

ESEMPIO DI MIGLIORAMENTO SISMICO TRAMITE MATERIALI COMPOSITI

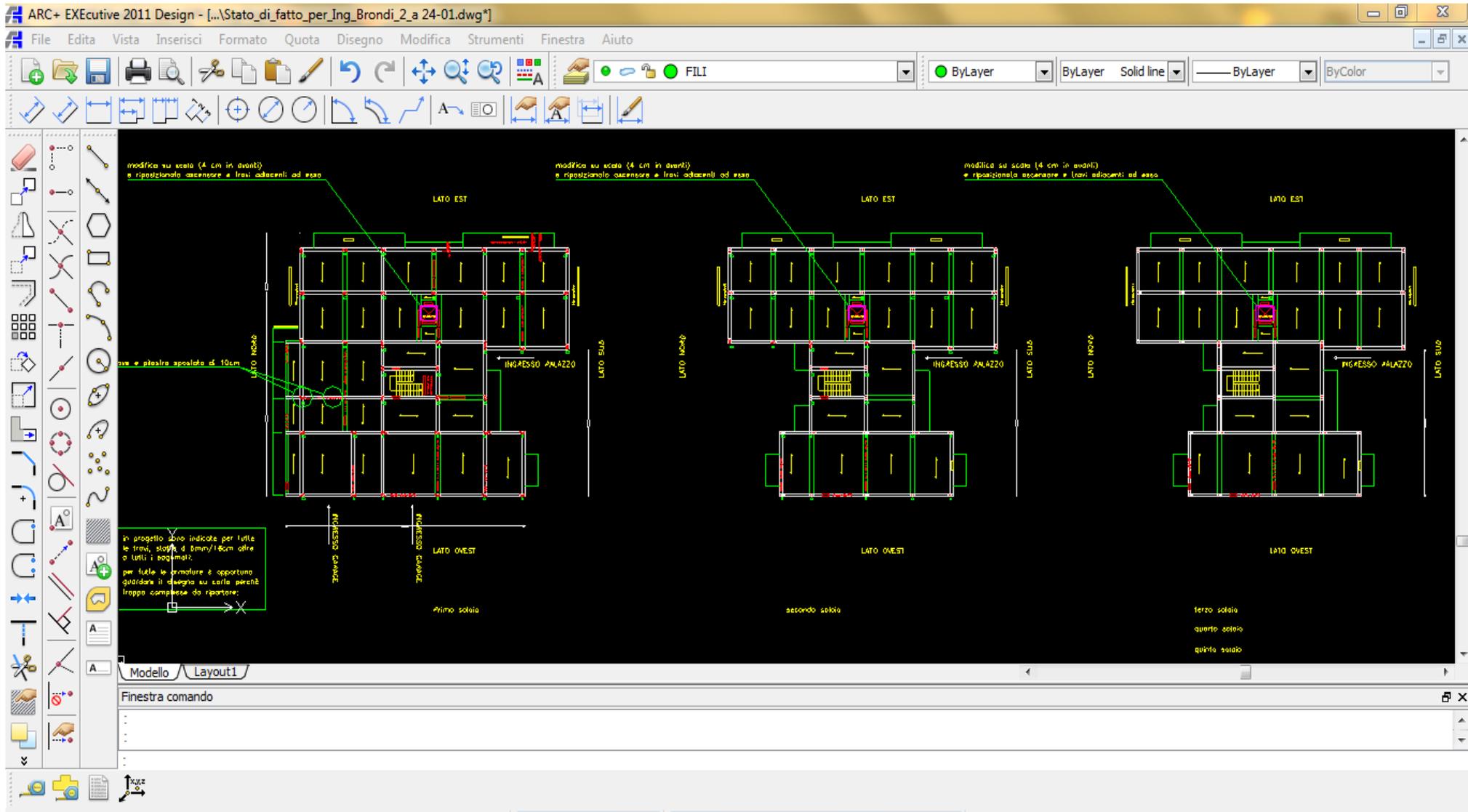
STRUTTURA ESISTENTE IN C.A. DANNEGGIATA A SEGUITO DELL'EVENTO SISMICO DELL'AQUILA 2009

Si ringrazia l'Ing. Sandro Di Giovanni per le foto e i dati del progetto

Progetto di miglioramento sismico di un edificio per civile abitazione sito a L'Aquila

Horae 2012 *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it

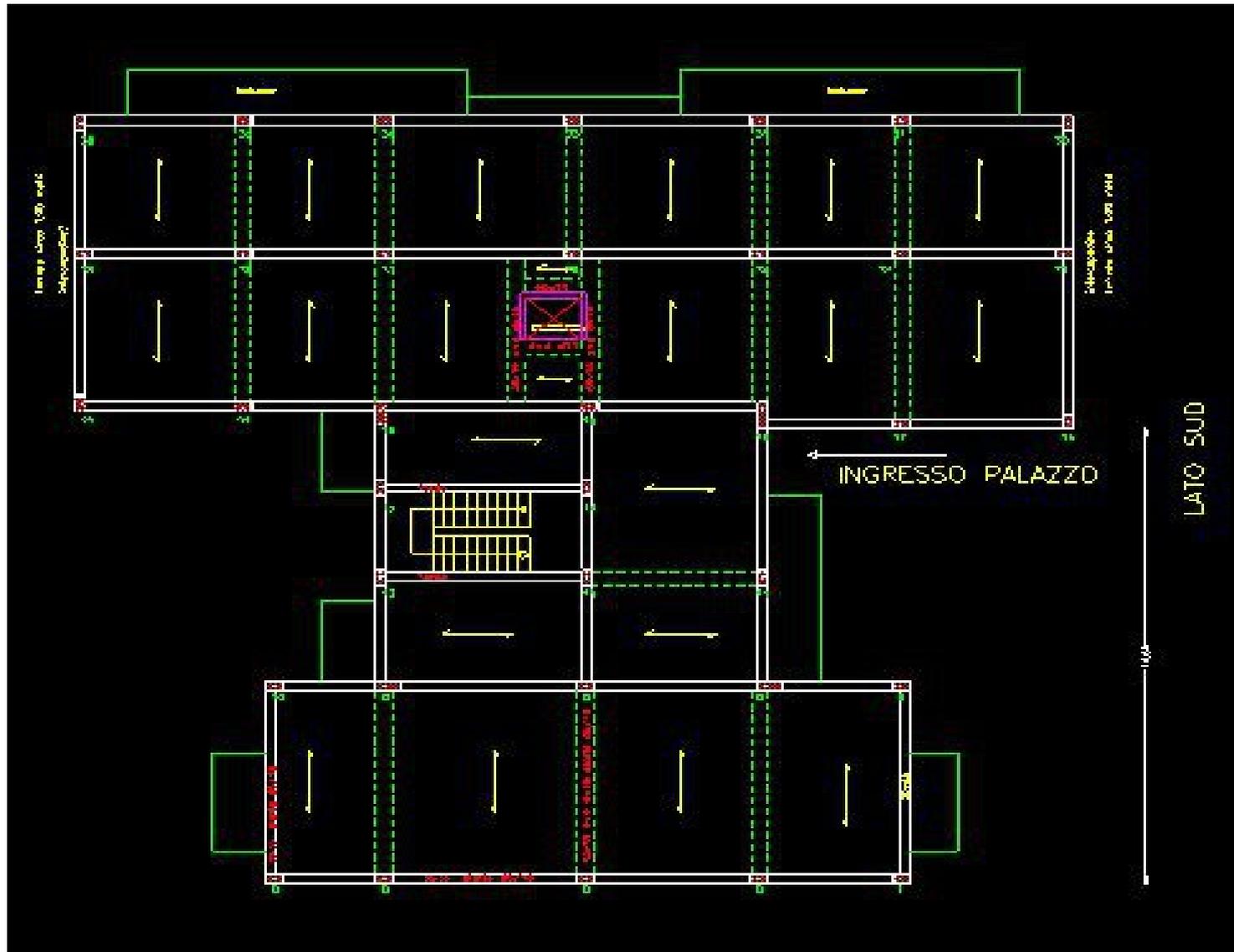


Piante

Ing. Carlo Brondi - www.horae.it - c.brondi@horae.it

Horae 2012 Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

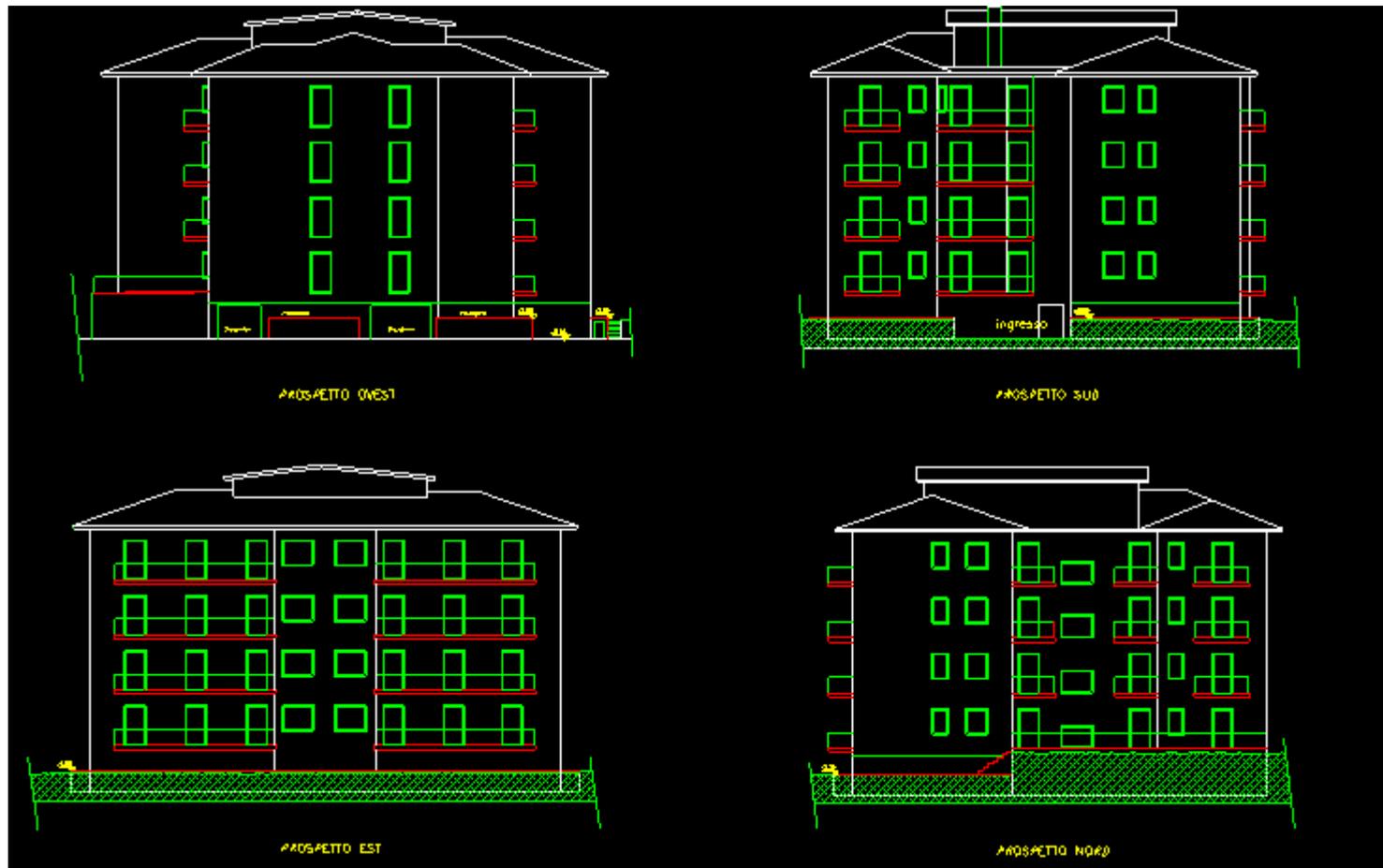
Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it



