

## ANALISI STRUTTURALE DI UN COMPONENTE IN COMPOSITO TERMOPLASTICO LASTRO STAMPATO VETRO RINFORZATO

Roberto BELLAVIA (°) , Marco De ANGELIS (^), Mario MARCHETTI (°)

(°) Dipartimento Aerospaziale - Università "La Sapienza" - Roma

(^) ELASIS - Pomigliano d'Arco (Na)

### SOMMARIO

La ricerca della Qualità Totale ha portato all'incontro delle tecnologie di produzione e progettazione proprie del settore aeronautico con quelle della sperimentazione automobilistica.

L'utilizzo di modelli matematici di previsione permette la progettazione virtuale sia del componente che del materiale utilizzato, razionalizzando la progettazione e migliorando la produzione.

Obiettivo di questo studio è stata la progettazione in materiale composito termoplastico di una preesistente traversa portafari in acciaio, sopperendo alle differenti caratteristiche di rigidità con una buona modellazione strutturale. Il materiale composito utilizzato è a matrice polipropilene e fibra di vetro aumentando così la percentuale di parti dell'autoveicolo che possono essere riciclate a fine vita operativa.

Progettare con materiali compositi fibrosi a matrice polimerica significa modificare la metodologia di progettazione che finora si è seguita nella tradizionale progettazione con materiali metallici. Il materiale diventa così uno strumento per il raggiungimento delle specifiche di progetto e quindi parte attiva della progettazione.

In questo studio particolare attenzione si è prestata alla determinazione delle caratteristiche del materiale, alla soluzione della problematica della prova di chiusura cofano e alla presenza di vibrazioni indotte dal motore sul componente.

### METODOLOGIE E MODELLO NUMERICO

Per la progettazione è stata utilizzata una metodologia CAE, fig. 1, che permette un'anticipazione numerica approssimata del comportamento della struttura. L'analisi è stata effettuata a partire da un modello CAD predefinito che utilizza una struttura aperta a C in sostituzione dell'attuale scatolato conservando tutti i vincoli strutturali della traversa in acciaio.

Data la necessità d'inserire la nuova struttura in una progettazione preesistente non si ha la possibilità di operare modifiche strutturali al contorno ed esistono dei vincoli inamovibili, perciò si è effettuata una divisione dei vincoli in principali e secondari.

Il modello FEM, fig. 2, è stato costruito con elementi shell delineando solo i vincoli principali e rappresenta un modello di sintesi, utile per effettuare le prime prove numeriche sulla struttura. Particolare attenzione si è prestata alla costruzione del modello verificando tutti i valori di riferimento, fissati dalla esperienza di progettazione Sistemi Elasis, prescritti dal check element.

## SCELTA E CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE

I materiali compositi termoindurenti hanno finora avuto un largo impiego in tutti i settori avendo delle migliori caratteristiche meccaniche ma non possono garantire un'alta produttività giornaliera. Ultimamente sul mercato sono presenti dei materiali compositi termoindurenti con migliorate caratteristiche meccaniche soddisfacenti le meno critiche esigenze di progettazione. Tra quelli forniti dalla G.E.Plastic, vedi fig. 3, ( AZMET, AZLOY, AZDEL e VALOX ) è stato effettuato un confronto delle caratteristiche meccaniche ed è stato scelto per questa progettazione l'AZDEL. Dell'AZDEL esistono varie composizioni quella più idonea alla progettazione in esame è la forma PD1 1380 una soluzione avanzata del PM 10400. Non essendo disponibili dati particolareggiati sulle caratteristiche del PD1 1380 ci si è basati sui dati del PM 10400 utilizzandoli come valori di minimo per la progettazione. Particolare attenzione è stata posta su tutti i dati necessari a caratterizzare la risposta del materiale all'environment operativo, alle limitazioni dovute alle caratteristiche termoplastiche del composito, al suo processo di stampaggio, alle caratteristiche di assemblaggio e manifattura.

Si è resa necessaria una prova di trazione per la determinazione delle caratteristiche meccaniche del materiale composito PD1 1380 .

La prova è stata effettuata utilizzando la macchina Schenk-M100. In queste prove il controllo di velocità della rampa è stato fatto sulla forza. La velocità di caricamento, uguale per tutte le prove, è stata fissata a 1Kg/s. Il materiale preso in esame è l'AZDEL nelle due forme:

- 1) PH 10420 M - composito a matrice polipropilene rinforzato al 42% da fibre di vetro lunghe unidirezionali;
- 2) PD1 1380 - composito a matrice polipropilene caricato al 40% da fibre di vetro lunghe random.

Il materiale è stato fornito sotto forma di lastre delle dimensioni 25.5 cm di lunghezza, 17.5 cm di larghezza e 4 mm di spessore ed è stato tagliato in provini delle dimensioni di 20 cm di lunghezza, 2.5 cm di larghezza e 4 mm di spessore.

I risultati ottenuti mostrano una accentuata ortotropia del materiale che deriva dalla necessità di produrre le lastre per estrusione. Tale metodologia di produzione causa quindi l'orientamento delle fibre lunghe random rinforzando le caratteristiche meccaniche del materiale nella direzione di estrusione e abbassandole nella direzione trasversa.

In tabella 1 sono mostrati i dati forniti dalla G.E.Plastic sulle caratteristiche del materiale considerato quasi isotropo e quelli ottenuti dalle prove sperimentali.

