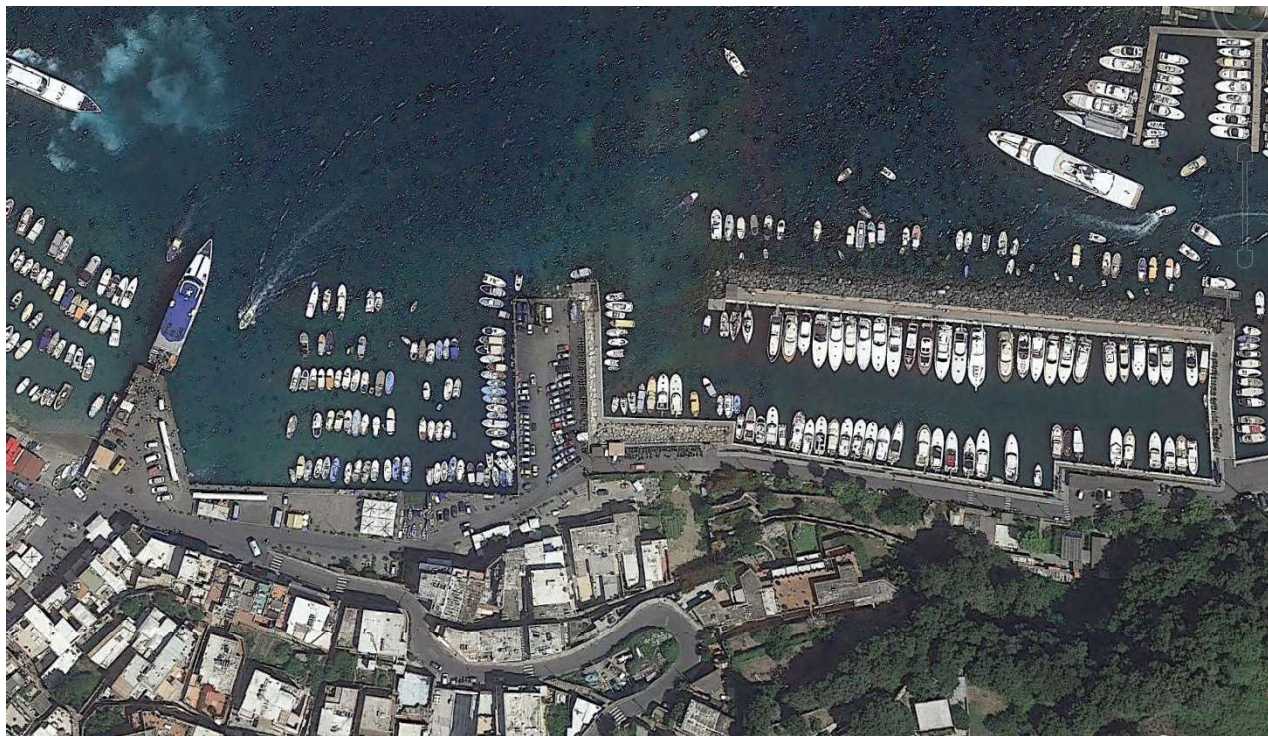


il richiedente
"P.T.C. PORTO TURISTICO DI CAPRI S.p.a."



CONCESSIONE DEMANIALE MARITTIMA N. 96/11
integrata e modificata dalla cdm 17/13 e dalla cdm 51/13



**PROGETTO PER L'INSTALLAZIONE DI UNA RAMPA PER DIVERSAMENTE ABILI
CHE CONSENTA IL SUPERAMENTO DELLE BARRIERE ARCHITETTONICHE ED IL
COLLEGAMENTO DIRETTO TRA IL PONTILE DI IMBARCO - SBARCO
COLLOCATO LUNGO IL VERSANTE EST DEL MOLO PENNELLO E L'INGRESSO AL
PORTO TURISTICO DI CAPRI COLLOCATO IN LOCALITÀ MARINA GRANDE**

Elaborato:

Relazione Strutturale

Collaboratori:
ing. Daniele Mase

Data: feb 17

Tav.:

Cod.:

Sc.:

