



PROVINCIA
DI AREZZO

SETTORE VIABILITÀ E LAVORI PUBBLICI

Servizio Viabilità



**RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO
LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE
DI PRATOVECCHIO STIA**

PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM. 1

Titolo Tav.

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA PARAMASSI

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

ing. Sandro D'Agostini - L&S ENGINEERING srl - Ordine degli Ingegneri di Belluno num. 547
ing. Lara Stefani - L&S ENGINEERING srl - Ordine degli Ingegneri di Belluno num. 683
arch. Paola Andreotti - L&S ENGINEERING srl - Ordine degli Architetti e PPC di Belluno num. 496
dott. geol. Cosimo Martinelli - L&S ENGINEERING srl - Ordine dei Geologi della Regione Toscana, num. 1866
ing. Antonio Tenani - Ordine degli Ingegneri di Belluno num. 519

DATA:
APRILE 2026

RUP:
ing. Paolo Bracciali

5.01

Codice				Liv.	WBS				Disciplina			Ambito			Rev.
2	4	1	0	V	G	0	0	S	T	R	R	E	0	1	A

Nome file: 5.01-2410VG00STRRE01_A-RelCalc_BarPar

Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
A	EMISSIONE	APR 26			SDA

Capogruppo:



Mandanti:

ing. Antonio Tenani
arch. Paola Andreotti

 PROVINCIA DI AREZZO	 Viabilità	RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 1/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. VITA NOMINALE.....	5
4. CARATTERISTICHE E RICHIESTE PRESTAZIONALI DELLA BARRIERA CLASSE V 5	5
5. DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI DI FONDAZIONE E ANCORAGGIO BARRIERA CLASSE V	6
6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	7
7. PRESCRIZIONI GENERALI SUI MATERIALI	8
8. DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DI ESECUZIONE	10
9. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DEL TERRENO.....	11
10. DETERMINAZIONE DEI CARICHI DI PROGETTO BARRIERA CLASSE V	12
11. COMBINAZIONI DI CARICO	13
12. CENNI TEORICI SUL DIMENSIONAMENTO DI FONDAZIONE E ANCORAGGI	13
12.1 Portata limite di aderenza nucleo / terreno	13
12.2 Verifica a scorrimento sezione del cavallotto fune – nucleo iniettato	14
12.3 Verifica a scorrimento sezioni in acciaio – nucleo iniettato (profilato tubolare)	14
12.4 Verifica a scorrimento sezioni in acciaio – nucleo iniettato (barre)	14
12.5 Verifica resistenza ancoraggio in fune di acciaio spiroidale	14
12.6 Verifica resistenza micropalo	14
12.7 Verifica resistenza sezione tubolare in acciaio del micropalo	15
12.8 Verifica resistenza sezioni in barra di acciaio	15
12.9 Verifica di stabilità dell'elemento compresso (micropalo/barre)	15
13. VERIFICA FONDAZIONI DEL MONTANTE BARRIERA CLASSE V	15
13.1 Caso A – Micropalo ($\Phi_e = 76,10 - s = 6,30$ mm)	15
13.2 Caso B – Barre in acciaio B450C	16
14. VERIFICA ANCORAGGIO DI MONTE BARRIERA CLASSE V	17
15. VERIFICA ANCORAGGIO LATERALE BARRIERA CLASSE V	18
16. PROVE DI COLLAUDO SU ANCORAGGI.....	19
16.1 Prove di progetto su ancoraggi Preliminari	19
16.2 Prove di carico in corso d'opera sugli ancoraggi.....	19
16.3 Modalità di prova	19
16.4 Strumentazione utilizzata.....	20
16.5 Individuazione degli ancoraggi da testare.....	20
16.6 Modalità della prova. Raccomandazioni AICAP [ed. 2012].....	20
17. CONCLUSIONI	21

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 2/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

1. PREMESSA

Con contratto in data 02/02/2024, REGISTRO num. 413/04/CONTR, la Provincia di Arezzo ha affidato al RTP “L&S Engineering S.r.l. / arch. Paola Andreotti / ing. Antonio Tenani” l’«ACCORDO QUADRO PER L’APPALTO DI SERVIZI DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVE OPERE E DI INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PER LA SICUREZZA E L’INTEGRITÀ DELLA RETE VIARIA PROVINCIALE, RIGUARDANTE ANCHE MANUFATTI, VIADOTTI, PONTI, GALLERIE E BARRIERE, PER IL PERIODO DI 24 MESI».

Con Determinazione Dirigenziale num. 1161 del 03/07/2024 è stato affidato al RTP l’incarico relativo alla redazione del progetto definitivo, esecutivo, coordinamento della sicurezza in fase di progettazione e di esecuzione, direzione dei lavori dell’intervento denominato «Rafforzamento corticale con rete e/o barriere paramassi lungo la S.P. 310 del Bidente, a tratti dal km 14+500 al km 21+350, in Comune di Pratovecchio Stia».

Il RTP ha redatto il progetto definitivo nel mese di settembre 2024; la Provincia di Arezzo ha provveduto ad acquisire i pareri degli Enti di competenza come riportato nel capitolo 11.

Successivamente al completamento della fase autorizzativa, la Provincia di Arezzo ha comunicato al RTP il nulla osta per la redazione del progetto esecutivo.

Il progetto esecutivo è stato approvato con Determina Dirigenziale num. 2166 del 19/11/2025 e, contestualmente, con il medesimo provvedimento è stato disposto l’affidamento dei lavori, mediante contratto attuativo corrispondente all’emissione dell’Ordine di Lavoro 16 (OdL 16), all’operatore economico aggiudicatario dell’Accordo Quadro - Lotto 5: RTI “Bindi S.p.A. (capogruppo) - Italscavi S.r.l. - Francucci S.r.l. - Strade e Ambiente S.r.l.”, per l’importo di € 187.530,46.* per lavori al netto del ribasso del 32,788% oltre € 13.018,96.* per oneri della sicurezza, per un totale contrattuale di € 200.549,42.* oltre IVA 22%.

Nel corso dei lavori, il confronto con la Stazione Appaltante ha infatti permesso di individuare le lavorazioni integrative, non preventivabili progettualmente e derivanti da fatti avvenuti successivamente alla sopra richiamata data di affidamento dei lavori medesimi e che rendono pertanto necessaria la redazione della perizia suppletiva e di variante num. 1.

I lavori integrativi e/o modificativi previsti nella perizia suppletiva e di variante num. 1 risultano necessari per l’esecuzione degli interventi in progetto e sono dettagliatamente illustrati negli elaborati di perizia, mentre nella presente relazione si provvederà, in questa sede, alla descrizione di una barriera paramassi tipologica a geometria variabile ad alto assorbimento di energia con capacità dissipativa $E_p = 2000 \text{ kJ}$ (Classe V) e alla verifica strutturale del solo sistema di fondazione e di ancoraggio;

Tale scelta deriva dal fatto che le attuali strutture paramassi in commercio devono possedere la marcatura CE sulla base di specifica Valutazione Tecnica Europea ETA secondo European Assessment Document EAD 340059-00-0106. July 2018 (ex ETAG 027 ed. 2013) e, pertanto, l’Appaltatore dovrà necessariamente realizzarla secondo gli schemi di calcolo e di montaggio forniti dalla casa produttrice che dovranno essere preventivamente forniti alla Stazione Appaltante per la formale accettazione dei materiali.

Si precisa che le ipotesi assunte nella presente relazione, con particolare riferimento ai carichi sugli ancoraggi, sono da intendersi indicativi e riferiti ad una “barriera tipo”, senza alcuna volontà di indicare uno specifico prodotto.