Pianta tipo

Horae 2012 *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it



Prospetti



Danneggiamenti



Danneggiamenti



Danneggiamenti



Danneggiamenti



Danneggiamenti

RISULTATI DELLE PROVE SU TONDINI DI ACCIAIO

<i>Sigla</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Diametro (*) riscontrato (mm)</i>	<i>Carico unitario di smernamento (N/mm²)</i>	<i>Carico unitario di rottura (N/mm²)</i>	<i>Allungamento % di rottura su 5 d</i>	<i>f_{yk}</i>	<i>Posizione in opera</i>
F1	Ø 16	15,84	540,40	829,40	25,8	1,535	Fondazione
F2	Ø 14	14,36	596,43	833,15	22,6	1,397	Piano Seminterrato
F3	Ø 14	14,35	582,92	826,12	23,8	1,417	Piano 1°
F4	Ø 14	14,36	566,73	812,44	22,1	1,434	Piano 2°
F5	Ø 14	14,19	603,05	862,49	23,4	1,430	Piano 3°
F6	Ø 6	6,17	491,89	632,43	22,6	1,286	Staffa liscia Piano 2°

(*) Diametro equivalente al diametro del tondo liscio equipesante

Prove sui materiali

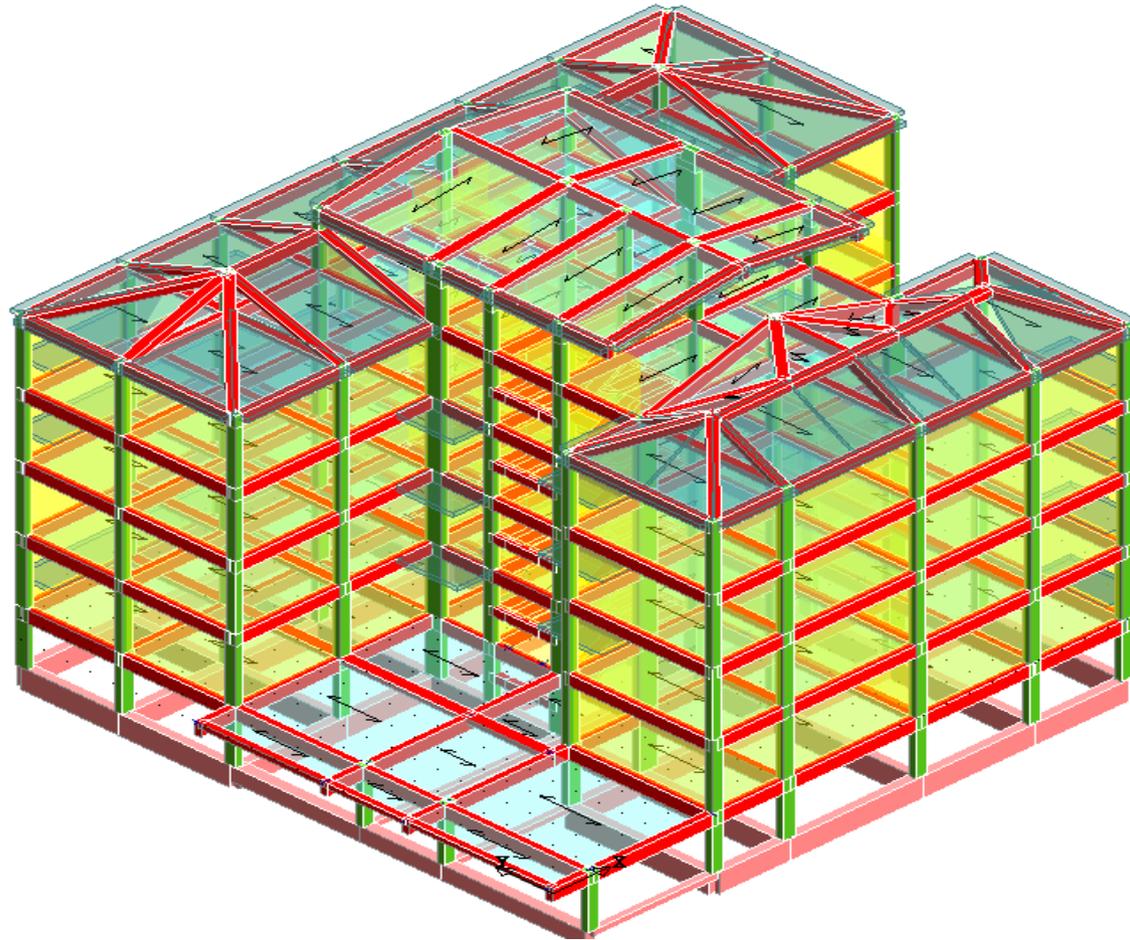
Horae 2012 *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it

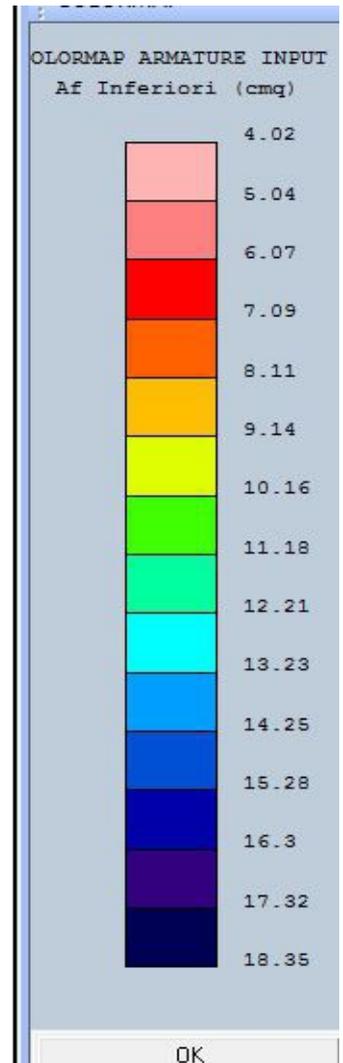
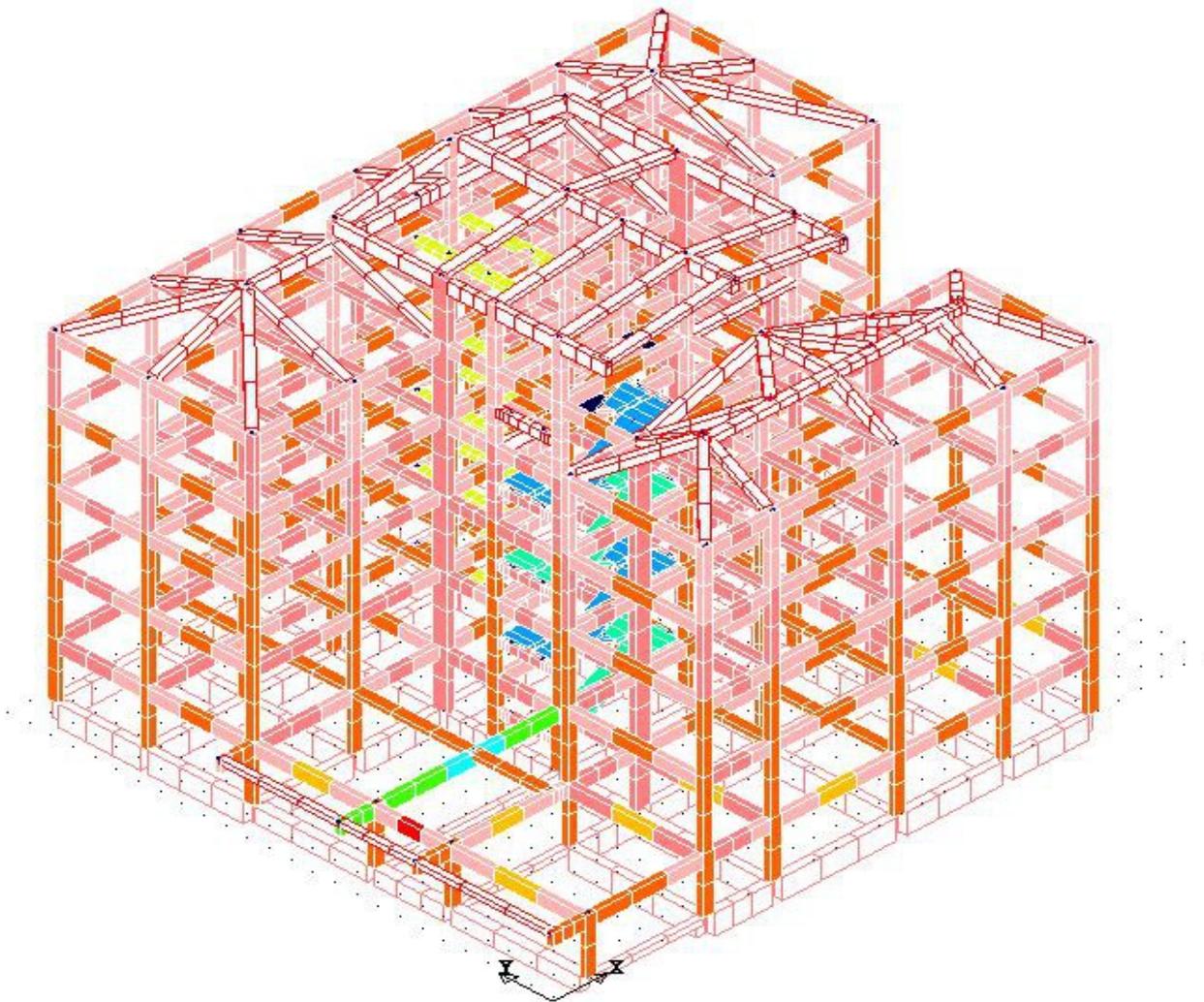
MISURE PACOMETRICHE ESEGUITE IN SITO

Prova	Struttura	Posizione	Armature
P1	Pilastro C6	Piano Seminterrato	8 ferri e st/20"
P2	Pilastro D1	Piano Seminterrato	3 ferri lato esterno
P3	Pilastro D2	Piano Seminterrato	3 ferri lato esterno
P4	Pilastro D4	Piano Seminterrato	3 ferri lato esterno
P5	Pilastro D6	Piano Seminterrato	3 ferri lato esterno
P6	Pilastro D7	Piano Seminterrato	3 ferri lato esterno
P7	Trave D6-C6	Piano Seminterrato	5 ferri inf. e st/20"
P8	Trave C6-D6	Piano Seminterrato	5 ferri inf. e st/20"
P9	Trave D4-C4	Piano Seminterrato	5 ferri inf. e st/20"
P10	Trave D2-C2	Piano Seminterrato	5 ferri inf. e st/20"
P11	Pilastro D1	Piano Primo	8 ferri e st/22"
P12	Pilastro D2	Piano Primo	8 ferri e st/22"
P13	Pilastro D4	Piano Primo	8 ferri e st/25"
P14	Pilastro D6	Piano Primo	8 ferri e st/20"
P15	Pilastro D7	Piano Primo	8 ferri e st/22"
P16	Pilastro B5	Piano Primo	8 ferri e st/22"
P17	Rampa Scala	Piano Primo	8 ferri longit. e st/25"
P18	Pilastro C4	Piano Primo	8 ferri e st/23"