Rev.: 00

**Il responsabile del
Committente:**

Il Tecnico.
Ing. Giuseppe De Angelis





SOMMARIO

1.	PREMESSA	2
2.	MATERIALI ADOPERATI	3
3.	ANALISI DEI CARICHI	5
4.	VERIFICA DI DEFORMABILITÀ TRAVI	6
5.	VERIFICA DI RESISTENZA TRAVI	8
6.	VERIFICA DEI COLLEGAMENTI	11
7.	CALCOLO DEL PESO DELLA STRUTTURA	17
8.	CONCLUSIONI	18



1. PREMESSA

La presente relazione viene redatta a corredo del *progetto per l'installazione di una rampa per diversamente abili che consenta il superamento delle barriere architettoniche ed il collegamento diretto tra il pontile di imbarco – sbarco collocato lungo il versante est del Molo Pennello, prospiciente il bacino della Darsena e l'ingresso al Porto Turistico di Capri* collocato in località Marina Grande.

Scopo della relazione è dimostrare, in accordo con le N.T.C. del 14 gennaio 2008, l'idoneità della struttura ai carichi verticali e per un calcolo del peso totale dell'acciaio necessario alla sua realizzazione.

Vista le ridotte dimensioni della struttura il calcolo è stato effettuato mediante semplici schemi evitando di creare un apposito modello da analizzare agli elementi finiti mediante uno specifico software di calcolo automatico. Anche le verifiche sono state elaborate senza l'ausilio di particolari software limitando il controllo agli elementi maggiormente sollecitati.

La struttura è stata progettata completamente in acciaio adottando comuni profili commerciali. Essa risulta essere del tutto assemblabile in loco attraverso giunzioni bullonate, questo determina che sia anche completamente removibile e meno attaccabile dagli agenti esterni per via del fatto che tutte le saldature dove necessarie saranno realizzate completamente in officina.

L'elemento di calpestio piano sarà realizzato mediante pannelli in legno che abbiano una buona resistenza ad ambienti di tipo marino. Strutturalmente per tali pannelli si è previsto di non eccedere una luce netta di 40 cm per evitare fenomeni di eccessiva deformabilità e vibrazioni che possono anche accentuarsi con il trascorrere del tempo per effetto dei tipici comportamenti reologici di tale materiale.

Infine, la struttura risulterà direttamente appoggiata sulla sottostante scogliera opportunamente solidarizzata ad essa attraverso l'utilizzo di tirafondi e malta espansiva.



2. MATERIALI ADOPERATI

Profili d'acciaio

Proprietà dei materiali per la fase di analisi strutturale

Modulo Elastico: $E = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$ (210.000 N/mm^2)

Coefficiente di Poisson: $\nu = 0.3$

Modulo di elasticità trasversale: $G = E / [2 \cdot (1 + \nu)]$ (N/mm^2)

Coefficiente di espansione termica lineare: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (per $T < 100^{\circ}\text{C}$)

Densità: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Caratteristiche minime dei materiali

ACCIAIO	S275
tensione di rottura	430 N/mm^2
tensione di snervamento	275 N/mm^2

Bulloneria

Nelle unioni con bulloni si assumono le seguenti resistenze di calcolo:

STATO DI TENSIONE					
CLASSE VITE	f_{tb} (N/mm^2)	f_{yb} (N/mm^2)	$f_{k,N}$ (N/mm^2)	$f_{d,N}$ (N/mm^2)	$f_{d,V}$ (N/mm^2)
8.8	800	640	560	560	396



legenda:

$f_{k,N}$ è assunto pari al minore dei due valori $f_{k,N} = 0.7 f_t$ ($f_{k,N} = 0.6 f_t$ per viti di classe 6.8)

$f_{k,N} = f_y$ essendo f_{tb} ed f_{yb} le tensioni di rottura e di snervamento

$f_{d,N} = f_{k,N}$ = resistenza di calcolo a trazione

$f_{d,V} = f_{k,N} / \sqrt{2}$ = resistenza di calcolo a taglio

Saldature

Su tutte le saldature è stato eseguito un controllo visivo e dimensionale. Le saldature più importanti (ad esempio le saldature delle giunzioni flangiate) sono state controllate a mezzo di particelle magnetiche e/o ultrasuoni.

