



REGIONE BASILICATA
PROVINCIA DI MATERA
COMUNE DI TRICARICO



PROGETTO DEFINITIVO - Autorizzazione Unica ex d.lgs. 387/2003

Impianto agrivoltaico di potenza nominale pari a
12,64°MWp e relative opere di connessione proposti da
Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico srl in agro del
Comune di Tricarico denominato "Tricarico 1"

Titolo elaborato

Codice elaborato

A.7. Relazione di calcolo preliminare strutture e fondazioni

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
007.22.01	A	R07	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
MAGGIO 2022	PRIMA EMISSIONE	3E Ingegneria	3E Ingegneria	Solaria

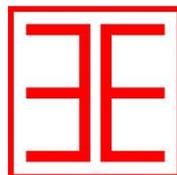
Proponente



**Solaria Promozione e Sviluppo
Fotovoltaico srl**

Via Sardegna 38
00187 Roma
solariapromozionesviluppofotovoltaicosrl
@legalmail.it

Progettazione



3E Ingegneria srl

Via G. Volpe, 92 56121 PISA
Tel. +39 050 44428

info@3eingegneria.it
www.3eingegneria.it



Consulenze specialistiche

GEOLOGIA:

Dott. Geol. Luca Bargagna
Via Ascanio Tealdi, 16
56124 Pisa
Tel/Fax: +39 050 9910582
Mob: +39 328 7673773
e-mail: lb75.geo@gmail.com
e-mail
certificata: lb75.geo@pec.it

Studio Professionale Agroambientale

Agronomo MONTANARO Michele
P.zza Padre P. Gallipoli, 9
75024 Montescaglioso (MT)
tel/fax 0835404961 cell 3395324210
mail:montanaromichele@virgilio.it
@pec: m.montanaro@epap.conafpec.it

ARCHEOLOGIA:

Dott.ssa Gloriana Pace
Archeologa PhD
Via Carlo Cassola, 13
56033 Capannoli (PI)
Tel./Fax: +39 0587607539
Mobile: +39 3494075038
E-mail: gloriana.pace@virgilio.it

TOPOGRAFIA:

Geom. Vittorio Angelelli
S.T.A.
Via Rio Secco 11,
41057 Spilamberto (Mo)
+39 3483344739



Sommario

1	GENERALITÀ.....	3
1.1	Dati generali identificativi della società proponente	3
1.2	Dati generali del progetto	3
2	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO	4
3	METODI DI VERIFICA E MATERIALI IMPIEGATI	5
4	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA STRUTTURA.....	6
5	ANALISI DEI CARICHI.....	8
5.1	Carichi sulle travi	8
5.2	Combinazioni di carico.....	8
6	CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE	10
7	PROGETTO DELLE SEZIONI, VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO	12
7.1	Verifica della trave SLU (Pressoflessione).....	12
7.1.1	Sezione di mezzeria.....	12
7.1.2	Sezione appoggio	14
7.2	VERIFICA DEL PILASTRO SLU (Pressoflessione).....	16
8	STRUTTURE DI SUPPORTO.....	19



1 GENERALITÀ

1.1 DATI GENERALI IDENTIFICATIVI DELLA SOCIETÀ PROPONENTE

La società proponente è la Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico S.R.L., con sede in Via Sardegna 38 00187 Roma, in persona del dott. Jesus Fernando Rodriguez Madrideo Ortega in qualità di rappresentante legale e direttore operativo.

1.2 DATI GENERALI DEL PROGETTO

La presente relazione riguarda il calcolo preliminare delle strutture principali che costituiscono l'impianto agrivoltaico (in generale "fotovoltaico") denominato "TRICARICO°1" con potenza di circa **12.641 MW_p**, da realizzare nel comune di Tricarico in provincia di Matera, regione Basilicata. L'impianto fotovoltaico occuperà aree agricole poste a Nord-Est del centro abitato di Tricarico. L'impianto fotovoltaico è ubicato nel comune di Tricarico (MT), a circa 6,7 km a Nord-Est del centro abitato. Il comune di Tricarico (MT) è inoltre interessato dalle opere di connessione alla rete di e-distribuzione. L'inquadramento dell'intero layout è riportato nella tavola allegata.

La potenza richiesta in immissione per l'impianto fotovoltaico riportata nella STMG rilasciata da E-Distribuzione è pari a **9,9 MW**.

