

package "B.A.C." Building Analysis Code / "ESAP"

ing. Alberto Cucinella
Via Aniello Falcone 386 Napoli 80127
081 646025 – 333 7821511 - 366 1952898

Sommario: nella presente nota viene illustrata una procedura di calcolo strutturale, su personal computer, concepita per l'analisi statica agli elementi finiti in ambiente civile, che può essere impiegata tanto per lo studio di strutture ad impalcato rigido (edifici), che per quello di opere del tutto generali per geometria, modellazione e materiali. La procedura, pur costituendo un sofisticato mezzo di ricerca in ambiente strutturale civile, consente una rapida e spedita applicazione in campo professionale.

1. Generalità.

Il sistema di calcolo è costituito da un insieme di procedure modulari fra loro interagenti:

- il package "E.S.A.P" rappresenta il modulo di calcolo di **sottostrutture piane** agli elementi finiti; esso può essere impiegato sia isolatamente che per schematizzare *controventi* facenti parte di strutture *spaziali ad impalcato rigido*;

- il package "B.A.C." consente l'assemblaggio delle singole *sottostrutture* per comporre sistemi spaziali ad impalcato rigido, comunque configurati.

L'associazione dei moduli citati consente, come nel seguito descritto, il calcolo di un vasto *spettro* di strutture in campo civile, riconducibili a schemi piani o a *sottostrutture* facenti parte di membrature spaziali ad **impalcato rigido**.

1.2. Il modulo "B.A.C."

Il package "B.A.C." (Building Analysis Code) per personal computer è un *sistema integrato* di procedure per l'analisi di strutture spaziali multipiano ad impalcato rigido, operante con il metodo delle *sottostrutture*.

La metodologia adottata [1]/[8],[12] consiste nell'individuazione di un sistema di **controventi unidirezionali e torsionali** nell'ambito della membratura spaziale, nell'analisi delle loro caratteristiche di comportamento (in termini di *matrici deformabilità* e/o di *rigidezza*), quindi nell'*assemblaggio* del sistema spaziale e nella costruzione della *matrice di rigidezza rototraslante*, determinando le azioni competenti a ciascuna *sottostruttura* (*ripartizione delle azioni orizzontali al livello d'impalcato*).

Note queste ultime, è possibile *enucleare* il *controvento* dal contesto spaziale, calcolandone le sollecitazioni per le azioni ad esso competenti sullo schema *piano*.

Sinteticamente la metodologia può essere riassunta nelle seguenti fasi, ciascuna svolta da un *modulo* della procedura:

- Analisi delle caratteristiche di comportamento delle singole *sottostrutture* (matrici di *deformabilità* e *rigidezza*) [package "E.S.A.P."];
- Calcolo delle forze orizzontali sismiche [package "B.A.C." modulo "PESI"];

- Ripartizione delle azioni orizzontali al livello d'impalcato [package "B.A.C." *main program*];
- Calcolo dei singoli controventi sullo schema piano [package "E.S.A.P."].

Pertanto il modulo ESAP viene impiegato preliminarmente per determinare la *matrice di deformabilità traslante del telaio* (eseguendo l'*analisi di deformabilità* della sottostruttura); eseguita la *ripartizione delle forze sismiche* (col modulo BAC), di nuovo col package ESAP viene effettuato il calcolo del telaio (eseguendo il calcolo delle sollecitazioni e delle armature), per carichi verticali e le azioni orizzontali, provenienti dalla ripartizione delle forze sismiche.

Il *comportamento* delle *sottostrutture* facenti parte del complesso spaziale può essere ricondotto alle seguenti due tipologie:

- **Traslazionale unidirezionale**, che rappresenta un vincolo alla **traslazione**, nel piano di azione del *controvento*, per gli impalcati collegati;
- **Torsionale**, che rappresenta un vincolo alla **rotazione** per gli impalcati collegati.

Il package pertanto consente di descrivere in modo approfondito, per geometria e carichi, le caratteristiche della struttura, potendo tener conto di tetti, travi rampanti (a *ginocchio*), di *pannelli*, di pareti (piene o forate), d'impalcato *sfalsati* (cioè non collegati a *tutti i controventi*), dell'interazione (*suolo struttura*) con la fondazione (diretta o indiretta). Tale estrema flessibilità deriva dall'adozione del modulo package "E.S.A.P." [1] per la descrizione e l'analisi delle singole *sottostrutture*.

Sotto il profilo operativo, la gestione del *singolo controvento* costituente la struttura spaziale viene effettuata (a livello di input, di *analisi di deformabilità* ed infine di calcolo) dal modulo package "E.S.A.P.", potendo quindi godere di tutte le possibilità al livello di modellazione che tale procedura offre.