Il filo di saldatura utilizzato è di tipo IT-SG3 (Saldature ad alta resistenza, fino a 600N/mm²), ed ha le seguenti caratteristiche:

Caratteristiche meccaniche: R=590N/mm²; S=420N/mm²; KV (20°C) = 50J

Composizione chimica media: C = 0.08%; Mn = 1.4%; Si = 0.8%; P = 0.02%; S = 0.02%.

I saldatori utilizzati per la costruzione delle strutture sono certificati secondo la UNI EN 287



3. ANALISI DEI CARICHI

Per il dimensionamento e la verifica delle strutture sono stati assunti i seguenti carichi base:

Peso Proprio Delle Strutture Principali (G_{1k})

La valutazione dei carichi gravitazionali associati all'aliquota permanente relativamente alle mebrature in acciaio viene eseguita a seconda del profilo adottato per ogni elemento in questione, quindi, sulla base della geometria e delle caratteristiche fisicomeccaniche delle sezioni definite.

Analisi dei carichi Passerella			
Carichi permanenti non strutturali (G_{2k})	Tavolato	0,4	kN/m ²
Carichi variabili (Q_k)	Ambienti suscettibili di affollamento	4	kN/m ²

Tali carichi caratteristici saranno opportunamente combinati per ogni tipologia di verifica successivamente riportata.



4. VERIFICA DI DEFORMABILITÀ TRAVI

La verifica agli spostamenti verticali viene effettuata secondo il §4.2.4.2.1 delle NTC 08.

Il valore totale dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento è definito come:

$$\delta_{tot} = \delta_1 + \delta_2$$

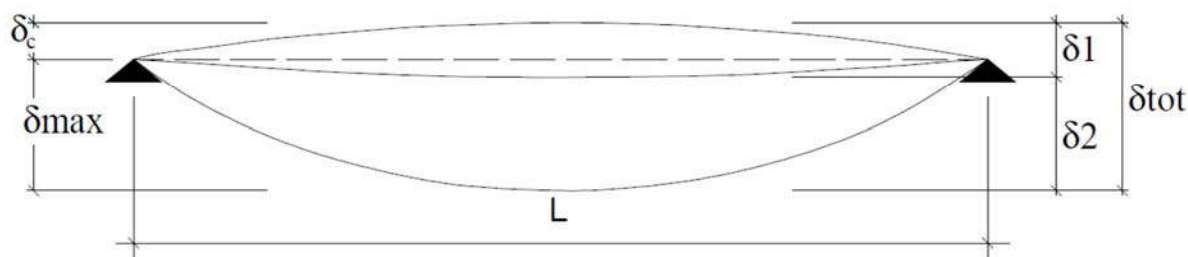


Figura 4.3.1.3.I Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio.

essendo:

δ_c la monta iniziale della trave,

δ_1 lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti,

δ_2 lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili,

δ_{max} lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale = $\delta_{tot} - \delta_c$.

In carenza di più precise indicazioni si possono adottare i limiti indicati nella Tab. 4.2.X delle NTC 2008, la verifica è soddisfatta se sono soddisfatte le seguenti relazioni:

$$\frac{\delta_{max}}{L} < \frac{1}{250} \quad ; \quad \frac{\delta_2}{L} < \frac{1}{300}$$

I valori limite di δ_{max} e δ_2 , riferiti alle combinazioni caratteristiche delle azioni, sono espressi come funzione della luce L dell'elemento.

Quindi, i carichi saranno combinati secondo la combinazione di carico rara, dal §4.2.4.2.1 delle NTC 08 :

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$



Siccome stiamo effettuando una verifica in fase di esercizio, le sollecitazioni sono tali da far rimanere la struttura in campo elastico. Per cui si considera tutta la sezione in luogo di quella efficace, ovvero l'inerzia totale invece di quella efficace.

La freccia massima per lo schema statico in figura 4.3.1.4.I vale:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Ovviamente, nel caso in cui non è possibile ricondurre ad uno schema di trave appoggiata-appoggiata con carico uniformemente distribuito per il calcolo della freccia massima si è fatto riferimento alla teoria della linea elastica.

