

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
SACYR S.A.U. (MANDANTE)
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

IL PROGETTISTA



Dott. Ing. I. Barilli
Ordine Ingegneri
V.C.O.
n° 122



Dott. Ing. E. Pagani
Ordine Ingegneri Milano
n° 15408

IL CONTRAENTE GENERALE

Project Manager
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA
Direttore Generale e
RUP Validazione
(Ing. G. Fiammenghi)

STRETTO DI MESSINA
Amministratore Delegato
(Dott. P. Ciucci)

Unità Funzionale

COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA

CD0425_F0

Tipo di sistema

CENTRO DIREZIONALE

Raggruppamento di opere/attività

Impianti

Opera - tratto d'opera - parte d'opera

Impianti elettrici – Campo fotovoltaico

Titolo del documento

Cabina elettrica campo fotovoltaico – Relazione di calcolo strutturale

CODICE

C G 0 7 0 0 P 3 R D C C D I 8 E L 0 0 0 0 0 0 0 2 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	D. RE	G. LUPI	I. BARILLI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

INDICE

INDICE	2
1 INTRODUZIONE	3
2 CARATTERISTICHE FUNZIONALI DELLA CABINA	4
3 TIPOLOGIA COSTRUTTIVA	5
4 CARATTERISTICHE DEI LUOGHI	7
4.1 GEOLOGIA E GEOTECNICA	7
4.2 CARATTERISTICHE SISMICHE	7
5 SCHEMA PORTANTE DELLA CABINA ELETTRICA	8
6 NORMATIVE DI RIFERIMENTO	11
7 MATERIALI	12
7.1 MATERIALI UTILIZZATI	12
7.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE	13
8 ANALISI DEI CARICHI	15
8.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI G_1	15
8.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI G_2	17
8.3 CARICHI ACCIDENTALI	18
8.3.1 Carichi accidentali legati al normale esercizio della struttura	18
8.3.2 Carichi da vento	18
8.3.3 Carichi da neve	19
8.4 AZIONE SISMICA	20
8.5 ANALISI DELLE MASSE	23
9 COMBINAZIONI DI CARICO	24
9.1 COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO	24
10 MODELLAZIONE STRUTTURALE	25
10.1 SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA	25
10.2 MODELLO DI CALCOLO	25
11 RISULTATI DEL CALCOLO	27
12 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI	34
12.1 CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	34
12.2 VERIFICHE DI TIPO STRUTTURALE	36

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

1 INTRODUZIONE

La relazione tratta gli aspetti riguardanti le opere civili delle cabine elettriche QMT-G, QMT-SS e Cabina MT/bt, posizionate in prossimità delle pile del ponte, lato Calabria.

In particolare, vista la completa analogia funzionale e strutturale delle tre cabine, si farà nel seguito riferimento alla sola cabina QMT-G, come rappresentativa delle due strutture.

Più precisamente la cabina è ubicata in un'area adibita ai servizi tecnologici del ponte dove è presente anche una cabina elettrica di trasformazione e una Firepump Station.

Si riporta di seguito un'immagine che mostra l'esatta collocazione del luogo di intervento.

L'edificio ha le seguenti dimensioni:

- In pianta: 18.85 m x 7.05 m
- Altezza massima: 3.50 m

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</p>	<p><i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

2 CARATTERISTICHE FUNZIONALI DELLA CABINA

L'edificio ospita i seguenti locali:

- Medium voltage (20 kV) Room
- Low voltage Room
- Battery room
- Communications Room
- Emergency Diesel Generator Room

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3 TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

L'edificio è costituito da un'ossatura portante a telaio in c.a., mentre le pareti sono realizzate mediante muratura tradizionale armata, costituita, a titolo esemplificativo, da muratura armata in blocchi di tipo gasbeton o similari rivestiti in pietra o in blocchi di tufo.

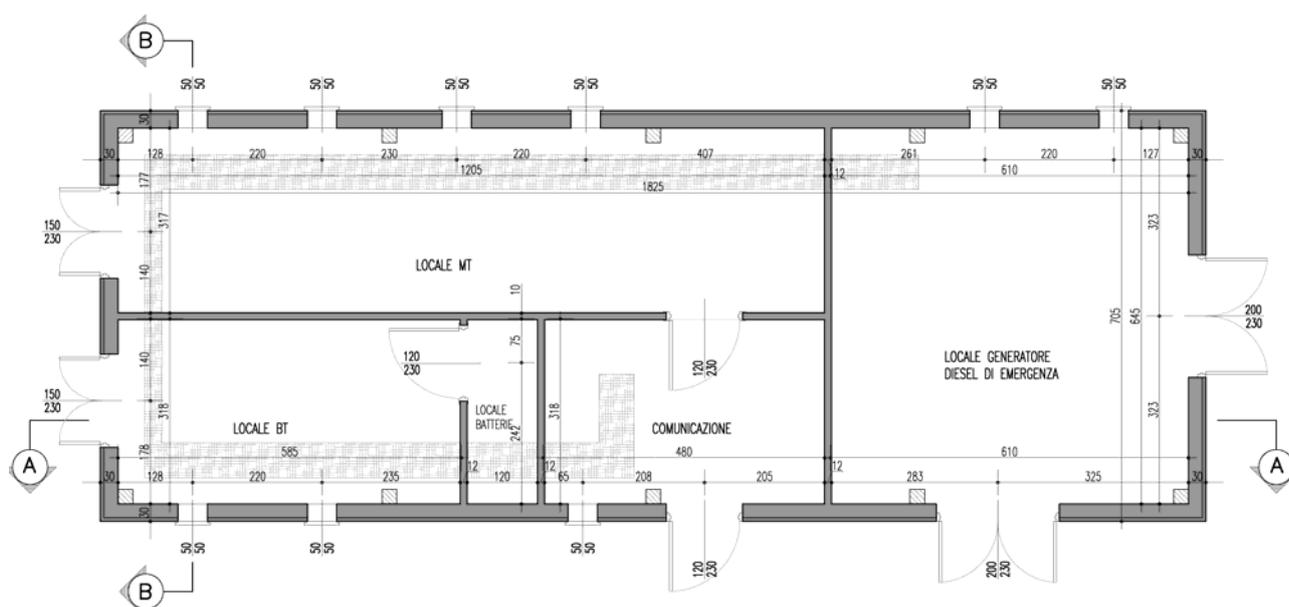
Le dimensioni adottate per i muri in gasbeton e per le murature interne soddisfano anche le esigenze di resistenza al fuoco.

La struttura tridimensionale costituita da pilastri in c.a. e muratura poggia su travi di fondazione a T rovescio che, nel complesso, formano un graticcio bidimensionale.

Il piano di calpestio viene invece realizzato secondo lo schema tipico di vespaio aerato poggiante su elementi cavi completati da getto in cls di altezza tale da consentire la realizzazione di cunicoli per i cavi di alimentazione delle apparecchiature di dimensione minima 50x50 cm.

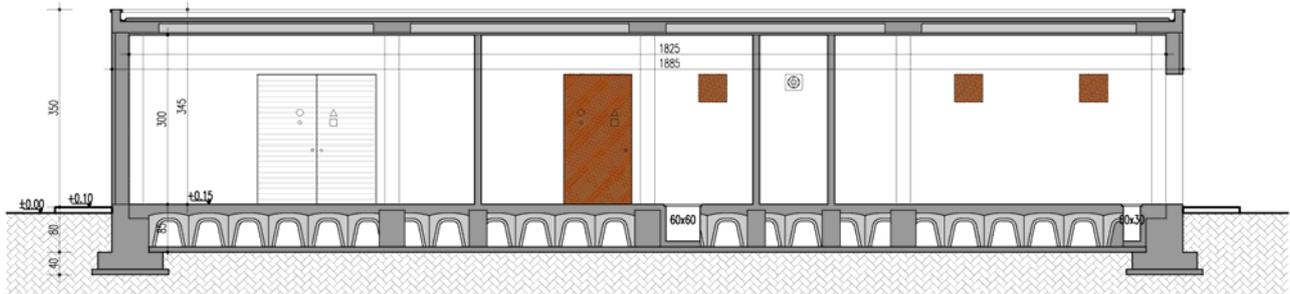
Nel complesso si tratta di un edificio di grande semplicità di cui si percepisce la forma a parallelepipedo all'interno del quale le aperture rispondono ad esigenze esclusivamente impiantistiche come forma e dimensione; la copertura è a tetto piano.

Si riportano di seguito alcune immagini che mostrano l'opera nel suo complesso.