Il package "B.A.C." funge da *shell* (guscio), coordinando la gestione della struttura nel suo complesso, ed effettua la *ripartizione delle azioni orizzontali* fra i *controventi* (nell'ipotesi di rotazione degli impalcato libera ed impedita), determinando anche i *centri di taglio* al livello d'impalcato ("*baricentri delle rigidzze*" [9]).

Grazie all'impostazione descritta, è pertanto possibile utilizzare il modulo package "E.S.A.P." tanto per *modellare* i controventi nell'ambito di una struttura spaziale ad impalcato rigido, che per il calcolo di strutture *isolate*, senza porre alcuna limitazione alla flessibilità della procedura.

Il package è inoltre corredato da routine grafiche estremamente utili alla descrizione della geometria della struttura (come per altro richiesto dalla vigente normativa tecnica [10]/[11]), che effettuano il disegno degli schemi statici delle sottostrutture (evidenziando simbolicamente i vincoli applicati), della pianta schematica degli impalcato (con indicazione dei controventi su essi incidenti), delle assonometrie schematiche della struttura spaziale.

Gli archivi gestiti dalla procedura sono inoltre strutturati in modo da consentire la realizzazione e l'adozione di *pre-processor* e *post-processor*, anche *esterni* al package, per lo studio di particolari applicazioni.

1.2. Il modulo "E.S.A.P."

Il package "E.S.A.P." (Extended Static Analysis Program), per personal computer, è un programma agli "elementi finiti" finalizzato al calcolo statico di strutture piane 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).

Le eventuali sconnessioni possono essere **totali** (nodo *cerniera*) o **parziali** (nodi *parzialmente solidali*) cioè tali da consentire una solidarietà flessionale da parte solo di *alcune* aste convergenti nel nodo.

Biblioteca di *TIPI* di elementi monodimensionali (*aste*) e relativi carichi distribuiti applicabili (vedi **Fig.1**):

- 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*;
- aste con sconnessioni ad *un solo estremo*.

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

- asta "*trave*";
- asta "*pilastrino*".

In particolare, le aste a *conci rigidi* ed *eccentrici*, consentono di tener conto di nodi di dimensioni *finite* e quindi dell'effettiva zona deformabile della membratura, nonché della eventuale variazione della linea d'asse geometrica degli elementi concorrenti nel nodo (*per esempio riseghe* dei pilastri, più pilastri che nascono da una parete, etc.). Le aste *alla Winkler* consentono di schematizzare l'effetto d'interazione fra terreno e struttura tanto per fondazioni dirette (tombini, scatolari, sezioni di gallerie), che indirette, *modellando* la presenza di pali (di fondazione o di paratia), tenendo anche conto della variabilità delle caratteristiche di resistenza dei terreni interessati (coefficienti di rigidezza orizzontali).

L' elemento *pannello* [7],[12] costituisce un elemento bidimensionale rettangolare, avente i lembi orizzontali indeformabili estensionalmente (lati a contatto con l'impalcato) e deformabile lungo l'asse verticale a flessione, taglio e sforzo normale [**Fig.1**].

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

Il programma consente di definire alcuni legami funzionali fra gli spostamenti di taluni nodi (opzione *master-slave*), atti a schematizzare l'effetto d'indeformabilità dell'impalcato nel proprio piano.

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 la procedura "**B.A.C.**" (**B**uilding **A**nalysis **C**ode).

- Effettuare il **calcolo della struttura** per 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**), attraverso *comandi* impartiti da tastiera, visualizzando graficamente l'effetto prodotto;
- **Modificare** lo schema statico precedentemente definito, inserendo o eliminando nodi, aste o pannelli;
- **Renumerare** i nodi in modo da ottenere la matrice di rigidezza di minore occupazione di memoria, attraverso un algoritmo che consente una globale economia fra tempi di *renumerazione* e *soluzione* del sistema di equazioni [**15**];
- **Risolvere** il sistema di equazioni attraverso tecniche per matrici simmetriche a banda variabile [**14**];
- **Effettuare** una diagnostica (*auto check*) dei dati introdotti, evidenziando gli eventuali errori *formali*;
- **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 (F_x) agenti al livello d'impalcato e schematizzanti le azioni orizzontali indotte dal sisma (traslante e torsionale). Ovviamente attraverso tali distribuzioni di azioni d'impalcato é 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*" (sezioni rettangolari e/o a T, secondo il metodo delle tensioni ammissibili);
- **Progetto** delle minime armature a presso-tensoflessione per gli elementi di sottotipo "*pilastr*" e per i "*pannelli*" (sezioni rettangolari, a T o circolari, secondo il metodo delle tensioni ammissibili);
- **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 "*pilastr*" 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, potendo 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 *parzialmente* solidali), 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.