Le verifiche risultano essere soddisfatte per ogni profilo, di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i suddetti calcoli per ogni tipologia di profilo adottata considerando esclusivamente gli elementi più svantaggiati:

	G1	G2	Q	Largh. Di comp.	q _{SLE}	scarico sec.	I	Luce	δ _{max}	L/250	δ ₂	L/300	Verifica
	kg/ ml	kg/ m ²	kg/ m ²	ml	N/mm	N	mm ⁴	mm	mm	mm	mm	mm	
IPE 80	6	40	400	0,5	2,48	0	801000	1200	0,40	4,8	0,35	4	OK
IPE 100	8,1	40	400	0,5	2,501	1192	1710000	1563	0,80	6,25	0,59	5,21	OK
UPN 140	16	0	0	0,5	0,16	2976	6050000	1635	0,50	6,54	0,42	5,45	OK



5. VERIFICA DI RESISTENZA TRAVI

La verifica di resistenza a flessione e a taglio tenendo in conto nell'analisi dei carichi anche del peso proprio della trave utilizzando la combinazione fondamentale agli SLU ovvero:

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

Per le verifiche di resistenza si tiene conto del § 4.2.4.1.2 delle NTC 2008.

Verifica di resistenza a flessione

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Dove la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ si valuta tenendo conto della presenza di eventuali fori in zona tesa per collegamenti bullonati o chiodati.

Essendo tutte le sezioni adottate di classe 1 relativamente alla pura flessione, la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Per il calcolo del momento flettente agente M_{Ed} si è fatto riferimento allo schema di trave appoggiata-appoggiata per le travi secondarie, dove il momento massimo è in mezzzeria pari a:

$$M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

Per schemi più complessi si è fatto riferimento al metodo degli spostamenti per il calcolo delle massime sollecitazioni.



Le verifiche risultano essere soddisfatte per ogni profilo, di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i suddetti calcoli per ogni tipologia di profilo adottata considerando esclusivamente gli elementi più svantaggiati:

	G1	G2	Q	Area inf.	q _{SLU}	q _{SLU}	scarico sec.	W _{pl}	M _{Ed}	M _{c,Rd}	Verifica
	kg/ml	kg/m ²	kg/m ²	ml	kg/ml	N/mm	kg	mm ³	kgm	kgm	
IPE 80	6	40	400	0,5	370,8	3,708	0	20030	67	525	OK
IPE 100	8,1	40	400	0,5	373,53	3,7353	167	34200	357	896	OK
UPN 140	16	0	0	0,5	20,8	0,208	222	86400	245	2264	OK

Verifica di resistenza a taglio

Per quanto riguarda la verifica a taglio, il valore massimo della sollecitazione tagliante per una trave appoggiata-appoggiata è pari a:

$$V_{max} = \frac{q_{t,SLU} \cdot l}{2}$$

Secondo quanto prescritto al §4.2.17 delle NTC08 deve essere soddisfatta la seguente relazione

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Dove la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

Secondo il §4.2.19 delle NTC08 per profilati ad I caricati nel piano dell'anima si può assumere come area resistente a taglio A_v :

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + r) t_f$$

Dove:

A : Area totale del profilo

b : Base del profilo



t_f : Spessore dell'ala

t_w : Spessore dell'anima

r : raggio di raccordo anima-ala

Le verifiche risultano essere soddisfatte per ogni profilo, di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i suddetti calcoli per ogni tipologia di profilo adottata considerando esclusivamente gli elementi più svantaggiati:

	G1	G2	Q	Area inf.	q_{SLU}	q_{SLU}	scarico sec.	A_{vz}	V_{Ed}	$V_{c,Rd}$	Verifica
	kg/ml	kg/m ²	kg/m ²	ml	kg/ml	N/mm	kg	mm ²	kg	kg	
IPE 80	6	40	400	0,5	370,8	3,708	0	358	222	5422	OK
IPE 100	8,1	40	400	0,5	373,53	3,7353	167	508	641	7693	OK
UPN 140	16	0	0	0,5	20,8	0,208	222	1041	765	15765	OK



6. VERIFICA DEI COLLEGAMENTI

Si passa ora alla verifica dei collegamenti, si sono individuati i collegamenti maggiormente sollecitati. Nella figura è possibile individuare i nodi tipo scelti.

