



Analisi ad elementi finiti del comportamento statico e dinamico della **staffa Sunova** quale **dispositivo di fissaggio di elementi in alluminio porta pannelli fotovoltaici**.



## RELAZIONE DI CALCOLO

**SOLAR PLUS srl**

Via Pacquola San Donà di Piave (VE)

Analisi ad elementi finiti del comportamento  
statico e dinamico della **staffa Sunova**  
quale **dispositivo di fissaggio di elementi**  
**in alluminio porta pannelli fotovoltaici.**

Portogruaro, 12-12-2024

Ing. Massimo Ombrella



**SOLAR PLUS s.r.l.**

Via G. Pacquola, 40

30027, San Donà di Piave (VE)

+39.0421.480542 | info@solar-plus.it

**TECNO- / STUDIO**

Ing. Massimo Ombrella – Ing. Vincenzo Milan – Ing. Mauro Curioni – Ing. Paolo Campagna

30026 Portogruaro – Piazza Marinetti, 6 – Tel. e fax 0421-276272 / 394536

## Generalità

La ditta SOLAR PLUS distribuisce ed installa impianti fotovoltaici a pannelli inclinati su tetti di edifici industriali impermeabilizzati a membrana. Dal punto di vista del diritto amministrativo, gli impianti fotovoltaici costituiscono parte integrante dell'edificio e pertanto ad essi sono applicabili tutti i regolamenti edilizi e le norme sulle costruzioni, tra cui i requisiti in termini di sicurezza. Si deve dimostrare la stabilità dei componenti dell'impianto fotovoltaico e dell'edificio

ricevente. Il comportamento statico del prodotto contiene la verifica statica del telaio di montaggio e del collegamento all'edificio per condizioni normali. Per quanto riguarda la trasmissione di carichi dovuti alla depressione del vento, il generatore fotovoltaico è saldato in accoppiamento di forza con la guaina di rivestimento tramite supporti del profilo. Prendendo a riferimento i risultati dei test eseguiti dal Politecnico di Darmstadt – Verbale di collaudo B 07 0663 – un rivestimento con guaina realizzato e dimensionato secondo i requisiti di calcolo con fissaggio meccanico realizzato a regola d'arte sarà in grado di sostenere i carichi dovuti alla depressione del vento trasmessi dal generatore fotovoltaico all'impermeabilizzazione del tetto tramite i supporti dei profili SUNOVA, aventi resistenza a trazione certificata pari a 2 kN, che si conferma con la presente relazione.

Il comportamento dinamico, dovuto all'azione sismica, viene studiato con l'analisi modale con spettro di risposta in termini di frequenza, determinando i modi di vibrare ed il periodo di vibrazione, al fine verificare che l'accoppiamento staffa-profilato sia rigido ovvero non determini masse oscillanti che possano interferire con il comportamento dinamico del fabbricato (risonanza).

La verifica della stabilità della costruzione esistente, compreso il carico supplementare dovuto al peso dell'impianto fotovoltaico, non rientra nell'ambito della statica del prodotto e deve essere prodotta in modo specifico per il singolo progetto, tenendo conto di un carico supplementare al massimo pari a 10 daN/mq.

### NORME TECNICHE

- D.M. 17-01-2018 Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi
- UNI EN 1991-1-4 Azioni sulle costruzioni – Parte 1-4: Azioni del vento
- Eurocode 3 Design of steel structures
- Eurocode 9: Dimensionamento e progettazione di strutture in alluminio
- Istituto statale prove su materiali di Darmstadt: verbale di collaudo 070663, prove di trazione su sistemi di fissaggio su impermeabilizzazioni in polivinilcloruro (PVC) e/o poliolefine flessibili (FPO), del 16/04/2007.

### Metodo ad Elementi Finiti (FEM)

Viene creato un modello ad elementi finiti per analizzare il comportamento statico e dinamico di membrana accoppiata con profilato in alluminio, tenendo conto che il profilato è infilato nella forma a staffa della membrana e che sono collegate tramite un bullone in sommità. La staffa è in PVC oppure FPO (Poliolefine flessibili) di spessore 2 mm, misura 190 mm di lunghezza in direzione X, 120 mm di larghezza, in direzione Y; il profilato è di spessore 1,2 mm a forma quadrata 40 × 40 mm, lunghezza 230 mm, con un alloggiamento longitudinale per il bullone; la staffa risulta libera alle estremità longitudinali e risulta incollata alle estremità trasversali alla guaina inferiore (posata in copertura dell'edificio), per cui sono stati vincolati i nodi della membrana a quota Z=0. Nel modello FEM sono stati resi solidali tra loro i nodi a contatto con il bullone, sia per la membrana, sia per il profilato.

