi di materiali.

- **Numero di nodi, di aste, di pannelli**; tali valori possono essere modificati nella *routine di variazione caratteristiche della struttura* contenuta nella sezione *utility di sistema*.

- **Massimo numero d'impalcato collegato alla struttura**; serve a caratterizzare il telaio come facente parte di un organismo spaziale; **NB** non occorre che il controvento sia collegato *a tutti* gli impalcati sottostanti, prevedendo altresì la possibilità di analisi di strutture ad impalcati *sfalsati* sia per quanto attiene il calcolo, che per l'analisi della deformabilità, in modo automatico.

- **Coordinate in pianta del controvento**; esse definiscono la giacitura del controvento nel piano X O Y (in generale coincidono con le coordinate dei baricentri dei pilastri estremi della struttura, vedi anche manuale package "B.A.C."). Inizialmente sono poste tutte uguali a zero (fatto non significativo, ma che indica *convenzionalmente* che tale dato non viene preso in considerazione, che il telaio viene considerato come isolato e l'informazione non viene neppure riportata nel tabulato). Ove si desideri invece realmente definire la posizione del controvento basta inserire tali coordinate.

Ai fini della stampa opzionale dei dati in fase di calcolo (vedi **8.5**) le variazioni operate sul *testo* e sulle *coordinate in pianta* sono considerate *non significative*, nel senso che la loro modifica non causa la stampa dei dati, se non esplicitamente richiesta, in fase di calcolo.

6.2. Dati relativi ai nodi.

6.2.1. Coordinate dei nodi, tipologia dei vincoli, codici di pilastro e d'impalcato (#).

Le coordinate sono definite in relazione al *riferimento generale*; la routine di input richiede per ciascun nodo il valore della x e della y (in metri).

Se si è richiesto di definire la *corrispondenza* fra nodi e pilastri (cioè fra *nome* dei pilastri della struttura e numero di nodo), viene anche richiesto il *codice di pilastro* [intero positivo]; analogamente, se si è indicato un massimo numero d'impalcato diverso da zero, viene richiesto anche il *codice d'impalcato*. **NB attenzione** : Il programma pone in automatico (default) *codice master=codice d'impalcato*, presupponendo cioè che i nodi definiti come giacenti su un certo impalcato siano **solidali alla traslazione orizzontale** e assumendo quindi per essi lo spostamento orizzontale del *nodo caratteristico*. Ovviamente ciò potrebbe non verificarsi nella totalità dei casi (esempio per i tetti), pertanto vi è sempre la possibilità di modificare quanto assunto in forma automatica, attraverso la routine *codici master-slave*.

6.2.1.1. Descrizione dei codici di vincolo (#).

La tipologia del vincolo viene definita attraverso un opportuno codice numerico composto da una parte *intera* I (+1 oppure -1) ed una *frazionaria* di tre cifre, del tipo **I.ABC** (vedi **Fig. 6a**).

Per poter meglio comprendere la funzionalità del codice è opportuno analizzare la biblioteca elementi finiti disponibile [**Fig. 7**]; gli elementi hanno due (aste **fig.7a**) o quattro (pannello **Fig.7b**) estremità, ciascuna convergente in un nodo. In ciascun nodo l'elemento può essere *solidale* (rappresentato da un **incastro** interno), cioè condivide la rotazione, o *non solidale* cioè **non** condivide la rotazione del nodo (rappresentato da una **cerniera** interna) .

Descrizione della **parte intera (I)** del codice:

I=+1 se le aste afferenti il nodo sono fra loro *solidali* (tutte o solo alcune); in tal nodo eventuali cerniere poste all'estremità di aste **non interrompono** la continuità di **tutte le aste in esso concorrenti**. In sostanza è possibile definire una rotazione del nodo, comune alle aste che sono solidali al nodo stesso, e che nel nodo medesimo non vi è in vincolo interno *cerniera* che interrompe la continuità di **tutte** le aste in esso convergenti.

I=-1 se nel nodo le aste **non** sono fra loro *solidali*, trattandosi in sostanza di una *sconnessione a cerniera*, che **interrompe** la continuità di **tutte** le aste collegate. Coerentemente, affinché si verifichi tale circostanza, nel nodo *incernierato* **dovranno** convergere elementi che all'estremità siano *non solidali* (cioè *aste* tipo 5-6-11-12-13-14 oppure *pannello*).

Descrizione della **parte frazionaria (.ABC)** del codice:

ciascuna delle tre cifre (**A**, **B** e **C**) può essere **0** oppure **1**; **0** indica la **libertà** della corrispondente componente di spostamento, mentre **1** ne indica invece **l'impedimento**:

- **A** corrisponde allo spostamento secondo *x*
- **B** corrisponde allo spostamento secondo *y*

- **C** corrisponde alla rotazione intorno all'asse z .

Il nodo libero *incastro interno*, secondo tale convenzione, sarebbe descritto attraverso il codice **+1.000**, ma viene indicato **convenzionalmente 0** (il programma assume in automatico per tutti i nodi tale codice, salvo modificarlo attraverso la routine *codice di vincolo*); il codice per la **cerniera interna (nodo libero)** è **-1.000 (= -1)**.

La scelta del *codice di vincolo* è connessa anche al tipo di elemento che si descrive; per esempio un vincolo che impedisce la traslazione in entrambe le direzioni può essere schematizzato come:

-1.110 (cerniera fissa): **tutte** le aste convergenti sono **non solidali** nel nodo **i** (anche se vi è una sola asta), cioè **possono essere solo** del tipo 5-6-13-14 (oppure *pannello*); la rotazione nel nodo **i** è **non definita** (convenzionalmente *nulla*).

+1.110 (carrelli ad asse verticale ed orizzontale): **almeno** un'asta convergente è **solidale** in **i** e cioè è dei tipi 1-2-3-4-7-8-9-10-11-12; per esempio al nodo **i** possono essere collegate un'asta del tipo 1, una del tipo 13 ed un pannello: la rotazione è definita solo per l'asta del primo tipo ed è pertanto solo ad essa riferita.

Una errata scelta dei codici *elemento - vincolo* può determinare delle condizioni di **labilità locale**, che si potrebbero evidenziare con messaggi di errore matematico (es. $SQR(-)$). Per esempio, se si descrive il nodo **i** come *incastro interno* e lo si collega con aste *non solidali* o con pannelli, il programma predispone una equazione di equilibrio alla rotazione, ma al tempo stesso, non essendovi alcun elemento in grado di fornire *rigidezza flessionale* al nodo, tale equazione rimane identicamente nulla ed il sistema non ammette soluzioni. In tal caso è opportuno rivedere lo schema statico e i *codici di vincolo* adottati, rimuovendo le eventuali labilità accidentalmente inserite.

La routine di input richiede il numero di nodo, quindi il corrispondente *codice di vincolo*; ciò per introdurre solo i codici dei nodi vincolati, evitando d'inserire quelli dei nodi *liberi* con incastro interno, che sono uguali a zero.

Le aste alla *Winkler* costituiscono un vincolo elastico in direzione normale n all'asse t ; occorre pertanto impedire la traslazione nella direzione t (per esempio se l'asta è orizzontale, occorre disporre un carrello con asse in direzione x , che non limita gli spostamenti in direzione y , regolati dalla rigidezza delle *molle*).

Il package **E.S.A.P.**, a differenza del **S.A.P.2.0**, consente di *modellare*, per le aste alla *Winkler* anche delle *molle elastiche tangenziali*; adottando quindi l'ipotesi di *comportamento tangenziale* per questo elemento, l'asta diviene vincolata elasticamente sia nella direzione n , che nella t e non occorre porre alcun vincolo esterno.

6.2.1.2. Grafica dei vincoli.

La procedura prevede il disegno dello schema strutturale, con indicazione grafica convenzionale dei vincoli; in appendice [Fig. 6a] sono riportati, per ciascun tipo di vincolo, lo schema statico, il codice corrispondente ed il simbolo grafico adottato per la rappresentazione.

E' opportuno rilevare che ciascun vincolo (*composto*), è ottenuto *combinando* i tre vincoli *base* (*carrello ad asse // x, ad asse // y e doppiodoppiopendolo*), sia per quanto concerne la *funzionalità*, che per la *rappresentazione grafica*.

6.2.1.3. Simulazione di particolari vincoli (#).

Come precedentemente esposto, con opportuni codici, è possibile descrivere condizioni di vincolo rigido nelle direzioni del *riferimento generale* (traslazione secondo x ed y e rotazione intorno a z).

Può essere invece necessario descrivere vincoli rigidi o elastici aventi direzioni non coincidenti con quelle del *riferimento generale*.

Ciò può essere ottenuto per *simulazione* inserendo *aste e nodi fittizi* rispettivamente di opportuna rigidezza e posizione. Per esempio, un appoggio cedevole con asse obliquo può essere ottenuto come *molla*, inserendo un nodo aggiuntivo ed un'asta *pendolo*, tale che la sua lunghezza l e l'area A siano tali da ottenere l'assegnata rigidezza k del vincolo elastico ($k=E \cdot A/l$), rappresentando così un carrello cedevole su piano inclinato ortogonale all'asse del pendolo [Fig. 6b].

Per estrapolazione, assegnando ad A un valore molto grande, si ottiene un appoggio fisso su piano inclinato; è opportuno però non eccedere nell'assegnare tali valori, onde evitare d'incorrere in fenomeni di *mal condizionamento* della matrice di rigidezza generale, specie per i termini relativi alla rigidezza assiale.

Analogamente, per simulare la *indeformabilità assiale* degli *elementi asta trave*, occorre non aumentare eccessivamente il valore adottato per l'amplificare delle aree (vedi anche 5.2.); nei casi ricorrenti nella pratica tecnica, il fattore di amplificazione assiale può essere scelto fra 50 e 100).

Per simulare inoltre i pali di fondazione, le paratie etc., ci si può avvalere delle aste alla *Winkler*, eventualmente suddividendo la struttura in *sottotronchi* (nello spirito degli *Elementi Finiti*) per tener conto della variabilità del *coefficiente di rigidezza orizzontale*, come accade nei terreni incoerenti [2].

Nell'ipotesi di *comportamento* delle molle solo *normale* (cioè non tenendo conto del *comportamento elastico tangenziale*), è possibile simulare la cedevolezza del palo e/o del terreno introducendo un vincolo alla traslazione verticale del tipo rigido o elastico; nel caso in cui non si trascuri la reattività delle *molle tangenziali*, esse fungono da vincolo elastico alla traslazione in direzione dell'asta, ed il modello tiene conto delle tensioni che nascono al contorno.

6.3.1. Azioni nodali.

Come già anticipato, esse possono essere di tipo F_x , F_y ed M_z e vanno definite nel riferimento generale.

La routine di input consente di definire solo i valori significativi (diversi da zero), agendo attraverso due procedure distinte per ciascuno dei tre tipi di carico:

- 1) input su **tutti** i nodi;
- 2) input su **alcuni** nodi; in tal caso vengono richiesti prima il nodo, quindi il valore del carico corrispondente.

6.3.2. Azioni nodali orizzontali (#).

Sono delle forze del tipo F_x e sono applicate **esclusivamente** ai *nodi master (caratteristici) d'impalcato*; il programma ammette al massimo quattro *distribuzioni* di tali forze, distinguendole in:

- *prima distribuzione ("statica")* che viene sommata ai carichi nodali e a quelli distribuiti sugli *elementi*, determinando la condizione di carico *base "permanente" P*;
- le rimanenti distribuzioni *base* (massimo tre) "*sismiche*", che vengono combinate alla **P**, secondo quanto indicato in **4**.

Dalla combinazione delle *distribuzioni base* (di carico **P** "*permanente*" e delle rimanenti azioni *orizzontali "sismiche"*), si perviene a (massimo) sette possibili condizioni di carico.

La procedura preliminarmente richiede il numero di distribuzioni *base* di carico che si desidera definire, quindi è possibile introdurre i corrispondenti valori.

Il package "**E.S.A.P.**" è stato concepito come modulo di sottostrutture generiche del package "**B.A.C.**"; pertanto l'input delle distribuzioni di azioni orizzontali può avvenire automaticamente, successivamente alla fase di ripartizione delle azioni orizzontali.

6.3.2.1. Azioni nodali orizzontali d'impalcato relative alla prima distribuzione base di carico [significato] (#).

Come descritto precedentemente, la prima distribuzione *base orizzontale* viene sommata ai carichi nodali e ai distribuiti sugli *elementi*. Essa può rappresentare la distribuzione di forze orizzontali, al livello d'impalcato, che compete a ciascun controvento, come facente parte della struttura spaziale, per effetto dei carichi "*statici*".