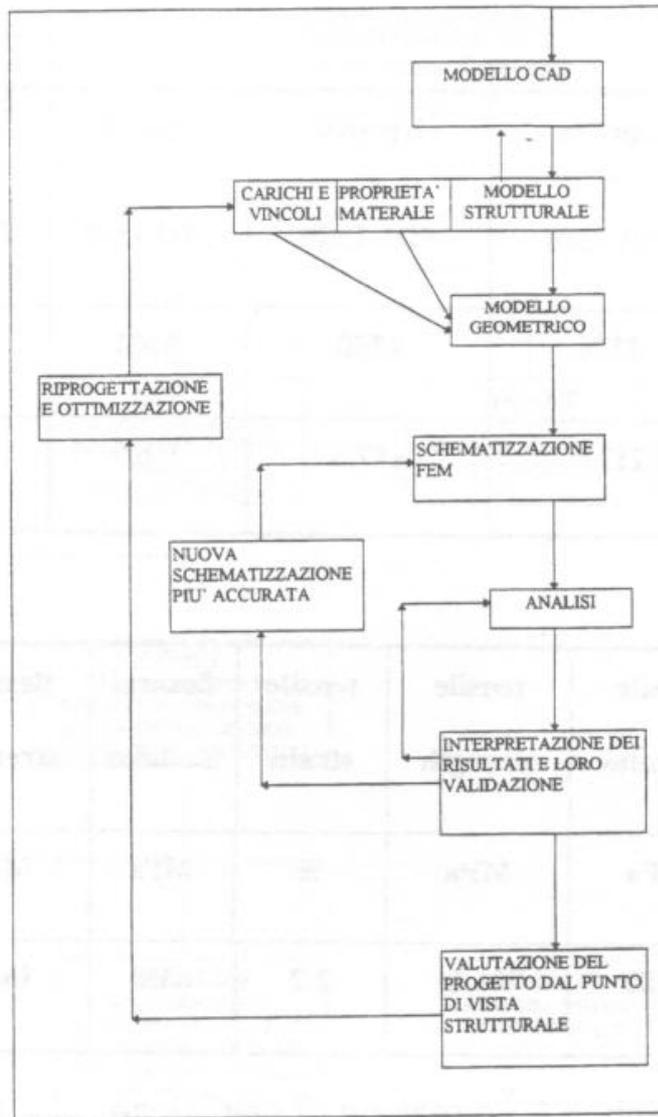


Figura 1

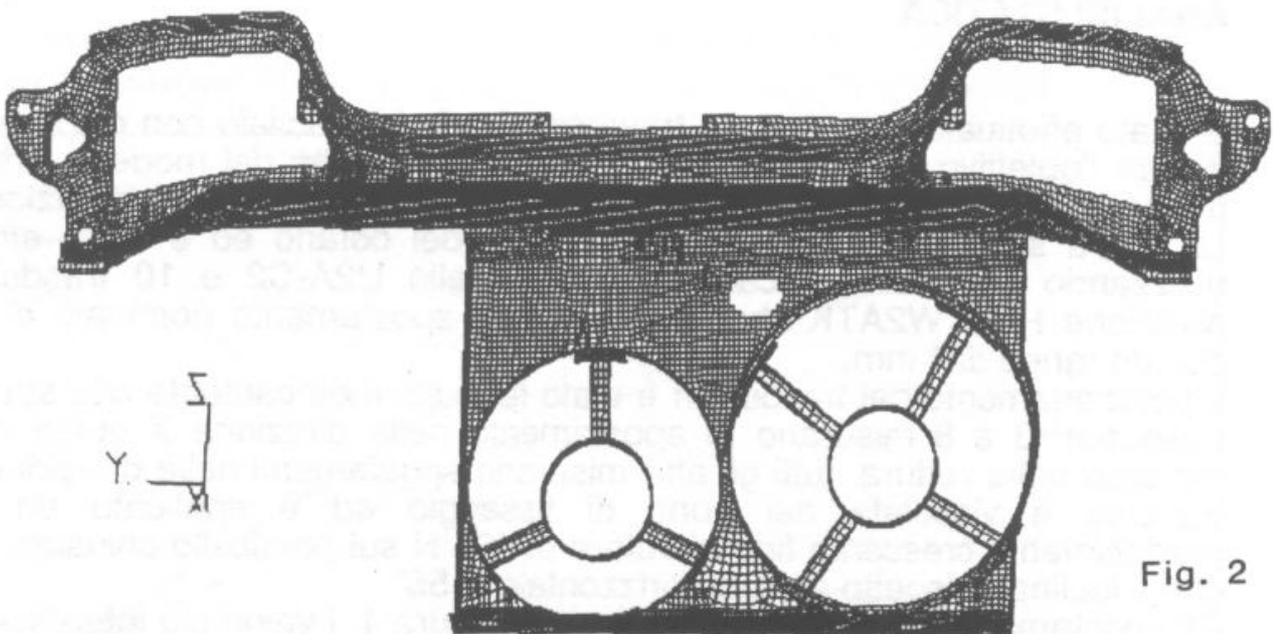


Fig. 2

	1 prova ↑ PD1 1380	2 prova ↑ PD1 1380	3 prova → PD1 1380	4 prova → PD1 1380	5 prova → PH10420	6 prova ↑ PH10420
E (MPa)	5376	4750	3400	4000	2184	6600
$\sigma_{max}$ (MPa)	111.5	117.6	106.9	111.8	31	222.4

TEST	tensile modulus	tensile strength	tensile strain	flexural modulus	flexural strength	flexural strain	Glass content
UNIT	MPa	MPa	%	MPa	MPa	%	%
PD1 1380	5680	96.8	2.2	6350	164.7	3.6	40

Tab. 1 ( ↑ direzione di estrusione, → direzione trasversa )

## ANALISI STATICA

E' stato effettuato un test sulla traversa portafari in acciaio con cui si è voluto fissare l'obiettivo da raggiungere con la progettazione del modello virtuale in materiale composito per poterne garantire la similitudine delle prestazioni.

La prova simula staticamente la chiusura del cofano ed è stata effettuata utilizzando una cella di carico HBM modello U2A-C2 e 10 trasduttori di posizione HBM W2ATK che misurano uno spostamento nominale di 2 mm con un range di 4 mm.

Il posizionamento dei trasduttori è stato fatto simmetricamente alla struttura. I trasduttori 3 e 8 misurano lo spostamento nella direzione X verso positivo entrante nella vettura, tutti gli altri misurano spostamenti nella direzione Z. La traversa è vincolata nei punti di fissaggio ed è applicato un carico gradualmente crescente fino al valore di 460 N sul ponticello chiusura cofano che è inclinato rispetto al piano orizzontale di 55°.

Gli spostamenti rilevati sono visualizzati in figura 4. I valori più interessanti per la progettazione in esame sono quelli dei trasduttori 5 e 6 posizionati nella

