



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetze finanziertes Vorhaben

Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee



Ausbau Eisenbahnachse München-Verona

# BRENNER BASISTUNNEL

Designvariation

Potenziamento Asse Ferroviario Monaco-Verona








## GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

Variatione progettuale

Sub-Baulos Hauptbauwerke Eisackunterquerung

Sublotto di costruzione Opere Principali Sottoattraversamento Isarco

<b>Fachbereich</b>	<b>Settore</b>
08 - Verlegung Bestandsstrecke	08 – Spostamento della linea storica
<b>Thema</b>	<b>Tema</b>
02 - Ausrüstung	02 - Attrezzaggio
<b>Dokumentenart</b>	<b>Tipo documento</b>
Statischer Bericht	Relazione di calcolo
<b>Titel</b>	<b>Titolo</b>
Überprüfung der tiefen Fundamente der Sockel von TE-Blöcken	Verifica delle fondazioni profonde dei plinti dei blocchi TE

Ausführende Unternehmen / Imprese esecutrici 		Beauftragte / Mandataria:    		<b>Verarbeitung Detailausführungsprojekt</b> <b>Elaborazione Progetto Esecutivo di Dettaglio</b>		 SGAI s.r.l. di E.Forlani & C. Studio di Geologia Applicata e Ingegneria Via Marconi, 10 - 47033 Morciano di Romagna (RN) ITALY www.sgai.com sgai@sgai.com sgai@pec.sgai.net P.TVA 01894420403 C.F. 00772290411 Sistema gestione Qualità ISO 9001:2015 RINA 4207005				
				Datum/Data	Name/Nome					
		Bearbeitet / Elaborato		26.04.2021	M. Bianchi					
<b>Detailliertes Design / Progettazione Esecutiva</b> Beauftragte / Mandataria: RPA Auftraggeber / Mandanti: RockSoil S.p.A., Sembenelli Consulting; GP Ingegneria		Geprüft / Verificato		26.04.2021	F. Forlani 					
Progetto Esecutivo approvato con Comunicazione di Lavoro n.058 Prot. ZI.28683A del 03/08/2016		Freigegeben / Autorizzato		26.04.2021	E. Forlani					
<u>GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO – BRENNER BASISTUNNEL BBT SE</u>		Gesehen BBT / Visto BBT_RUP			A. Marottoli					
		Massstab / Scala		-						
Projekt-kilometer von / da 54+015 / Progressiva di bis / a 56+100 progetto bei / al		Bau-kilometer von / da 54+015 / Chilometro bis / a 56+100 opera bei / al		Status Dokument / Stato documento						
Staat	Los	Einheit	Nummer	Fachbereich	Thema	ID Numm.	Vertrag	Nummer	Dok.art	Revision
Stato	Lotto	Unità	Numero	Settore	Tema	Num. ID	Contratto	Codice	Tipo doc.	Revisione
02	H71	XX	YYY	08	02	001.00	B0115	08848	RT2	00

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

## Bearbeitungsstand Stato di elaborazione

Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
00	Erstversion Prima Versione	M. Bianchi	26.04.2021

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht  
Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio  
Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>CARICHI IN FONDAZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>RIPARTIZIONE DEI CARICHI .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>VERIFICA DEI MICROPALI.....</b>	<b>8</b>
5.1	VERIFICHE SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO) .....	8
5.1.1	Überprüfung des Zusammenbruchs durch Grenzlast gegen Axialbelastungen.....	8
5.1.1	Verifica di collasso per carico limite nei riguardi dei carichi assiali .....	8
5.1.2	Überprüfung des Zusammenbruchs nach Grenzlast in Bezug auf Querstellen .....	10
5.1.2	Verifica di collasso per carico limite nei riguardi dei carichi trasversali.....	10
5.1.3	Überprüfung des Zusammenbruchs gegen Zugaxialbelastungen .....	12
5.1.3	Verifica di collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione.....	12
5.2	VERIFICHE SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR) .....	14

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht  
Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio  
Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

## 1 VORWORT

Der vorliegende Berechnungsbericht enthält zum Gegenstand die Grundbausteine für die Pfähle, die eine inaktive Pipeline am festmachen im Rahmen des Designvariation der Arbeiten unterstützen verteidigen die während der Realisierungsphase der Ostverbindungstunnel Gleis 1 notwendigen „Unterquerung der Eisakunterquerung“, WBS GA-IDV (Künstlicher Tunnel, Ungleichmäßige Verbindungsvascone)

Insbesondere in dem folgendem Bericht gelten als die folgenden Pole:

- Pole vom Typ LSU14a an die Stifte nn 279 und 289 im analysierten Abschnitt der Abweichungen. Insbesondere wurde festgestellt, daß der geplante Block Typ p4 ist. Die Abmessungen werden in der aufwendigen RFI E64865e angegeben.
- Pole vom Typ Lsu14a zu den Stiften nn 257 und 258 im analysierten Abschnitt der Abweichung. Insbesondere wurde festgestellt, dass es sich bei der erwarteten Verwendung um den Typ P3 handelt, dessen Abmessungen in der Aufwendungen RFI E64865e angegeben werden.
- Pole vom Typ LSU24a an Stifte nn 245, 277, und 291 im Abschnitt der analysierten Abweichungen. Insbesondere wurde festgestellt, dass der erwartete Block der Typ P6M ist, dessen Abmessungen in der ausführlichen RFI E64865e angegeben werden.

