



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

Ausführungsplanung

POTENZIAMENTO ASSE FERROVIARIO MONACO-VERONA

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

Progettazione esecutiva

Baulos H81 Bahnhof Franzenfeste

Lotto H81 Stazione Fortezza

Sub-Baulos

NEUE ZUFAHRTSSTRASSE RIOL

Dokumentenart

P-STRASSENTRASSEN

Titel

Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Sublotto

NUOVA VIABILITA' DI ACCESSO RIOL

Tipo Documento

P-TRACCIATI

Titolo

Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Il progettista / Der Projektant



GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO - BRENNER BASISTUNNEL BBT SE

Piazza Stazione 1 • I-39100 Bolzano
Tel.: +39 0471 0622-10 • Fax: +39 0471 0622-11

Amraser Str. 8 • A-6020 Innsbruck
Tel.: +43 512 4030 • Fax: +43 512 4030-110

Email: bbt@bbt-se.com • www.bbt-se.com

	Datum/data	Name/nome
Bearbeitet / Elaborato	16.12.2015	R. Ricci Maccarini
Geprüft / Verificato	18.12.2015	R. Mora
Freigegeben Autorizzato	08.06.2017	R. Sorbello
Gesehen BBT Visto BBT		M. Ianeselli

Projekt-kilometer / Progressiva di progetto	von / da bis / a bei / al	Bau-kilometer / Chilometro opera	von / da bis / a bei / al	Status Dokument / Stato documento
Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Dokumentenart Tipo Documento
02	H81	AF	001	TB
				Vertrag Contratto
				Nummer Codice
				Revision Revisione
				D0755
				00047
				01

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione			
Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
02			
01	Integrazioni a seguito di verifica di progetto		18.12.2015
00	Erstversion Prima Versione		15.05.2015

INHALTSVERZEICHNIS INDICE

1.	EINFÜHRUNG.....	5
1.	INTRODUZIONE	5
2.	BESCHREIBUNG DER TRASSE	6
2.	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	6
3.	NACHWEIS DES STRASSENBELAGS.....	6
3.	VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE.....	6
3.1.	EINFÜHRUNG.....	6
3.1.	INTRODUZIONE	6
3.2.	BERECHNUNG DER N_{ESA}	8
3.2.	CALCOLO DI N_{ESA}	8
3.2.1.	HOMOGENISIERUNG DES VERKEHRS	10
3.2.1.	OMOGENEIZZAZIONE DEL TRAFFICO	10
3.2.2.	BERECHNUNG DER ANZAHL DER ÄQUIVALENTEN STANDARDACHSEN	12
3.2.2.	VALUTAZIONE DEL NUMERO DI ASSI STANDARD EQUIVALENTI	12
3.3.	BERECHNUNG DER $N_{ESA(max)}$	12
3.3.	CALCOLO DI $N_{ESA(max)}$	12
3.3.1.	BERECHNUNG DER PARAMETER DES LEISTUNGSMODELLS	14
3.3.1.	CALCOLO DEI PARAMETRI DEL MODELLO DI PRESTAZIONE	14
3.3.2.	NACHWEIS DES STRASSEN OberBAUS.....	17
3.3.2.	VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA.....	17
4.	NACHWEIS DER ALLGEMEINEN STÜTZMAUERN	18
4.	VERIFICA MURI DI CONTRORIPA GENERICI.....	18
4.1.	EINFÜHRUNG.....	18
4.1.	INTRODUZIONE	18
4.2.	GEOMETRIE	18
4.2.	GEOMETRIA	18
4.3.	BERECHNUNGSMETHODEN.....	19
4.3.	METODO DI CALCOLO	19
4.4.	BERECHNUNGSCODEX.....	19
4.4.	CODICI DI CALCOLO	19
4.4.1.	MAX 10.10 (Rel. 10.10g)	20
4.4.1.	MAX 10.10 (rel. 10.10g).....	20
4.5.	BAUGRUND	20
4.5.	TERRENO	20
4.6.	BAUSTOFFE	21
4.6.	MATERIALI Di COSTRUZIONE.....	21

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

4.6.1.	Beton C25/30	21
4.6.1.	Calcestruzzo C25/30.....	21
4.7.	LASTANNAHMEN	21
4.7.	ANALISI DEI CARICHI.....	21
4.7.1.	Geomechanischer Druck	21
4.7.1.	Spinte geomeccaniche.....	21
4.7.2.	Grundwasser.....	22
4.7.2.	Spinte idrauliche.....	22
4.7.3.	Variable Nutzlasten	22
4.7.3.	Sovraccarichi variabili	22
4.7.4.	Erdbeben.....	22
4.7.4.	Azione sismica	22
4.8.	Traglastkombinationen	24
4.8.	Combinazioni di carico	24
4.9.	Berechnungsmethode	25
4.9.	Metodo di calcolo	25
4.9.1.	Culmann-Verfahren.....	25
4.9.1.	Metodo di Culmann	25
4.9.2.	Druck bei Erdbeben	26
4.9.2.	Spinta in presenza di sisma	26
4.9.3.	Kippsicherheitsnachweis.....	27
4.9.3.	Verifica al ribaltamento.....	27
4.9.4.	Gleitsicherheitsnachweis	28
4.9.4.	Verifica a scorrimento	28
4.9.5.	Tragfähigkeitsnachweis.....	29
4.9.5.	Verifica a carico limite	29
4.9.6.	Globaler Standsicherheitsnachweis.....	32
4.9.6.	Verifica alla stabilità globale.....	32
4.10.	BERECHNUNG.....	33
4.10.	CALCOLO	33
4.10.1.	Geometrie	33
4.10.1.	Geometria	33
4.10.2.	Geotechnische Nachweise	34
4.10.2.	Verifiche Geotecniche.....	34
5.	ANHANG – ERKLÄRUNG DES PROJEKTANTEN BZGL. DER VERWENDETEN SOFTWARE	37
5.	APPENDICE – DICHIARAZIONE DEL PROGETTISTA IN MERITO AI SOFTWARE UTILIZZATI	37

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

1. EINFÜHRUNG

Am Südeingang des künftigen Brenner Basistunnels wird im Bahnhofsareal Franzensfeste ein Notfallbereich für den Tunnel eingerichtet. Der Bereich wird über die bestehende Riolstraße an die Staatsstraße SS12 angebunden.

Um den Verkehr der Notfalleinsatzfahrzeuge zu ermöglichen, wird die bestehende Riolstraße entsprechend adaptiert und wird eine neue Anbindung an die SS12 in Unterquerung der derzeitigen Brennerbahnstrecke errichtet.

Diese Arbeiten bereiten die eigentlichen Arbeiten und die separate Zufahrt zu den im Bahnhofsareal Franzensfeste vorgesehenen Baustellen vor. Damit sollen die Interferenzen mit dem lokalen Durchfahrtsverkehr während der Bauarbeiten des Brenner Basistunnels vermindert werden.

1. INTRODUZIONE

In corrispondenza dell'imbocco sud della futura Galleria di Base del Brennero e all'interno del piazzale della stazione di Fortezza, sarà realizzata un'area di emergenza a servizio del tunnel. L'area sarà collegata alla SS12 utilizzando parte dell'esistente di via di rio Riol.

Al fine di permettere di soccorso, saranno realizzati degli interventi di adeguamento dell'esistente via di rio Riol e costruito un nuovo tratto di raccordo con la SS12, in sottoattraversamento all'attuale linea ferroviaria del Brennero.

Questi interventi saranno anche propedeutici all'avvio dei lavori e all'accesso a parte dei cantieri previsti all'interno del piazzale della stazione di Fortezza, così da ridurre le interferenze con il transito locale durante i lavori di costruzione della Galleria di Base del Brennero.



Dieser Bericht betrifft den Nachweis des im unter-suchten Fall vorgesehenen Straßenbelags sowie den Nachweis der Zusatzelemente (allgemeine Stützbaute) des Straßenquerschnittes. Für spezielle Tragwerke wird auf die entsprechenden Berichte mit den jeweiligen rechnerischen Nachweisen verwiesen.

La presente relazione riguarda la verifica della pavimentazione stradale adottata per il caso in esame, e la verifica degli elementi complementari alla sezione stradale, quali opere di sostegno generiche. Per le opere strutturali specifiche, invece, si faccia riferimento alla relative relazioni di calcolo.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

2. BESCHREIBUNG DER TRASSE

Der Straßenabschnitt hat seinen Ursprung an der SS12, am Anfang des Wohngebiets im Süden von Franzensfeste, und verbindet sich mit der bestehenden Riobachstraße.

Die Bauarbeiten erstrecken sich über ca. 750 m und umfassen zum Großteil Aufschüttungen, abgesehen von dem Abschnitt, in dem die Straße die ehemalige Eisenbahn-Verladestelle Franzensfeste mit einer 169.81 m langen Unterführung unterquert. Danach verläuft die Straße weiter in Richtung Norden und überquert den Riobach mit einem kleinen, etwa 11 m langen Straßendurchlass. Sie endet in der Nähe des zukünftigen Baustellenbereichs.

In Bezug auf die Höhenlage weist die Straße eine Anrampung mit 400 m Radius in der Nähe der Kreuzung mit der SS12 auf, während alle anderen Übergänge Radien über 600 m haben, was der empfohlene Mindestwert für Straßen mit diesen und höheren Fahrgeschwindigkeiten ist.

Aus lagetechnischer Sicht ist der Verlauf an die Raumverfügbarkeit und die bestehenden Anlagen gebunden.

Auf dem neuen Abschnitt von der Verbindung mit der SS12 bis zum Ende der Unterführung ist ein Regelquerschnitt von 6,00 m Breite (zzgl. Erweiterungen) vorgesehen; wo die alte Straße angepasst wird, beträgt sie jedoch 4,00 m, abgesehen von anderen Aufweiterungen an gewissen Stellen, wodurch der beidseitige Schwerlastverkehr ermöglicht wird.

3. NACHWEIS DES STRASSENBELAGS

3.1. EINFÜHRUNG

Für einen gewissen Zeitraum wird die Straßenanlage auch den Baustellentätigkeiten im Bahnhofsareal Franzensfeste während der Bauarbeiten des Brenner Basistunnels dienen. Der Baustellenverkehr wird sich nach Abschluss der Arbeiten also drastisch reduzieren.

2. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Il tratto stradale ha origine dalla SS12 all'inizio dell'abitato a sud di Fortezza e si collega all'esistente via di rio Riol.

L'intervento si sviluppa per circa 750 m e quasi tutto realizzato in rilevato, tranne che per la parte dove il tracciato attraversa l'ex scalo ferroviario di Fortezza tramite un sottovia di lunghezza pari a 169.81 m circa. Il tracciato procede poi verso nord attraversando il rio Riol mediante un piccolo tombotto di lunghezza circa 11 m per poi terminare in prossimità della futura area di cantiere.

Altimetricamente il tracciato presenta un raccordo verticale di raggio pari a 400 m, in prossimità dell'incrocio con la SS12, mentre per il resto i raccordi verticali hanno raggi al di sopra dei 600 m, valore minimo consigliato per strade con velocità di percorrenza anche maggiore.

Planimetricamente il tracciato è vincolato dagli spazi disponibili e dal sedime esistente.

Sul tratto nuovo, dall'innesto con la SS12 alla fine del sottovia è prevista una sezione stradale tipo di larghezza pari a 6.00 m più allargamenti mentre nella parte di adeguamento dell'esistente è pari a 4.00 m, oltre a ulteriori locali allargamenti, con i quali si garantisce l'incrocio di mezzi pesanti.