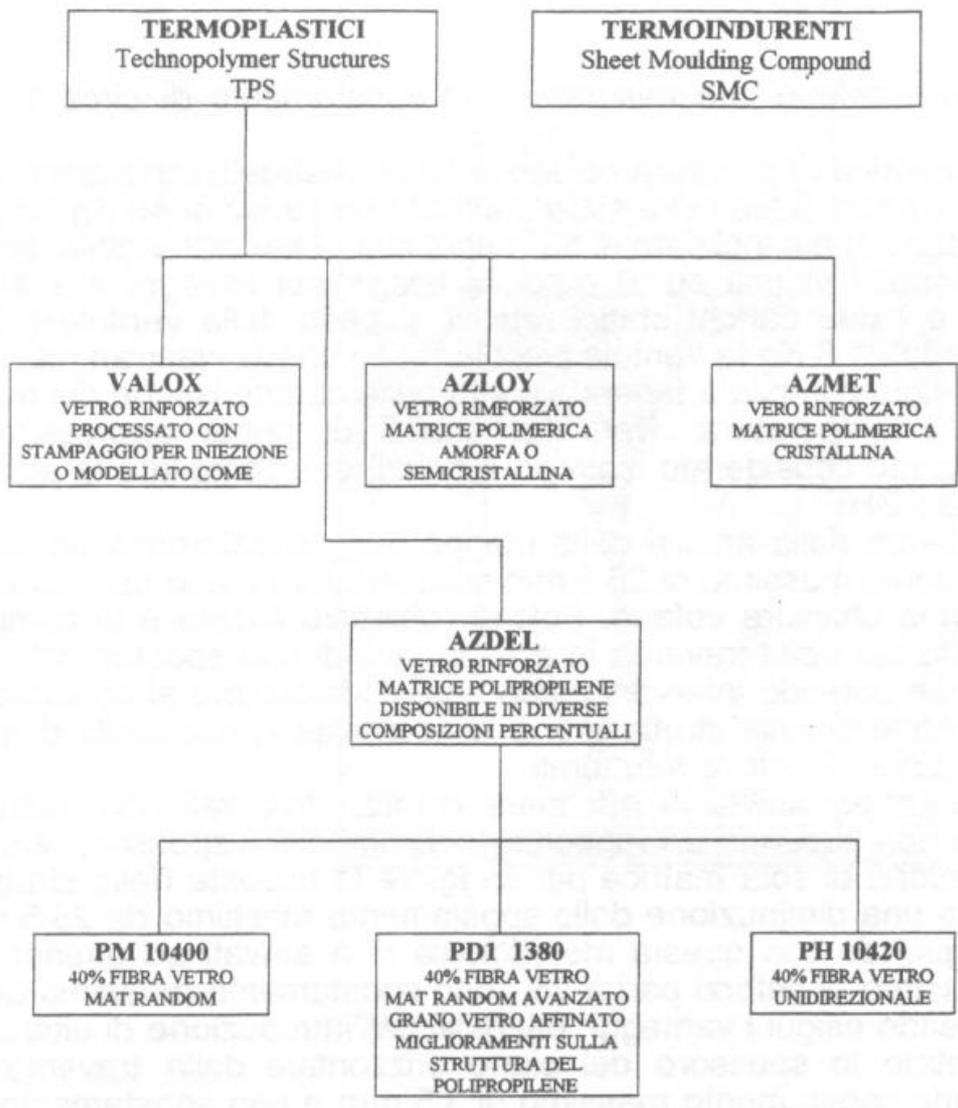


Figura 3

ELASIS  
V. CARROZZERIA  
Sperimentazione

Caratterizzazione traversa superiore  
frontale completa (Dis. 1302271080)

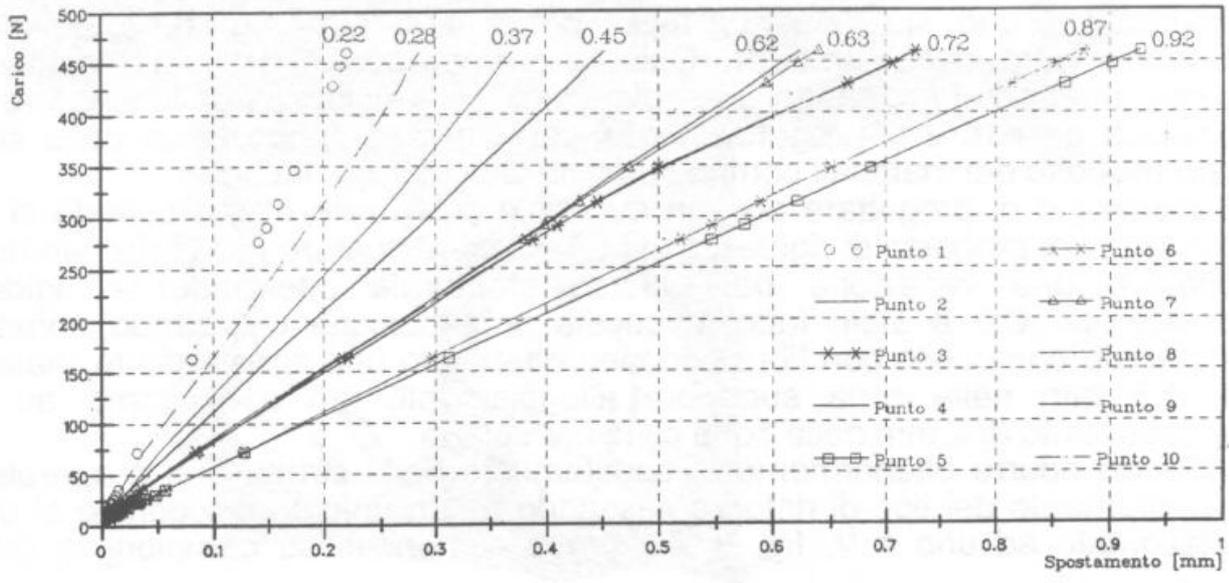


Fig. 4

zona chiusura cofano che misurano uno spostamento di circa 1 mm nella direzione Z.

La prova numerica di chiusura cofano è stata effettuata utilizzando il modello FEM di base, figura 5, su cui è stato applicato un carico di 45 Kg sul ponticello chiusura cofano che è inclinato di  $55^\circ$  rispetto al piano orizzontale. Inoltre sono stati considerati i vincoli sui 6 gradi di libertà sui fissaggi alla struttura di carrozzeria e i due carichi statici relativi al peso delle ventole ( 3.5 Kg la ventola grande , 1.8 Kg la ventola piccola ). La scheda Nastran mat relativa al materiale è stata compilata tenendo conto delle caratteristiche del materiale al variare della temperatura. Per una analisi di prima approssimazione il materiale è stato considerato isotropo e quindi si è compilata la scheda mat1 con elementi PSHELL.

I risultati ottenuti dalla analisi della mappa degli spostamenti ha evidenziato uno spostamento massimo di 25.5 mm sulla struttura e uno spostamento di 10 mm nella zona chiusura cofano. Poiché l'obiettivo fissato è la comparazione con le prestazioni della traversa in acciaio, quindi uno spostamento massimo di 1 mm e non potendo intervenire con una modellazione al contorno a causa dei vincoli esistenti sulla struttura si è evidenziata la necessità di intervenire con l'introduzione di rinforzi strutturali.