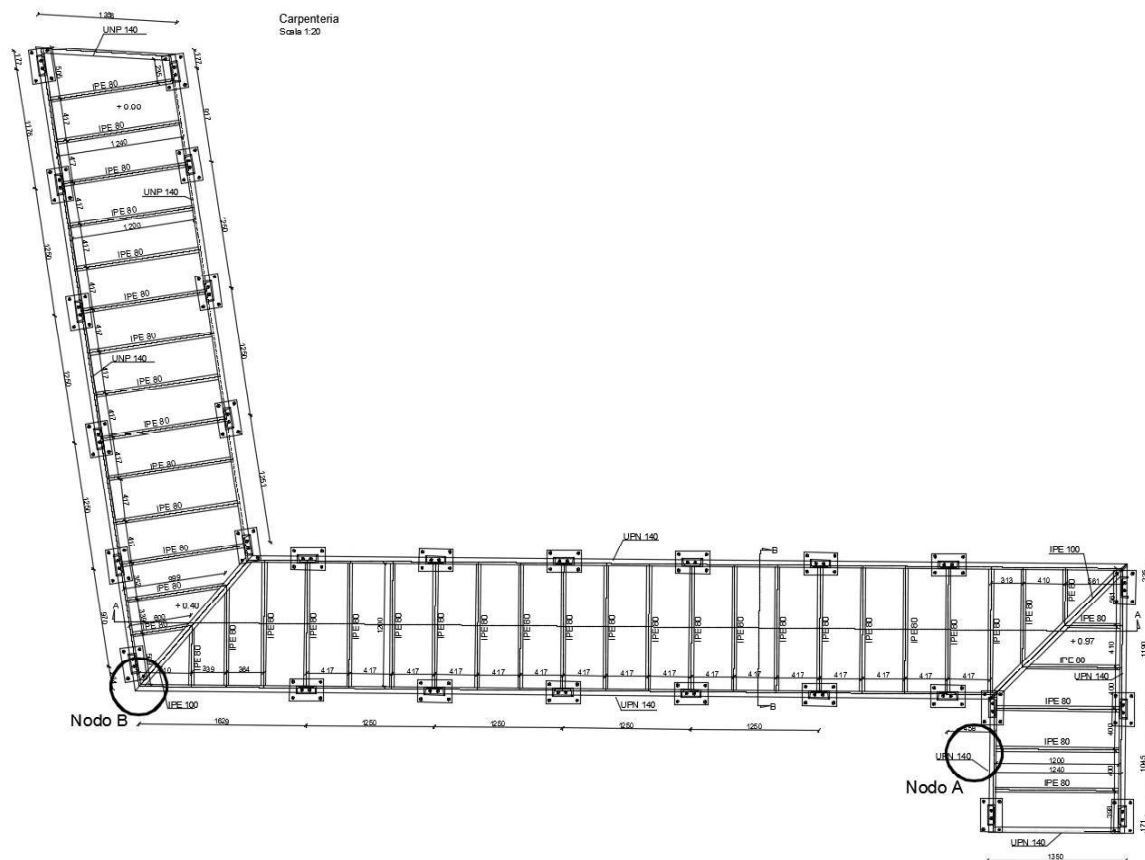


Figura 11 Denominazione collegamenti

Per la verifica si adottano le seguenti resistenze ricavate dalla normativa NTC 2008 §4.1.8

Unioni con bulloni soggetti a Taglio/Taglio e Trazione

La resistenza di calcolo a taglio dei bulloni e dei chiodi $F_{v,Rd}$, per ogni piano di taglio che interessa il gambo dell'elemento di connessione, può essere assunta pari a:



$$F_{v,Rd} = 0,5 f_{tb} A_{res} / \gamma_{M2}$$

per bulloni classe 8.8 e 10.9, dove A_{res} indica l'area resistente della vite e si adotta quando il piano di taglio interessa la parte filettata della vite. Nei casi in cui il piano di taglio interessa il gambo non filettato della vite si ha

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tb} A / \gamma_{M2}$$

dove A indica l'area nominale del gambo della vite e f_{tb} , invece, indica la resistenza a rottura del materiale impiegato per realizzare il bullone.