Per tale impianto è previsto il collegamento elettrico alla rete di media tensione a 20 kV di E-Distribuzione, mediante la realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata in antenna, per mezzo di una nuova linea MT, alla CP esistente 20kV "TRICARICO".



2 NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

- Legge n° 1086 del 5/11/1971 e conseguente D.M. ministero LL.PP. del 09/01/1996 "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le trutture metalliche";
- D.M. ministero LL.PP. 16/01/1996 "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";
- Circolare n° 156 AA.GG./STC del 04.07.1996 Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi."
- D.M. 09.01.1996 "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche";
- Ordinanza P. C. M. 20 marzo 2003 n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche 2 ottobre 2003 n. 3316 e 3 maggio 2005 n. 3431;
- D.M. Min LL. PP 14/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni".



3 METODI DI VERIFICA E MATERIALI IMPIEGATI

Per la verifica di tutti gli elementi strutturali si è utilizzato il metodo agli stati limite, come previsto dalle nuove Norme Tecniche per le costruzioni D.M. Min LL. PP 14/01/2018.

Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche assunte nelle analisi ed i relativi coefficienti di sicurezza parziali:

Calcestruzzo

R_{ck}	$\geq 30 \text{ N/mm}^2$	Valore caratteristico della resistenza cubica.
f_{ck}	24.9 N/mm^2	Valore caratteristico della resistenza cilindrica.
α_{vv}	0.85	Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata.
γ_c	1.5	Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.
f_{cd}	14.11 N/mm^2	Valore di calcolo della resistenza a compressione.

Acciaio per barre e reti e.s.

Tipo: B 450 C

f_{yk}	450	N/mm^2	Tensione caratteristica di snervamento.
γ_s	1.15		Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo.
f_{yd}	391.30	N/mm^2	Valore di calcolo della resistenza (riferita alla tensione di snervamento)



4 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA STRUTTURA

Nella figura seguente si riportano gli schemi di riferimento della pianta del fabbricato "cabina di campo" e "cabina di impianto" con i valori delle rispettive dimensioni.

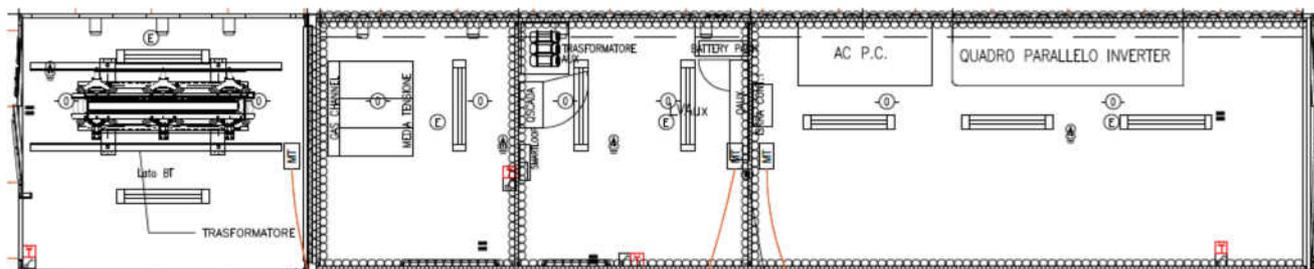


Fig. 1 - Cabina di campo - pianta

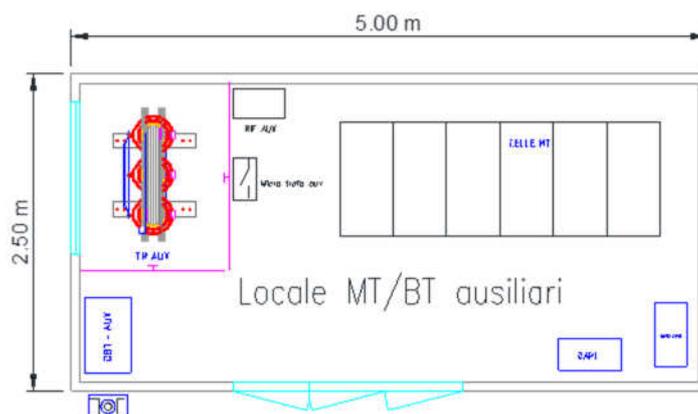


Fig. 2 - Cabina di impianto - pianta

L'analisi della struttura è stata condotta prendendo in esame il telaio trasversale piano ad unica campata.