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA		PROG. 2410	PAG. 3/21
		REV. A	DATA Aprile 2026		
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1					

Resta inteso che, in funzione dell'effettivo modello di barriera scelto dall'appaltatore, sarà necessario rivedere le calcolazioni contenute nella presente relazione, in funzione delle specifiche azioni sulle fondazioni e sugli ancoraggi dichiarate dal produttore della struttura scelta.

Per quanto riguarda la determinazione delle tensioni di connessione dei terreni interessati (indicate di seguito con il simbolo τ_d) e per i valori utilizzati nel procedimento di calcolo degli elementi di fondazione profonda, si fa riferimento a quanto desumibile dalle analisi e dai dati contenuti nella Relazione geologica allegata al presente progetto, dalle osservazioni in sito e dai dati ricavabili dalla letteratura tecnica attualmente disponibile.

Tenuto conto dell'eterogeneità dei luoghi, è stato ipotizzato, in questa fase, che il terreno, per quanto concerne le sue caratteristiche geotecniche, fisiche e meccaniche sia formato da due strati omogeneo per l'intera profondità d'infissione degli ancoraggi nell'ipotesi di terreno sciolto/detritico superficiale e di terreno roccioso in profondità.

Occorrerà, tuttavia, verificare con precisione, in sede esecutiva, la corrispondenza tra queste ipotesi progettuali e le caratteristiche effettivamente rinvenute in fase di perforazione. Si prevede, inoltre, che la miscela di iniezione per la realizzazione di elementi di trasmissione al terreno degli sforzi indotti nella struttura in elevazione, sia di tipo cementizio e sia posta in opera secondo il processo di iniezione di tipo globale a bassa pressione in unica soluzione (metodo IGU) ed abbia resistenza $R_{ck} > 300 \text{ daN/cm}^2$.

In caso di particolari condizioni geologiche e geotecniche, potrà essere necessario l'utilizzo di calze per iniezioni in geotessuto. In tal caso l'appaltatore dovrà concordarne le tipologie con la D.L. e fornire alla stessa opportune schede tecniche e idonee garanzie tecnologiche che l'utilizzo delle suddette calze non sia pregiudizievole del buon esito delle iniezioni.

Si evidenzia che tutte le parti metalliche dovranno essere opportunamente zincate secondo le normative vigenti e gli ancoraggi dovranno essere convenientemente protetti contro la potenzialità corrosiva dell'ambiente esterno dovute, ad esempio, alle reazioni chimiche che si possono instaurare e che sono legate alla presenza di acqua ed eventuali componenti chimici aggressivi.

Particolare attenzione, se necessario, dovrà essere usata, in fase esecutiva, affinché possano venire eventualmente presi in considerazione gli opportuni accorgimenti per proteggere, da un punto di vista meccanico ed idraulico, le teste degli ancoraggi il cui danneggiamento potrebbe comportare conseguenze negative per l'efficienza delle opere di fondazione.

Rispetto al sistema di opere di difesa del piano viabile dalla caduta massi, le opere oggetto presente progetto possono configurarsi, secondo le NTC 2018, come "interventi di tipo locale (§ 8.4.1).

2. *NORMATIVA DI RIFERIMENTO*

Per il dimensionamento degli elementi resistenti della barriera e delle sue fondazioni e ancoraggi, si fa specifico riferimento alla seguente normativa:

- **D.M. 17/01/2018** – “Norme tecniche per le costruzioni”

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 4/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

- **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.** – “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al D.M. 17.01.2018.
- **European Assessment Document EAD 340059-00-0106. July 2018. Falling Rock Protection kits** (Ex ETAG 27. Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits – Edition September 2012 – Amended April 2013 – EOTA)
- **UNI EN 1993-1-11** – Eurocodice 3. Progettazione delle strutture in acciaio.
- **UNI EN 10025.** Prodotti laminati a caldo in acciai non legati per impieghi strutturali Condizioni tecniche di fornitura.
- **UNI EN 10244-2.** Fili e prodotti trafilati di acciaio. Rivestimenti metallici non ferrosi sui fili di acciaio. Parte 2: Rivestimenti di zinco o di leghe di zinco.
- **UNI EN 10264-1.** Fili e prodotti trafilati in acciaio. Filo di acciaio per funi. Requisiti generali.
- **UNI EN 10264-2.** Fili e prodotti trafilati in acciaio. Filo di acciaio per funi. Filo di acciaio non legato trafilato a freddo per funi per applicazioni generali.
- **UNI EN 12385-1.** Funi in acciaio. Sicurezza. Parte 1: Requisiti generali.
- **UNI EN 12385-4.** Funi in acciaio. Sicurezza. Parte 4: Funi a trefoli per usi generali nel sollevamento.
- **UNI EN 12385-10.** Funi in acciaio. Sicurezza. Parte 10: Funi spirroidali per usi strutturali generali
- **UNI EN 10223-3.** Fili e prodotti di acciaio per recinzioni. Reti in acciaio a maglie esagonali per impieghi industriali.
- **EN 10218-2.** Wire dimensions and tolerances.
- **EN 10244-2.** Steel wire and wire products - Non-ferrous metallic coatings on steel wire - Zinc or zinc alloy coatings.
- **EN 10204.** Metallic products. Types of inspection documents.
- **UNI EN 10219.** Profilati cavi saldati formati a freddo per impieghi strutturali. Condizioni tecniche di fornitura.
- **UNI 5397.** Prodotti finiti d’acciaio laminati a caldo – Travi HE ad ali larghe parallele – Dimensioni e Tolleranze.
- **EN ISO 5817.** Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded). Quality levels for imperfections.
- **EN 22768-1.** General tolerances. Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications.
- **EN ISO 1461.** Hot dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles - Specifications and test methods.
- **EN 13411-5.** Terminations for steel wire ropes - Safety - Part 5: U-bolt wire rope grips.
- **UNI EN 10130.** Prodotti piani laminati a freddo, di acciaio a basso tenore di carbonio per imbutitura o piegamento a freddo - Condizioni tecniche di fornitura.
- **EN 13889.** Forged steel shackles for general lifting purposes – Dee shackles and bow shackles – Grade 6: Safety.

Perizia di variante n.1 - Relazione di calcolo Barriera paramassi
5.01-2410VG00STRRE01_A-RelCalc

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 5/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

- **EN ISO 4042.** Fasteners – Electroplated coatings.
- **UNI EN 13411-1.** Estremità per funi in acciaio. Redance per brache a fune d'acciaio.
- **UNI EN 13411-3.** Terminations for steel wire ropes - Safety - Part 3: Ferrules and ferrule securing.
- **UNI EN 1090-1.** Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali.
- **UNI EN 1090-2.** Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio.

Si sono inoltre seguite le indicazioni fornite da testi specializzati quali:

- **A.I.C.A.P. - Ancoraggi nei terreni e nelle rocce: raccomandazioni [ed. 2012]**

Il calcolo e la verifica degli elementi costruttivi sono stati condotti secondo gli usuali metodi della Scienza delle Costruzioni. Tenuto conto delle caratteristiche prestazionali delle strutture delle barriere paramassi, le verifiche sono eseguite allo stato limite ultimo.

3. VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale della barriera paramassi in oggetto è riportata nella tabella seguente:

TIPO DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Barriera Paramassi art. 1.2.2 EAD 340059-00-0106 (ex art. 1.3 - ETAG027)	≥ 25

4. CARATTERISTICHE E RICHIESTE PRESTAZIONALI DELLA BARRIERA CLASSE V

Tutti i materiali costituenti la barriera avranno caratteristiche meccaniche e fisiche minime non inferiori a quanto riportato nella tabella seguente.

