

aicap

Associazione Italiana
Calcestruzzo Armato e Precompresso

AGI

Associazione
Geotecnica
Italiana

Ancoraggi nei Terreni e nelle Rocce
Raccomandazioni

giugno 2012

Edizioni - AGI
ROMA

AGI - AICAP

ANCORAGGI NEI TERRENI E NELLE ROCCE

RACCOMANDAZIONI

EDIZIONI AGI
ROMA

Copyright © 2012

by Associazione Geotecnica Italiana - Roma

by Associazione Italiana Calcestruzzo Armato e Precompresso - Roma

I diritti di traduzione, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi. È inoltre vietata la riproduzione, anche parziale, compresa la fotocopia, anche ad uso interno o didattico, non autorizzata.

Edizione giugno 2012

L'editore è a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare nonché per eventuali involontarie omissioni o inesattezze nella citazione delle fonti riprodotte in quest'opera.

ISBN 978 88 97517 08 5

Stampa: LI.PE. Litografia Persicetana, San Giovanni in Persiceto, Bologna

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA

<i>Presidente</i>	Stefano Aversa
<i>Segretario generale</i>	Claudio Soccodato
<i>Consiglieri</i>	Marco d'Elia, Anna Maria Ferrero, Cristina Jommi, Paola Monaco, Nicola Moraci, Maria Cristina Pepe, Sebastiano Rampello, Pietro Rimoldi, Tatiana Rotonda, Francesco Silvestri
<i>Revisori dei conti</i>	Enrico Conte, Sebastiano Foti, Guido Gottardi

ASSOCIAZIONE ITALIANA CALCESTRUZZO ARMATO E PRECOMPRESSO

<i>Presidente</i>	Luca Sanpaolosi
<i>Vice Presidenti</i>	Marcello Mauro, Marco Menegotto
<i>Consigliere Segretario</i>	Sergio Tremi Proietti
<i>Consigliere Tesoriere</i>	Franco Angotti
<i>Consiglieri</i>	Giovanni Angotti, Edoardo Cosenza, Giuseppe Mancini, Agostino Marioni, Antonio Migliacci, Camillo Nuti, Mario Paolo Petrangeli, Cesare Prevedini, Giuseppe Traini, Michele Valente
<i>Collegio dei Probiviri</i>	Raffaello Bartelletti, Maria Luisa Beconcini, Paolo Spinelli

COMMISSIONE AGH – AICAP PER LA REDAZIONE DELLE
"RACCOMANDAZIONI SUGLI ANCORAGGI NEI TERRENI E NELLE ROCCE"

COORDINATORE

Claudio Soccodato

MEMBRI DELLA COMMISSIONE

Massimo Frumento, Piero Marro, Sandro Martinetti, Marco Menegotto,
Antonio Migliacci, Cesare Prevodini, Giuseppe Scarpelli, Stefano Sdoga,
Paolo Simonini, Claudio Soccodato

COMITATO DI REDAZIONE

Giuseppe Scarpelli, Stefano Sdoga, Claudio Soccodato

SEGRETARIO TECNICO

Roberta Masiello

Premessa

L'AGI e l'AICAP, preso atto del consenso raccolto negli anni dalle due precedenti edizioni delle Raccomandazioni sugli Ancoraggi nei terreni e nelle rocce (1983 – 1993), di comune accordo hanno voluto impegnarsi nella redazione di una nuova edizione delle stesse, aggiornata secondo le attuali tecnologie e normative.

Nel 2009 è stata quindi costituita una nuova Commissione di studio per la revisione delle Raccomandazioni, formata da membri soci AGI e AICAP, tutti esperti del settore, alcuni dei quali già autori dell'edizione 1993.

La Commissione, in due anni di lavoro, ha predisposto un testo di circa 90 pagine, che sarà certamente di grande utilità per i Professionisti e che le due Associazioni si augurano riscuota il medesimo successo delle precedenti edizioni.

Nella Prefazione che segue, il Coordinatore della Commissione, ing. Claudio Soccodato, illustra i contenuti del volume.

L'AGI e l'AICAP rivolgono un sentito ringraziamento alla Commissione e in particolare al Coordinatore per l'impegno profuso, nella convinzione che queste Raccomandazioni siano gradite ai Soci delle nostre Associazioni ed a quanti, certamente molti, avranno occasione di utilizzarle.

*Il Presidente AGI
Stefano Aversa*

*Il Presidente AICAP
Luca Sanpaolesi*

Prefazione

Il diffondersi dell'uso degli ancoraggi nei terreni e nelle rocce quale strumento ausiliario di opere di grande impegno, verificatosi anche nel nostro Paese, ha indotto già da tempo l'AICAP a raccogliere ed ordinare in un documento gli aspetti più salienti della loro progettazione, esecuzione e controllo.

Un primo elaborato è stato frutto di un lavoro svolto con notevole impegno da una apposita Commissione di studio della quale hanno fatto parte esperti del settore, soci dell'AGI e dell'AICAP, realizzando una collaborazione di Associazioni di intenti affini.

La Commissione di studio, dopo la redazione di un primo elaborato (1983), a seguito dei lavori della Commissione Internazionale della F.I.P. che, contemporaneamente, ha trattato l'argomento, ha redatto una seconda edizione (1993) che è stata fino ad ora una fonte apprezzata di riferimento per coloro che dovevano impiegare nelle opere di ingegneria gli ancoraggi sia nei terreni che nelle rocce.

Nel corso degli anni si sono ampliate e rinnovate le tecnologie esecutive così come è stato dato un impulso organizzativo ai metodi da utilizzare per la progettazione; ciò ha fatto sì che si decidesse di porre mano ad una revisione organica, come d'altra parte era nelle premesse dei lavori precedenti, introducendo tutti quegli aspetti che nel tempo sono venuti ad arricchire la parte esecutiva, le esigenze prestazionali e le metodologie per la realizzazione di ancoraggi.

Le tecnologie esecutive ed i controlli sono stati distinti a seconda che essi debbano restare a servizio dell'opera in una fase provvisoria, come spesso avviene per esigenze di cantiere, ovvero in permanenza.

Per tutti gli ancoraggi, provvisori e permanenti, sussiste fortemente il problema della individuazione della capacità portante, la quale non è priva di incertezze, soprattutto quando la reazione è affidata alle rocce sciolte, talché l'attenzione è richiamata sulle opportune indagini preliminari.

Negli ancoraggi permanenti, inoltre, sussiste il rischio che la portanza possa ridursi nel tempo, riducendo, di conseguenza, le proprie prestazioni, in particolare allorché il tirante vive in ambiente particolarmente aggressivo e quindi soggetto a corrosione. Il lettore troverà al riguardo delle cautele da seguire, anche se il problema non è ancora stato completamente definito.

Anche questa terza edizione delle Raccomandazioni - che segue quella provvisoria del 1993 - non può ritenersi definitiva e di conseguenza deve essere ancora sottoposta all'esame degli studiosi operanti nel settore. Del resto non possono ritenersi definitive delle Raccomandazioni che devono necessariamente seguire gli sviluppi dei progressi tecnologici e le maggiori conoscenze che provengono dall'esperienza.

Infine, si evidenzia che in questa edizione non sono trattati i bulloni ed i chiodi di ancoraggio i quali, considerato lo sviluppo tecnologico e scientifico che si è avuto nel corso degli anni passati, saranno oggetto di una apposita raccomandazione.

Nel chiudere questa prefazione, a nome del Consiglio Direttivo dell'Associazione Italiana Calcestruzzo Armato e Precompresso e del Consiglio di Presidenza dell'Associazione Geotecnica Italiana, mi è gradito ringraziare vivamente i colleghi della Commissione di questo nuovo testo, i quali con entusiasmo e passione hanno partecipato ai lavori dedicandovi notevole impegno di tempo, ed il Comitato di redazione che, con lavoro paziente ed intelligente, ha riordinato il presente elaborato. Infine, un ringraziamento va doverosamente espresso all'arch. Roberta Masiello che con estrema professionalità ha coordinato la segreteria della Commissione.

Il Coordinatore della Commissione

Roma, giugno 2012

INDICE DEI CAPITOLI

SIMBOLOGIA	13
1. GENERALITA'	15
2. TERMINOLOGIA RELATIVA AGLI ANCORAGGI	16
3. SITUAZIONI AMBIENTALI E GEOTECNICHE	21
4. MATERIALI COMPONENTI E TECNOLOGIE COSTRUTTIVE	24
5. PROTEZIONE CONTRO LA CORROSIONE	36
6. PROGETTO	44
7. ANCORAGGI PRELIMINARI DI PROVA	61
8. COLLAUDI	69
9. REGISTRAZIONE DEI LAVORI	76
APPENDICE A	79
APPENDICE B	83
APPENDICE C	87
PRINCIPALI NORME E RACCOMANDAZIONI	93
BIBLIOGRAFIA	97
INDICE GENERALE	99

SIMBOLOGIA

Nella tabella che segue è riportato il significato dei simboli più frequentemente utilizzati in queste raccomandazioni.

<u>SIMBOLO</u>	<u>DESCRIZIONE</u>
A_s	area della sezione trasversale dell'armatura
d	diametro di perforazione
D_d	diametro nominale della fondazione
D_s	diametro reale della fondazione
E_s	modulo di elasticità del materiale costituente l'armatura
E_d	valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
f_{yk}	tensione caratteristica di snervamento relativa all'acciaio
L_f	lunghezza della fondazione dell'ancoraggio
L_t	lunghezza libera dell'ancoraggio
L_{app}	lunghezza libera apparente dell'ancoraggio
P_i	forza di tesatura dell'ancoraggio
P_d	valore di progetto del tiro sull'ancoraggio
P_n	valore del tiro per l'allineamento dell'ancoraggio
P_p	valore del tiro di prova dell'ancoraggio
P_c	valore del tiro di collaudo dell'ancoraggio
P_j	valore di tiro generico
P_Q	valore della forza teorica di utilizzazione dell'ancoraggio
q_s	tensione tangenziale di aderenza tra fondazione e terreno
R_{sk}	valore caratteristico della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio
R_{sd}	valore di progetto della resistenza dell'ancoraggio
$R_{s,m}$	valore misurato della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio
$R_{s,c}$	valore calcolato della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio
R_{sk}	valore caratteristico della resistenza dell'armatura dell'ancoraggio
R_{sd}	valore di progetto della resistenza dell'armatura dell'ancoraggio
R_{sd}^{sist}	valore di progetto della resistenza del sistema di ancoraggi
t	tempo in minuti
t_1	tempo all'inizio del periodo di osservazione
t_2	tempo al termine del periodo di osservazione
ΔL	allungamento elastico dell'ancoraggio al tiro di prova
ΔL_{P_c}	allungamento all'apice del ciclo di collaudo (P_c)
ΔL_{P_c}	allungamento al carico costante di collaudo
ΔL_{per}	allungamento permanente dell'ancoraggio
ΔL_{P_p}	allungamento al carico costante di prova
ΔP_f	valore misurato della correzione del tiro per attrito nel tratto libero dell'ancoraggio
ΔP	perdita di carico ad allungamento costante (prova di collaudo)
$\Delta \delta$	allungamento generico

δ_1	allungamento al tempo t_1
δ_2	allungamento al tempo t_2
α	rapporto di creep
α_d	coefficiente maggiorativo del diametro di perforazione
γ_F	coefficiente parziale relativo alle azioni o all'effetto delle azioni nelle verifiche SLU
γ_{Rn}	coefficiente parziale di sicurezza relativo alla fondazione dell'ancoraggio
$\gamma_{\phi'}$	coefficiente parziale di sicurezza relativo all'angolo di attrito del terreno
$\gamma_{Rn,t}$	coefficiente parziale di sicurezza relativo alla fondazione per gli ancoraggi temporanei
$\gamma_{Rn,p}$	coefficiente parziale di sicurezza relativo alla fondazione per gli ancoraggi permanenti
γ_R	coefficiente parziale di sicurezza relativo al sistema di ancoraggi
γ_{rd}	coefficiente di sovraresistenza dell'ancoraggio
γ_s	coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio
$\gamma_{0,1,5}$	coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza caratteristica a snervamento della armatura
ξ_{01}	fattore di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dell'ancoraggio da prove di progetto
ξ_{02}	fattore di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dell'ancoraggio da prove di progetto
$\xi_{a,1}$	fattore di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dell'ancoraggio in base a metodi di calcolo analitici
$\xi_{a,2}$	fattore di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dell'ancoraggio in base a metodi di calcolo analitici
ϕ_e	diametro esterno della guaina
ϕ_i	diametro interno della guaina (corrugata e non)

1. GENERALITA'

Le presenti Raccomandazioni forniscono un insieme di indicazioni e specifiche tecniche per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo degli ancoraggi realizzati nei terreni e nelle rocce. Le Raccomandazioni costituiscono un documento tecnico non cogente, da utilizzare come supporto per i progettisti e gli operatori del settore ad integrazione di quanto già previsto e prescritto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni.