Lo schema statico utilizzato per le analisi è quello di portale incastrato alla base, di seguito si riportano le dimensioni caratteristiche degli elementi strutturali.

<u>Trave</u>	luce	(l = 3.4m)
sezione	(B = 0.3m)	(H = 0.5m)
<u>pilastri</u>	altezza	(h = 4m)
	sezione	(B = 0.3m) (H = 0.3m)



Le azioni provenienti dal solaio sono state applicate al telaio in base alla loro superficie di influenza.



5 ANALISI DEI CARICHI

Per le analisi dei carichi si è fatto riferimento al D.M. Min LL. PP 14/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

5.1 CARICHI SULLE TRAVI

Carichi permanenti (peso proprio trave)

25x0.3x0.5 **3.75 kN/m**

Carichi permanenti (solaio)

Travetto	1.2 kN/m ²
Soletta	1.0 kN/m ²
Laterizio	1.3 kN/m ²
Intonaco	0.3 kN/m ²
Impermeabilizzazione	0.3 kN/m ²
Totale	3.5 kN/m ²

Carichi accidentali

Copertura (carichi mobili e impianti)	2.0 kN/m ²
Neve	0.8 kN/m ²

5.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni provenienti dal solaio vengono applicate alle travi del telaio in base alla loro superficie di influenza.

In particolare le aree di influenza sono state ottenute assegnando ad ogni trave la metà delle superfici delle campate adiacenti. Un tale procedimento trova giustificazione nel fatto che l'impalcato risulta ordito nella direzione ortogonale a quella delle travi, è quindi su queste ultime che si scaricheranno in misura prevalente i carichi gravanti sullo stesso.

Di seguito si riportano i valori:

G	24.25 kN/m
Q ₁	10 kN/m
Q _{NEVE}	2.4 kN/m



Le azioni vengono combinate in modo da ottenere configurazioni di carico in cui sono rappresentati i massimi effetti delle sollecitazioni. Tali valori saranno utilizzati successivamente nella fase di dimensionamento e verifica.

In particolare è stata utilizzata la combinazione fondamentale per gli stati limite ultimi SLU:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot G_P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Nel nostro caso, data la semplicità dello schema strutturale preso in considerazione, la combinazione assume la forma:

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2}$$

Dove:

γ_{Gi} coefficienti parziali per le azioni o l'effetto delle azioni (carichi permanenti)

1.3

γ_{Qi} coefficienti parziali per le azioni o l'effetto delle azioni (carichi variabili)

1.5

ψ_{01} coefficienti di combinazione (magazzini, ambienti ad uso industriale)

1.0

ψ_{0neve} coefficienti di combinazione (neve)

0.5

Le combinazioni di carico prevedono, per il telaio in esame, un'azione pari a:

49.6 kN/m (carico accidentale predominante: Q_1)

52.6 kN/m (carico accidentale predominante: Q_{NEVE})



6 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE

Nel disegno e nella tabella seguenti si riportano lo schema statico e le caratteristiche geometriche della struttura in esame. Il telaio è costituito da pilastri di sezione 30x30 cm mentre il traverso è costituito da una trave di lunghezza 3.4 m e sezione 30x50 cm.