Armature esistenti



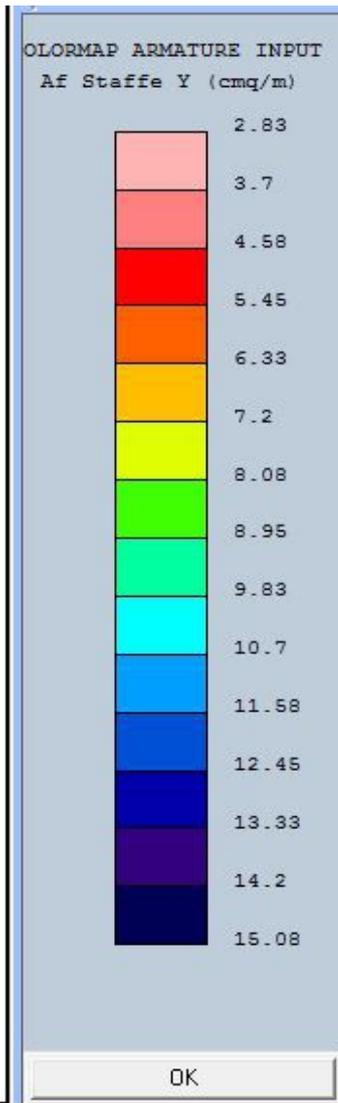
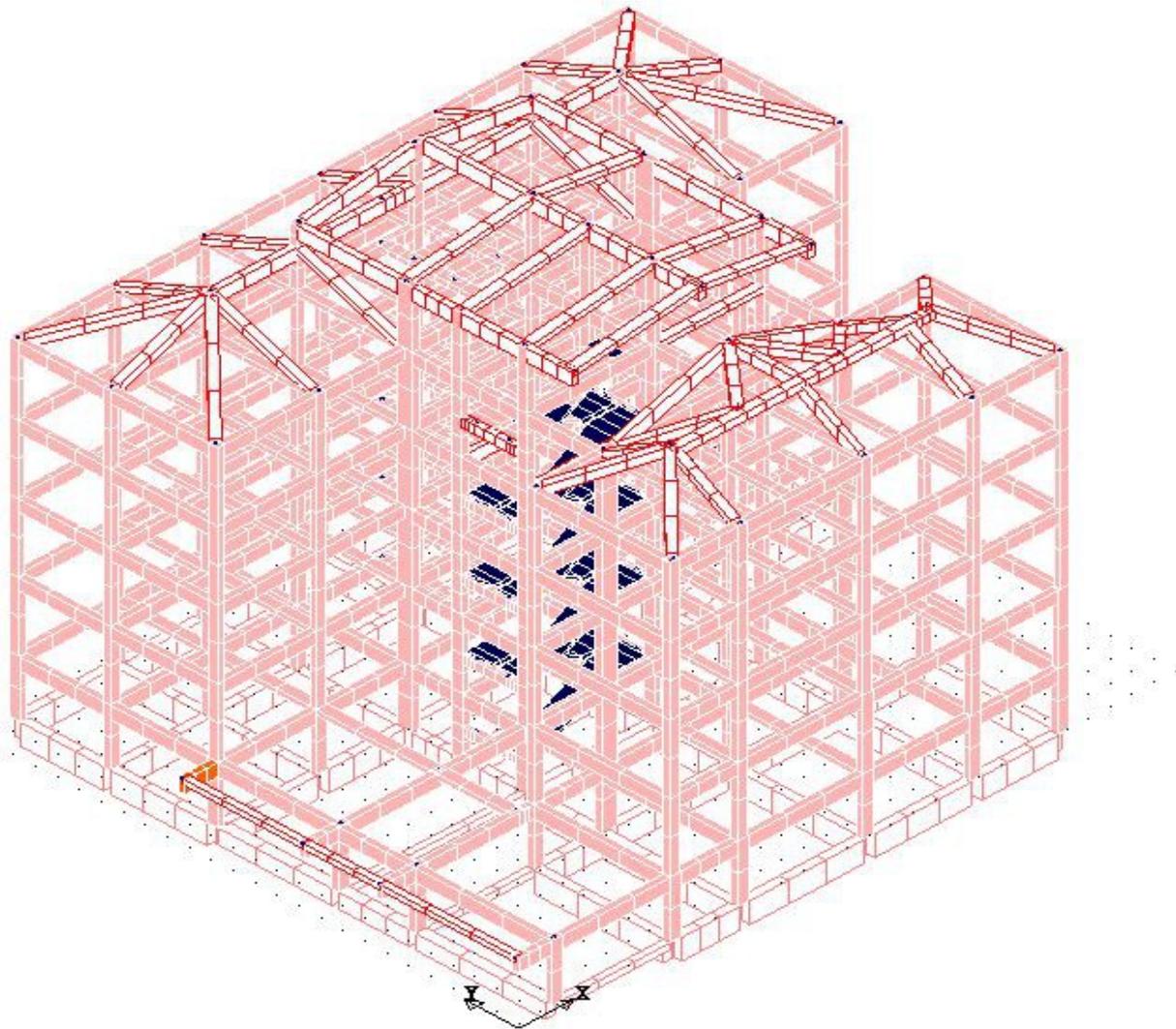
Modello di calcolo



Armature a flessione

Horae 2012 *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

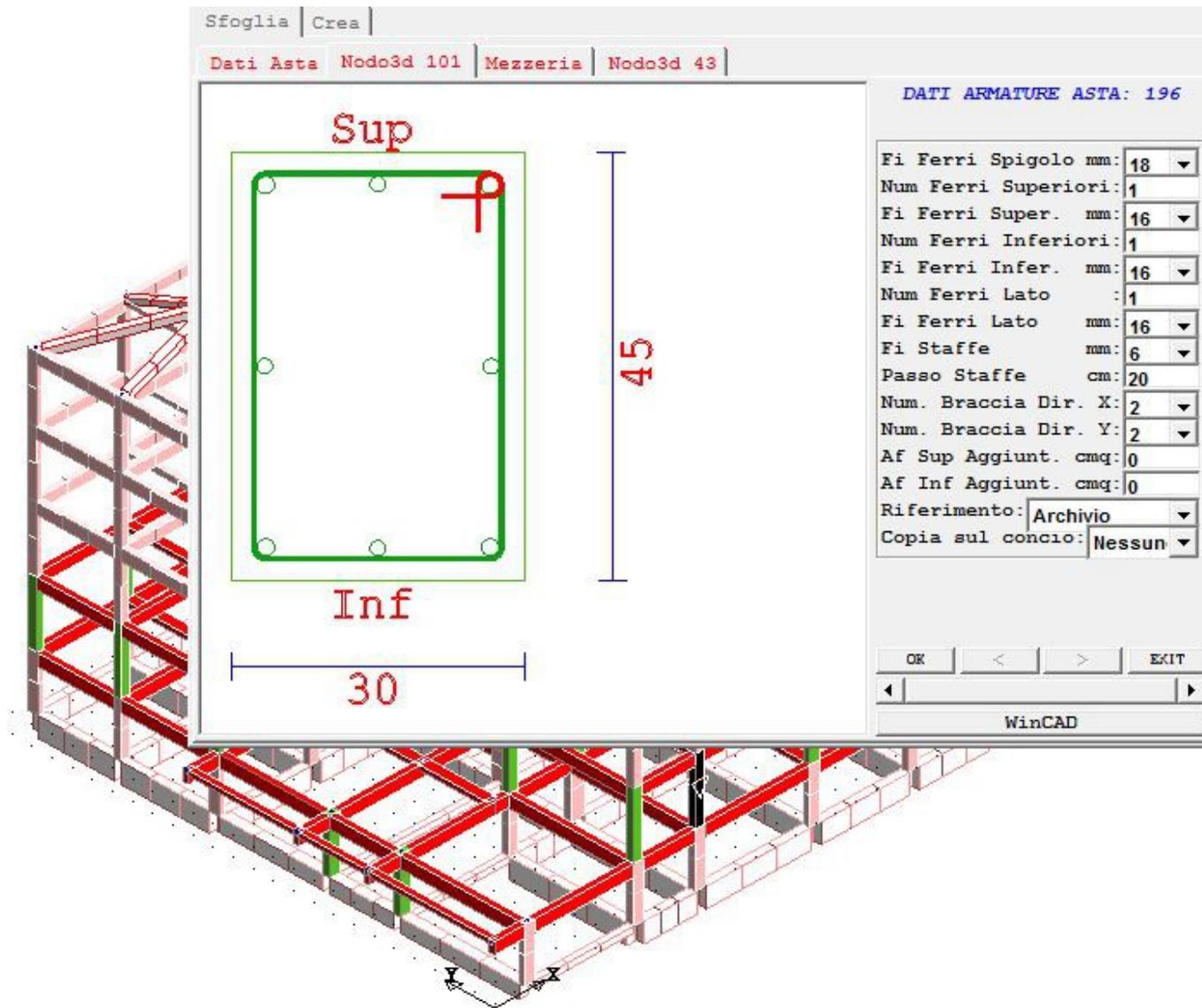
Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it