Sono state definiti i materiali con le loro proprietà meccaniche (peso specifico, resistenza a rottura, modulo elastico), in particolare per alluminio 6060-T6 e per i materiali plastici in base a bibliografia ed in base a scheda tecnica di produttore tipo MAPEI.

Sono stati creati elementi poligonal "Area" di dimensioni più piccole nelle zone di collegamento, complessivamente 362 elementi Area, 406 Nodi.

### Azione Vento e Azione Sismica

Il comportamento statico all'azione del vento ed il comportamento dinamico all'azione sismica hanno tenuto conto dell'interasse tra le selle in un sistema di profilati porta pannelli fotovoltaici; in particolare le dimensioni dei pannelli determinano la superficie dalla quale il carico del vento, il peso dei pannelli determina la massa dalla quale il carico sismico. Sono stati applicati ai nodi d'estremità del profilato il carico del vento complessivamente pari a 100 kgf in direzione Z verso l'alto (vento di aspirazione) e la massa complessivamente pari a 12 kg: in funzione della zona vento e della zona sismica, vanno calcolati gli interassi delle selle al fine di garantire idoneo comportamento.

### Risultati

Sono calcolate le tensioni sugli elementi Area, "stress" e le deformazioni, "strain"; gli spostamenti dei nodi; i modi di vibrare ed il periodo proprio dei primi 6 modi di vibrare (Si vedano diagrammi in unità di misura kgf, cm, sec). Nel dettaglio, la membrana risulta sollecitata a tensioni mediamente pari a 75 kgf/cmq inferiori al carico di rottura pari a 110 kgf/cmq, compatibile con i risultati sperimentali. Il profilato di alluminio risulta sollecitato a tensioni mediamente pari a 2120 kgf/cmq inferiori al carico di rottura pari a 2300 kgf/cmq, con spostamento verso l'alto di 0,7 mm.

La deformata del primo modo di vibrare è una traslazione trasversale (in direzione Y) con periodo  $T=0,32$  sec; quella del secondo modo di vibrare è una rotazione attorno all'asse Z con periodo  $T=0,08$  sec; il terzo modo di vibrare è una rotazione attorno all'asse Y con periodo  $T=0,05$  sec; il quarto è una rototraslazione con periodo  $T=0,04$  sec; il quinto modo di vibrare è una traslazione longitudinale (in direzione X) con periodo  $T=0,03$  sec e simile anche il sesto.

### CONCLUSIONE

Applicando le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17-01-2018 detto NTC 2018), sono state calcolate le azioni del vento e l'azione sismica. Le azioni del vento hanno confermato la resistenza a trazione ricavata da prove di laboratorio, pari a 2 kN. L'azione sismica condotta con l'analisi dinamica modale, ha determinato le deformate dei primi 6 modi di vibrare, di cui il primo modo ha periodo proprio  $T=0,3$  sec **risultando del tutto compatibile con il periodo proprio degli edifici più comuni, a dimostrazione che il sistema di fissaggio è idoneo.**