Die Definition der Intensität und der Portionsagenten der Lasten auf den verschiedenen Fundamentblöcken, die für die Durchführung der Kontrollen erforderlich sind, wurde im Anschluss an die Konstruktionsarbeiten abgeleitet, auf die größere Verweisen für weitere Studien hinweisen:

- Code ausgearbeitet: 02-H71-VT-043-08-02-011.00-B0115-08812-RT2-00 – Bericht über die Berechnung Pole, der eine Leeraufteilung beim Verlegene traegt - LSU14-279-289.
- Code ausgearbeitet: 02-H71-VT-043-08-02-

## 1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo ha per oggetto le verifiche dei blocchi di fondazione per i pali LSU portanti una conduttura inattiva all'ormeggio, all'interno della variazione progettuale delle opere di difesa degli scavi necessari durante la fase di realizzazione dell'Interconnessione Est – Binario Dispari, ascrivibile alle "Opere Principali Zona Sottoattraversamento dell'Isarco", WBS GA-IDV ("Galleria Artificiale, Interconnessione Dispari, Vascone").

In particolare nella seguente relazione vengono considerati i seguenti pali:

- pali tipo LSU14a ai picchetti nn. 279 e 289 presenti nel tratto di deviata analizzata. In particolare il blocco previsto da utilizzare era risultato essere tipo P4 le cui dimensioni sono riportate nell'elaborato RFI E64865e.
- pali tipo LSU14a ai picchetti nn. 257 e 258 presenti nel tratto di deviata analizzata. In particolare il blocco previsto da utilizzare era risultato essere tipo P3 le cui dimensioni sono riportate nell'elaborato RFI E64865e.
- pali tipo LSU24a ai picchetti nn. 245, 277, e 291 presenti nel tratto di deviata analizzata. In particolare il blocco previsto da utilizzare era risultato essere tipo P6M le cui dimensioni sono riportate nell'elaborato RFI E64865e.

La definizione dell'intensità e la posizione dei carichi agenti sui diversi blocchi di fondazione, necessari allo svolgimento delle verifiche, sono stati dedotti dai seguenti elaborati progettuali, ai quali si rimanda per un maggiore approfondimento:

- Codice elaborato: 02-H71-VT-043-08-02-011.00-B0115-08812-RT2-00 – Relazione di calcolo Palo portante una conduttura inattiva all'ormeggio - LSU14a - 279-289;
- Codice elaborato: 02-H71-VT-043-08-02-012.00-B0115-08813-RT2-00 – Relazione di

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

- 012.00-B0115-08813-RT2-00 – calcolo Palo di asse punto fisso – LSU14a –  
Berechnungsbericht Festpunktachsenpol - 257 – 258;  
LSU14a - 257 - 258;
- Code verarbeitet: 02-H71-VT-043-08-02-012.00-  
B0155-08822-RT2-00- Berechnungsbericht  
Festmacher mit eine Pipeline – LSU24a-245-  
277-291;
- Codice elaborato: 02-H71-VT-043-08-02-  
021.00-B0115-08822-RT2-00 – Relazione di  
calcolo Palo di ormeggio portante una  
conduttura – LSU24a – 245 – 277 – 291;

Die Fundamentsblöcke haben eine Pflanzgröße von m 1.20 x m 1.20 und eine Dicke von 1.00 m; Darüber hinaus haben sie eine Unterstüztungsgröße von 0,80 m x 0.80 m und eine Dicke von 0,50 m. Gleich 8,00 m, bewaffnet mit Rohrdurchmesser 168,3 mm und Dicke 10 mm Stahl S275

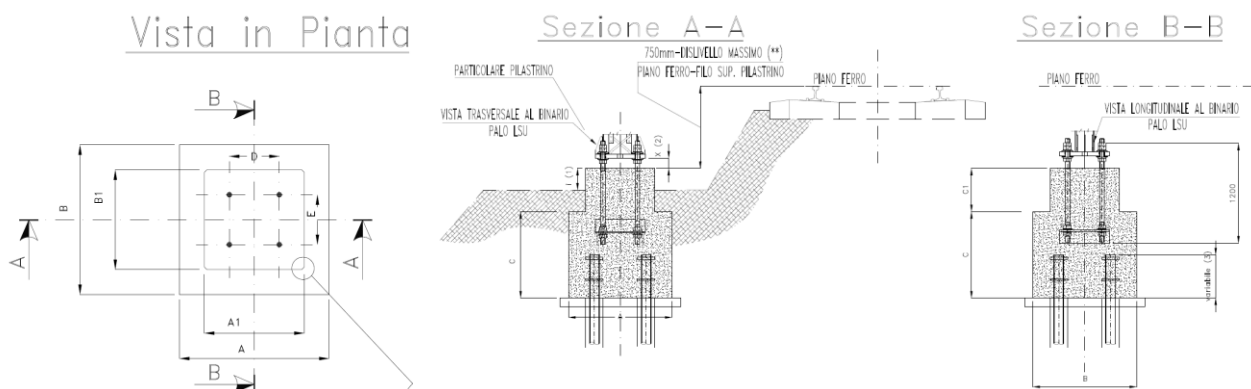
I blocchi di fondazione hanno una dimensione in pianta di 1.20 m x 1.20 m e uno spessore di 1.00 m; inoltre presentano un baggio di dimensioni 0.80 m x 0.80 m e spessore 0.50 m. I blocchi sono fondati su 4 micropali di lunghezza pari a 8.00 m, armati con tubolare di diametro estremo 168.3 mm e spessore 10 mm, acciaio S275.

Die Prüfungen wurden gemäß dem D.M. 14.01.2008 (NTC 2008) und nachfolgenden Rundschreiben und Ergänzungen gemäß der semiprobabilistischen Methode der Grenzzustände ausgeführt.

Le verifiche sono condotte conformemente al D.M. 14.01.2008 (NTC 2008) e successive circolari e integrazioni secondo il metodo semiprobabilistico degli stati limiti.