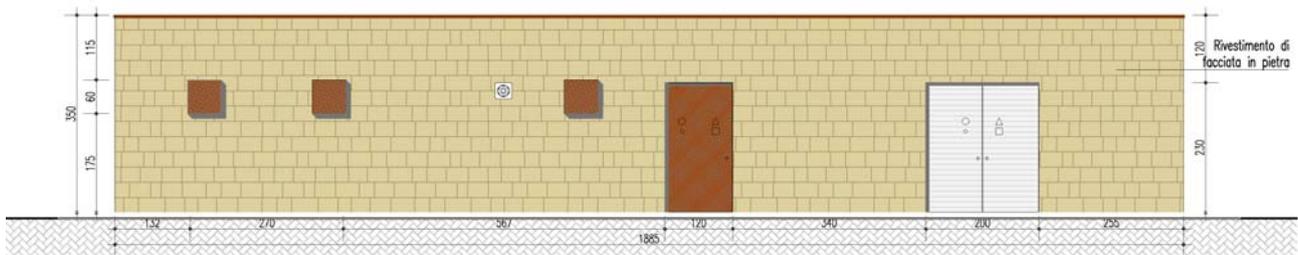


Pianta cabina

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Sezione longitudinale



Prospetto longitudinale

Si descrivono di seguito, a partire dalle fondazioni, gli elementi costituenti l'opera:

- Dopo lo scavo a livello della sottofondazione, si procederà alla compattazione e/o eventuale bonifica del terreno con materiale arido rullato e successivamente al getto del magro di pulizia.
- Armatura e getto delle travi rovesce di fondazione.
- Getto del magro di pulizia all'interno del perimetro delineato dalle travi rovesce di fondazione.
- Posa del vespaio aerato e dell'armatura metallica prevista e getto della soletta soprastante.
- Armatura e getto dei pilastri in c.a.
- Puntellazione, posa e getto della copertura realizzata mediante predalles.
- Realizzazione delle pareti perimetrali mediante gasbeton.
- Realizzazione delle pareti interne

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4 CARATTERISTICHE DEI LUOGHI

4.1 GEOLOGIA E GEOTECNICA

Dalle indagini eseguite si desume che, vedi documentazione geologico-tecnica allegata al progetto, il terreno di fondazione dell'edificio è così composto:

- da uno strato superficiale costituito da depositi marini terrazzati di modestissimo spessore (massimo 1 m)
- da uno strato costituito da conglomerato arenaceo da scarsamente a ben cementato, con assetto caotico, di cui si riportano le caratteristiche meccaniche:

Peso specifico:	$\gamma = 20 - 22 \text{ kN/m}^3$
Coesione:	$c = 0 - 0.06 \text{ MPa}$
Angolo d'attrito:	$\varphi = 38^\circ - 42^\circ$
Modulo di deformabilità:	$M = 150 - 300 \text{ MPa}$
Coefficiente di Poisson:	$\nu = 0.2 - 0.3$

Si prevede altresì la possibilità di bonifica del terreno per uno spessore limitato con funzione anticapillare e drenante nel caso in cui, all'atto degli scavi, si presentino disuniformità significative.

4.2 CARATTERISTICHE SISMICHE

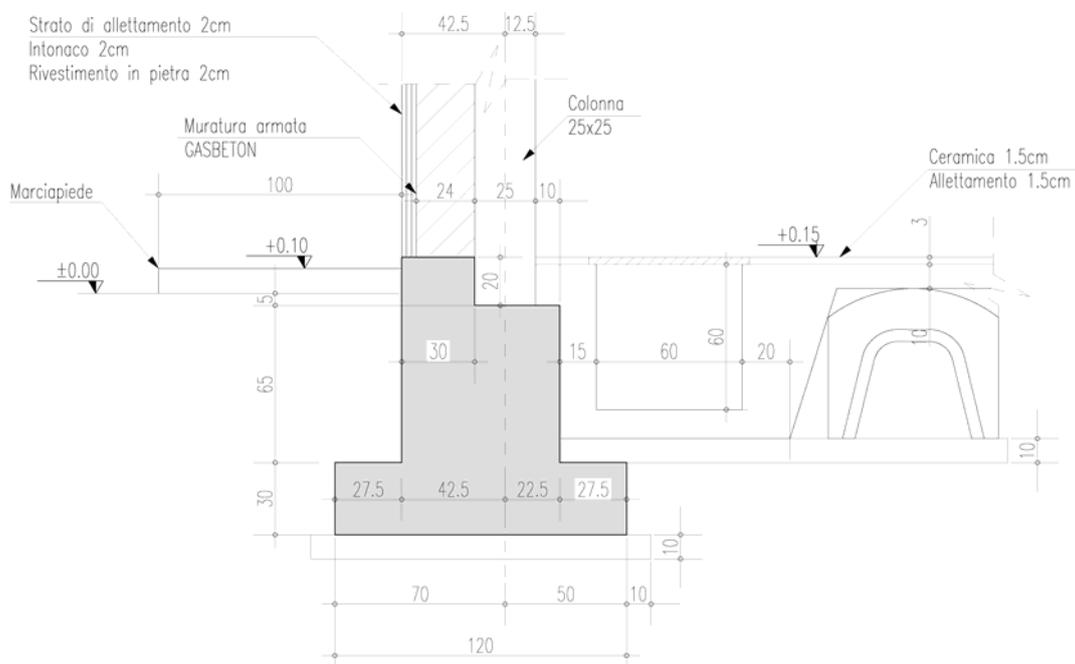
Si fa riferimento alla normativa vigente DM 14 Gennaio 2008 ed alla classificazione di cui al programma Excel SPETTRI-NTC Versione 1.0.2 a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per la definizione degli spettri di progetto.

Nonostante la regolarità dell'edificio e la sua modesta altezza, in relazione all'intensità sismica dei luoghi l'effetto sismico costituisce l'elemento dimensionante delle strutture. Scopo del presente elaborato è quindi quello di garantire la sicurezza della struttura anche nei confronti dell'azione sismica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5 SCHEMA PORTANTE DELLA CABINA ELETTRICA

Fondazioni: sono previste fondazioni dirette realizzate mediante travi rovesce in cls armato, come mostrato nell'immagine di seguito riportata.



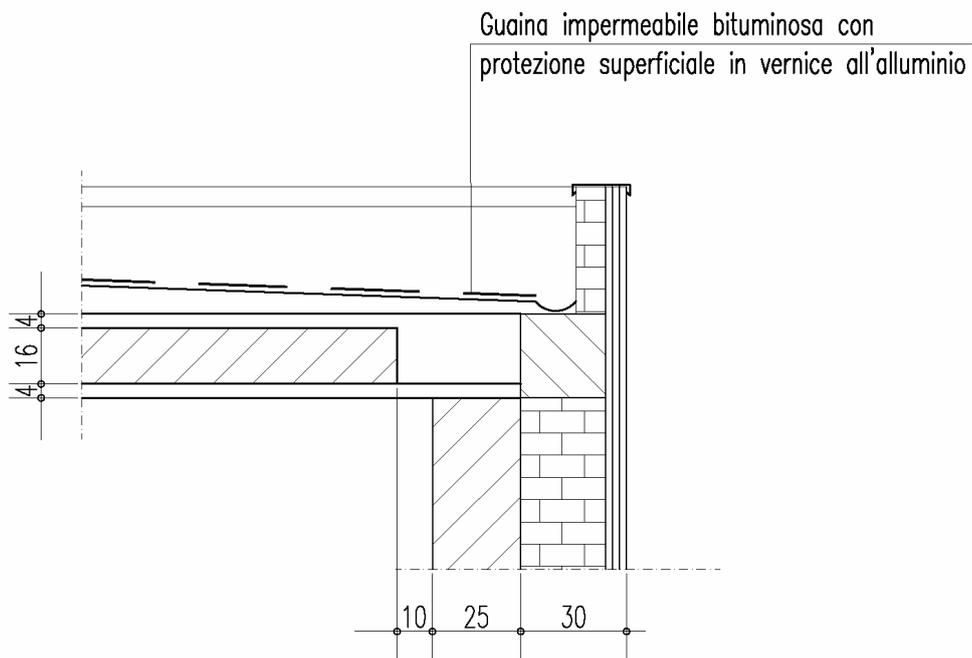
La struttura di elevazione è realizzata mediante pilastri in c.a. delle dimensioni 25x25 cm, con interasse longitudinale di 4.50 m e interasse trasversale di 6.20 m.

In totale sono presenti 10 pilastri.

Si riporta di seguito un'immagine che mostra la pianta delle fondazioni e dei pilastri.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si riporta inoltre un dettaglio che mostra lo schema costruttivo del solaio.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

6 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I calcoli sono stati condotti nell'osservanza delle Normative vigenti, con particolare riferimento a Leggi, Decreti e Specifiche di seguito riportate:

- **D.M. 14.01.2008**

Norme Tecniche per le Costruzioni (Gazzetta ufficiale 04/02/2008 n. 29).

- **Circolare esplicativa n. 617 del 2 febbraio 2009**

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (Gazzetta ufficiale del 26/03/2009 n. 47).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7 MATERIALI

7.1 MATERIALI UTILIZZATI

I materiali utilizzati per le strutture sono di seguito elencati.