Azioni verticali, infatti, possono indurre spostamenti orizzontali: basti pensare che, per effetto dei carichi verticali, un telaio non simmetrico, considerato isolato, subisce spostamenti orizzontali; se tale struttura è inserita in un complesso spaziale ove sono presenti controventi dotati di elevata rigidità laterale (per esempio pareti), questi ultimi si oppongono a tali spostamenti, determinando così delle azioni orizzontali su ciascuna sottostruttura. Pertanto nascono, per effetto di carichi "*statici*", delle azioni orizzontali che competono a ciascun controvento, come facente parte del complesso spaziale.

La prima distribuzione *base* di forze orizzontali d'impalcato è proprio rappresentato da tali azioni, anch'esse derivanti da una ripartizione delle forze fra tutti i controventi facenti parte del complesso spaziale.

E' opportuno evidenziare che vi sono sistemi di forze orizzontali *permanentemente* agenti sul complesso spaziale, quali la spinta del terreno, ove l'edificio sia ad essa sottoposto; tale azione deve essere ripartita fra tutti i controventi facenti parte del complesso spaziale; le relative forze competenti a ciascuna sottostruttura rientrano nella *prima distribuzione base*.

6.4. Sagomario.

Il *sagomario* è un archivio di tipo *esterno* (vedi 8.3) ai dati del singolo telaio, diviso in due sezioni: biblioteca materiali e profili, come descritto nel seguito.

6.4.1. Caratteristiche dei profili (#).

Il programma consente di definire le caratteristiche geometriche delle sezioni rette degli *elementi* e di archivarle su memoria di massa; in tal modo è possibile far riferimento ad una certa sagoma identificandola attraverso un appropriato *codice di profilo*; il programma prevede la gestione di massimo **120** profili per ciascun sagomario.

I profili possono essere delle seguenti tipologie [Fig. 4]:

- 1) **rettangolari**, definiti attraverso i parametri **B** ed **H**;
- 2) a **"T"**, definiti attraverso i parametri **b**, **H**, **s**, **B**;
- 3) **generici**, definiti dai parametri **I** (inerzia), **A** (area), **Ft** (fattore di taglio), **testo identificatore** (massimo 30 caratteri, utile a descrivere la sezione adottata);
- 4) **circolari**, definiti attraverso il diametro **D**.

Il fattore di taglio **Ft** è utilizzato solo per gli elementi *modellati* tenendo conto dell'effetto della *deformazione da taglio* (significativa per gli elementi *tozzi*) [aste di codice **3-4-7-8-15-16** e **pannelli**]. Negli altri casi può essere introdotto un qualunque valore (per esempio **Ft=1**).

Per le sezioni del tipo **1** e **2**, occorre precisare che:

- le caratteristiche geometriche **B** ed **H** sono rispettivamente la dimensione ortogonale e complanare della sezione retta rispetto al piano medio della struttura;
- le dimensioni [cm] : **b**, **D** e **B** **devono essere <999**, **H<9999** e **s<99**, per problemi di formattamento interno dei dati; laddove le sezioni eccedessero tali limiti, basta inserire tali profili come generici, fornendo direttamente i valori **I**, **A** ed **Ft**;
- per le sezioni *"a T"*, viene adottato il **valore Ft=1.2** approssimato, valido, a rigore, solo nel caso di sezioni rettangolari.

Occorre in alcuni casi inserire dei profili per descrivere sezioni di **elementi dotati di elevata rigidità (conci rigidi o indeformabili)**; tali elementi non corrispondono ad aste reali, ma servono a modellare particolari situazioni (vedi 6.5.2.3.). Per essi non è significativo disegnare i diagrammi del momento e del taglio; pertanto si è assunto che se :

- la sezione è definita come profilo **generico** e
- l'inerzia **I** $\geq 100000000 \text{ cm}^4$ (**I** $\geq 1\text{E}+8 \text{ cm}^4$),

i diagrammi dell'intera struttura del momento e del taglio relativi all'asta in questione non **vengono disegnati**.

In tal modo, ai fini del calcolo vengono considerate queste aste dotate di elevata rigidità (fittizie), ma al tempo stesso vengono escluse in fase di rappresentazione delle caratteristiche della sollecitazione. Si ricorda altresì di non eccedere nelle caratteristiche geometriche di tali sezioni; onde evitare d'incorrere in problemi di *mal condizionamento* della matrice di rigidità generale, si consiglia di scegliere valori compatibili alle grandezze fisiche in esame (vedi 5.2).

6.4.2. Caratteristiche dei materiali (#).

Insieme all'archivio dei profili, precedentemente esaminato, il package consente di definire una biblioteca di (massimo) cinque differenti tipi di materiali, di cui vengono forniti i moduli di elasticità **E (normale)** e **G (tangenziale)**; nell'ambito della procedura è possibile richiamarne le caratteristiche elastiche attraverso un opportuno *codice di materiale*.

6.4.3. Gestione del Sagomario (#).

La procedura prevede le seguenti opzioni di gestione:

- **K1 inizializzazione**, da eseguire la prima volta che si usa il *sagomario*, oppure quando si vogliono definire nuove caratteristiche di *profili e materiali*, **cancellando** quelle precedentemente memorizzate. Tale opzione **deve** essere effettuata la prima volta che si utilizza un **nuovo disco dati**.

- **K2 correzione profili**, che consente di modificare i dati relativi alle sezioni memorizzate, oppure introdurne altre nuove; infatti, se un certo profilo non è stato ancora inserito, appare il messaggio "*profilo non definito*", ed è possibile effettuare la *correzione*, introducendo le caratteristiche di un nuovo profilo.

- **K4 correzione moduli elastici**, che consente di modificare e/o inserire le caratteristiche dei moduli elastici dell'*archivio dei materiali*.

- **K10 fine della procedura**, che consente d'interrompere le operazioni di gestione del sagomario, registrando gli aggiornamenti effettuati.

Per quanto attiene le modalità di correzione, vedere il paragrafo specifico di seguito riportato.

6.5. Caratteristiche degli elementi.

6.5.1. Caratteristiche delle aste.

6.5.1.1. Nodi estremi.

Rappresentano i nodi estremi iniziale i e finale j che assegnano il riferimento *locale t i n*: l'asse t è diretto dal nodo i verso il j , n è ortogonale a t per i (t si sovrappone ad n ruotando in verso *antiorario* intorno a i). Per le *aste con conci eccentrici* l'asse t è diretto da i^* a j^* (vedi **6.5.1.3.1**).

6.5.1.2. Codice di profilo.

Rappresenta il numero di *profilo* riportato nel *sagomario*; è opportuno, prima di effettuare l'input della struttura, aggiornare il contenuto del *sagomario* (se sono stati inseriti o modificati dei *profili*).

6.5.1.3. Codice di elemento (#).

Caratterizza il *tipo di asta* prescelto; per la descrizione della tipologia disponibile, vedi il paragrafo successivo.

Si ricorda che un'asta è stata definita *solidale* al nodo, se risulta ad esso *incastrata*, cioè se

ne condivide la rotazione; viceversa *non solidale* se è collegata al nodo attraverso una sconnessione (*cerniera*), cioè se non ne condivide la rotazione.

6.5.1.3.1. Biblioteca degli elementi asta (#).

Come precedentemente accennato, si possono avere i *sottotipi*:

- **asta trave**, per la quale è possibile *amplificare fittiziamente l'area* ai fini della determinazione della rigidità assiale (se $imp(i)=imp(j)$, vedi 5.2.) e far effettuare il *semiprogetto delle minime armature a flessione e taglio*; il codice corrispondente è *pari_*

- **asta pilastro**, per la quale è possibile far effettuare il *semiprogetto delle minime armature a presso-tensoflessione*; il codice corrispondente è *dispari_*

Biblioteca elementi asta [Fig. 7a] :

- **1 (pilastro) 2 (trave): asta con deformazione assiale e flessionale**; nodo *i solidale*, nodo *j solidale*; è previsto il carico distribuito normale con variazione lineare ($q_{ni}\neq q_{nj}$).

- **3 (pilastro) 4 (trave): asta con deformazione assiale, flessionale e da taglio**; nodo *i solidale*, nodo *j solidale*; è previsto il carico distribuito normale costante ($q_{ni}=q_{nj}$); la *deformazione da taglio* è particolarmente significativa per la modellazione di elementi *tozzi* [2]/[5]/[6].

- **5 (pilastro) 6 (trave): asta deformabile flessionalmente ed assialmente non solidale agli estremi i e j ("pendolo")**; nodo *i non solidale*, nodo *j non solidale* (gli estremi *i* e *j* non contribuiscono all'equilibrio alla rotazione dei nodi estremi); è previsto il carico distribuito normale con variazione lineare ($q_{ni}\neq q_{nj}$).

- **7 (pilastro) 8 (trave) (#): asta con concii rigidi (deformazione assiale, flessionale e da taglio nel tratto non rigido)**; nodo *i solidale*, nodo *j solidale*; è previsto il carico distribuito normale costante ($q_{ni}=q_{nj}$) ed il carico **qt** (distribuito tangenziale) è considerato agente solo nel **tratto deformabile**; il *concio rigido* è considerato indeformabile assialmente, flessionalmente ed a taglio. I *conci rigidi* servono a *modellare* la presenza di nodi strutturali d'ingombro finito; per la valutazione delle lunghezze **li** e **lj** di tali zone indeformabili (dagli estremi *i* e *j*) si consiglia di far riferimento alla bibliografia [5]/[6]/[11]. Il programma fornisce tanto le caratteristiche della sollecitazione nodali (negli estremi *i* e *j*), che quelle alle estremità dei *conci rigidi* (*i'* e *j'*) [queste ultime secondo la *convenzione classica* nel riferimento *locale*, cioè momenti negativi se tendono le fibre ove l'ordinata *n* è negativa etc.]; inoltre il programma utilizza tali valori (in *i'* e *j'*) per il progetto delle minime armature, in contrasto con la pratica diffusa ed infondata di operare la *spuntatura* del diagramma del momento, per tener conto dell'ingombro del nodo trave-pilastro.

- **9 (pilastro) 10 (trave) (#): asta alla Winkler deformabile assialmente e flessionalmente**; nodo *i solidale*, nodo *j solidale*; l'asta è collegata ad un *letto di molle* fra loro indipendenti di costante elastica **k** (di *sottofondo* espressa in kg/cm) ed avente un'assegnata dimensione d'impronta **i** (di *contatto* espressa in m); carico distribuito normale costante ($q_{ni}=q_{nj}$); queste *molle* sono estremamente utili per descrivere i problemi d'interazione fra suolo e struttura e possono essere di due tipi:

- **normali_** cioè le classiche *molle alla Winkler* ortogonali all'asse della trave, che reagiscono

con pressioni pn [*comportamento normale* di parametri kn, in];

- **tangenziali** _cioè agenti nella direzione t dell'asse dell'elemento, che reagiscono con pressioni ad esso parallele pt [*comportamento tangenziale* di parametri kt, it]; esse consentono la *modellazione* dell'interazione che nasce fra l'asta ed il terreno per effetto di azioni assiali all'elemento. Le pressioni al contorno pt rappresentano le tensioni *tangenziali* che insorgono lungo la superficie di contatto (il cui perimetro è appunto rappresentato da it). La *modellazione* descritta consente di analizzare il comportamento estensionale dei pali *galleggianti*, cioè non attestati ad un substrato rigido: per essi il cedimento verticale e lo sforzo normale in una generica sezione sono funzione della rigidità del terreno posto al di sotto della punta, delle tensioni elastiche tangenziali agenti sulla superficie laterale e della rigidità assiale *propria* del palo. Analogamente con tale schematizzazione è possibile valutare l'andamento delle tensioni tangenziali elastiche al contorno di tiranti (*attivi* o *passivi*) di paratie, etc. Tale effetto è anche discretizzabile, nel senso che è sempre possibile suddividere il palo in *conci* di lunghezza *finita*, attribuendo a ciascuno le caratteristiche di comportamento relative allo strato esaminato; in tal modo si possono analizzare casi in cui vi sia alternanza di stratificazioni di terreno caratterizzate da potenza e portanza variabili.