Classe di energia	$V^a - 2000 \text{ KJ} - \text{EAD } 340059-00-0106 / \text{ETAG } 027$
Altezza nominale	5,00 m
Altezza residua	Categoria A: altezza residua $\geq 0,50$ altezza nominale secondo EAD 340059-00-0106 / ETAG 027
Massimo allungamento	Requisito non richiesto
Massima apertura varchi laterali (lateral gaps)	Requisito non richiesto
Montanti	Trave in acciaio S275 EN 10025 o superiore

Perizia di variante n.1 - Relazione di calcolo Barriera paramassi
5.01-2410VG00STRRE01_A-RelCalc

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA		PROG. 2410	PAG. 6/21
		REV. A	DATA Aprile 2026		
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1					

Piastre di base	In acciaio S275 EN 10025 o superiore
Struttura di intercettazione - rete principale	<p>La struttura di intercettazione principale del kit di barriera paramassi è costituita da rete ad anelli tipo ASM, caratterizzata da maglie di forma circolare (anelli) costituite da un unico filamento in acciaio avvolto più volte su sé stesso. Ogni anello è interconnesso con i 4 anelli adiacenti.</p> <p><u>Caratteristiche della rete principale</u> Diametro filo ≥ 3 mm con n. 4 punti di contatto diametro anello 350 mm. Resistenza unitaria del filo costituente ≥ 1380 N/mm²</p> <p><u>Protezione contro la corrosione</u> Composizione Zn rivestimento (coating) a caldo - EN 10264 - Classe A</p>
Struttura di intercettazione - Rete secondaria	<p>La struttura di intercettazione secondaria del kit di barriera paramassi è costituita da rete metallica esagonale a doppia torsione. La rete secondaria non ha una funzione di tipo strutturale, ma è uno strato addizionale che ha la funzione di evitare il passaggio di materiale di pezzatura fine (dimensioni decimetriche). Rete a maglia esagonale a doppia torsione 8 x 10 EN 10218 Composizione rivestimento (coating) Zn+Al5%, rivestimento (coating) a caldo - EN 10244-2 - spessore del rivestimento EN 10244-2 - Classe A</p>
Controventi di monte	In fune di acciaio classe 1770 N/mm ² o sup - UNI EN 12385-4.
Controventi laterali	In fune di acciaio classe 1770 N/mm ² o sup - UNI EN 12385-4.
Fune longitudinale superiore	In fune di acciaio classe 1770 N/mm ² o sup - UNI EN 12385-4.
Fune longitudinale inferiore	In fune di acciaio classe 1770 N/mm ² o sup - UNI EN 12385-4.

Si precisa che le descrizioni proposte sono da intendersi come tipologiche e prestazionali e non intendono in alcun modo rappresentare uno specifico prodotto. Sono quindi ammissibili strutture diverse da quelle elencate purché garantiscano le stesse prestazioni minime previste dal progetto.

5. DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI DI FONDAZIONE E ANCORAGGIO BARRIERA CLASSE V

Le opere di fondazione previste in questa relazione sono indicate schematicamente nella seguente tabella, rimandandone ai paragrafi che seguiranno la verifica accurata.

Elemento	Descrizione
Fondazione montante	4 barre Φ 24 mm in acciaio B450C L = 4,00 m $D_{perf} = 50$ mm
	oppure Micropalo $\Phi_e = 76,1$ mm $s = 6,30$ mm L = 4,00 m $D_{perf} = 120$ mm

 PROVINCIA DI AREZZO	 Viabilità	RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 7/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

Ancoraggi di monte	In doppia fune spiroidale Φ 20 mm	L = 5,00 m	D _{perf} = 85 mm
Ancoraggi laterali	In doppia fune spiroidale Φ 20 mm	L = 6,50 m	D _{perf} = 85 mm

Si precisa che, ai sensi del Cap. 11.1 del DM 17.01.2018, gli ancoraggi essendo materiali e prodotti per uso strutturale dovranno essere dotati di Marcatura CE in conformità a Valutazione Tecnica Europea (ETA), ovvero, dovrà essere in possesso di un Certificato di Valutazione Tecnica o C.I.T. rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Si evidenzia che le dimensioni degli ancoraggi indicati nelle tabelle potranno essere oggetto di adeguata revisione in funzione dell'effettivo prodotto strutturale utilizzato dall'impresa e delle puntuali risultanze delle prove sugli ancoraggi preliminari.

6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali utilizzati devono essere conformi alle caratteristiche fisico-meccaniche previste dalle normative vigenti ed indicate nei riferimenti del paragrafo precedente. Si riportano in questa sede, per semplicità, le sole caratteristiche di resistenza dei materiali:

Acciaio per profilati, piastre del tipo S275 EN 10025 e tubi del tipo S275 EN 10219

Tensione caratteristica a rottura dell'acciaio	$f_{tka} =$	4300 daN/cm ²
Tensione caratteristica a snervamento dell'acciaio	$f_{yka} =$	2750 daN/cm ²
coefficiente di sicurezza	$\gamma_M =$	1,05
resistenza di calcolo dell'acciaio	$= f_{yka} / \gamma_M =$	$f_{yda} =$ 2619 daN/cm ²
resistenza di calcolo di taglio acciaio	$= f_{yka} / \sqrt{3} \gamma_M =$	$f_{vda} =$ 1512 daN/cm ²
modulo elastico dell'acciaio	$E =$	2,06 E ⁺⁰⁶ daN/cm ²

Acciaio per barre tipo B450C

Tensione caratteristica a rottura dell'acciaio	$f_{tks} =$	5400 daN/cm ²
Tensione caratteristica a snervamento dell'acciaio	$f_{yks} =$	4500 daN/cm ²
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_s =$	1,15
Resistenza di calcolo dell'acciaio	$= f_{yks} / \gamma_s =$	$f_{yds} =$ 3913 daN/cm ²
Resistenza di calcolo di taglio acciaio	$= f_{yks} / \sqrt{3} \gamma_s =$	$f_{vds} =$ 2260 daN/cm ²
Modulo elastico dell'acciaio	$E =$	2,06 E ⁺⁰⁶ daN/cm ²

Funi in acciaio spiroidale (classe 1770 N/mm² - UNI EN 12385/10)

Carico di rottura minimo per diametro nominale Φ 20	$T_{\Phi 20} =$	363,0 kN
--	-----------------	----------

Ancoraggio in acciaio spiroidale (classe 1770 N/mm² - UNI EN 12385/10)

Carico di rottura minimo per diametro nominale Φ 20	$A_{\Phi 20} =$	550,0 kN
--	-----------------	----------

Miscela cementizia per iniezioni Rck 30 MPa (Classe C25/30) o superiore.

confezionata con cemento tipo 325 o sup, eventuale utilizzo di additivi antiritiro e/o fluidificanti ecc... secondo indicazioni D.L., metodo iniezione di calcolo IGU

Rapporto acqua cemento	$a/c =$	0,50÷0,60
Resistenza cubica a compressione caratteristica	$R_{ck} =$	300,0 daN/cm ²
Resistenza monoassiale per carichi di breve durata 0,83xR _{ck}	$f_{ck} =$	249,0 daN/cm ²

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 8/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

Coefficiente di sicurezza	$\gamma_m = 1,50$
Coefficiente di sicurezza per carico per lunga durata	$\alpha_{cc} = 0,85$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 141,1 \text{ daN/cm}^2$
Resistenza caratteristica di aderenza	$f_{bk} = 40,3 \text{ daN/cm}^2$
Resistenza di calcolo di aderenza	$f_{bd} = 26,9 \text{ daN/cm}^2$

7. PRESCRIZIONI GENERALI SUI MATERIALI

Per le prescrizioni sui materiali si fa riferimento, in particolare, a quanto indicato nel D.M. 17/01/2018 – “Norme tecniche per le costruzioni” e nella Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al D.M. 17.01.2018 (in particolare il Cap. 11).

Funi

Le funi sono fornite sotto forma di *Trefolo* (fili avvolti ad elica intorno ad un filo rettilineo completamente ricoperto dai fili elicoidali - il passo ed il senso di avvolgimento dell’elica sono uguali per tutti i fili di uno stesso strato). I trefoli vengono individuati mediante il diametro nominale.