Constatata l'impossibilità di effettuare rinforzi strutturali con materiale mat random che non superino un rapporto 4:1 profondità - spessore si è scelto di effettuare rinforzi di sola matrice per saggiare la risposta della struttura. Si è così ottenuta una diminuzione dello spostamento massimo da 25.5 mm a 8.5 mm. Proseguendo con questa metodologia si è arrivati ad ottenere, con un numero massimo di rinforzi pari a 26, uno spostamento massimo di 5.5 mm, fig. 6. Ritenendo esigui i vantaggi ottenibili dall'introduzione di ulteriori rinforzi si è aumentato lo spessore del piano orizzontale della traversa portafari ottenendo uno spostamento massimo di 3.5 mm e uno spostamento di 2 mm nella zona chiusura cofano, fig. 7.

Ritenendo conclusa la fase di prima analisi si è passati a considerare il materiale come ortotropo operando un cambiamento delle PSHELL in PCOMP e delle MAT1 in MAT8 attribuendo al materiale le caratteristiche meccaniche di ortotropia riscontrate dalla prova sperimentale alla temperatura di sottocofano in prossimità del radiatore di  $80^\circ\text{C}$ .

I valori numerici riscontrati dalla analisi della mappa degli spostamenti ha evidenziato uno spostamento massimo di 4.05 mm, fig. 8, e quindi un indebolimento della struttura. Quindi considerando il materiale composito come isotropo si commette una sovrastima della rigidità della struttura che provoca un errore di progettazione. Questo mostra l'importanza dello studio approfondito dei materiali compositi prima di ogni progettazione.

Il vantaggio di progettare con un materiale composito è che quando si è in presenza di problemi di rigidità si può, anziché operare modifiche strutturali, operare una variazione del rinforzo strutturale ottenendo la rigidità desiderata. Ciò è stato fatto in questa progettazione utilizzando rinforzi in materiale composito con fibra chopped ottenendo uno spostamento massimo di 3.5 mm nella zona superiore alloggiamento fari e il ritorno ad uno spostamento di 2 mm nella zona chiusura cofano.

Volendo ridurre ulteriormente lo spostamento della struttura si è operato un cambiamento del tipo di rinforzo passando da un rinforzo ortogonale al piano orizzontale ad uno a V, fig. 9. Da prove numeriche su campioni di rinforzi

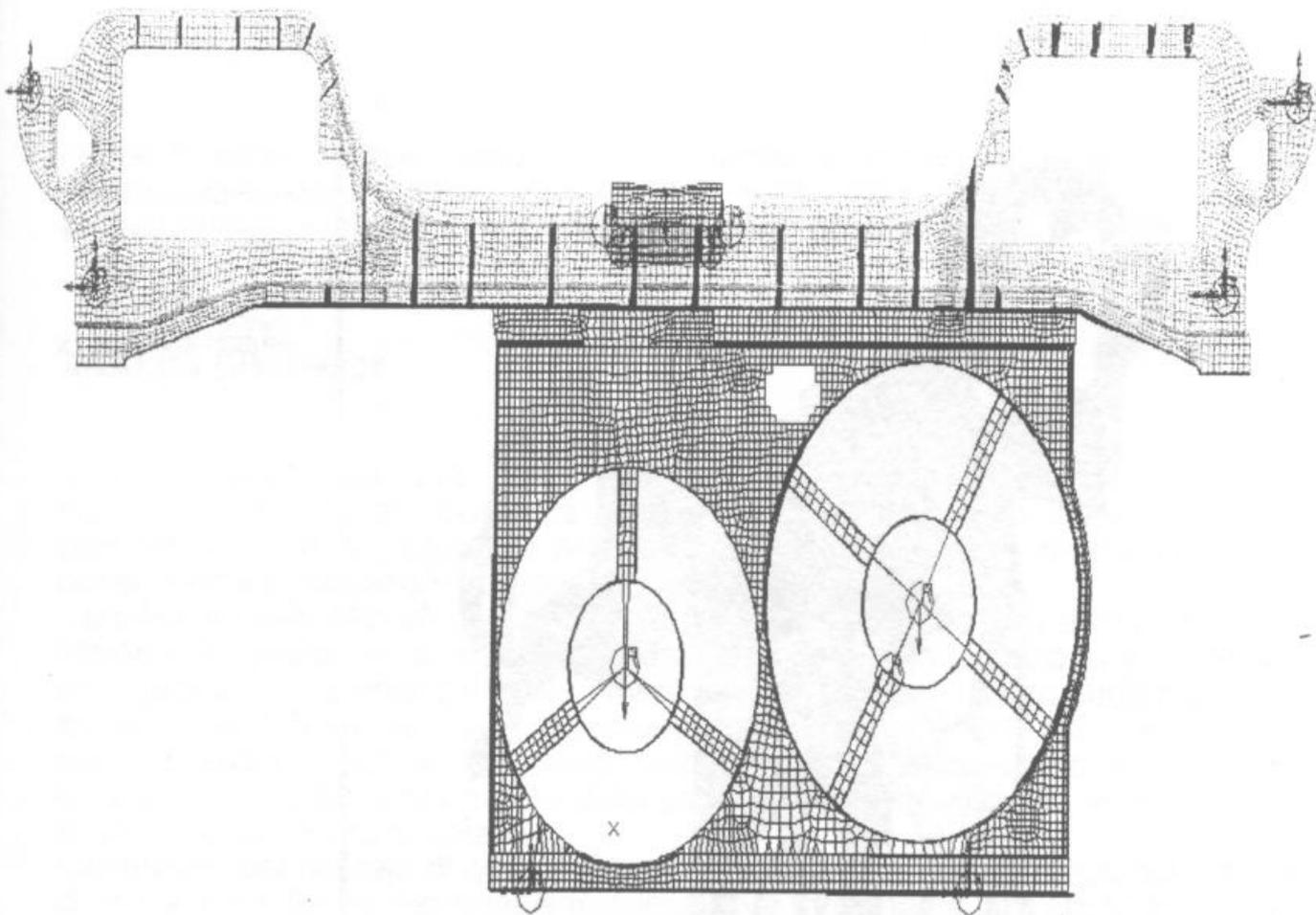
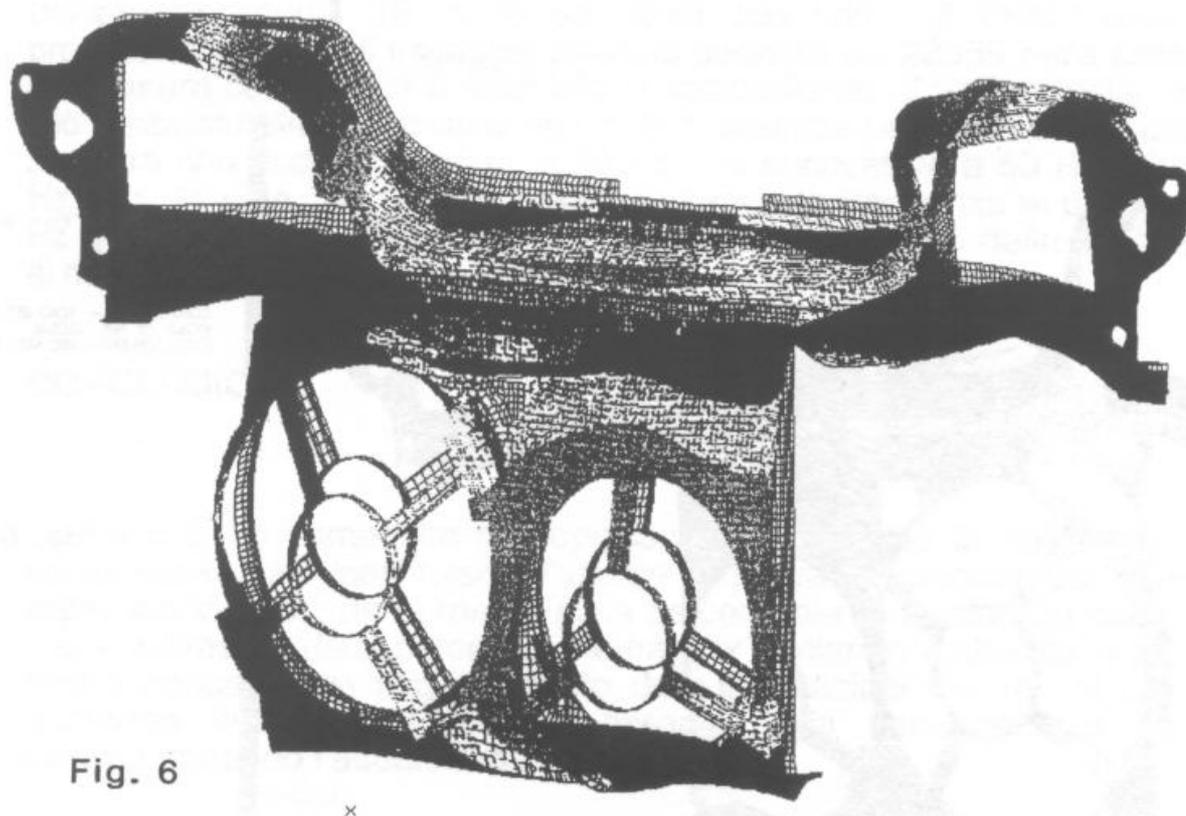