La struttura è stata caricata con un'azione ripartita: $q=52.6$ kN/m

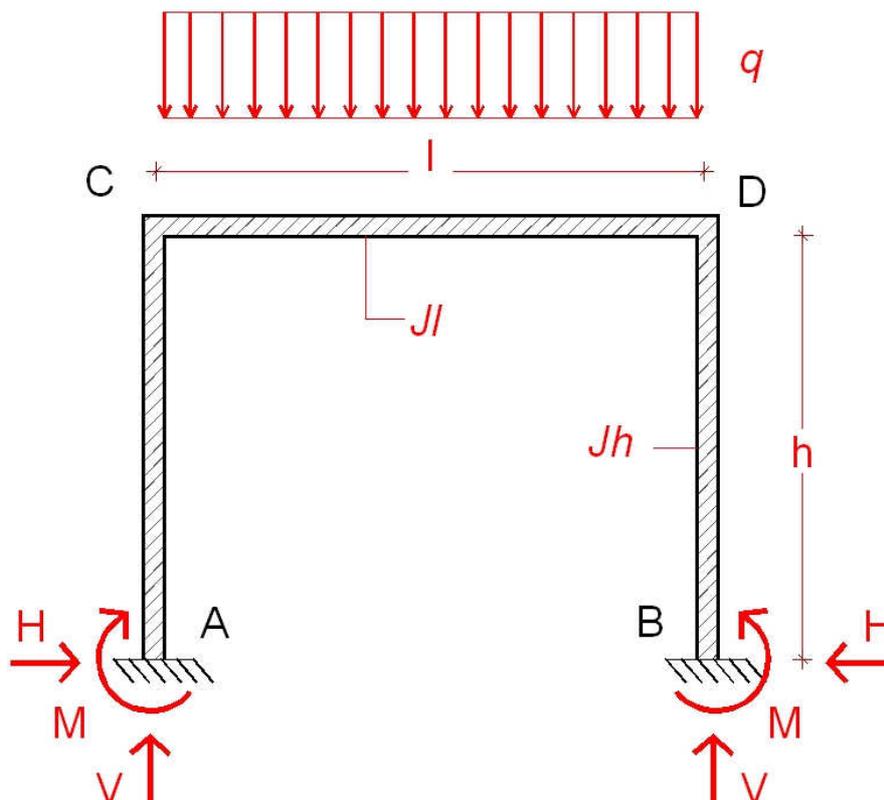


Fig. 4 - Schema del telaio

B_{trave}	0.3	m
H_{trave}	0.5	m
$B_{pilastro}$	0.3	m
$H_{pilastro}$	0.3	m
l	3,4	m
h	4,0	m
Jh	0,001	m ⁴
JI	0,003	m ⁴

Tab. 1 - Caratteristiche geometriche del Telaio

L'analisi della struttura è stata svolta secondo un calcolo elastico lineare.

Lo schema strutturale preso in considerazione, è quello di telaio piano ad una campata incastrato alla base.



Il calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali è stato svolto con l'ipotesi di traverso rigido, nella tabella seguente vengono riportati i valori risultanti dalle analisi.

M_A	6,8	kN m
M_B	6,8	kN m
M_C	-13,6	kN m
M_D	-13,6	kN m
$M_{(l/2)}$	62,4	kN m
V_A	89,4	kN m
V_B	89,4	kN m
H_A	5,1	kN m
H_B	-5,1	kN m

Tab. 2 - Sollecitazioni agenti sul Telaio



7 PROGETTO DELLE SEZIONI, VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Tutti i calcoli sono stati eseguiti seguendo i metodi della scienza delle costruzioni, prescindendo dal contributo a trazione del conglomerato, assumendo come area della sezione resistente quella corrispondente al conglomerato compresso ed alle aree metalliche tese e compresse affette da un coefficiente di omogeneizzazione $n=15$, tali calcoli sono stati eseguiti in parte manualmente ed in parte con l'ausilio di programmi di calcolo.

Tutte le verifiche di resistenza sono state eseguite con il metodo agli stati limite, facendo costante riferimento a quanto stabilito dalle normative in vigore.

In via preliminare è stata eseguita una verifica generale degli elementi strutturali in condizioni di "Stato Limite Ultimo". Le sezioni sono state analizzate facendo riferimento alle condizioni di carico e di sollecitazione più gravose per ciascun singolo elemento.

Di seguito si riportano le fasi di calcolo e le verifiche per le sezioni esaminate della trave e dei pilastri:

7.1 VERIFICA DELLA TRAVE SLU (PRESSOFLESSIONE)

7.1.1 Sezione di mezzeria

$$H = 0.5 \text{ m}$$

$$B = 0.3 \text{ m}$$

$$N_{SD} = 0 \text{ kN m}$$

$$M_{SD} = 62,4 \text{ kN m}$$

$$As \text{ (Armatura tesa)} \quad 4 \phi 12 \quad 4.52 \text{ cm}^2$$

$$As' \text{ (Armatura compressa)} \quad 4 \phi 12 \quad 4.52 \text{ cm}^2$$



Titolo : _____

N° figure elementari N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	30	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	4,52	3,7
2	4,52	46,3

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd} kNm

Materiali
 B450C C25/30
 E_{su} ‰ E_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² E_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 E_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰
 σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.
 DXF

