



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



COMUNE DI DORGALI

INTERVENTO DI RECUPERO PAESAGGISTICO E AMBIENTALE DEL SITO ARCHEOLOGICO DI TISCALI NEI COMUNI DI DORGALI E OLIENA - DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N° 17/15 DEL 24-04-2012.

IMPEGNO DELLE SOMME DERIVANTI DALLE SANZIONI EX ART 167 D.LGS N° 42 DEL 22 GENNAIO 2004 E SS.MM.II.

DETERMINAZIONE N° 4205 PROT. NUMERO 54564/I.4.3. DEL 25 SETTEMBRE 2012

CUP. F95G12000320002



CODICE ELABORATO:

DF-A-REL-9

ELABORATO:

CALCOLI DELLE STRUTTURE

SCALA

DATA

GENNAIO 2014

AGGIORNAMENTO

MARZO 2014

COMMITTENTE

COMUNE DI DORGALI

AREA TECNICA

VIA UMBERTO 37 - 08022 DORGALI (NU)

TEL 0784-927239 - responsabile.tecnica@comune.dorgali.nu.it

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. FANCELLO FRANCESCO

SUPPORTO AL RUP.

DOTT.SSA NIEDDU CATERINA

SPAZIO PER NULLA OSTA :

TECNICO PROGETTISTA

ARCH. BROCCA FRANCESCO

VIA UMBERTO 67 -08022 DORGALI (NU)

CELL. 3483475853 - geodorgali@gmail.com

COLLABORAZIONE: Arch. Enrica Caire, Arch. Masala Alessandro, Studio Itera



COORDINATORE DELLA SICUREZZA

ARCH. FRONTEDDU GRAZIANO

VIA BACHISIO FANCELLO 4 -08022 DORGALI (NU)

CELL. 329155888 - graziano.z77@gmail.com

GEOLOGO

DOTT. MULAS GIANFRANCO

VIA MARCO POLO 60 - 08100 NUORO

TEL. 0784206114 - geologo.mulas@gmail.com

ARCHEOLOGO

DOTT. DELUSSU FABRIZIO

VIA DEPRETIS 7 - 08022 DORGALI (NU)

CELL. 3475012131 - fabrizio.delussu@tiscali.it

COMUNI DORGALI-OLIENA

PROVINCIA NUORO

RELAZIONE TECNICA

STRUTTURALE

PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO: strutture di acciaio Cor.Ten. delle scale e
delle rampe dei sentieri di accesso al sito
archeologico di Tiscali

Il calcolatore: **Giovanni Maria Tanda**

dottore ingegnere

Prodromi

La presente relazione tecnica inerisce in maniera precipua il progetto di massima delle strutture di acciaio di tipo Cor.Ten. A dei camminamenti da realizzare presso il sito archeologico di Tiscali, comune di Dorgali e provincia di Nuoro, nell'ambito del:

Progetto di recupero paesaggistico e ambientale del sito archeologico di tiscali nei comuni di Dorgali e Oliena

- Deliberazione della Giunta regionale n. 17/15 del 24 aprile 2012

I luoghi

Il suolo del sito ove saranno realizzate le opere è di tipo calcareo per lo più compatto che ben si presta quindi all'infissione, tramite foratura e resinatura, delle opere di collegamento delle strutture dei camminamenti con il terreno.

Descrizione dei materiali e dell'opera

In ordine ad una migliore fruizione del sito archeologico da parte dei visitatori il progettista ha scelto di realizzare una serie di camminamenti all'interno del sito archeologico e, dovendo garantire adeguata resistenza e durabilità delle opere, anche in considerazione dei rilevanti differenziali altimetrici tra i vari luoghi, ha indicato, per alcuni tratti l'impiego di acciaio di tipo COR.TEN. (CORrosion resistance + TENsile strength = Elevata resistenza alla corrosione + Elevata resistenza meccanica).

Tra i vari tipi di acciai COR.TEN. è stato scelto il tipo C.

Il COR-TEN C, introdotto nel mercato recentemente, ha una resistenza meccanica notevolmente superiore agli altri due tipi (A e B), pur conservando caratteristiche di resistenza alla corrosione atmosferica di circa quattro volte superiori a quelle degli acciai al carbonio.

Il tipo C offre quindi nuove possibilità di impiego specialmente nelle applicazioni per le quali occorrono materiali aventi una resistenza meccanica elevata e una durabilità superiore.