1.1 TIPI DI ANCORAGGIO

Gli ancoraggi, correntemente impiegati nella pratica dell'ingegneria geotecnica, ricadono nelle seguenti tre categorie:

- **ancoraggi**: elementi strutturali operanti in trazione, costituiti da elementi in acciaio o altri materiali idonei, di lunghezza anche considerevole, che opportunamente collegati al terreno sono in grado di trasmettere forze di coazione ai terreni ed alle rocce
- **bulloni di ancoraggio**: elementi strutturali caratterizzati da un elemento resistente a trazione costituito da barre di acciaio o idoneo materiale aventi normalmente lunghezza limitata (non superiore a 12 metri) e impiegati prevalentemente in roccia
- **chiodi di ancoraggio**: elementi strutturali costituiti da barre di acciaio, o altro idoneo materiale, integralmente connesse al terreno ed operanti in un dominio di trazione e taglio; possono essere privi di dispositivi di bloccaggio esterni al foro.

1.2 CAMPO DI APPLICAZIONE DELLE RACCOMANDAZIONI

Le presenti Raccomandazioni si riferiscono esclusivamente agli ancoraggi, permanenti o provvisori, utilizzati nel campo delle opere di ingegneria geotecnica, nonché alle prove e ai controlli da effettuare su di essi.

1.3 DEROGHE ALLE PRESENTI RACCOMANDAZIONI

Situazioni particolari e innovazioni tecnologiche possono suggerire l'impiego di procedure differenti, da quelle previste dalle Raccomandazioni, quando fondate sulla base di considerazioni teoriche e sperimentazioni adeguate.

2. TERMINOLOGIA RELATIVA AGLI ANCORAGGI

2.1 TERMINOLOGIA DI USO CORRENTE

Di seguito si riportano le terminologie di uso corrente e utilizzate nelle presenti Raccomandazioni:

- *Ancoraggio*: elemento strutturale operante in trazione, che opportunamente collegato al terreno è in grado di trasmettere forze di coazione ai terreni ed alle rocce
- *Ancoraggio permanente*: convenzionalmente è un ancoraggio progettato per una vita di esercizio uguale o superiore a due anni
- *Ancoraggio temporaneo o provvisorio*: convenzionalmente è un ancoraggio progettato per una vita di esercizio minore di due anni
- *Armatura dell'ancoraggio*: componente dell'ancoraggio che trasmette la forza di trazione dal tratto vincolato al terreno alla testata
- *Testata dell'ancoraggio*: elemento dell'ancoraggio che trasferisce la forza di trazione alla piastra di ripartizione o direttamente alla struttura da ancorare
- *Sistema di bloccaggio*: elemento della testata dell'ancoraggio che consente l'afferraggio dell'armatura
- *Cappuccio di protezione*: elemento necessario alla protezione dalla corrosione della testata dell'ancoraggio ed in particolare del sistema di bloccaggio
- *Accoppiatore*: dispositivo di giunzione fra tratti distinti di barra o di trefolo che costituiscono l'armatura dell'ancoraggio
- *Puntale o ogiva*: elemento terminale dell'ancoraggio con funzione di agevolare l'inserimento dell'ancoraggio nel foro evitando nel contempo il danneggiamento delle pareti del foro stesso
- *Distanziatori interni*: elementi aventi la funzione di separare i singoli elementi costituenti l'armatura dell'ancoraggio
- *Distanziatori esterni*: elementi con funzione di mantenere l'ancoraggio centrato nel foro
- *Rivestimento (guaina)*: tubazione di protezione dell'armatura dalla corrosione
- *Lunghezza libera dell'armatura*: lunghezza dell'armatura compresa fra la testata ed il punto più vicino al tratto vincolato al terreno
- *Lunghezza vincolata dell'armatura*: tratto dell'armatura fissato alla malta e capace di trasmettere la forza di trazione (fondazione dell'ancoraggio)
- *Lunghezza vincolata dell'ancoraggio*: è il tratto di ancoraggio lungo il quale la forza di trazione viene trasferita al terreno circostante, attraverso un bulbo cementato
- *Lunghezza libera dell'ancoraggio*: è il tratto dell'ancoraggio compreso fra la sezione iniziale del bulbo cementato e la testata
- *Lunghezza libera apparente*: distanza fra il punto di afferraggio del martinetto e un punto lungo l'armatura, calcolata in base al risultato di una prova di tesatura

- Resistenza caratteristica dell'armatura dell'ancoraggio: resistenza caratteristica a trazione di tutta l'armatura
- Malta di iniezione: malta cementizia che trasferisce il carico dall'armatura al terreno lungo il tratto vincolato; è anche utilizzata come riempimento del tratto libero dell'armatura e può contribuire a proteggere l'armatura dalla corrosione
- Decantazione: separazione dell'acqua dalla miscela cementizia di iniezione
- Diametro di perforazione: è il diametro nominale di perforazione, corrispondente al diametro dell'utensile di perforazione o a quello del rivestimento del foro, senza tener conto degli allargamenti
- Prova sul sistema di ancoraggio: prova per accertare che il sistema di ancoraggio sia adeguato ai requisiti di progetto
- Prova di progetto: prova di trazione per stabilire la resistenza ultima a sfilamento della fondazione e determinare il comportamento dell'ancoraggio in corrispondenza del tiro di esercizio
- Prova di idoneità: prova di trazione per verificare l'adeguatezza dell'ancoraggio di progetto alle particolari condizioni del terreno
- Prova di collaudo: prova di trazione per verificare che l'ancoraggio soddisfi i criteri di accettabilità fissati dal progetto
- Tiro di prova: valore massimo del tiro applicato all'ancoraggio nel corso di una prova
- Tiro di riferimento: valore di tiro da cui si considerano gli allungamenti dell'ancoraggio durante una prova; in genere viene scelto pari al 10% del tiro di prova
- Tiro di bloccaggio: valore del tiro all'ancoraggio al termine delle operazioni di tesatura
- Caduta limite di tiro: valore limite della caduta di resistenza del tiro di un ancoraggio per un assegnato intervallo di tempo
- Velocità limite di creep: valore limite ammesso per la velocità di sfilamento sotto uno specifico tiro
- Tiro limite di creep: trazione corrispondente alla fine del primo tratto lineare del diagramma della velocità di sfilamento in funzione del tiro.

2.2 PARTI FUNZIONALI DELL'ANCORAGGIO

Con riferimento alla Fig. 2.1 esse sono:

- **testata**: insieme degli elementi terminali atti a trasmettere alla struttura ancorata, o direttamente alla parete di roccia, la forza di trazione applicata all'ancoraggio
- **parte libera**: insieme degli elementi atti a trasmettere la forza di trazione dalla testata alla fondazione dell'ancoraggio
- **fondazione**: insieme degli elementi atti a trasmettere al terreno la forza di trazione applicata all'ancoraggio.

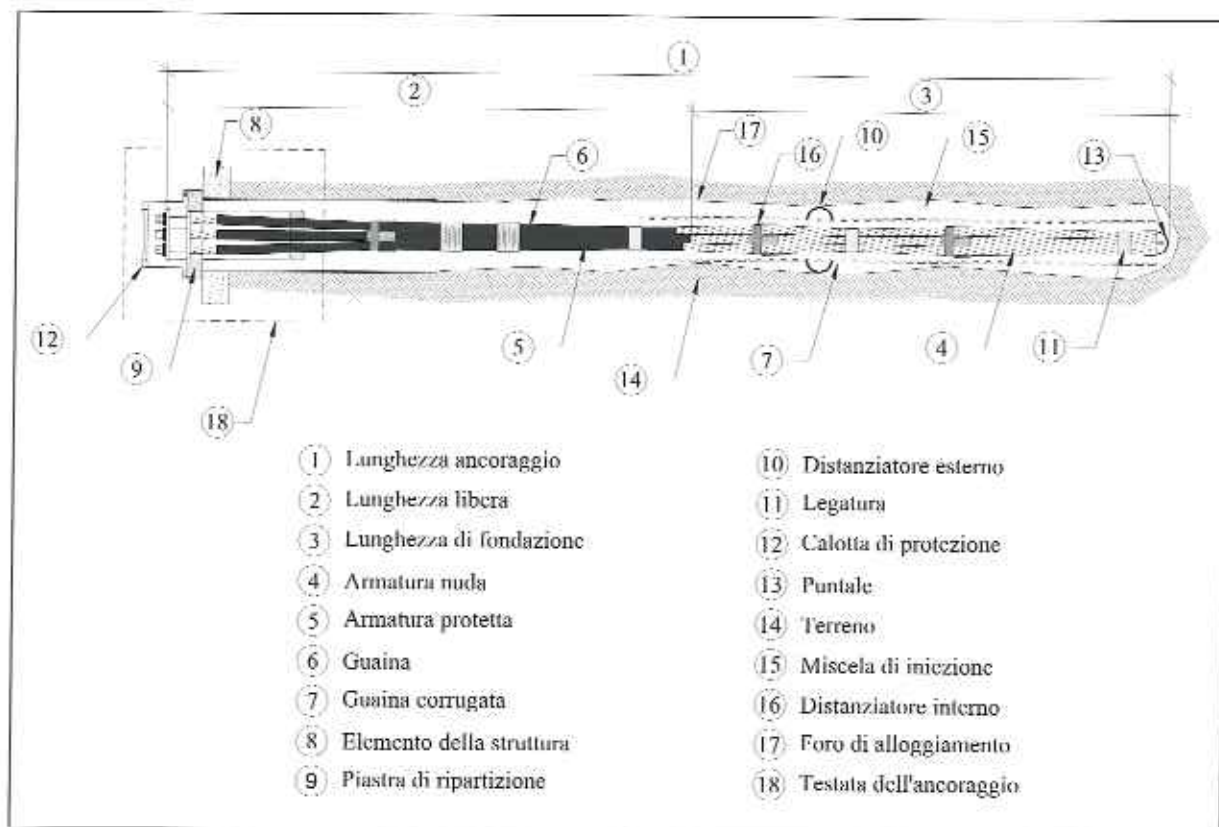


Fig. 2.1 – Rappresentazione schematica di un ancoraggio

2.3 ELEMENTI COSTITUTIVI DELL'ANCORAGGIO

Con riferimento alle parti funzionali e alla Fig. 2.1 essi sono:

- testata dell'ancoraggio che comprende anche la piastra di ripartizione
- armatura e guaina
- dispositivo di ancoraggio della fondazione.

2.4 CLASSIFICAZIONE DEGLI ANCORAGGI

2.4.1 Denominazione in base alla tensione iniziale:

- **presollecitati o attivi**: ancoraggi nella cui armatura viene indotta una forza di tesatura P_i superiore a quella teorica di utilizzazione P_Q ($P_i > P_Q$)
- **parzialmente presollecitati o parzialmente attivi**: ancoraggi nella cui armatura viene indotta una forza di tesatura non superiore a quella teorica di utilizzazione ($P_i < P_Q$)
- **non presollecitati o passivi**: ancoraggi nella cui armatura non viene indotta alcuna forza di tesatura ($P_i = 0$).