2. Package "**B.A.C.**": cenni sommari alla metodologia di calcolo.

2.1. Ipotesi adottate.

Il package "**B.A.C.**" (*main program*) provvede all'*assemblaggio* di tutte le *sottostrutture* componenti la membratura spaziale e alla costruzione in forma automatica della *matrice di rigidità rototraslante*.

I *controventi* costituenti la struttura possono distinguersi in due categorie:

- **Traslazionali unidirezionali**, che rappresentano un vincolo alla **traslazione**, nel proprio piano di azione, per gli impalcati collegati; a questa categoria appartengono le strutture analizzabili

package "ESAP" - "B.A.C.": nota illustrativa

con il modulo "E.S.A.P.";

- **Torsionali**, che rappresentano un vincolo alla **rotazione** per gli impalcati collegati.

Le **ipotesi** adottate [4]/[8],[12] sono le seguenti:

- **Infinita rigidezza dell'impalcato nel proprio piano** nei confronti dei *controventi* su esso incidenti; trattandosi di *moto rigido* sono sufficienti *tre gradi di libertà* (due traslazioni ed una rotazione) per descrivere in modo univoco la configurazione deformata;

- che l'**impalcato si comporti come un diaframma nei confronti degli elementi su esso incidenti**: viene cioè trascurata l'interazione flessione-torsionale che i *controventi* esercitano mutuamente.

2.2. Metodo di calcolo.

Il metodo di calcolo è quello dell'*Analisi agli elementi finiti*. Secondo la metodologia ampiamente illustrata in [5]/[8], il problema viene ricondotto alla scrittura, in forma automatica, di un sistema di equazioni in $3 \cdot p$ incognite, essendo p il numero d'impalcati indipendenti costituenti la struttura spaziale.

Tale sistema di equazioni esprime le condizioni di equilibrio degli impalcati:

1) **equilibrio alla traslazione** in direzione **X**;

2) **equilibrio alla traslazione** in direzione **Y**;

3) **equilibrio alla rotazione** intorno ad una retta parallela all'asse **Z** e passante per il punto di applicazione della forza orizzontale *ondulatoria* d'impalcato (*baricentro delle masse* in caso di azione sismica).

Numerati gli impalcati dal basso verso l'alto, le incognite sono rappresentate dal vettore degli spostamenti generalizzati $\{ \underline{s} \}$ (di componenti $sX_1, sX_2, \dots, sX_p, sY_1, sY_2, \dots, sY_p, \dot{Y}Z_1, \dot{Y}Z_2, \dots, \dot{Y}Z_p$) e il sistema di equazioni può essere sinteticamente espresso con la notazione matriciale:

$$\{ \underline{F} \} = [\underline{K}] * \{ \underline{s} \}$$

avendo indicato con $\{ \underline{F} \}$ il vettore termine noto (di componenti $FX_1, FX_2, \dots, FX_p, FY_1, FY_2, \dots, FY_p, MZ_1, MZ_2, \dots, MZ_p$) rappresentante il sistema di carichi applicati ai p impalcati (forze FX_i, FY_i e coppie MZ_i); $[\underline{K}]$ è la matrice **di rigidezza rototraslante** della membratura spaziale rispetto alle azioni orizzontali, costruito *in forma automatica* mediante l'*assemblaggio* delle matrici di rigidezza dei singoli elementi irrigidenti, tenendo conto della posizione dei medesimi.

Noti gli spostamenti degli impalcati, vengono determinati gli spostamenti *generalizzati* $\{ \underline{s}_{loc} \}$ dei singoli *controventi* e le relative azioni competenti $\{ \underline{F}_{loc} \}$, attraverso la relazione:

$$\{ \underline{F}_{loc} \} = [\underline{K}_{loc}] * \{ \underline{s}_{loc} \}$$

avendo indicato con $[\underline{K}_{loc}]$ la matrice di *rigidità (traslante o torsionale)*, in base alla natura del *controvento*).

Note tali distribuzioni di azioni, il singolo elemento viene *enucleato* dal contesto spaziale ed ad esse sottoposto, ottenendo così sullo *schema piano* la soluzione corretta del problema sia in ter-

mini di sollecitazioni che di deformazioni.