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI BLOCCHI DI FONDAZIONE

	DIMENSIONI FONDAZIONE										TIRAFONDI PER LSU14-22		TIRAFONDI PER LSU24	
	A (m)	B (m)	C (m)	A1 (m)	B1 (m)	C1 (m)		volume scavo (m <sup>3</sup> )	volume calcestruzzo (m <sup>3</sup> )		D (mm)	E (mm)	D (mm)	E (mm)
						min.	max.		min.	max.				
BLOCCO PER FONDAZIONI PROFONDE TIPO M1 – M2 – M3	1,2	1,2	1,0	0,8	0,8	0,25	0,50	1,80	1,6	1,76	400	400	550	500



## 2 BEZUGSNORM

Die Berechnungen werden gemäß den folgenden

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli vengono eseguiti secondo le seguenti norme e

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

Normen und Gesetzen ausgeführt:

- DM 14.01.2008 – Technische Normen für den Bau.
- RUNDSCHREIBEN Nr.617 vom 02.02.2009 – Anweisungen für die Anwendung von technischen Normen für den Bau, siehe DM.14.01.2008.

leggi:

- DM 14.01.2008 – Norme tecniche per le costruzioni.
- CIRCOLARE n.617 del 02.02.2009 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM.14.01.2008.

Für Berechnungsbezüge oder wenn keine spezifischen Angaben vorliegen, wird auf die folgenden Normen verwiesen:

- Strukturelle und geotechnische Eurocodes, vom CEN veröffentlicht, mit in den nationalen Anhängen angegebenen Spezifikationen.
- Anweisungen RFI DTC INC CS SP IFS 001 A - Spezifikationen zur geotechnischen Planung von Eisenbahnbauten (2011)
- Technische Spezifikation für die Interoperabilität bei der Infrastruktur für den Hochgeschwindigkeitsverkehr (TSI-Infrastruktur)
- Anweisungen RFI TCAR ST AR 01 001 - Technische Normen zur geometrischen Qualität von Gleisen für Geschwindigkeit 250 km/h (2001).

Per riferimenti di calcolo o in mancanza di specifiche indicazioni si farà riferimento alle seguenti norme:

- Eurocodici strutturali e geotecnici pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali.
- Istruzioni RFI DTC INC CS SP IFS 001 A - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie (2011).
- Specifica tecnica di interoperabilità per l'infrastruttura Alta Velocità (STI-Infrastruttura)
- Istruzioni RFI TCAR ST AR 01 001 - Norme tecniche sulla qualità geometrica del binario con velocità = 250 km/h (2001).

### 3 LASTEN IN FUNDAMENT

Die Lasten, die für die Durchführung der Prüfungen notwendig sind, sind wie folgt, Unterscheiden nach Typen:

- Polen Typ LSU14a, an Heringe nn 279 und 289

$N = F_z = 1142.21 \text{ daN}$  ( axiale Kompression Aktion)

$H = F_x = 1845.00 \text{ daN}$  (Schneidwirkung)

$M = R_z = 1.091e+06 \text{ daNcm}$  (Biegebewegung/Wirkung)

- Pfosten Typ LSU14a, an Stifte nn 257 und 258

$N = F_y = 1647.73 \text{ daN}$  (Verdichtungsaxial-aktion)

$H = F_x = 1073.43 \text{ daN}$  (Schneidwirkung)

$M = R_z = 7.926e+05 \text{ daNcm}$  (Biegebewegung/Wirkung)

### 3 CARICHI IN FONDAZIONE

I carichi agenti sui blocchi di fondazione, necessari allo svolgimento delle verifiche, sono i seguenti, distinti per tipologie:

- pali tipo LSU14a, ai picchetti nn. 279 e 289

$N = F_z = 1142.21 \text{ daN}$  (azione assiale di compressione)

$H = F_x = 1845.00 \text{ daN}$  (azione di taglio)

$M = R_y = 1.091e+06 \text{ daNcm}$  (azione flettente)

- pali tipo LSU14a, ai picchetti nn. 257 e 258

$N = F_z = 1647.73 \text{ daN}$  (azione assiale di compressione)

$H = F_x = 1073.43 \text{ daN}$  (azione di taglio)

$M = R_y = 7.925e+05 \text{ daNcm}$  (azione flettente)

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

- Pfosten Typ LSU24a an Zapfen nn 245,277 und 291

$N = F_z = 9333.92 \text{ daN}$  (Verdichtungsaxial-aktion)

$H = F_x = 1978.74 \text{ daN}$  (Schneidwirkung)

$M = R_y = 1.487e+06 \text{ daNcm}$  (Biegebewegung/Wirkung)

- pali tipo LSU24a ai picchetti nn. 245, 277, e 291

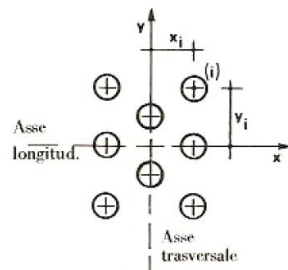
$N = F_z = 9333.92 \text{ daN}$  (azione assiale di compressione)

$H = F_x = 1978.74 \text{ daN}$  (azione di taglio)

$M = R_y = 1.487e+06 \text{ daNcm}$  (azione flettente)

#### 4 VERTEILUNG DER LASTEN

Dank der Hypothese des starren Fundamentblocks und der Zugabe, daß die Reaktion von jedem Mikropole püntlich ist, wird  $n$  die Anzahl der Mikropile genannt, die axiale Belastung auf jeden Mikropile gilt:



$$T_i = \frac{N}{n} + \frac{M_l}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \cdot y_i + \frac{M_t}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot x_i$$

#### 4 RIPARTIZIONE DEI CARICHI

Grazie all'ipotesi di blocco di fondazione rigido ed ammettendo che la reazione di ciascun micropalo sia puntuale, detto  $n$  il numero di micropali, il carico assiale su ciascun di essi vale:

Wobei  $N$  die vertikale Gesamtlast ist und auch die richtiges Gewicht des Fundamentblocks.