I laminati di acciaio COR-TEN C, sono fabbricati con spessori fino a 25,5 millimetri e possono essere piegati a freddo a patto di rispettare determinate curvature.

Si è scelto di impiegare la lamiera di spessore pari a 3 mm e di piegarla a freddo per realizzare gli elementi strutturali dei menzionati camminamenti secondo la geometria che sarà di seguito indicata.

Poiché le porzioni strutturali dovranno essere trasportate tramite elicottero si è scelto di uniformarle il più possibile, prevedendone una ragionevole deframmentazione, un ridotto ingombro e una efficienza cantierabilità.

L'elemento strutturale tipo considerato ha forma di C secondo le seguenti dimensioni: 200 mm (base) x 40 mm (altezza) x 30 mm (alette). Con tale elemento sono stati previsti: i longheroni delle rampe, i gradini e parte degli apparecchi di appoggio snodabili.

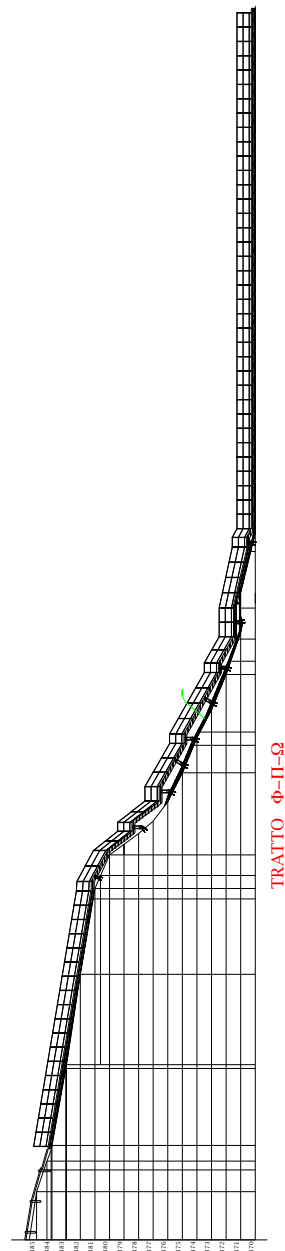
In particolare i longheroni delle scale delle rampe, vale a dire i telai sui quali saranno fissati i gradini, seguiranno il più possibile l'andamento del terreno e saranno perciò costituiti di tratti limitati in lunghezza, perciò facilmente trasportabili e assemblabili in loco tramite saldatura o bullonatura (in ogni caso la ditta realizzatrice dell'opera dovrà dotarsi di gruppo elettrogeno dato che il sito non è servita dall'energia elettrica). Per i gradini e le rampe è previsto un elemento modulare di caratteristiche geometriche e meccaniche indicate, vale a dire lamiera COR.TEN. piegata a freddo di misura dello spessore pari a 3 mm e della sezione trasversale retta pari a 200 mm (base) x 40 mm (altezza) x 30 mm (alette). L'acciaio ossidato impedirà gli scivolamenti anche se bagnato. Ogni gradino sarà assicurato ai longheroni tramite bullonatura.

Altro elemento strutturale impiegato ha sempre forma di C, ma secondo le seguenti dimensioni: 100 mm (base) x 40 mm (altezza) x 30 mm (alette). Con tale elemento sono stati previsti i ritti di collegamento tra i tratti di scale e rampe molto prossimi al suolo. Tali ritti saranno solidarizzati col terreno tramite carotatura dello stesso e incollatura con resina epossidica.