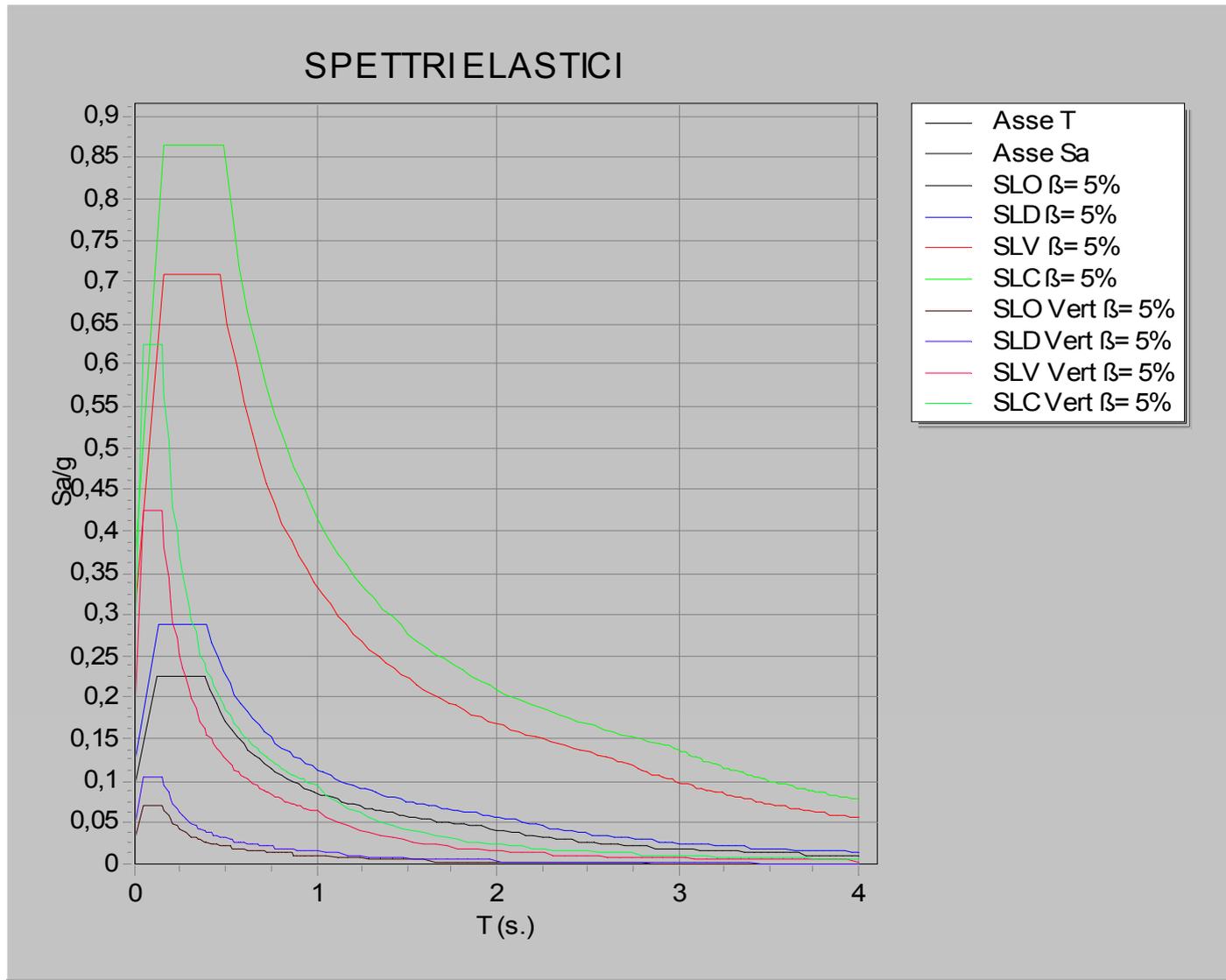
Armature a taglio

Horae 2012 Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

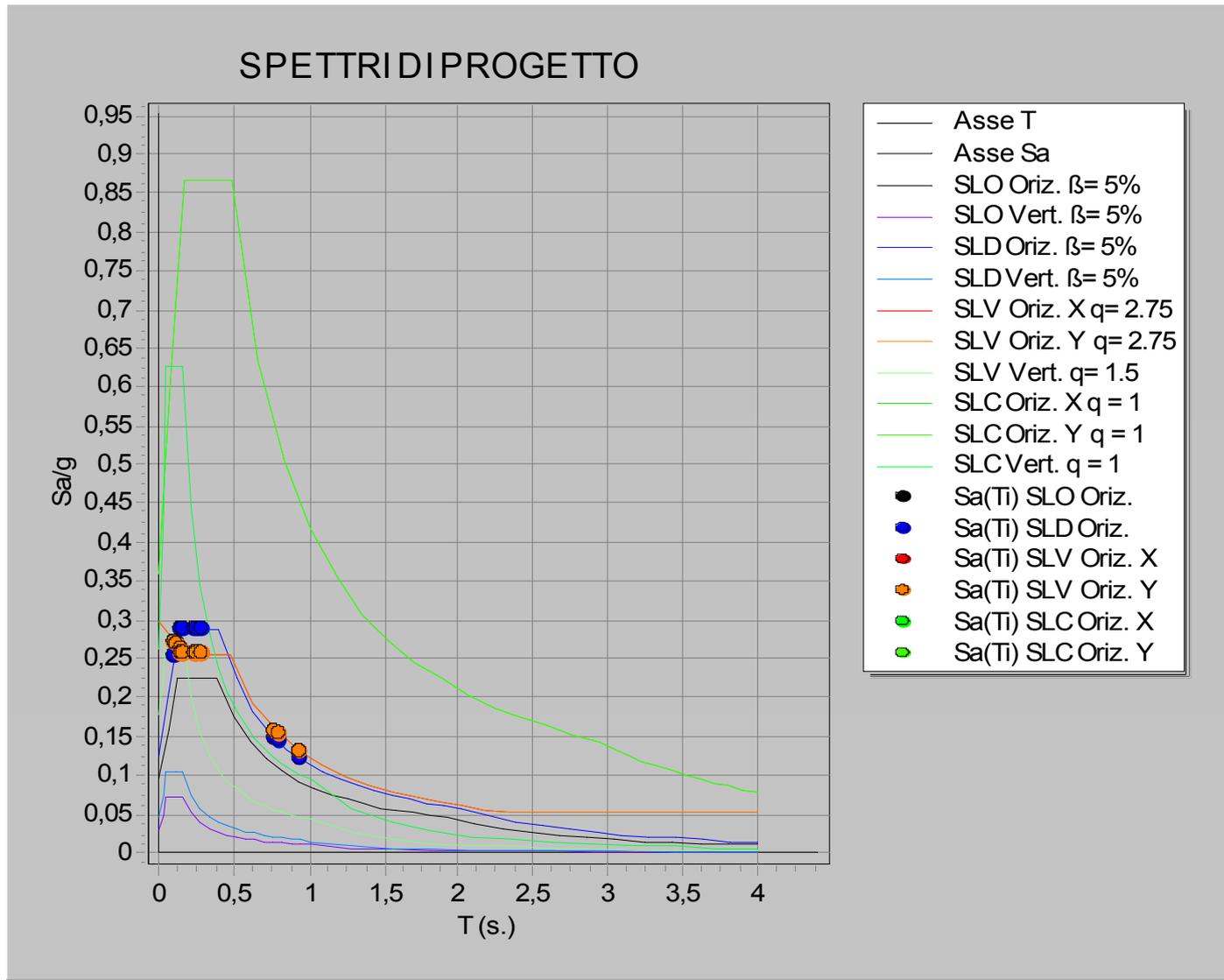
Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it