Conglomerato cementizio per fondazioni:

- *Calcestruzzo C28/35 N/mm²*
- *Classe di esposizione XC2*
- *Classe di consistenza S4*
- *Diametro massimo inerte 32 mm*
- *Copriferro minimo 4 cm*

Conglomerato cementizio per strutture in elevazione:

- *Calcestruzzo C35/45 N/mm²*
- *Classe di esposizione XC1*
- *Classe di consistenza S4*
- *Diametro massimo inerte 32 mm*
- *Copriferro minimo 3 cm*

Acciaio nervato per barre e reti di armatura B450C

Si riportano di seguito le principali caratteristiche meccaniche in accordo con la normativa adottata.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7.2 CARATTERISTICHE MECCANICHE

Calcestruzzo

Considerando il calcestruzzo di classe C28/35 si ottengono le seguenti caratteristiche meccaniche:

CARATTERISTICA	VALORE
f_{ck} [MPa]	28.0
f_{cd} [MPa]	15.9
f_{ctd} [MPa]	1.30
E_c [MPa]	32308
ν	0.2
α [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]	$10 \cdot 10^{-6}$

dove:

f_{ck}	=	resistenza caratteristica a compressione
f_{cd}	=	resistenza di progetto a lungo termine a compressione
f_{ctd}	=	resistenza di progetto a trazione
E_c	=	modulo di elasticità
ν	=	coefficiente di Poisson
α	=	coefficiente di dilatazione termica

Considerando il calcestruzzo di classe C35/45 si ottengono le seguenti caratteristiche meccaniche:

CARATTERISTICA	VALORE
f_{ck} [MPa]	35.0
f_{cd} [MPa]	19.8
f_{ctd} [MPa]	1.50
E_c [MPa]	34077
ν	0.2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

α [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] $10 \cdot 10^{-6}$

Acciaio per barre e reti di armatura

Considerando l'acciaio B450C si ottengono le seguenti caratteristiche meccaniche:

CARATTERISTICA	VALORE
f_{yk} [MPa]	450
f_t [MPa]	540
A_{gtk} [%]	7.5
E_s [MPa]	210000

dove:

f_{yk}	=	tensione di snervamento
f_t	=	tensione di rottura
A_{gtk}	=	allungamento a rottura
E_s	=	modulo di elasticità

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8 ANALISI DEI CARICHI

8.1 CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI G₁

I carichi permanenti strutturali sono determinati, secondo la normativa, a partire dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali di cui è composta la struttura.

Si riportano di seguito i pesi per unità di volume dei materiali impiegati, come da regolamento.

MATERIALI	PESO UNITA' DI VOLUME [kN/m ³]
Calcestruzzi cementizi e malte	
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25.0
Metalli e leghe	
Acciaio	78.5

Per la definizione delle dimensioni geometriche si fa riferimento ai disegni definitivi allegati alla presente relazione.

I carichi permanenti degli elementi strutturali sono automaticamente calcolati dal programma di calcolo impiegato, come sarà descritto nel seguito.

Per il solaio di copertura, invece, si considera il seguente carico:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Carichi permanenti strutturali solaio di copertura

Componente	m^3/m^2	kN/m^2
Predalles cm 4	0.040	1.00
Travetti 20x16 cm	0.064	1.60
Soletta cm 4	0.040	1.00
Totale		3.60

Di conseguenza, le travi perpendicolari all'orditura del solaio risultano così caricate:

- Travi di bordo: $3.60 \cdot (5.95 - 0.20) / 2 = 10.3 \text{ kN/m}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8.2 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI G₂

I carichi permanenti non strutturali sono dati da:

- Murature esterne e relative finiture
- Massetto in copertura per pendenza drenaggio acqua

I carichi dovuti al piano di calpestio gravano direttamente sul terreno e non vengono pertanto considerati nelle verifiche strutturali in esame.

Con riferimento alle murature da realizzarsi mediante gasbeton, si prevedono i seguenti carichi:

- Muratura in gasbeton spessore cm 24	$0.24 \cdot 4.5$	=	1.08 kN/m ²
- Intonaco e rivestimento in pietra tot cm 6	$0.06 \cdot 20$	=	1.20 kN/m ²
Totale			2.28 kN/m ²

Considerando un'altezza delle pareti di 3.05 m, si ottiene un carico per unità di lunghezza sulle travi rovesce di fondazione pari a circa 7 kN/m.

Con riferimento al massetto in copertura per lo scolo delle acque, considerando uno spessore medio di cm 8, si ottiene:

- Massetto cm 8	$0.08 \cdot 22$	=	1.8 kN/m ²
-----------------	-----------------	---	-----------------------

Di conseguenza, le travi perpendicolari all'orditura del solaio risultano così caricate:

- Travi di bordo:	$1.80 \cdot 7.05 / 2$	=	6.75 kN/m
-------------------	-----------------------	---	-----------

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8.3 CARICHI ACCIDENTALI

I carichi accidentali da considerare in accordo alla presente normativa risultano:

- Carichi accidentali legati al normale esercizio della struttura
- Carichi da vento
- Carichi da neve

8.3.1 Carichi accidentali legati al normale esercizio della struttura

I carichi accidentali considerati legati al normale esercizio della struttura, sono solo quelli presenti sulla copertura in quanto i carichi applicati sul piano di calpestio gravano direttamente sul terreno e non vengono pertanto considerati nelle verifiche strutturali in esame.

Per coperture non praticabili, o praticabili solo per manutenzione ordinaria, in accordo con la normativa adottata, si assume il valore di 0.5 kN/m².

Di conseguenza, le travi perpendicolari all'orditura del solaio risultano così caricate:

- Travi di bordo: $0.5 \cdot 7.05/2 = 1.76$ kN/m

8.3.2 Carichi da vento

Nel caso in esame, vista l'elevata sismicità del sito di costruzione, le azioni orizzontali dovute al vento risultano largamente inferiori a quelle sismiche. Pertanto nelle verifiche si farà riferimento alle sole azioni orizzontali sismiche, non essendo prevista contemporaneità fra vento e sisma.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8.3.3 Carichi da neve

Il valore caratteristico del carico da neve per la Sicilia e la Calabria risulta:

$$q_{sk} = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

Si assumono inoltre valori unitari per il coefficiente termico e per il coefficiente di esposizione. Poiché la copertura presenta falde con inclinazione minore ai 30°, si assume coefficiente di forma pari a 0.8.

Ne risulta in definitiva:

$$q_s = 0.48 \text{ kN/m}^2$$

Di conseguenza, le travi perpendicolari all'orditura del solaio risultano così caricate:

- Travi di bordo: $0.48 \cdot 7.05 / 2 = 1.69 \text{ kN/m}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8.4 AZIONE SISMICA

Il calcolo delle cabine elettriche viene condotto con riferimento all'azione sismica relativa alla località di Villa San Giovanni, che è il comune più prossimo al sito dove verrà edificata la cabina. La zona in cui è individuata l'opera esaminata nel presente documento ricade all'interno di un reticolo topografico individuato quindi per il comune di Villa San Giovanni, Provincia di Reggio Calabria nella regione Calabria.

Trattandosi di un'opera minore, si considera una vita nominale pari a $V_N = 50$ anni e una classe d'uso IV, da cui si ricava il coefficiente d'uso $C_U = 2$.

Quindi il periodo di riferimento per la costruzione è 100 anni.

Sulla base dei valori sopra riportati, si ottengono i seguenti valori di progetto in funzione dei vari stati limite considerati:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0.091	2.303	0.304
SLD	101	0.119	2.319	0.320
SLV	949	0.332	2.451	0.386
SLC	1950	0.438	2.489	0.423

Per quanto riguarda le caratteristiche del terreno viene considerata una categoria di sottosuolo di tipo B, e una categoria topografica di tipo T1.