Le funi sono fornite in bobine. All’atto dell’utilizzo gli acciai devono presentarsi privi di ossidazione, corrosione, difetti superficiali visibili, pieghe. È tollerata un’ossidazione che scompaia totalmente mediante sfregamento con un panno asciutto. Le funi dovranno essere costruite nel rispetto di quanto indicato nelle norme EN 12385-1 e EN 12385-4.

Redance

Le redance utilizzate dovranno essere conformi a UNI EN 13411-1. In particolare, le redance saranno realizzate in acciaio classe 235 MPa, non saldate, fabbricate da un piatto delle dimensioni conformi alla normativa sopra indicata. Le redance sono protette contro la corrosione mediante zincatura a caldo applicata secondo EN ISO 1461 (oppure UNI EN 4042) ed in quantità in accordo con UNI EN 13411-1. Le redance dovranno essere prive di cricche e difetti.

Manicotti di serraggio

Elemento costituito da tubo ovale in alluminio o acciaio, per il fissaggio dell’asola ottenuta con il passaggio delle funi. I manicotti verranno realizzati in conformità di UNI EN 13411-3 in modo tale da garantire una resistenza pari allo stesso carico di rottura della fune collegata mediante manicotti.

Durabilità

Tutte le funi in acciaio saranno protette contro la corrosione mediante rivestimento a caldo in zinco o lega zinco alluminio secondo le indicazioni della norma UNI EN 10264 Classe A. Le strutture in carpenteria di acciaio saranno zincate secondo UNI EN ISO 1461.

In merito alle classi di esposizione ambientale e alla quantificazione della corrosività dell’ambiente si precisa che le passivazioni proposte risultano mettere al riparo le strutture da interazioni con l’ambiente esterno e l’aggressività ambientale secondo le più severe condizioni dal momento che, come si vedrà nel prossimo paragrafo, sono state assunte le più rigorose modalità di rivestimento anticorrosivo indicate dalle moderne normative.

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 9/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				



Nella seguente tabella, per semplicità espositiva e per avere un riferimento immediato, si riportano le caratteristiche e tipologie di rivestimento anticorrosivo minimo da utilizzare per le strutture.

Elementi componenti	Standard	Tipologia di rivestimento	Spessore minimo del rivestimento
Carpenteria metallica	UNI EN 1461	Zinco	85 µm
Funi	UNI EN 10244-2	Zinco classe A	UNI EN 10244-2 prospetto 1
	UNI EN 10244-2	Zinco-alluminio classe A	UNI EN 10244-2 prospetto 2
Pannelli di rete	UNI EN 10244-2	Zinco classe A	UNI EN 10244-2 prospetto 1
	UNI EN 10244-2	Zinco-alluminio classe A	UNI EN 10244-2 prospetto 2
Rete secondaria	UNI EN 10244-2	Zinco classe A	UNI EN 10244-2 prospetto 1
	UNI EN 10244-2	Zinco-alluminio classe A	UNI EN 10244-2 prospetto 2
Morsetti, grilli e componenti minori	UNI EN 4042	Zinco	8 µm
	UNI EN 1461	Zinco	36 µm
Redances	UNI EN 4042	Zinco	8 µm
	UNI EN 1461	Zinco	17 µm

Tolleranze dimensionali

Si fa presente che buona parte degli elementi componenti il prodotto (travi, funi e redance) sono costruite in riferimento a norme specifiche EN che già contengono specifiche indicazioni per quanto riguarda le tolleranze dimensionali e costruttive. Nella seguente tabella, per semplicità espositiva e per avere un riferimento immediato, si riporta il riepilogo delle tolleranze dimensionali riferite alle barriere.

TOLLERANZA DELLE DIMENSIONI		
Dimensioni barriera: base	0 cm	10 cm
Dimensioni barriera: altezza	0 cm	10 cm
Pannello di rete ad anelli: dimensioni maglia	-4%	+4%
Rete secondaria: dimensioni maglia	-4% (UNI EN 10233-3)	+16% (UNI EN 10233-3)
Rete secondaria: ø filo	-0,06 mm (EN 10218-2)	+0,06 mm (EN 10218-2)
Funi	0% (UNI EN 12385-4)	+3% (UNI EN 12385-4)
Redances	-2%	+5%

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 10/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

Montanti HE	UNI 5397
-------------	----------

8. DETERMINAZIONE DELLA CLASSE DI ESECUZIONE

Il progettista ha il compito di definire la **classe di esecuzione della struttura**.

La classe di esecuzione è definita come l'insieme di requisiti specificati per l'esecuzione delle opere nel loro insieme, per un singolo componente o per un dettaglio di un componente. Si evidenzia che la linea guida per la determinazione delle classi di esecuzione è stata spostata dalla EN 1090 alla Tabella C.1 della UNI EN 1993-1-1:2014 (Annex C – Selection of execution class). Una volta definita la struttura da realizzare, è necessario individuare la Classe di Conseguenza (CC), o in alternativa la Classe di Affidabilità (RC), secondo quanto specificato nella UNI EN 1990 (Appendice B – Differenziazione dell'affidabilità strutturale per le costruzioni):

Considerate le caratteristiche e la destinazione d'uso dei componenti in oggetto, la Classe di importanza (CC1, CC2 o CC3), viene determinata in funzione delle effettive caratteristiche del luogo di installazione della barriera come di seguito illustrato.

Prospetto B.1 – Definizione della classe di conseguenze		
Classe di conseguenze	Descrizione	Esempi di edifici e di opere di ingegneria civile
CC3	Elevate conseguenze per perdita di vite umane, o conseguenze molto gravi in termini economici, sociali o ambientali	Gradinate in impianti sportivi, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono alte (per esempio, una sala concerti)
CC2	Conseguenze medie per perdita di vite umane, conseguenze considerevoli in termini economici, sociali o ambientali	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono medie (per esempio un edificio per uffici)
CC1	Conseguenze basse per perdita di vite umane, e conseguenze modeste o trascurabili in termini economici, sociali o ambientali	Costruzioni agricole, nei quali generalmente nessuno entra (per esempio, i magazzini), serre

Tabella tratta da Prospetto B.1 – UNI EN 1990:2006

È inoltre possibile valutare alternativamente la classe di affidabilità (RC), definendola attraverso il concetto di indice di affidabilità β . Le tre classi di affidabilità RC1, RC2, RC3 possono essere associate alle tre classi di conseguenze CC1, CC2, CC3. Il prospetto B.2 fornisce i valori minimi raccomandati dell'indice di affidabilità associati con le classi di affidabilità (vedere anche l'Appendice C – Criteri generali per il progetto ai coefficienti parziali e l'analisi dell'affidabilità).

Prospetto B.2 - Valori minimi raccomandati per l'indice di affidabilità β (stati limite ultimi)		
Classe di affidabilità	Valori minimi di β	
	Periodo di riferimento 1 anno	Periodo di riferimento 50 anni
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Tabella tratta da Prospetto B.2 – UNI EN 1990:2006

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 11/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

Individuata la Classe di Conseguenza o la Classe di Affidabilità, è possibile determinare la Classe di Esecuzione dalla Tabella C.1 della UNI EN 1993-1-1:2014 (Annex C – Selection of execution class):

Reliability Class (RC) or Consequences Class (CC)	Type of loading	
	Static, quasi-static or seismic DCL ^a	Fatigue ^b or seismic DCM or DCH ^a
RC5 or CC3	EXC3 ^c	EXC3 ^c
RC2 or CC2	EXC2	EXC3
RC1 or CC1	EXC1	EXC2

^a Seismic ductility classes are defined in EN 1998-1: Low=DCL; Medium=DCM; High=DCH.
^b See EN 1993-1-9.
^c EXC4 may be specify for structures with extreme consequences of structural failure.