Portogruaro, 12-12-2024

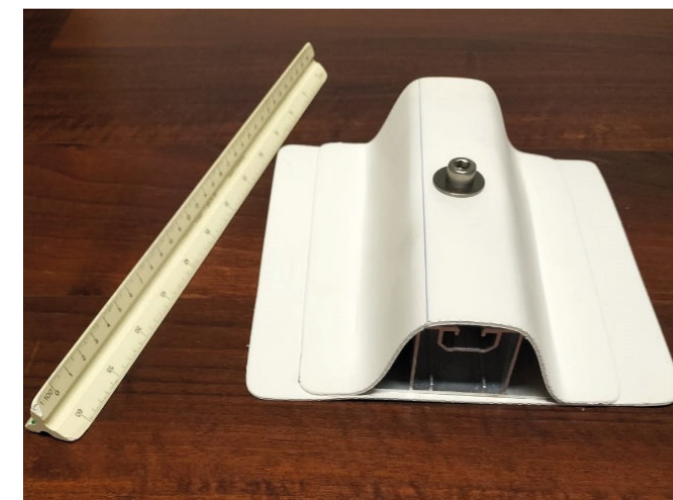
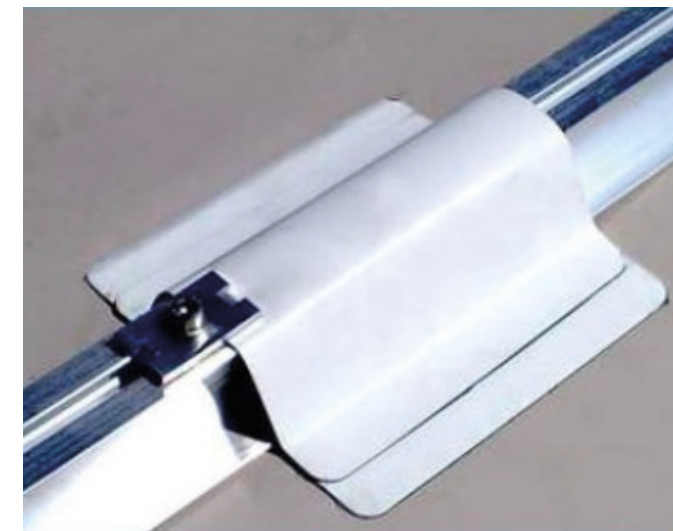
Ing. Massimo Ombrella



**TECNO-I** STUDIO

Ing. Massimo Ombrella – Ing. Vincenzo Milan – Ing. Mauro Curioni – Ing. Paolo Campagna  
30026 Portogruaro – Piazza Marinetti, 6 – Tel. e fax 0421-276272 / 394536

## STAFFE SUNOVA ACCOPPIATA MEMBRANA IN PVC - PROFILATI IN ALLUMINIO



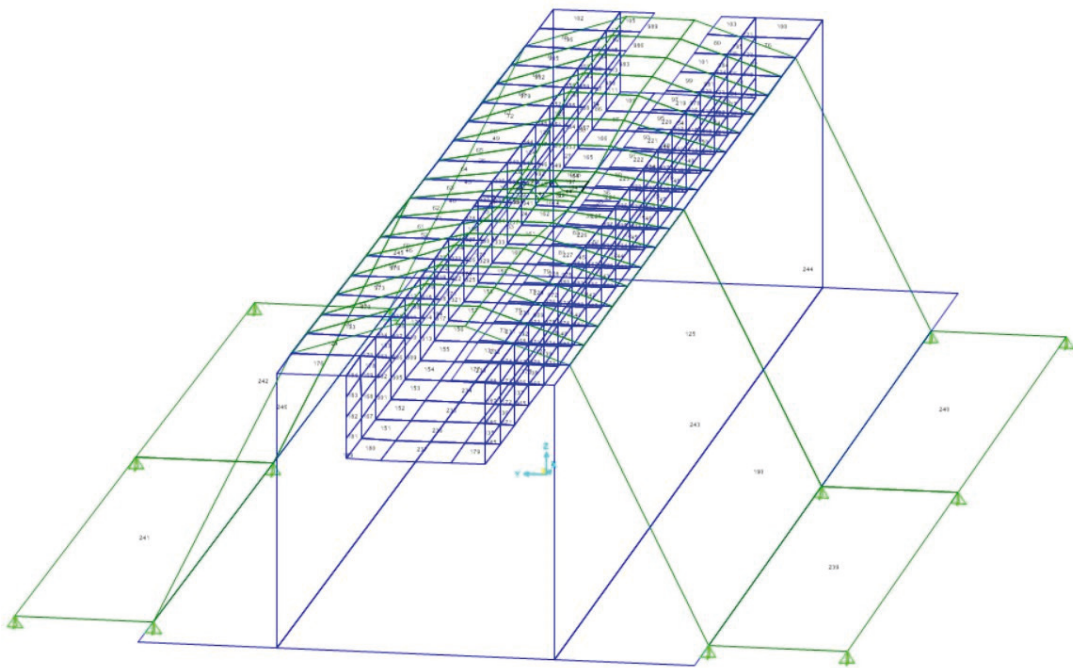
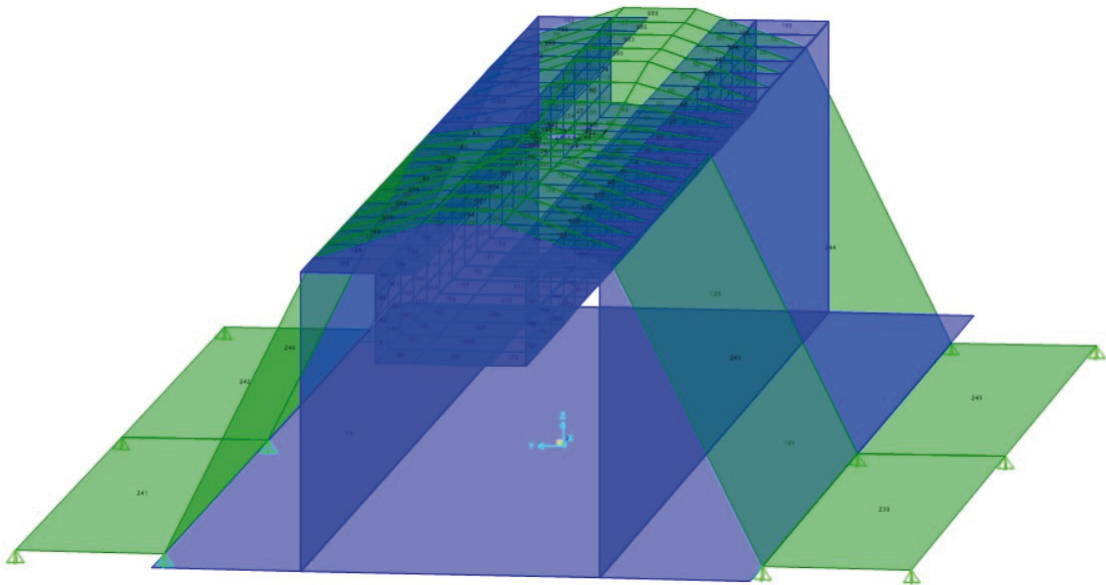
BIBLIOGRAFIA