La resistenza di calcolo a rifollamento $F_{b,Rd}$ del piatto dell'unione, bullonata o chiodata, può essere assunta pari a:

$$F_{b,Rd} = k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2}$$

dove:

d è il diametro nominale del gambo del bullone;

t è lo spessore della piastra collegata;

f_{tk} è la resistenza a rottura del materiale della piastra collegata;

$\alpha = \min \{e_1 / (3 d_0) ; f_{tb} / f_{ub} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato,

$\alpha = \min \{p_1 / (3 d_0) - 0,25 ; f_{tb} / f_{ub} ; 1\}$ per bulloni interni nella direzione del carico applicato;

$k = \min \{2,8 e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato;

$k = \min \{1,4 p_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni interni nella direzione perpendicolare al carico applicato;

essendo e_1 , e_2 , p_1 e p_2 indicati in Fig. 4.2.3 e d_0 il diametro nominale del foro di alloggiamento del bullone.

Unioni saldate

Saldature a completa penetrazione

I collegamenti testa a testa, a T e a croce a piena penetrazione sono generalmente realizzati con materiali d'apporto aventi resistenza uguale o maggiore a quella degli elementi collegati. Pertanto la resistenza di calcolo dei collegamenti a piena



penetrazione si assume eguale alla resistenza di progetto del più debole tra gli elementi connessi. Una saldatura a piena penetrazione è caratterizzata dalla piena fusione del metallo di base attraverso tutto lo spessore dell'elemento da unire con il materiale di apporto.

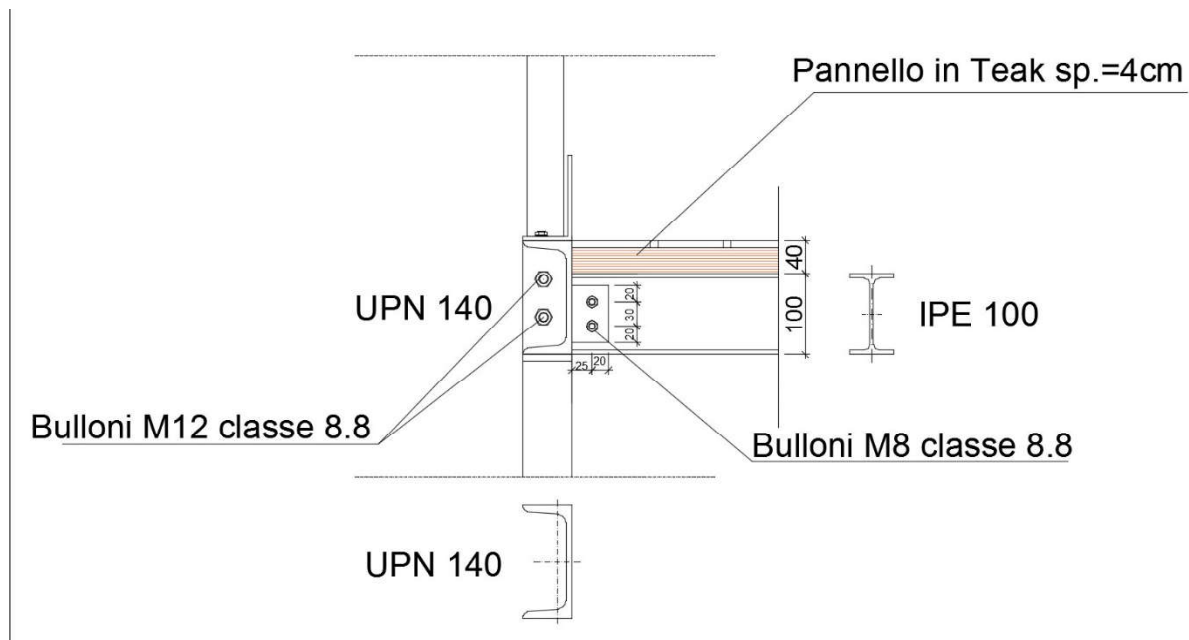
Unioni con saldature a cordoni d'angolo

La resistenza di progetto, per unità di lunghezza, dei cordoni d'angolo si determina con riferimento all'altezza di gola "a", cioè all'altezza "a" del triangolo iscritto nella sezione trasversale del cordone. La lunghezza di calcolo l è quella intera del cordone, purché questo non abbia estremità palesemente mancanti o difettose.