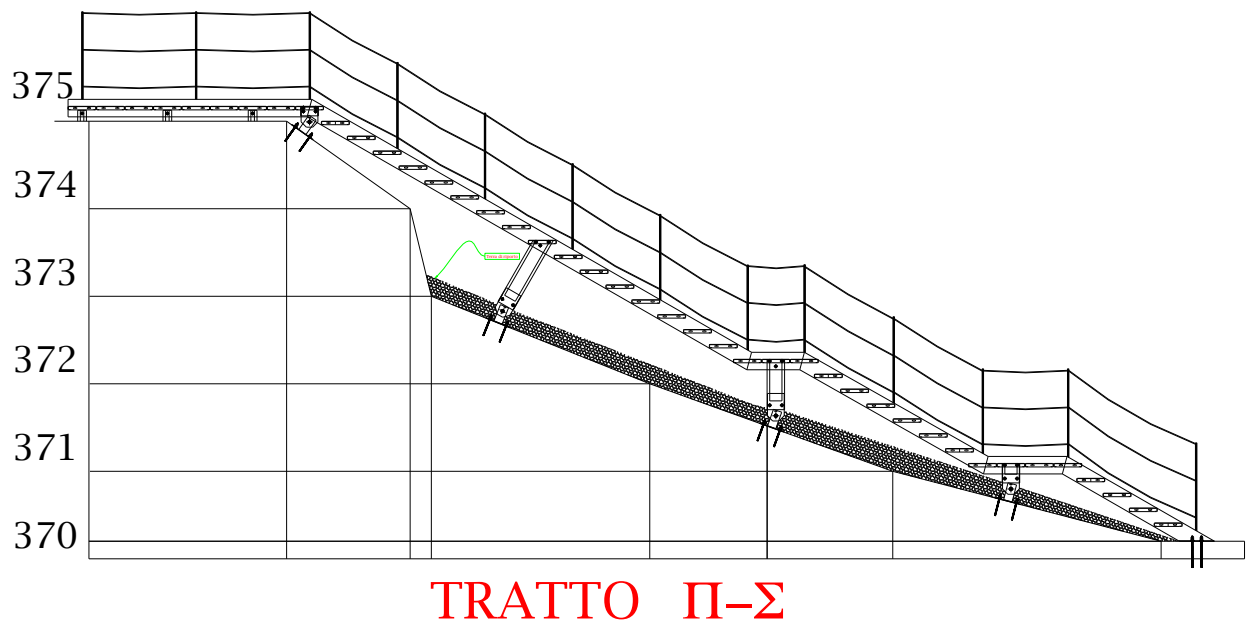
Nei tratti di maggiore differenziale altimetrico sono stati previsti particolari elementi di appoggio telescopici e snodabili per meglio garantire il collegamento tra le strutture delle scale e il terreno e agevolare l'esecuzione. Ogni apparecchio di appoggio è costituito da elementi di lamiera COR.TEN. piegata a freddo di misura dello spessore pari a 3 mm per alcune parti e 5 mm per altre, a forma di C sfilabili per adattarsi alla superficie del suolo; da una cerniera che consente lo snodo della piastra di appoggio; da controventi trasversali; da una piastra di fondazione con i relativi tirafondi. Quest'ultimi, come tutti gli altri, saranno infissi nel terreno previa foratura e adeguata resinatura. Le opere di fondazione potranno essere coperte con materiale di riporto proveniente dalle opere di scavo del sito stesso per ridurre l'influenza visiva dei luoghi.

I bulloni, i dadi e controdadi, le rondelle e i piattini dovranno esser di acciaio COR.TEN. oppure, se non reperibili, di acciaio classe 10.9 in quanto dotato di caratteristiche similari al COR.TEN. per quanto attiene l'idratazione ferrica superficiale e i parametri meccanici.