LE MATERIE PLASTICHE Patron Editore - Bologna

Materiale	Modulo iniziale (kg/mm²)	Carico di rottura (kg/cm²)	Allungamento (%)	Resilienza (kg/cm)	Durezza Rockwell R
Polietilene: a bassa densità	16,5	140	da 90 a 800	12	10
Polietilene: ad alta densità	84	280	da 15 a 100	8	40
Polivinilcloruro rigido	280 ÷ 350	400 ÷ 550	da 2 a 30	5	110
Polipropilene	140	350	da 10 a 700	8 ÷ 12	90
Polistirolo	315	490	1 ÷ 2	12 ÷ 14	75
Polimetilmetacrilato (plexiglass)	300	560	5 ÷ 7	20	220
Poliammidi: nylon 6,6	290	820	60	5 ÷ 15	118
Politetrafluoroetilene	45	175	da 100 a 350	8 ÷ 9	70
Policarbonato	240	630	110	10	118
Resina ABS	200 ÷ 240	280 ÷ 490	da 20 a 80	da 1 a 7	95
Resine acetaliche	365	700	50	1,5	120
Resina fenolica (non caricata)	700	520	0	0,2	125
Resina fenolica caricata con cellulosa	750 ÷ 850	550 ÷ 600	0,5	0,2	140
Resina poliestere stirol caricata con fibre di vetro	350 ÷ 1100	550 ÷ 1800	0,5 ÷ 1,5	6 ÷ 10	100 ÷ 300
Resina epossidica (non caricata)	200	140	2 ÷ 6	0,6	90
Resina siliconica	850	245	0	0,3	89
Resina ureitanica	-	350	-	-	-