3. VERIFICA DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE

3.1. INTRODUZIONE

Per un certo periodo, l'infrastruttura stradale, sarà anche a servizio dell'attività di cantiere previste nell'area di stazione di Fortezza, inerenti ai lavori di realizzazione della Galleria di Base del Brennero.. Il livello di servizio dunque sarà drasticamente ridotto a lavori ultimati.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Die Schätzungen belaufen sich auf einen durchschnittlichen Tagesverkehr (DTV) von ca. 100 (fast ausschließlich) Nutzfahrzeugen (über 3 Tonnen) für die Dauer der (vorsichtig auf rund 8 Jahre geschätzten) Baustellentätigkeiten. Daraufhin wird der durchschnittliche Tagesverkehr einen drastischen Rückgang auf wenige Fahrzeuge pro Tag erfahren. Nach den 8 Jahren Baustellentätigkeit könnte sich der tägliche Schwerlastverkehr auf rund 1 Nutzfahrzeug pro Tag vermindern.

Si stima, pertanto, un TGM pari a circa 100 veicoli girono quasi interamente pesanti (sopra 3 tonn). Questo per la durata del cantiere che è possibile stimare cautelativamente in circa 8 anni. Dopodiché il traffico subirà un calo drastico del TGM fino a pochi veicoli giorno. Potremmo pensare che dopo i 8 anni di vita del cantiere il traffico pesante giornaliero passi a circa 1 veicolo al giorno.

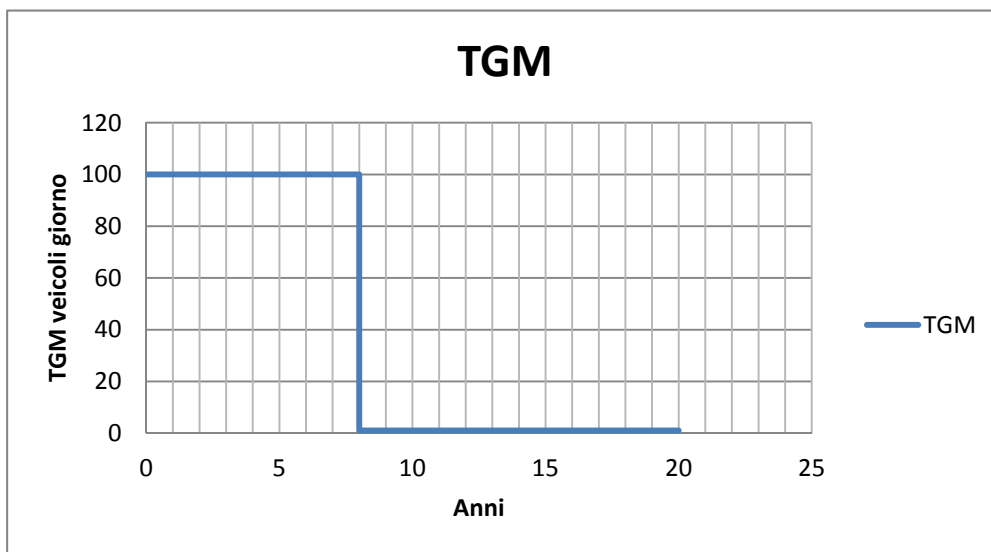


Diagramm 3.1 Schätzungen des DTV in den 20 Jahren nach der Inbetriebnahme der Straßenanlage.
Grafico 3.1. Previsione del TGM nei 20 anni successivi alla messa in servizio dell'infrastruttura stradale.

Der verwendete Straßenaufbau ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

Il pacchetto stradale adottato viene riportato in Figura 3.1.

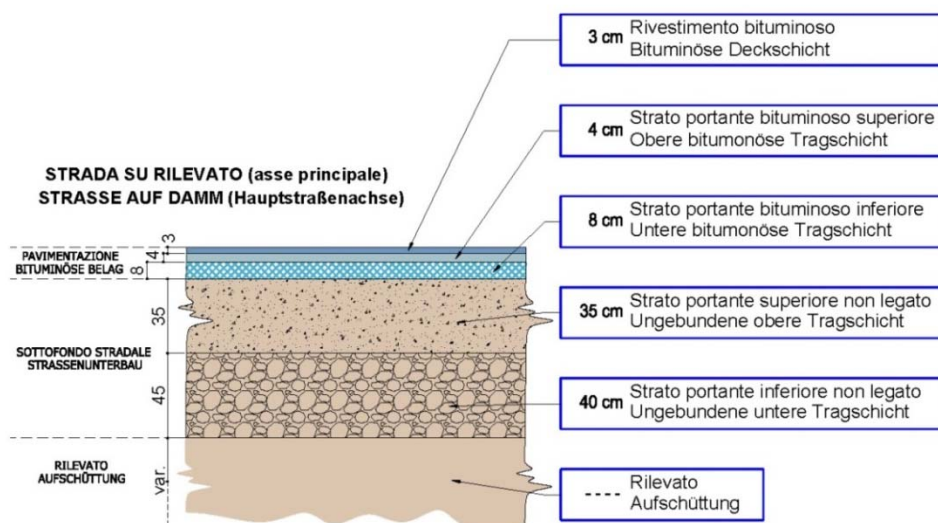


Abbildung 3.1. Straßenaufbau.
Figura 3.1. Pacchetto stradale.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Die ausgeführten Betrachtungen und Berechnungen werden in der Folge erläutert. Sie beziehen sich auf die technischen Vorschriften sowie die Amtsblätter des CNR-UNI (Amtsblatt Technische Vorschriften - A. XXIX – N.178, 15-9-1995 „Neuer Katalog für Straßenbeläge“).

Die für den Nachweis des Straßenaufbaus verwendete Methode wurde vom AASHO *Interim Guide for the Design of Pavement Structure* entwickelt.

3.2. BERECHNUNG DER N_{ESA}

Der Nachweis des Straßenbelags setzt die Kenntnis der Straßenbelastungen voraus, denen die Straße während ihrer Nutzungsdauer ausgesetzt sein wird. So empfiehlt es sich, die verschiedenen Achsentypen einer einzigen repräsentativen Referenzachse - der äquivalenten Standardachse ESA (*Equivalent Standard Axel*) - anhand von geeigneten Äquivalenzfaktoren EF (*Equivalent Factor*) gleichzustellen. Dieses Verfahren ermöglicht es, die Gesamtzahl der verkehrenden Standardachsen während der Nutzungsdauer der nachzuweisenden Straße zu berechnen (N_{ESA}). Diese Daten werden alsdann mit der Höchstzahl der Standardachsen verglichen, die der Straßenbelag während der gesamten Nutzungsdauer aushalten kann ($N_{ESA(max)}$).

In der Berechnung der N_{ESA} wird auf die Tabelle 3.1 für die Achslasten in Abhängigkeit des Fahrzeugverkehrs Bezug genommen.

Le considerazioni effettuate ed i calcoli eseguiti, esposti di seguito, fanno riferimento ai bollettini pubblicati dal CNR-UNI (B.U. Norme Tecniche – A. XXIX – N.178, 15-9-1995 “*Catalogo delle pavimentazioni stradali*”).

Il metodo usato per la verifica del pacchetto stradale è quello sviluppato dall’AASHO *Interim Guide for the Design of Pavement Structures*.

3.2. CALCOLO DI N_{ESA}

La verifica della pavimentazione stradale non può prescindere dalla conoscenza dei carichi stradali a cui essa è e sarà sottoposta durante la vita utile d’esercizio. Risulta conveniente equiparare i vari tipi di asse ad un unico asse rappresentativo di riferimento ESA (*Equivalent Standard Axel*) mediante l’uso di opportuni fattori di equivalenza EF (*Equivalent Factor*). Tale operazione ci permetterà di calcolare il numero totale di assi standard transitanti nel periodo di vita utile della strada da verificare (N_{ESA}). Questo dato andrà poi confrontato con il numero massimo di assi standard che la pavimentazione è in grado di sopportare nell’intera vita utile ($N_{ESA(max)}$).

Nella valutazione di N_{ESA} si farà innanzitutto riferimento alla Tabella 3.1 per la valutazione dei carichi d’asse a seconda del traffico veicolare.

Fahrzeugkategorie Categoria di veicolo	Achsen N° assi	Verteilung der Lasten nach Achse in KN Distribuzione dei carichi per asse in KN						
1) Leichte LKWs - autocarri leggeri	2	↓10		↓20				
2) Leichte LKWs - autocarri leggeri	2	↓15		↓30				
3) Mittelschwere und schwere LKWs - autocarri medi e pesanti	2	↓40		↓80				
4) Mittelschwere und schwere autocarri medi e pesanti	2	↓50		↓110				
5) Schwere LKWs - autocarri pesanti	3	↓40		↓80	↓80			
6) Schwere LKWs - autocarri pesanti	3	↓60		↓100	↓100			
7) Lastzüge und Sattelkraftfahrzeuge - autotreni e auto-articolati	4	↓40		↓90	↓80	↓80		
8) Lastzüge und Sattelkraftfahrzeuge - autotreni e auto-articolati	4	↓60		↓100	↓100	↓100		
9) Lastzüge und Sattelkraftfahrzeuge - autotreni e auto-articolati	5	↓40	↓80	↓80		↓80	↓80	
10) Lastzüge und Sattelkraftfahrzeuge - autotreni e auto-articolati	5	↓60	↓90	↓90		↓100	↓100	
11) Lastzüge und Sattelkraftfahrzeuge - autotreni e auto-articolati	5	↓40	↓100			↓80	↓80	↓80
12) Lastzüge und Sattelkraftfahrzeuge - autotreni e auto-articolati	5	↓60	↓110			↓90	↓90	↓90
13) Arbeitsmittel - mezzi d'opera	5	↓50	↓120			↓130	↓130	↓130
14) Autobus	2	↓40		↓80				
15) Autobus	2	↓60		↓100				
16) Autobus	2	↓50		↓80				

Tabelle 3.1. Typen von Nutzfahrzeugen, Anzahl der Achsen, Lastverteilung pro Achse.

Tabella 3.1. Tipi di veicoli commerciali, numero d'assi distribuzione dei carichi per asse.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

In den nachstehenden Berechnungen wird angenommen, dass sich der Schwerlastverkehr zur Gänze aus der 10. Kategorie Lastzüge/Sattelkraftfahrzeuge mit 5 Achsen zusammensetzt (rot in Tabelle 3.1).

Nei calcoli che seguono si caratterizza il traffico pesante come costituito interamente da categoria 10. autotreni/autoarticolati a 5 assi (in rosso in Tabella 3.1).



Abbildung 3.2. Abbildung eines Sattelkraftfahrzeugs mit 4 Achsen für Baustellenarbeiten.

Figura 3.2. Immagine di autoarticolato per uso cantiere a 4 assi.

Die in Tabelle 3.1 enthaltenen Daten wurden dem Amtsblatt - Technische Vorschriften - A.XXIX - Nr. 178 des CNR entnommen. In grüner Farbe werden die Doppelachsen und Dreifachachsen markiert.

In der vorliegenden Untersuchung wird nicht zwischen vollbeladenen und teilbeladenen Fahrzeugen unterschieden. Alle Fahrzeuge gelten als vollbeladen.

3.2.1. HOMOGENISIERUNG DES VERKEHRS

Der Fahrzeugverkehr soll anhand eines einzigen Referenzwertes ausgedrückt werden. Dieser Referenzwert ist die 8,2-t-Achse (80,4 KN).

Für die Äquivalenzfaktoren wird auf die nachstehende Tabelle 3.2 Bezug genommen.

I dati esposti in Tabella 3.1 sono estratti dal Bollettino Ufficiale – Norme Tecniche – A.XXIX – N. 178 del CNR. In verde vengono evidenziati gli assi tandem e tridem.

Nel presente studio non si farà distinzione tra mezzi a pieno carico e a mezzo carico. Tutti i veicoli sono da considerarsi a pieno carico.

3.2.1. OMOGENEIZZAZIONE DEL TRAFFICO

Si vuole dunque esprimere il traffico veicolare con un valore di riferimento unico. Tale valore di riferimento è l'asse da 8,2 t (80,4 KN).