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.
 Calcola MRd Dominio M-N
 o cm Col. modello

 Precompresso

Fig. 5 - Calcolo SLU trave - sezione di mezzeria (sw utilizzato: Gelfi)

$M_{RD} = 78,16 \text{ kN m} > M_{SD}$

verifica soddisfatta

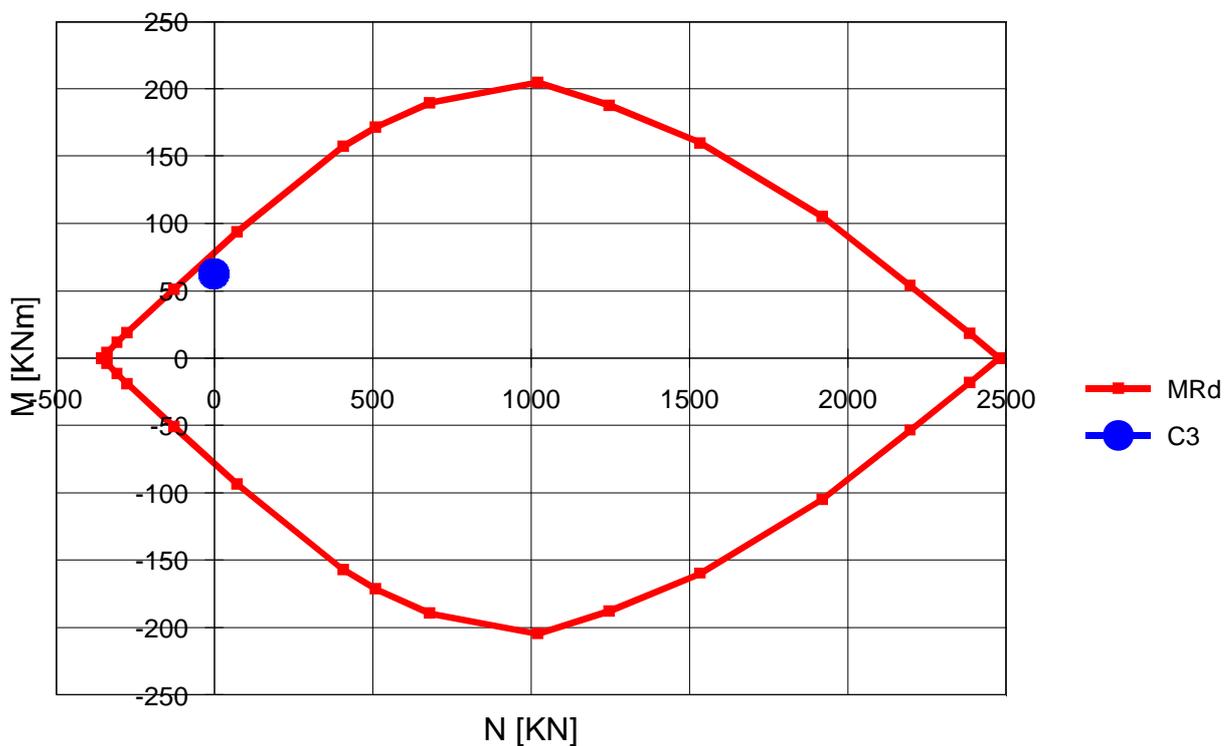


Fig. 6 - Rappresentazione dominio SLU trave - sezione di mezzeria

7.1.2 Sezione appoggio

H = 0.3 m

B = 0.5 m

$N_{SD} = 0$ kN m

$M_{SD} = -13,6$ kN m

As (Armatura tesa)

4 ϕ 12

4,52 cm²

As' (Armatura compressa)

4 ϕ 12

4,52 cm²



Titolo : _____

N° figure elementari **N° strati barre** **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	30	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	4,52	3,7
2	4,52	46,3

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.
 DXF

Sollecitazioni
 S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd}

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

 ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co}
 τ_{c1}

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

 cm

 Precompresso

Fig. 7 - Calcolo SLU trave - sezione appoggio (sw utilizzato: Gelfi)