Resistenze di calcolo delle saldature a cordone d'angolo

Allo stato limite ultimo le azioni di calcolo sui cordoni d'angolo si distribuiscono uniformemente sulla sezione di gola. Considerando la sezione di gola in posizione ribaltata, si indicano con σ_{\perp}

e con τ_{\perp} la tensione normale e la tensione tangenziale perpendicolari all'asse del cordone e con $\tau_{//}$ la tensione tangenziale parallela all'asse del cordone d'angolo. La verifica dei cordoni d'angolo si effettua controllando che siano soddisfatte simultaneamente le due condizioni:

**NODO A: Collegamento travi secondarie IPE 100 con travi primarie UPN 140**

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei calcoli sopra elencati:

Resistenza Bulloni e resistenza ultima fazzoletti							
diametro	d0	Ab	Ares	fyb	ftb	Fv,rd	Ft,rd
mm	mm	mm ²	mm ²	Mpa	Mpa	Kg	Kg
8	10	50,24	37,68	649	800	1446,9	2170,4

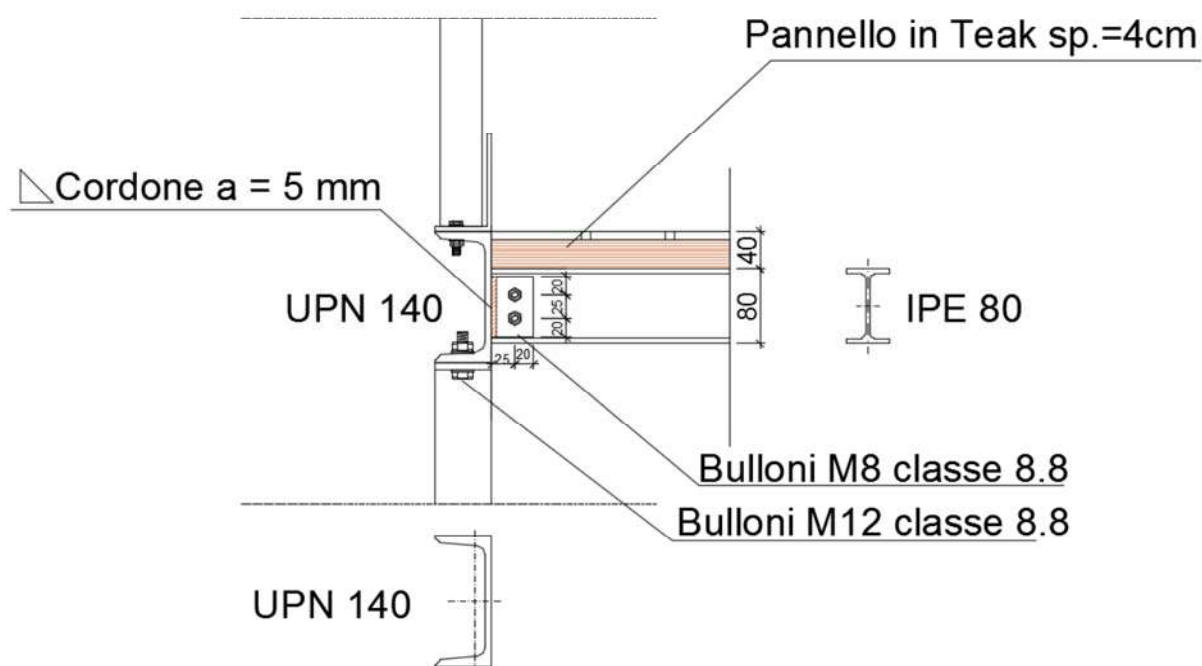
Anima IPE 100					Fazzoletto sp.(5mm)				
spessore	ftk	e1	e2	p1	spessore	ftk	e1	e2	p1
mm	Mpa	mm	mm	mm	mm	Mpa	mm	mm	mm
4,1	430	20	25	25	5	430	20	25	25

Verifica a Taglio				
V _{ED}	numero	numero	V _{bM}	Verifica
Kg	bulloni	sez. taglio	Kg	
765	2	1	382,50	OK