Nella scrittura delle equazioni di equilibrio degli impalcati viene considerato anche l'effetto delle azioni *permanenti*: ciascun controvento infatti, se considerato *isolato*, tenderebbe ad assumere una deformata indipendente dalla compagine imposta dalla presenza dei diaframmi. L'operatore di *congruenza* tende a ripristinare il moto rigido.

A tale scopo in programma (**E.S.A.P.** nella fase di *analisi della deformabilità*), oltre alla matrice di comportamento **[K]**, provvede a determinare il sistema di azioni di piano che il *controvento*, impedito di spostarsi, determinerebbe sugli impalcati (**vettore di azioni laterali**). In fase di assemblaggio tali azioni vengono composte vettorialmente, impalcato per impalcato, e ripartite fra tutte le sottostrutture.

Il programma effettua inoltre la *ripartizione delle azioni orizzontali* anche nell'ipotesi di *rotazione impedita degli impalcati*; ciò ad un duplice scopo:

- facilitare l'interpretazione dei risultati della *ripartizione*, eliminando gli effetti torsionali ed evidenziando esclusivamente i rapporti fra le rigidità,
- effettuare un'azione *diagnostica* sul comportamento della struttura per le azioni laterali, per l'*ottimizzazione* della distribuzione in pianta dei *controventi*. Infatti la presenza di effetti *torsionali* determina spostamenti e forze aggiuntive sugli irrigidimenti che si sommano *algebricamente* a quelle indotte dalla traslazione.

Eliminare (o almeno *limitare*) tale effetto può determinare un miglioramento nel *comportamento* della struttura per effetto delle azioni orizzontali.

Metodologicamente il procedimento consiste nella scrittura delle equazioni di equilibrio alla sola traslazione degli impalcati, analoga a quella precedentemente illustrata.

Le azioni competenti a ciascuna *sottostruttura* { **F_{loc}** } valgono ovviamente solo nella condizione di assenza di rotazione degli impalcati; esse vengono utilizzate anche per determinare le coordinate dei **centri di taglio degli impalcati** (impropriamente definiti *baricentri delle rigidità*). Infatti note le forze { **F_{loc}** }, è possibile determinare il punto di applicazione della loro risultante, cioè del sistema di forze orizzontali che applicate agli impalcati determina traslazioni ma non rotazioni dei medesimi. Tali coordinate costituiscono uno strumento *duale* del precedente per poter compiere un'azione *diagnostica* sul comportamento *torsionale* della struttura: ove esse coincidessero con quelle dei punti di applicazione delle azioni orizzontali, gli impalcati subirebbero solo traslazioni e non rotazioni.

La metodologia proposta consente inoltre lo studio di strutture ad *impalcati sfalsati* cioè nelle quali i *controventi* con *incidono* su impalcati consecutivi (per esempio sono collegati agli impalcati n. 1, 3 e 5 e non al n. 2 e 4). A tale scopo viene determinata la matrice di comportamento **[K]** della sottostruttura sia *propria* (cioè riferita ai gradi di libertà *nel riferimento locale*) che *espansa* (riferita alla numerazione dei gradi di libertà *nel riferimento generale della struttura*).

Per ulteriori approfondimenti sulle metodologie sopra espresse in estrema sintesi, si rimanda a [1]/[3],[12].

3. Caratteristiche software-hardware delle procedure.

Le procedure presentate sono state realizzate su *personal computer* HP 86, e richiedono quindi capacità di memoria (centrale e di massa) estremamente esigue; sono disponibili in versione **MS DOS** (2.1 o successive) in presenza di almeno 640 Kbyte RAM, un floppy (minimo da 720

Kbyte), scheda grafica CGA o superiore; non è necessario coprocessore matematico, né particolari microprocessori.

Il tipo di analisi effettuata è la statica equivalente [9]; per le strutture spaziali ad impalcati rigidi (anche *sfalsati*) il metodo assunto è quello delle *sottostrutture*.

Non vi è limite (se non quello della memoria di massa disponibile dall'Utente) al numero dei *controventi* facenti parte della struttura spaziale (un telaio di medie dimensioni occupa circa 500 bytes su disco); ciascuna sottostruttura, nella versione base, può essere costituita da massimo 150 nodi e 250 elementi.

Il programma non prevede interfacciamento con procedure di CAD specifiche, ma genera files che ne consentono tale collegamento da parte dell'Utente.

L'input può avvenire da tastiera sia in forma numerica che per comandi, in forma grafica interattiva (**Auto Mesh Generator**); viene effettuata un'auto *diagnosi* (*auto check*) sugli errori *formali* d'impostazione eventualmente commessi.

Gli algoritmi impiegati sono *originali* cioè messi a punto dall'autore della presente nota.