2.4.2 Denominazione in base alla possibilità di controllo delle variazioni di tensione

- *normali*: ancoraggi in cui, al termine della fase detta "iniziale", di durata da stabilire di volta in volta in sede di progetto, viene fissata la forza di lacerazione e viene esclusa la possibilità di ripresa della tesatura
- *ritensionabili*: ancoraggi per i quali esiste, anche dopo la fase "iniziale", la possibilità di misurare e modificare, sia in aumento che in diminuzione, la forza nell'armatura.

2.4.3 Denominazione in base alla durata di esercizio

- *permanenti*: ancoraggi destinati ad esercitare la loro funzione per un periodo uguale o superiore a due anni;
- *temporanei*: ancoraggi destinati ad esercitare la loro funzione in fase costruttiva, al termine della quale non è più necessaria la loro funzione e comunque per un periodo inferiore a due anni.

2.5 TIPOLOGIA DEGLI ANCORAGGI

2.5.1 In base al dispositivo di bloccaggio

- unico per tutti gli elementi costituenti l'armatura
- multiplo (uno per ciascun elemento costituente l'armatura).

2.5.2 In base all'armatura

- Acciaio
 - a barre
 - a trefoli.
- Altri materiali
 - a nastro
 - a barre.

2.5.3 In base alla guaina

Con riferimento alla parte libera:

- semplice (una sola guaina per tutti gli elementi costituenti l'armatura)
- multipla (una guaina per ciascun elemento dell'armatura)
- composta (una guaina per ciascun elemento, più una guaina per l'insieme degli elementi costituenti l'armatura).

Con riferimento alla fondazione:

- senza guaina
- con guaina.

2.5.4 In base al dispositivo di ancoraggio al terreno

- dispositivo di ancoraggio per cementazione che può essere ulteriormente distinto in relazione:

- alla forma del foro di alloggiamento (cilindrico, con una o più espansioni, ecc.)
 - al tipo di legante (cementi semplici o additivati, resine, ecc.)
 - alla modalità di iniezione dei leganti (in una o più fasi successive).
- dispositivo di ancoraggio ad espansione meccanica.

3. SITUAZIONI AMBIENTALI E GEOTECNICHE

3.1 GENERALITÀ

Le presenti Raccomandazioni forniscono indicazioni sulle indagini necessarie per raccogliere i dati qualitativi e quantitativi occorrenti per il progetto di ancoraggi e, più in generale, per la verifica della stabilità globale e per il controllo del comportamento dell'insieme costituito dall'eventuale struttura ancorata, dagli ancoraggi e dal terreno comunque interessato.

Per i criteri da seguire nel progetto e nell'esecuzione dei diversi tipi di indagine, per quanto qui non specificato, si rinvia alle "Norme Tecniche per le Costruzioni" contenute nel D.M. 14 gennaio 2008 e alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" dell'Associazione Geotecnica Italiana.

3.2 FINALITÀ DELLE INDAGINI

Le indagini sono rivolte:

- a) a definire il modello geologico e geotecnico del sottosuolo interessato dal complesso dell'opera ancorata e degli ancoraggi, con particolare riguardo alla corretta suddivisione del sottosuolo stesso in "zone" progettualmente omogenee ed alla stima dei parametri geotecnici per il progetto dell'ancoraggio
- b) a riconoscere se l'ambiente nel quale devono essere realizzati gli ancoraggi è da considerarsi aggressivo nei riguardi degli elementi costitutivi degli ancoraggi stessi (elementi di acciaio, malta di cemento, ecc.).

La validità delle schematizzazioni del sottosuolo adottate in progetto e delle conseguenti soluzioni progettuali deve essere controllata durante la costruzione degli ancoraggi, sulla base delle osservazioni effettuate in corso d'opera (cap. 9).

3.3 ESTENSIONE DELLE INDAGINI

L'indagine deve essere estesa a tutto il volume significativo, ovvero sia a quella parte di sottosuolo interessata direttamente o indirettamente dall'esecuzione dell'opera ancorata o che ne influenza il comportamento.

Il volume significativo può essere definito come l'ambito entro il quale si verificheranno variazioni significative dello stato tensionale originario e/o delle condizioni idrauliche a causa del complesso delle opere. Il volume significativo contiene inoltre tutte le possibili superfici di scorrimento considerate per la stabilità.

L'ampiezza dell'indagine è funzione anche delle caratteristiche morfologiche del sito entro cui ricade l'opera ancorata, della complessità delle condizioni litologiche, strutturali e idrogeologiche del sottosuolo, del tipo e dell'importanza dell'opera ancorata.

3.4 ELEMENTI DI BASE DA DEFINIRE

3.4.1 Situazione topografica

La situazione topografica deve essere preliminarmente definita per mezzo di un rilievo plano-altimetrico rappresentato in scala adeguata, esteso ad un'area sufficientemente ampia da comprendere non soltanto il terreno direttamente interessato dagli ancoraggi, ma anche l'intero volume di terreno interagente con l'opera e con gli ancoraggi stessi.

3.4.2 Situazione geologica

L'indagine geologica deve essere finalizzata a definire uno schema del sottosuolo che rappresenti l'ambiente geologico, in cui ricade l'intervento, in tutta la sua complessità.

Il grado di approfondimento dell'indagine geologica dipende, pertanto, non solo dall'importanza dell'insieme delle opere da realizzare, ma anche dal grado di complessità geologica del sito.

L'assunzione di un corretto schema geologico è essenziale per poter progettare le indagini geotecniche di cui al § 3.4.3.

I principali elementi di informazione da raccogliere con l'indagine geologica sono:

- a) caratteri geomorfologici della zona, con particolare riferimento ad eventuali dissesti in atto o potenziali, ed alla loro prevedibile evoluzione
- b) caratteri litologici dei terreni e delle rocce e individuazione dei litotipi presenti, in relazione ai principali fattori geologici che possono avere influenza sulle caratteristiche meccaniche
- c) caratteri strutturali, sia alla scala del volume di sottosuolo interessato dall'opera o dal complesso di opere, sia alla scala del volume di terreno interessato dal singolo ancoraggio
- d) schema idrogeologico generale della zona, con indicazioni sulle caratteristiche della falda freatica e delle eventuali falde in pressione.

3.4.3 Situazione geotecnica

Sulla base dello schema geologico di riferimento di cui al precedente § 3.4.2, l'indagine geotecnica deve essere finalizzata ad individuare le "zone di sottosuolo geotecnicamente omogenee" nei riguardi del funzionamento degli ancoraggi ed a fornire gli elementi per la scelta dei parametri geotecnici che caratterizzano ogni singolo terreno presente nel volume significativo.

È responsabilità del progettista dell'opera la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione dei terreni e la modellazione geotecnica.

Ove possibile, la definizione dello schema e dei modelli di comportamento deve basarsi sulla misura diretta delle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni (in particolare, resistenza al taglio, deformabilità e permeabilità) con idonee prove in sito ed in laboratorio, e sulla misura delle pressioni idrauliche nel sottosuolo.

La valutazione o la determinazione diretta delle caratteristiche meccaniche deve essere sempre accompagnata da una indicazione del grado di variabilità di tali proprietà nell'ambito di ciascuna zona identificata come omogenea.

Nota: È da tener presente che un dato volume di terreno appartenente ad un complesso geologico omogeneo può non risultare omogeneo dal punto di vista geotecnico e viceversa.

3.4.4 Situazione ambientale

Dovranno essere valutate le condizioni di aggressività dell'ambiente circostante il dispositivo di ancoraggio, costituito dal terreno, dalle acque sotterranee e superficiali, dall'atmosfera, tenendo conto che il potenziale aggressivo dei fattori ambientali si intensifica in presenza di fluidi in movimento, di temperatura elevata e di correnti vaganti.

In ambiente aggressivo dovranno essere impiegati materiali atti a garantire la funzionalità degli ancoraggi per la durata di impiego prevista (cap. 5).

3.4.5 Opere ed interventi di modesta rilevanza

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geologico, geotecnico e ambientale, la progettazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

4. MATERIALI COMPONENTI E TECNOLOGIE COSTRUTTIVE

4.1 GENERALITÀ

Per la realizzazione di ancoraggi si devono adottare dispositivi omologati per quanto concerne prestazione, durabilità e compatibilità dei materiali, che costituiscono le diverse parti, con i terreni.

Tutti i sistemi devono essere stati sottoposti ad almeno una *prova di sistema* (§ 5.5) per verificarne la validità. I risultati delle prove devono essere documentati in dettaglio da parte del produttore ed allegati alla fornitura.

Le proprietà dei materiali non devono cambiare per la durata prevista dell'ancoraggio, in modo da non perdere la corrispondente funzione.

Ancoraggi che comportano l'uso di materiali o di metodi esecutivi di recente sviluppo possono essere impiegati soltanto se l'efficienza di ogni singolo componente del sistema, la durabilità dei materiali utilizzati, nonché i sistemi di protezione contro la corrosione siano stati controllati con *prove di sistema* (§ 5.5) in modo da garantire la piena funzionalità del dispositivo per la vita di esercizio della struttura ancorata.

4.2 ARMATURA

4.2.1 Acciai

Tutte le armature di acciaio devono essere conformi alle prescrizioni delle "Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008" ed inoltre, per quanto non specificato, alle norme europee.

4.2.2 Altri materiali

Come armatura degli ancoraggi si possono usare materiali diversi dall'acciaio soltanto se è stata dimostrata la loro idoneità come componenti strutturali per sistemi di ancoraggio.

4.3 ACCOPPIATORI

Gli accoppiatori devono essere conformi alle Lince Guida ETAG 013 "*Post-tensioning Kits for Prestressing of Structures*" ed alle Lince Guida emanate dal C.S.LI.PP. sui sistemi di precompressione a cavi post-tesi, senza compromettere la resistenza a trazione richiesta all'armatura.

Il libero allungamento dell'armatura non deve essere ostacolato dall'ingombro degli accoppiatori.

4.4 TESTATA DELL'ANCORAGGIO

La testata dell'ancoraggio (Figg. 4.1 e 4.2) è il componente che permette il trasferimento della forza di trazione alla struttura attraverso la piastra di ripartizione; essa è costituita da una serie di

elementi, debitamente progettati o sottoposti a prova, e deve essere qualificata in conformità alle Linee Guida ETAG 013 "Post-tensioning Kits for Prestressing of Structures" ed alle Linee Guida emanate dal C.S.LL.PP sui sistemi di precompressione a cavi post-tesi.