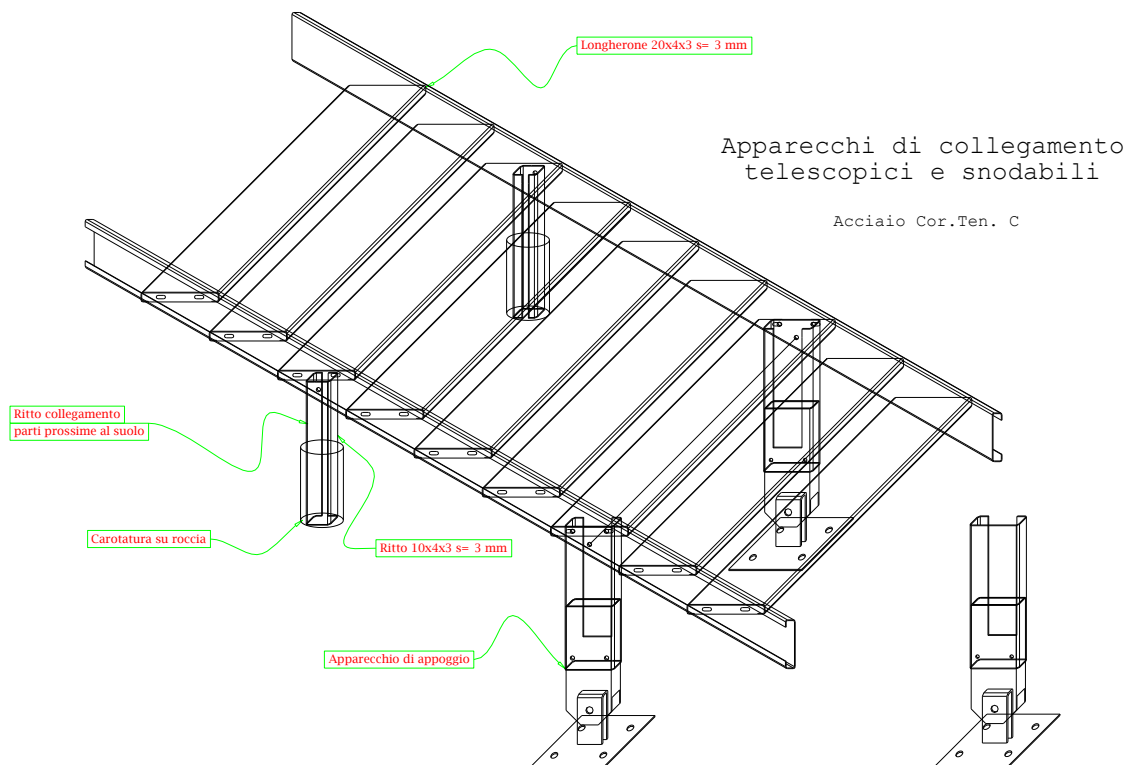
I camminamenti saranno dotati di balaustre di acciaio COR.TEN. opportunamente collegate ai longheroni tramite bullonatura con mera funzione perimetrale del percorso e dissuasiva della sua fuoriuscita. Infatti dato che l'intervento sarà dotato di un **Piano delle prescrizioni d'uso** e che è intendimento dei progettisti e dei curatori del sito, consentire l'accesso di un numero limitato di persone per volta, si dovrà escludere in ogni modo la possibilità di realizzazione della situazione di folla compatta. Tale condizione provocherebbe spinte orizzontali sulla balaustra tali (150 kg/m orizzontali a un metro di altezza da terra) da obbligare il dimensionamento di un balaustra assai più robusta di quella prevista. Ad ogni modo la balaustra scelta dovrà essere tale da impedire la caduta del visitatore e di aiutarlo nel suo percorso.



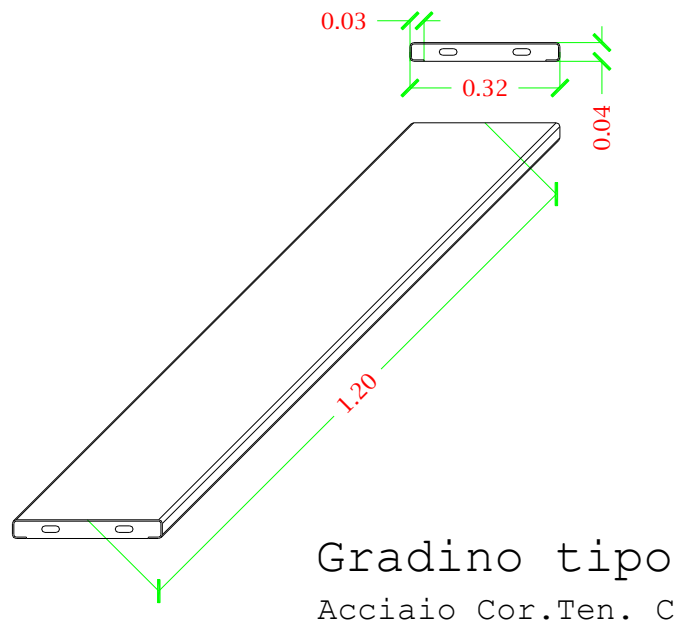
Il disegno mostra lo sviluppo longitudinale del tratto $\Phi-\Pi-\Omega$ comprendente scale, rampe e pianerottoli. Naturalmente tale disegno è il risultato della rettificazione di una poligonale di pianta perciò in fase esecutiva dovranno essere curati i pezzi speciali dei gradini di raccordo tra i vari tratti con sviluppo planimetrico non allineato.