Der Schneidaufwand für jedes Mikropille wird einfach dadurch erreicht, daß der Gesamtaufwand an der Basis des Fundaments durch die Anzahl der Mikropille in der Hypothese geteilt wird, daß der Abstand zwischen der Mikropilen keine Phänomene der Interaktion zwischen Dateien hervorbringt.

Für die Berechnung des maximalen wirkenden Moments an der Spitze der Mikropillen wurde die Theorie es halbinunbegrenzten elastischen Strahls auf dem Boden zum Winkler, mit kontantem Reaktionsmodul mit Tiefe und unter Berücksichtigung der Mikropile daran gehindert, sich oben zu drehen.

dove  $N$  è il carico verticale complessivo e comprende anche il peso proprio del blocco di fondazione.

Lo sforzo di taglio su ciascun micropalo si ricava semplicemente dividendo lo sforzo totale alla base della fondazione per il numero di micropali nell'ipotesi che l'interasse tra i micropali non dia adito a fenomeni di interazione tra le varie file.

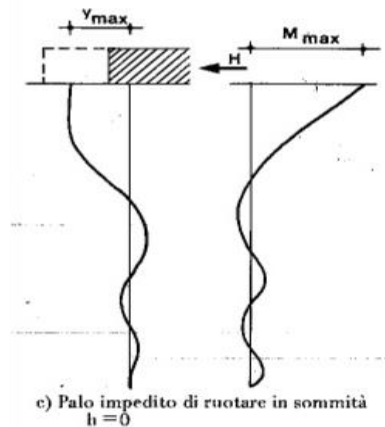
Per il calcolo del momento massimo agente in testa ai micropali si applica la teoria della trave elastica semi-illimitata su suolo alla Winkler, con modulo di reazione costante con la profondità e considerando i micropali impediti di ruotare in sommità.

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE



Das maximal Moment gilt:

Il momento massimo vale:

$$M = H L_0/2$$

Wo es „Elastische Länge“ genannt wird

dove è detta "lunghezza elastica".

$$L_0 = \sqrt{4EJ/E_s}$$

Mit:

con:

EJ flexible Steifigkeit des Mikropile

EJ rigidezza flessionale del micropalo

ES Modul der Bodenelastizität

Es modulo di elasticità del terreno

Unter der obigen Berechnungshypothesen erhalten wir die folgenden Verifikationsspannungen, die sich nach Art der Blöcke unterscheiden:

Sotto le suddette ipotesi di calcolo si ottengo le seguenti sollecitazioni di verifica, distinte per tipologia di blocchi:

- Pole Typ LSU14a, zu den Stiften nn 279 und 289

$F_{z,MAX} = 113.31 \text{ kN}$  (axial Kompressionswirkung)

$F_{z,min} = -96.82 \text{ kN}$  (axial Zugwirkung)

$H = F_x = 18.45 \text{ kN}/4 = 4.61 \text{ kN}$  (axial Schneidwirkung)

$M = R_y = 4.15 \text{ kNm}$  (axial Biegen)

- pali tipo LSU14a, ai picchetti nn. 279 e 289

$F_{z,MAX} = 113.31 \text{ kN}$  (azione assiale di compressione)

$F_{z,min} = -96.82 \text{ kN}$  (azione assiale di trazione)

$H = F_x = 18.45 \text{ kN}/4 = 4.61 \text{ kN}$  (azione di taglio)

$M = R_y = 4.15 \text{ kNm}$  (azione flettente)

- Pole Typ LSU14a, zu den Stiften nn. 279 e 289

$F_{z,MAX} = 97.87 \text{ kN}$  (axial Kompressionswirkung)

$F_{z,min} = -61.03 \text{ kN}$  (axial Zugwirkung)

$H = F_x = 10.7343 \text{ kN}/4 = 2.68 \text{ kN}$  (axial Schneidwirkung)

$M = R_y = 2.41 \text{ kNm}$  (axial Biegen)

- pali tipo LSU14a, ai picchetti nn. 257 e 258

$F_{z,MAX} = 97.87 \text{ kN}$  (azione assiale di compressione)

$F_{z,min} = -61.03 \text{ kN}$  (azione assiale di trazione)

$H = F_x = 10.7343 \text{ kN}/4 = 2.68 \text{ kN}$  (azione di taglio)

$M = R_y = 2.41 \text{ kNm}$  (azione flettente)

- pali tipo LSU24a ai picchetti nn. 245, 277, e 291



Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

- Pole Typ LSU24a zu den Stiften nn. 245, 277, e 291

$F_{z,MAX} = 186.29$  kN (axial Kompressionswirkung)

$F_{z,min} = - 111.02$  kN (axial Zugwirkung)

$H = Fx = 19.7874$  kN/4 = 4.95 kN (axial Schneidwirkung)

$M = Ry = 4.45$  kNm (axial Biegen)

$F_{z,MAX} = 186.29$  kN (azione assiale di compressione)

$F_{z,min} = - 111.02$  kN (azione assiale di trazione)

$H = Fx = 19.7874$  kN/4 = 4.95 kN (azione di taglio)

$M = Ry = 4.45$  kNm (azione flettente)

## 5 ÜBERPRÜFUNG VON MIKROPFÄHLEN

Die Mikropilen haben eine Länge von 8.00 m und sind mit einem Rohr. Außendurchmesser von 168.3 mm und 10mm bewaffnet

Mikropileüberprüfungen werden unter Bezugnahme auf die folgenden Grenzzustände durchgeführt:

- **Geotechnische SLU ( GEO)**
  - Zusammenbruch durch Grenzlaster in Bezug auf axiale Lasten;
  - Zusammenbruch durch Grenzlaster in für Querlasten;
  - Zusammenbruch durch Grenzlaster für Axiallasten der Traktion;
- **Strukturelle SLU (STR)**
  - Erreicht den ultimativen Widerstand von Mikropiles.