Armature tipo

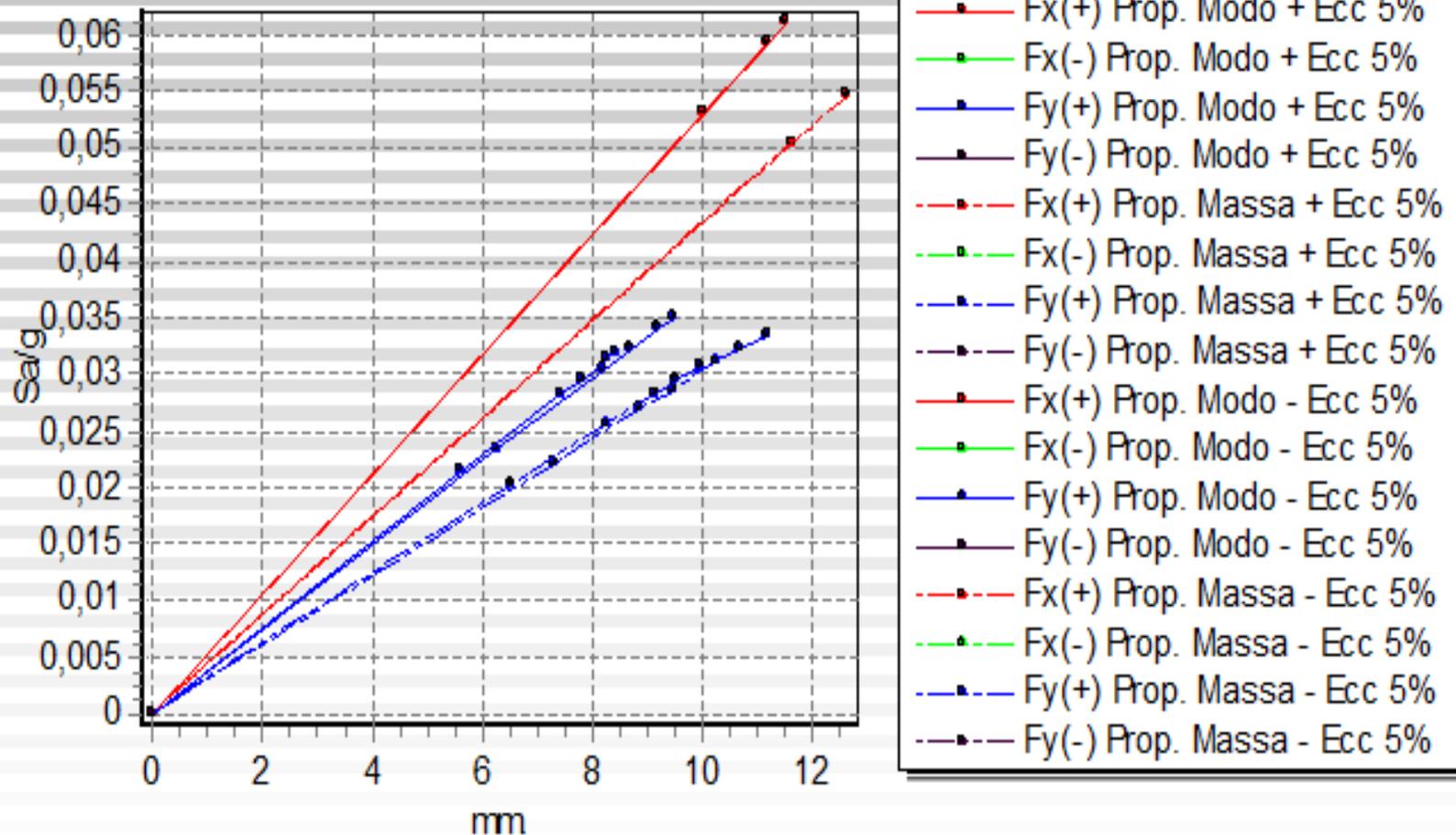


Spettri elastici

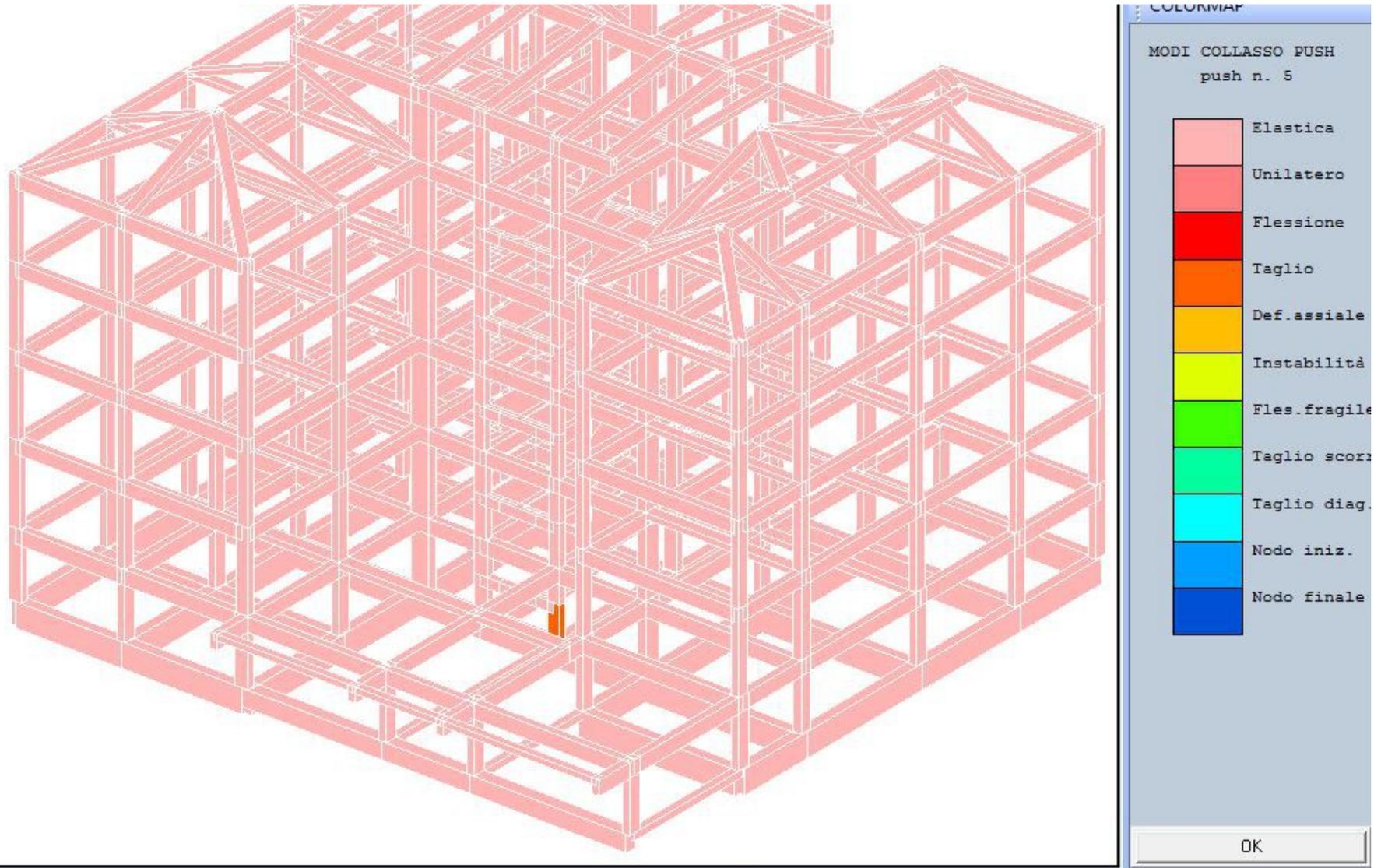


Spettri di progetto

Spettro ADSR Sa/g - mm

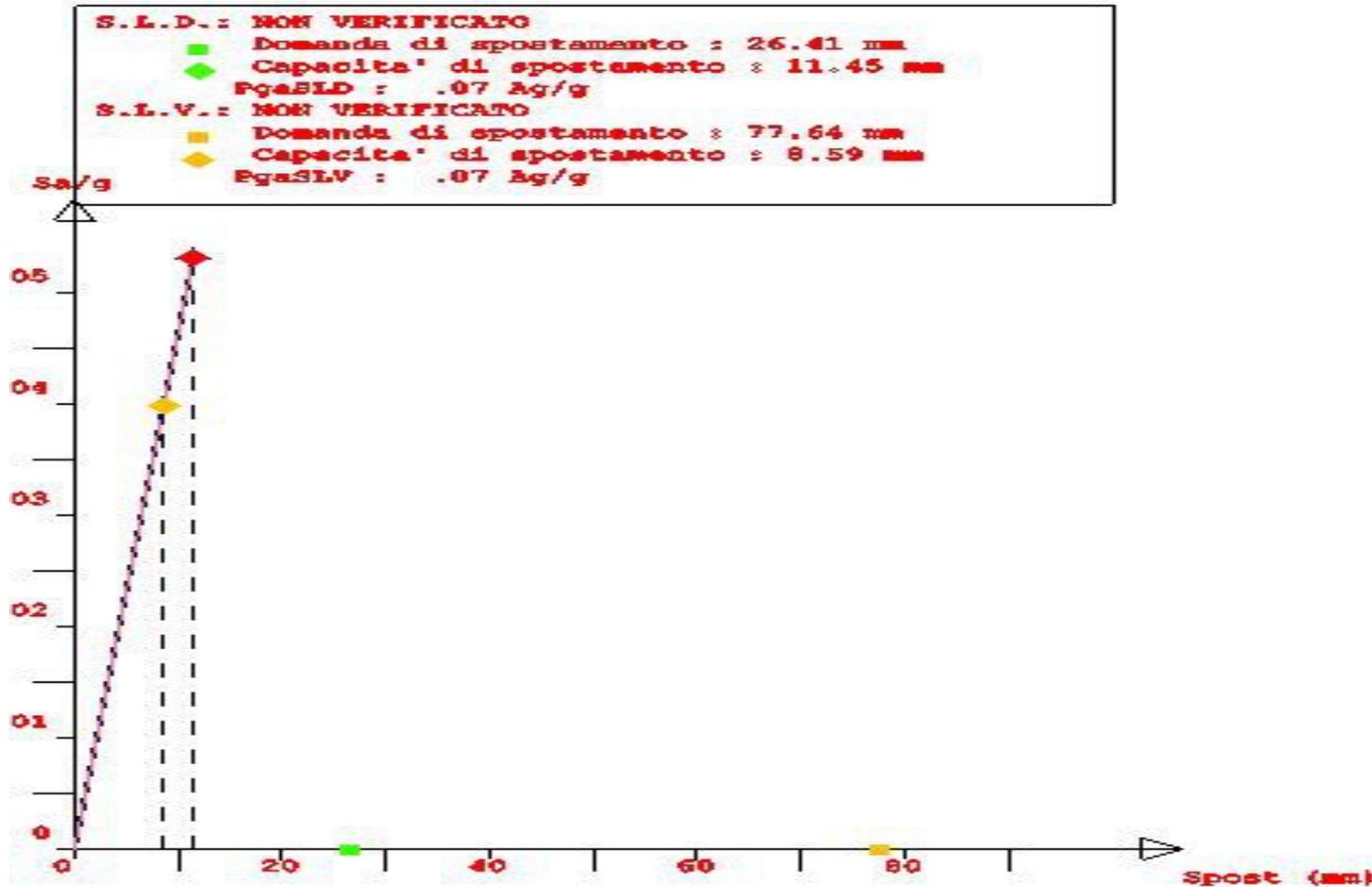


Curve ADSR meccanismi fragili stato attuale



Tipologia di collasso stato attuale

Push-Over Nro: 5



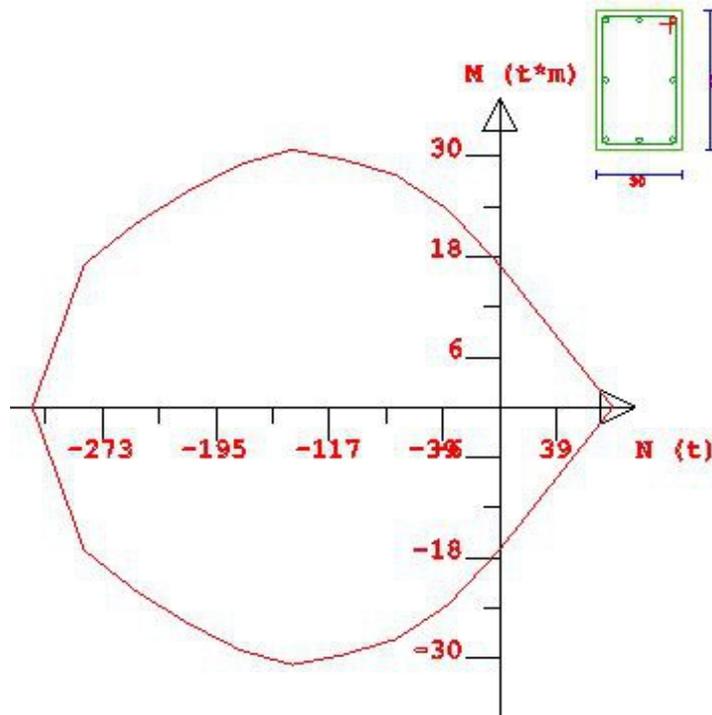
Curva ADSR minima

Horae 2012 Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it

RISULTATI GENERALI PUSH-OVER			
PUSH-OVER N.ro	5 -	DISTRIB. FORZE PROPORZIONALE ALLE MASSE +Ecc5%	
Angolo Ingr. Sisma (Grd)	0	Numero collassi totali	1
Numero passo Resist. Max.	1	Numero passi significativi	1
Massa SDOF (t)	2765,77	Taglio alla base max. (t)	147,62
Coeff. Partecipazione	1,00	Resistenza SDOF (t)	147,62
Rigidezza SDOF (t/m)	12885,62	Spostam. Snervam. SDOF mm	11
Periodo SDOF (sec)	0,93	Rapporto di incrudimento	0,000
Rapporto Alfau/alfa1	1,000	Fattore struttura	1,000
Coeff Smorzam. Equival.	5,000	Duttilita	1,000
STATO LIMITE DI DANNO			
DOMANDA		CAPACITA'	
Spostamento mm	26	Spostamento mm	11
S.L. Danno	NON VERIFICA	Numero passo precedente	0
PgaLD/g	0,079	PgaLD/Pga 63%	0,764
Rapporto $q^*=F_e/F_y$	2,31	Asta3D Nro	
-----		TrCLD	17,000
-----		(TrCLD/TDLD) ^a	0,641
STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA			
DOMANDA		CAPACITA'	
Spostamento mm	78	Spostamento mm	9
S.L. Salvaguardia Vita	NON VERIFICA	Numero passo precedente	0
PgaLV/g	0,079	PgaLV/Pga 10%	0,303
Rapporto $q^*=F_e/F_y$	6,78	Asta3D Nro	717
-----		TrCLV	13,000
-----		(TrCLV/TDLV) ^a	0,227

Verifica push over minima



Spigoli F18
Superiori 1F18
Inferiori 1F18
Parete 1F18
Staffe F6/20
Bracci Staffe X:2
Bracci Staffe Y:2

DOMINIO DI RESISTENZA M/N Nro: 1

Diagramma Mx: _____

TAGLIO

$V_{uy} = 9.77$ (t)

$V_{ux} = 5.57$ (t)

MOMENTO TORCENTE

$M_{ot} = 2.3$ (t*m)

DUTTILITA' A FLESSIONE PURA

Duttilita' AsseX = 11.98

MomX pos. = 16.94 (t*m)

MomX neg. = -16.95 (t*m)

Duttilita' AsseY = 7.291993

MomY pos. = 9.53 (t*m)

MomY neg. = -9.54 (t*m)

CONFINAMENTO

Staffe NON Efficaci per il confinamento

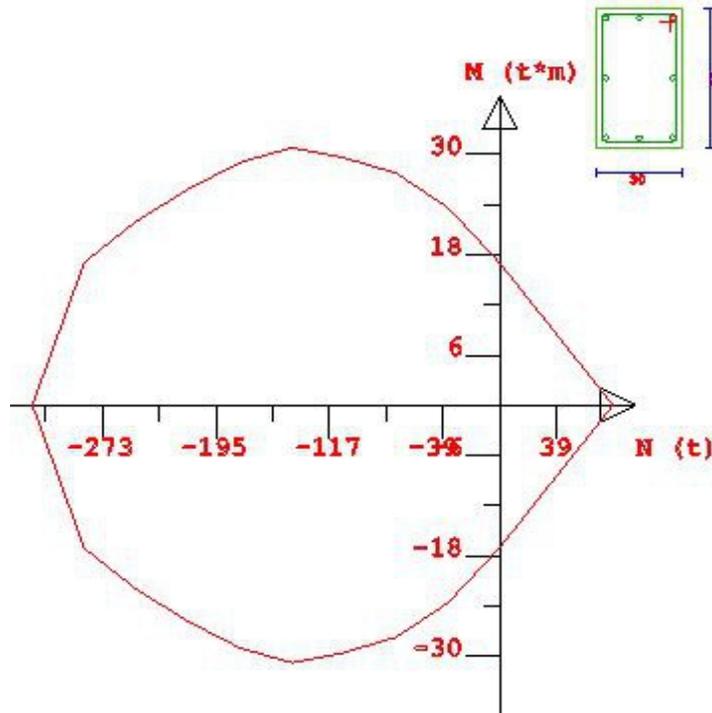
Rapporto $f_{cc}/f_c = 1$

Def. Ultima CLS confinato (%) = .350

Def. Carico Max CLS confinato (%) = .200

Rapporto Volum. Staffe conf. (%) = .15

Dominio di resistenza



Spigoli F18
Superiori 1F18
Inferiori 1F18
Parete 1F18
Staffe F6/20
Bracci Staffe X:2
Bracci Staffe Y:2

DOMINIO DI RESISTENZA M/N Nro: 1

Diagramma Mx: _____

TAGLIO

Vuy = 9.77 (t)

Vux = 5.57 (t)

MOMENTO TORCENTE

MomTu = 2.3 (t*m)

DUTTILITA' A FLESSIONE PURA

Duttilita' AsseX = 11.98

MomX pos. = 16.94 (t*m)

MomX neg. = -16.95 (t*m)