Per i valori di equivalenza si fa riferimento alla Tabella 3.2 di seguito riportata.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Asse Singolo (t)	Indice di spessore I_s						Asse tandem (t)	Indice di spessore I_s					
	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0		2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
0,9	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	4,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1,8	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	5,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
2,7	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	6,4	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
3,6	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	7,3	0,04	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04
4,5	0,08	0,10	0,12	0,10	0,09	0,09	8,2	0,07	0,10	0,11	0,09	0,08	0,07
5,5	0,17	0,20	0,23	0,21	0,19	0,18	9,1	0,11	0,14	0,16	0,14	0,12	0,11
6,4	0,33	0,36	0,40	0,39	0,36	0,34	10,0	0,16	0,20	0,23	0,21	0,18	0,17
7,3	0,59	0,61	0,65	0,65	0,62	0,61	10,9	0,23	0,27	0,31	0,29	0,26	0,24
8,2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	11,8	0,33	0,37	0,42	0,40	0,36	0,34
9,1	1,61	1,57	1,49	1,47	1,51	1,55	12,7	0,45	0,49	0,55	0,53	0,50	0,47
10,0	2,48	2,38	2,17	2,09	2,18	2,30	13,6	0,61	0,65	0,70	0,70	0,66	0,63
10,9	3,69	3,49	3,09	2,89	3,03	3,27	14,5	0,81	0,84	0,89	0,89	0,86	0,83
11,8	5,33	4,99	4,31	3,91	4,09	4,48	15,4	1,06	1,08	1,11	1,11	1,09	1,08
12,7	7,49	6,98	5,90	5,21	5,39	5,98	16,3	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
13,6	10,31	9,55	7,94	6,83	6,97	7,79	17,3	1,75	1,73	1,69	1,68	1,70	1,73
14,5	13,90	12,82	10,52	8,85	8,88	9,95	18,2	2,21	2,16	2,06	2,03	2,08	2,14
15,4	18,41	16,94	13,74	11,34	11,18	12,51	19,1	2,76	2,67	2,49	2,43	2,51	2,61
16,3	24,02	22,04	17,73	14,38	13,93	15,50	20,0	3,41	3,27	2,99	2,88	3,00	3,16
17,3	30,90	28,30	22,61	18,06	17,20	18,98	20,9	4,18	3,98	3,58	3,40	3,55	3,79
18,2	39,26	35,89	28,51	22,50	21,08	23,04	21,8	5,08	4,80	4,25	3,98	4,17	4,49

Tabella 3.2. Valori del fattore di equivalenza ef_j in funzione dello spessore equivalente I_s e del carico agente sull'asse (singolo oppure tandem).

Tabella 3.2. Valori del fattore di equivalenza ef_j in funzione dello spessore equivalente I_s e del carico agente sull'asse (singolo oppure tandem).

Es wird auf den jeweiligen Querschnitt der Einfachachsen Bezug genommen; dabei wird die Spalte für eine I_s (äquivalente Dicke des Straßenaufbaus) von 15 cm verwendet. Die Berechnung von I_s wird nachstehend angeführt.

In Tabelle 4.2 wird für die j.te Achse der Wert des Äquivalenzkoeffizienten ef_j berechnet.

Der Wert des Äquivalenzkoeffizienten berücksichtigt den Achstyp (Einfach-, Doppel- oder Dreifachachse) und wird berechnet aus:

$$EF_j = a \times ef_j$$

Dabei beträgt der Koeffizient 1, wenn es sich um eine Einfachachse handelt, 1,38, wenn es sich um eine Doppelachse handelt, und 1,66 bei einer Dreifachachse.

Der Äquivalenzkoeffizient für das i.te Fahrzeug ist:

$$EF_{8,2t}(i) = \sum_{j=1}^{n^{\circ} \text{ assi}} EF_j$$

In der nachstehenden Tabelle werden die Ergebnisse der Homogenisierung der untersuchten Fahrzeugkategorien in Bezug auf die 8,2-t-Referenzachse ange-

Si fa riferimento alla sezione relativa agli assi singoli, in particolare si utilizza la colonna valida per un I_s (spessore equivalente del pacchetto stradale) pari a 15 cm. Il calcolo di I_s viene riportato in seguito.

In Tabella 4.2 si ricava per il j-esimo asse il valore del coefficiente di equivalenza ef_j .

Il valore del coefficiente di equivalenza che tiene conto del fatto che l'asse può essere singolo, tandem oppure tridem si ricava:

$$EF_j = a \times ef_j$$

Dove il coefficiente a vale 1 se l'asse è singolo, 1,38 se l'asse è tandem e 1,66 se è tridem.

Il coefficiente di equivalenza per il veicolo i-esimo risulta:

$$EF_{8,2t}(i) = \sum_{j=1}^{n^{\circ} \text{ assi}} EF_j$$

Nella tabella seguente riportiamo i risultati dell'operazione di omogeneizzazione delle categorie di veicoli in esame all'asse di riferimento da 8,2 t.

führt.

Fahrzeugtyp Tipo di veicolo	ACHSEN ASSI					E _{ftot}
	1	2	3	4	5	
<u>Lastzüge - autotreni</u> <u>(Kat./Cat.8)</u>						
Achslast / carico sull'asse (KN)	60	90	90	100	100	1,10
Äquivalenzfaktor / fattore di equivalenza (EF)	0,32	0,15	0,15	0,24	0,24	

Tabelle 3.3. Zusammenfassung der Homogenisierung der repräsentativen Fahrzeuge. In Grün sind die Doppelachsen markiert.

Tabella 3.3. Riassunto dell'operazione di omogeneizzazione dei veicoli rappresentativi. In verde sono evidenziati gli assi tandem.

3.2.2. BERECHNUNG DER ANZAHL DER ÄQUIVALENTEN STANDARDACHSEN

Zur Berechnung der Anzahl der äquivalenten Standardachsen gilt:

$$\begin{aligned}
 N_{ESA,8,2t}(i) &= EF_{8,2t}(i) \times TGM_{0-8}^{(0-24)} \times 365gg \times 8 \\
 &+ EF_{8,2t}(i) \times TGM_{8-20}^{(0-24)} \times 365gg \times 12 = \\
 &= 326.018 \text{ äquivalente Achsen.}
 \end{aligned}$$

3.2.2. VALUTAZIONE DEL NUMERO DI ASSI STANDARD EQUIVALENTI

Per valutare il numero di assi standard equivalenti si ricorre:

$$\begin{aligned}
 N_{ESA,8,2t}(i) &= EF_{8,2t}(i) \times TGM_{0-8}^{(0-24)} \times 365gg \times 8 \\
 &+ EF_{8,2t}(i) \times TGM_{8-20}^{(0-24)} \times 365gg \times 12 = \\
 &= 326.018 \text{ assi equivalenti.}
 \end{aligned}$$

3.3. BERECHNUNG DER N_{ESA}(max)

Für die Berechnung der Höchstzahl der verkehrenden äquivalenten Standardachsen während der Nutzungsdauer der Straße wird auf das Leistungsmodell des AASHO Interim Guide for the Design of Pavement Structures Bezug genommen. Insbesondere wird dabei auf die Formulierung aus dem Jahr 1972 zurückgegriffen, die in der Formulierung 1993 mit einigen Zusätzen aufgenommen wird:

Die Formulierung 1972 für die Berechnung der N_{ESA}(max) lautet:

3.3. CALCOLO DI N_{ESA}(max)

Per il calcolo del numero massimo di assi equivalenti transitabile nel periodo di vita utile d'esercizio della strada si fa riferimento al modello di prestazione sviluppato dall'AASHO Interim Guide for the Design of Pavement Structures. In particolare ci si riferisce alla formulazione del 1972, con alcune aggiunte riportate nella formulazione del 1993.

La formulazione del 1972 per il calcolo dell' N_{ESA}(max) vale:

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

$$\log N_{ESA8,2t}(\max) = -0,2 + 9,36 \log\left(\frac{I_S}{2,5} + 1\right) + \frac{\log\left(\frac{4,2 - GEF_f}{2,7}\right)}{0,40 + \frac{1094}{\left(\frac{I_S}{2,5} + 1\right)^{5,19}}} + 0,372(S_i - S_0) - \log R$$

Dabei ist I_S die Kennzahl der Dicke des Straßenoberbaus, GEF_f der momentane Befahrbarkeitsbeiwert (engl. PSI Present Serviceability Index), nach dessen Erreichen der Belag erneuert werden sollte, S_i und S_0 sind zwei Hilfsfaktoren für den untersuchten Straßenunterbau und den AASHO-Test (AASHO Road Test 1960), während R ein regionaler Klimafaktor ist.

Vor der Berechnung der Werte sind einige Präzisierungen erforderlich.

Die Formulierung aus dem Jahr 1993 enthält einige Variationen, welche die Umgebungsbedingungen, die Zuverlässigkeit der Methode, die Tragfähigkeit des Unterbaus, die mechanischen Merkmale der Schichten und die Entwässerung berücksichtigen.

Beim Nachweis wurde die Formulierung aus dem Jahr 1972 mit dem Zusatz des Ausdrucks für die Zuverlässigkeit der Methode verwendet. Es sollen einige Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Schätzung des vorgesehenen Verkehrs für den Straßenbelag und der maximal tragbaren Verkehrsbelastung berücksichtigt werden.

Dove I_S è l'indice di spessore della sovrastruttura, GEF_f è il grado di efficienza (PSI Present Serviceability Index in inglese) finale raggiunto il quale si ritiene che la pavimentazione sia da rifare, S_i e S_0 sono due grandezze dette fattori di supporto relativi rispettivamente al sottofondo in esame e a quello della prova AASHO (AASHO Road Test 1960) ed R è un fattore climatico regionale.

Prima di vedere quali valori assumono tali parametri vanno fatte alcune precisazioni.

La formulazione del 1993 riporta alcune variazioni che tengono conto delle condizioni ambientali, dell'affidabilità del metodo, della portanza del sottofondo, delle caratteristiche meccaniche degli strati, e del drenaggio.

Nella verifica si è utilizzata la formulazione del 1972 con l'integrazione di un termine che tenesse conto dell'affidabilità del metodo. Si vuole tener conto di alcune incertezze connesse nella valutazione del traffico previsto per la pavimentazione e del traffico massimo che essa può sopportare.

$$\log N_{ESA8,2t}(\max) = -0,2 + 9,36 \log\left(\frac{I_S}{2,5} + 1\right) + \frac{\log\left(\frac{4,2 - GEF_f}{2,7}\right)}{0,40 + \frac{1094}{\left(\frac{I_S}{2,5} + 1\right)^{5,19}}} + 0,372(S_i - S_0) - \log R + Z_R \sigma_0$$

Der zusätzliche Ausdruck ist das Produkt zweier Faktoren: Z_R definiert den vom Projekt verlangten Zuverlässigkeitsgrad, während σ_0 die Standardabweichung darstellt, welche die Unsicherheiten in der Berechnung der $N_{ESA8,2t}$ und der $N_{ESA8,2t}(\max)$ berücksichtigt.

Ohne die Erklärungen zu weitschweifig zu gestalten, wurde angenommen, die Zufallsvariable, die sich aus der Differenz zwischen dem Realwert der

Il termine aggiuntivo è il prodotto di due fattori, Z_R definisce il livello di affidabilità richiesto al progetto, mentre σ_0 è la deviazione standard che tiene conto delle incertezze nel calcolo di $N_{ESA8,2t}$ e $N_{ESA8,2t}(\max)$.

Senza dilungarsi in spiegazioni si è supposto di aver standardizzato la variabile aleatoria ottenuta dalla

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

$N_{ESA8,2t}(\max)$ und dem mit dem Leistungsmodell berechneten Wert ergibt, standardisiert zu haben. Nach der Bestimmung des Wertes der Wahrscheinlichkeit, dass der berechnete Wert unter dem Realwert liegt, ist Z_R nichts anderes als der Wert der standardisierten Zufallsvariable, die dem gewählten Wahrscheinlichkeitswert entspricht, während σ_0 die Standardabweichung der standardisierten Zufallsvariable ist.

differenza tra il valore reale di $N_{ESA8,2t}(\max)$ e quello calcolato con il modello di prestazione. Scelto un valore di probabilità che il valore calcolato sia inferiore a quello reale, Z_R non è altro che il valore della variabile aleatoria standardizzata corrispondente al valore di probabilità prescelto, mentre σ_0 è la deviazione standard della variabile aleatoria standardizzata.