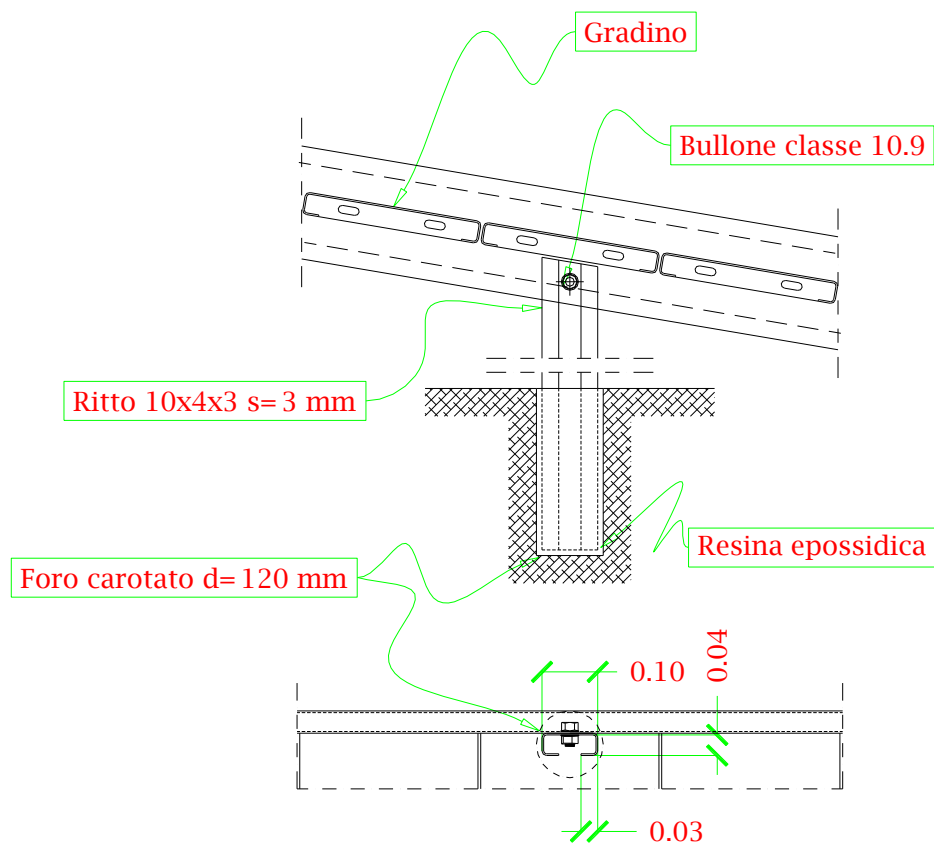
Il disegno mostra lo sviluppo longitudinale del tratto II-Σ. Visibile la coltre di copertura degli apparecchi di fondazione da realizzare con materiale di riporto proveniente dagli scavi del sito.



Il disegno rappresenta lo sviluppo assonometrico di un tratto tipo di scala ove sono visibili gli apparecchi di appoggio fissi e regolabili,



Il disegno mostra lo sviluppo assonometrico del gradino tipo.