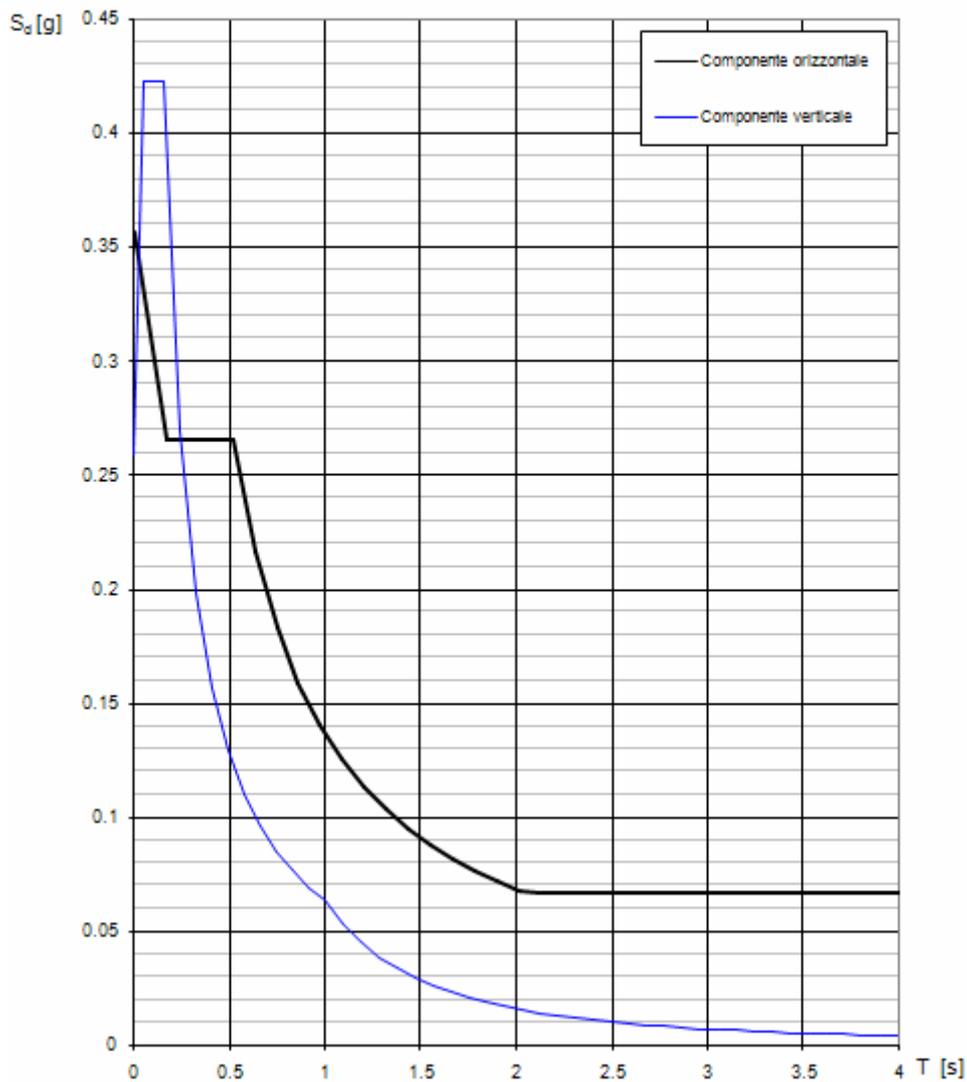
Per le verifiche allo stato limite ultimo si considera uno spettro di progetto individuato a partire da quello elastico associato alla probabilità di superamento del 10 % nel periodo di riferimento relativo, opportunamente ridotto mediante il fattore di struttura q , definito nel capitolo 7 del D.M. 14.01.2008.

Il fattore di struttura per strutture in c.a. a telaio ad un piano può essere assunto, per elementi in classe di duttilità B, pari a $q = 3.3$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si riporta di seguito l'andamento dello spettro di progetto allo stato limite ultimo.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limi SLV



Spettro di progetto allo SLV

I parametri relativi sono indicati nella tabella seguente:

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.332 g
F_o	2.451
T_c	0.386 s
S_s	1.074
C_c	1.330
S_T	1.000
q	3.300

Parametri dipendenti

S	1.074
η	0.303
T_B	0.171 s
T_C	0.514 s
T_D	2.929 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_r \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.357
T_B ←	0.171	0.265
T_C ←	0.514	0.265
	0.629	0.217
	0.744	0.183
	0.859	0.159
	0.974	0.140
	1.089	0.125
	1.204	0.113
	1.319	0.103
	1.434	0.095
	1.549	0.088
	1.664	0.082
	1.779	0.077
	1.894	0.072
	2.009	0.068
	2.124	0.066
	2.239	0.066
	2.354	0.066
	2.469	0.066
	2.584	0.066
	2.699	0.066
	2.814	0.066
T_D ←	2.929	0.066
	2.980	0.066
	3.031	0.066
	3.082	0.066
	3.133	0.066
	3.184	0.066
	3.235	0.066
	3.286	0.066
	3.337	0.066
	3.388	0.066
	3.439	0.066
	3.490	0.066
	3.541	0.066
	3.592	0.066
	3.643	0.066
	3.694	0.066
	3.745	0.066
	3.796	0.066
	3.847	0.066
	3.898	0.066
	3.949	0.066
	4.000	0.066

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

8.5 ANALISI DELLE MASSE

Nel rispetto della normativa adottata, gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Nel caso in esame, si assumono i seguenti valori di ψ_{2j} per le azioni variabili:

- $\psi_{2j} = 0.0$ Categoria H – Coperture
- $\psi_{2j} = 0.0$ Vento
- $\psi_{2j} = 0.0$ Neve

Si ottengono le seguenti masse associate, rispettivamente, alle pareti in gasbeton e alla copertura.

- Pareti in gasbeton: 228 kg/m² = 228 kg/m²
- Copertura (G₁ + G₂): 360 kg/m² + 180 kg/m² = 540 kg/m²

Le masse associate agli altri elementi strutturali sono automaticamente considerate dal programma di calcolo utilizzato, in funzione della reale geometria e delle densità dei materiali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9 COMBINAZIONI DI CARICO

9.1 COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ai fini delle verifiche agli stati limite ultimi, in accordo con le normative adottate, si definiscono le combinazioni delle azioni di seguito riportate.

- Combinazioni fondamentali

$$CC\ 1 \quad 1.3 \cdot G_1 + 1.3 \cdot G_2 + 1.5 \cdot Q_1 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot Q_{snow}$$

$$CC\ 2 \quad 1.3 \cdot G_1 + 1.3 \cdot G_2 + 1.5 \cdot 0.7 \cdot Q_1 + 1.5 \cdot Q_{snow}$$

- Combinazioni sismiche

$$CC\ 3 \quad E_x + 0.3 \cdot E_y + 1.0 \cdot G_1 + 1.0 \cdot G_2$$

$$CC\ 4 \quad 0.3 \cdot E_x + E_y + 1.0 \cdot G_1 + 1.0 \cdot G_2$$

Si riporta di seguito una tabella che riassume le condizioni di carico considerate per la struttura in esame.

CC	G ₁	G ₂	Q ₁	Q _{snow}	E _{SLV x}	E _{SLV y}
1	1.30	1.30	1.50	0.75	-	-
2	1.30	1.30	1.05	1.50	-	-
3	1.00	1.00	0.00	-	1.00	0.30
4	1.00	1.00	0.00	-	0.30	1.00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

10 MODELLAZIONE STRUTTURALE

La modellazione strutturale è stata realizzata utilizzando il programma di calcolo Straus7 Release 2.4.4, sviluppato da Strand7 Pty Ltd.

10.1 SCHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA

Si descrivono di seguito alcune scelte adottate nella schematizzazione della struttura.

Con riferimento all'interazione suolo struttura, in prima analisi si è scelto di adottare una schematizzazione del terreno secondo il modello di Winkler, assumendo una costante di sottofondo tipica per i terreni presenti in situ pari a 4.8 kgf/cm^3 .

Le travi di fondazione, i pilastri e le travi di copertura rispecchiano la reale geometria della struttura.

Il solaio di copertura, essendo costituito da una soletta in c.a. di spessore pari a 4 cm, può essere assunto, in accordo alla normativa adottata, rigido nel suo piano.

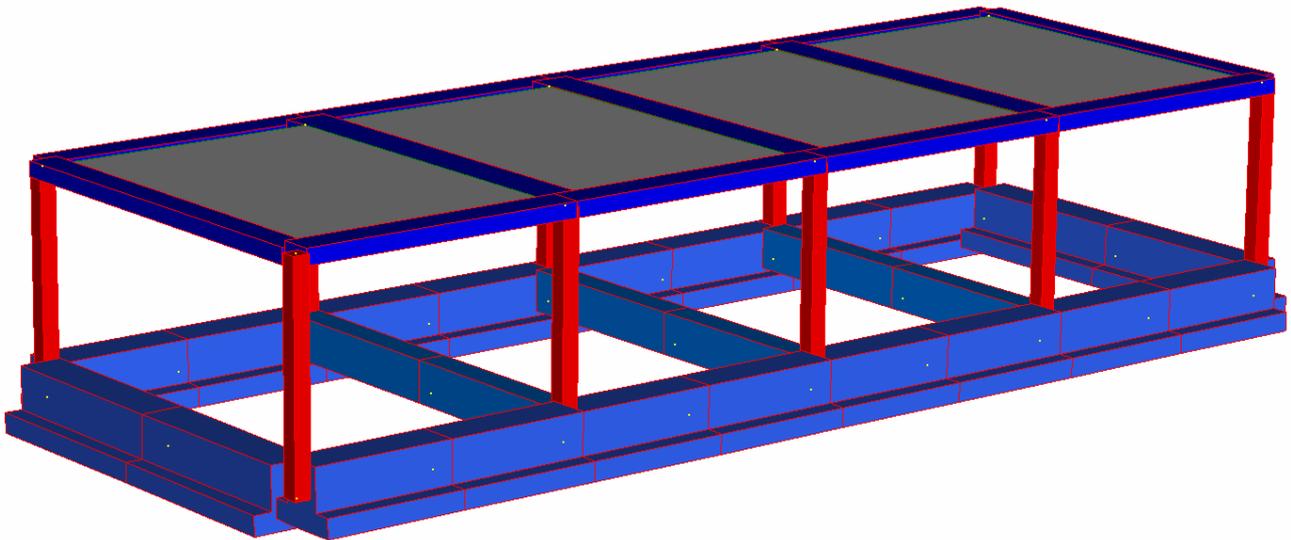
Si sottolinea inoltre che nel modello strutturale si è tenuto in conto dell'eccentricità del peso del tamponamento esterno e delle azioni del pilastro eccentriche rispetto all'asse della fondazione.