3.3.1. BERECHNUNG DER PARAMETER DES LEISTUNGSMODELLS

Kennzahl der Dicke I_S

Die Kennzahl der Dicke I_S des Straßenoberbaus ist:

$$I_S = \sum_{i=1}^{n^{\circ} \text{strati}} a_i \cdot s_i$$

Dabei ist s_i die Dicke der i -ten Schicht und a_i der Äquivalenzfaktor der Schicht, der die spezifische Eignung jedes Materials darstellt, zum Gesamtwiderstand des Straßenbelags beizutragen.

In Tabelle 3.4 werden die Daten des Äquivalenzfaktors in Abhängigkeit der Art der gewählten Schicht angeführt.

3.3.1. CALCOLO DEI PARAMETRI DEL MODELLO DI PRESTAZIONE

Indice di spessore I_S

L'indice di spessore I_S della sovrastruttura risulta:

$$I_S = \sum_{i=1}^{n^{\circ} \text{strati}} a_i \cdot s_i$$

Dove s_i è lo spessore dello strato i -esimo e a_i è il fattore di equivalenza dello strato che rappresenta l'attitudine specifica di ogni materiale a contribuire alla resistenza complessiva della pavimentazione.

In Tabella 3.4 riportiamo i dati del fattore di equivalenza a seconda della tipologia di strato prescelta.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

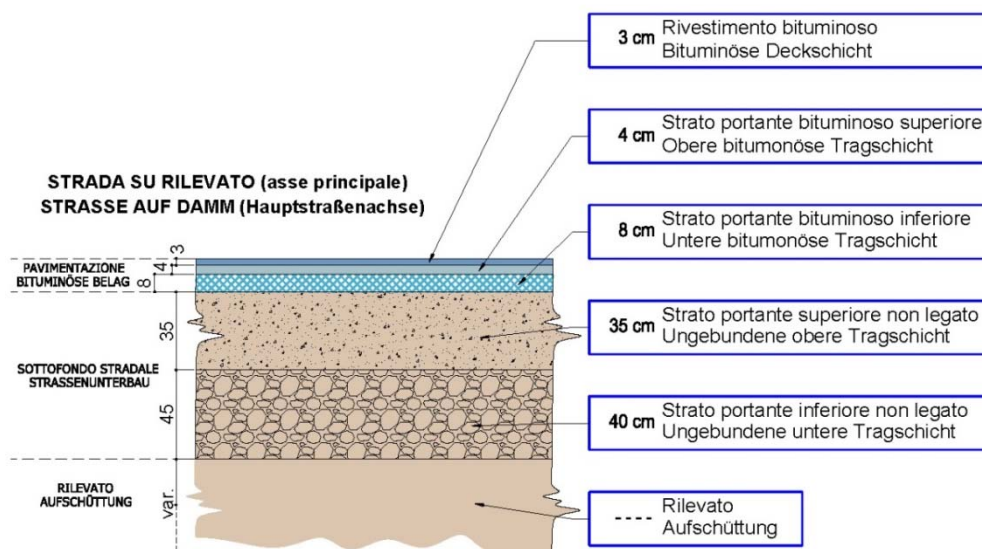
Strato	Materiale	Stabilità Marshall (kg)	Rottura a 7 giorni (kg/cm ²)	CBR (%)	Coefficiente di equivalenza (a _i)	
Superficiale usura e binder (legato a bitume)	Cong. Bituminoso	1000			0.45	
	Cong. Bituminoso	950			0.44	
	Cong. bituminoso	770			0.40	
	Cong. Bituminoso	650			0.37	
	Cong. Bituminoso	410			0.30	
	Malta bituminosa	770			0.40	
	Malta bituminosa	580			0.35	
	Pietrischetto bitumato	140			0.20	
Base (legata e non)	Misto bitumato	770			0.33	
	Misto bitumato	670			0.30	
	Misto bitumato	550			0.27	
	Misto bitumato	410			0.24	
	Stabilizzato a bitume	270			0.20	
	Stabilizzato a bitume	180			0.18	
	Stabilizzato a bitume	140			0.16	
	Misto cementato		46		0.23	
	Misto cementato		32		0.20	
	Stabilizzato a cemento		21		0.15	
	Stabilizzato a calce		13		0.12	
	Misto frantumato				110	0.14
	Misto frantumato				90	0.13
	Misto granulare				70	0.12
Misto granulare				50	0.10	
Fondazione	Misto frantumato			90	0.14	
	Misto granulare			70	0.13	
	Misto granulare			50	0.12	
	Misto granulare			30	0.11	
	Stabilizzato naturale			20	0.10	
	Stabilizzato naturale			10	0.075	
	Stabilizzato naturale			5	0.05	

Tabelle 3.4. Werte des Äquivalenzfaktors nach Schichttyp.

Tabella 3.4. Valori del fattore di equivalenza per tipologia di strato.

In der Abbildung 3.3 wird eine Detailansicht des untersuchten Straßenoberbaus mit den Informationen zu den Materialien, Dicken und Äquivalenzkoeffizienten der Berechnung von I_s dargestellt.

In Figura 3.3, riportiamo un dettaglio della nostra sovrastruttura con le informazioni sui materiali, sugli spessori e sui coefficienti equivalenti adottati nel calcolo di I_s .



Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Abbildung 3.1. Straßenaufbau mit Angabe der Äquivalenzfaktoren zur Bestimmung von I_S .

Figura 3.1. Pacchetto stradale con indicazione dei fattori d'equivalenza per la determinazione di I_S .

Im untersuchten Fall beträgt I_S :

Nel caso in esame I_S vale:

$$I_S = 0.44 \times 3 + 0.44 \times 4 + 0.33 \times 8 + 0.12 \times 35 + 0.13 \times 40 = 15,1 \text{ cm}$$

GEF_f

Der momentane Befahrbarkeitsbeiwert GEF_f hängt vom Straßentyp ab, weil die Beläge auf weniger wichtigen Straßen einen deutlich stärkeren Verfallsgrad erreichen können als die Hauptverkehrswege. Im untersuchten Fall wurde ein Wert von 2.5 für Straßen von mittlerer Wichtigkeit gewählt.

GEF_f

Il valore di GEF_f dipende dal tipo di strada, in quanto si ritiene che le pavimentazioni di strade di modesta importanza possano raggiungere, prima di essere rifatte, ammaloramenti più pronunziati che non quelle delle strade di grande comunicazione. Nel caso in esame si è scelto un valore pari a 2.5 valevole per strade di media importanza.

Hilfsfaktor S

Der Wert des Hilfsfaktors S_0 bezieht sich auf die Bedingungen des AASHO Toad Test und beträgt 3. Für den Wert des Hilfsfaktors des untersuchten Straßenunterbaus wird die Abbildung 3.4 verwendet.

Fattore di supporto S

Il valore del fattore di supporto S_0 si riferisce alle condizioni dell'AASHO road Test e vale 3. Per il valore del fattore di supporto del sottofondo in esame si ricorre alla Figura 3.4.

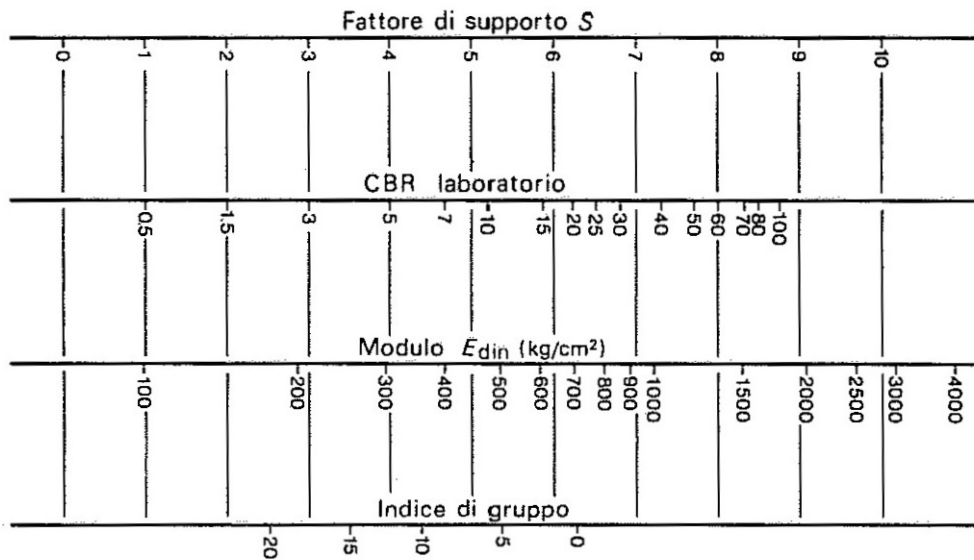


Abbildung 3.4. Korrelation zwischen Hilfsfaktor und anderen Tragfähigkeitseigenschaften.

Figura 3.4. Correlazione fra fattore di supporto e altre caratteristiche di portanza.

Im untersuchten Fall wurde für den Hilfsfaktor ein Wert von 6 gewählt.

Nel caso in esame è stato scelto un valore del fattore di supporto pari a 6.

Koeffizient R

Für den Wert des Koeffizienten R, welcher die regionalen Klimabedingungen berücksichtigt, wurde ein

Coefficiente R

Per il valore del coefficiente R, che tiene conto delle condizioni climatiche regionali, si è scelto un valore

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Wert von 4 für Feuchtgebiete mit markanten Schneeschmelzphänomenen gewählt.

di 4 valido per zone umide con accentuati fenomeni di disgelo primaverile.

Zuverlässigkeit

Affidabilità

Für die beiden Parameter σ_0 und Z_R , welche die Zuverlässigkeit definieren, wurde ein Wert für die Standardabweichung von 0.50 für flexible Straßenbeläge verwendet. Der Wert der standardisierten Zufallsvariable Z_R wird dagegen abhängig vom gewählten Zuverlässigkeitsgrad gewählt. In der Folge wird in Tabelle 3.5 die Relation zwischen dem Wert Z_R und dem Zuverlässigkeitsgrad angeführt.

Per quanto riguarda i due parametri che definiscono il termine di affidabilità, σ_0 e Z_R , si è deciso di utilizzare un valore per la deviazione standard pari a 0.50 valevole per pavimentazioni flessibili. Mentre il valore della variabile aleatoria standardizzata Z_R viene scelto in funzione del grado di affidabilità prescelto. Di seguito, in Tabella 3.5 riportiamo la relazione tra il valore di Z_R e il grado di affidabilità.

A(%)	50	60	70	80	85	90	95	96	97	98	99
Z_R	0.00	-0.25	-0.52	-0.84	-1.03	-1.28	-1.64	-1.75	-1.88	-2.05	-2.32

Tabella 3.1. Relation zwischen dem Zuverlässigkeitsgrad und dem Wert von Z_R .

Tabella 3.2. Relazione tra il grado di affidabilità ed il valore di Z_R .

Für den Nachweis wurde ein Zuverlässigkeitsgrad von 98 % gewählt, was folgenden Wert Z_R bedingt: -2.05.

Per la verifica è stato scelto un grado di affidabilità pari al 98% che comporta un valore di Z_R pari a -2.05.

3.3.2. NACHWEIS DES STRASSEN OBERBAUS

3.3.2. VERIFICA DELLA SOVRASTRUTTURA

Für den Nachweis des Straßenaufbaus beträgt der Wert $N_{ESA8,2t(max)}$ gemäß vorhergehenden Angaben 5.438.192 äquivalente 8,2-t-Standardachsen.

Per il pacchetto stradale sottoposto a verifica il valore di $N_{ESA8,2t(max)}$ secondo quanto esposto vale 5.438.192 assi standard equivalenti da 8.2 t.

Somit gilt:

Dunque:

$$\frac{N_{ESA\ 8,2t(max)}}{N_{ESA\ 8,2t}} = \frac{5.438.192}{326.018} = 16$$

Der Nachweis für den Bemessungsstraßenbelag gilt damit als weitgehend erbracht.