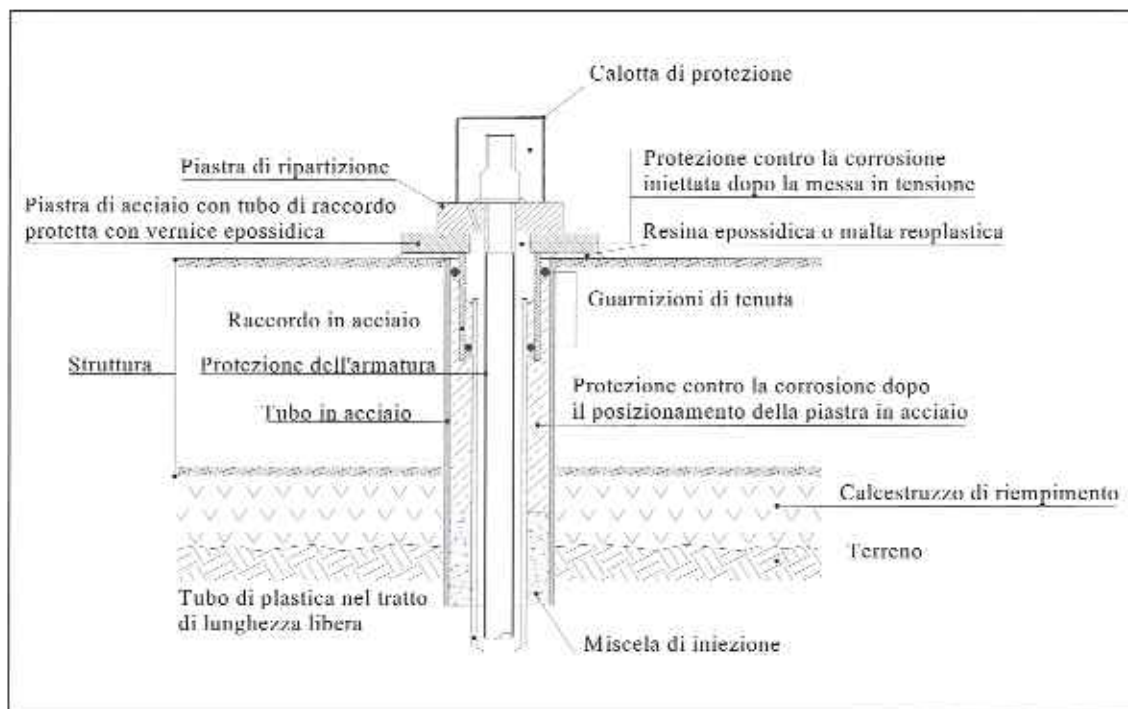


Fig. 4.1 Testata di un comune ancoraggio con armatura a barre

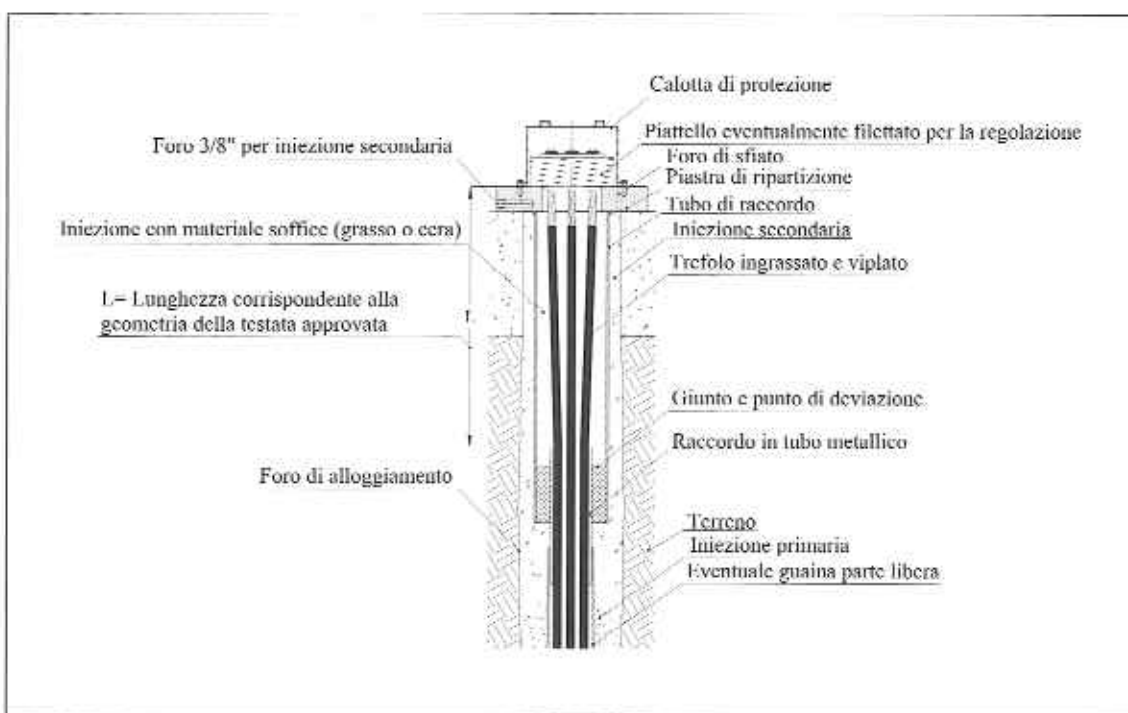


Fig. 4.2 - Testata di un comune ancoraggio con armatura a trefoli

La testata dell'ancoraggio deve permettere la messa in tensione dell'armatura, la prova di carico ed il bloccaggio, come pure, se richiesto, il detensionamento totale o parziale, l'eventuale ritesatura con incremento del carico iniziale e il monitoraggio del sistema.

E' necessario che la testata dell'ancoraggio sia corroduta da un cappuccio di protezione e da un elemento di raccordo con la guaina del tratto libero, per garantire la continuità della protezione delle armature dalla corrosione fino alla sezione di serraggio. L'elemento di raccordo deve inoltre consentire l'alloggiamento di un dispositivo per rendere la deviazione dei trefoli o delle barre regolare e coerente con la geometria della testata dell'ancoraggio.

4.4.1 Piastre di ripartizione

Le piastre di ripartizione vanno dimensionate in relazione alle caratteristiche del materiale di cui sono costituite e del materiale di contrasto.

Poiché, nel caso degli ancoraggi, il sistema di appoggio e distribuzione del carico potrà differenziarsi rispetto agli ancoraggi da postensione (p.e. al posto di blocchi di ghisa potranno essere utilizzate piastre di distribuzione) il sistema dovrà essere sottoposto ad una prova di carico che comprovi che la piastra sia in grado di sopportare e trasmettere le azioni, previste dal progetto, alla struttura.

4.4.2 Compatibilità dei componenti

I materiali impiegati per la realizzazione della testata dell'ancoraggio devono essere fra loro compatibili, in particolare quelli aventi interfaccia comune.

Onde garantire la reciproca compatibilità e l'identificabilità, tutti i componenti del sistema ancoraggio dovranno essere forniti, preferibilmente, da produttore qualificato ETA o in possesso del BTI rilasciato dal C.S.L.L.PP.

4.5 DISTANZIATORI E DISPOSITIVI DI CENTRAGGIO

Tutte le armature e le guaine devono risultare installate con una copertura di miscela o malta d'iniezione (cementizia o altro materiale) verso la parete del foro. Ciò può essere ottenuto con l'impiego di distanziatori o centratori.

Ogni componente installato e lasciato nel foro deve essere distanziato e collocato in modo da non ridurre la capacità di ancoraggio del tirante e non ostacolare il flusso della miscela d'iniezione.

In ogni caso, in corrispondenza del distanziatore, per gli ancoraggi la cui armatura è costituita da trefoli di acciaio, la sezione libera deve essere pari ad almeno due volte la sezione del condotto di iniezione.

4.6 SEPARAZIONE TRA PARTE LIBERA E FONDAZIONI

Il punto di separazione tra la parte libera e la fondazione deve essere impermeabile onde impedire che la malta di iniezione o l'acqua di essudazione entrino nella parte libera del tirante.

Tale condizione, che attiene sia al singolo elemento di armatura sia all'armatura nel suo complesso, può essere ottenuta o con elementi meccanici (per es. guaine termo-restringenti) o, come nel caso di

lamponi, con elementi chimici (mastici plastici o materiale iniettato); il metodo utilizzato ed i relativi materiali impiegati devono avere caratteristiche tali da resistere alle pressioni d'iniezione e costituire anche un'efficace protezione contro la corrosione.

4.7 CONDOTTI DI INIEZIONE

I condotti di iniezione devono avere caratteristiche di robustezza e devono essere posizionati in modo da non essere danneggiati durante le operazioni di manipolazione e infilaggio dell'ancoraggio nel terreno.

Le caratteristiche dei condotti di iniezione devono essere tali da soddisfare i seguenti requisiti:

- a) essere collaudati per resistere alla pressione prevista con un coefficiente di sicurezza pari ad 1,5 e comunque avere una pressione di scoppio non inferiore a 1 MPa;
- b) presentare i seguenti diametri interni minimi:
 - per miscele speciali: diametro interno minimo pari a 8 mm
 - per miscele cementizie composte da acqua e cemento senza aggiunte di aggregati: diametro interno minimo pari a 9 mm
 - per miscele cementizie composte da acqua, cemento ed aggregati fini: diametro interno minimo pari a 16 mm.

4.8 ELEMENTI DI PROTEZIONE

4.8.1 Guaine e tubi di plastica

La guaina è un elemento costitutivo dell'ancoraggio atto a proteggere l'armatura dalla corrosione e consentire il libero allungamento dell'armatura nel tratto di ancoraggio non connesso al terreno.

Le guaine e i tubi di plastica devono essere conformi alle relative norme europee di prodotto e in particolare devono essere continue, impermeabili all'acqua, resistenti alla fragilità da invecchiamento e a danni da radiazione ultravioletta durante immagazzinamento, trasporto e installazione. I giunti fra componenti plastici devono essere completamente sigillati contro la penetrazione d'acqua.

Frequentemente si impiegano guaine in polietilene e polipropilene.

E' ammesso l'uso di guaine in PVC, purché questo sia resistente all'invecchiamento e venga escluso il pericolo di emissione di ioni Cl.

Le guaine impiegate per gli ancoraggi devono conservare permanentemente le caratteristiche fisico-meccaniche nel campo di temperatura da -20° a +70°C.

Qualora si utilizzino tubi di plastica per il trasferimento di forze, questi devono essere nervati o corrugati. L'altezza e il passo delle nervature o dei corrugamenti devono essere scelti in rapporto allo spessore e devono essere in grado di trasferire il carico senza consentire perdite per scorrimento.

Lo spessore della parete di una guaina o tubo esterno corrugato, comune a una o a più armature, deve essere adeguato alle sollecitazioni meccaniche e chimiche previste, e comunque non inferiore

ai seguenti valori:

- 1,0 mm per un diametro interno ≤ 80 mm
- 1,5 mm per un diametro interno compreso fra 80 mm e 120 mm
- 2,0 mm per un diametro interno > 120 mm.

Le guaine corrugate utilizzate per un fascio di trefoli, o per singole barre, devono rispettare, inoltre, le seguenti condizioni minime con riferimento al passo dei corrugati ed ai diametri esterni ed interni:

- $10 \text{ mm} > \text{passo} > 5 \text{ mm}$
- $10 \text{ mm} \geq \phi_e - \phi_i > 5 \text{ mm}$

dove ϕ_e e ϕ_i sono rispettivamente il diametro esterno ed interno della guaina corrugata.

Lo spessore minimo di una guaina o di un tubo esterno liscio, comune a una o più armature, da utilizzare nel tratto libero dell'ancoraggio, deve essere maggiore di 1 mm rispetto a quello richiesto per tubi corrugati, altrimenti guaina e tubo devono essere armati.

Lo spessore di una guaina interna deve essere non inferiore a 1 mm e quello di un tubo interno corrugato non inferiore a 0,8 mm.

La sezione interna della guaina deve assicurare un anfito di iniezione per il ricoprimento degli elementi più esterni della armatura di almeno 5 mm.

Il diametro esterno della guaina deve essere più piccolo del diametro del foro di alloggiamento di almeno 20 mm.

4.8.2 Guaine termo-restringenti

Le guaine termo-restringenti possono essere utilizzate per trattenere i prodotti anticorrosione ricoprenti la superficie degli elementi di acciaio.

Il riscaldamento in fase di restringimento deve essere applicato in modo che gli altri elementi del sistema anticorrosione conservino inalterate le loro proprietà, per esempio non siano deformati, né bruciati dal calore, né comunque danneggiati con diminuzione della loro capacità di protezione.

Il coefficiente di ritiro deve essere tale da prevenire fessurazioni o aperture a lungo termine. Lo spessore della guaina dopo ritiro deve essere non minore di 1 mm.

4.8.3 Dispositivi di tenuta

I raccordi meccanici tra due elementi di guaina dovranno essere resi a tenuta con anelli, guarnizioni o manicotti termo-restringenti.

I giunti a tenuta o altri dispositivi equivalenti devono prevenire ogni perdita di prodotto anticorrosione ed ogni penetrazione d'acqua dall'esterno, nonostante i successivi movimenti relativi fra gli elementi raccordati.

4.8.4 Acciai ingrassati ed inguainati

L'acciaio, prima delle operazioni di ingrassaggio, pre-iniezione ed inguainamento, deve essere esente da ogni traccia di ossidazione e da altri elementi estranei.

Non deve essere usato acciaio inguainato e non ingrassato o pre-iniettato; il grasso o la molla di

iniezione deve riempire tutti gli spazi all'interno della guaina.