Duttilita' AsseY = 7.291993

MomY pos. = 9.53 (t*m)

MomY neg. = -9.54 (t*m)

CONFINAMENTO

Staffe NON Efficaci per il confinamento

Rapporto fcc/fc = 1

Def. Ultima CLS confinato (%) = .350

Def. Carico Max CLS confinato (%) = .200

Rapporto Volum. Staffe conf. (%) = .15

Dominio di resistenza

4.3.3 Resistenza di progetto a taglio dell'elemento rinforzato con FRP

4.3.3.1 Resistenza di progetto a taglio

(1) La resistenza di progetto a taglio dell'elemento rinforzato può essere valutata attraverso la seguente relazione:

$$V_{Rd} = \min \left\{ V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, V_{Rd,c} \right\}, \quad (4.18)$$

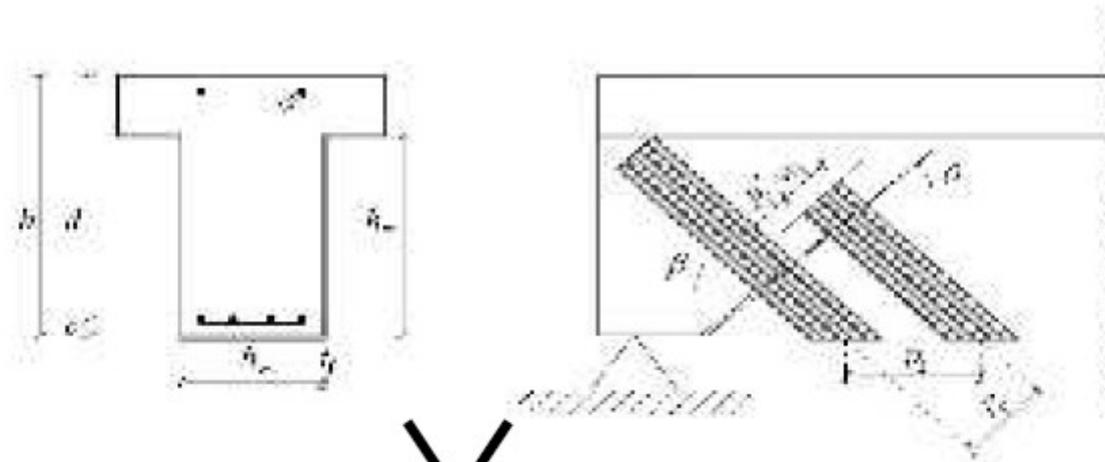
dove $V_{Rd,s}$ e $V_{Rd,f}$ sono, rispettivamente, la capacità a taglio-trazione dell'armatura trasversale di acciaio e quella del sistema di rinforzo FRP; $V_{Rd,c}$ è la capacità a taglio-compressione del calcestruzzo. Le capacità a taglio del calcestruzzo e dell'armatura trasversale devono essere calcolate in accordo con la Normativa vigente; la capacità a taglio-trazione del composito deve essere calcolata come indicato ai punti (2) e (4).

(2) Nel caso di disposizione ad U o in avvolgimento su una sezione rettangolare, il contributo del sistema di rinforzo FRP, $V_{Rd,f}$, può essere valutato in base al meccanismo a traliccio di Morsch mediante la seguente formula:

$$V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{b_f}{p_f}, \quad (4.19)$$

dove (Figura 4-9):

- d è l'altezza utile della sezione,
- f_{fed} è la resistenza efficace di calcolo del sistema di rinforzo, da valutarsi come indicato nel § 4.3.3.2,
- t_f è lo spessore del sistema di rinforzo FRP,
- b_f e p_f sono, rispettivamente, la larghezza e il passo delle strisce, misurati ortogonalmente alla direzione delle fibre (nel caso di strisce poste in adiacenza o di elementi di rinforzo bidimensionali si assume $b_f/p_f = 1.0$),
- γ_{Rd} è coefficiente parziale fornito in Tabella 3-1, § 3.4.2.



$$V_{Rd} = \min \left\{ \cancel{V_{Rd,ct}} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, V_{Rd,max} \right\},$$

$$\text{ad U} \quad V_{Rd,f} = \frac{1}{\gamma_{Ed}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_2 \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{W_f}{P_f},$$

$$\text{ad U} \quad f_{fed} = f_{fd} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_w\}} \right],$$

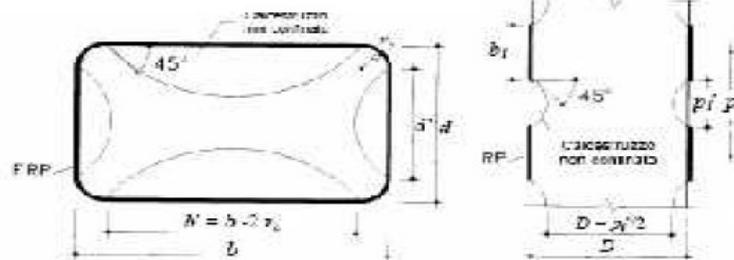
RINFORZO A TAGLIO

$$N_{Rcc,d} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot A_c \cdot f_{ccd} + A_s \cdot f_{yd}$$

$$f_{ccd} = f_{cd} + 2.6 \cdot \left(\frac{f_{l,eff}}{f_{cd}} \right)^{2/3} \cdot f_{cd}$$

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_1$$

Coeff. di eff. $k_{eff} = k_H \cdot k_V \cdot k_\alpha$



Tensione CLS
confinato

Pressione efficace
di confinamento

Tensione di
confinamento

$$f_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fd,rid}$$

$$\rho_f = \frac{2 \cdot t_f \cdot (b + d) \cdot b_f}{b \cdot d \cdot p_f}$$

$$\varepsilon_{fd,rid} = \min \{ \eta_a \cdot \varepsilon_{fk} / \gamma_f ; 0.004 \}$$