Con riferimento all'analisi sismica, è stata svolta un'analisi modale lineare con spettro di risposta, in accordo alla normativa adottata.

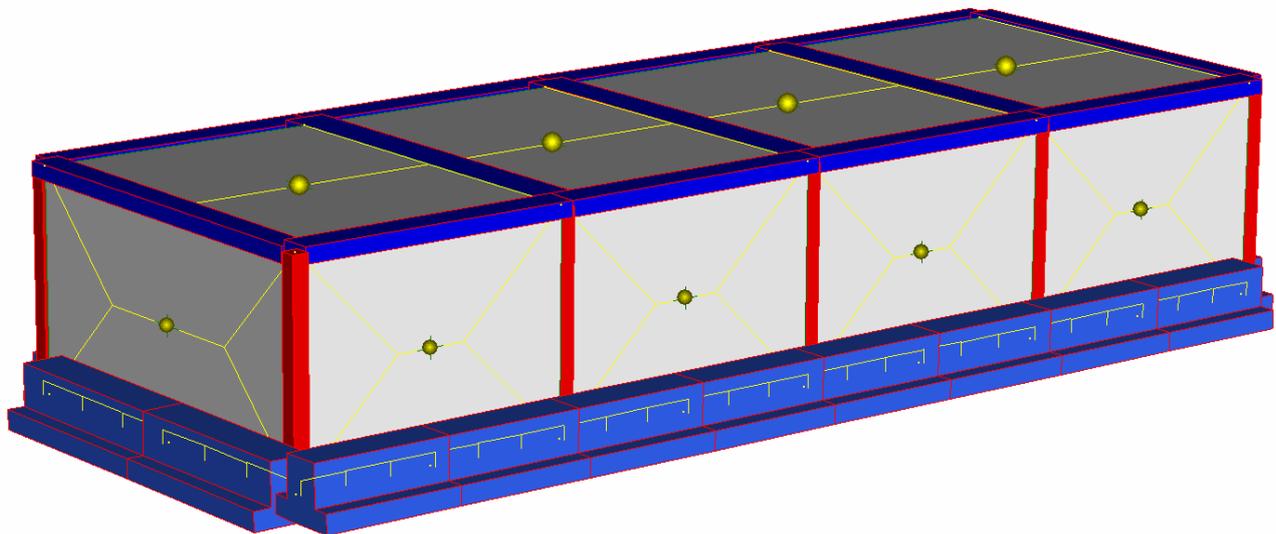
10.2 MODELLO DI CALCOLO

Si riportano di seguito alcune immagini che mostrano il modello della struttura così come realizzato in Straus7.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

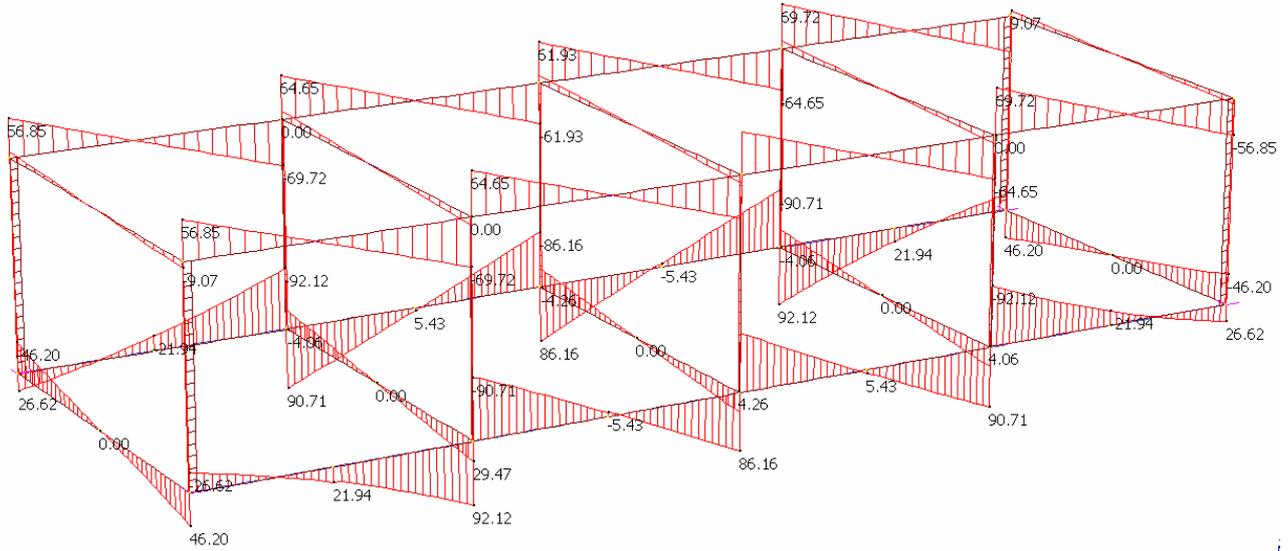


Schema strutturale – vista solid



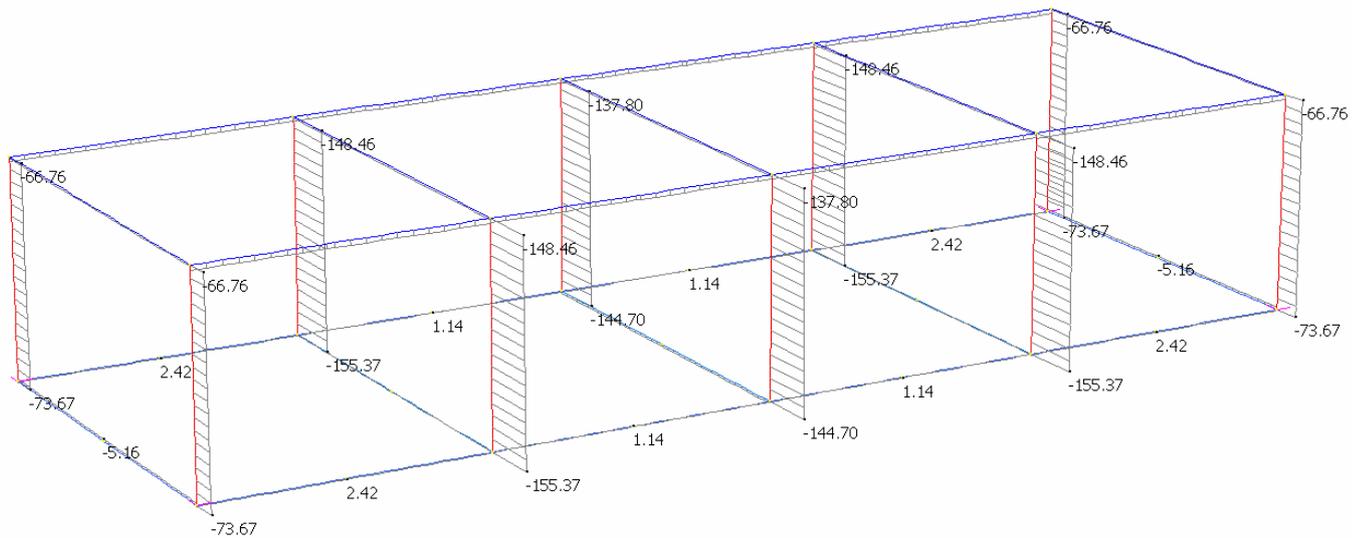
Schema strutturale – vista completa

Si noti che, in corrispondenza dei solai, sono stati inseriti diaframmi rigidi nel piano. Come già accennato, le masse degli elementi strutturali sono automaticamente calcolate dal programma. Nell'immagine sopra riportata si possono invece notare le masse dei solai e quelle dei muri perimetrali, inserite in accordo a quanto visto ai paragrafi precedenti.