Il modello *asta alla Winkler* pertanto trova impiego in tutti quei casi ove occorra analizzare problemi d'interazione fra fondazioni (dirette o indirette) e sovrastruttura, potendo quindi fedelmente inserire pali (come prima descritti), travi o plinti diretti, nel più ampio contesto di strutture intelaiate. Il programma fornisce le **pressioni** agli estremi, relative alle ipotesi di comportamento adottate (pni, pnj e/o pti, ptj). E' inoltre possibile escludere il *comportamento tangenziale*, ritornando alla *modellazione classica alla Winkler*, già adottata dal package "**S.A.P. 2.0**".

- **11 (pilastro) 12 (trave); asta deformabile flessionalmente ed assialmente;** nodo i *solidale*, nodo j *non solidale* (l'estremo i non contribuisce all'equilibrio del nodo); è previsto il carico normale distribuito con variazione lineare ($qni\#qnj$)

- **13 (pilastro) 14 (trave); asta deformabile flessionalmente ed assialmente;** nodo i *non solidale*, nodo j *solidale* (l'estremo j non contribuisce all'equilibrio del nodo); è previsto il carico normale distribuito con variazione lineare ($qni\#qnj$)

- **15 (pilastro) 16 (trave) (#): asta con conchi eccentrici (deformazione assiale, flessionale e da taglio nel tratto non rigido);** nodo i *solidale*, nodo j *solidale*; è previsto il carico distribuito normale costante ($qni=qnj$) ed il carico qt (distribuito tangenziale) è considerato agente solo nel **tratto deformabile**; il *concio eccentrico* è considerato indeformabile assialmente, flessionalmente ed a taglio. I *conci eccentrici* servono a *modellare* la presenza di nodi strutturali d'ingombro finito in presenza di *variazioni di linea d'asse fra l'asta analizzata e le adiacenti*. Questo elemento rappresenta un'evoluzione dell'asta con *conci rigidi*, essendo anch'essa caratterizzata dai tronchi (in direzione t) di lunghezza lit e ljt , ma consente di *disassare* il tratto deformabile rispetto ai nodi estremi i e j , mediante *conci eccentrici* di lunghezza lin e ljn , ortogonali all'asse t . Tali lunghezze sono affette da *segno* nel senso che ln è positiva se, a partire dal nodo (i o j) si raggiunge l'estremo opposto del tronco *normale* (rispettivamente sezioni i^* e j^*) *percorrendo* il *concio eccentrico* secondo il verso positivo di n (**Fig. 7a**).

Come funzionalità, vale quanto espresso a proposito dei *conci rigidi* (valutazione delle lunghezze da assumere per lit e ljt , segni delle caratteristiche della sollecitazione, etc.). Questo elemento è estremamente utile per modellare situazioni nelle quali la linea d'asse dell'asta non risulta allineata con quella delle adiacenti, convergenti in i e/o j , quale il caso delle *riseghe* dei pilastri oppure

i locali *intradossamenti* o *estradossamenti* di travi. Si richiama l'attenzione sul fatto che per quest'asta l'asse t non giace sulla congiungente $i-j$ ma sulla i^*-j^* (con i^* e j^* sezioni terminali dei *conci eccentrici*) [Fig. 7a].

6.5.1.3.2. Eliminazione della deformazione da taglio (#).

Nel precedente paragrafo sono stati illustrati tre elementi finiti per i quali si è tenuto conto, nella modellazione, dell'effetto della *deformazione da taglio*: l'asta deformabile assialmente, flessionalmente ed a taglio (*elementi 3 e 4*), l'asta con *conci rigidi* (*elementi 7 ed 8*), l'asta con *conci eccentrici* (*elementi 15 e 16*).

In talune circostanze (per esempio per confronto con elaborazioni compiute trascurando tale effetto, oppure per omogeneità di modellazione nei confronti di altre strutture) può risultare utile rimuovere la descritta ipotesi di comportamento, accettando una formulazione semplificata.

Per escludere dal modello l'effetto della *deformazione da taglio*, basta *convenzionalmente* adottare per l'elemento in questione un *codice di materiale* per il quale si è posto il valore corretto per il modulo di elasticità normale E , ma *fittiziamente* il valore **nullo** per il modulo *tangenziale* ($G=0$).

Si ricorda che per gli elementi *tozzi* l'effetto della *deformazione da taglio* è in generale non trascurabile.

6.5.1.4. Carichi distribuiti normali (qn) e tangenziali (qt) (#).

Vale per essi quanto diffusamente espresso in precedenza; la routine d'introduzione dei dati consente di effettuare l'input:

1) su tutte le aste; 2) solo su alcune aste (inserendo prima il numero di asta, poi il corrispondente valore); 3) serialmente (cioè definendo le aste iniziale e finale per le quali effettuare la procedura). Inoltre, allo scopo di facilitare l'operazione d'inserimento dei carichi, si sono distinti i seguenti casi:

1) input di q_{ni} e q_{nj} (caso $q_{ni} \neq q_{nj}$), 2) input q_n (caso $q_{ni} = q_{nj}$), 3) input q_{nj} (caso prevalente di $q_{ni} = q_{nj}$, salvo alcune aste ove $q_{nj} \neq q_{ni}$), 4) input q_t .

Ovviamente il programma assume inizialmente che tutti i carichi (nodali o sugli elementi) siano nulli. Pertanto, ove tali grandezze siano realmente nulle (per esempio in fase di *analisi della deformabilità*), non occorre effettuare l'input di tali grandezze, lasciando invariato quanto predefinito.

6.5.2. Caratteristiche dei pannelli (#).

I *pannelli* sono degli elementi **rettangolari** di membrana. Essi sono definiti attraverso i quattro nodi di estremità: due inferiori (is e id) e due superiori (js e jd); i quattro lati dell'elemento ($is-id$, $js-jd$, $is-js$, $id-jd$) devono essere paralleli agli assi del riferimento *generale* x ed y (Fig. 2b). Inoltre i nodi disposti sui due lembi del *pannello* (inferiore $is-id$ e superiore $js-jd$) devono essere animati da moto rigido. Ciò implica che i nodi is e id (e analogamente js e jd) subiscono lo *stesso spostamento orizzontale* e sono **legati** attraverso un operatore **master-slave** (*di nodo o d'impalcato*).

6.5.2.1. Modellazione del pannello (#).

Nella pratica tecnica spesso occorre descrivere, nel contesto di una struttura intelaiata (come sistema di *aste*), *elementi bidimensionali* rettangolari come tamponature, pareti tagliafuoco o lastre in calcestruzzo facciavista; al tempo stesso l'ipotesi *d'impalcato rigido* non consente l'adozione del modello di *lastra* per il quale tutti i lembi di tali elementi sono deformabili, in contrapposizione con l'ipotesi precedentemente esposta (in base alla quale i lembi inferiori e superiori sono indeformabili).

Da tali considerazioni è scaturita l'idea di mettere a punto un elemento che conciliasse da un lato la indeformabilità orizzontale d'impalcato (per i lembi superiori ed inferiori) e dall'altro la deformabilità lungo l'asse verticale (assiale, flessionale e da taglio) [9].

Tale elemento è schematizzato semplicemente come un'asta appunto deformabile assialmente, flessionalmente ed a taglio, coincidente con la linea d'asse del pannello (*i'-j'* Fig. 2b); i nodi estremi dell'asta *equivalente* (*i'-j'*) sono collegati con quelli estremi del pannello (*is, id, js, jd*) attraverso quattro *conci rigidi* *is-i', i'-id, js-j', j'-jd* (indeformabili a flessione, sforzo normale e a taglio). L'elemento nei nodi *is, id, js, jd* è *non solidale*; ciò vuol dire che il pannello è collegato ai nodi estremi con delle *sconnessioni* (a cerniera).

L'asta *fittizia i'-j'* è *modellata* secondo le classiche ipotesi della *Scienza delle Costruzioni*; vale per essa l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane, che si richiama anche in considerazione del comportamento descritto che assumono i quattro *conci rigidi is-i', i'-id, js-j', j'-jd*.

6.5.2.2. Caratteristiche del pannello (#).

Per il pannello il riferimento *locale x'i'y'* è parallelo ed equiverso al *generale x O y*; la retta *y'* coincide con l'asse *i'-j'* dell'elemento e *x'* si sovrappone a *y'* ruotando in verso *antiorario* intorno all'estremo *i'* dell'asta *equivalente i'-j'*.

I dati identificativi del pannello sono i seguenti (Fig. 2b):

- **Nodi estremi** inferiori (*is* e *id*) e superiori (*js* e *jd*);
- **Dimensioni** orizzontale **L** (larghezza) e verticale **H** (altezza) [m];
- **Codici di profilo e di materiale** (come per le aste);
- **Carichi distribuiti qx e qy** [kg/m]: **qy** rappresenta il carico assiale al pannello (utile per descrivere il peso proprio, ed in tal caso *negativo*, in base alle convenzioni assunte), mentre **qx** è l'azione distribuita in direzione ortogonale alla linea d'asse dell'elemento (positiva se concorde agli assi *x'* o *x*).

Le procedure d'introduzione dei dati relativi ai *pannelli* sono analoghe a quelle precedentemente esposte per le *aste*, ed ad esse si rimanda per ogni ulteriore approfondimento.

6.5.2.3. Uso dell'elemento pannello (#).

Questo "*elemento finito*" si rivela particolarmente versatile ove occorra inserire, nell'ambito di una *tessitura intelaiata* (come insieme di *aste*), elementi *rettangolari* di *membrana*, conservando però al tempo stesso le ipotesi di *modellazione* valide nelle strutture ad *impalcato rigido*.

L'elemento è supposto verticalmente deformabile a flessione, sforzo normale e a taglio, mentre orizzontalmente (lambi inferiore e superiore) è indeformabile (pertanto i due nodi inferiori *is* e *id*, e gli omologhi superiori *js* e *jd*, **devono essere legati** attraverso un operatore di tipo *master-slave*); inoltre il *pannello* è **non solidale** ai quattro nodi estremi (*is,id,js,jd*).

Attraverso lo schema statico descritto, è possibile analizzare tanto *pannelli* dotati di rigidità flessionale, assiale e da taglio, quali elementi in calcestruzzo armato (pareti), tanto elementi caratterizzati prevalentemente da rigidità al taglio, quali tamponature murarie, nel contesto di una intelaiatura; ciò semplicemente attribuendo un opportuno codice di materiale.

E' inoltre opportuno evidenziare che il *pannello* s'inserisce nell'ambito dell'intelaiatura in modo *non solidale*; ciò vuol dire che esso non possiede *legami flessionali* con gli elementi adiacenti. Per ovviare a tale circostanza, ove occorra, basta inserire ai lembi (superiore e/o inferiore) un'asta (solidale agli estremi) dotata di elevata rigidità, che simuli l'effetto di *lembo rigido* che il *pannello* ha insito nella propria descrizione, ma che non si evidenzia a causa della mancanza di solidarietà dell'elemento con i nodi estremi. Tali aste (*fittizie*) servono solo per *modellare* l'effetto descritto e pertanto non sono significativi i loro diagrammi del momento e del taglio; per tale motivo, adottando per esse un **profilo generico** con $I \geq 1E8 \text{ cm}^4$, vengono escluse dai diagrammi delle caratteristiche flessotaglianti dell'intera struttura (vedi **6.4.1**).

Analogamente, ove il *pannello* non abbia superiormente o inferiormente continuità con altri elementi, occorre inserire nei nodi corrispondenti delle *sconnessioni a cerniera* (codice **-1.000**), come accadrebbe in analoghe situazioni adottando *aste non solidali* ai nodi di estremità (vedi **6.2.1.1**); ove ciò non avvenisse, si verificherebbero delle *labilità locali*, con conseguenti errori matematici (tipo SQR(-)).

Nel caso di *pannelli monolitici* che occupano più campi di telaio ovviamente occorre definire un **unico** elemento (di inerzia relativa alla lastra nella sua interezza). Descrivendo invece tanti pannelli quanti sono i campi di telaio, non si terrebbe infatti conto della *monoliticità*, sottostimando così la reale rigidità dell'elemento.

E' opportuno evidenziare che attraverso un uso appropriato di elementi a *conci eccentrici* è possibile spesso ottenere la stessa *modellazione* a pannello descritta.

7. Elaborazione (#).

Il programma esegue due tipi di analisi sulle strutture memorizzate:

- **Analisi della deformabilità**, che consente di determinare la matrice di *comportamento della struttura* ed il *vettore delle azioni orizzontali sugli impalcati*;

- **Calcolo della struttura** per le azioni assegnate.