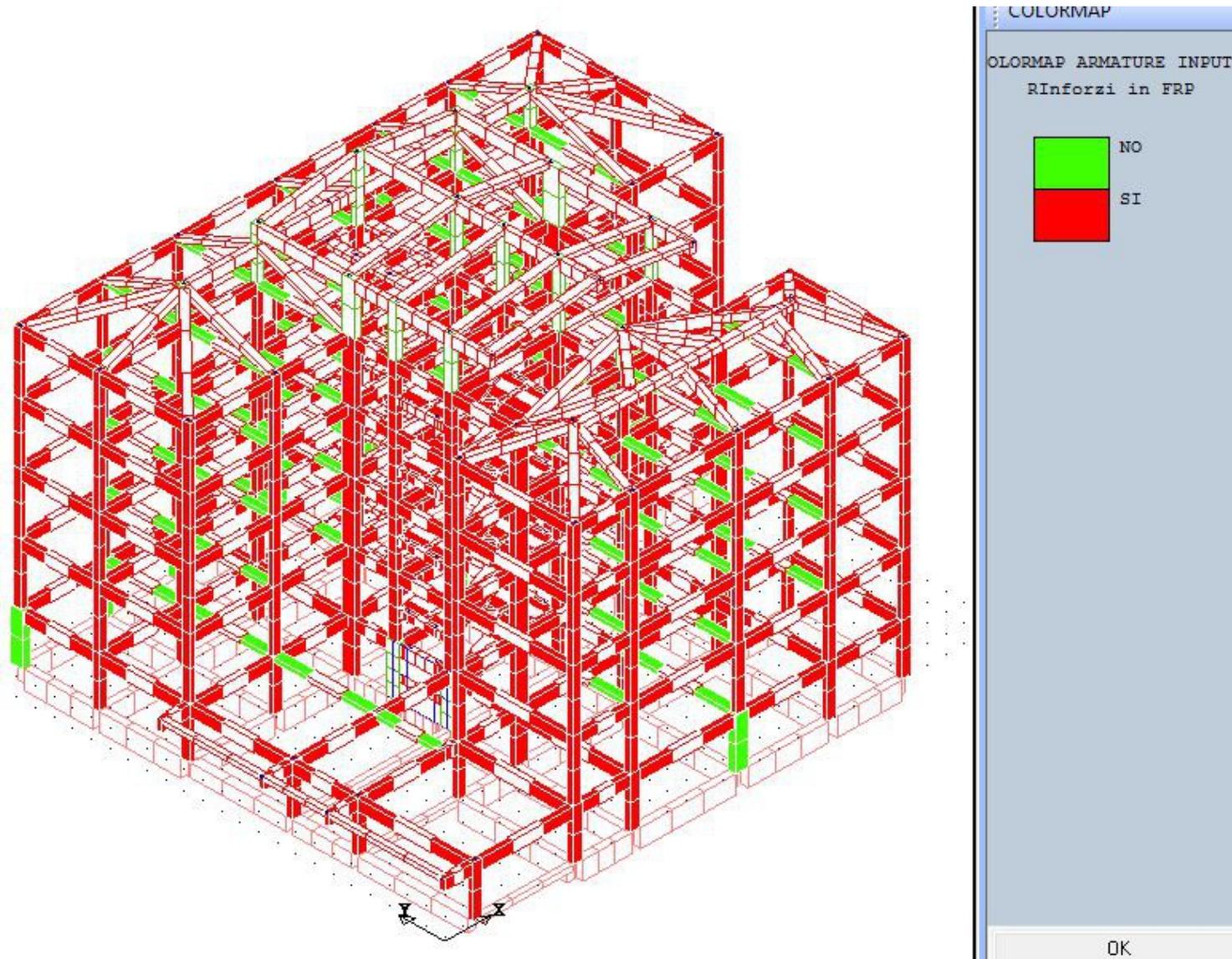
Percentuale
geometrica di rinforzo

Deformazione ridotta
di calcolo

RINFORZO A CONFINAMENTO

Horae 2012 *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it



In rosso gli elementi rinforzati con FRP

Ing. Carlo Brondi - www.horae.it - c.brondi@horae.it

Horae 2012 Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

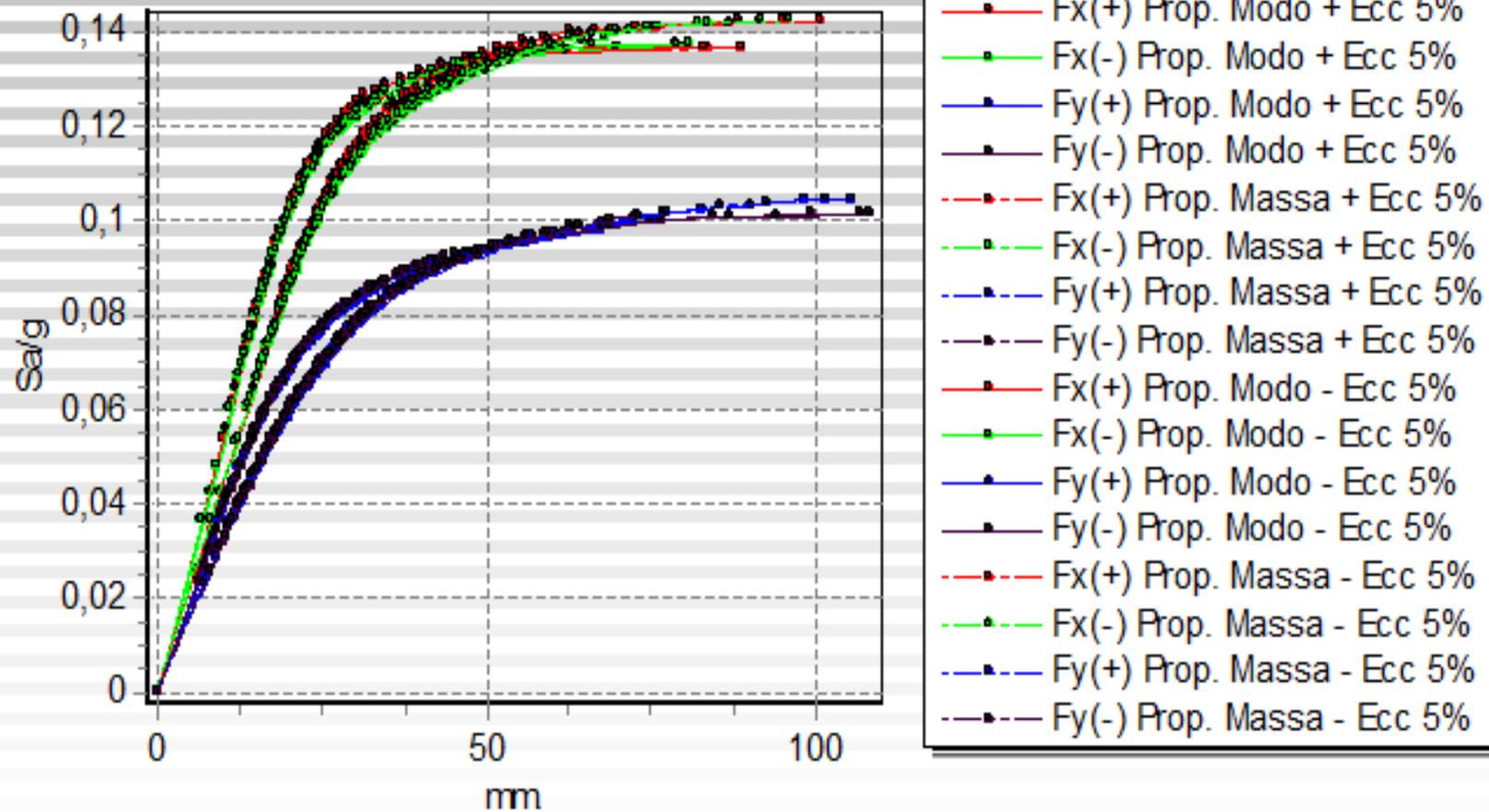
Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
DESCRIZIONE	TIPO DI POSA	TIPO FIBRA	ORIENTAMENTO	GRAMMA TURA	MV	SE	LARGHEZZA (mm)	Area res (mm ² /m)	Resistenza a trazione fibra N/mm ²	Carico Max Fibra KN/m	Modulo elastico	Deformazione caratteristica	TIPO
KIMITECH CB 1200	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	1200	1820	0,640	100	64	4800	307	230	1,9	A
KIMITECH CB 230	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	230	1820	0,121	200	24	4800	116	230	1,9	
KIMITECH CB 230	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	230	1820	0,121	500	61	4800	290	230	1,9	
KIMITECH CB 230	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	230	1820	0,121	600	73	4800	348	230	1,9	
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	50	8	4800	39	230	1,9	
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	100	16	4800	79	230	1,9	
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	150	25	4800	118	230	1,9	
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	200	33	4800	157	230	1,9	A
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	200	33	4800	157	230	1,9	
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	250	41	4800	197	230	1,9	
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	300	49	4800	236	230	1,9	
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	400	66	4800	315	230	1,9	
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	500	82	4800	394	230	1,9	A
KIMITECH CB 320	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	320	1820	0,164	500	82	4800	394	230	1,9	
KIMITECH CB 380 MTX	Wet-lay up	Carbonio	Quadriassiale	400	1820	0,053	200	11	4800	51	230	1,9	
KIMITECH CB 380 MTX	Wet-lay up	Carbonio	Quadriassiale	400	1820	0,053	300	16	4800	76	230	1,9	
KIMITECH CB 380 MTX	Wet-lay up	Carbonio	Quadriassiale	400	1820	0,053	485	26	4800	123	230	1,9	
KIMITECH CB 620	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	620	1820	0,348	200	70	4800	334	230	1,9	
KIMITECH CB 620	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	620	1820	0,348	250	87	4800	418	230	1,9	
KIMITECH CB 620	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	620	1820	0,348	400	139	4800	668	230	1,9	
KIMITECH CB 620	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	620	1820	0,348	500	174	4800	835	230	1,9	
KIMITECH CB 760 MTX	Wet-lay up	Carbonio	Quadriassiale	760	1820	0,101	300	30	4800	145	230	1,9	
KIMITECH CB 760 MTX	Wet-lay up	Carbonio	Quadriassiale	760	1820	0,101	485	49	4800	235	230	1,9	
KIMITECH CB 820	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	820	1820	0,450	100	45	4800	216	230	1,9	
KIMITECH CB 820	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	820	1820	0,450	200	90	4800	432	230	1,9	
KIMITECH CB 820	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	820	1820	0,450	500	225	4800	1080	230	1,9	
KIMITECH CBA 400	Wet-lay up	Carbonio	Monoassiale	400	1820	0,220	300	66	4200	277	390	0,8	
KIMITECH LP 300	Wet-lay up	Vetro	Biassiale	300	2600	0,058	500	29	2900	84	71	4,5	