Tabella tratta da Table C.1 – UNI EN 1993-1-1:2005/A1:2014

Da quanto illustrato la Classe di Esecuzione viene determinata in: EXC2

9. CARATTERISTICHE DI PROGETTO DEL TERRENO

Secondo quanto previsto dalle Norme tecniche D.M. 17/01/2018 (art. 6.6 e seguenti) la verifica di sicurezza agli stati limite ultimi degli ancoraggi sono stati condotti utilizzando nel calcolo il set di coefficienti parziali (A1+M1+R3), tenuto conto che, in tale combinazione, viene assunto:

a. i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno come da seguente tabella

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	Coefficiente parziale	
			(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

b. il coefficiente parziale per la resistenza di ancoraggi di tipo permanente vale $\gamma_{Ra,p} = 1,20$

Tab. 6.6.I – Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

c. il fattore di correlazione, a favore di sicurezza, verrà assunto pari a $\xi_a = 1,80$

 PROVINCIA DI AREZZO 	RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA			PROG. 2410	PAG. 12/21
				REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1					

Tab. 6.6.III - Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

- d. Per quanto riguarda invece la verifica dei pali, secondo le Norme tecniche D.M. 17/01/2018 (art. 6.4.3 e seguenti), si utilizzerà il set di coefficienti parziali (A1+M1+R3), tenendo conto che il coefficiente parziale per la resistenza dei pali viene assunto pari a $\gamma_R = 1,15$ (pali trivellati - resistenza laterale in compressione) e il fattore di correlazione, a favore di sicurezza, verrà assunto pari a $\xi_a = 1,70$

Tab. 6.4.II - Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

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

Tab. 6.4.IV - Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Sulla base della relazione geologica, si prevede, in generale, che il terreno sia così composto:

PROFILO STRATIGRAFICO TERRENO						
Strato	da	a	qs	W	alfa	Descrizione
1	0	-2000	1,20	15,00	1,20	Detrito superficiale
2	-2000	-5000	3,00	50,00	1,10	Substrato roccioso alterato

Resta inteso che, in corso d'opera, dovrà essere posta particolare attenzione all'andamento delle perforazioni al fine di verificare la rispondenza alle ipotesi di progetto ed in particolar modo alla definizione stratigrafica ipotizzata.

10. DETERMINAZIONE DEI CARICHI DI PROGETTO BARRIERA CLASSE V

Si assumono i seguenti carichi derivanti dalla letteratura relativamente alla lettura di celle di carico durante le prove MEL (Maximum Energy Level) su una barriera tipo avente le caratteristiche di dissipazione di $E_p = 2000$ kJ

- $T_L = 240,00$ kN = massimo carico su ancoraggi laterali
- $T_M = 160,00$ kN = massimo carico su ancoraggi di monte
- $N_D = 200,00$ kN = massimo carico di compressione alla base del montante
- $V_D = 170,00$ kN = massimo carico di taglio alla base del montante

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA		PROG. 2410	PAG. 13/21
				REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1					

Si precisa che i suddetti carichi sono da intendersi indicativi e riferiti ad una “barriera tipo”, senza alcuna volontà di indicare uno specifico prodotto.

11. COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni agenti su una barriera paramassi possono essere classificate, secondo la variazione della loro intensità nel tempo in:

a) *permanenti* (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare, con sufficiente approssimazione, costanti nel tempo (peso proprio degli elementi strutturali e permanente)

b) *eccezionali* (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura (urti ed impatti);

Dal momento che il carico eccezionale, derivante dall’impatto di un masso in movimento, è molto superiore a tutte le altre azioni nelle varie condizioni di carico si utilizza convenientemente la sola seguente combinazione (art. 2.5.3. NTC 2018), impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto:

$$A_d : G + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Poiché infine, come detto, i valori di G e Q_{ki} sono molto inferiori alle sollecitazioni derivanti dall’urto, gli stessi possono essere convenientemente trascurati.

12. CENNI TEORICI SUL DIMENSIONAMENTO DI FONDAZIONE E ANCORAGGI

12.1 Portata limite di aderenza nucleo / terreno

La portata limite di aderenza nucleo iniettato – terreno sarà determinata mediante la formula (Bustamante-Doix, 1985)

$$P_L = k \pi \alpha D \sum_i (L_i q_{ski}) \quad \text{dove}$$

k coefficiente che tiene conto nel calcolo della resistenza a compressione del contributo della resistenza di punta (1,00 per gli ancoraggi in trazione, 1,10 per barre in compressione e 1,15 per i micropali)

α coefficiente di maggiorazione funzione della qualità del terreno e che tiene conto del grado di penetrazione dell’iniezione nel terreno circostante alla perforazione, assunto pari a 1,20 per il terreno di tipo detritico e pari a 1,05 per terreno di tipo roccioso)

D diametro di perforazione (in cm)

L lunghezza utile di aderenza dell’ancoraggio (in cm)

q_{ski} tensione limite di aderenza con il terreno che dipende oltre che dalla natura del suolo, dalla sua consistenza e dalla metodologia di lavoro utilizzata per realizzare l’ancoraggio (IGU)

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 14/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

Posto N_d il carico di progetto, dovranno essere verificate le seguenti relazioni:

$$P_u = P_L / \xi_a \gamma_{Ra,p} > N_d \text{ con } \gamma_{Ra,p} = 1,20 \text{ per gli ancoraggi di tipo permanente e } \xi_a = 1,80$$

$$P_u = P_L / \xi_b \gamma_R > N_d \text{ con } \gamma_R = 1,15 \text{ per pali trivellati e } \xi_b = 1,70$$

12.2 Verifica a scorrimento sezione del cavallotto fune – nucleo iniettato

La resistenza allo scorrimento fra elementi in acciaio e miscela di iniezione è dovuta alle tensioni di aderenza e all'attrito all'interfaccia acciaio-miscela, f_{bd} / γ_{bd} con $\gamma_{bd} = 2,00$ coefficiente di sicurezza per sezioni in zone a cattiva aderenza. Nell'ambito del metodo di verifica agli stati limite si può assumere una resistenza tangenziale di progetto dovuta all'aderenza ed all'attrito:

$$N_{ader} = n f_{bd} \delta \mu A_{aderenza} / \gamma_{bd} > P_d \text{ con } n = \text{numero di trefoli}$$

Avendo indicato con:

μ = coefficiente di riduzione, funzione dello stato delle superfici posto nel presente caso = 0,85

δ = coefficiente di riduzione che dipende dal numero di barre inserite in un foro posto nel caso in esame pari a 0,85 (caso di due trefoli)

A_{lat} = area laterale dei due trefoli pari a $2 \pi \Phi L$

12.3 Verifica a scorrimento sezioni in acciaio – nucleo iniettato (profilato tubolare)

La resistenza allo scorrimento fra profili in acciaio e miscela di iniezione è dovuta alle tensioni di aderenza e attrito all'interfaccia acciaio-miscela. Nell'ambito del metodo di verifica agli stati limite si può assumere una tensione tangenziale di progetto dovuta all'aderenza ed all'attrito:

$$f_{bdc} = 5,5 \text{ daN/cm}^2, \text{ per sezioni circolari in acciaio riempite di miscela}$$

Posto N_d il carico di progetto, si ha in definitiva: $N_{a m} = f_{bdc} A_{aderenza \text{ micropalo}} > N_d$

12.4 Verifica a scorrimento sezioni in acciaio – nucleo iniettato (barre)

La resistenza allo scorrimento fra le barre in acciaio e la miscela di iniezione è dovuta alle tensioni di aderenza all'interfaccia acciaio-miscela. Nell'ambito del metodo di verifica agli stati limiti si può assumere una tensione tangenziale di progetto dovuta all'aderenza ed all'attrito: f_{bd} / γ_{bd}

con $\gamma_{bd} = 2,00$ coeff. di sicurezza per barre nervate in zone a cattiva aderenza (traz.)