Fig. 5

TRAVERSA PORTAFARI — SOLUZIONE GMT

LOAD SET: 1 — LOAD SET — 1  
 COORD. OF REF: GLOBAL  
 DISPLACEMENT — MAG MIN: 0.00 MAX: 5.56



5.56

4.77

3.97

3.18

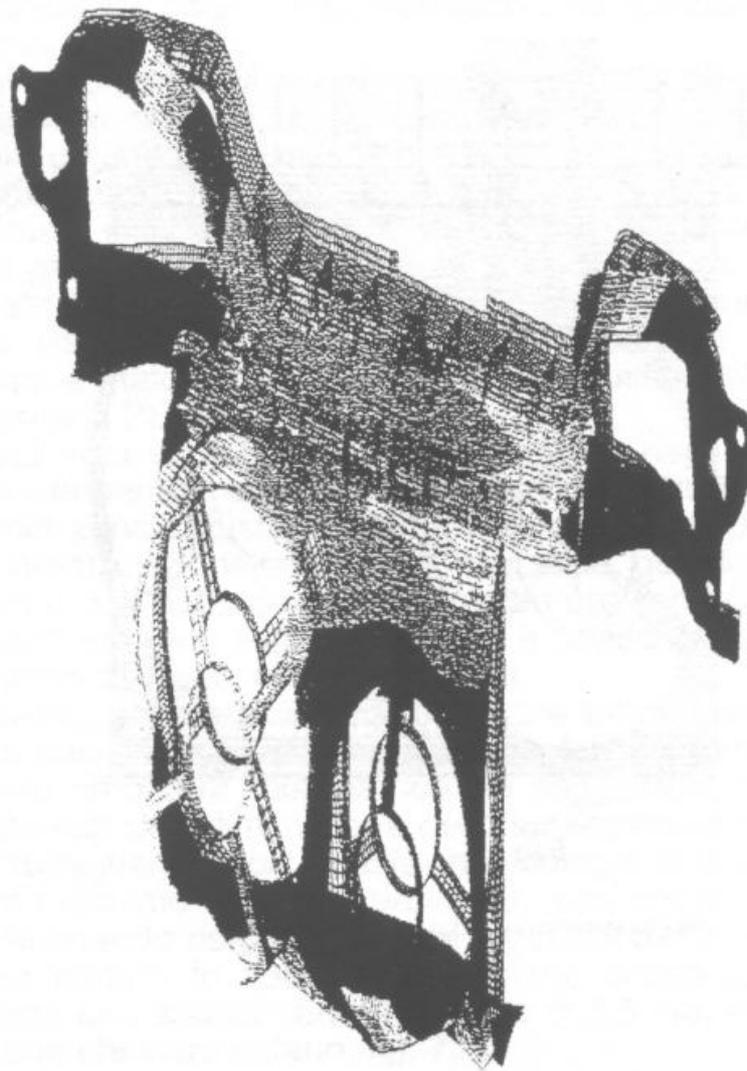
2.38

1.59

0.794276

0.00

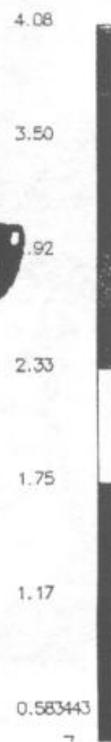
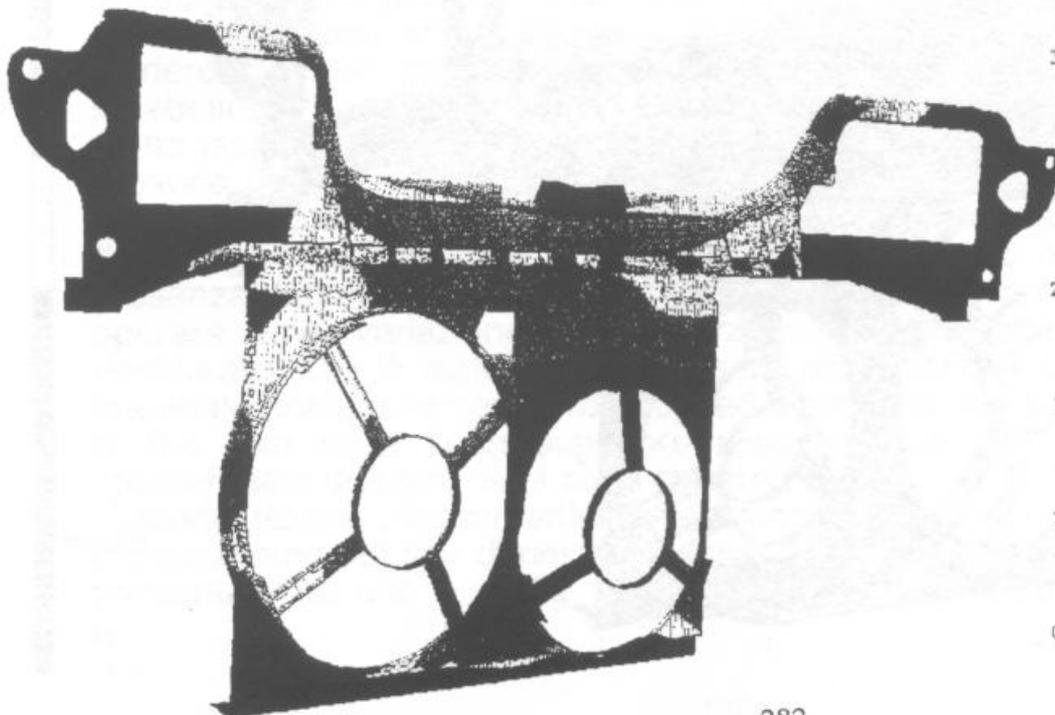
Fig. 6



TRAVERSA PORTAFARI — SOLUZIONE GM

LOAD SET: 1 — LOAD SET — 1  
 FRAME OF REF: GLOBAL  
 DISPLACEMENT — MAG MIN: 0.00 MAX: 3.50

Fig. 7



TRAVERSA PORTAFARI — SOLUZIONE GM

LOAD SET: 1 — LOAD SET — 1  
 FRAME OF REF: GLOBAL  
 DISPLACEMENT — MAG MIN: 0.00 MAX: 4.08

Fig. 8

operanti nelle stesse condizioni di vincolo e carico si è mostrata una diminuzione della deformazione del 50% che introdotta in questa progettazione permette il raggiungimento degli obiettivi fissati.

## **ANALISI DINAMICA**

Si è proceduto ad una prova sperimentale per la determinazione delle frequenze proprie di risonanza della struttura traversa in acciaio per poi confrontarle con le frequenze proprie principali calcolate numericamente sul componente in materiale composito.

L'analisi mirava allo studio dell'effetto della forzante dovuta al motore sulla traversa in acciaio e su quella in materiale composito. Perciò si è effettuata una prova di inertanza sulla traversa in acciaio libera utilizzando 6 accelerometri B.&K. di cui 3 posizionati nel piano XY e 3 nel piano YZ. Il posizionamento degli accelerometri sulla traversa è stato scelto in modo tale da analizzare il comportamento della struttura in prossimità dei vincoli e della zona centrale chiusura cofano.

Dall'analisi dei risultati di questa prova si mostra una prima frequenza propria di risonanza a 50 Hz flessionale le successive torsionali a 110 Hz, 160 Hz e 170 Hz, fig. 10. Dato che la forzante del motore ha una frequenza di vibrazione di 160 -180 Hz, la presenza di due frequenze proprie molto vicine tra loro e nel range di influenza della frequenza della forzante provoca un accoppiamento torsionale e quindi una vibrazione indesiderata sulla struttura. Tale fenomeno sarà ora oggetto di studio sul componente in materiale composito.

E' stata simulata numericamente la prova di risposta in frequenza sul componente in materiale composito esercitando sulla struttura libera un carico unitario transitorio. Si sono poi scelti due nodi, il 15907 nella zona in prossimità dei vincoli fissaggio traversa portafari e il 22558 nella zona centrale di chiusura cofano e si è calcolato lo spostamento al variare della frequenza. Ciò ha portato alla determinazione delle frequenze principali di vibrazione della struttura che vedono la prima a 20 Hz e le successive a 50 Hz, 80 Hz e 100 Hz, fig. 11 e fig. 12. Scarsa ampiezza hanno le frequenze al di sopra dei 100 Hz quindi lo smorzamento del materiale annulla l'effetto della forzante dovuta al motore.

## **CONCLUSIONI**

L'utilizzo di un composito termoplastico ha permesso la progettazione di un componente che sostituisce l'attuale struttura in acciaio consentendo un risparmio in peso, un aumento della percentuale di riciclabilità della struttura, uno snellimento della catena di montaggio lasciando inalterata la produzione. Inoltre consente un miglioramento delle prestazioni fornite dal componente lasciando invariati i vincoli di fissaggio alla carrozzeria e quindi non compromettendo l'attuale produzione.