Verifica Rifollamento				
	k	α	F _{b,Rd}	Verifica



			Kg	
Anima IPE 100	2,5	0,7	1880,5	OK
Fazzoletto	2,5	0,7	2293,3	OK

NODO B: Collegamento travi secondarie IPE 80 con travi primarie UPN 140

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei calcoli sopra elencati:

Resistenza Bulloni e resistenza ultima fazzoletti							
diametro	d0	Ab	Ares	fyb	ftb	Fv,rd	Ft,rd
mm	mm	mm ²	mm ²	Mpa	Mpa	Kg	Kg
8	10	50,24	37,68	649	800	1446,9	2170,4

Anima IPE 80					Fazzoletto sp.(5mm)				
spessore	ftk	e1	e2	p1	spessore	ftk	e1	e2	p1
mm	Mpa	mm	mm	mm	mm	Mpa	mm	mm	mm
3,8	430	20	25	25	5	430	20	25	25

Verifica a Taglio



V_{ED}	numero	numero	V_{bM}	Verifica
Kg	bulloni	sez. taglio	Kg	
641	2	1	320,50	OK

Verifica Rifollamento				
	k	α	$F_{b,Rd}$	Verifica
			Kg	
Anima IPE 80	2,5	0,7	1742,9	OK
Fazzoletto	2,5	0,7	2293,3	OK

Tensioni agenti sulla saldatura											
n saldature	a	h	W	N_{ED}	$N_{//}$	N_{\perp}	e	M	$\tau_{//}$	σ_{\perp}	σ_{id}
	mm	mm	mm ³	N	N	N	mm	Nmm	Mpa	Mpa	Mpa
2	5	65	114427,083	1029000	641	0	25	25725000	0,99	225	225

Verifiche						
f_{tk}	β_w	γ_{M2}	$f_{tk}/(\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	Verifica	f_{tk}/γ_{M2}	Verifica
Mpa			Mpa		Mpa	
430	0,85	1,25	405	OK	344	OK



7. CALCOLO DEL PESO DELLA STRUTTURA

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva della del calcolo dei pesi totali della struttura. Tale tabella considera per ogni tipologia di elemento:

- Il peso a metro lineare del profilo scelto
- la lunghezza degli elementi
- Il ed in numero di elementi con stessa lunghezza e profilo

Per una maggiore comprensione di tale tabella c'è da dire che in alcuni casi per rapidità di calcolo si sono misurati gli sviluppi di più elementi considerandoli come unico elemento omogeneo (travi secondarie di lunghezze non pari ad 1,2m), in altri casi come per il pilastri non è possibile determinare a priori la loro effettiva lunghezza perché essa dipenderà dall'effettivo andamento della sottostante scogliera, si è quindi considerata una lunghezza media di 20cm.

Peso struttura in acciaio						
elemento	Profilo	Peso/m	n°	Lunghezza	Somma lunghezze	Peso
		kg/m		m	m	kg
Travi secondarie	IPE 80	6	33	1,2	39,6	237,6
Travi secondarie < 1,2m	IPE 80	6	1	5,7	5,7	34,2
Travi secondarie	IPE 100	8,1	1	3,3	3,3	26,73
Travi principali	UPN 140	16	1	34,5	34,5	552
Pilastri	UPN 140	16	28	0,2	5,6	89,6
Fermapiede	Profilo L	3,51	1	32,1	32,1	112,67
Corrimano	Tubo circ. 51X3	3,55	1	32,1	32,1	113,95
Montanti parapetto	Tubo quadro50X50X5	6,85	1	32,1	32,1	219,88
tot						1386,64



8. CONCLUSIONI

Le verifiche sono state soddisfatte con ottimi risultati, nel senso che tutte le sollecitazioni sui materiali risultano inferiori a quelle limiti prefissate, per cui la struttura risponde bene all'azione dei carichi di calcolo.

Le azioni gravitazionali ed eccezionali sono state applicate alla struttura in conformità alle disposizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.01.2008) e gli elementi sono stati verificati con il metodo agli stati limite. Tutte le verifiche effettuate hanno dato esito positivo.

Capri, lì 13.02.2017

Il Tecnico
ing. Giuseppe De Angelis