f_{bd} = la resistenza di calcolo di aderenza

Si ha, in definitiva: $N_{a b} = f_{bd} A_{aderenza \text{ barra}} / \gamma_{bd} > N_d$ (barra)

12.5 Verifica resistenza ancoraggio in fune di acciaio spiroidale

Nota il carico di progetto N_d e il carico limite dell'ancoraggio T_{yk} , fissato il coefficiente di sicurezza $\gamma_s = 1,15$, la verifica risulta soddisfatta se: $T_{ykd} = T_{yk} / \gamma_s > N_d$

12.6 Verifica resistenza micropalo

Posto N_d il carico di progetto, nell'ipotesi di completa aderenza tra i materiali, la resistenza della sezione composta acciaio / miscela di iniezione a sforzo normale può essere valutata:

 	RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 15/21
		REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1			

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_a f_{yk}}{\gamma_a} + \frac{A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} + \frac{A_s f_{sk}}{\gamma_s} > N_d$$

dove A_a = sezione del profilo in acciaio, A_c = sezione in miscela di iniezione e A_s = sezione delle barre d'acciaio, mentre $\gamma_a = 1,05$, $\gamma_c = 1,50$, $\gamma_s = 1,15$ sono i coefficienti di sicurezza.

12.7 Verifica resistenza sezione tubolare in acciaio del micropalo

Nell'ipotesi di affidare la resistenza a compressione alla sola armatura in acciaio, si assume che la sezione resistente in acciaio del tubolare del micropalo sia A_a e si indica con $A_v = 2 A_a / \pi$ la sua sezione resistente al taglio. Posto N_d il carico di progetto, le tensioni devono essere così limitate:

$$\sigma_a = N_d / A_a < f_{yda} \quad \tau_a = V_d / A_v < f_{vda} \quad \sigma_{id} = \sqrt{(\sigma_a^2 + 3 \tau_a^2)} < f_{yda}$$

12.8 Verifica resistenza sezioni in barra di acciaio

Nell'ipotesi di affidare la resistenza a compressione alla sola armatura in acciaio, ciascuna barra d'acciaio di diametro Φ ha sezione resistente a carico assiale $A_{res} = \pi \Phi^2 / 4$ e sezione resistente al taglio $A_{vb} = 3/4 A_{res}$. Posto N_d il carico di progetto, le tensioni devono essere così limitate:

$$\sigma_s = N_d / A_{res} < f_{yds} \quad \tau_{max} = T_d / A_{vb} < f_{vds} \quad \sigma_{id} = \sqrt{(\sigma_s^2 + 3 \tau_{max}^2)} < f_{yds}$$

12.9 Verifica di stabilità dell'elemento compresso (micropalo/barre).

Il momento d'inerzia del micropalo risulta: $J_i = \pi/64 [(d_e^4 - d_i^4) + d_i^4/n]$ nel caso di micropalo tubolare e $J_i = J_a + \pi/64 [(D_{perf}^4 - \Phi_i^4)]/n$ nel caso dell'utilizzo delle barre in acciaio. Essendo il modulo di reazione β per unità di spostamento laterale e per unità di lunghezza pari a: $\beta = W \times D$ con W modulo di Winkler, D = diametro di perforazione

Il valore di carico critico per l'instabilità risulta $P_K = 2 \cdot \sqrt{(\beta \cdot E \cdot J)}$

Posto N_d il carico di compressione di progetto, la verifica risulta soddisfatta se risulta:

$$\eta = P_K / N_d > 10 = \text{valore min. accettabile del coeff. per aste a coefficiente euleriano.}$$

Tutte le elaborazioni di calcolo sono riportate estesamente nei seguenti paragrafi.

13. VERIFICA FONDAZIONI DEL MONTANTE BARRIERA CLASSE V

A favore di sicurezza si considera che tutte le fondazioni dei montanti siano sollecitate con il massimo carico registrato $N_D = 200,00$ kN. Si assume, inoltre, che la base del montante sia soggetta anche contemporaneamente ad una forza di taglio, che vale $V_D = 170,00$ kN. Si precisa che, a favore di sicurezza, sono stati trascurati le resistenze di aderenza che ci sono tra piastra di base e il terreno, affidando così l'intera capacità portante alle fondazioni di tipo profondo.

13.1 Caso A – Micropalo ($\Phi_e = 76,10$ – $s = 6,30$ mm)

Le fondazioni del montante verranno realizzate con micropali aventi armatura in acciaio S275 EN 10129 del diametro esterno $\Phi_e = 76,10$, spessore $6,30$ mm, lunghezza pari a $4,00$

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 16/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

m inserito in perforazioni del diametro $D_{perf} = 120$ mm.

Verifica portata micropalo (Bustamate-Doix 1985)									
D_{perf} (cm)	L_{ter} (cm)	q_s (daN/cm ²)	α	k	P_L (kN)	γ_R	ξ_a	P_u (kN)	N_d (kN)
12,00	200,00	1,20	1,20	1,15	124,86	1,15	1,70	63,87	200,00
12,00	200,00	3,00	1,10	1,15	286,14	1,15	1,70	146,36	
					411,00	1,15	1,70	210,23	
					Verifica		SI'	ζ	1,05

Verifica a scorrimento sezioni in acciaio - nucleo iniettato							
\varnothing_e (mm)	L (cm)	f_{bcd} (daN/cm ²)	N_{Ader} (kN)	N_d (kN)	ζ	Verifica	
76,10	400,00	5,50	525,97	200,00	2,63	SI'	Rif. Diametro esterno
63,50	400,00	5,50	438,88	200,00	2,19	SI'	Rif. Diametro interno

Verifica di stabilità dell'elemento compresso								
E_a (daN/cm ²)	J_i (cm ⁴)	D_{perf} (cm)	W (daN/cm ²)	β	P_K (kN)	N_d (kN)	ζ	Verifica
2,06E+06	92,80	12,00	15,00	180,00	3.709,99	200,00	18,55	SI'

Verifica resistenza sezione omogeneizzata micropalo								
A_a (cm ²)	A_{tot} (cm ²)	A_c (cm ²)	f_{yda} (daN/cm ²)	f_{cd} (daN/cm ²)	$N_{pl,Rd}$ (kN)	N_d (kN)	ζ	Verifica
13,81	113,10	99,28	2.619,00	141,10	480,89	200,00	2,40	SI'

Verifica resistenza sezione micropalo solo armatura tubolare									
A_a (cm ²)	A_v (cm ²)	E_a (daN/cm ²)	f_{yda} (daN/cm ²)	f_{vda} (daN/cm ²)	N_d (kN)	V_d (kN)	σ_b (daN/cm ²)	τ_b (daN/cm ²)	σ_{id} (daN/cm ²)
13,81	8,79	2,06E+06	2.619,00	1.512,00	200,00	170,00	1.447,72	1.932,96	3.647,59
					Verifica	SI'	ζ	1,81	0,78

13.2 Caso B – Barre in acciaio B450C

Le fondazioni del montante verranno realizzate mediante $n_b = 4$ barre in acciaio tipo B450C aventi diametro $\Phi 24$ mm inserite in perforazioni di diametro minimo $D = 50$ mm ciascuno, in modo da formare 4 micropali di lunghezza pari a 4,00 m.