LOAD SET: 2 - LOAD SET 2  
 FRAME OF REF: GLOBAL  
 DISPLACEMENT - MAG MIN: 0.00 MAX: 0.057327

/usr6/finizioni/ideas/p

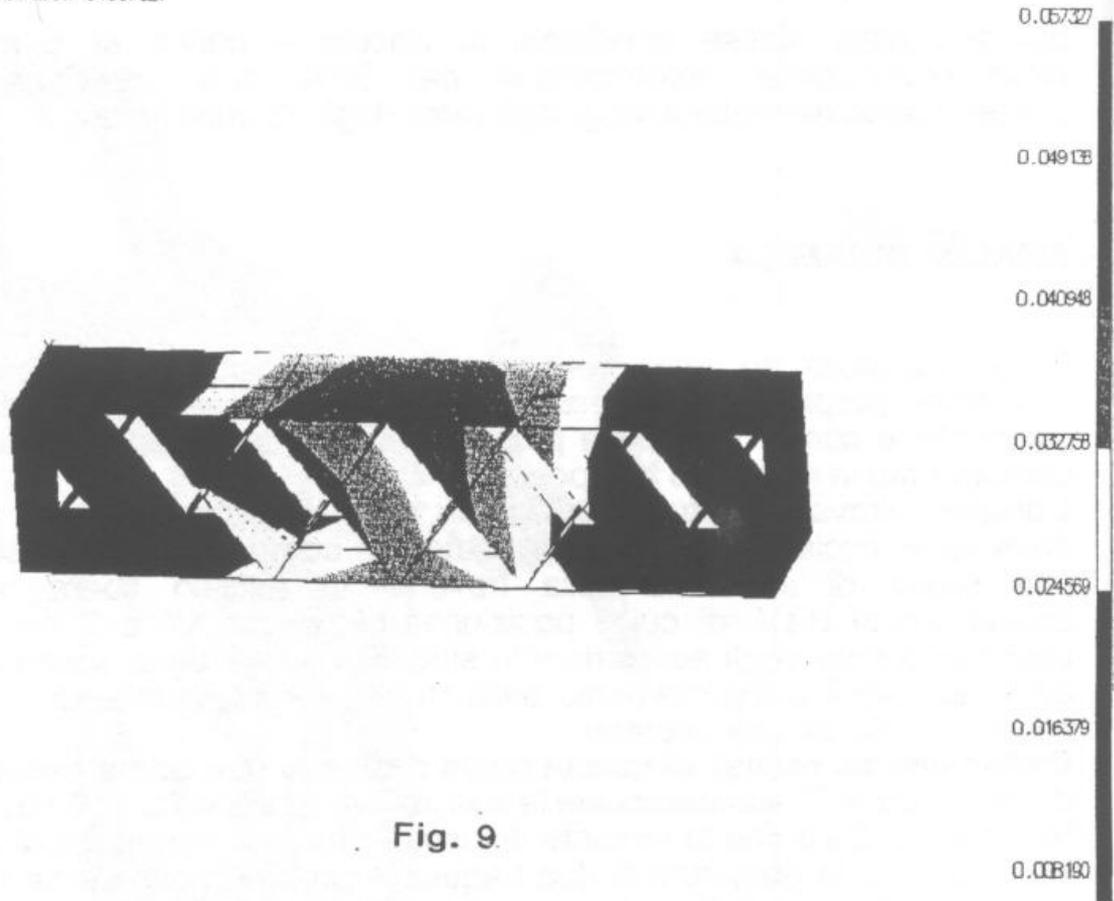


Fig. 9

ELASIS

COMFORT

—	TRAVERSA_ACCIAIO_PUNTO 42	Re1. nr.
---	TRAVERSA_ACCIAIO_PUNTO 52	Data:
- - -	TRAVERSA_ACCIAIO_PUNTO 62	All. nr.