La pavimentazione di progetto risulta essere ampiamente verificata.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

4. NACHWEIS DER ALLGEMEINEN STÜTZMAUERN

4.1. EINFÜHRUNG

Bei der Festlegung des Straßenquerschnittes und dessen Absteckung vor Ort treten oft Situationen auf, die nicht vollständig mit der Geländeaufnahme übereinstimmen, sei es wegen eventueller Anomalien oder wegen angebrachter Änderungen. Aus diesem Grund machen sich oft Erdbewegungsarbeiten oder Stützbauten bzw. Stützmauern begrenzter Ausmaße für die Anpassung an die Baustellengegebenheiten erforderlich. Die Stützbauten oder Stützmauern von gewisser Wichtigkeit werden bereits vollständig im Zuge der Planung festgelegt; für solche Bauwerke wird auf die einschlägigen Berichte zu den rechnerischen Nachweisen verwiesen. Für Stützelemente oder Stützmauern von begrenzter Höhe gelten dagegen nachstehende Angaben. Im untersuchten Projekt sind Abstützungsbauten (Stützmauern) von begrenzter Höhe zwischen PK 0+525 und PK 0+620 vorgesehen. Der Regelquerschnitt des Bauwerks ist im Dokument P-00064 beschrieben.

4.2. GEOMETRIE

Die Mauer, auf die hier Bezug genommen wird, ist eine Gewichtsstauwand aus Stein (Granit) und aus nicht-armiertem Beton.

Es werden Mauern bis zu 1,80 m Höhe berücksichtigt. Eingeschlossen sind jene Bauten von geringerer Relevanz, die zur Anpassung an die vor Ort erhobenen topographischen Gegebenheiten fallspezifisch errichtet werden müssen.

Die Einbindungstiefe entspricht der Tiefe des Straßenaufbaus einschließlich der Frostkofferschicht. Die Mauerstärke beträgt 60 cm.

4. VERIFICA MURI DI CONTRORIPA GENERICI

4.1. INTRODUZIONE

La definizione della sezione stradale, e il suo tracciamento sul campo, devono spesso far fronte a situazioni in sito non perfettamente corrispondenti al rilievo topografico, sia per dimensione di un eventuale anomalia, che per modifiche sopravvenute. Per tale motivo è necessario spesso ricorrere a movimenti di terra o opere di sostegno o controripa di limitate dimensioni, da poter adattare alla realtà specifica del cantiere. Le opere di sostegno o di controripa di una certa importanza vengono comunque definite compiutamente già in sede di progettazione, e per tali opere si rimanda alle relazioni di calcolo specifiche. Per elementi di sostegno o di controripa di altezza limitata, invece, vale quanto riportato nel seguito. Nel progetto in esame vi sono delle opere di contenimento (controripa) di altezza limitata, previste fra le pk 0+525 e pk 0+620. La sezione tipologica dell'opera è descritta nella tavola P-00064.

4.2. GEOMETRIA

Il muro a cui si fa riferimento è un muro a gravità, in pietra (granito) e calcestruzzo, non armato.

Si considerano in tale sede muri fino a 1.80 m di altezza, comprendendo in tale ambito le opere di minor importanza da realizzarsi a seconda delle esigenze per conformarsi alla topografia rilevata in sito.

La profondità di ammorsamento è pari alla profondità del pacchetto stradale, comprendendo con ciò' anche lo strado di fondazione anti-gelivo. Lo spessore del muro è di 60 cm.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

4.3. BERECHNUNGSMETHODEN

Der vorliegende baustatische Bericht enthält nur einen Teil der baustatischen Berechnungen, die übrigen sind bei den Detailbeilagen zum Projekt verfügbar und können bei Bedarf vorgelegt werden.

Die Berechnungen wurden nach den anerkannten Methoden der Technik in der Annahme von elastischen, homogenen und isotropen Materialien durchgeführt.

Die Lastannahmen wurden laut geltenden Vorschriften für die größten Lastfälle unter Verwendung der Kombinationsmethode angenommen.

Der Nachweis der Querschnitte wird mit dem Traglastverfahren durchgeführt.

In dieser Abhandlung werden nicht die Details der Rechenmethodik angeführt, für welche auf die Berichte über die Stützmauern verwiesen wird (z. B. Dokumente 00075, 00087, 00088, 00118, 00119, 00160).

4.4. BERECHNUNGSCODEX

Die Parameter der automatisierten Berechnung und der Nachweis der Strukturen des vorliegenden Berichtes sind nachweislich aus sicheren Quellen entnommen und ordnungsgemäß entsprechend der technischen Charakteristiken angewandt.

Dies wird bestätigt durch:

- weite Verbreitung der Parameter auf dem Markt;
- lang zeitliche Verwendung der Parameter durch verschiedene Rechenprogramme;
- Verwendung der aktuellsten Versionen;
- vielfache Verwendung bei Studien.

Im Anhang wird die Erklärung laut Ministerialdekret 14.01.2008 – Abs. 10.2 des Technikers, der die Berechnung mittels der Berechnungssoftware durchgeführt hat, wiedergegeben.

In Anbetracht der Problematik dieser Berechnung, welche von kleinen Bewegungen und Spannungen unterhalb der elastischen Grenze der Materialien gekennzeichnet ist, wurde als ausreichend angenommen die Geometrie der Strukturen und Materialien

4.3. METODO DI CALCOLO

La presente relazione strutturale di calcolo comprende solo una parte dei calcoli strutturali: le verifiche non riportate sono state condotte analogamente a quelle descritte e risultano disponibili nelle minute di studio.

Lo studio delle strutture è stato condotto secondo i metodi della scienza delle costruzioni supponendo i materiali elastici, omogenei ed isotropi.

La ricerca dei parametri di sollecitazione è stata fatta secondo le disposizioni di carico più gravose avvalendosi di metodologie di calcolo comprovate.

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono state eseguite secondo il metodo degli stati limite.

Nella presente trattazione non si espongono i dettagli della metodologia di calcolo, per la quale si rimanda alle relazioni specifiche dei muri di sostegno (ad es. elab. 00075, 00087, 00088, 00118, 00119, 00160)

4.4. CODICI DI CALCOLO

Tutti i codici di calcolo automatico utilizzati per il calcolo e la verifica delle strutture e la redazione della presente relazione di calcolo sono di sicura ed accertata validità e sono stati impiegati conformemente alle loro caratteristiche. Tale affermazione è suffragata dai seguenti elementi:

- grande diffusione del codice di calcolo sul mercato;
- storia consolidata del codice di calcolo (svariati anni di utilizzo);
- utilizzo delle versioni più aggiornate (dopo test);
- pratica d'uso frequente in studio.

In appendice si riporta la dichiarazione, ai sensi del D.M. 14.01.2008 – par. 10.2, del tecnico che ha eseguito il calcolo mediante il software di calcolo.

In considerazione dei problemi in studio, caratterizzati da piccoli spostamenti e tensioni inferiori ai limiti elastici dei materiali, si è ritenuto sufficiente adottare una schematizzazione della geometria e dei materiali di tipo lineare con leggi elastiche e isotrope ed omo-

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

als linear und isotrop anzunehmen.

Die Modellierung der Mauern und der entsprechenden Hänge wurde mit dem Programm MAX durchgeführt.

In der Folge werden die vom Rechenprogramm gelieferten Unterlagen angeführt.

Die Berechnung der Stützmauern erfolgt anhand der Phasen:

- Berechnung des Erddruckes
- Kippsicherheitsnachweis
- Gleitsicherheitsnachweis der Mauer auf der Aufstandsfläche
- Standsicherheitsnachweis des Baugrundes (Tragfähigkeit)
- Globaler Standsicherheitsnachweis

4.4.1. MAX 10.10 (Rel. 10.10g)

Das Programm MAX 10 ermöglicht die Analyse und Berechnung der Stützmauern (Gewichtsstaumauern, armierte Gewichtsstaumauern, Winkelstützmauern ohne Querrippen, stufige Stützmauern, Winkelstützmauern mit Querschoten (auch mit Fertigteilelementen) und Konsolen, aus Beton oder aus Steinen. In die Struktur können auch Pfähle, Mikropfähle, aktive oder passive Verankerungen und Verstärkungspfeiler eingebaut werden. Das Programm führt sowohl die Methode des Grenzzustandes des Verlustes der Lagesicherheit als auch die Finite-Elemente-Methode (FEM) aus. Es wurde von der Softwarefirma Aztec Informatica entwickelt und wird seit Jahren weit verbreitet verwendet.

4.5. BAUGRUND

Die geotechnischen Kennwerte des Baugrundes wurden dem bauherrnseitig gelieferten Bericht vom 25.09.2014, kombiniert mit den geotechnisch-geologischen Profilen gemäß den Plänen D0932-MA-01001.00 und D0932-MA-01101.00 entnommen. Dieser Dokumentation zufolge liegt vor Ort eine Kappe von rund 1.0 m schüttfähigem Material R, eine Schicht von rund 1,0 Sand und schwach kiesigem Sand SE vor.

Die Kennwerte dieser Böden sind:

genee.

La modellazione dei muri e dei relativi pendii è stata fatta mediante il programma MAX.

Si riportano in allegato gli elaborati forniti dal codice di calcolo.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale

4.4.1. MAX 10.10 (rel. 10.10g)

Il programma MAX 10 consente l'analisi ed il calcolo di muri di sostegno a gravità, a semigravità, a mensola, a gradoni, con contrafforti (anche prefabbricati) e mensole, in CLS o pietrame. Nella struttura possono essere inseriti pali, micropali, tiranti attivi e passivi, sperone. Sviluppa l'analisi sia mediante i metodi dell'equilibrio limite, che mediante modellazione F.E.M. E' sviluppato dalla softwarehouse Aztec Informatica, ed è largamente diffuso ed utilizzato da svariati anni.

4.5. TERRENO

I parametri geotecnici del terreno di fondazione sono stati desunti dalla relazione fornita dalla committenza e datata 25.09.2014, abbinata ai profili geotecnico-geologici di cui alle tavole D0932-MA-01001.00 e D0932-MA-01101.00. Secondo tale documentazione, vi è in sito un cappello di circa 1.0 m di materiale di riporto R, uno strato di circa 1.0 m di sabbie e sabbie debolmente ghiaiose SE.

Le caratteristiche di queste terre sono le seguenti:

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Schüttfähiges Material:

Wichte natürlich: $\gamma_F = 17,0/18.0 \text{ kN/m}^3$

Wichte unter Auftrieb: $\gamma' = 9,0/10.0 \text{ kN/m}^3$

Reibungswinkel dräniert: $\phi' = 28^\circ/30^\circ$

Kohäsion dräniert: $c' = 0 \text{ kN/m}^2$

Sand und enggestufter, schwach kiesiger Sand SE:

Wichte natürlich: $\gamma_F = 19.0 \text{ kN/m}^3$

Wichte unter Auftrieb: $\gamma' = 11.0 \text{ kN/m}^3$

Reibungswinkel dräniert: $\phi' = 35^\circ/37.5^\circ$

Kohäsion dräniert: $c' = 0 \text{ kN/m}^2$

Materiale di riporto:

Peso specifico naturale: $\gamma_F = 17,0/18.0 \text{ kN/m}^3$

Peso specifico immerso: $\gamma' = 9,0/10.0 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito drenato: $\phi' = 28^\circ/30^\circ$

Coessione drenata: $c' = 0 \text{ kN/m}^2$

Sabbie e sabbie debolmente ghiaiose - SE:

Peso specifico naturale: $\gamma_F = 19.0 \text{ kN/m}^3$

Peso specifico immerso: $\gamma' = 11.0 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito drenato: $\phi' = 35^\circ/37.5^\circ$

Coessione drenata: $c' = 0 \text{ kN/m}^2$

4.6. BAUSTOFFE

Die betreffende Mauer wird aus Beton gebaut.