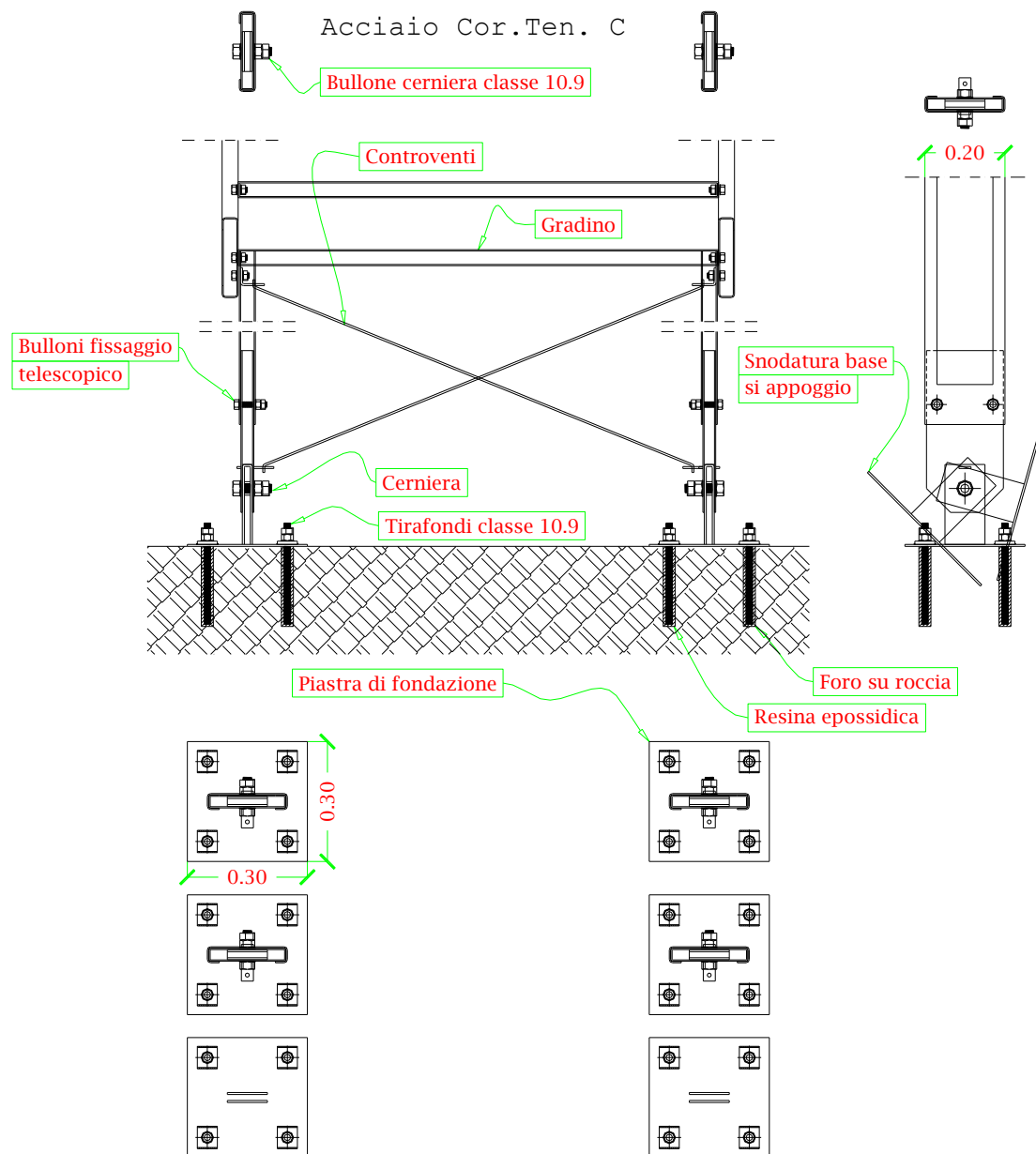


Ritti parti prossime al
suolo

Acciaio Cor.Ten. C

Il disegno mostra il sistema di collegamento dei tratti di scala e di rampa prossimi al suolo che avverrà, come detto, tramite infissione in appositi fori praticati nella roccia e impiego di resina epossidica.

Apparecchi di collegamento telescopici e snodabili



Il disegno mostra il sistema di collegamento dei tratti di scala sopraelevata rispetto al terreno, tramite impiego dei citati apparecchi telescopici e con piastra di appoggio snodabile.

La struttura portante

Prodromi

La presente relazione si riferisce al dimensionamento dell'elemento della scala maggiormente sollecitato, vale a dire il longherone. Per tutti gli altri si rimanda al progetto esecutivo.

Il calcolo

I profili impiegati sono del tipo: sottili ($s < 4$ mm) ottenuti tramite piegatura a freddo di lamiere o nastri d'acciaio. L'inquadrimento teorico risulta assai complesso al punto che le varie normative si basano su dati sperimentali. Il metodo di calcolo impiegato è quello agli Stati limite.

Per quanto attiene la teoria, lo studio dei profili sottili è caratterizzato dall'instabilità locale (instabilità all'imbozzamento delle pareti compresse di travi inflesse) che non è annoverato nello studio dei profilati a caldo di tipo commerciale. Infatti gli spessori delle flange componenti è tale da scongiurare tale eventualità. Basti pensare all'ala compressa di un elemento di forma della sezione retta trasversale a C inflesso, che instabilizzandosi sotto l'effetto dei carichi e uscendo dal suo piano, provoca una riduzione della resistenza del profilo stesso. La riduzione di resistenza del profilo è caratterizzata dal rapporto larghezza-spessore delle parti compresse: tanto maggiore è tale rapporto, a meno resistente sarà il profilo. Dal punto di vista progettuale le sezioni sottili si dividono in due categorie, a seconda che le parti compresse siano irrigidite o non irrigidite. Le prime (a C, a omega e scatolare) sono calcolate definendo dapprima la larghezza utile ridotta b_{eff} della parte compressa che effettivamente contribuisce alla resistenza del profilo. Le seconde (a U e a L) sono calcolate considerando una tensione ridotta degli sforzi di compressione in dipendenza del rapporto b/t ove b è la misura della larghezza della porzione compressa compresa tra le curvature della piegatura e t la misura dello spessore.