E' possibile far effettuare l'elaborazione nelle seguenti modalità:

- **calcolo del singolo telaio**;

- **soluzione in serie**, cioè di un gruppo di strutture individuate dai numeri dei file iniziale e finale; tali archivi non devono essere necessariamente *consecutivi*.

Con tale *strategia* è possibile effettuare l'input di un gruppo di telai e, successivamente, farli calcolare senza alcun intervento da parte dell'operatore.

7.1. Analisi della deformabilità (#).

Questo tipo di elaborazione è significativa per i controventi facenti parte di strutture spaziali ad impalcato rigido, consentendo di determinare quanto segue:

- **Matrice di comportamento traslante** (di *deformabilità [D]* e di *rigidezza [R]*) **propria** (cioè riferita al numero effettivo d'impalcati ai quali il controvento è collegato) ed **espansa** (cioè riferita alla numerazione degli impalcati nell'ambito della struttura spaziale). Ciò consente, in modo estremamente semplice di effettuare il calcolo di *edifici ad impalcati sfalsati*, cioè nei quali i controventi incidono su impalcati non numerati consecutivamente;

- **Vettore laterale**, rappresentante il sistema di reazioni sugli impalcati indotte dai carichi nodali e distribuiti sugli elementi, nell'ipotesi di piani vincolati alla traslazione orizzontale.

Il programma automaticamente archivia sia la *matrice di comportamento* che il *vettore laterale*, pronti per il successivo assemblaggio rispettivamente nella *matrice di rigidezza rototraslante della struttura spaziale* e nel *vettore termine noto* del sistema di azioni sugli impalcati (package "**B.A.C.**").

La determinazione della *matrice di comportamento* e del *vettore laterale* pertanto consente di effettuare il calcolo di strutture spaziali ad impalcato rigido **comunque configurate**, cioè nelle quali le sottostrutture costituenti possono avere *generica forma* (telai ortogonali, pareti piene o forate, telai reticolari o con tetto, etc.) e qualunque disposizione in pianta.

7.1.1. Calcolo della matrice traslante di comportamento (#).

La matrice di **deformabilità traslante propria** è una tabella quadrata di ordine pari al numero *effettivo (p)* d'impalcati indipendenti (ai quali il controvento è collegato), che ne sintetizza il comportamento per effetto di azioni orizzontali, agenti nel proprio piano.

Ciascun elemento **Dtrl(i,j)** [2]/[5]/[6]/[10] rappresenta lo spostamento (in cm) al piano *i* per effetto di una forza $F_x=1$ kg al piano *j*. Tale analisi viene condotta effettuando *p* condizioni di carico; occorre pertanto stabilire, per ciascun *impalcato*, a quale *nodo* applicare la forza unitaria e leggerne lo spostamento: occorre cioè fissare una corrispondenza fra *impalcati* e *nodi "caratteristici"*, che coincidono con i *master d'impalcato*.

Operativamente, la matrice *[Dtrl]* viene ottenuta effettuando *p* condizioni di carico sul controvento, ciascuna applicando ordinatamente (dall'impalcato di ordine inferiore, successivamente a quelli superiori) una forza *unitaria* ai nodi *caratteristici (master d'impalcato)* ed estraendo gli spostamenti *sx* degli stessi nodi [Fig. 8a]. Per i teoremi energetici (Betti) tale matrice è *simmetrica rispetto alla diagonale principale* (lo spostamento al piano *i* per effetto della forza al piano *j* *Dtrl(i,j)* è uguale a quello che nasce al piano *j* applicando la medesima azione all'impalcato *i* *Dtrl(j,i)*).

Duale di tale matrice di *deformabilità* è quella di **rigidezza traslante** $[R_{trl}]$, avente lo stesso ordine p . Essa si riferisce al telaio (*fittiziamente*) vincolato alla traslazione orizzontale in corrispondenza degli impalcati (schema a *nodi fissi*): ciascun termine $R_{trl}(i,j)$ rappresenta la reazione che nasce al piano i (in kg) per effetto di un cedimento (pari ad 1 cm) impresso al carrello posto al piano j [Fig. 8b]. Anche in questo caso la matrice si presenta *simmetrica* e richiede, per la sua determinazione, p distinte condizioni di carico.

Gli enti *deformabilità* D e *rigidezza* R sono legati dalla relazione:

$$[D]=[R]^{-1} \quad [R]=[D]^{-1}$$

cioè si corrispondono attraverso l'operatore d'*inversione*; il programma determina la matrice $[R]$ appunto *invertendo* la $[D]$.

Operativamente la matrice $[D]$ viene ottenuta effettuando p condizioni di carico, applicando la forza $F_x=1$ kg al piano i e memorizzando ordinatamente gli spostamenti s_x degli impalcati j ; l'operazione viene eseguita procedendo dall'impalcato di ordine inferiore verso quelli superiori, progressivamente [Fig. 8a].

Il programma, per ciascuna condizione di carico, determina e, opzionalmente, stampa le caratteristiche cinematiche (rotazioni e spostamenti s_x e s_y) di tutti i nodi della struttura, consentendo così una trasparente esposizione della metodologia seguita; successivamente *estrae* gli spostamenti s_x *significativi* dei nodi *caratteristici degli impalcati*, archiviandoli ordinatamente a costituire la predetta matrice $[D]$, che viene stampata.

Tale matrice è la *propria* in quanto si riferisce al numero di *piani* a cui il controvento è *effettivamente* collegato; negli *edifici ad impalcati sfalsati* accade che talune *sottostrutture* incidono su impalcati numerati non consecutivamente a partire dal primo (per esempio il telaio è collegato agli ordini n° due, tre e cinque, ma non al n° uno e quattro: pertanto il *numero effettivo* dei livelli collegati è tre e tale è l'ordine della matrice traslante *propria*). La matrice di rigidezza traslante *espansa* tiene invece conto della *incidenza* del controvento nei confronti della numerazione degli impalcati nella struttura spaziale e viene ottenuta da quella *propria*.

Essa ha ordine pari al *massimo numero d'impalcato* sul quale la sottostruttura incide (con riferimento all'esempio precedente l'ordine è cinque) ed è pronta per essere assemblata alla matrice di rigidezza *rototraslante* della struttura spaziale.

La matrice di rigidezza *espansa* viene ottenuta considerando che le reazioni orizzontali degli impalcati non collegati sono nulle, qualunque cedimento sia impresso ai carrelli fittizi.

7.1.2. Calcolo del vettore laterale (#).

Il vettore *laterale* rappresenta le reazioni (cambiate di segno) che nascono per l'applicazione dei carichi concentrati sui nodi e distribuiti sugli *elementi*; viene considerato lo stesso schema statico che si adotta per il calcolo della *matrice di rigidezza traslante* $[K]$, cioè il controvento vincolato da *carrelli fittizi* alla traslazione orizzontale al livello d'impalcato [Fig. 8c]. Fisicamente esso corrisponde al *vettore d'incastro perfetto* per un generico elemento, rappresentando le azioni che si determinano sui nodi di *frontiera*, per effetto dei carichi agenti e nell'ipotesi di *gradi di libertà* bloccati (appunto la traslazione orizzontale impedita al livello di piano).

Conoscendo i *vettori laterali* per tutti i controventi, si può determinare la risultante vettoriale

delle azioni che, per effetto dei carichi descritti, vengono trasmessi dalle sottostrutture ai diaframmi di piano, nell'ipotesi che essi siano bloccati; noto tale sistema di forze, è quindi possibile *rilasciare i vincoli fittizi, ripartendo* le azioni fra tutte i controventi costituenti la membratura spaziale. In tal modo si ricostituisce la congruenza della struttura nello spazio, non solo per spinte *esterne* (quali sisma o vento), ma anche per le azioni *statiche*, non necessariamente costituite da forze orizzontali al livello di piano.

Operativamente il programma applica ai *nodi caratteristici d'impalcato* dei *carrelli ad asse orizzontale*, determinando, per i carichi nodali e per i distribuiti sugli elementi, le reazioni su tali vincoli *fittizi*; esse rappresentano, nell'ordine progressivo di numerazione dei piani, i termini del *vettore laterale* ricercato; esso, viene archiviato insieme alla matrice di rigidità traslante, entrambi in forma *espansa*, per poter essere successivamente assemblati dal package "**B.A.C.**".

Ovviamente, alla luce di quanto affermato, occorre che in fase di *analisi della deformabilità* della sottostruttura siano definite tanto le *caratteristiche geometriche* che i *carichi*; in tal modo sarà possibile valutare completamente il comportamento del controvento nei confronti della struttura spaziale, sia in termini di rigidità, che di azioni *statiche* d'impalcato.

7.2. Calcolo della struttura.

I risultati sono funzione del numero di distribuzioni *base di carico* considerate, secondo lo schema illustrato in **4.**, potendosi avere da una (carichi "*permanenti*") a sette distinte condizioni di carico. Inoltre, attraverso le *opzioni di stampa* (vedi modulo *utility di sistema*) è possibile includere o meno nel tabulato la stampa delle caratteristiche cinematiche e della sollecitazione.

7.2.1. Caratteristiche cinematiche (#).

Il programma fornisce, per ciascuna *distribuzione base di carico*:

- **spostamenti orizzontali (sx) degli impalcati** (se definiti), cioè dei *nodi caratteristici (master)*;
- **spostamenti (sx, sy) e rotazioni (rot z)** dei nodi (*opzionale*).

Gli spostamenti e le rotazioni sono rispettivamente espressi in cm ed in radianti.

Si precisa che, in caso di nodi *non solidali* (codice nodo **I=-1** vincolo interno a cerniera), ciascun elemento concorrente ruota differentemente; la rotazione pertanto *non è definita* ed il programma stampa per essa il valore *convenzionale* di **0 radianti**.

7.2.2. Caratteristiche della sollecitazione.

Vengono fornite *opzionalmente* per ciascun elemento (*monodimensionale e/o bidimensionale*) e per ciascuna *condizione di carico* i valori indicati nei successivi paragrafi.

7.2.2.1. Elementi asta (#).

Per ciascun elemento monodimensionale vengono forniti, come azione del nodo sull'asta e nel riferimento *locale*:

- **momenti** agli estremi M_i ed M_j [kgm], positivi *antiorari*;
- **tagli** agli estremi T_i e T_j [kg], positivi se *concordi* all'asse n ;
- **sforzi normali** agli estremi N_i ed N_j [kg], positivi se *concordi* all'asse t ;

Inoltre, se l'ascissa di taglio nullo è interna all'asta, viene stampato il suo valore xM_{max} [m] ed il relativo valore del momento massimo M_{max} [kgm], nella convenzione classica del riferimento *locale* (positivo se sono tese le fibre ove l'ascissa n è negativa).

Nel caso di aste con *conci rigidi* [7 o 8] o *eccentrici* [15 o 16], vengono stampati anche i valori M_i' , M_j' , T_i' e T_j' dei momenti e dei tagli agli estremi (i' e j') dei conci rigidi (*normali o tangenziali*), che rappresentano le sollecitazioni nelle sezioni terminali della zona deformabile; anche tali valori si leggono nella convenzione classica del riferimento *locale*.

Per le aste alla *Winkler* vengono inoltre stampati i valori delle pressioni *normali* (p_{ni} e p_{nj}) e *tangenziali* (p_{ti} e p_{tj} , se adottato tale tipo di comportamento).

7.2.2.2. Elementi pannello (#).

Le caratteristiche della sollecitazione per i *pannelli* vanno lette nel riferimento *locale* $x'i'y'$, relativamente all'*asta fittizia* $i'-j'$ (come azione del nodo sull'asta):

- **momenti** agli estremi M_i ed M_j [kgm], positivi *antiorari*;
- **tagli** agli estremi T_i e T_j [kg], positivi se *concordi* all'asse x' ;
- **sforzi normali** agli estremi N_i ed N_j [kg], positivi se *concordi* all'asse y' ;

Inoltre, se l'ascissa di taglio nullo è interna all'asta *fittizia*, viene stampato il suo valore xM_{max} [m] (per analogia con il simbolo adottato per gli elementi monodimensionali, anche se più propriamente si tratterebbe di $y'M_{max}$) ed il relativo valore del momento massimo M_{max} [kgm], nella convenzione classica del riferimento *locale* (positivo se sono tese le fibre ove l'ascissa x' è *positiva*).