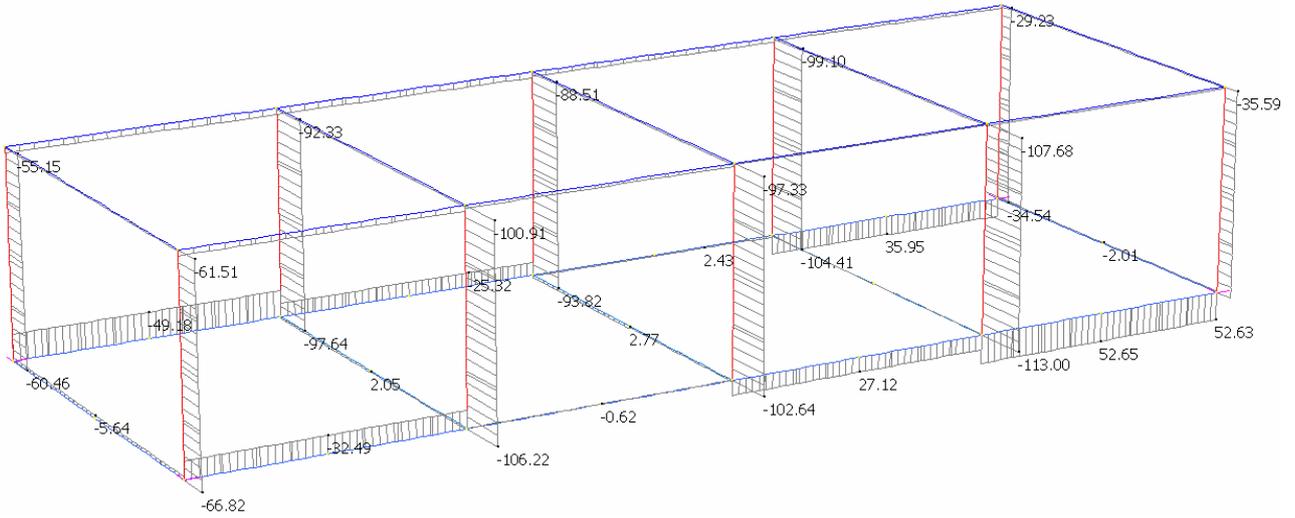
Taglio [kN]

- CC 2

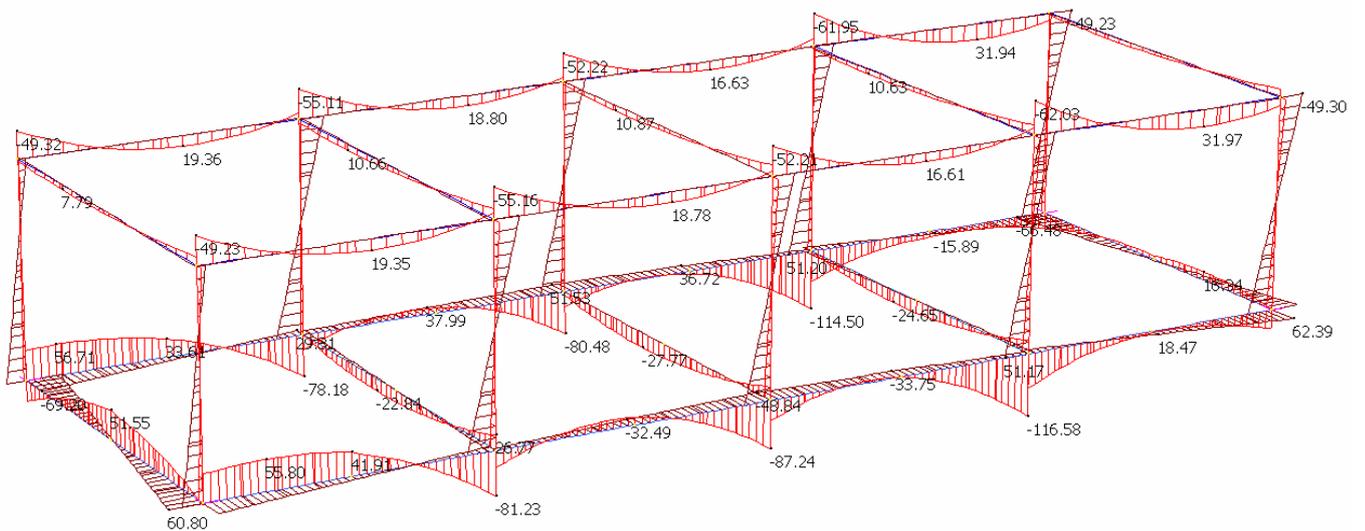


Azione assiale [kN]

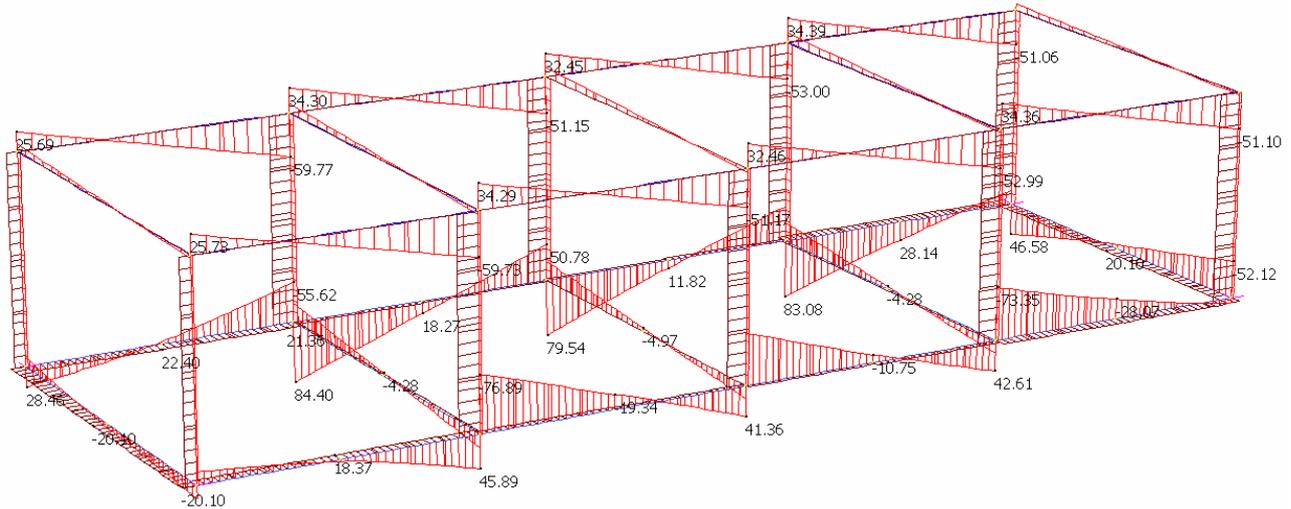
- CC 3



Azione assiale [kN]

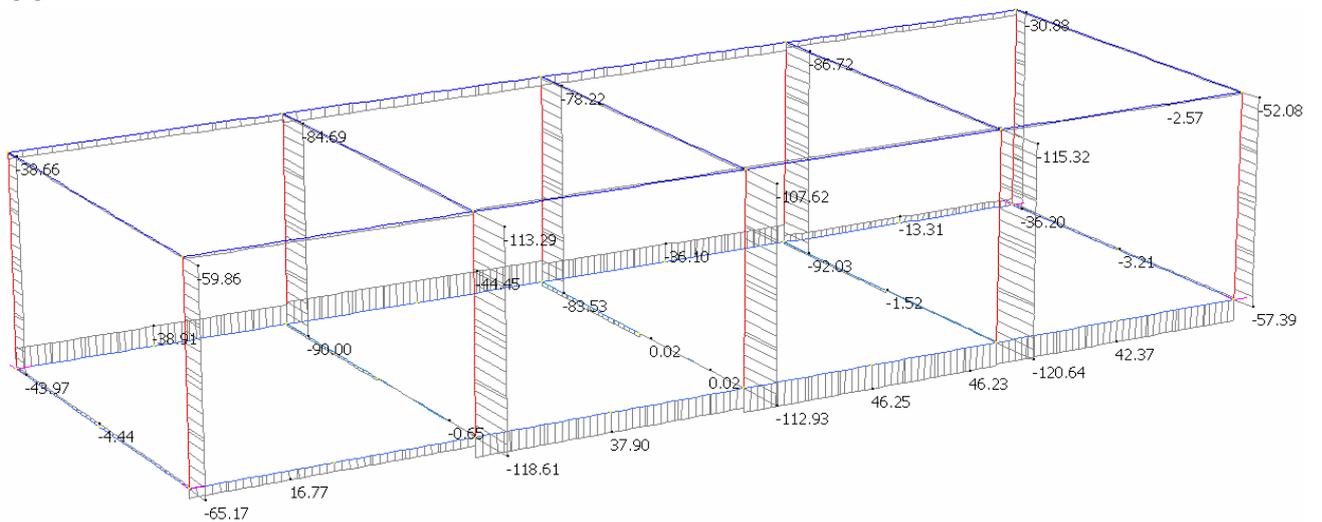


Momento flettente [kNm]