MODELLO 3D

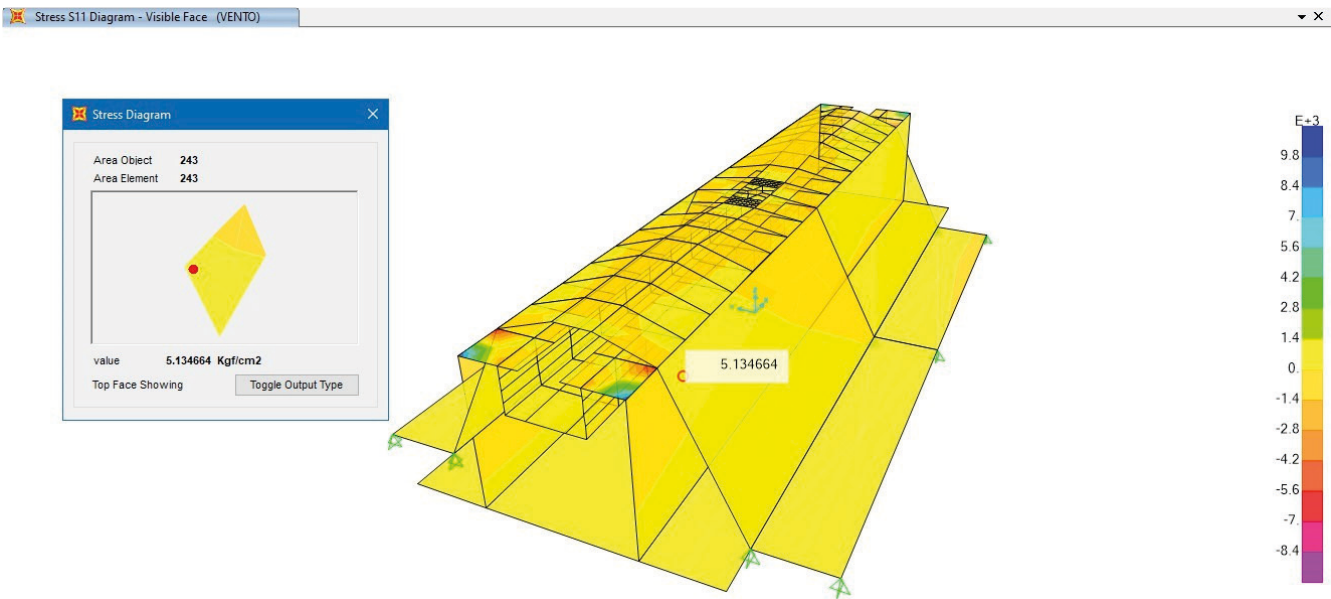
MEMBRANA IN PVC (verde) - PROFILO IN ALLUMINIO (blu)