L'ingrassaggio dell'acciaio deve riguardare solo la parte libera dell'ancoraggio; l'acciaio in corrispondenza della zona di fondazione deve essere assolutamente pulito assicurandosi di non lasciare alcun residuo di grasso. Pertanto, è consigliabile non utilizzare acciaio completamente ingrassato e procedere alla sua successiva pulitura nella zona del tratto di fondazione dell'ancoraggio.

Per l'inguainamento devono essere usate materie plastiche con le medesime caratteristiche indicate al precedente § 4.8.1. Lo spessore minimo della guaina deve essere di 1 mm.

Il grasso deve essere stabile chimicamente, inalterabile ed insaponificabile, non deve svolgere alcuna azione aggressiva nei confronti dell'acciaio e delle materie plastiche della guaina e deve essere stabile all'interno del campo delle temperature di utilizzazione.

4.9 FABBRICAZIONE

La confezione degli ancoraggi deve essere effettuata preferibilmente in stabilimento onde assicurare la protezione di tutti i materiali dalle intemperie ed il controllo della qualità del prodotto finito.

Qualora sia necessario procedere alla confezione in cantiere, dovranno essere garantite condizioni operative equivalenti a quelle garantite in stabilimento.

4.10 TRASPORTO - MANIPOLAZIONE - POSA

Particolare attenzione dovrà essere dedicata al trasporto ed all'immagazzinaggio dei materiali, per evitare danneggiamenti in fase di manipolazione.

Prima della posa in opera devono essere verificate le lunghezze del tratto libero e della fondazione dell'ancoraggio, la pulizia, l'assenza di ostruzioni nei condotti di iniezione e l'integrità delle guaine.

4.11 MISCELE DI INIEZIONE E LORO COMPONENTI

Le miscele di iniezione hanno lo scopo di solidarizzare la fondazione dell'ancoraggio al terreno (qualora non costituita da apparecchio meccanico di espansione) e di proteggere l'armatura dalla corrosione.

4.11.1 Componenti

4.11.1.1 *Cemento*

Le caratteristiche del cemento sono definite nella UNI EN 197 "Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni".

Ai sensi della UNI EN 197-1 i cloruri contenuti nel cemento devono essere presenti in misura $\leq 0,10\%$ (Prospetto 3 della UNI En 197-1) con la precisazione che per utilizzi nel precompresso i cementi possono essere prodotti con un requisito inferiore. In tale caso il valore deve essere riportato sui sacchi, o sul documento di consegna, fra le informazioni complementari (Appendice ZA.4.1 e ZA.4.2 alla UNI EN 197-1).

Per quanto concerne il contenuto di solfati (come SO_3), con riferimento al Prospetto 3 dalla UNI EN 197-1, essi debbono essere contenuti nei limiti sotto riportati:

- | | |
|---|--|
| $\leq 3,5\%$ per le classi 32,5 N; 32,5 R; 42,5 N | (cementi tipo I, II, IV, V) |
| $< 4,0\%$ per le classi 42,5 R; 52,5 N; 52,5 R | (cementi tipo II e tutte le classi del tipo III) |

4.11.1.1 *Requisiti*

Tempo di presa

Il tempo di inizio presa, secondo la UNI EN 197-1, Prospetto 2, deve essere il seguente:

- per le classi 32,5 N - 32,5 R ≥ 75 minuti
- per le classi 42,5 N - 42,5 R ≥ 60 minuti
- per le classi 52,5 N - 52,5 R ≥ 45 minuti

Mentre, per quanto attiene il tempo di fine presa, pur se non specificato nella sopra richiamata UNI EN 197-1, a 5° C deve essere inferiore a 24 ore.

4.11.1.2 *Acqua*

I requisiti dell'acqua di impasto sono stabiliti nella UNI EN 1008 e successive modifiche.

4.11.1.3 *Aggregati*

Devono essere costituiti da elementi inerti, privi di parti friabili e di sostanze comunque nocive agli effetti della resistenza della miscela ed alla conservazione delle armature, e con limitazione delle impurità organiche presenti in ottemperanza alla UNI 13139 e successive modifiche.

4.11.1.4 *Additivi*

Possono essere impiegati additivi per migliorare le caratteristiche delle miscele di iniezione, sempre che non introducano elementi pregiudizievoli nei riguardi della durabilità e della affidabilità di tutti i componenti del tirante (UNI EN 934 e successive modifiche).

4.11.1.5 *Resine*

Le resine possono essere impiegate come legante per la costruzione di ancoraggi in sostituzione del cemento, se la loro applicabilità è stata accertata con un'appropriata prova di sistema.

La natura delle resine deve essere dichiarata dal produttore, che deve certificarne tutti i requisiti, oltre a garantire l'assenza di ioni aggressivi e il suo impiego nel caso specifico.

4.11.2 *Miscele di iniezione con legante cemento*

Le miscele cementizie iniettate nelle guaine e a contatto con le armature di acciaio e le relative procedure di iniezione devono essere generalmente conformi alle UNI EN 445, UNI EN 446 e UNI EN 447.

Scegliendo il tipo di cemento per miscele a contatto con il terreno circostante, si deve tenere conto della possibile presenza di sostanze aggressive nell'ambiente, per esempio acido carbonico e solfati, nonché della permeabilità del terreno e della vita utile dell'ancoraggio.

L'aggressività dell'ambiente deve essere valutata in accordo alle UNI EN 206 e UNI 11104.

Sono ammessi additivi per migliorare la lavorabilità o la durabilità, per ridurre l'essudazione e il

ritiro, oppure per accelerare l'indurimento. Gli additivi devono essere esenti da ogni sostanza suscettibile di danno per l'acciaio o per la stessa malta. Si devono escludere gli additivi con un contenuto superiore allo 0,1% (in massa) di cloruri, solfati o nitrati.

Se necessario, per ridurre le perdite dal foro, si possono incorporare, nella malta da iniezione, aggregati fini.

La composizione della miscela, l'efficacia della mescolazione, i tempi di presa e le caratteristiche generali debbono essere verificate con prove di laboratorio e in sito.

Queste prove dovrebbero essere condotte secondo la UNI EN 445, dove applicabile.

L'uso di additivi in presenza di acciaio da precompressione deve essere approvato dal Direttore dei Lavori.

4.11.2.1 *Requisiti*

Tutti i requisiti sotto elencati devono essere controllati prima dell'inizio dei lavori e ogni qualvolta cambino le qualità e le caratteristiche dei componenti.

a) *Fluidità*

Si controlla determinando il tempo di percolamento, mediante il cono di Marsh (diametro dell'ugello: 13 mm). Il tempo di percolamento deve essere compreso tra 10 e 30 secondi.

b) *Essudazione*

Si controlla versando 300 ml di miscela in un cilindro con diametro di 56 mm e con altezza di 140 mm circa e misurando l'acqua essudata alla superficie della miscela, mantenuta in riposo per 3 ore.

L'acqua di essudazione deve essere inferiore al 2% del volume iniziale della miscela e deve essere completamente riassorbita nelle successive 24 ore.

c) *Ritiro*

Il ritiro della miscela a 28 giorni non deve superare 2,8 mm per metro.

d) *Resistenza*

La resistenza a compressione della miscela a 7 giorni e 20°C +1°, misurata su provino cilindrico con rapporto H/D=2, deve essere maggiore di 30 MPa e, comunque, corrispondente alle prescrizioni di progetto.

4.11.2.2 *Controlli*

Il controllo di tutti i parametri indicati al § 4.11.2.1 va eseguito nella fase di messa a punto della miscela di iniezione. Una volta stabilita la miscela idonea, eventualmente da formalizzare con apposito verbale, la stessa dovrà essere impiegata senza modifiche, ed in tal caso sarà sufficiente controllarne la fluidità ad ogni impasto e la essudazione all'inizio di ogni giornata lavorativa o comunque ogni 50 ancoraggi.

Il valore della fluidità riscontrato durante i lavori potrà al massimo discostarsi di ±5 secondi da quello misurato sulla miscela iniziale e riportato nel relativo verbale.

Se, in occasione dei controlli, anche solo una delle due prove non fornisce risultati conformi a quanto prescritto al precedente § 4.11.2.1, le iniezioni devono essere sospese e possono riprendere solo dopo la confezione di una nuova miscela con caratteristiche idonee.

4.11.3 Miscele di iniezione speciali

Le miscele di iniezione speciali possono essere costituite da:

- cementi speciali, acqua e additivi appropriati
- cementi speciali e non, acqua ed uno o più costituenti sintetici
- resine sintetiche ed eventuali aggregati.

La composizione delle miscele speciali deve essere dichiarata dal produttore, che deve certificarne tutti i requisiti, oltre a garantire l'assenza di ioni aggressivi e la sua impiegabilità nel caso specifico.

Inoltre, deve essere depositato preventivamente in cantiere un protocollo che elenchi tutte le prescrizioni relative alla confezione e all'impiego della miscela prescelta.

In ogni caso si devono eseguire prove di laboratorio e di cantiere per verificare la composizione della miscela, l'efficacia della miscelazione, i tempi di presa e le prestazioni finali.

4.12 METODI DI PERFORAZIONE

4.12.1 Disposizioni generali

Le perforazioni devono essere condotte in modo tale da comportare il minimo disturbo del terreno e da evitare danni alle opere circostanti.

In particolare, tramite semplici verifiche dimensionali preliminari, si deve accertare che le perforazioni non si estendano oltre i limiti dell'area di cantiere, se non altrimenti previsto e consentito.

Il diametro dei fori deve essere non inferiore ai diametri nominali previsti in progetto.

La deviazione dell'asse del foro, rispetto alla previsione di progetto, deve essere controllata nel corso della perforazione e in particolare dopo ogni avanzamento di 3 m.

Durante la perforazione va compilato un profilo indicativo del terreno incontrato e devono essere segnalate al direttore dei lavori eventuali discordanze con le ipotesi progettuali.

4.12.2 Scelta del metodo di perforazione

Il metodo di perforazione deve essere scelto in modo tale da:

- impedire il franamento della parete del foro, sia durante la perforazione sia durante la posa dell'armatura dell'ancoraggio
- ridurre al minimo la decompressione del terreno circostante
- non alterare, per quanto possibile, il regime delle falde idriche.

I fluidi di perforazione e gli additivi utilizzati devono essere tali da non agire negativamente sui terreni e sui componenti dell'ancoraggio, specialmente nel tratto vincolato.

Nel corso della perforazione va tenuto sotto controllo il rapporto fra il volume di fluido di perforazione immesso e il volume di fluido rifluito (perdita del fluido di circolazione).

4.12.3 Tolleranze

La tolleranza della deviazione complessiva del foro è raccomandabile che sia contenuta entro 1/30 della lunghezza del tirante o entro 2°, se non altrimenti previsto nel progetto.

4.12.4 Prova di tenuta

La prova di tenuta deve essere eseguita su tutta la lunghezza del foro o sulla sola lunghezza di fondazione con immissione a pressione di acqua o di miscela di iniezione. Con la prova di tenuta si deve verificare che la perdita massima risulti:

- inferiore a 1,0 l/min per metro alla pressione di 100 kPa se si utilizza acqua
- inferiore a 0,2 l/min per metro alla pressione di 100 kPa se si utilizza miscela di iniezione.

Nei terreni sciolti o a grana fine la prova va eseguita esclusivamente con la miscela di iniezione.

Nel caso di esito positivo della prova di tenuta eseguita con miscela di iniezione, è consentito inserire immediatamente l'armatura dell'ancoraggio nel foro, senza necessità di lavaggio.

Nel caso di esito negativo va prevista la bonifica della zona mediante iniezioni di miscele cementizie fino a che la tenuta del foro o del tratto di foro non soddisfi le condizioni indicate.

4.13 CONNESSIONE AL TERRENO – INIEZIONE DELL'ANCORAGGIO

L'intercapedine fra tratto di fondazione dell'ancoraggio e terreno circostante deve essere intasata con la miscela di iniezione, operando a semplice circolazione, oppure con forzamento a pressione.

I parametri di iniezione (pressione, portata, volume) dipendono dal tipo di miscela impiegata e dalle caratteristiche del terreno in cui è posizionata la fondazione dell'ancoraggio.