$M_{RD} > M_{SD}$

verifica soddisfatta

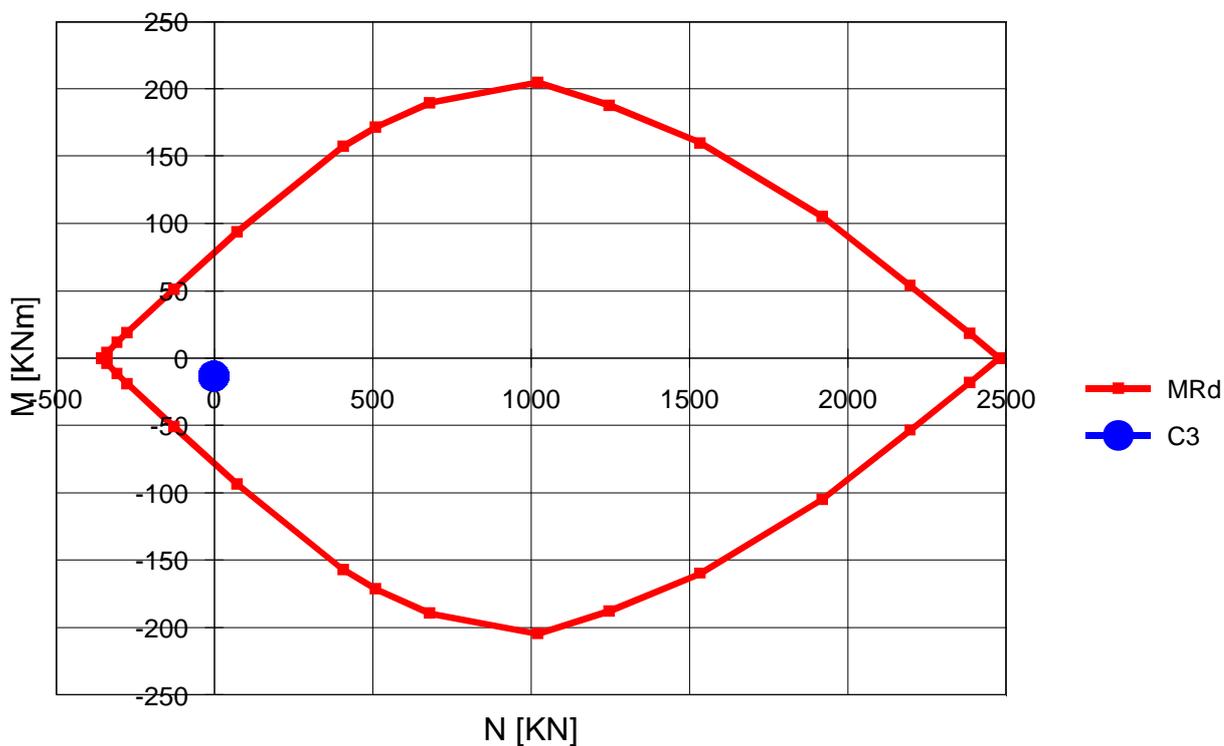


Fig. 8 - Rappresentazione Dominio SLU trave - sezione appoggio

7.2 VERIFICA DEL PILASTRO SLU (PRESSOFLESSIONE)

B = 0.3 m

$N_{SD} = 89,4$ kN

$M_{SD} = 6,8$ kN m

A_s 4 ϕ 12 4,52 cm²

$A_{s'}$ 4 ϕ 12 4,52 cm²



Titolo : _____

N° figure elementari **N° strati barre** **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	30	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	4,52	3,7
2	4,52	26,3

Sollecitazioni
 S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} <input type="text" value="89,4"/>	<input type="text" value="0"/> kN
M_{xEd} <input type="text" value="6,8"/>	<input type="text" value="0"/> kNm
M_{yEd} <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	<input type="text" value="67,5"/> ‰	ϵ_{c2}	<input type="text" value="2"/> ‰
f_{yd}	<input type="text" value="391,3"/> N/mm ²	ϵ_{cu}	<input type="text" value="3,5"/>
E_s	<input type="text" value="200.000"/> N/mm ²	f_{cd}	<input type="text" value="14,17"/>
E_s/E_c	<input type="text" value="15"/>	f_{cc}/f_{cd}	<input type="text" value="0,8"/> ?
ϵ_{syd}	<input type="text" value="1,957"/> ‰	$\sigma_{c,adm}$	<input type="text" value="9,75"/>
$\sigma_{s,adm}$	<input type="text" value="255"/> N/mm ²	τ_{co}	<input type="text" value="0,6"/>
		τ_{c1}	<input type="text" value="1,829"/>