7.2.3. Reazioni vincolari.

Per ciascun nodo vincolato alla traslazione e/o alla rotazione (cioè *esternamente*), il programma fornisce, per ciascuna condizione di carico, le corrispondenti reazioni che, a seconda dei casi, possono essere:

- Momento di reazione M_z [kgm];
- Forza di reazione in direzione x [kg];
- Forza di reazione in direzione y [kg].

7.2.4. Unità di misura.

In tutte le operazioni di input ed output vengono sempre precisate le opportune unità di misura; esse, non omogenee, sono quelle comunemente adottate nella pratica tecnica:

- dimensioni trasversali delle sezioni: [cm]
- inerzie: [cm⁴]
- aree: [cmq]
- forze, tagli, scorrimenti e reazioni: [kg]
- coppie e momenti: [kgm]
- spostamenti, posizioni assi neutri x_c : [cm]
- rotazioni: [rad]
- tensioni, moduli elastici, pressioni: [kg/cmq]
- coordinate: [m]
- lunghezze conci *rigidi* ed *eccentrici*: [m]
- dimensioni dei pannelli (**H** ed **L**): [m]
- costanti di sottofondo: [kg/cmc]
- dimensioni d'impronta (*Winkler*): [m]

8. Opzioni di elaborazione (#).

Il programma consente essenzialmente di effettuare due tipi di elaborazioni:

- Analisi della deformabilità
- Calcolo della struttura per le azioni assegnate.

Questi due tipi di elaborazioni possono però essere ottenute in vario modo, fissando opportunamente dei parametri opzionali.

Inoltre il programma prevede una routine di verifica *formale* sui dati introdotti *autocheck*, ponendo in evidenza gli errori trovati e richiedendo la loro correzione prima di passare all'elaborazione (esempi: si è richiamato un profilo non definito, o si è fatto un uso improprio dell'operatore *master-slave*, oppure la struttura è *fuori limiti operativi*, etc.).

8.1. Tabulato di verifica: modo stampa (echo on) (#).

Il programma consente di effettuare l'elaborazione *in serie* di un gruppo di strutture, cosa che può richiedere del tempo, lasciando però, nel frattempo, l'operatore libero.

Sorge allora l'esigenza di verificare rapidamente le informazioni introdotte, in modo da evitare di impegnare il computer con elaborazioni su dati errati, con inutile dispendio di tempo.

Per questo motivo è possibile far eseguire una *pre-elaborazione* consistente nella stampa completa dei dati (con disegno dello schema strutturale) ed in una *prediagnostica* cioè una ricerca preliminare degli errori *formali* sui dati introdotti (in forma meno approfondita dell'*autocheck*, che invece viene effettuato in fase di effettiva elaborazione).

8.2. Tabulato di calcolo (#).

Richiedendo, al lancio del calcolo, sia la *stampa* che l'*elaborazione* dei dati, il programma effettua preliminarmente la verifica *formale* dei dati introdotti (*autocheck*) e, se non sono stati riscontrate anomalie, passa successivamente all'esecuzione; ove invece si siano riscontrati errori, ne evidenzia il numero, fornisce una loro breve descrizione, passando alla struttura successiva (se presente) o ritornando al *menù* generale.

8.3. Opzioni disponibili (#).

Con riferimento agli archivi contenenti i dati dei singoli telai, la procedura, per maggiore flessibilità di gestione, definisce due tipi di informazioni:

- *interne*, che vengono memorizzate *nel* file della struttura;
- *esterne*, che *non* vengono registrate *nell'*archivio dei dati del telaio, ma in altri a parte.

In fase di *input* della *singola struttura*, il programma consente di definire sia i *dati da elaborare* che il ***tipo di compito*** da eseguire (*batch*), fissando anche le opzioni disponibili e gli eventuali parametri; è infatti possibile scegliere fra:

- 1) Analisi della deformabilità
- 2) Calcolo della struttura
- 3) Quanto indicato all'avviamento della procedura.

La scelta effettuata viene archiviata, insieme ai dati, nel file della struttura.

Al lancio dell'*elaborazione* è possibile scegliere la ***modalità di esecuzione*** fra le seguenti:

- a) Analisi della deformabilità
- b) Calcolo della struttura
- c) Quanto specificato nelle opzioni per le singole strutture.

La descritta *modalità di esecuzione* non è riferita alle strutture (isolate o in gruppo), ma rappresenta una ***direttiva esterna***, che quindi non interferisce con i dati dei telai introdotti e memorizzati nei singoli file.

In generale le strutture da analizzare ricadono nelle seguenti tipologie:

- **controventi appartenenti ad una struttura spaziale;**
- **telai isolati.**

Nel primo caso occorre effettuare dapprima l'*analisi di deformabilità* quindi, successivamente alla fase di *ripartizione* delle azioni orizzontali (package "**B.A.C.**"), il *calcolo* della sottostruttura per le azioni assegnate; pertanto sugli *stessi dati* occorre, in fasi distinte, effettuare *differenti tipi di elaborazione*.

Per tale considerazione, in fase di *input* del telaio, è possibile richiedere che venga *eseguito quanto richiesto al momento dell'*elaborazione** (opzione 3), senza cioè specificare il *tipo di compito* da effettuare, ma lasciando la scelta della *modalità* di elaborazione al momento dell'esecuzione. Pertanto, senza dover modificare i *tipi di compiti da eseguire* per ciascun controvento, basterà in

una prima fase richiedere l'esecuzione secondo la *modalità a*) e successivamente secondo la *b*).

Viceversa, nel caso occorra calcolare alcuni *telai isolati* (come una paratia, un impalcato da ponte, una struttura in acciaio, etc.), ciascuno di essi richiederà un particolare tipo di elaborazione, non necessariamente analoga agli altri. In tal caso è opportuno fissare per ciascuno in fase di input il *tipo di operazioni* da compiere e le relative opzioni. Al *lancio dell'elaborazione* si sceglierà la *modalità di esecuzione c*, accettando i compiti stabiliti in fase di input.

La strategia descritta vale tanto per strutture *singole* che *in gruppo (soluzione in serie)*.

8.4. Opzioni disponibili (#).

Come descritto, la procedura consente di assegnare, in fase di input, sia i dati da elaborare che il *tipo di compito* da effettuare (**8.3**), con le relative opzioni ed i parametri.

Tali opzioni possono essere di due tipi: *interne* (che vengono memorizzate nel file del telaio cui sono riferite) o *standard* (che rappresentano un sistema *esterno* all'archivio della struttura che può essere predefinito una tantum). Successivamente alla definizione del *tipo di compito* da eseguire, il programma consente di scegliere le *opzioni* fra le *standard (esterne)* e le *non standard (interne)*.

Le opzioni *esterne*, in quanto tali, hanno il vantaggio di non essere fisicamente memorizzate insieme ai dati dei telai e pertanto possono essere modificate senza effettuare *correzioni* sui file delle strutture dalle quali esse sono richiamate.

8.4.1. Opzioni interne (#).

Le *opzioni interne* disponibili sono le seguenti:

- opz. 1) diagrammi del momento (struttura intera);
- opz. 2) diagrammi del taglio (struttura intera);
- opz. 3) deformata elastica (struttura intera);
- opz. 4) semiprogetto armatura *elementi travi*;
- opz. 5) semiprogetto armatura *elementi pilastri e pannelli*;
- opz. 6) diagrammi del momento (singole aste);
- opz. 7) diagrammi del taglio (singole aste);
- opz. 8) archiviazione sollecitazioni *elementi travi*;
- opz. 9) archiviazione sollecitazioni *elementi pilastri e pannelli*;
- opz. 10) routine renumerazione nodi;
- opz. 11) amplificazione assiale *elementi trave*.

In dettaglio, le opzioni 8 e 9 consentono di archiviare le sollecitazioni degli *elementi* per successive elaborazioni (tabella pilastri, disegno armatura travate, etc.), con la 10 si richiede la routine di renumerazione dei nodi (vedi **2.3**) e con la 11 si fissa il fattore amplificativo (*fittizio*) delle aree (vedi **5.2** simulazione indeformabilità assiale); il significato delle rimanenti opzioni è evidente.

Operativamente, il *menù* evidenzia le opzioni disponibili e, per ciascuna, se essa è attivata (*on =1*) o disattivata (*off=0*); l'Utente semplicemente può così confermare le scelte o modificarle; inizialmente vengono mostrate le opzioni *standard* (vedi successivo paragrafo).

Nel caso delle opzioni 4 e 5 (semiprogetto armatura *travi e pilastri-pannelli*), occorre anche definire i *parametri* cioè i tassi di lavoro dei materiali impiegati. A tale scopo è possibile definire (modulo *utility di sistema*) una *biblioteca* di (massimo 5) *parametri di progetto* (sia per le travi che per i pilastri-pannelli); tale biblioteca, se definita, viene preliminarmente mostrata e può essere accettata, scegliendo una delle categorie archiviate, o rifiutata, definendo nuovi valori.

Per quanto attiene i diagrammi del momento (1) e del taglio (2) (relativi all'intera struttura) e le deformate elastiche (3), essi sono eseguiti in scala unica, a passo costante e possono essere disegnati per *tutte* le condizioni di carico oppure *solo* per quelle *significative*, in base alle *opzioni di stampa* definite nel modulo *utility di sistema*. Le condizioni *significative* sono convenzionalmente tre: la *prima*, +/- la *distribuzione base sismica* che determina il maggiore momento M_z rispetto all'origine O del riferimento generale. Oltre ai descritti diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione (opzioni 1 e 2), vengono forniti anche quelli d'inviluppo, sempre in scala unica. Adottando la stampa delle sole condizioni *significative* si ottiene un consistente risparmio di tempo di elaborazione, senza rinunciare a cogliere gli aspetti qualitativi più interessanti, riducendo al tempo stesso il *volume* della relazione.

Per i *pannelli* il programma fornisce la deformata *rigida* e non disegna i diagrammi delle sollecitazioni.

Si ricorda che vengono omessi i diagrammi del momento e del taglio (intera struttura) delle aste *aventi profilo generico* con $I \geq 1E+8 \text{ cm}^4$ (vedi **6.4.1**).

I diagrammi del momento e del taglio relativi alla *singole aste* (6 e 7) sono d'inviluppo e forniti in scala unica (delle lunghezze e delle sollecitazioni); vengono eseguiti per le aste di sottotipo *trave* (tutte) e *pilastro* (per i quali $q_{ni} \neq 0$ e/o $q_{nj} \neq 0$). Inoltre se le aste in questione sono *consecutive* ed *allineate* il diagramma è *continuo*; a tale scopo conviene numerare consecutivamente le travi allineate (per esempio quelle giacenti sullo stesso impalcato, costituenti una travata).

8.4.2. Opzioni *standard* (#).

Nel precedente paragrafo (**8.3**), si è descritta una *strategia* di elaborazione nel caso di sottostrutture facenti parte di un complesso spaziale. In generale, per un gruppo di controventi, occorre eseguire le stesse *operazioni*, con gli stessi *parametri* (per esempio, in fase di calcolo, i diagrammi delle sollecitazioni, le deformate, il semiprogetto delle aste, definendo per tutti gli stessi valori dei tassi di lavoro dei materiali).

Per questo motivo, il programma consente di definire le opzioni *standard* (comprehensive dei relativi parametri) che possono essere adottate per il calcolo delle strutture, rappresentando un sistema d'informazioni *esterne* ai file di archivio dei telai.

In tal modo, ove occorresse far ricalcolare i controventi con differenti parametri di progetto, o con diverse direttive, basterà fornire semplicemente un nuovo sistema di opzioni *standard*, senza modificare alcun dato relativo alle strutture da calcolare.

Il sistema di *opzioni standard* è strutturato in modo identico a quello *usuale* (che invece è *interno* alle informazioni del telaio). A fine input della struttura è possibile scegliere fra il sistema di

opzioni standard (esterno) o quello usuale (interno).

Le *opzioni standard* e la *biblioteca di parametri* per il semiprogetto delle minime armature (intesi come *tassi di lavoro dei materiali*), possono essere definiti nel modulo di *utility di sistema*.

8.5. Opzioni di stampa (#).

Come premesso, il programma consente di *personalizzare* la stampa del tabulato attraverso un sistema di *opzioni di stampa* che sono del tipo *esterno*; esse sono:

- 1) **stampa sollecitazioni elementi trave;**
- 2) **stampa sollecitazioni elementi pilastri e pannelli;**
- 3) **stampa rotazioni e spostamenti dei nodi;**
- 4) **disegno diagrammi di tutte le condizioni di carico o solo delle significative;**
- 5) **stampa dei dati in fase di calcolo;**
- 6) **stampa delle sollecitazioni delle travi in fase di archiviazione.**

La modalità di scelta delle opzioni è analoga a quella evidenziata in **8.4.1.**: per ciascuna è indicato se essa è attivata ($on=1$) oppure no ($off=0$) e l'Utente può confermare o modificare quanto mostrato.