Ogni barra sarà soggetta ai carichi $N_d = N/n_b = 50,00$ kN e $V_d = V/n_b = 42,50$ kN

Verifica portata limite di aderenza (Bustamate-Doix 1985)									
D_{perf} (cm)	L_{ter} (cm)	q_s (daN/cm ²)	α	k	P_L (kN)	γ_R	ξ_a	P_u (kN)	N_d (kN)

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 17/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

5,00	200,00	1,20	1,20	1,15	52,02	1,15	1,70	26,61	50,00
5,00	200,00	3,00	1,10	1,15	119,22	1,15	1,70	60,98	
					171,25	1,15	1,70	87,59	
					Verifica	SI'	ζ	1,75	

Verifica a scorrimento sezioni in acciaio - nucleo iniettato							Rif. Diametro esterno
Ø _e (mm)	L (cm)	f _{bcd} (daN/cm ²)	N _{Ader} (kN)	N _d (kN)	ζ	Verifica	
24,00	400,00	5,50	165,88	50,00	3,32	SI'	

Verifica di stabilità dell'elemento compresso								
E _a (daN/cm ²)	J _i (cm ⁴)	D _{perf} (cm)	W (daN/cm ²)	β	P _K (kN)	N _d (kN)	ζ	Verifica
2,06E+06	4,53	5,00	15,00	75,00	529,11	50,00	10,58	SI'

Verifica resistenza sezione omogeneizzata								
A _a (cm ²)	A _{tot} (cm ²)	A _c (cm ²)	f _{yda} (daN/cm ²)	f _{cd} (daN/cm ²)	N _{pl,Rd} (kN)	N _d (kN)	ζ	Verifica
4,52	19,63	15,11	3.913,04	141,10	194,99	50,00	3,90	SI'

Verifica resistenza solo acciaio									
A _a (cm ²)	A _v (cm ²)	E _a (daN/cm ²)	f _{yda} (daN/cm ²)	f _{vd} (daN/cm ²)	N _d (kN)	V _d (kN)	σ _b (daN/cm ²)	T _b (daN/cm ²)	σ _{id} (daN/cm ²)
4,52	2,88	2,06E+06	3.913,04	2.259,20	50,00	42,50	1.106,19	1.476,97	2.787,10
				Verifica	SI'	ζ	3,54	1,53	1,40

14. VERIFICA ANCORAGGIO DI MONTE BARRIERA CLASSE V

Nota il carico T_M = 160,00 kN, definita la stratigrafia del terreno, si procede alla verifica dell'ancoraggio nelle condizioni di terreno ipotizzato. Gli ancoraggi di monte saranno realizzati in doppia fune spiroidale Φ 20 mm con carico limite minimo T_{yk} = 550 kN, inseriti in perforazioni del diametro trasversale minimo pari a D = 8,6150 cm e lunghezza L = 5,00 m.

Verifica portata ancoraggio							
Ø (mm)	D _{perf} (mm)	T _{Ø16} (kN)	γ _s	T _{Ø16d} (kN)	T _M (kN)	ζ	Verifica
20,00	85,00	550,00	1,15	478,26	160,00	2,99	SI'

Verifica sfilamento ancoraggio - terreno									
D _{perf} (cm)	L _{ter} (cm)	q _s (daN/cm ²)	α	k	T (kN)	γ _{Ra,p}	ξ _a	T _u (kN)	T _M (kN)
8,50	200,00	1,20	1,20	1,15	88,44	1,20	1,80	40,95	160,00

Perizia di variante n.1 - Relazione di calcolo Barriera paramassi
5.01-2410VG00STRRE01_A-RelCalc

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 18/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

8,50	300,00	3,00	1,05	1,15	290,20	1,20	1,80	134,35	
					378,64	1,20	1,80	175,30	
					Verifica	SI'		ζ	1,10

Verifica scorrimento elemento di ancoraggio - nucleo iniettato									
Ø (mm)	L _{anc} (cm)	A _{ader} (cmq)	f _{bd} (daN/cm ²)	γ _{bd}	δ	μ	T _{ader} (kN)	T _M (kN)	ζ
20,00	500,00	3.141,59	26,90	2,00	0,85	0,85	610,58	160,00	3,82
							Verifica	SI'	

15. VERIFICA ANCORAGGIO LATERALE BARRIERA CLASSE V

Noto il carico $T_L = 240,00$ kN, definita la stratigrafia del terreno, si procede alla verifica dell'ancoraggio nelle condizioni di terreno ipotizzato. Gli ancoraggi laterali verranno realizzati in doppia fune spiroidale Φ 20 mm aventi carico limite minimo $T_{yk} = 550$ kN, inseriti in perforazioni del diametro trasversale minimo pari a $D = 8,50$ cm e lunghezza $L = 6,50$ m.

Verifica portata ancoraggio							
Ø (mm)	D _{perf} (mm)	T _{Ø16} (kN)	γ _s	T _{Ø16d} (kN)	T _L (kN)	ζ	Verifica
20,00	85,00	550,00	1,15	478,26	240,00	1,99	SI'

Verifica sfilamento ancoraggio - terreno									
D _{perf} (cm)	L _{ter} (cm)	q _s (daN/cm ²)	α	k	T (kN)	γ _{Ra,p}	ξ _a	T _u (kN)	T _L (kN)
8,50	200,00	1,20	1,20	1,15	88,44	1,20	1,80	40,95	240,00
8,50	450,00	3,00	1,05	1,15	435,30	1,20	1,80	201,53	
					523,74	1,20	1,80	242,47	
					Verifica	SI'		ζ	1,01

Verifica scorrimento elemento di ancoraggio - nucleo iniettato									
Ø (mm)	L _{anc} (cm)	A _{ader} (cmq)	f _{bd} (daN/cm ²)	γ _{bd}	δ	μ	T _{ader} (kN)	T _L (kN)	ζ
20,00	650,00	4.084,07	26,90	2,00	0,85	0,85	793,75	240,00	3,31
							Verifica	SI'	

Si fa presente che comunque, nell'eventualità di ricoprimenti di terreno avente caratteristiche diverse da quelle di progetto la lunghezza di infissione dovrà essere convenientemente aumentata in modo da garantire le stesse caratteristiche di resistenza ipotizzate.

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 19/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

16. PROVE DI COLLAUDO SU ANCORAGGI

16.1 Prove di progetto su ancoraggi Preliminari

L'art. 6.6.4.1 "Prove di progetto su ancoraggi Preliminari" delle NTC 2018 prevede l'esecuzione di "prove a rottura" su ancoraggi preliminari finalizzati al controllo esecutivo e alla verifica della coerenza nell'assunzione delle ipotesi di progetto (in generale le caratteristiche geomeccaniche del terreno e più in particolare le tensioni limite di aderenza terreno/bulbo d'iniezione) utilizzate nel dimensionamento degli ancoraggi e delle fondazioni. Gli "ancoraggi preliminari di prova", realizzati con lo stesso sistema costruttivo, nello stesso sito e nelle stesse condizioni ambientali di quelli definitivi, vanno sottoposti a sollecitazioni più severe di quelle di verifica e, ovviamente, non potranno più essere utilizzabili successivamente.

In funzione del numero di ancoraggi previsti in progetto, il numero minimo di ancoraggi di prova, così come previsto dall'art. art. 6.6.4 delle NTC 2018 non deve essere inferiore a:

- 1 se il numero degli ancoraggi è inferiore a 30
- 2 se il numero degli ancoraggi è compreso tra 31 e 50
- 3 se il numero degli ancoraggi è compreso tra 51 e 100
- 7 se il numero degli ancoraggi è compreso tra 101 e 200
- 8 se il numero degli ancoraggi è compreso tra 201 e 500
- 10 se il numero degli ancoraggi è superiore a 500

La prova consiste nell'applicazione di un ciclo semplice di carico e scarico; in questo ciclo il tirante viene sottoposto ad una forza pari a 1,20 l'azione P_{Max} registrata nel corso delle prove MEL, verificando che gli allungamenti misurati siano nei limiti previsti e/o compatibili con le misure sugli ancoraggi preliminari di prova.