L'output avviene su una comune stampante alfanumerica con possibilità di *hardcopy* dei grafici visualizzati.

4. Esempi ed applicazioni.

Le procedure consentono all'Utente di *modellare* liberamente la struttura secondo le ipotesi più opportune, consentendo così una piena coincidenza fra *modelli fisici e numerici*.

L'associazione degli elementi finiti disponibili nella biblioteca consente una enorme varietà di applicazioni; nel seguito ne vengono proposte alcune, corredandole con i grafici prodotti dal programma su stampante.

Fig.2: tombino scatolare _ Si tratta di un'applicazione dell'interazione fra suolo e struttura; in particolare il traverso inferiore (fondazione diretta) è stato modellato con un *letto di molle alla Winkler* e su quello superiore si è applicato un carico uniforme, variabile a tratti.

Fig.3: portale in acciaio su monopalo in cls _ Ancora un'applicazione dell'interazione fra suolo e struttura: in questo caso si tratta di una fondazione indiretta in terreni incoerenti, quindi caratterizzati da *coefficienti di rigidità orizzontali* variabili con la profondità (vedi schema statico); gli estradossi dei *dadi* di fondazione non sono fra loro collegati.

Fig.4: Telaio su parete con tetto e trave a ginocchio _ Si tratta di una sottostruttura facente parte di un edificio, costituita da una parete sulla quale sono attestati tre pilastri: è stata *modellata* tanto con l'elemento *pannello* che a *conci eccentrici*, descrivendo cioè il *disassamento* fra l'asse della parete e quelle dei ritti soprastanti.

Fig.5: Edificio ad impalcati sfalsati _ Gli impalcati dell'edificio in questione, a causa di arretramenti in pianta, non sono collegati a tutti i *controventi*; questi ultimi pertanto *incidono* su diaframmi numerati non consecutivamente (*sfalsati*).

Vengono riportate alcune viste assonometriche, piante schematiche della distribuzione dei controventi e una deformata elastica ed il diagramma dei momenti di una sottostruttura.

Fig.6: Capannone in acciaio _ La copertura, a nodi parzialmente solidali, si innesta al lembo interno delle colonne calastrellate e quindi vi è una non coincidenza fra la linea d'asse del ritto e l'attacco della capriata: tale zona *indeformabile* di connessione è stata *modellata* adottando

per la colonna un'asta a *conci eccentrici*. Vengono riportate le deformate elastiche relative alla condizione di cedimento orizzontale al piede (L/1000 [9]), imposto per la mancanza del collegamento in fondazione, e di effetto del vento.

Bibliografia.

- [1] **Package "E.S.A.P."** Manuale Utente
Alberto Cucinella

- [2] **PAS (Procedure di Analisi Strutturale)** Manuale Utente
Alberto Cucinella

- [3] **L'analisi agli Elementi Finiti (FEA) nell'ingegneria civile e problemi connessi alla modellazione strutturale**
Alberto Cucinella
Ingegneria con il computer (1987 n.7/8 pagg.10/19)
Edizioni di Scienza e Tecnica (Milano)

- [4] **Edifici soggetti a forze orizzontali: calcolo automatico**
Michele Capurso
Edizioni Cremonese

- [5] **Appunti delle lezioni di dinamica delle strutture ed Ingegneria Sismica**
Roberto Ramasco

- [6] **Elementi di costruzioni antisismiche**
Mario Como - Giorgio Lanni
Edizioni Cremonese

- [7] **T.A.B.S.77: Three dimensional Analysis of Building Systems**
E.L. Wilson - A. Habiballah
EERC report nr 72/8

- [8] **La progettazione delle strutture in cemento armato in zona sismica**
Roberto Ramasco
C.I.S.M. Udine

- [9] **D.M. Ministero Lavori Pubblici 24.01.1986: Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche.**

- [10] **Legge Regione Campania 07.01.1983 N.9: Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico.**

- [11] **Norme C.N.R. 10024/86: Analisi di strutture mediante elaboratore - impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.**

- [12] **Package "B.A.C.": Building Analysis Code** Manuale Utente
Alberto Cucinella

[13] **Introduzione al calcolo automatico delle strutture**

Michele Capurso

Edizioni Cremonese

[14] **Numerical Methods in Finite Element Analysis**

K.J. Bathe - E.L. Wilson

Edizioni Prentice Hall

[15] **An effective Bandwith reduction algorithm for micro-computers [Engineering Software for Microcomputers]**

A. Recuero - J.P. Gutierrez (Instituto Torroja - Madrid)

Pineridge Press (Swansee, UK)