In dettaglio, attraverso le opzioni 1,2 e 3 è possibile far effettuare o meno la stampa delle corrispondenti caratteristiche della sollecitazione e/o cinematiche e con la 4 si sceglie se far stampare i diagrammi relativi a *tutte* le condizioni di carico o solo a quelle *significative* (vedi **8.4.1**).

Nel caso in cui si effettui il calcolo di un gruppo di controventi facenti parte di una struttura spaziale, in fase preliminare occorre far eseguire l'*analisi* della *deformabilità* (che costituisce la fase propedeutica alla *ripartizione* delle *spinte sismiche*); in tale fase viene anche eseguita la stampa completa dei dati dei singoli controventi (geometrici e dei carichi). Successivamente, cioè in fase di calcolo delle sottostrutture, è possibile con l'opzione 5 scegliere se far ristampare nuovamente i dati o meno, economizzando tempo e riducendo il volume della relazione. In tale ultimo caso il programma disegna lo schema strutturale, riporta il titolo, la giacitura del controvento e le distribuzioni di azioni orizzontali d'impalcato (che sono emerse dalla ripartizione delle forze sismiche), passando ai direttamente ai risultati, senza riportare alcun dato.

E' opportuno precisare che, nel caso in cui si siano effettuate modifiche *significative* ai dati *interni* dei telai, il programma **in ogni caso** effettua in fase di calcolo la stampa completa dei dati, anche se l'opzione 5 esclude tale circostanza (ciò per avere sempre traccia dei dati cui è riferito il tabulato).

Si ricorda altresì che il *sagomario* costituisce un archivio *esterno*: ciò implica che **la modifica di un profilo ricorrente in un telaio non viene avvertita come correzione** (se effettuata dalla routine *sagomario* e non dalla correzione *interna* del controvento) e quindi non determinerebbe la stampa dei dati; per ovviare a tale circostanza basta **modificare il profilo dalla routine correzione interna** (aste o pannelli), oppure modificare fittiziamente un dato *significativo* della struttura (coordinate di un nodo, un codice di vincolo, etc.). Si ricorda altresì che il *testo* e la *giacitura in pianta* sono considerati dati *non significativi*.

L'opzione 6, se attivata, consente di avere traccia delle sollecitazioni flessotaglianti delle travi che vengono archiviate per eventuali successivi trattamenti (*post-processors*).

Attraverso un uso appropriato delle *opzioni di stampa* è quindi possibile *configurare* la relazione di calcolo in funzione delle proprie esigenze. Ove occorra in modo rapido *predimensionare* la struttura, basta escludere la stampa delle caratteristiche della sollecitazione e cinematiche; viceversa, in stesura definitiva, è sempre possibile ripristinare tali opzioni; ciò sempre agendo all'*esterno* dei file contenenti i dati dei controventi, quindi in tempi brevissimi. Il numero complessivo delle condizioni di carico può essere notevole (anche 7), cosa che potrebbe fortemente appesantire e rallentare la fase di rappresentazione grafica (sollecitazioni e deformate). Con l'opzione 4 è possibile focalizzare l'attenzione solo sugli aspetti *significativi*.

9. Semiprogetto delle minime armature per gli elementi.

Il programma opzionalmente esegue il calcolo delle minime armature per gli elementi *trave e/o pilastro e/o pannello*.

Viene adottato il metodo delle *tensioni ammissibili*, in conformità alla vigente normativa per le opere in calcestruzzo cementizio armato; in tutte le operazioni di *semiprogetto* le *tensioni ammissibili* vengono intese come *valori di progetto*, cioè di *tassi di lavoro* ai quali l'Utente desidera far lavorare i materiali impiegati.

9.1. Semiprogetto delle minime armature per le aste trave (#).

Per tali aste il programma determina le *minime armature strettamente necessarie a flessione ed a taglio*, in funzione dell'involuppo delle massime sollecitazioni derivanti dal calcolo e di altre opzionali aggiuntive; è infatti possibile selezionare dei *minimi valori* dei momenti flettenti (secondo la convenzione classica) nelle sezioni di campata ed estreme, ai fini del semiprogetto delle armature:

$$\begin{aligned} - M \text{ min. in campata} &= + q * l^2 / \alpha \\ - M \text{ min. sui nodi estremi} &= - q * l^2 / \beta \end{aligned}$$

avendo indicato con l la *luce* dell'asta, q il carico *qni* e con α e β due coefficienti numerici a scelta dell'Utente; volendo escludere tali minimi valori dei momenti basta assegnare ad α e/o a β il valore *convenzionale* zero.

Il programma prende in esame tre sezioni rappresentative:

- **sezione estrema di sinistra i (iniziale),**
- **sezione di campata,**
- **sezione estrema di destra j (finale),**

per ciascuna prende in esame le condizioni derivanti dal calcolo della struttura (involuppo) ed i minimi momenti aggiuntivi (se definiti), scegliendo i massimi valori positivi e negativi, determinando cioè la *fascia di comportamento* per la sezione.

Il semiprogetto viene eseguito con riferimento alle sezioni *rettangolari*; le sezioni a T vengono ad esse ricondotte (ponendo $s=0$ e $b=B$).

In dettaglio, per ciascuna sezione esaminata, vengono forniti:

- **momenti flettenti positivo e negativo** agenti (secondo la *convenzione classica* applicata al *riferimento locale*) [kgm];
- **aree Afsup. ed Afinf.** di acciaio minime da disporre superiormente ed inferiormente [cmq];
- **distanza dell'asse neutro dal lembo compresso xc**, relativa alla verifica per il valore (assoluto) massimo fra i momenti positivo e negativo [cm];
- **massime tensioni** di compressione per il calcestruzzo (**sc**) e di trazione per l'acciaio (**sf**) [kg/cmq];

Inoltre per le sezioni estreme (nodi *i* e *j*):

- **massimo valore del taglio Tmax** (secondo la *convenzione classica*) [kg];
- **massima tensione tangenziale tau** [kg/cmq];
- **area Af T**, derivante dal rapporto Tmax/sigmafam [cmq].

Il progetto delle minime armature a taglio viene effettuato nelle consuete ipotesi di *traliccio di Morsch*, suddividendo l'asta in sei tronchi (di lunghezza *dz*), calcolando per ciascuno il massimo scorrimento in modulo ($S = \tau * b * dz$), quindi stampando le minime aree di staffe a ml (**Ast/m**) [cmq/ml] e l'area dei piegati a 45° (**Afp**) necessari nel tronco [cmq].

Il programma, in conformità alla normativa per il calcestruzzo cementizio armato, assume come minima armatura di staffe a ml il valore di 3 cmq/ml, affidando il 40% dello scorrimento alle staffe ed il 60% ai piegati. Quando i predetti 3 cmq/ml di staffe sono già sufficienti ad assorbire una percentuale dello scorrimento superiore alla prefissata (40%), affida la rimanente ai piegati; ne deriva che ove la minima staffatura sia già sufficiente a coprire l'intero scorrimento, assegna a **Afp** il valore zero.

Volendo escludere il progetto delle minime armature a taglio, basta assegnare a **taub1** (massima tensione tangenziale ammissibile) il valore *convenzionale zero*.

Il programma non stampa le caratteristiche relative ai tronchi per i quali la $\tau < \tau_{aub0}$ (valore della tensione tangenziale ammissibile in assenza di armature). Ove si desideri avere in ogni caso il progetto delle armature a taglio per *tutti i tronchi* basta porre per **taub0** il valore zero.

Nel caso in cui la massima tensione tangenziale supera il massimo ammissibile (**taub1**), il programma evidenzia tale circostanza col messaggio:

!!!! $\tau_{max} > \tau_{aub1}$!!!!.

9.2. Semiprogetto delle minime armature per gli elementi pilastri e/o pannelli (#).

Per gli elementi *pilastro e/o pannello* il programma fornisce le minime armature strettamente necessarie a presso-tensoflessione per sezioni rettangolari (la sezione *a T* viene ricondotta automaticamente a tale tipologia, ponendo $b=B$ e $s=0$), nell'ipotesi di armatura simmetrica ($Af = Af'$), relativamente alle sezioni estreme (nodi *i* e *j* per le *aste* e *is-id* e *js-jd* per i *pannelli*).

Per ciascuna, la procedura ricerca la minima area di armatura tale da rispettare o la tensione di progetto per il calcestruzzo o quella per l'acciaio; per tale valore effettua la verifica della sezione per tutte le condizioni di carico assegnate, fornendone il completo stato tensionale e stampando:

- **momento flettente** [kgm];
- **sforzo normale** [kg];
- **la modalità di comportamento della sezione** (parzializzata o completamente reagente);
- **le massime tensioni** nel calcestruzzo e nell'acciaio e la **tensione media nel calcestruzzo** [kg/cmq].

Il programma inoltre fornisce la minima armatura da disporre *complessivamente nella sezione* secondo il regolamento **Ar.min.reg**; si precisa altresì che le armature minime (**Af = Af'**) si riferiscono sia al lembo teso che a quello compresso.

10. Utilizzazione della procedura (#).

Il caricamento avviene automaticamente lanciando il batch file **ESAP.BAT** fornito sul disco programmi (vedi *guida all'uso* al paragrafo 4.2.1.). E' possibile eseguire le operazioni sui file mediante gli appositi comandi dedicati del modulo *utility di sistema* (duplicazione, eliminazione, ricerca, etc.), senza agire direttamente attraverso comandi DOS.

10.1. Menù generale.

Le opzioni disponibili sono le seguenti:

- **K1 introduzione dei dati**
- **K2 correzione dei dati**
- **K3 nuova condizione di carico**
- **K4 esecuzione della struttura nel file corrente**
- **K5 scelta del file sul quale lavorare**
- **K6 soluzione in serie**
- **K7 gestione del sagomario (profili e moduli elastici)**
- **K8 altre opzioni**
- **K10 fine della procedura - RITORNO AL DOS**

Il significato delle opzioni è stato già precedentemente chiarito: si può introdurre nel file n. f una struttura, modificarla, quindi cambiare archivio (K5), scegliendo di lavorare sul n. k, introducendo o modificando un altro telaio in tale file, operando così su tutti i controventi da analizzare.

Introdotte o corrette tutte le strutture da studiare, si può far elaborare la singola (K4) o un gruppo di queste (*in serie* K6); i dati restano memorizzati finchè non si utilizza lo stesso archivio per registrare un nuovo telaio.

Si consiglia di aggiornare il *sagomario* (K7) prima di effettuare l'input della struttura.

Attraverso la chiave **K8 (altre opzioni)** si accede al seguente sottomenù:

- **K1 modulo A.M.G.: Auto Mesh Generator**

- **K2 modulo B.A.C.: ripartizione delle azioni orizzontali**
- **K3 modulo utility di sistema**
- **K10 ritorno al menù principale.**

L'operazione della *scelta della configurazione di lavoro*, consente di fissare su quale memoria di massa (ed in quale directory) archiviare dati e programmi. La procedura è tanto utilizzabile su disco rigido che su dischetti flessibili, in funzione della disponibilità dell'Utente; l'occupazione di memoria richiesta è estremamente esigua (vedi *Guida all'uso*). L'operazione di scelta della configurazione di lavoro è da compiere *una tantum*, quando cioè si desidera modificare l'organizzazione delle periferiche disponibili in linea (video, memoria di massa e stampante).

Per quanto attiene i moduli *utility di sistema* ed *Auto Mesh Generator*, si rimanda alle appendici specifiche.

10.2. Routine di correzione.

Le routine di correzione sono concepite in modo da consentire la preventiva visione dei dati e, all'occorrenza, di effettuarne la modifica oppure di passare ai successivi, o ancora di sospendere la procedura.

A tale scopo vengono attivate delle keylabel (funzioni), il cui significato è indicato a fondo video (in tali procedure, ad esempio, il tasto K1 consente di passare ai dati successivi, senza modificare quelli visualizzati).

11. Garanzia.

La durata della garanzia del *supporto fisico* del programma è di sei mesi dalla data di consegna ed è limitata a danni indipendenti da uso scorretto da parte dell'Utente.