Es wird nur die Überprüfungen für den am stärksten beanspruchten Block gemeldet, da die Blöcke alle die gleichen Abmessungen haben.

### 5.1 GEOTECHNISCHER TYP SLU CHECKS

#### 5.1.1 Überprüfung des Zusammenbruchs durch Grenzlaster gegen Axialbelastungen

Die Kollapssicherung auf Grenzlaster in Bezug auf Lasten axial, durchgeführt nach der Theorie von Bustamante-Doix

## 5 VERIFICA DEI MICROPALI

I micropali presentano una lunghezza di 8.00 m e sono armati con tubolari di diametro esterno 168.3 mm e spessore 10 mm.

Le verifiche dei micropali vengono effettuate con riferimento ai seguenti stati limite:

- **SLU di tipo geotecnico (GEO)**
  - collasso per carico limite nei riguardi dei carichi assiali;
  - collasso per carico limite nei riguardi dei carichi trasversali;
  - collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
- **SLU di tipo strutturale (STR)**
  - raggiungimento della resistenza ultima dei micropali.

Si riportano solo le verifiche relative al blocco più sollecitato, in quanto i blocchi presentano tutte le medesime dimensioni.

### 5.1 VERIFICHE SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO)

#### 5.1.1 Verifica di collasso per carico limite nei riguardi dei carichi assiali

Si riporta la verifica a collasso per carichi limite nei riguardi dei carichi assiali, condotta secondo la Teoria di Bustamante-Doix.

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
 Thema: Statischer Bericht

Settore: Spostamento della linea storica  
 Tema: Attrezzaggio

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
 Sockel von TE-Blöcken

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
 plinti dei blocchi TE

Coefficienti parziali di combinazione

Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza  Pali infissi  Pali trivellati  Pali ad elica continua

Resistenza		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	$\gamma_b$	1.0	1.45	1.15	1.0	1.70	1.35	1.0	1.60	1.30
Laterale (compressione)	$\gamma_s$	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15
Totale (compressione) (*)	$\gamma_t$	1.0	1.45	1.15	1.0	1.60	1.30	1.0	1.55	1.25
Laterale (trazione)	$\gamma_{st}$	1.0	1.60	1.25	1.0	1.60	1.25	1.0	1.60	1.25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Coefficienti di riduzione per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

1 Numero di verticali di indagine  $\xi_3$   $\xi_4$  R (med;min) med

1.7 1.7

Tipo di combinazione

Approccio 1 : A1 - M1 - R1

Approccio 1 : A2 - M2 - R2

Approccio 2 : A1 - M1 - R3

Imposta coefficienti da Normativa ANNULLA ACCETTA

Verifica micropali

Lunghezza micropalo [m] 8

Lunghezza min micropalo [m] 7.31

Lunghezza micropalo OK!

Portanza Qlimite

N max,SLU [kN]	186.29		
P [kN]	0.00	F.S. :	0.00
S [kN]	203.92	F.S. :	1.09
Qlim = P + S [kN]	203.92	F.S. :	1.09

VERIFICA

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

Die Kollapsprüfung auf Grenzbelastung gegen Axialbelastung wird erreicht, was folgendes Ergebnis ergibt:

La verifica di collasso per carico limite nei riguardi dei carichi assiali risulta soddisfatta, risultando:

$$Q_{lim} = P + S = 203.92 \text{ kN} > N_{max,SLU} = 186.29 \text{ kN (comb. A2+M2+R1)} \rightarrow \mathbf{FS = 1.09}$$

deren:

$$P = \pi \cdot \alpha \cdot d_s \cdot s \cdot L / (\gamma_s \cdot \xi_3) =$$

$$= \pi \cdot 1 \cdot 200 \cdot 0.1 \cdot L / (1.45 \cdot 1.7) = 203.92 \text{ kN}$$

$S = 0 \text{ kN}$  (Vernachlässigung zugunsten der Sicherheit, der Lift an die Spitze)

in cui:

$$P = \pi \cdot \alpha \cdot d_s \cdot s \cdot L / (\gamma_s \cdot \xi_3) =$$

$$= \pi \cdot 1 \cdot 200 \cdot 0.1 \cdot L / (1.45 \cdot 1.7) = 203.92 \text{ kN}$$

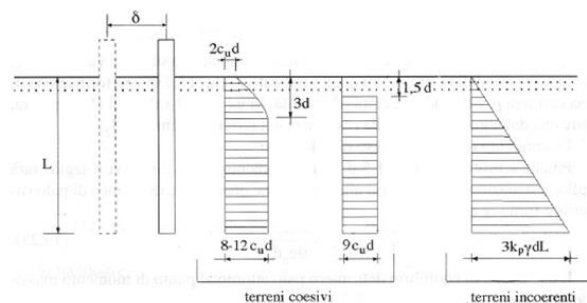
$S = 0 \text{ kN}$  (si trascura, a favore di sicurezza, la portanza alla punta)

### 5.1.2 Überprüfung des Zusammenbruchs nach Grenzlast in Bezug auf Querstellen

### 5.1.2 Verifica di collasso per carico limite nei riguardi dei carichi trasversali

Die Kollapsprüfung auf Belastungen in Bezug auf Lasten in Bezug auf Querlasten, durchgeführt nach den Broms Theorie (1964), unter entwässerten Bedingungen und unter Berücksichtigung des Leiters von Mikropiles am Rotieren.

Si riporta la verifica a collasso per carichi limite nei riguardi dei carichi trasversali, condotta secondo la Teoria di Broms (1964), in condizioni drenate e considerando la testa dei micropali impedita di ruotare.



Mögliche Bruchmechanismen sind unten dargestellt und können von oben nach unten als „kurzer Pole“-Bruch angezeigt werden (keinerzeit My-Plastifizierung ist erreicht in irgendeinem Polabschnitt), „lange Pole“ (man erreicht My zum Pfahlgründungsangriff).