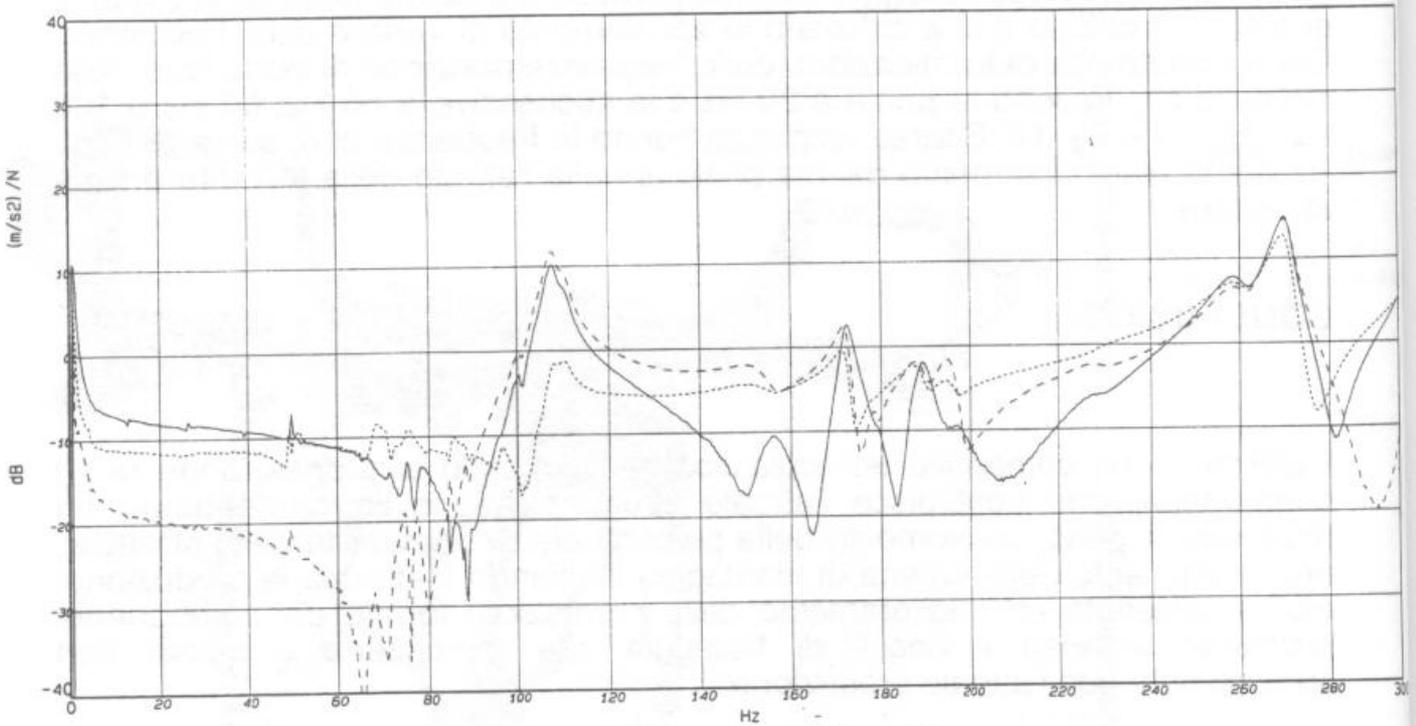


Fig. 10

Confronto X Z nodo 15907

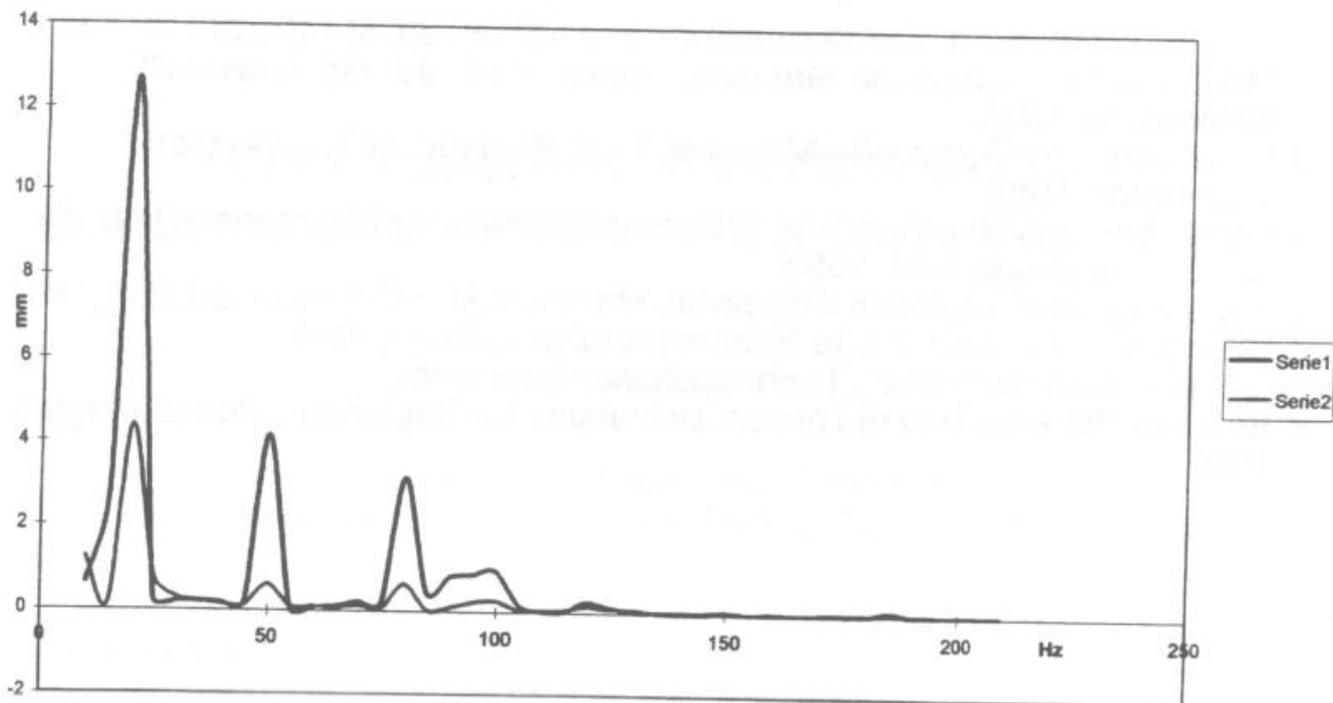


Figura 11

confronto X Z nodo 22558

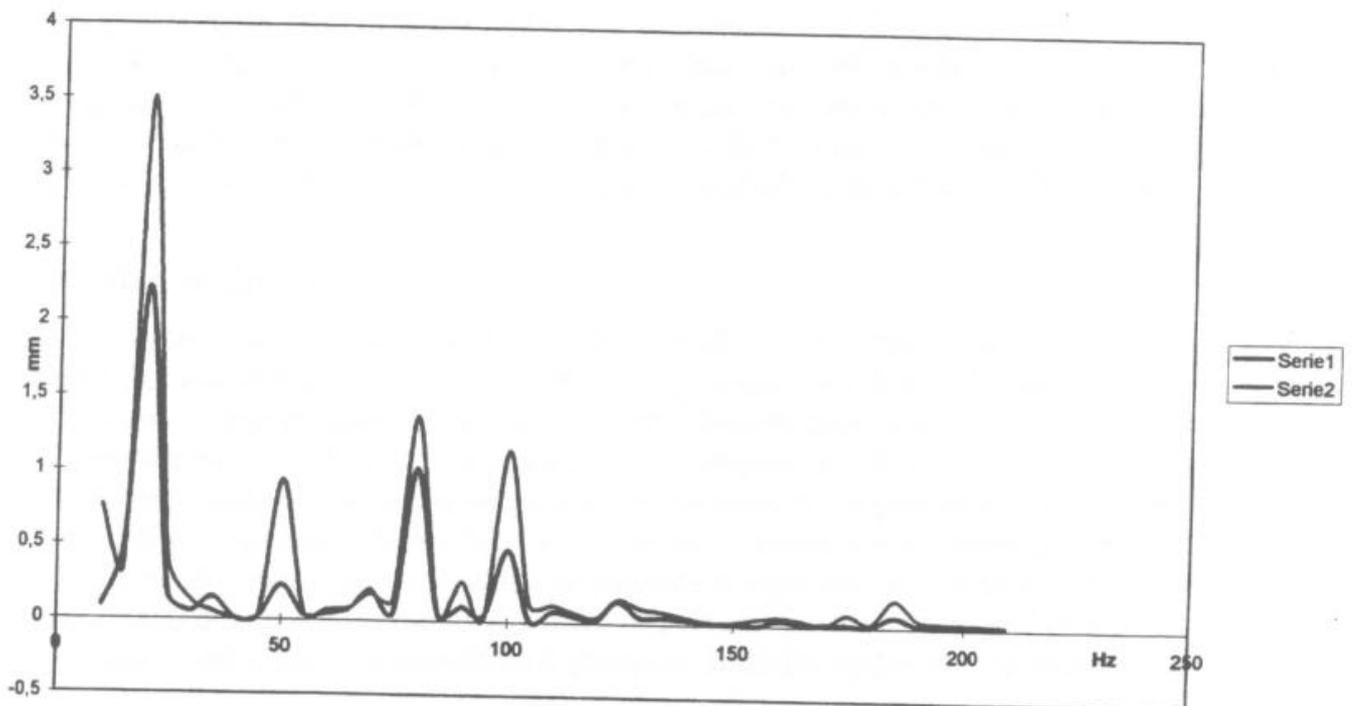


Figura 12

## BIBLIOGRAFIA

1. The Finite method, Zinkiewicz,O.C., 3rd edition, ed. Mc GraW-Hill, 1983.
2. Mechanics of Composite Materials, Jones, R.M., ed. Mc. Graw-Hill , Kogakusha, LTD.
3. Introduction to Composite Materals, Tsai, W.Hahn, H.T., Westport: Technomic,1980.
4. Handbook of Composite, Vol.3, Failure Mechanics of Composite pub. da Sui,G.C. e Skuda,A.M.,1985.
5. Tecnologie dei Materiali Compositi, Marchetti,M e Cutolo,D.,ed.ESA,1991.
6. Szabo,B.,Babuska,I.,Finite Element Analysis,j.Wiler,1980
7. General Eletttric Plastic , Technopolymer Structures,
8. Bellavia Roberto,Tesi di Laurea, Università "La Sapienza", Roma, Maggio 1995