4.6. MATERIALI DI COSTRUZIONE

Il muro in oggetto è realizzato in pietra e calcestruzzo.

4.6.1. Beton C25/30

Charakteristische Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen: $R_{ck} \geq 30.0 \text{ MPa}$;

Charakteristische Zylinderdruckfestigkeit nach 28 Tagen: $f_{ck} \geq 25.0 \text{ MPa}$;

Zementtyp: CEM II/B-P 32.5;

Umweltklasse: XC2;

Luftgehalt in Prozent: --

Maximaler Wasser/Zement - Factor: 0.50

Bemessungswerte der Widerstände:

$$E_{cm} = 31 \text{ Gpa}$$

$$f_{cd} = 14.2 \text{ MPa}$$

$$f_{ct} = 1.2 \text{ MPa}$$

4.6.1. Calcestruzzo C25/30

Resistenza cubica caratt. 28 giorni: $R_{ck} \geq 30.0 \text{ MPa}$;

Resistenza cilindrica caratt. 28 giorni: $f_{ck} \geq 25.0 \text{ MPa}$;

Cemento tipo: CEM II/B-P 32.5;

Classe di esposizione ambientale: XC2;

Percentuale di aria inglobata: --

Rapporto massimo acqua/cemento: 0.50

Resistenze di calcolo:

$$E_{cm} = 31 \text{ Gpa}$$

$$f_{cd} = 14.2 \text{ MPa}$$

$$f_{ct} = 1.2 \text{ MPa}$$

4.7. LASTANNAHMEN

4.7.1. Geomechanischer Druck

Der Erddruck wird auf der Grundlage der gegebenen geomechanischen Bodenkennwerte anhand des Culmann-Verfahrens berechnet, wie in der Folge beschrieben wird.

4.7. ANALISI DEI CARICHI

4.7.1. Spinte geomeccaniche

Le spinte del terreno vengono valutate secondo i parametri geomeccanici delle terre presenti, utilizzando il metodo di Culmann, di seguito descritto.

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

4.7.2. Grundwasser

In den Zusatzbauten gibt es kein Grundwasservorkommen.

4.7.2. Spinte idrauliche

In tutte le opere provvisoriale non vi è presenza di falda o battente d'acqua.

4.7.3. Variable Nutzlasten

Aus diesem Grund wird dort eine gleichmäßig verteilte Nutzlast von 5.0 kN/m² angenommen.

4.7.3. Sovraccarichi variabili

A monte del muro viene considerato un sovraccarico pari a 5.0 kN/m² uniformemente distribuito.

4.7.4. Erdbeben

Im Einvernehmen mit dem auftragvergebenden Werk werden die folgenden Erdbebenkennwerte für das untersuchte Bauwerk angenommen:

Nennlebensdauer: $V_N = 100$ Jahre

Nutzklasse: **IV** ($C_u = 2$)

4.7.4. Azione sismica

Per l'azione sismica, in accordo con la stazione appaltante, si assumono i seguenti parametri per l'opera in esame:

Vita nominale: $V_N = 100$ anni

Classe d'uso: **IV** ($C_u = 2$)

Der Referenzzeitraum für die Erdbebeneinwirkung entspricht damit 200 Jahren. Die Kategorie der Gründungssohle geht aus den bauherrnseitig in Auftrag gegebenen Untersuchungen hervor. Die Ergebnisse sind im Bericht über die Erdbebencharakterisierung vom September 2014 enthalten. Diese Untersuchungen stufen den Untergrund in die **Kategorie B** ein.

In Übereinstimmung mit den gesetzlichen Vorschriften für die als Ex 4 klassifizierten Zonen kann die vertikale Komponente der Erdbebeneinwirkung vernachlässigt werden.

Die Kennwerte des Antwortspektrums für die beschriebenen Daten sind in der nachstehenden Tabelle erläutert.

Il periodo di riferimento per l'azione sismica è quindi pari a 200 anni. La categoria del suolo di fondazione si evince dalle specifiche indagini commissionate dalla committenza, e i cui risultati sono riportati nella relazione di caratterizzazione sismica del settembre 2014. Tali indagini indicano il sottosuolo come di **categoria B**.

In accordo a quanto evidenziato dalla normativa cogente in merito a zone classificate come ex 4, si può trascurare la componente verticale dell'azione sismica.

I parametri dello spettro di risposta per i dati descritti è illustrato nella tabella seguente.

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,067 g
F_o	2,800
T_C	0,407 s
S_s	1,200
C_C	1,316
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,179 s
T_C	0,536 s
T_D	1,869 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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]	S_e [g]
		0,081
$T_B \leftarrow$	0,179	0,226
$T_C \leftarrow$	0,536	0,226
	0,600	0,202
	0,663	0,183
	0,727	0,167
	0,790	0,153
	0,854	0,142
	0,917	0,132
	0,980	0,124
	1,044	0,116
	1,107	0,109
	1,171	0,103
	1,234	0,098
	1,298	0,093
	1,361	0,089
	1,425	0,085
	1,488	0,081
	1,552	0,078
	1,615	0,075
	1,678	0,072
	1,742	0,070
	1,805	0,067
$T_D \leftarrow$	1,869	0,065
	1,970	0,058
	2,072	0,053
	2,173	0,048
	2,275	0,044
	2,376	0,040
	2,478	0,037
	2,579	0,034
	2,681	0,031
	2,782	0,029
	2,884	0,027
	2,985	0,025
	3,087	0,024
	3,188	0,022
	3,290	0,021
	3,391	0,020
	3,493	0,019
	3,594	0,018
	3,696	0,017
	3,797	0,016
	3,899	0,015
	4,000	0,014

Kennwerte und Punkte des horizontalen Antwortspektrums für den Grenzzustand:
Grenzzustand zur Lebenserhaltung

Unabhängige Kennwerte

Grenzzustand

Punkt des Antwortspektrums

Abhängige Kennwerte

Formeln der abhängigen Kennwerte

Formeln des Antwortspektrums

Das Bemessungsspektrum $S_d(T)$ für die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit ergibt sich aus den Formeln des elastisch bezogenen Spektrums $S_e(T)$, indem η

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

Parametri indipendenti

Stato limite

Punto dello spettro di risposta

Parametri dipendenti

Espressioni dei parametri dipendenti

Espressioni dello spettro di risposta

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 strut-

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

durch $1/q$ ersetzt wird, wobei q der Strukturfaktor ist.

tura.

Der Erdbebensicherheitsnachweis der Bauwerke erfolgt gemäß Vorschriften des Ministerialdekrets 14.01.2008 mit besonderem Bezug auf die lineare Statik (Abs. 7.9.4.1).

Le opere vengono verificate per azioni sismiche secondo quanto previsto nel D.M. 14.01.2008, in particolare con riferimento all'analisi statica lineare (par. 7.9.4.1).

4.8. Traglastkombinationen

Für die Grenzzustände der Tragfähigkeit wird die grundlegende Lastkombination generell durch die folgende Formel ausgedrückt:

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

wobei die Teilsicherheitsbeiwerte und die an den Einwirkungen mitwirkenden Beiwerte in den Tabellen 2.6.I und 2.5.I der entsprechenden Technischen Bauvorschriften angeführt sind.

Bei den Tragfähigkeitsnachweisen in den Grenzzuständen unterscheiden sich:

- der Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit als starrer Körper: **EQU**
- der Grenzzustand des Versagens der Struktur einschließlich der Gründungselemente: **STR**
- der Grenzzustand des Versagens des Baugrundes: **GEO**

Bei den Standsicherheitsnachweisen (Grenzzustände des Versagens der Struktur (STR)) und der geotechnischen Nachweise (Versagen des Baugrundes (GEO)) ergeben sich alternativ zwei verschiedene Verfahren. Das in diesem Projekt verfolgte Nachweisverfahren (Nachweisverfahren 1) setzt zwei verschiedene Kombinationen von Teilsicherheitsbeiwertegruppen ein, die jeweils für die Einwirkungen (A), die Materialwiderstände (M) und den globalen Widerstand des Systems (R) definiert wurden. In der *Kombination 1* werden für die Einwirkungen die Beiwerte γ_F verwendet, die in der Spalte A1 der vorherigen Tabellen angeführt sind. In der *Kombination 2* werden dagegen die Beiwerte γ_F der Spalte A2 eingesetzt.

Die Erdbebenkombination wird wie folgt ausgedrückt:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

4.8. Combinazioni di carico

Per gli stati limite ultimi, la combinazione fondamentale di carico risulta genericamente espressa dalla seguente espressione:

dove i coefficienti parziali e i coefficienti di partecipazione per le azioni sono riportate in Tab. 2.6.I e Tab. 2.5.I delle NTC rispettivamente.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono:

- Lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: **EQU**
- Lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: **STR**
- Lo stato limite di resistenza del terreno: **GEO**

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnica (GEO) si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci. L'approccio seguito in questo progetto (Approccio 1) impiega due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definite per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e per la resistenza globale del sistema (R). Nella *Combinazione 1* per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 delle tabelle sopra citate. Nella *Combinazione 2* si impiegano invece i coefficienti γ_F riportati nella colonna A2.

La combinazione sismica risulta invece espressa da:

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

4.9. Berechnungsmethode

In der Folge werden die Berechnungsmethoden beschrieben, die von der Software für die Sicherheits- und Stabilitätsnachweise verwendet werden.

4.9.1. Culmann-Verfahren

Das Culmann-Verfahren verwendet dieselben Grundannahmen der Coulomb-Methode. Der grundlegende Unterschied ist dabei, dass Coulomb eine Aufschüttungsfläche mit konstanter Neigung und gleichförmig verteilter Last annimmt (was einen geschlossenen Ausdruck für den Druckbeiwert erzielen lässt), während das Culmann-Verfahren Lastfälle mit Profilen allgemeiner Form und mit sowohl konzentrierten als auch beliebig verteilten Lasten analysieren lässt. Außerdem erscheint es im Gegensatz zur Coulomb-Methode logischer und linearer, die Kohäsion des drückenden Blocks zu berücksichtigen. Das Culmann-Verfahren entsteht als zeichnerisches Verfahren, hat sich aber für die Verwendung mit numerischen Analysen weiterentwickelt (in dieser Form als „Trial Wedge Method“ bekannt). Wie die Coulomb-Methode nimmt auch diese Methode eine gerade Bruchfläche an.

Schritte des Lösungsverfahrens:

- Es werden eine Bruchfläche (Neigungswinkel ρ gegenüber der Horizontalen) und ein Druckkeil, begrenzt durch die Bruchfläche selbst, durch die Wand, an welcher der Druck errechnet wird, und durch das Baugrundprofil, angenommen;
- es werden die auf den Druckkeil einwirkenden Kräfte berechnet: Eigengewicht (W), die Lasten auf der Aufschüttung, Reibungswiderstand und Kohäsionswiderstand auf der Bruchfläche (R und C) und Kohäsionswiderstand an der Wand (A);
- aus den Gleichgewichtsgleichungen erhält man den Wert des Druck S auf die Wand.

Dieses Verfahren wird durchgeführt, bis der Bruchwinkel gefunden ist, für den der Druck am höchsten ist.

Die Konvergenz wird nicht erreicht, wenn die Auffüllung um einen größeren Winkel geneigt ist als der Reibungswinkel des Baugrundes.

In den Fällen, in denen die Coulomb-Methode anwendbar ist (bergseitig geradliniges Profil und gleichmäßig verteilte Last) stimmen die mit dem Culmann-Verfahren erzielten Ergebnisse mit jenen

4.9. Metodo di calcolo

Si dà descrizione nel seguito dei metodi di calcolo utilizzati dal software utilizzato per le valutazioni di sicurezza e stabilità eseguite.

4.9.1. Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il coefficiente di spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima.

La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.

Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordina-

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

der Coulomb-Methode überein.