Entro tali condizioni, verrà fornita una nuova copia del package, dietro corresponsione delle spese di supporto magnetico e di spedizione; si consiglia comunque di effettuare una copia di backup dei programmi originali. La *chiave hardware*, fornita a corredo del package, resta di proprietà dell'autore del programma.

12. Assistenza.

Non è dovuta all'Utente alcuna forma di assistenza o di consulenza; è comunque possibile stipulare un contratto di assistenza telefonica e/o di manutenzione del software (che prevede l'automatica fornitura degli aggiornamenti e delle nuove versioni del package).

Salvo quanto precedentemente espresso, l'autore non è in alcun modo tenuto all'aggiornamento delle versioni precedentemente fornite.

13. Responsabilità.

L'autore *non rilascia alcuna garanzia*, neppure implicita, riguardo l'esattezza del programma e pertanto in nessun caso lo si potrà ritenere responsabile per danni diretti ed indiretti causati dalla eventuale inesattezza dei risultati ottenuti.

APPENDICE ESAP REV.3.0

A1. Nuove funzionalità del modulo. Errore. Il segnalibro non è definito.

Nella presente versione 3.0 dell' "**ESAP**" e del "**B.A.C**" si è prevista la possibilità d'indirizzare l'output dei testi alternativamente su stampante (come già avveniva) oppure su file ASCII. Per quanto attiene i grafici, essi vengono sempre rappresentati su video e possono essere direttamente stampati oppure plottati su files. L'innovazione introdotta è particolarmente rilevante, specie in considerazione dei consistenti volumi di stampa prodotti dai due programmi in questione, che si riferiscono spesso ad interi fabbricati.

Nel caso si scelga d'inviare su files l'output, esso potrà essere visualizzato successivamente, conferendo una notevole velocità all'elaborazione. Quindi le fasi di calcolo e di consultazione possono dirsi praticamente contemporanee, potendosi operare in *tempo reale*. Questo costituisce un incentivo ad uno studio più approfondito della struttura: bastano pochi secondi per esaminare nuove soluzioni tecniche.

La disponibilità di files ASCII consente inoltre di modificare l'output dei risultati, personalizzandoli con proprie annotazioni ed eliminando le parti che si ritengono scarsamente significative o ripetitive, anche avvalendosi in modo appropriato dei diagrammi, che consentono d'individuare le zone di maggiori sollecitazioni. Per alcune strutture (come quelle in acciaio), è possibile ridurre la relazione a poche verifiche, una volta individuate, con l'uso dei diagrammi, le parti maggiormente impegnate dell'opera e riportando soltanto i risultati ad esse relative.

Talvolta occorre effettuare ulteriori elaborazioni, a valle della fase di calcolo, impiegando i risultati come dati per successive operazioni automatizzabili (per esempio particolari verifiche); in sostanza, in alcune circostanze, emerge l'esigenza di effettuare **post-processing**, cioè post-elaborazioni, per le quali appare utile possedere i risultati non in forma tabulare, ma di file.

Per questo motivo, in analogia con quanto previsto dal package "**GRID**", è possibile ottenere le sollecitazioni (per ciascuna condizione di carico "base") e la geometria degli elementi in forma di file, quindi leggibili da programmi opportunamente strutturati, per impiegarli come input per successive elaborazioni, esterne alla procedura.

Nel seguito viene descritta la *chiave di lettura* di questi archivi, in modo da rendere pienamente operativa questa possibilità.

La gestione delle **condizioni di errore** costituisce in generale un grosso problema per l'Utente, il quale spesso si trova in difficoltà non sapendo come opportunamente fronteggiare l'anomalia che si presenta nel corso dell'elaborazione. La situazione potrebbe apparire ulteriormente aggravata dal fatto che la mancanza del supporto cartaceo non consente di sapere quali sono i files che manifestano le condizioni di errore.

Per semplificare questa operazione si è progettato un sistema di rilevamento di errori che consiste nell'attivazione di un opportuno file "**ERROR.TXT**" che appare nella SUBDIRECTORY corrente che ospita i dati e che contiene l'elenco dei messaggi di errore che sono stati rilevati, l'indicazione del file ove si è verificato, la data e l'ora dell'evento.

Ad elaborazione completata, in caso di errore, sul menù principale dei programmi ("ESAP" o "B.A.C.") appare il messaggio contenente l'indicazione del numero di anomalie riscontrate ed il consiglio di procedere alla lettura del file "**ERROR.TXT**". Tale file è leggibile attraverso un qualunque editor, oppure con il programma di visualizzazione (viewer) connesso al package "ESAP".

Nella presente pubblicazione si richiamano esplicitamente i manuali delle precedenti revisioni dei packages "ESAP" e "B.A.C.", evidenziando le trasformazioni effettuate con il simbolo (#).

Il package è stato realizzato e compilato in ambiente MICROSOFT **Quick Basic rev.4.5**.

Si ricorda che è possibile definire una generica SUBDIRECTORY contenente i dati, ma è **obbligatorio**, che si copino in essa da una subdirectory precedentemente utilizzata (oppure semplicemente da quelle a corredo del programma) i files:

ESAP.COL	contenente la <i>tavolozza dei colori</i> ;
ESAP.OPZ	contenente le <i>opzioni di elaborazione</i> ;
ESAP.PAR	contenente i <i>parametri</i> per il semiprogetto di travi e pilastri;
ESAP.PRO	contenente l'elenco dei <i>profili</i> adottato

In breve tutti i files **ESAP.***

A1.2. Nota per gli Utenti del package "ESAP" rev. 2.0

Errore. Il segnalibro non è definito.

Nel presente paragrafo vengono evidenziate le trasformazioni che il programma ha subito rispetto alla versione precedente (rev. 2.0), in modo da rendere più spedito l'apprendimento della nuova procedura.

- **Sagomario** _ Il massimo numero di profili è stato portato a **450**.

-**Gestione delle relazioni e dei grafici** _ Nella routine di scelta della configurazione di lavoro è stata inserita l'opzione di **stampa** delle relazioni su **stampante** o su **file** (i nomi dei files vengono nel seguito dettagliatamente descritti); analogamente è possibile richiedere che i **grafici**, oltre ad apparire su **video**, vengano **stampati** o archiviati su **file**. Nel caso in cui si selezionino l'archiviazione su file, l'elaborazione richiede tempi incredibilmente brevi, oltretutto senza impegnare la stampante. I files di testo sono in formato ASCII, leggibili con un comune word processing (e con esso modificabili, in modo da aggiungere commenti, o stralciare parti di relazione indesiderati) e comunque sono visibili e stampabili con la routine **gestione relazioni**. Tali files non sono compattati (per consentirne lettura e modifica con un qualunque text editor), la loro dimensione ovviamente dipende dalla struttura e potrebbe richiedere anche centinaia di KB; è opportuno quindi accertarsi (con un banale comando DIR da DOS) di avere a disposizione la necessaria memoria su disco. Per ciascun grafico prodotto, se attivata l'archiviazione su disco, viene realizzato un file, leggibile solo dal predetto modulo di gestione, contenente, in forma vettorizzata e crittografata, i dati necessari a riprodurre il disegno. In sostanza si tratta di files di plottaggio estremamente compatti: basti pensare che un grafico in risoluzione VGA richiede quattro files per complessivi 153628 bytes, mentre col metodo adottato bastano pochi KB. Il vantaggio è notevole, in quanto, non impegnando la stampante, i tempi di calcolo sono estremamente esigui e si è invogliati a studiare anche più di una soluzione strutturale, vista l'assenza di sprechi di carta e la risposta praticamente in tempo reale. Ove l'esecuzione sia stata effettuata in batch (in serie) è possibile consultare i grafici ed eventualmente far stampare, fra questi, i più rappresentativi. Nella routine di gestione grafici è

inoltre possibile *organizzare* i grafici, per esempio *montando* nella stessa pagina per la stessa travata i diagrammi del momento e del taglio, in modo da avere un quadro *sinottico* di comportamento della membratura esaminata.

- **Archiviazione delle sollecitazioni degli elementi (aste e/o pannelli)** _ E' opzionalmente possibile archiviare le sollecitazioni e le caratteristiche geometriche di tutte le membrane costituenti la struttura, in modo da permettere eventuali successive elaborazioni (per esempio verifiche di resistenza particolari, senza dover reimpostare tali dati, ma leggendoli dal file **ESAP####.SOL**), in modo da ricostruire completamente dati e risultati relativi a ciascun elemento.

- **Accesso al DOS (SHELL)**_Talvolta risulta comodo, nell'ambito della utilizzazione della procedura, di accedere al DOS, per compiere alcune operazioni. A questo scopo è stata attivata la chiave **SHELL**, che consente di passare la gestione momentaneamente al sistema operativo. Per ritornare alla procedura basta digitare, al prompt del DOS, il comando **EXIT**. Si fa presente che l'opzione è estremamente sensibile alla memoria disponibile. La presenza di programmi residenti, che riducono la disponibilità della RAM, potrebbe impedire il *ritorno* alla procedura, manifestando un messaggio di errore.

Da quanto sinteticamente esposto, si evidenzia che la rev. 3.0 del package "ESAP" rappresenta una significativa evoluzione della versione precedente, presentandosi come un prodotto del tutto innovativo, sia come concezione che come potenzialità applicative.

Inoltre esso è strutturato e concepito per essere arricchito da sistemi di *pre-post processors* utili a migliorarne uso e potenzialità operative.

Come anticipato, i paragrafi nei quali vi sono innovazioni sono contrassegnati dal simbolo (#).

A2. Archiviazione delle sollecitazioni (#).

Errore. Il segnalibro non è definito.

Nelle opzioni è stata introdotta la realizzazione di un file contenente informazioni in ordine alle caratteristiche geometriche e della sollecitazione (relative a ciascuna condizione **base** di carico), degli elementi costituenti la struttura (routine di **archiviazione delle sollecitazioni**). Tali informazioni vengono registrate opzionalmente nel file **ESAP####.SOL**, posto nella SUBDIR dei **dati**, realizzato in formato ASCII (quindi leggibile da un comune word processing) e si prestano a costituire un collegamento verso **post-processors**, contenendo in forma ordinata dati e risultati dell'elaborazione.

Affinchè tale possibilità sia realmente utilizzabile, viene nel seguito descritta la struttura del file **ESAP####.SOL**; le variabili sono indicate col simbolo (#) se in doppia precisione, con (!) se in semplice e con (%) se intere.

Nell'ordine le variabili sono :

- N. delle **aste** presenti (%), N. dei **pannelli** presenti (%), numero di **condizioni base** di carico (%)

per ciascuna asta :

- N. dell'asta (%)
- **luce (tot)** [m] (!), carichi distribuiti **qn_i**, **qn_j** [kg/ml], e **qt** [kg/ml] (!)
 - variabile contenente:
 - un codice compatto (#) di dodici cifre costituito dalle caratteristiche geometriche del profilo **se rettangolare, circolare o "a T"** (b, H, s, B [cm]), così costruito:

- rettangolare	codice: HHHHbbb00bbb	dati b ed H [cm]
- circolare	codice: DDD	dato D [cm]
- "a T"	codice: HHHHBBBsssbbb	dati b, H, s, B [cm]

oppure

- il valore **0 (zero)** se il profilo è generico (ed è pertanto univocamente definito dai tre parametri seguenti)

- **Inerzia** [cm⁴], **Area** [cmq], **Fattore di taglio** (#)
- La **luce (netta)** [m] (!), il **sin (α)** ed il **cos (α)** (!), (con **α** l'angolo formato fra gli assi t ed x).

per ogni condizione **base** di carico:

- M_{f_i} [kgm], T_i [kg], N_i [kg], M_{f_j} [kgm], T_j [kg], N_j [kg] (#) (sollecitazioni **nodali**).

per ciascun pannello :

- N. del pannello (%)
- i carichi distribuiti **qx**, **qy** [kg/ml], (!)
- variabile contenente:
- un codice compatto (#) di dodici cifre costituito dalle caratteristiche geometriche del profilo **se rettangolare, circolare o "a T"** (come per le aste)

oppure

- il valore **0 (zero)** se il profilo è generico (ed è pertanto univocamente definito dai tre parametri seguenti)

- **Inerzia** [cm⁴], **Area** [cmq], **Fattore di taglio** (#)
- L' **ampiezza L** e l'**altezza H** [m] (!) del pannello

per ogni condizione **base** di carico:

- M_i [kgm], T_i [kg], N_i [kg], M_j [kgm], T_j [kg], N_j [kg] (#) (sollecitazioni in **asse**).