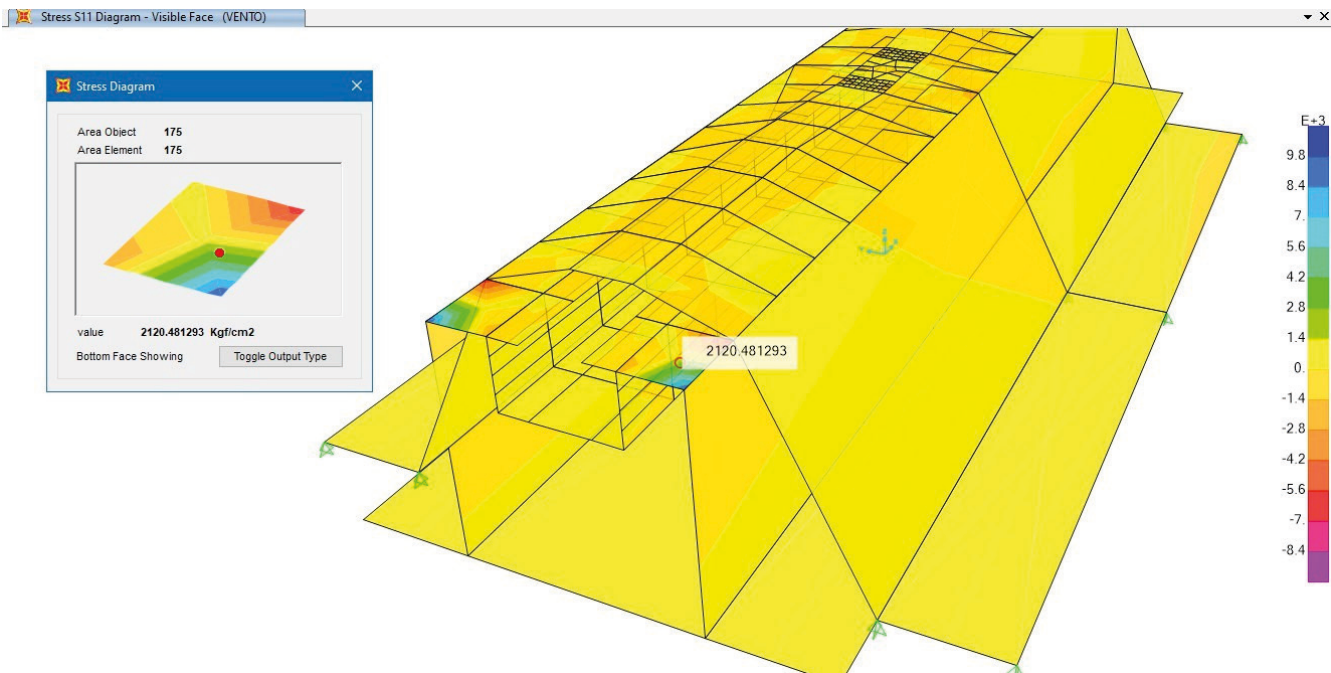


# AZIONE DEL VENTO

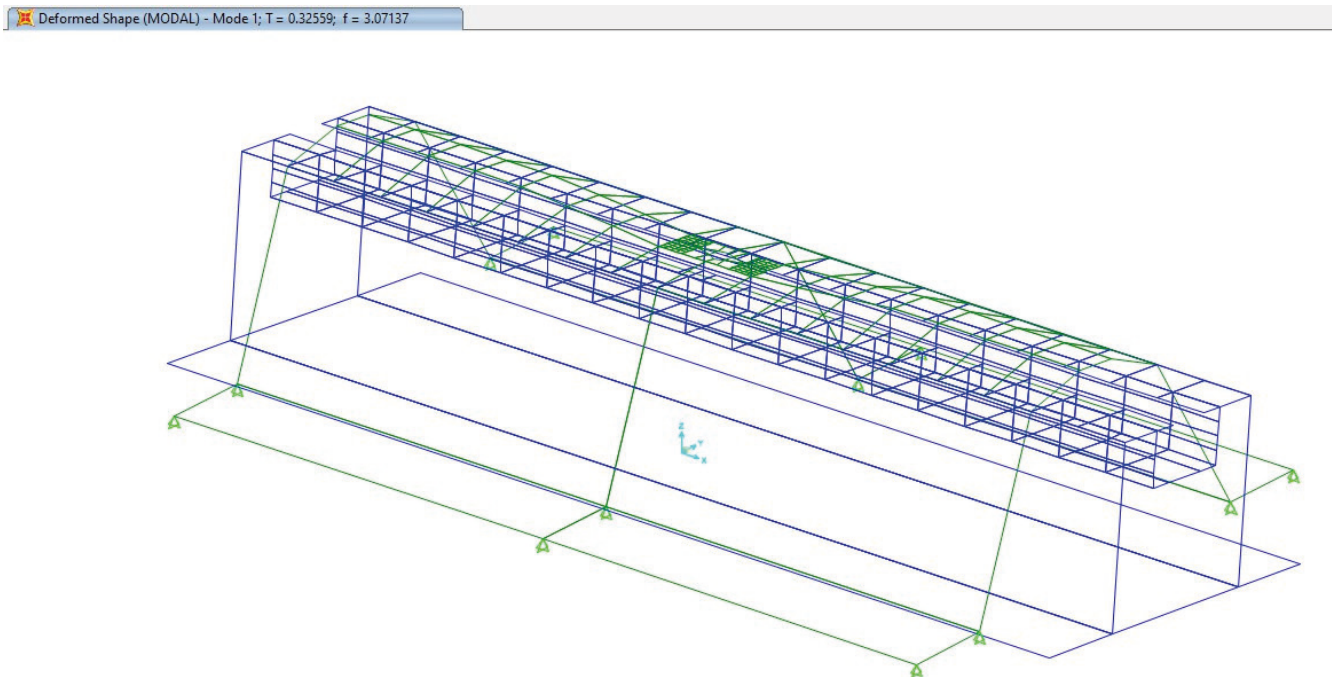
MEMBRANA STRESS (S11 = 5,1 kgf/cmq)



PROFILATO STRESS (S11 = 2120 kgf/cmq)



# PRIMO MODO DI VIBRARE



INGEGNERI della PROVINCIA DI VENEZIA  
ING. MASSIMO OMBRELLA  
N. 2452  
M. Ombrella



**SOLAR PLUS s.r.l.**

Via G. Pacquola, 40

30027, San Donà di Piave (VE)

+39.0421.480542 | [info@solar-plus.it](mailto:info@solar-plus.it)