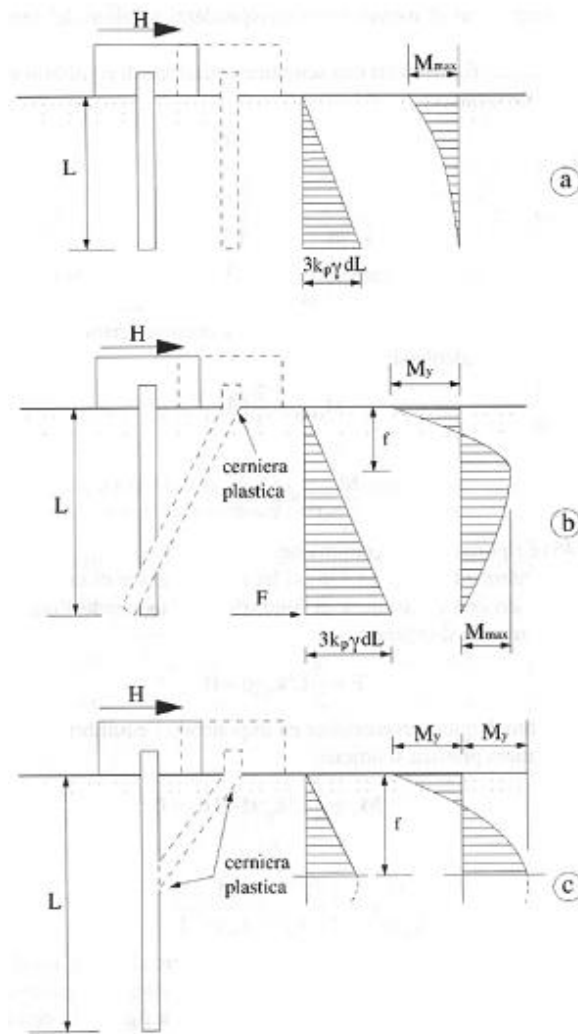
I possibili meccanismi di rottura sono illustrati di seguito e possono essere indicati, dall'alto verso il basso, come rottura a "palo corto" (non si raggiunge il momento di plasticizzazione My in nessuna sezione del palo), "palo intermedio" (si raggiunge My all'attacco palo-fondazione) e "palo lungo" (My raggiunto anche in una sezione lungo il fusto).

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

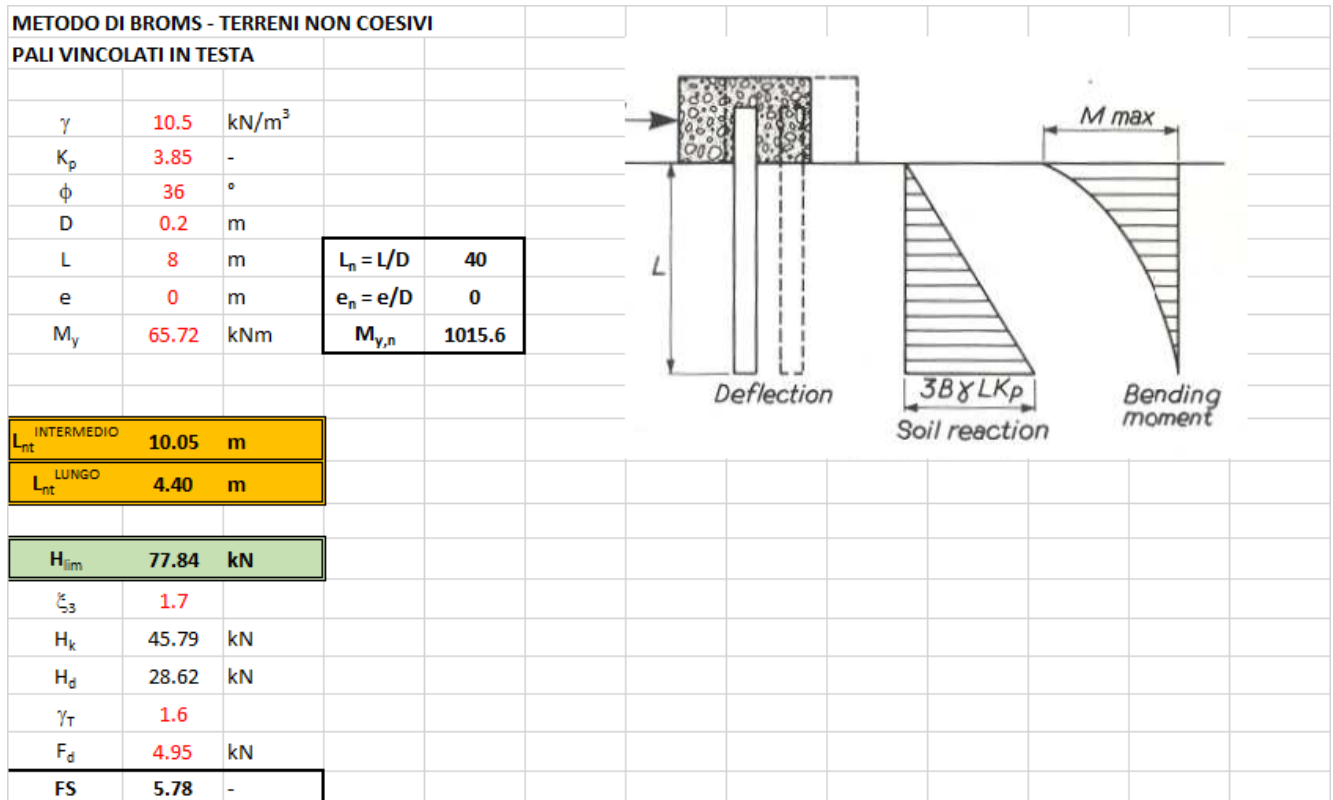


Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE



Die Überprüfung des Zusammenbruchs nach Grenzlast in Bezug auf Querlasten ist erfüllt, was ergibt sich:

La verifica di collasso per carico limite nei riguardi dei carichi trasversali risulta soddisfatta, risultando:

$$H_d = H_k / \gamma_T = H_{lim} / \xi_3 \cdot \gamma_T = 77.84 / (1.7 \cdot 1.6) = 28.62 \text{ kN} > F_d = 4.95 \text{ kN (comb. A2+M2+R1)} \rightarrow \text{FS} = 5.78$$

### 5.1.3 Überprüfung des Zusammenbruchs gegen Zugaxialbelastungen

### 5.1.3 Verifica di collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione

Die Kollapsüberprüfung auf Belastungsgrenzen für axiale Zugbelastungen.

Si riporta la verifica a collasso per carichi limite nei riguardi dei carichi assiali di trazione.

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
 Thema: Statischer Bericht

Settore: Spostamento della linea storica  
 Tema: Attrezzaggio

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
 Sockel von TE-Blöcken

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
 plinti dei blocchi TE

Coefficienti parziali di combinazione

Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza  Pali fissi  Pali trivellati  Pali ad elica continua

		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	$\gamma_b$	1.0	1.45	1.15	1.0	1.70	1.35	1.0	1.60	1.30
Laterale (compressione)	$\gamma_s$	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15
Totale (compressione) (*)	$\gamma_t$	1.0	1.45	1.15	1.0	1.60	1.30	1.0	1.55	1.25
Laterale (trazione)	$\gamma_{st}$	1.0	1.60	1.25	1.0	1.60	1.25	1.0	1.60	1.25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Coefficienti di riduzione per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

1 Numero di verticali di indagine  $\xi_3$   $\xi_4$  R (med;min) med

1.7 1.7

Tipo di combinazione

Approccio 1 : A1 - M1 - R1

Approccio 1 : A2 - M2 - R2

Approccio 2 : A1 - M1 - R3

Imposta coefficienti da Normativa ANNULLA ACCETTA

Verifica micropali

Lunghezza micropalo [m] 8

Lunghezza min micropalo [m] 4.81

Lunghezza micropalo OK!

Portanza  $Q_{limite}$

N max,SLU [kN]	-111.02		
P [kN]	0.00	F.S. :	0.00
S [kN]	184.80	F.S. :	1.66
$Q_{lim} = P + S$ [kN]	184.80	F.S. :	1.66

VERIFICA

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

Die Überprüfung des Zusammenbruchs der Grenzlast auf zugfeste axiale Belastungen wird erfüllt, was Folgendes zur Folge hat:

La verifica di collasso per carico limite nei riguardi dei carichi assiali di trazione risulta soddisfatta, risultando:

$$Q_{lim} = P = 184.80 \text{ kN} > N_{max,SLU} = 111.02 \text{ kN (comb. A2+M2+R1)} \rightarrow \mathbf{FS = 1.66}$$

In dem:

$$P = \pi \cdot \alpha \cdot d_s \cdot s \cdot L / (\gamma_s \cdot \xi_3) =$$

$$= \pi \cdot 1 \cdot 200 \cdot 0.1 \cdot L / (1.6 \cdot 1.7) = 184.80 \text{ kN}$$

in cui:

$$P = \pi \cdot \alpha \cdot d_s \cdot s \cdot L / (\gamma_s \cdot \xi_3) =$$

$$= \pi \cdot 1 \cdot 200 \cdot 0.1 \cdot L / (1.6 \cdot 1.7) = 184.80 \text{ kN}$$

## 5.2 STRUKTURELLER TYP SLU (STR)

Überprüfen Sie, ob die Widerstandsprüfungen des Querschnitts der Mikropolen gemeldet werden.

## 5.2 VERIFICHE SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR)

Si riportano le verifiche di resistenza della sezione trasversale dei micropali.

Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

<b>RESISTENZA E STABILITA' DEI PROFILI TUBOLARI - Metodo B - EN 1993 - 1 - 1:2010</b>		
<b>Materiali utilizzati</b>		
Valore di snervamento dell'acciaio del profilo	$f_{yk}$	275 [N/mm <sup>2</sup> ]
Valore di rottura dell'acciaio del profilo	$f_{uk}$	430 [N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità dell'acciaio del profilo	E	210000 [N/mm <sup>2</sup> ]
Modulo di elasticità tangenziale dell'acciaio del profilo	G	80769 [N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza	$\gamma_{M0}$	1.05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità	$\gamma_{M1}$	1.05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura	$\gamma_{M2}$	1.25 [-]
<b>Caratteristiche meccaniche del profilo</b>		
Diametro esterno del profilo tubolare	$d_{ext}$	168.30 [mm]
Spessore del profilo tubolare	t	10.00 [mm]
Diametro interno	$d_{int}$	148.30 [mm]
Raggio esterno	$r_{ext}$	84.15 [mm]
Raggio interno	$r_{int}$	74.15 [mm]
Area della sezione trasversale	A	4973 [mm <sup>2</sup> ]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse forte	$I_y$	1.5640E+07 [mm <sup>4</sup> ]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	$W_{el,y}$	1.8586E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,y}$	2.5092E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Area resistente a taglio nel piano dell'anima	$A_{v,z}$	3166 [mm <sup>2</sup> ]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	$i_y$	56.08 [mm]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse debole	$I_z$	1.5640E+07 [mm <sup>4</sup> ]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	$W_{el,z}$	1.8586E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	$W_{pl,z}$	2.5092E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Area resistente a taglio nel piano delle ali	$A_{v,y}$	3166 [mm <sup>2</sup> ]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	$i_z$	56.08 [mm]
Momento d'inerzia torsionale	$I_t$	3.128E+07 [mm <sup>4</sup> ]
<b>Caratteristiche di sollecitazione nella sezione di verifica</b>		
Forza normale (positiva se di compressione)	$N_{Ed}$	186.29 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela all'anima	$V_{z,Ed}$	4.95 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela alle ali	$V_{y,Ed}$	[kN]
Momento flettente attorno all'asse maggiore di inerzia	$M_{y,Ed}$	4.45 [kNm]
Momento flettente attorno all'asse minore di inerzia	$M_{z,Ed}$	[kNm]
Momento torcente primario (alla Saint Venant)	$T_{Ed}$	[kNm]
<b>Classificazione della sezione trasversale di verifica</b>		
Coefficiente $\epsilon$	$\epsilon$	0.924 [-]
Rapporto tra diametro esterno e spessore	$\rho$	16.830 [-]
Rapporto limite per la classe 1	$\rho_1$	42.727 [-]
Rapporto limite per la classe 2	$\rho_2$	59.818 [-]
Rapporto limite per la classe 3	$\rho_3$	76.909 [-]
<b>Classificazione della sezione trasversale</b>	<b>CL</b>	<b>1</b>