E', pertanto, possibile fornire solo indicazioni di massima da affinare di volta in volta in funzione della reale situazione, lasciando al progettista il compito di fornire indicazioni specifiche a tale riguardo.

La pressione di iniezione, normalmente limitata a 15 kPa per metro di profondità, può essere spinta a valori maggiori fino all'80% del carico litostatico del terreno circostante e, comunque, tali da non superare la pressione di fratturazione idraulica del terreno; in questi casi si deve effettuare il monitoraggio degli spostamenti del terreno e delle costruzioni esistenti nella zona di influenza.

La portata di iniezione utilizzata comunemente è compresa tra 0,20 e 1,80 m³/h, regolandola in modo da non superare la pressione di iniezione stabilita.

Il volume di miscela è compreso, in funzione del tipo di terreno, tra 1,5 e 3,5 volte il volume teorico del foro.

L'iniezione oltre che consentire la connessione dell'ancoraggio al terreno rappresenta un ottimo mezzo di protezione contro la corrosione dell'armatura.

4.13.1 Modalità di iniezione

L'iniezione deve avvenire il più presto possibile dopo l'introduzione dell'ancoraggio nel foro.

L'iniezione deve avvenire sempre dal punto più basso della perforazione se suborizzontale; mentre, per fori inclinati verso l'alto, oltre al posizionamento di un otturatore per evitare perdite della

miscela di iniezione dalla lunghezza vincolata del tirante, il punto di immissione della miscela deve essere posizionato poco dopo l'otturatore.

Possono distinguersi le seguenti modalità di iniezione:

- iniezione in unica soluzione a semplice circolazione o a circolazione forzata; in questo caso l'iniezione deve proseguire finché la consistenza della malta rifluente a bocca foro è uguale a quella della malta iniettata; con questo metodo si inietta contemporaneamente il tratto vincolato e quello libero dell'ancoraggio
- iniezione a due stadi: questo metodo consente di iniettare separatamente i due tratti (vincolato e libero) dell'ancoraggio consentendo di poter elevare la pressione di iniezione, nei limiti di cui al § 4.13, nel tratto vincolato, separato dal resto del foro mediante un opportuno otturatore (sacco otturatore)
- iniezione a più stadi: questa modalità prevede l'utilizzo di guaine o tubi di iniezione muniti di opportune valvole, in corrispondenza del tratto vincolato dell'ancoraggio, per consentire l'iniezione della miscela per tratti e si articola in due fasi:
 - iniezione primaria, a circolazione forzata, per tutta la lunghezza dell'ancoraggio in modo da colmare completamente l'intercapdine foro - ancoraggio, operazione del tutto simile all'iniezione in unica soluzione
 - iniezione a pressione per tratti della lunghezza di fondazione dell'ancoraggio attraverso valvole predisposte nella tubazione o guaina della parte vincolata; la pressione di iniezione, in questo caso, oltre che raggiungere valori più elevati rispetto ai due metodi precedenti, consente di dosare la pressione in corrispondenza di ciascun tratto in funzione delle caratteristiche del terreno circostante. Inoltre, l'iniezione di ciascun tratto può essere ripetuta più volte forzando ulteriore malta nel terreno e aumentando così la pressione di confinamento all'interfaccia terreno/malta con conseguente incremento della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio.

4.14 TESATURA

4.14.1 Disposizioni generali

La tesatura degli ancoraggi deve essere effettuata in conformità ad un programma di tesatura che deve essere dettagliato e definito prima dell'inizio di tale operazione. Il programma di tesatura deve prevedere le modalità di applicazione del tiro, i gradini ed i tempi di carico, le misure e le registrazioni da effettuare, il tiro di bloccaggio, le tolleranze rispetto ai valori nominali delle grandezze fisiche da misurare.

In ogni caso, la tesatura può avere inizio non prima che siano praticamente esauriti i fenomeni di presa ed indurimento del materiale costituente la fondazione dell'ancoraggio.

Nei terreni a grana fine, in particolare per quelli ad elevata sensibilità, può essere opportuno attendere un periodo di tempo maggiore, rispetto a quello necessario per la presa della malta di iniezione, per consentire al terreno di recuperare le proprietà meccaniche originali, perse a seguito della perforazione.

Durante la messa in tensione degli ancoraggi non si devono verificare incisioni sull'armatura sotto la testa da parte dei cunei di afferraggio né danni alla protezione anticorrosione.

La funzionalità dell'apparecchiatura di tesatura (pompa, collegamenti elettro-idraulici, martinetti), e l'affidabilità della strumentazione di controllo (manometri, celle di carico), devono essere verificate ad ogni turno di lavoro, oppure quando si riscontrino anomalie nel corso delle operazioni di tesatura.

In particolare il cantiere deve essere dotato di un manometro campione, debitamente tarato presso un Laboratorio Ufficiale in data non anteriore a 6 mesi, con la possibilità di montaggio sulla pompa in parallelo con il manometro di servizio.

Le operazioni di messa in tensione degli ancoraggi debbono essere svolte da personale altamente specializzato nella tecnologia della post-tensione.

4.15 RAPPORTO TECNICO

Per ciascun ancoraggio devono essere compilati i rapporti relativi alle varie fasi esecutive, sui quali devono essere almeno indicate tutte le informazioni inerenti:

- le tipologie di perforazione adottate e le descrizioni sommarie dei terreni attraversati;
- la composizione dell'ancoraggio e le protezioni adottate;
- la modalità esecutiva delle iniezioni e la tipologia della miscela impiegata;
- le fasi di tesatura e le modalità di controllo delle misurazioni.

I moduli riportati in Appendice C esemplifica un possibile modello di tale rapporto.

5. PROTEZIONE CONTRO LA CORROSIONE

5.1 SITUAZIONI AMBIENTALI AGGRESSIVE PER GLI ANCORAGGI

5.1.1 Premessa di carattere generale

L'attivazione dei fenomeni di corrosione richiede la presenza simultanea di due condizioni fisiche comuni alle reazioni elettrochimiche proprie dei fenomeni galvanici:

- circolazione ionica tra due punti metallici (elettrodi) immersi in soluzione salina (elettrolito) ed aventi differente potenziale di ossidoriduzione (potenziale Redox)
- circolazione di elettroni nella connessione tra i due punti metallici considerati.

Pertanto la variazione di composizione chimica delle connessioni metalliche (elettrodi) e la variazione di composizione del terreno attraversato (elettrolito), possono già costituire elementi sfavorevoli dal punto di vista della protezione dalla corrosione dell'ancoraggio stesso.

Non esistendo una procedura affidabile per identificare con sufficiente precisione le condizioni di aggressività e prevedere le velocità di corrosione per l'acciaio nel terreno, tutti i componenti di acciaio in tensione devono essere protetti contro la corrosione per la loro vita di progetto.

La classe di protezione contro la corrosione è funzione della vita di servizio prevista per l'ancoraggio ed in particolare:

- per gli ancoraggi temporanei i componenti di acciaio devono essere dotati di una protezione che prevenga la corrosione per una durata di progetto minima di 2 anni o superiore se è previsto un possibile prolungamento della sua vita o se è installato in condizioni di terreno note come corrosive
- per gli ancoraggi permanenti la protezione anticorrosione minima intorno alla(e) armatura(e) dell'ancoraggio deve essere costituita da un unico "strato continuo" di materiale protettivo anticorrosione che non degradi durante la vita utile prevista per l'ancoraggio.

5.1.2 Individuazione delle situazioni potenzialmente aggressive

Si individuano per gli ancoraggi due potenziali aggressioni:

- a) aggressione dell'acciaio
- b) aggressione della malta di iniezione.

5.1.2.1 Situazione potenzialmente aggressiva nei confronti dell'acciaio

Per gli ancoraggi permanenti, eseguiti in conformità a quanto previsto al capitolo 4, situazioni di particolare pericolo possono verificarsi durante le varie fasi costruttive fino al definitivo tensionamento, bloccaggio e protezione della testata di ancoraggio.

Per gli ancoraggi provvisori a fondazione non protetta un grave pericolo di corrosione dell'acciaio in tensione può essere costituito da:

- a) presenza di prodotti o di scarichi chimicamente attivi

- b) presenza di composti e derivati dei cloruri e dei solfati
- c) oscillazioni del livello della falda freatica
- d) presenza di correnti vaganti nel suolo attraversato.

La corrosività di un suolo omogeneo può essere misurata secondo ASTM STP 741 riferendosi ai valori della tabella 5.1.

In assenza delle misure suddette, dovranno essere analizzati chimicamente campioni di terreno e della relativa acqua filtrante per giudicarne l'aggressività.

Tab. 5.1 - Corrosività di un suolo in funzione dei valori di resistività o del potenziale Redox (King, 1977)

Suolo	Resistività (Ω -cm)	Potenziale Redox (mV) (corretto a PH - 7) riferito a elettrodo normale di idrogeno
assai corrosivo	< 700	< 100
corrosivo	700 ÷ 2000	100 : 200
moderatamente corrosivo	2000 ÷ 5000	200 ÷ 400
poco corrosivo	> 5000	> 430 per argilla

5.1.2.2 Situazione potenzialmente aggressiva nei confronti della malta di iniezione

L'aggressione nei confronti della malta di iniezione è pericolosa sia per gli ancoraggi provvisori che per quelli permanenti, in quanto provoca riduzione della resistenza della malta stessa pregiudicando la connessione dell'ancoraggio al terreno.

I fattori che principalmente influenzano l'aggressione sono:

- a) quantità e natura dei solfati presenti
- b) quantità e natura dei cloruri presenti
- c) livello dell'acqua di falda e sua variazione stagionale
- d) acidità dell'acqua (pericolosa se pH < 6).

In particolare l'ambiente è da ritenersi aggressivo nei riguardi del cemento anche se è verificata una sola delle seguenti condizioni:

- grado idrotimetrico dell'acqua nel terreno < 3°f
- pH < 6
- contenuto di CO₂ disciolta nell'acqua > 30 mg/l
- contenuto di NH₄ nell'acqua > 30 mg/l
- contenuto di Mg⁺⁺ nell'acqua < 300 mg/l
- contenuto di SO₄⁻⁻ nell'acqua > 200 mg/l
- contenuto di SO₄⁻⁻ nel terreno > 2.000 mg/kg

La qualità e il tipo della miscela di iniezione dovranno essere, pertanto, stabiliti tenendo conto dei rischi di cui sopra.

5.2 CARATTERISTICHE DI UN SISTEMA DI PROTEZIONE CONTRO IL DEGRADO CHIMICO-FISICO DEI MATERIALI IMPIEGATI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI ANCORAGGI

5.2.1 Requisiti della progettazione

Indipendentemente dal grado di provvisorietà o di permanenza dell'ancoraggio nel tempo deve essere garantita la sua affidabilità in relazione ai fenomeni di degrado chimico-fisico dei materiali che lo compongono.

Il comportamento del sistema di protezione nel tempo deve essere conosciuto nei suoi dettagli sulla base di una opportuna ed esauriente documentazione fornita dal produttore del sistema di ancoraggio.

In fase di progetto deve essere valutato il tipo di aggressività ambientale cui possono essere soggetti gli ancoraggi (§ 5.1.2.1 e 5.1.2.2).

5.2.2 Caratteristiche di un sistema di protezione contro la corrosione

Il sistema di protezione contro la corrosione:

- a) deve garantire la conservazione degli elementi meccanici dell'ancoraggio, mantenendo nel tempo la propria efficienza rispetto alle funzioni protettive da assolvere
- b) non deve interagire in maniera dannosa con l'ambiente circostante
- c) deve essere costituito da materiali mutuamente compatibili, da un punto di vista elettrochimico, con le parti meccaniche dell'ancoraggio
- d) deve poter superare le fasi iniziali di manipolazione, installazione e tesatura delle parti meccaniche dell'ancoraggio senza subire danni funzionali, con riferimento soprattutto alle giunzioni tra i diversi elementi ed alle zone di variazione geometrica delle sezioni trasversali degli elementi stessi.