Die Drücke auf die Druckwand werden berechnet, indem die Formel des Drucks S von der Ordinate z abgeleitet wird. Bei bekanntem Druckdiagramm kann der Ansatzpunkt des Drucks berechnet werden.

ta z . Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

4.9.2. Druck bei Erdbeben

Um den Druckanstieg aufgrund der Erdbebeneinwirkungen berücksichtigen zu können, wird auf die Mononobe-Okabe-Methode Bezug genommen (auf welche sich auch die italienische Gesetzgebung bezieht).

Die italienische Gesetzgebung empfiehlt die Berücksichtigung eines Druckanstiegs durch Erdbebeneinwirkung wie folgt:

Bezeichnet man die Neigung der Aufschüttung gegenüber der Horizontalen als ε und die Neigung der Wand gegenüber der Vertikalen als β , wird der Druck S' anhand einer Neigung der Aufschüttung und der Wand gleich

$$\begin{aligned}\varepsilon' &= \varepsilon + \theta \\ \beta' &= \beta + \theta\end{aligned}$$

berechnet.

Dabei gilt $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$, weil k_h der Erdben-Horizontalbeiwert und k_v der Erdben-Vertikalbeiwert sind, definiert als Funktion von k_h .

Bei bergseitigem Grundwasservorkommen nimmt θ die folgenden Ausdrücke an:

Baugrund von geringer Permeabilität

$$\theta = \arctg[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat}-\gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Baugrund von hoher Permeabilität

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Wird der unter statischen Bedingungen berechnete Druck als S bezeichnet, kann der anzuwendende Druckanstieg ausgedrückt werden als:

$$\Delta S = AS' - S$$

wobei der Beiwert A Folgender ist:

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

Bei bergseitigem Grundwasservorkommen wird im

4.9.2. Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.

Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta S' considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\begin{aligned}\varepsilon' &= \varepsilon + \theta \\ \beta' &= \beta + \theta\end{aligned}$$

dove $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h .

In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \arctg[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat}-\gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \arctg[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w)) * (k_h/(1 \pm k_v))]$$

Detta S la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente A vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta + \theta)}{\cos^2\beta \cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente A si tie-

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Beiwert A der Einfluss der Volumengewichte in der Berechnung von θ berücksichtigt.

In Anwendung der Mononobe-Okabe-Methode für die Berechnung des Drucks wird der Beiwert A auf 1 gesetzt.

Dieser Druckanstieg wird auf halber Höhe der Druckwand angewandt, falls die Form des Erdbebenanstiegsdiagramms rechteckig ist, bzw. wird auf demselben Ansatzpunkt des statischen Drucks angewandt, falls die Form des Erdbebenanstiegsdiagramms gleich jener des statischen Diagramms ist.

Neben diesem Anstieg müssen auch die horizontalen und vertikalen Trägheitskräfte berücksichtigt werden, die durch das Erdbeben entstehen. Diese Kräfte werden berechnet als:

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

Dabei ist W das Gewicht der Mauer, des Bodens oberhalb der bergseitigen Konsole und der entsprechenden Nutzlasten und muss im Barizentrum der Gewichte angesetzt werden.

Das Culmann-Verfahren berücksichtigt automatisch den Druckanstieg. Es genügt, in die Lösungsgleichung die Trägheitskraft des Druckkeils einzufügen. Die Bruchfläche bei Erdbebeneinwirkung ist weniger geneigt als die entsprechende Oberfläche ohne Erdbebeneinwirkung.

4.9.3. Kippsicherheitsnachweis

Beim Kippsicherheitsnachweis wird das aus allen angreifenden (treibenden) Kräften resultierende Drehmoment (Kippmoment M_r) sowie das aus allen widerstehenden (haltenden) Kräften resultierende Drehmoment (stabilisierendes Moment M_s) berechnet, bezogen auf die talseitige Gründungskante; dabei muss das Verhältnis M_s/M_r größer sein als ein bestimmter Sicherheitsfaktor η_r .

Bei der Berechnung in Anwendung der Eurocodes kann der Sicherheitsfaktor auf $\eta_r \geq 1.0$ eingestellt werden.

Anschließend muss die folgende Ungleichung nachgewiesen werden:

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Das Kippmoment M_r ergibt sich aus der Horizontalkomponente des Drucks S , aus den Trägheitskräften der Mauer und des auf der bergseitigen Gründung

ne conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ .

Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente A viene posto pari a 1.

Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.

Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come:

$$F_{iH} = k_h W \quad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove W è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.

Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

4.9.3. Verifica al ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r .

Eseguendo il calcolo mediante gli eurocodici si può impostare $\eta_r \geq 1.0$.

Deve quindi essere verificata la seguente disuguaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} \geq \eta_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta S , dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di mon-

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

lastenden Geländes (bei Erdbebeneinwirkung) für die entsprechenden Kräfte. Das stabilisierende Moment ergibt sich aus dem Eigengewicht der Mauer (angesezt im Schwerpunkt) und aus dem Gewicht des auf der bergseitigen Gründung lastenden Geländes. Die Vertikalkomponente des Drucks wirkt stabilisierend, wenn der Reibungskoeffizient zwischen Erde - Mauer δ positiv ist, und wirkt dagegen kippend, wenn δ negativ ist. δ ist positiv, wenn die Auffüllung gegenüber der Mauer gleitet, und ist negativ, wenn die Mauer gegenüber der Auffüllung gleitet (dies kann bei einem Brückenwiderlager der Fall sein, auf dem große Lasten lasten). Sind Verankerungen vorhanden, tragen diese zum stabilisierenden Moment bei.

Dieser Nachweis ist nur für Flachgründungen signifikant, nicht für Pfahlgründungen.

4.9.4. Gleitsicherheitsnachweis

Für den Nachweis der Gleitsicherheit der Mauer auf der Gründungsfläche muss die Summe aller zur Aufstandsfläche parallelen Kräfte, die zum horizontalen Verschieben (Gleiten) der Mauer beitragen, kleiner sein als die Summe aller zur Gleitfläche parallelen Kräfte, die dem Gleiten widerstehen. Der Nachweis muss mit einem bestimmten Sicherheitsfaktor erfüllt werden. Der Gleitsicherheitsnachweis gilt als erfüllt, wenn das Verhältnis zwischen der Resultierenden der widerstehenden (haltenden) Kräfte F_r und der Resultierenden der angreifenden (schiebenden) Kräfte F_s größer ist als ein bestimmter Sicherheitsfaktor η_s .

Bei der Berechnung in Anwendung der Eurocodes kann der Sicherheitsfaktor auf $\eta_s \geq 1.0$ 1.0 eingestellt werden.

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Die Kräfte, die zur F_s beitragen, sind: die Kraft des zur Gründungsfläche parallelen Drucks und die Kraft der zur Gründungsfläche parallelen Trägheitskräfte.

Die widerstehende (haltende) Kraft ergibt sich aus dem Reibungswiderstand und aus der Kohäsion auf der Gründungsbasis. Bezeichnet man mit N die Summe der Normalkräfte der auf der Gründungsfläche lastenden Gesamtlast und mit δ_f den Reibungskoeffizienten zwischen Erde - Gründung, mit c_a die Kohäsion zwischen Erde - Gründung und mit B_r die Breite der reagierenden Gründung, kann die widerstehende Kraft ausgedrückt werden als:

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

te (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.

Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

4.9.4. Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s .

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

Die Gesetzgebung lässt in den widerstehenden Kräften einen Prozentsatz des eventuellen Drucks aufgrund des Geländes falseitig der Mauer einrechnen. In diesem Fall muss der Sicherheitsfaktor allerdings entsprechend erhöht werden. Der Anteil des passiven Drucks, der für den Nachweis der Gleitsicherheit berücksichtigt werden kann, darf jedenfalls nicht über 50 Prozent betragen.

Was den Reibungskoeffizienten zwischen Erde - Gründung δ_f betrifft, empfehlen verschiedene Fachliteraturen einen Wert δ_f gleich des Reibungswinkels des Baugrundes.

4.9.5. Tragfähigkeitsnachweis

Das Verhältnis zwischen der Tragfähigkeit der Gründung und der Normalkräfte der Resultierenden der von der Mauer auf den Baugrund übertragenen Lasten muss größer sein als η_q . Werden mit Q_u die Tragfähigkeit und mit R die vertikale Resultierende der Lasten auf der Gründung bezeichnet, muss Folgendes gelten:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Bei der Berechnung in Anwendung der Eurocodes kann der Sicherheitsfaktor auf $\eta_q \geq 1.0$ eingestellt werden.

Die Formeln von Hansen für die Berechnung der Tragfähigkeit des nicht bindigen Geländes werden wie folgt ausgedrückt:

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Dabei sind d_c, d_q, d_γ die Tiefenfaktoren; s_c, s_q, s_γ sind die Formfaktoren; i_c, i_q, i_γ sind die Neigungsfaktoren der Last; b_c, b_q, b_γ sind die Neigungsfaktoren der Aufstandsfläche; g_c, g_q, g_γ sind die Faktoren, welche die Tatsache berücksichtigen, dass die Gründung auf einem geneigten Gelände aufliegt.

Die Faktoren N_c, N_q, N_γ werden wie folgt ausgedrückt:

$$N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q + 1) \operatorname{tg} \phi$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

4.9.5. Verifica a carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_q \geq 1.0$

Le espressioni di Hansen per il calcolo della capacità portante nel terreno non coesivo si esprimono nel modo seguente:

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

in cui d_c, d_q, d_γ , sono i fattori di profondità; s_c, s_q, s_γ , sono i fattori di forma; i_c, i_q, i_γ , sono i fattori di inclinazione del carico; b_c, b_q, b_γ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c, g_q, g_γ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c, N_q, N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \operatorname{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q + 1) \operatorname{tg} \phi$$

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Formfaktoren

$$\text{für } \phi=0 \quad s_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$\text{für } \phi>0 \quad s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \operatorname{tg} \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \operatorname{tg} \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Tiefenfaktoren

Der Kennwert k wird wie folgt definiert:

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{falls} \quad \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \operatorname{arctg} \frac{D}{B} \quad \text{falls} \quad \frac{D}{B} > 1$$

Die verschiedenen Beiwerte werden wie folgt definiert:

$$\begin{aligned} \text{für } \phi=0 & \quad d_c = 0.4k \\ \text{für } \phi>0 & \quad d_c = 1 + 0.4k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_q &= 1 + 2 \cdot \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k \\ d_\gamma &= 1 \end{aligned}$$

Neigungsfaktoren der Last

Mit V und H werden die senkrecht und parallel zur Basis wirkenden Lastkomponenten angegeben; mit A_f wird der wirksame Bereich der Gründung bezeichnet, der sich ergibt aus $A_f = B' \times L'$ (B' und L' sind gebunden an die effektive Größe der Gründung B , L und an die Exzentrizität der Last und e_B und e_L an die

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \operatorname{arctg} \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} > 1$$

I vari coefficienti si esprimono come:

$$\begin{aligned} \text{per } \phi=0 & \quad d_c = 0.4k \\ \text{per } \phi>0 & \quad d_c = 1 + 0.4k \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_q &= 1 + 2 \cdot \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k \\ d_\gamma &= 1 \end{aligned}$$

Fattori di inclinazione del carico

Indichiamo con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con A_f l'area efficace della fondazione ottenuta come $A_f = B' \times L'$ (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B , L e all'eccentricità del carico e_B , e_L dalle relazioni $B' = B - 2e_B$ $L' = L - 2e_L$) e con η l'an-

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Relationen $B' = B - 2e_B$ $L' = L - 2e_L$; mit η wird der Neigungswinkel der Gründung bezeichnet, ausgedrückt in Grad ($\eta=0$ für eine horizontale Gründung).

golo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

Die Neigungsfaktoren der Last werden wie folgt ausgedrückt:

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{für } \phi = 0 \quad i_c = 1/2(1 - \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}})$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1/2(1 - \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}})$$

$$\text{für } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{für } \eta = 0 \quad i_y = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{per } \eta = 0 \quad i_y = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{für } \eta > 0 \quad i_y = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ/450^\circ)H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{per } \eta > 0 \quad i_y = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ/450^\circ)H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

Nach der Bestimmung des Kennwertes:

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{für } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

$$\text{für } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_y = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

$$i_y = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \text{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Neigungsfaktoren der Aufstandsfläche der Gründung

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

$$\text{für } \phi=0 \quad b_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi=0 \quad b_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{für } \phi>0 \quad b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = e^{-2\eta \text{tg}\phi}$$

$$b_q = e^{-2\eta \text{tg}\phi}$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\eta \text{tg}\phi}$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\eta \text{tg}\phi}$$

Neigungsfaktoren des Baugrundes

Fattori di inclinazione del terreno

Wird mit β die Hangneigung angegeben, lassen sich die Faktoren g mit den folgenden Formeln berechnen:

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

$$\text{für } \phi=0 \quad g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi=0 \quad g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{für } \phi>0 \quad g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.05 \cdot \text{tg}\beta)^2$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.05 \cdot \text{tg}\beta)^2$$

4.9.6. Globaler Standsicherheitsnachweis

4.9.6. Verifica alla stabilità globale

Der globale Standsicherheitsnachweis des Mauer/Baugrund-Komplexes muss einen Sicherheitsfaktor nicht kleiner als η_g liefern.