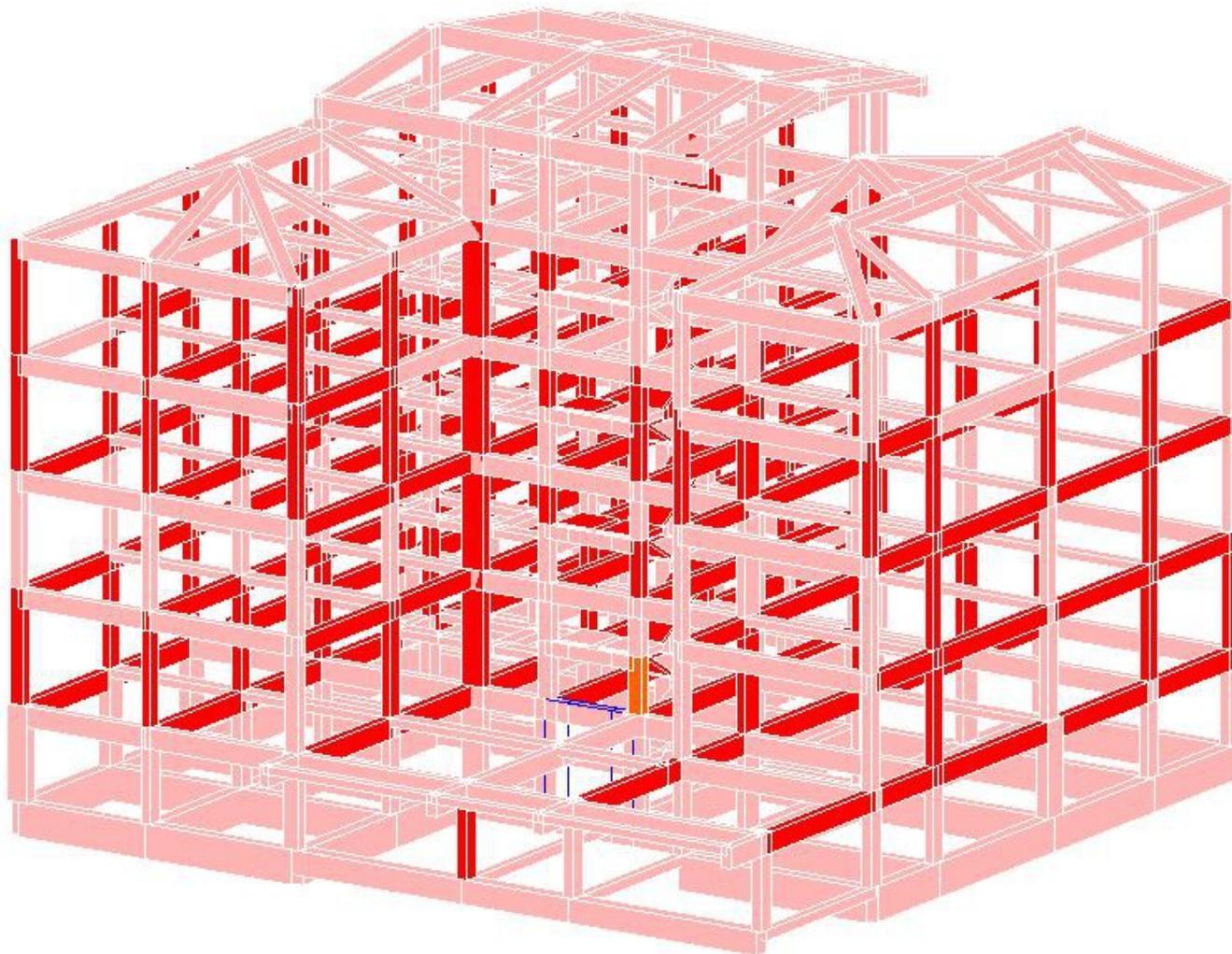
Scelta della tipologia di FRP

Ing. Carlo Brondi - www.horae.it - c.brondi@horae.it

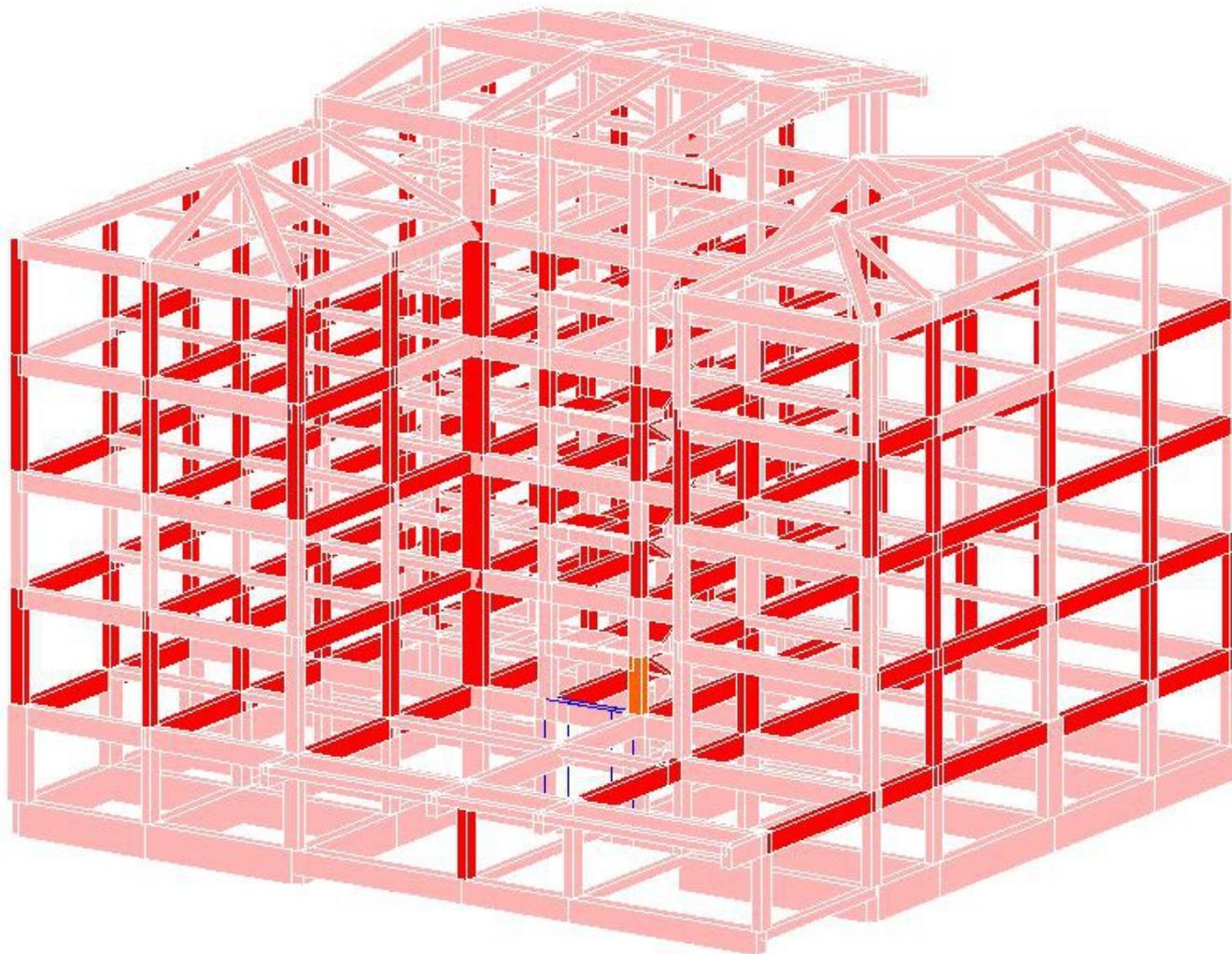
Spettro ADSR Sa/g - mm



Curve ADSR meccanismi fragili stato progetto



Tipologia di collasso stato di progetto



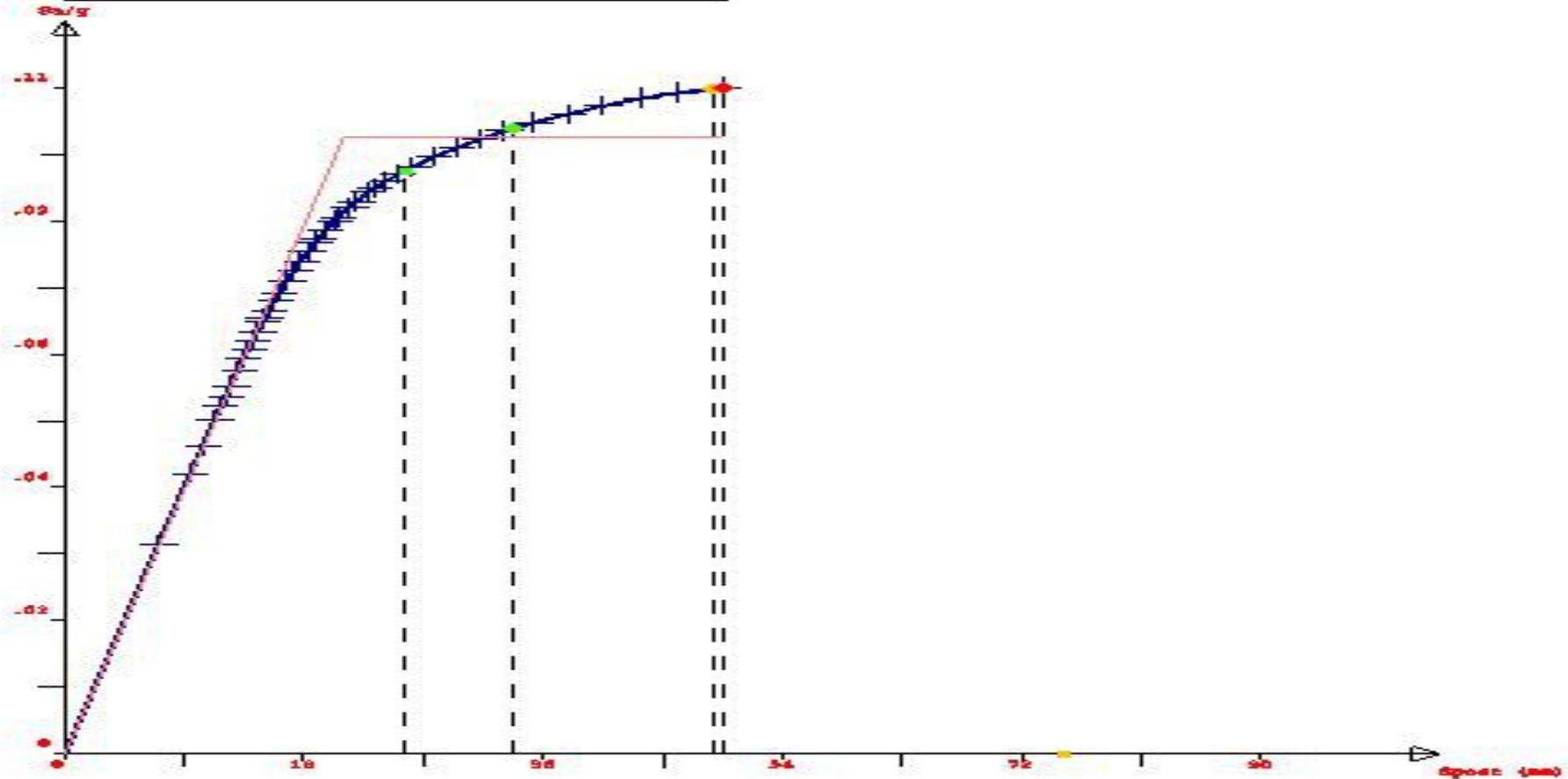
Tipologia di collasso stato di progetto

Horae 2012 Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it

Push-Over Nro: 2

S.L.S.:
● Domanda di spostamento : 25.6 mm
● Capacità di spostamento : 35.73 mm
● R_{gall} : .15 kg/g
S.L.V.:
● Domanda di spostamento : 39.25 mm
● Capacità di spostamento : 49.74 mm
● R_{gall} : .17 kg/g



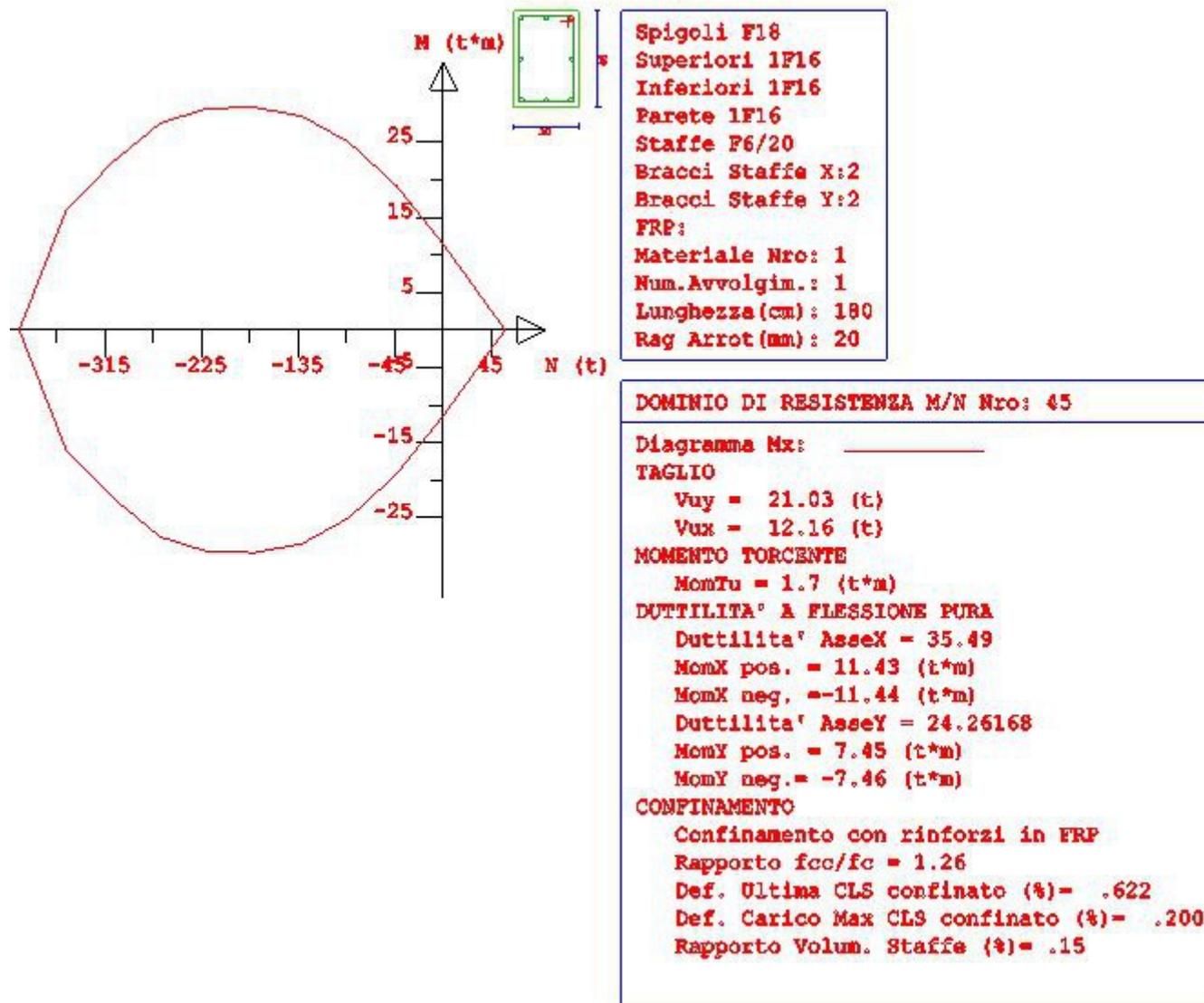
Curva ADSR minima

Horae 2012 Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it

RISULTATI GENERALI PUSH-OVER			
PUSH-OVER N.ro	2	-	DISTRIB. FORZE SECONDO DEFORMATA MODALE +Ecc5%
Angolo Ingr. Sisma (Grd)	180		Numero collassi totali
Numero passo Resist Max.	43		Numero passi significativi
Massa SDOF (t)	1930,05		Taglio alla base max. (t)
Coeff. Partecipazione	1,28		Resistenza SDOF (t)
Rigidezza SDOF (t/m)	9573,34		Spostam. Snervam. SDOF mm
Periodo SDOF (sec)	0,90		Rapporto di incrudimento
Rapporto Alfa/alfa1	3,184		Fattore struttura
Coeff Smorzam Equival.	23,000		Duttilita
STATO LIMITE DI DANNO			
DOMANDA		CAPACITA'	
Spostamento mm	26	Spostamento mm	34
S.L. Danno	VERIFICATO	Numero passo precedente	37
PgaLD/g	0,131	PgaLD/Pga 63%	1,272
Rapporto $q^*=F_e/F_y$	1,22	Asta3D Nro	
-----		TrCLD	84,000
-----		(TrCLD/TDLD) ^a	1,238
STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA			
DOMANDA		CAPACITA'	
Spostamento mm	75	Spostamento mm	49
S.L. Salvaguardia Vita	NON VERIFICA	Numero passo precedente	42
PgaLV/g	0,179	PgaLV/Pga 10%	0,690
Rapporto $q^*=F_e/F_y$	3,58	Asta3D Nro	723
-----		TrCLV	174,000
-----		(TrCLV/TDLV) ^a	0,661

Verifica push over minima



Dominio di resistenza



Finitura con primer



Preparazione superfici



Preparazione superfici con smussatura angoli



Posizionamento fibra quadriassiale



Impregnazione fibra



Posizionamento fibra monoassiale



Fibre mono e quadriassiali



Finitura con sabbia di quarzo



FRP su pilastro



Preparazione prove di pull off



Prova di pull off



Risultato prova di pull off

Horae 2012 *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

Tel. 075-5003198 Tel/fax 075-5004095 – www.horae.it - horae@horae.it

PER ULTERIORI INFORMAZIONI O CHIARIMENTI POTETE CONTATTARE TRAMITE SITO INTERNET O MAIL AI SEGUENTI INDIRIZZI

WWW.HORAE.IT
C.BRONDI@HORAE.IT
075-5003198

GRAZIE PER L'ATTENZIONE