Fachbereich: Verlegung Bestandsstrecke  
Thema: Statischer Bericht

Settore: Spostamento della linea storica  
Tema: Attrezzaggio

Dokumenteninhalt: Überprüfung der tiefen Fundamente der  
Sockel von TE-Blöcken

Contenuto documento: Verifica delle fondazioni profonde dei  
plinti dei blocchi TE

Verifiche di resistenza della sezione trasversale		
<b>Resistenza a trazione pura</b>		
Resistenza plastica a trazione	$N_{t,Rd}$	1302.49 [kN]
Verifica a trazione pura	$P_{Nt}$	✓ 0.000 [-]
<b>Resistenza a compressione pura</b>		
Resistenza a compressione pura	$N_{c,Rd}$	1302.49 [kN]
Verifica a compressione pura	$P_{Nc}$	✓ 0.143 [-]
<b>Resistenza a torsione e taglio</b>		
Diametro medio della sezione trasversale	$d_{med}$	158.30 [mm]
Area della sezione compresa nel diametro medio	$\Omega$	19681.21 [mm <sup>2</sup> ]
Tensioni tangenziali dovute al momento torcente	$\tau_{t,Ed}$	0.00 [N/mm <sup>2</sup> ]
Verifica tensionale per pura torsione	$P_T$	✓ 0.000 [-]
Resistenza plastica a taglio	$V_{pl,Rd}$	478.73 [kN]
Resistenza plastica a taglio ridotta per effetto della torsione	$V_{pl,T,Rd}$	478.73 [kN]
Verifica a taglio in direzione z - z	$P_{Vz}$	✓ 0.010 [-]
Verifica a taglio in direzione y - y	$P_{Vy}$	✓ 0.000 [-]
<b>Resistenza a flessione</b>		
Modulo di resistenza di calcolo per flessione attorno all'asse y - y	$W_y$	2.51E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Resistenza a flessione attorno all'asse y - y	$M_{cy,Rd}$	65.72 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse y - y	$P_{My}$	✓ 0.068 [-]
Modulo di resistenza di calcolo per flessione attorno all'asse z - z	$W_z$	2.51E+05 [mm <sup>3</sup> ]
Resistenza a flessione attorno all'asse z - z	$M_{cz,Rd}$	65.72 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse z - z	$P_{Mz}$	✓ 0.000 [-]
<b>Resistenza a flessione e taglio (per sezioni in classe 1 o 2)</b>		
Fattore di riduzione per la presenza della forza di taglio in direzione z - z	$P_{Vz,red}$	1.00 [-]
Fattore di riduzione per la presenza della forza di taglio in direzione y - y	$P_{Vy,red}$	1.00 [-]
Resistenza a flessione ridotta, per flessione attorno all'asse y - y	$M_{Vy,Rd}$	65.72 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse y - y	$P_{My - Vz}$	✓ 0.068 [-]
Resistenza a flessione ridotta, per flessione attorno all'asse z - z	$M_{Vz,Rd}$	65.72 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse z - z	$P_{Mz - Vy}$	✓ 0.000 [-]
<b>Resistenza a flessione, forza assiale e taglio</b>		
<i>Calcolo plastico per sezioni in classe 1 o 2</i>		
Coefficiente n	n	0.143 [-]
Resistenza a flessione ridotta, per flessione attorno all'asse y - y	$M_{Ny,Rd}$	63.31 [kNm]
Resistenza a flessione ridotta, per flessione attorno all'asse z - z	$M_{Nz,Rd}$	63.31 [kNm]
Verifica di presso/tenso flessione biassiale (metodo EN1993 - 1 - 1:2010)	$P_{N - My - Mz - pl}$	✓ 0.005 [-]
Verifica di presso/tenso flessione biassiale (metodo cautelativo)	$P_{N - My - Mz - pl}$	✓ 0.211 [-]
<i>Calcolo elastico per sezioni in classe 3</i>		
Momento globale agente nella sezione	$M_{tot,Ed}$	4.45 [kNm]
Taglio globale agente nella sezione	$V_{tot,Ed}$	4.95 [kN]
Tensione normale massima	$\sigma_{x,Ed,fs}$	61.41 [N/mm <sup>2</sup> ]
Verifica relativa alle sole tensioni normali	$P_{el}$	ver. plastica [-]
Tensione tangenziale dovuta al taglio	$\tau_{V,Ed}$	1.56 [N/mm <sup>2</sup> ]
Tensione tangenziale dovuta al momento torcente	$\tau_{t,Ed}$	0.00 [N/mm <sup>2</sup> ]
Verifica relativa alle tensioni totali	$P_{el - tot}$	ver. plastica [-]