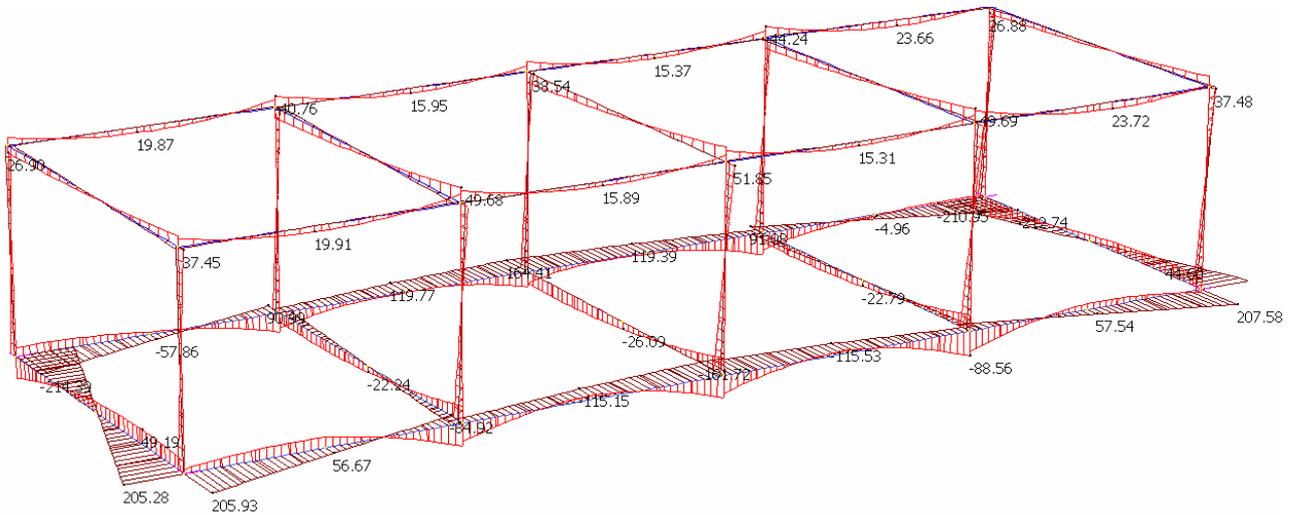


Taglio [kN]

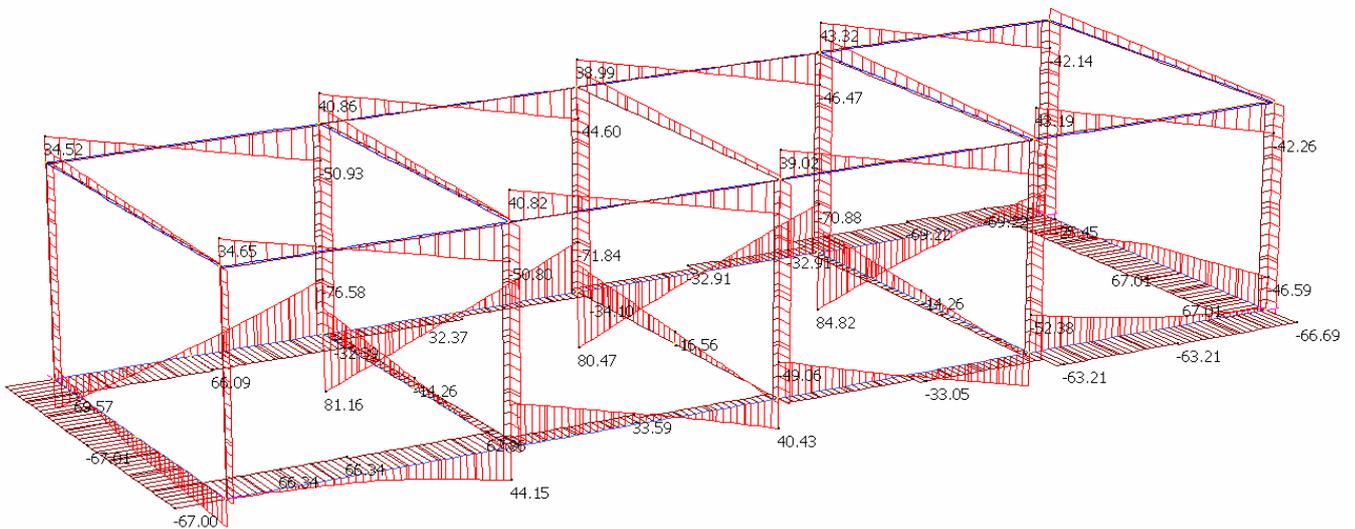
- CC 4



Azione assiale [kN]



Momento flettente [kNm]

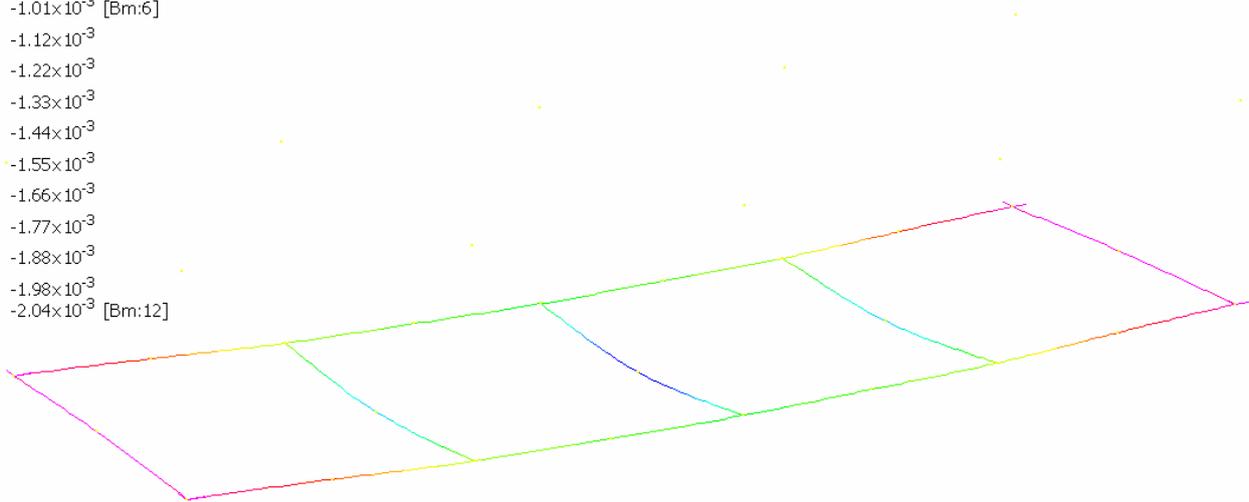
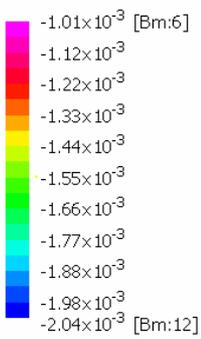


Taglio [kN]

I massimi spostamenti verticali delle fondazioni si ottengono per la combinazione di carico CC 2 e sono di seguito riportati.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Beam Disp:DZ (m)



Si osserva un valore massimo nelle travi rovesce di fondazione pari a 2 mm. Ad esso è associata una pressione di contatto massima sul terreno pari a:

$$p_{\max} = 9.8 \text{ N/cm}^2 = 98 \text{ kN/m}^2$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

12 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

12.1 CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

La verifica viene effettuata nei confronti dello stato limite di collasso dell'insieme terreno fondazione.

La capacità portante del terreno viene valutata con il metodo di Hansen secondo la seguente formulazione:

$$q_{ult} = q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

Trattandosi di un'opera di fondazione, le verifiche vengono condotte con riferimento alle prescrizioni di cui al capitolo 6 del D.M. 14.01.2008.

In particolare si adotta l'approccio 2 per cui è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali che nelle verifiche geotecniche.

- Approccio 2: A1 + M1 + R3

I coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno sono ricavati dalla tabella 6.2.II della normativa di riferimento, e assumono valore unitario (coefficienti M1).

Nelle verifiche si assumono i seguenti parametri geotecnici:

Peso specifico:	$\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$
Coesione:	$c = 0 \text{ MPa}$
Angolo d'attrito:	$\varphi = 38^\circ$

La capacità portante ultima risulta pertanto:

$$q_{ult} = 135 \text{ N/cm}^2 = 1350 \text{ kN/m}^2$$

La capacità portante di calcolo si ottiene dividendo la capacità portante ultima per il coefficiente riduttivo della resistenza ($\gamma_{R3} = 2.3$):

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

$$q_{ult,k} = 59 \text{ N/cm}^2 = 590 \text{ kN/m}^2$$

Come riportato precedentemente, la massima pressione sul terreno risulta pari a:

$$p_{max} = 9.8 \text{ N/cm}^2 = 98 \text{ kN/m}^2$$

La verifica della capacità portante risulta pertanto soddisfatta.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

12.2 VERIFICHE DI TIPO STRUTTURALE

Si riportano di seguito le verifiche dei principali elementi strutturali sulla base dei risultati riportati al capitolo 11.