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g

Bei der Berechnung in Anwendung der Eurocodes kann der Sicherheitsfaktor auf $\eta_g \geq 1.0$ eingestellt werden.

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_g \geq 1.0$

Es wird die Technik der Streifenteilung der zu untersuchenden Gleitfläche verwendet. Die Gleitfläche wird als kreisförmige Gleitfläche angenommen. Sie wird so festgelegt, dass sie sich nicht mit dem Mauerprofil oder mit den Gründungspfählen schneidet. Es wird der Mindestsicherheitsfaktor auf einem Raster von Gleitkreismittelpunkten der Größe 10x10 in der Nähe des Mauerscheitels festgelegt. Die Anzahl der Streifen beträgt 50.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

Für den Nachweis der globalen Standsicherheit wird

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

das Streifenverfahren nach Bishop angewandt.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Der Sicherheitsfaktor im Streifenverfahren nach Bishop wird mit der folgenden Formel ermittelt:

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

Dabei wird m ermittelt aus:

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In diesem Ausdruck ist n die Anzahl der berücksichtigten Streifen, b_i und α_i sind die Breite und die Neigung der Basis des i_{ten} Streifens gegenüber der Horizontalen, W_i ist das Gewicht des i_{ten} Streifens, c_i und ϕ_i sind die Bodenmerkmale (Kohäsion und Reibungswinkel) auf der Basis des Streifens und u_i ist der neutrale Druck auf der Basis des Streifens.

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i_{esima} rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i_{esima} , c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

Der Ausdruck des Sicherheitsfaktors von Bishop enthält im zweiten Glied m als Funktion von η . Er wird durch Approximationen gelöst, wobei ein anfänglicher Wert für η im Ausdruck m eingesetzt wird und dieser Vorgang solange fortgesetzt wird, bis der berechnete Wert mit dem angenommenen Wert übereinstimmt.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di η . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per η da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

4.10. BERECHNUNG

4.10. CALCOLO

In der Folge werden die wesentlichen Ergebnisse der geotechnischen Nachweise der Mauer angeführt.

Si riportano nel seguito i risultati salienti delle verifiche geotecniche del muro.

Aufgrund der Größe der Bauten werden Standsicherheitsnachweise und Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) nicht als signifikant erachtet.

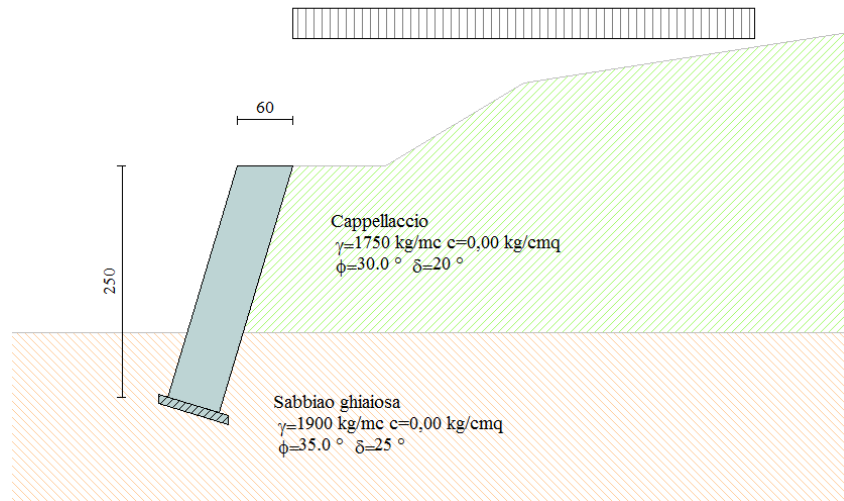
Viste le dimensioni delle opere non si ritengono significative verifiche strutturali, così come non si ritengono significative verifiche agli SLE.

4.10.1. Geometrie

4.10.1. Geometria

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)



Es wurden 12 Lastkombinationen ermittelt; sie enthalten die vier Grundkombinationen (A1+M1, A2+M2, EQU und STAB) bei fehlender externer Last, bei vorhandener Last, bei Vorkommen von positiver Erdbebeneinwirkung und bei Vorkommen von negativer Erdbebeneinwirkung.

Le combinazioni di carico individuate sono 12 (nel report dell'elaborazione numerica vengono riportate in modo esaustivo), comprendendo le quattro combinazioni fondamentali (A1+M1, A2+M2, EQU e STAB) in assenza del carico esterno, in presenza del carico, in presenza dell'azione sismica positiva, e in presenza dell'azione sismica negativa.

4.10.2. Geotechnische Nachweise

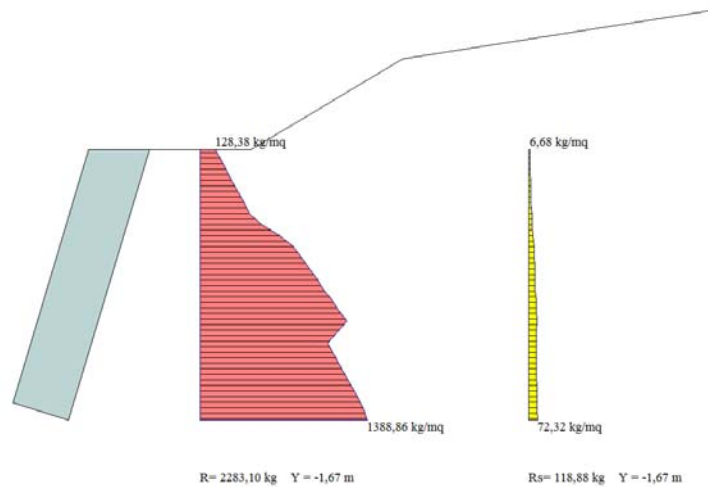
Der auf den Kennwert einwirkende Druck wird gemäß Beschreibung in den vorhergehenden Absätzen berechnet. Die Details der Berechnung sind im numerischen Rechenbericht enthalten; sie werden hier nicht angeführt, um die vorliegende Abhandlung kurz zu halten. Die Höchstdrücke sind:

4.10.2. Verifiche Geotecniche

La spinta agente sul paramento viene determinata come descritto nei paragrafi precedenti. I dettagli del calcolo possono venir individuati nel report dell'elaborazione numerica, non riportato per brevità. Le spinte massime sono quelle di seguito illustrate:

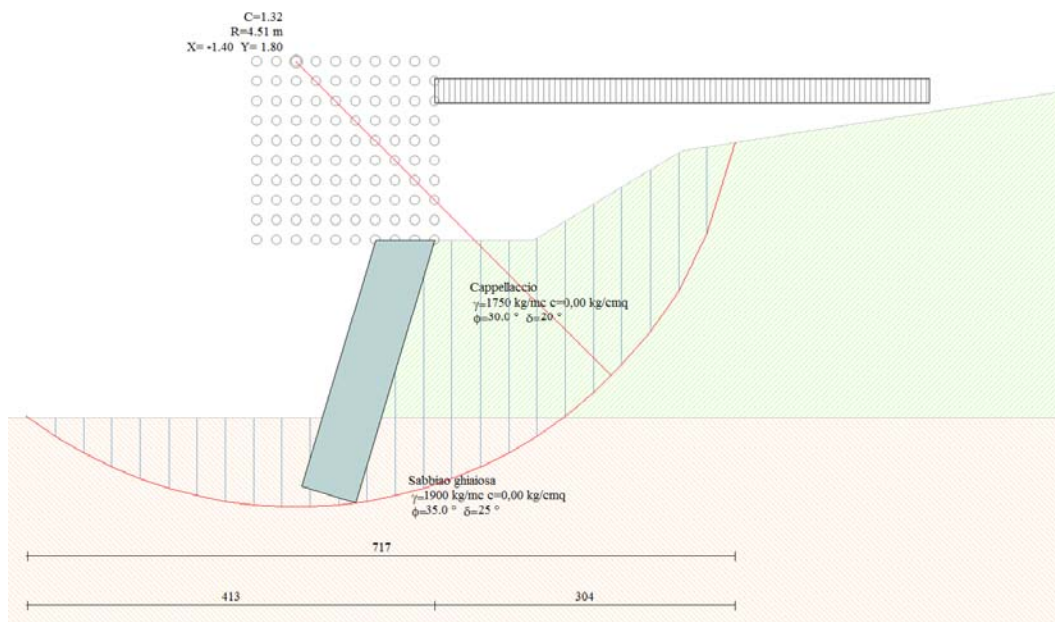
Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)



Der Standsicherheitsnachweis erfolgt durch die Berechnung der kritischen Gleitkreise; der schwächste ist der dargestellte:

La verifica di stabilità passa per l'individuazione dei cerchi critici di scivolamento, il più debole dei quali è quello illustrato:



Die Zusammenfassung der geotechnischen Nachweise der Stützmauer ist mit den Restsicherheitsfaktoren für jede Konfiguration in der folgenden Übersicht enthalten:

Il riepilogo delle verifiche geotecniche del muro, con i coefficienti di sicurezza residui per ogni configurazione, è riportato nel riepilogo seguente:

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

Comb.	Tipo comb.	Sisma	FS (ribalt)	FS (scorr)	FS (qult)	FS (stab)	Spinta[kg]	Incr. sism.[kg]
▶ 1	A1-M1 - [1]	--	--	2,83	6,48	--	1980,22	0,00
2	A2-M2 - [1]	--	--	1,53	1,64	--	2283,10	0,00
3	EQU - [1]	--	1,13	--	--	--	2511,41	0,00
4	STAB - [1]	--	--	--	--	1,35	2283,10	0,00
5	A1-M1 - [2]	SismaH + SismaV negativo	--	4,75	8,14	--	1523,25	69,94
6	A1-M1 - [2]	SismaH + SismaV positivo	--	4,77	8,04	--	1523,25	88,57
7	A2-M2 - [2]	SismaH + SismaV positivo	--	1,36	1,20	--	2283,10	118,88
8	A2-M2 - [2]	SismaH + SismaV negativo	--	1,36	1,21	--	2283,10	90,96
9	EQU - [2]	SismaH + SismaV negativo	1,28	--	--	--	2283,10	90,96
10	EQU - [2]	SismaH + SismaV positivo	1,28	--	--	--	2283,10	118,88
11	STAB - [2]	SismaH + SismaV positivo	--	--	--	1,32	2283,10	118,88
12	STAB - [2]	SismaH + SismaV negativo	--	--	--	1,32	2283,10	90,96

Dokumenteninhalt: Straßentrassen – Bautechnischer Bericht Straßenquerschnitt (Grube/Aufschüttung)

Contenuto documento: Tracciati - Relazione tecnica di calcolo sezione stradale (trincee/rilevato)

5. ANHANG – ERKLÄRUNG DES PROJEKTANTEN BZGL. DER VERWENDETEN SOFTWARE

5. APPENDICE – DICHIARAZIONE DEL PROGETTISTA IN MERITO AI SOFTWARE UTILIZZATI