Verifica di resistenza

Per le strutture irrigidite, come quelle impiegate nel presente progetto, si devono definire le larghezze effettive delle parti compresse (per i profili non irrigiditi e le parti tese si considera l'intera sezione) da impiegare poi per il calcolo delle caratteristiche geometriche dei profili stessi. Per la verifica di resistenza si assume $b = b_{eff}$ se il rapporto b/t è minore del valore limite determinabile, in funzione della resistenza di progetto, con la relazione:

$$[b/t]_{max} = 463 \cdot \text{inv}[(f_d/1.5)^{0.5}]$$

Poiché $f_d = f_y/\gamma_m = (560 \text{ N/mm}^2)/1$ essendo $f_y = 560 \text{ N/mm}^2$ e $\gamma_m = 1$

$$[b/t]_{max} = 463 \cdot \text{inv}[(560/1.5)^{0.5}] \sim 24$$

$b/t = 30 \text{ mm}/3 \text{ mm} = 10$ essendo $b = 30 \text{ mm}$ la misura della larghezza della parte compressa epurata dalla parte curva il cui contributo, per semplicità di calcolo e ulteriore sicurezza, non è considerata nel calcolo.

Poiché risulta: $b/t = 10 < [b/t]_{max} = 24$ si può assumere $b = b_{eff} = 30 \text{ mm}$.

Per il calcolo di parametri dipendenti dalle deformabilità si assume $b = b_{eff}$ se il rapporto b/t è minore del valore limite determinabile, in funzione della tensione σ presente nell'elemento, con la relazione:

$$[b/t]_{\max} = 580 \cdot \text{inv}[(\sigma/1.5)^{0.5}]$$

Verifica a flessione semplice

Per gli elementi irrigiditi vale la seguente relazione:

$$\sigma = M/W_{\text{eff}} \leq f_d$$

dove: M è il momento flettente agente sull'elemento

W_{eff} è il modulo di resistenza effettivo minimo

f_d è la resistenza di progetto

Momento di inerzia e modulo di resistenza del profilo a C

B	B	H	h	s	c	d	J	W_{eff}
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ⁴	mm ³
40,00	37,00	200,00	194,00	3,00	30,00	134,00	5377886,00	53778,86
							cm ⁴	cm ³
							537,79	53,78

Come detto il calcolo della geometria delle masse si basa sulla relazione $b = b_{\text{eff}} = 30 \text{ mm}$.

In base al valore del modulo di resistenza $W_{\text{eff}} = 53 \text{ cm}^3$ e considerando $f_d = 560 \text{ N/mm}^2$ si ottiene il momento flettente massimo che un longherone può sostenere:

$$M = f_d \cdot W_{\text{eff}} \sim 5600 \text{ daN/cm}^2 \cdot 53 \text{ cm}^3 \sim 296800 \text{ daN} \cdot \text{cm}$$

Peso proprio e permanente

Longheroni 20x4x3 s=3 mm						
Lamiere						
γ_{cr}	A_1	l_1	p_{1m}	l	n	p_{parziale}
kg/mc	mq	m	kg	m		kg
7860,00	0,0010	1,00	7,86	1,00	1,00	7,86

Gradini 20x4x3 s=3 mm						
Lamiere						
γ_{cr}	A_1	l_1	A_2	l_2	n	$p_{1\text{gradino}}$
kg/mc	mq	m	mq	m		kg
7860,00	0,0013	0.90	0,00004	0,00300	1,00	9,20

Il peso proprio di un metro di longherone vale: $P_1 \sim 7.86 \text{ kg}$

Il peso proprio di un gradino vale: $P_g \sim 9.20 \text{ kg}$ (la misura della larghezza di un gradino è posta pari a 1.20 m).

In un metro quadrato sono presenti $1.00 \text{ m}/(0.32 \text{ m}) \sim 3.125$ gradini e due tratti di longherone: $P'_{\text{tot}} \sim 9.20 \text{ kg} \cdot 3.125 + 2 \cdot 7.86 \text{ kg} \sim 45.00 \text{ kg}$.