5.2.3 Spessori minimi di ricoprimento delle armature e dispositivi di centraggio

Salvo espressa deroga contenuta nel progetto, dovranno essere adottati dispositivi di centraggio interni alla guaina tali da assicurare uno spessore minimo di ricoprimento dell'armatura di 5 mm, e dispositivi di centraggio esterni alla guaina tali da assicurare un ricoprimento minimo di 20 mm rispetto alla guaina.

I dispositivi di centraggio dovranno essere costituiti da materiali che non inneschino processi di corrosione.

5.2.4 Protezione delle testate di ancoraggio nel caso di impiego anche parziale di materiali diversi dalle malte cementizie

La testata dell'ancoraggio ed il tratto immediatamente retrostante sono i punti più soggetti al rischio di corrosione sia nelle varie fasi costruttive che in esercizio.

Qualora sia richiesto, per la protezione di tali zone, l'utilizzo di materiali diversi dalle comuni malte cementizie, come nel caso di ancoraggi soggetti nel tempo a variazioni di sollecitazioni, la protezione anti-corrosiva dovrà consentire che le parti meccaniche della testata si assestino senza che si producano discontinuità o fratture nello strato protettivo predisposto.

Quest'ultimo dovrà risultare agevolmente ripristinabile nel caso in cui debbano essere eseguiti successivi interventi di controllo e di ritesatura delle armature dell'ancoraggio.

5.3 MATERIALI E METODI PER LA PROTEZIONE CONTRO LA CORROSIONE

5.3.1 Guaine e tubi di plastica

Per le caratteristiche geometriche e prestazionali di questo tipo di elemento si rimanda al § 4.8.1.

5.3.2 Malta cementizia

La malta cementizia di iniezione può essere utilizzata come protezione temporanea dell'armatura dell'ancoraggio, a condizione che la copertura dell'armatura sia non minore di 10 mm sull'intera lunghezza dell'armatura.

Nel caso di armatura con doppia protezione è consentito realizzare una delle due barriere di protezione con una malta cementizia densa, iniettata in stabilimento o in condizioni equivalenti, a condizione che la copertura fra l'armatura e la barriera esterna sia non minore di 5 mm e che la relativa prova di sistema abbia dato esito positivo (§ 5.5).

5.3.3 Miscele a base di resina

Le miscele a base di resina, iniettate o messe in opera secondo un procedimento controllato con una copertura minima di 5 mm sull'armatura, sono ammesse come una barriera di protezione permanente, a condizione che siano confinate, che non entrino in tensione e che non si fessurino.

5.3.4 Prodotti anticorrosione

I prodotti anticorrosione debbono in particolare essere stabili nei riguardi dell'ossigeno e resistenti all'attacco batterico e microbiologico.

Comunemente, per la protezione anticorrosione sono utilizzati prodotti a base di cere o grassi di petrolio. Tali prodotti, se usati per barriere protettive permanenti, devono essere confinati in una guaina, tubo o cappuccio, robusti e a tenuta di umidità, anch'essi resistenti alla corrosione; in queste condizioni si comportano anche come lubrificanti e come intasanti, così da escludere la presenza di gas e acqua.

I prodotti anticorrosione non-confinati, applicati efficacemente come un rivestimento, possono essere usati come barriere protettive temporanee. Analogamente, nastri impregnati di prodotti anticorrosivi possono essere impiegati soltanto come protezione temporanea, in quanto presentano una forte tendenza a degradare se esposti all'aria o all'acqua.

5.3.5 Rivestimenti metallici di protezione

I rivestimenti metallici non devono essere applicati sulle armature, ma possono essere usati su altri componenti di acciaio, come piastre di appoggio, cappucci e manicotti.

5.3.6 Altri rivestimenti su parti in acciaio

I rivestimenti a base di epossidici-catrame o poliuretano-catrame, come pure i rivestimenti epossidici a

fusionione, possono essere applicati sulle superfici di acciaio, sabbiato ed esenti da scorie. Essi possono servire come protezione anticorrosione delle armature degli ancoraggi temporanei, purché applicati in stabilimento.

Nel caso di ancoraggi permanenti, detti rivestimenti, possono essere utilizzati come barriera anticorrosione per l'armatura, se applicati in stabilimento, con spessore non minore di 0,3 mm, e se viene esclusa la presenza di difetti di applicazione (vialature) con un appropriato controllo di fabbricazione.

Tali rivestimenti possono essere utilizzati anche per il tratto vincolato soltanto se l'efficienza del vincolo e l'integrità della protezione anticorrosione sono verificate con prove di sistema (§ 5.5).

5.3.7 Tubi e cappucci o calotte in acciaio

I componenti di acciaio possono servire come barriere anticorrosione permanenti, purché a loro volta protetti esternamente. Tale protezione può essere attuata con calcestruzzo o malta cementizia densa, con zincatura a caldo, oppure con applicazioni a più mani di prodotti vernicianti.

Il tubo di acciaio utilizzato come protezione deve avere uno spessore non minore di 3 mm e una copertura esterna di malta di almeno 20 mm. La capacità di aderenza e l'integrità della protezione anti-corrosione devono essere verificate attraverso una prova di sistema (§ 5.5).

Ogni potenziale degrado dell'acciaio o dei ricoprimenti deve essere considerato nella progettazione dell'ancoraggio, selezionando opportunamente lo spessore e le dimensioni dei componenti.

5.3.8 Protezione catodica

In zone urbanizzate o soggette a pericoli di correnti vaganti, o di particolare aggressività chimica per degrado ambientale, gli ancoraggi devono essere provvisti di protezione catodica.

Gli ancoraggi a protezione catodica possono essere realizzati utilizzando un sistema in grado di assicurare la totale protezione dielettrica, quale potrebbe essere il totale isolamento dielettrico ed inviluppo dell'armatura. La corretta funzionalità della protezione deve essere comprovata da prove di sistema.

La protezione catodica di un sistema di ancoraggi può essere ottenuta anche mediante il metodo definito di "accoppiamento galvanico" nel quale il metallo da proteggere (acciaio di armatura dell'ancoraggio) è collegato ad un metallo di tipo diverso e più elettronegativo che fonda spontaneamente da elemento sacrificale destinato al progressivo consumo nel tempo. Essendo necessaria la periodica sostituzione dell'elemento sacrificale nel piano di manutenzione, compreso nel progetto, deve essere indicato il programma temporale delle verifiche da effettuare, definito in base alla situazione ambientale locale.

5.4 APPLICAZIONE DI PROTEZIONE ANTICORROSIONE

5.4.1 Generalità

I principi di protezione sono gli stessi per tutte le parti dell'ancoraggio, ma in dettaglio si richiedono trattamenti diversi per la lunghezza vincolata, per la lunghezza libera e per la testata.

Il sistema protettivo delle parti dell'ancoraggio soggette a scorrimento non deve ostacolare le

operazioni di tesatura o di rilascio, né poter essere danneggiato da tali operazioni; pertanto, deve essere presente un lubrificante o un contatto senza vincolo entro le guaine, individuali o comuni, per assicurare il libero scorrimento della(e) armatura(e) durante la tesatura.

Particolare cura deve essere posta nel sigillare i punti di raccordo fra un componente protettivo e l'altro, come pure alle estremità.

L'ancoraggio e ogni sua parte devono essere manipolati in modo tale che il sistema protettivo anticorrosione non venga danneggiato.

5.4.2 Lunghezza libera

La lunghezza libera dell'ancoraggio deve rimanere scorrevole per l'intera vita utile di progetto. La protezione anticorrosiva dovrà essere applicata ad ogni singolo trefolo che compone l'ancoraggio o alla singola barra.

Tale protezione, avente la funzione di impedire la penetrazione dell'acqua, potrà consistere in una guaina in plastica con interposto prodotto anticorrosivo (grasso o cera).

Nel caso di ancoraggi provvisori o permanenti non soggetti a regolazioni della forza di tiro successive al bloccaggio, è consigliabile l'intasamento del tratto libero con malta cementizia.

5.4.3 Lunghezza di fondazione

Nel caso di ancoraggi provvisori in cui le armature installate non dispongono di particolare protezione, queste devono avere una copertura minima di 10 mm di malta cementizia verso la parete del foro, assicurata mediante il posizionamento di distanziatori con opportuno passo.

Se il terreno presenta condizioni di aggressività, può essere conveniente migliorare la protezione, per esempio disponendo un tubo corrugato intorno alla(e) armatura(e).

Nel caso di ancoraggi permanenti la protezione anticorrosione minima intorno alla(e) armatura(e) deve essere costituita da un unico strato continuo di materiale protettivo anticorrosione che non si degradi durante la vita utile di progetto. Tale barriera protettiva deve avere caratteristiche di robustezza ed efficacia e/o di ridondanza in grado di garantire le prestazioni richieste:

- la robustezza sarà determinata dalla qualità e dallo spessore del rivestimento protettivo in generale costituito da una guaina corrugata di spessore e caratteristiche come specificato nel capitolo 4
- l'efficacia sarà determinata da una prova di sistema
- la ridondanza potrà essere ottenuta aggiungendo una ulteriore guaina con iniezione di materiale sigillante nell'intercapedine fra le due guaine.

5.4.4 Raccordo fra testata dell'ancoraggio e lunghezza libera

In nessun punto della zona sottopiastra deve verificarsi che i trefoli o le barre non siano protetti ma, al contrario, tale zona, essendo la più esposta e la più sollecitata, dovrà essere protetta da un sistema adeguato quale potrebbe essere quello costituito da un manicotto rigido, di plastica o di metallo adeguatamente verniciato o galvanizzato, inserito a tenuta sotto la piastra di ancoraggio e raccordato, sempre a tenuta, con la guaina o il tubo del tratto libero. L'interno del manicotto, contenente anche il dispositivo di deviazione dell'armatura, deve essere riempito con prodotto

soffice anticorrosione (cera o grasso) in modo da consentire, qualora richiesta, la ritesatura o regolazione dell'ancoraggio durante tutta la vita utile.

L'iniezione o intasamento della zona sotto la piastra di ancoraggio potrà essere realizzato predisponendo un tubo di immissione inferiore e un tubo, o foro di sfiato, di ritorno superiore, in modo da garantire e controllare il completo intasamento della cavità.

5.4.5 Testata dell'ancoraggio

In ambiente aggressivo occorre applicare subito una protezione sulla testata dell' ancoraggio, sia in caso di ancoraggi temporanei che permanenti.

Nel caso di ancoraggi permanenti la piastra di appoggio e gli altri componenti di acciaio della testata, se esposti, devono essere protetti prima del trasporto in cantiere in modo analogo a quanto previsto per la protezione delle strutture di acciaio.

Nel caso di ancoraggi a trefoli che prevedano una variazione del tiro durante la vita dell'ancoraggio, va assolutamente evitata l'iniezione di malta cementizia della testata e delle boccole di bloccaggio, dove opera la morsetticera. In questi casi la zona di ancoraggio e la morsetticera vanno iniettate con materiale soffice, tipo cere o grassi, resistenti alle pressioni di lavoro dell'ancoraggio, in modo di consentire alla morsetticera di lavorare sotto le variazioni di carico.

Il cappuccio di protezione (calotta in acciaio o in plastica rigida) del sistema di bloccaggio, in corrispondenza della testata dell'ancoraggio, deve essere rimovibile al fine di consentire l'ispezione e l'eventuale ritesatura dell'ancoraggio.

5.4.5.1 Ancoraggi temporanei

La testata di un ancoraggio è composta da una piastra e da un blocco di ancoraggio. Le piastre potranno rimanere a vista se verniciate adeguatamente, o realizzate con materiale anticorrosivo (p.e. acciaio zincato).

Il blocco di ancoraggio deve sempre essere protetto da una calotta di metallo o di plastica (cappuccio di protezione) riempita di prodotto anticorrosivo (grasso o cera).

Per la zona sottopiastra vale quanto previsto al § 5.4.4 utilizzando un manicotto di plastica o di metallo semplicemente verniciato.