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} <input type="text" value="52,83"/> kN m
σ_c <input type="text" value="-14,17"/> N/mm ²
σ_s <input type="text" value="391,3"/> N/mm ²
ϵ_c <input type="text" value="3,5"/> ‰
ϵ_s <input type="text" value="14,38"/> ‰
d <input type="text" value="26,3"/> cm
x <input type="text" value="5,148"/> x/d <input type="text" value="0,1957"/>
δ <input type="text" value="0,7"/>

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.
 DXF

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd

cm

Precompresso

Fig. 9 - Calcolo SLU pilastro (sw utilizzato: Gelfi)

$M_{RD} = 52,83 \text{ kN m} > M_{SD}$

verifica soddisfatta

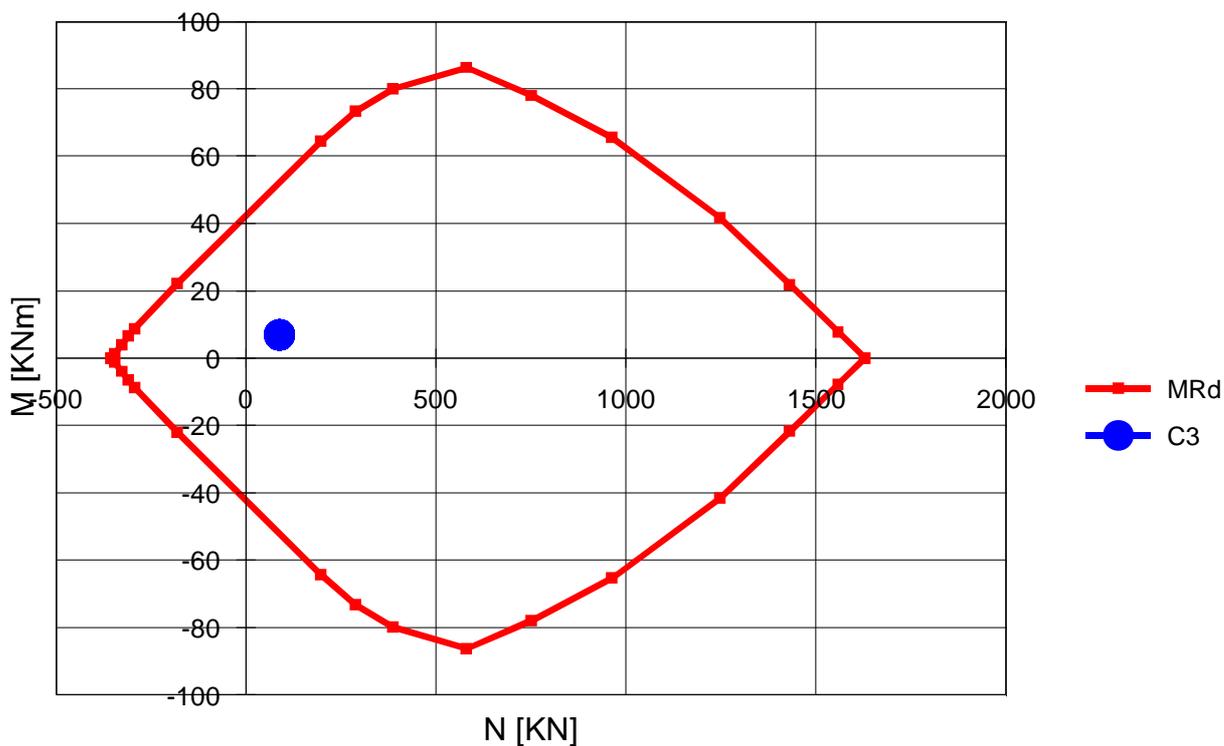


Fig. 10 - Rappresentazione dominio SLU pilastro



8 STRUTTURE DI SUPPORTO

Le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici impiegati sono di tipo fisso con un unico tipo di matrici di pannelli: FV 26x2

La struttura è caratterizzata da un sistema di montaggio innovativo sviluppato in base a conoscenze scientifiche e normative. Il montaggio modulare offre possibilità quasi illimitate di assemblaggio per i moduli maggiormente in circolazione sul mercato.