16.2 Prove di carico in corso d'opera sugli ancoraggi

L'art. 6.6.4.2. "Prove di carico in corso d'opera sugli ancoraggi" delle NTC 2018 prevede che le prove di carico in corso d'opera dovranno essere effettuate sugli ancoraggi per controllarne il comportamento sotto le azioni di progetto.

La prova consiste nell'applicazione di un ciclo semplice di carico e scarico; in questo ciclo il tirante viene sottoposto ad una forza pari a 1,20 l'azione di progetto P_d utilizzata per le verifiche SEL, verificando che gli allungamenti misurati siano nei limiti previsti e/o compatibili con le misure sugli ancoraggi preliminari di prova.

Si fa presente che ai sensi dell'Allegato B della norma UNI 11211-4:2018, specifica per le di barriere paramassi, si prevede che laddove il valore calcolato di P_d ecceda quello misurato durante la prova MEL (maximum energy level), il carico di collaudo sarà pari al carico misurato durante la prova MEL.

16.3 Modalità di prova

Circa le modalità di prova, si evidenzia che:

- le prove di collaudo devono essere eseguite da personale specializzato, nel rispetto delle norme di sicurezza degli operatori e di terze persone;
- gli strumenti ed apparecchiature utilizzati nelle prove devono essere tarati, con anzianità inferiore a 1 anno, presso un Laboratorio Ufficiale riconosciuto e devono avere adeguata

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 20/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

precisione, in funzione del tipo di prova da eseguire;

- le tesature di prova, il ciclo di carico nonché i tempi di permanenza in tiro dell'ancoraggio sono stati stabiliti, in sede di collaudo, in riferimento alle norme UNI 11211-4:2018 e nelle Raccomandazioni AGI – AICAP 2012 – Ancoraggi nei terreni e nelle Rocce;
- la prova di un ancoraggio in corso d'opera si sviluppa in un semplice ciclo di carico di tesatura, fino a raggiungere il carico di collaudo dichiarato dal produttore della barriera;
- secondo le indicazioni dell'Allegato B della UNI 11211-4:2018, il carico di collaudo sarà pari al 1,20 x carico misurato durante la prova SEL per le prove in corso d'opera, e pari a 1,20 x carico misurato durante la prova MEL per le prove su ancoraggi preliminari;
- tenuto conto dei meccanismi di funzionamento degli ancoraggi di una barriera paramassi e del fatto che gli ancoraggi sono completamente iniettati fino al boccaforo (non sono previste lunghezze libere), la misura degli allungamenti in fase di prova non è significativa e quindi si può soprassedere a tale misura.

16.4 Strumentazione utilizzata

Il carico agli ancoraggi deve essere applicato utilizzando un sistema oleodinamico costituito da una pompa e da un cilindro idraulico (dimensionati per il raggiungimento dei carichi di prova) disposti al di sopra di un castello di tiro sufficientemente rigido, in modo tale da resistere ai carichi applicati.

Le apparecchiature impiegate (pompa, martinetto, manometro) devono essere adeguatamente tarate presso Laboratorio Ufficiale.

Le apparecchiature di tiro e misura devono garantire, inoltre, precisione e modalità di applicazione dei carichi conformi a quanto prescritto dalle Raccomandazioni AGI – AICAP 2012 – Ancoraggi nei terreni e nelle Rocce. Si evidenzia che deve essere fornita tutta la documentazione relativa alla taratura effettuata unitamente alle tabelle di conversione pressione-carico applicato dal martinetto.

16.5 Individuazione degli ancoraggi da testare

Gli ancoraggi da testare prova saranno scelti in sede di prova, secondo il principio di casualità per le prove in corso d'opera, mentre gli ancoraggi preliminari verranno posizionati e realizzati in accordo con la DL in zone più significative da un punto di vista geotecnico, nel rispetto del numero minimo di ancoraggi di prova, così come previsto dall'art. art. 6.6.4 delle NTC 2018.

16.6 Modalità della prova. Raccomandazioni AICAP [ed. 2012]

Articolazione generale della prova:

1. Viene fissato il valore del carico di prova N_c secondo le indicazioni della Direzione dei Lavori e nel rispetto dell'Allegato B della UNI 11211-4:2018;
2. tesatura dalla forza di allineamento di circa $N_0 = 0,10 N_c$ al carico massimo di collaudo N_c con incrementi di carico prestabiliti $N_{i+1} = N_i + 0,20 N_c$ e successivamente ulteriore incremento fino al raggiungimento del carico di prova;

 PROVINCIA DI AREZZO		RAFFORZAMENTO CORTICALE CON RETE E/O BARRIERE PARAMASSI LUNGO LA S.P. 310 DEL BIDENTE, A TRATTI DAL km 14+500 AL km 21+350, IN COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA	PROG. 2410	PAG. 21/21
			REV. A	DATA Aprile 2026
PERIZIA SUPPLETIVA E DI VARIANTE NUM.1				

3. al raggiungimento di ogni singolo gradiente di carico N_i si determina una sosta all'incremento del carico pari a circa $\Delta t \geq 3,0$ minuti;
4. al raggiungimento di ogni step di carico, si procede alla lettura sul manometro di eventuali cali di tensione, alla verifica di eventuali anomalie nel comportamento dell'ancoraggio ed alla registrazione dei dati rilevati in apposita tabella;
5. dopo il Δt d'attesa a carico costante, in funzione del comportamento dell'ancoraggio, si procede alla successiva applicazione del carico fino al raggiungimento del gradiente successivo N_{i+1} ;
6. al raggiungimento del carico di collaudo N_c , lo si mantiene costante per un tempo $\Delta t = 5 \div 15$ minuti, procedendo alla registrazione di eventuali anomalie di comportamento dell'ancoraggio;
7. scarico progressivo dell'ancoraggio fino al carico di allineamento N_0 , in tre stadi con sosta di 1 minuto per ogni gradino, e si procede al controllo e registrazione di eventuali ulteriori cadute di tensione o di anomalie di comportamento dell'ancoraggio;
8. interpretazione dei dati della prova per la valutazione dell'esito della prova.

Le modalità di cui alle presenti indicazioni possono essere opportunamente modificate in funzione delle necessità e delle particolari situazioni che si dovessero verificare in fase di prova.

17. CONCLUSIONI

Si precisa che nel dimensionamento e verifica oggetto della presente relazione sono state definite alcune ipotesi progettuali, prima tra tutte l'assunzione di ben specifici carichi di progetto e tipologie di terreni. Tutte le eventuali variazioni delle ipotesi al contorno che non rispettassero quanto qui previsto nonché tutte le eventuali variazioni non presunte, comporteranno evidentemente la necessità di procedere alla verifica della validità dei risultati ottenuti.

Si precisa che i carichi sugli ancoraggi assunti nella presente relazione sono da intendersi indicativi e riferiti ad una "barriera tipo", senza alcuna volontà di indicare uno specifico prodotto.

Resta inteso che, in funzione dell'effettivo modello di barriera scelto dall'appaltatore, sarà necessario rivedere le calcolazioni della presente relazione in funzione delle specifiche azioni sulle fondazioni e sugli ancoraggi dichiarate dal produttore.

Si dovranno inoltre verificare:

- le specifiche condizioni locali del terreno al fine di valutarne la corrispondenza con le ipotesi progettuali, verificando particolarmente la coerenza tra previsioni stratigrafiche indicate attraverso la continua osservazione e verifica dell'andamento della perforazione.
- particolare cura dovrà essere posta in dette osservazioni soprattutto per quanto riguarda l'infissione degli ancoraggi nel caso di ricoprimenti in materiale avente caratteristiche inferiori a quelle di progetto, nel qual caso si renderà necessario aumentare convenientemente le lunghezze degli ancoraggi.