Travi di fondazione

Come si può notare dai diagrammi delle azioni precedentemente riportati, le massime sollecitazioni risultano:

$$M_{\max} = +116.6 \text{ kNm}$$

$$M_{\min} = - 56.7 \text{ kNm}$$

$$T_{\max} = 93.1 \text{ kN}$$

Si riporta la verifica a flessione e a taglio per la trave in esame, assumendo le armature si seguito descritte:

Armature longitudinali

Lembo inferiore: 5 Φ 16

Attacco ala-anima: 5 Φ 16

Lembo superiore: 3 Φ 16

Staffe

Staffe: Φ 10/20

Titolo: Trave rovescia di fondazione

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	65	65
2	120	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	90
2	10.05	70
3	6.03	5

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0

Materiali
B450C C35/45

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 19.83
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13.5
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.8
 τ_{c1} 2.257

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 605.3 kN m
 σ_c -19.83 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 44.56 ‰
d 90 cm
x 6.555 x/d 0.07283
 δ 0.7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
o 0 cm Col. modello
 Precompresso

Titolo: Trave rovescia di fondazione

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	65	65
2	120	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	90
2	10.05	70
3	6.03	5

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0

Materiali
B450C C35/45

ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 19.83
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 13.5
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.8
 τ_{c1} 2.257

Tipo rottura
Lato acciaio - Acciaio snervato

M_{xRd} -304.8 kN m
 σ_c -19.83 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.205 ‰
 ϵ_s 67.5 ‰
d 90 cm
x 4.079 x/d 0.04532
 δ 0.7

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

Sezione C.A.
File

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
o 0 cm Col. modello
 Precompresso

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE	<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$VRsd = 0,9 d Asw/s fyd (ctg\alpha + ctg\theta) \sin\alpha$	(4.1.18)
$VRcd = 0,9 d bw \alpha c f'cd (ctg\alpha + ctg\theta)/(1+(ctg\alpha)^2)$	(4.1.19)
$VRd = \min(VRsd, VRcd)$	(4.1.20)

nb	2		numero di bracci
Φ_{st}	10	mm	
Asw	157	mm ²	
s	200	mm	passo staffe
fyd	391.3	N/mm ²	
α	90		inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave
θ	45		inclinazione puntoni cls rispetto asse trave
αc	1.00		

VRsd =	248.81	<i>kN</i>
VRcd =	2785.84	<i>kN</i>

VRd =	248.81	<i>kN</i>	verifica soddisfatta
Vsd =	93.1	<i>kN</i>	

Come si può osservare, le verifiche risultano soddisfatte.

Pilastrri

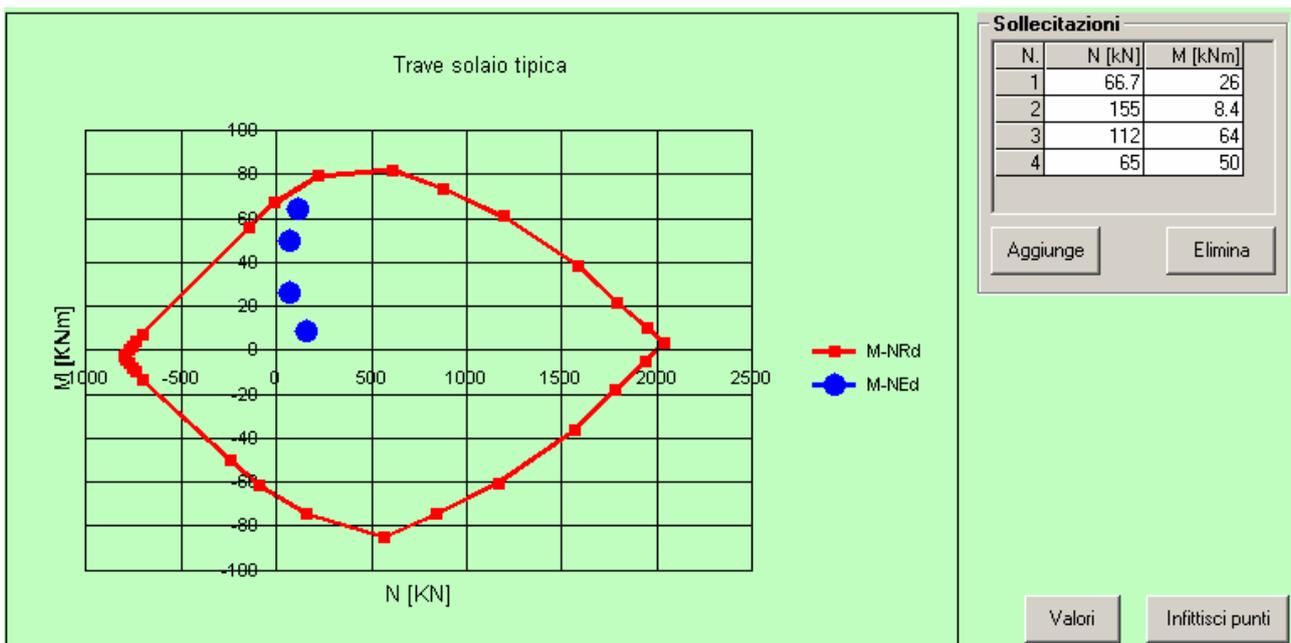
Come si può notare dai diagrammi delle azioni precedentemente riportati, le massime sollecitazioni risultano:

N = 66.7 kN	M = 26.0 kNm
N = 155 kN	M = 8.4 kNm
N = 112 kN	M = 56.0 kNm
N = 65 kN	M = 50.0 kNm

$$T_{\max} = 34.1 \text{ kN}$$

Si riporta la verifica a flessione e a taglio per la trave in esame, assumendo le armature di seguito descritte:

Armature longitudinali:	8Φ18
Staffe	Φ8/10



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<i>elementi CON armature trasversali resistenti al taglio</i>	
$VRsd = 0,9 d Asw/s fyd (ctg\alpha + ctg\theta) \sin\alpha$	(4.1.18)
$VRcd = 0,9 d bw \alpha c f'cd (ctg\alpha + ctg\theta)/(1+(ctg\alpha)^2)$	(4.1.19)
$VRd = \min(VRsd, VRcd)$	(4.1.20)

nb	2		numero di bracci
Φ_{st}	8	mm	
Asw	100	mm ²	
s	100	mm	passo staffe
fyd	391.3	N/mm ²	
α	90		inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave
θ	45		inclinazione puntoni cls rispetto asse trave
αc	1.00		

VRsd =	70.77	kN
VRcd =	238.11	kN

VRd =	70.77	kN	verifica soddisfatta
Vsd =	34.1	kN	

Travi di solaio

Si considera di seguito la trave tipica perpendicolare all'orditura del solaio e avente luce pari a 4.5 m, di dimensioni 35 x 24 cm.

Come si può notare dai diagrammi delle azioni precedentemente riportati, le massime sollecitazioni risultano:

$$M_{max} = +38 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = -61 \text{ kNm}$$

$$T_{max} = 70.7 \text{ kN}$$

Si riporta la verifica a flessione e a taglio per la trave in esame, assumendo le armature di seguito descritte:

Armature longitudinali inferiori: 5 Φ 16

Armature longitudinali superiori: 5 Φ 16

Staffe: Φ 10/20

Titolo : Trave solaio tipica

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	35	24

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	4
2	10.05	20

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

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

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C35/45
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 19.83
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 13.5
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.8
τ_{c1} 2.257

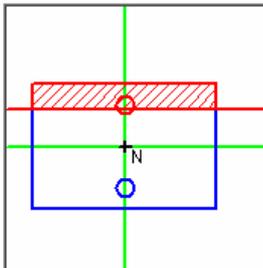
M_{xRd} 68.32 kN m
σ_c -19.83 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 10.98 ‰
d 20 cm
x 4.835 x/d 0.2417
δ 0.7422

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso



Titolo : Trave solaio tipica

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	35	24

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	4
2	10.05	20

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

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

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C35/45
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 19.83
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.957 ‰ σ_{c,adm} 13.5
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.8
τ_{c1} 2.257

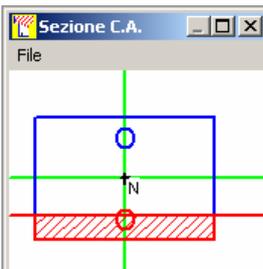
M_{xRd} -68.32 kN m
σ_c -19.83 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 10.98 ‰
d 20 cm
x 4.835 x/d 0.2417
δ 0.7422

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CABINA ELETTRICA CAMPO FOTOVOLTAICO – RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		<i>Codice documento</i> CG0700P3RDCCDI8EL00000002F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<i>elementi CON armature trasversali resistenti al taglio</i>	
$VRsd = 0,9 d Asw/s fyd (ctg\alpha + ctg\theta) \sin\alpha$	<i>(4.1.18)</i>
$VRcd = 0,9 d bw \alpha c f'cd (ctg\alpha + ctg\theta)/(1+(ctg\alpha)^2)$	<i>(4.1.19)</i>
$VRd = \min(VRsd, VRcd)$	<i>(4.1.20)</i>

nb	2		numero di bracci
Φ_{st}	10	mm	
Asw	157	mm ²	
s	20	mm	passo staffe
fyd	391.3	N/mm ²	
α	90		inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave
θ	45		inclinazione puntoni cls rispetto asse trave
αc	1.00		

VRsd =	552.91	kN
VRcd =	476.21	kN

VRd =	476.21	kN	verifica soddisfatta
Vsd =	70.70	kN	

Come si può osservare, le verifiche risultano soddisfatte.