Per mezzo dello sviluppo di particolari morsetti di congiunzione si riducono al minimo i tempi di montaggio.

La struttura metallica è costituita essenzialmente da:

- Il corpo di sostegno disponibile come sostegno singolo o articolato a seconda del numero di moduli da applicare. La leggerezza dell'alluminio e la robustezza dell'acciaio raggiungono un'ottima combinazione e attraverso il profilo monoblocco vengono evitate ulteriori giunzioni suscettibili alla corrosione e alla maggiore applicazione.
- Le traverse sono rapportate alle forze di carico. Tutti i profili sono integrati da scanalature che permettono un facile montaggio. Le traverse sono fissate al sostegno con particolari morsetti.
- Le fondazioni costituite semplicemente da un profilato in acciaio zincato a caldo conficcato nel terreno disponibile in 6 lunghezze standard. La forma del profilo supporta ottimamente i carichi statici e dinamici. Rispetto ai profili laminati il risparmio di materiale è del 50%.

Grazie ai pochi componenti che costituiscono la struttura il tempo di montaggio è particolarmente ridotto. Il conficcamento dei profili in acciaio viene realizzato da ditte specializzate. Il dimensionamento dei profili di fondazione viene svolto a seguito di una perizia geologica per determinare il calcolo ottimale della profondità di infissione dei profilati, in relazione al tipo di terreno. In questo modo viene garantito un ottimale utilizzo dei profili e dei materiali. La struttura di supporto è garantita per 25-30 anni.

Sinteticamente i vantaggi della struttura utilizzata si possono così riassumere:

Logistica

Alto grado di prefabbricazione

Montaggio facile e veloce

Componenti del sistema perfettamente integrati

Materiali



Materiale interamente metallico (alluminio/inox) con notevole aspettativa di durata

Materiali altamente riciclabili

Aspetto leggero dovuto alla forma dei profili ottimizzata

Costruzione

Nessun tipo di fondazioni per la struttura;

Facilità di installazione di moduli laminati o con cornice

Facile e vantaggiosa integrazione con un sistema parafulmine

Calcoli statici

I calcoli statici delle strutture sono forniti dal costruttore della struttura medesima, e sono precalcolati secondo le norme vigenti nei paesi di installazione.

Di seguito si riportano la rappresentazione della tipologia di struttura di supporto.

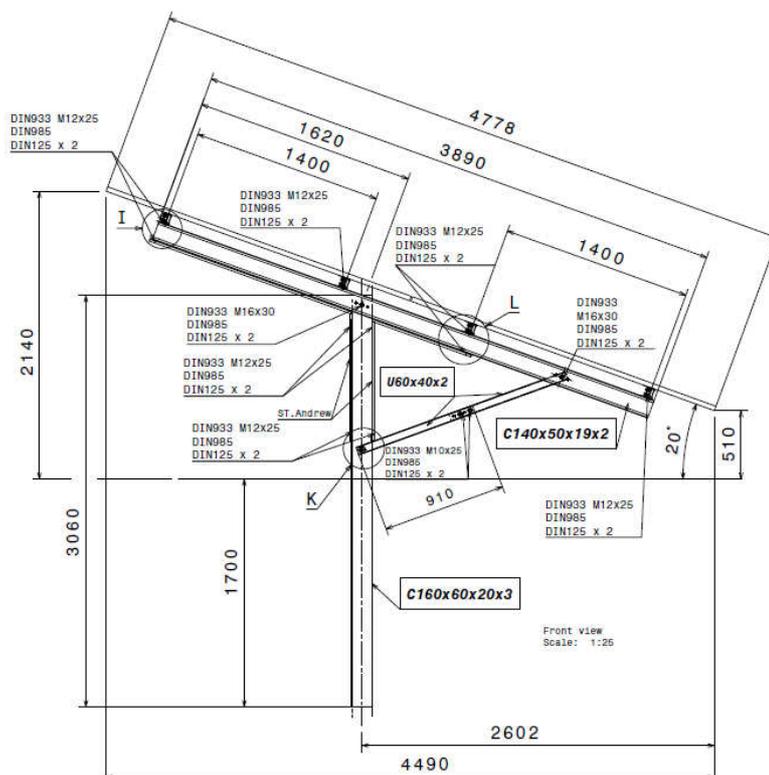


Figura 1 – Rappresentazione tipo della struttura di supporto