Considerando il peso delle balaustre e della canapa pari a circa $(6+6) \text{ kg} = 12 \text{ kg}$, il peso totale di un metro quadrato di scala vale circa $P_{\text{tot}} \sim 57 \text{ kg}$. Il valore testé riportato si riferisce ad un tratto di sviluppo orizzontale, perciò ammettendo un'inclinazione massima della rampa con pendenza pari a 1, si potrà avere un valore $P'_{\text{tot}} \sim 9.20 \text{ kg} \cdot 3.125 + 2 \cdot 7.86 \text{ kg} / \cos 45^\circ \sim 51.00 \text{ kg}$ e quindi $P_{\text{tot}} \sim 63 \text{ kg}$. In definitiva ogni metro di longherone dovrà sostenere un peso proprio e permanente pari a $P_{\text{tot}} \sim 63 \text{ kg}/2 \sim 32 \text{ kg}$, vale a dire: $G \sim 32 \text{ kg/m}$.

Carico accidentale

Nella situazione di folla compatta previsto per le scale si pone: $C_a = 400 \text{ kg/m}^2$. A tal proposito occorre ricordare che, secondo il **Piano delle prescrizioni d'uso**, con ogni probabilità il massimo carico accidentale per passaggio sulle rampe di visitatori del sito, sarà limitato ad un valore inferiore. Presumibilmente esso sarà posto pari alla metà di quello anzidetto.

Poiché la misura della larghezza della rampa è quasi uguale a un metro ($\sim 96 \text{ cm}$) ad ognuno dei longheroni spetta un carico ripartito pari a $Q = 400 \text{ kg/m}^2 \cdot 0.50 \text{ m} = 200 \text{ kg/m}$

Secondo normativa si ha:

$$F = \gamma_s \cdot G + \gamma_q \cdot Q = 1.4 \cdot 32 \text{ kg/m} + 1.5 \cdot 200 \text{ kg/m} \sim 345 \text{ kg/m} \sim 3.45 \text{ daN/cm}$$

Per la resistenza del singolo longherone, ammettendo, nella situazione vincolare più sfavorevole consistente nel semplice appoggio delle estremità, si può accettare una misura della sua lunghezza massima pari a:

$$l = (8 \cdot M/F)^{0.5} = (8 \cdot 296800/3.45)^{0.5} \sim 8.30 \text{ m}.$$

Per la verifica di resistenza ognuno dei longheroni, secondo quanto indicato e calcolato, potrebbe avere una lunghezza pari a $l \sim 8.00 \text{ m}$.

Per la deformabilità invece può avere al massimo la seguente lunghezza:

$$l = [(384 \cdot E \cdot J) / (5 \cdot 200 \cdot q)]^{0.333} \sim 4.973 \text{ m} \sim 5.00 \text{ m}$$

essendo: $E = 206000 \text{ N/mm}^2$

$$J = 5377886,00 \text{ mm}^4$$

$$q = 3.45 \text{ N/mm}^2$$

In definitiva se, ponendosi nelle condizioni più restrittive, si pone un carico accidentale pari a $Q = 400 \text{ kg/m}^2$, di dovrà fare in modo di non realizzare tratti di rampa o scala compresi tra un ritto o un montante di collegamento dello stesso col terreno, di misura della lunghezza pari a 5 m. In considerazione della situazione di vincolo reale, che per modalità costruttive sarà più favorevole di quella considerata nel presente calcolo, e per la riduzione del

carico accidentale normata, come accennato, nel **Piano delle prescrizioni d'uso**, la misura della lunghezza pari a 5 m potrebbe essere superata. Tuttavia, per ulteriore sicurezza, quella anzi scritta si indica come lunghezza limite del singolo longherone tra un appoggio al terreno e l'altro. Se per la costruzione degli elementi strutturali esaminati si dovesse impiegare un acciaio di qualità inferiore e permanendo il carico accidentale indicato (folla compatta), la luce massima ammissibile per un longherone, tra un appoggio e l'altro, sarà inferiore a quella calcolata.

In conclusione, poiché la presente ha dimostrato che il longherone è correttamente dimensionato, considerato che tutti gli altri elementi strutturali (gradino, apparecchi di collegamento et coetera) hanno misura delle lunghezze contenute e in massima parte sono realizzati con lo stesso profilato piegato a freddo, si attesta l'idoneità delle scelte costruttive compiute e si rimanda al Progetto esecutivo per il calcolo e la verifica di ognuno degli elementi strutturali costituenti.

Dixi.

Nuoro 20 gennaio 2014

Il calcolatore: **Giovanni Maria Tanda**
dottore ingegnere