Si precisa che per i momenti flettenti in i e j si è adottata la convenzione di momenti positivi se antiorari, come azione del nodo sull'elemento.

Ove si sia eliminata la deformazione da taglio (ponendo convenzionalmente $\mathbf{G}=\mathbf{0}$, vedi par. 6.5.1.3.2. del manuale del package ESAP), viene posto $\mathbf{Ft}=\mathbf{0}$.

A3. Descrizione dei files prodotti nel corso dell'elaborazione.

Errore. Il segnalibro non è definito.

I package "ESAP" e "B.A.C." producono, nel corso dell'elaborazione dei files nei quali allocano i testi delle relazioni (in formato ASCII) e i codici di plottaggio dei diagrammi. Allo scopo di evidenziare la denominazione che assumono ed il loro contenuto, ne viene data una descrizione nel seguito.

A3.1. Files contenenti i testi prodotti dal package "ESAP".

Errore. Il segnalibro non è definito.

Nel caso in cui si adotti la stampa su disco dei testi, vengono prodotti i seguenti files:

ERROR.TXT	contiene l'elenco dei messaggi di errore riscontrati
ESAP####.DAT	relazione dei dati
ESAP####.DEF	relazione relativa all'analisi di deformabilità, se effettuata
ESAP####.CAL	relazione relativa al calcolo della struttura, se effettuato
ESAP####.SOL	contiene le caratteristiche geometriche e le sollecitazioni
ESAP-PRO.REL	contenuto del sagomario

Si precisa che il file **ERROR.TXT** contiene l'elenco dei messaggi di errore riscontrati nel corso dell'elaborazione sia del package "ESAP" che del "B.A.C."

I files **ERROR.TXT** e **ESAP####.SOL** sono allocati nella SUBDIR dei dati, mentre gli altri in quella selezionata per le relazioni.

Non appena appare il menù (di uno dei due programmi) **per una sola volta** viene mostrato l'avvertimento di riscontro di errori e l'invito a visionare la lista estesa, contenuta appunto nel file **ERROR.TXT**. La consultazione del file può essere effettuata nel programma di *gestione delle relazioni* del package "**ESAP**", preposto appunto alla visione dei files di testo (viewer). Il file in questione può essere liberamente cancellato (comando **DEL** da **DOS**), dopo l'avvenuta consultazione. Il programma infatti provvede autonomamente a produrlo ogniqualvolta occorra.

A3.2. Files contenenti i diagrammi prodotti dal package "ESAP".

Errore. Il segnalibro non è definito. Nel caso in cui si adotti il plottaggio dei diagrammi su file, vengono prodotti i seguenti files, che sono allocati nella SUBDIR dedicata alle relazioni:

ESAP####.SCH	file di plottaggio dello schema statico del telaio
E####DMA.tra	plottaggio involuppo del momento della travata n. tra
E####DTA.tra	plottaggio involuppo del taglio della travata n. tra
E####DMG.con	diagramma del momento globale condizione di carico n. con
E####DTG.con	diagramma del taglio globale condizione di carico n. con
E####DEF.con	deformata della struttura nella condizione di carico n. con

A4.1. Files prodotti dal package "B.A.C." nel corso dell'elaborazione.

Errore. Il segnalibro non è definito. Nel caso in cui si adotti la stampa su disco dei testi, vengono prodotti i seguenti files, che vengono allocati nella SUBDIRECTORY dedicata alle relazioni:

NomeBac.RIP	relazione di calcolo della ripartizione delle azioni orizzontali
NomeBac.VER	verifica dei pilastri in C.A. a presso-tensoflessione
NomeBac.SOL	relazione delle sollecitazioni dei pilastri
NomeBac.FON	relazione degli scarichi dei pilastri in fondazione
NomeBac.ARM	tabella di riepilogo delle armature dei pilastri
NomeBac.ASS	relazione dell'assemblaggio dei pilastri
NomeBac.RFS	relazione di calcolo delle forze sismiche (programma "PESI")
PESI####.REL	relazione di calcolo dei pesi sismici (programma "PESI")

avendo indicato con **NomeBac** il nome assegnato alla struttura spaziale nel package "B.A.C."

I files **PESI####.REL**, aventi funzione di servizio, non vengono visualizzati e stampati dalla procedura, ma possono essere consultati e modificati con un qualunque text editor.

A differenza dell' "ESAP" il package "B.A.C." non effettua il plottaggio su file, ma ricostruisce i disegni in interattivo. Allo scopo di minimizzare i tempi, i parametri di scalatura vengono allocati nel file **NomeBac.SSS**, posto nella SUBDIR dedicata ai dati.

A5. Sagomario (#).

Errore. Il segnalibro non è definito.

Il numero dei profili presenti nel sagomario è stato portato a 450 e l'elenco completo può essere stampato nel modulo **utility di sistema**.

In fase di correzione delle aste, oltre al codice selezionato, vengono anche descritte per esteso le caratteristiche geometriche del profilo ed è possibile accedere direttamente alla gestione del sagomario per effettuarvi eventuali modifiche.

Se nella scelta della configurazione di lavoro è stata indirizzata la stampa verso il disco, la distinta dei profili presenti costituisce il file **ESAP-PRO.REL**; esso è visibile o stampabile, successivamente all'elaborazione, con un comune word-processing o avvalendosi della *routine di gestione relazioni* del package "ESAP".

Il file contenente i dati dei profili (**ESAP.PRO**) **deve essere presente** nella sub directory dati all'avviamento del calcolo insieme ai files **ESAP.COL** (contenente la tavolozza colori da impiegare nella gestione grafici), **ESAP.PAR** (parametri di progetto) e **ESAP.OPZ (opzioni di calcolo)**, come espresso nel paragrafo *installazione*.

Nell'attivare una nuova SUBDIRECTORY dati è quindi opportuno copiare dal dischetto contenente i files dati di esempio o dall'ultima directory dati utilizzata, i suddetti files (basta richiedere da **DOS** la copia dei files **ESAP.***)

A6. Scelta della configurazione di lavoro (#).

Errore. Il segnalibro non è definito.

La routine è accessibile da un menu' che consente di passare direttamente al package "ESAP" oppure al "BAC".

A7. Descrizione di alcuni files.

Nella sub directory dei programmi **ESAP3EXE**, oltre ai programmi (*.EXE) sono forniti i seguenti files:

ESAP.SIS, contenente le informazioni in ordine alla configurazione di lavoro scelta;

ESAP.REV, indicante notizie in merito alla revisione del programma;

ESAP.COD, che rappresenta una raccolta dei codici di controllo della stampante analogo a GRID.COD, cui si rimanda per la puntuale descrizione.

- **ESAP.COL** rappresenta la *tavolozza dei colori* per la rappresentazione dei grafici nell'ambito della procedura di *gestione dei grafici* del modulo *utility di sistema*; i dati contenuti sono i nove numeri interi:

14, 13, 10, 11, 15, 9, 6

12, 14

I primi sette costituiscono i colori impiegati per diagrammare le rispettive sette condizioni di carico, l'ottavo il colore dello schema statico, dei vincoli e delle etichette, il nono il colore (unico) delle ordinate dei diagrammi, nel caso in cui si desideri non differenziare i colori al variare delle condizioni di carico.

Tali dati sono modificabili con un qualunque text editor (lavorando in modo *non testo*, cioè in codice ASCII). Per il significato dei numeri si rimanda al manuale del package "GRID".

Indice

1. Generalità.....	1
1.1. Note per gli Utenti del package S.A.P.....	3
1.2. Principali variazioni rispetto al package S.A.P.....	4
2. Metodo di calcolo.....	6
2.1. Risoluzione del sistema di equazioni (#).....	7
2.3. Routine di ricerca della migliore numerazione dei nodi (#).....	8
3. Sistema di riferimento e convenzioni.....	10
3.1. Elementi pannello (#).....	10
4. Azioni sulle strutture (#).....	11
4.1.1. Azioni nodali permanenti.....	12
4.1.2. Azioni nodali orizzontali.....	12
4.2. Azioni distribuite sugli elementi.....	12
4.2.1.1. Elementi asta : azioni distribuite normali (qn).....	12
4.2.1.2. Elementi asta : azioni distribuite tangenziali (qt).....	13
4.2.2.1. Elemento pannello : azioni distribuite normali (qx).....	13
4.2.2.2. Elemento pannello : azioni distribuite tangenziali (qy).....	13
5. Gli attributi dei nodi: codice di pilastro, d'impalcato, <i>master</i> (#).....	14
5.1. L'indefornabilità assiale : l'operatore <i>master-slave</i> (#).....	14
5.1.1. Uso dell'operatore <i>master-slave</i> (#).....	15
5.2. Simulazione dell'indefornabilità assiale (#).....	16
6. Descrizione dei dati richiesti.....	17
6.1. Caratteristiche generali della struttura (#).....	17
6.2. Dati relativi ai nodi.....	18
6.2.1. Coordinate dei nodi, tipologia dei vincoli, codici di pilastro e d'impalcato (#).....	18
6.2.1.2. Grafica dei vincoli.....	20
6.2.1.3. Simulazione di particolari vincoli (#).....	20
6.3.1. Azioni nodali.....	20
6.3.2. Azioni nodali orizzontali (#).....	21
6.3.2.1. Azioni nodali orizzontali d'impalcato relative alla prima distribuzione base di carico [significato] (#).....	21
6.4. Sagomario.....	22
6.4.1. Caratteristiche dei profili (#).....	22
6.4.2. Caratteristiche dei materiali (#).....	23
6.4.3. Gestione del Sagomario (#).....	23
6.5. Caratteristiche degli elementi.....	23
6.5.1. Caratteristiche delle aste.....	23
6.5.1.1. Nodi estremi.....	23
6.5.1.2. Codice di profilo.....	23
6.5.1.3. Codice di elemento (#).....	23
6.5.1.3.1. Biblioteca degli elementi asta (#).....	24
6.5.1.3.2. Eliminazione della deformazione da taglio (#).....	26
6.5.1.4. Carichi distribuiti normali (qn) e tangenziali (qt) (#).....	26
6.5.2. Caratteristiche dei pannelli (#).....	26
6.5.2.1. Modellazione del pannello (#).....	27
6.5.2.2. Caratteristiche del pannello (#).....	27
6.5.2.3. Uso dell'elemento pannello (#).....	27
7. Elaborazione (#).....	28
7.1. Analisi della deformabilità (#).....	29
7.1.1. Calcolo della matrice traslante di comportamento (#).....	29
7.1.2. Calcolo del <i>vettore laterale</i> (#).....	30
7.2. Calcolo della struttura.....	31

7.2.1. Caratteristiche cinematiche (#).....	31
7.2.2. Caratteristiche della sollecitazione.....	31
7.2.2.1. Elementi asta (#).....	32
7.2.2.2. Elementi pannello (#).....	32
7.2.3. Reazioni vincolari.....	33
7.2.4. Unità di misura.....	33
8. Opzioni di elaborazione (#).....	33
8.1. Tabulato di verifica: modo stampa (echo on) (#).....	33
8.2. Tabulato di calcolo (#).....	34
8.3. Opzioni disponibili (#).....	34
8.4. Opzioni disponibili (#).....	35
8.4.1. Opzioni interne (#).....	35
8.4.2. Opzioni <i>standard</i> (#).....	36
8.5. Opzioni di stampa (#).....	37
9. Semiprogetto delle minime armature per gli elementi.....	38
9.1. Semiprogetto delle minime armature per le aste trave (#).....	38
9.2. Semiprogetto delle minime armature per gli elementi pilastri e/o pannelli (#).....	39
10. Utilizzazione della procedura (#).....	40
10.1. Menù generale.....	40
10.2. Routine di correzione.....	41
11. Garanzia.....	41
12. Assistenza.....	41
13. Responsabilità.....	41
A1. Nuove funzionalità del modulo.....	42
A1.2. Nota per gli Utenti del package "ESAP" rev. 2.0.....	43
A2. Archiviazione delle sollecitazioni (#).....	44
A3. Descrizione dei files prodotti nel corso dell'elaborazione.....	46
A3.1. Files contenenti i testi prodotti dal package "ESAP".....	46
A4.1. Files prodotti dal package "B.A.C." nel corso dell'elaborazione.....	47
A5. Sagomario (#).....	48
A6. Scelta della configurazione di lavoro (#).....	48
A7. Descrizione di alcuni files.....	48