Nel caso in cui non siano previste variazioni della forza sollecitante l'ancoraggio od operazioni di controllo nel tempo o di ritesatura, la zona di ancoraggio potrà essere rivestita con malta cementizia (passivazione), con adeguato spessore di rivestimento e sufficiente armatura per garantirne la durabilità e la resistenza.

5.4.5.2 Ancoraggi permanenti

Nel caso di ancoraggi permanenti la testata dell'ancoraggio deve essere protetta con una calotta metallica galvanizzata c/o verniciata (cappuccio di protezione), di almeno 3 mm di spessore, oppure una calotta di plastica rigida di almeno 5 mm di spessore, fissata, con guarnizioni di tenuta, alla piastra di supporto. Tale calotta deve essere riempita con un composto anticorrosione soffice (grasso, cera, ecc.).

Fra calotta e piastra di appoggio devono essere disposti un'adeguata guarnizione di tenuta e un fissaggio meccanico.

Se sono previste ritesature successive al bloccaggio e controlli del tiro durante la vita dell'opera, la calotta di protezione della parte esterna della testata deve risultare removibile; inoltre, la calotta dovrà avere la lunghezza sufficiente a contenere la lunghezza dei trefoli o delle barre necessaria al posizionamento del(i) martinetto(i) per il loro aggancio e consentire, ad operazione ultimata, il suo riempimento con il prodotto anticorrosione.

Se non sono previste ritesature successive e controlli di tiro, nell'interno della calotta di testata si possono introdurre resine, miscele ed altri prodotti sigillanti.

Per quanto attiene la zona sottopiastra vale quanto previsto al precedente § 5.4.4.

5.5 CONTROLLI DELLA PROTEZIONE CON PROVE DI SISTEMA

Tutti i sistemi di protezione anticorrosione, utilizzati per la realizzazione di ancoraggi permanenti, devono essere sottoposti preventivamente ad almeno una "prova di sistema" per verificarne l'ammissibilità. I risultati di tutte le prove devono essere documentati e certificati da un Ente Certificatore.

Per "prova di sistema" si intende una prova in cui un tratto di ancoraggio, rappresentativo dell'intero sistema di protezione dello stesso, viene controllato in tutte le sue parti sia prima che dopo essere stato sottoposto a prova di trazione, avente sequenza di messa in carico e scarico simile a quelle di cui al capitolo 7 (Ancoraggi preliminari di prova), verificandone la rispondenza dei requisiti richiesti per la sua corretta funzionalità.

Si possono eseguire sia prove in sito, sia prove simulate in laboratorio.

Nel corso della prova si dovranno, pertanto, verificare e valutare, mediante ispezione c/o con misure, ai fini dell'accettabilità del sistema protettivo anticorrosione, i seguenti elementi:

- danni ai rivestimenti
- spessore e integrità delle guaine di plastica
- integrità dei giunti e delle tenute
- copertura di miscela e prestazioni dei distanziatori e centratori
- ubicazione e spaziatura delle fessure nella malta cementizia, dove questa serve come barriera protettiva anticorrosione
- grado di riempimento della malta, resina o prodotto protettivo nei tubi e relativi volumi
- tenuta dell'aderenza lungo le superfici di scorrimento
- dislocazione dei componenti durante la posa e la messa in tiro.

6. PROGETTO

6.1 GENERALITÀ

Il progetto di un sistema di ancoraggio richiede usualmente l'esecuzione di due tipi di analisi o verifiche statiche: il primo tipo (analisi di stabilità globale) è riferito al complesso di ancoraggi, il secondo all'ancoraggio singolo.

Il primo tipo di verifiche comporta analisi all'equilibrio limite relative a meccanismi di collasso opportunamente scelti. A seconda dei casi occorre considerare uno o più cinematismi possibili, relativi a diverse superfici di rottura, tenendo conto delle caratteristiche stratigrafiche, strutturali, idrauliche e geotecniche del terreno, anche al di fuori della zona direttamente interessata dagli ancoraggi (§ 6.3).

Il secondo tipo di verifiche, da effettuarsi sul singolo ancoraggio, riguarda il dimensionamento della fondazione e dell'armatura (§ 6.4).

6.2 ELEMENTI DI BASE PER IL PROGETTO

Ai fini di una corretta impostazione del progetto occorre prendere in considerazione:

- le caratteristiche dell'opera da ancorare e le prestazioni in termini di capacità e rigidità da soddisfare tramite gli ancoraggi
- le condizioni geologiche e geotecniche del sito e l'aggressività ambientale
- i requisiti di funzionalità e di durabilità imposti
- i possibili stati limite

6.2.1 Caratteristiche delle opere

Il progetto degli ancoraggi deve tener conto delle caratteristiche prestazionali richieste alle opere da ancorare, con particolare riferimento alle possibili interazioni con gli edifici e le infrastrutture che ricadono nel volume significativo, considerando le fasi esecutive ed i limiti di deformazione attesi nelle singole fasi.

6.2.2 Situazioni ambientali

E' fondamentale una corretta caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica del sito. Le indagini geotecniche devono riguardare l'intero volume significativo, interessando tutte le porzioni di terreno che interagiscono con gli ancoraggi e con la struttura ancorata se presente.

Devono essere raccolti dati relativi ai caratteri morfologici e alle condizioni di stabilità generale della zona interessata dai lavori, al profilo stratigrafico, al regime idraulico del sottosuolo e alle caratteristiche chimiche dell'acqua interstiziale e del terreno.

In particolare l'indagine deve consentire di definire le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e

delle rocce in sede con riferimento anche al loro comportamento nel tempo.

6.2.3 Requisiti prestazionali

Nella scelta del tipo di ancoraggio si deve tenere conto delle sollecitazioni prevedibili e in particolare se nel corso della sua vita possono manifestarsi sollecitazioni di tipo ciclico. Inoltre, vanno valutate attentamente le caratteristiche del sottosuolo e l'aggressività ambientale, specialmente nei confronti del fenomeno della corrosione.

Nel caso di ancoraggi attivi, impiegati per una funzione permanente, devono essere adottati tutti gli accorgimenti costruttivi necessari a garantire la durabilità e l'efficienza della testata dell'ancoraggio, con particolare riguardo al sistema di bloccaggio, soprattutto quando l'armatura è costituita da trefoli.

Nel progetto deve prevedersi, anche, l'eventualità di successivi interventi di regolazione e/o sostituzione.

6.2.4 Definizione degli stati limite

Gli stati limite ultimi per gli ancoraggi si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che li compongono.

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia in termini di stabilità globale che di resistenza del singolo ancoraggio, sia a breve che a lungo termine.

Gli stati di limite di esercizio fanno riferimento agli spostamenti che l'opera ancorata ed il terreno circostante possono subire senza perdite di funzionalità dell'opera e con la sicurezza e la funzionalità dei manufatti adiacenti, anche a seguito di modificazioni indotte al regime idraulico del sottosuolo.

Nel caso di manufatti particolarmente sensibili agli spostamenti dell'opera di sostegno deve essere sviluppata una specifica analisi dell'interazione tra opere e terreno, tenendo conto della sequenza delle fasi esecutive.

6.3 ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE

Le analisi di equilibrio limite devono essere eseguite sia ipotizzando meccanismi di collasso con superfici di rottura esterna al sistema di ancoraggio, sia meccanismi di collasso con superfici che intersecano gli ancoraggi.

Il primo tipo di verifica consente di dimensionare la lunghezza degli ancoraggi, il secondo tipo la resistenza di progetto del sistema di ancoraggi R_{ad}^{sist} .

Quest'ultima è la forza che il sistema di ancoraggi deve poter applicare alla struttura ancorata o alla porzione di ammasso roccioso potenzialmente instabile, per garantirne la stabilità o la funzionalità con il grado di sicurezza richiesto. Essa può essere determinata a seconda dei casi con analisi di tipo geotecnico c/o strutturale. Per i coefficienti di sicurezza parziali da applicare si deve fare riferimento a quanto prescritto dalle vigenti "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Attraverso tali coefficienti di sicurezza, nella determinazione della resistenza di progetto R_{ad}^{sist} , si tiene anche conto delle incertezze sui carichi e/o sul livello di conoscenza della situazione geotecnica.

La resistenza di progetto del sistema viene ripartita tra gli ancoraggi, pervenendo ad un valore della resistenza di progetto richiesta per ciascun ancoraggio P_d .

C.6.3 Di seguito si riportano due esempi di analisi di stabilità globale.

Il primo esempio esamina la situazione di un bacino di carenaggio (Fig. 6.1).

Per la verifica nei confronti degli stati limiti ultimi si considera il tipico stato limite di sollevamento per effetto della sottospinta idraulica che implica il rispetto della condizione:

$$E_d < R_d \tag{C.6.1}$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d è il valore della resistenza di progetto, secondo quanto previsto per gli SLU di tipo UPL dalle NTC 2008.

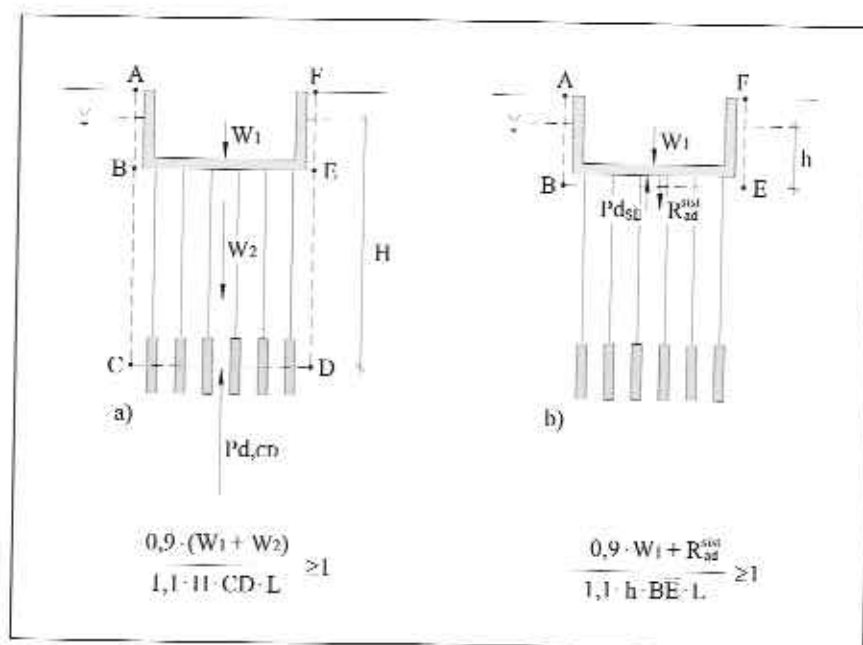


Fig. 6.1 – Esempio di verifica di analisi di stabilità globale.
Ancoraggio di un bacino di carenaggio

Nella verifica illustrata nella parte a) della Fig. 6.1, che consente di individuare la lunghezza degli ancoraggi, e in cui si è trascurata, per semplicità, la resistenza al taglio del terreno lungo le superfici laterali AC ed FE, l'azione è rappresentata dalla sottospinta idraulica alla base CD del volume considerato, il cui valore di progetto si ricava, utilizzando i coefficienti parziali relativi alle azioni della condizione di sollevamento idraulico, in particolare γ_{G1} per le azioni permanenti sfavorevoli, pari a 1,1 e $\gamma_{G1} = 0,9$ per le azioni permanenti favorevoli (vedi NTC 2008).

Risulta quindi:

$$E_d = 1,1 \cdot H \cdot \overline{CD} \cdot L \quad (C.6.2)$$

essendo L la dimensione longitudinale del bacino.

Il valore di progetto della resistenza di progetto è dato dalla somma del peso della struttura (W_1) e del peso del volume di terreno BCDE interessato dagli ancoraggi (W_2), fattorizzata con il coefficiente parziale $\gamma_{G1} = 0,9$ previsto per le azioni permanenti favorevoli:

$$R_d = 0,9 \cdot (W_1 + W_2) \quad (C.6.3)$$

La verifica è soddisfatta quando si ha:

$$E_d \leq R_d \quad (C.6.4)$$

Nella verifica illustrata nella parte b) della Fig. 6.1 la resistenza di progetto R_d è valutata considerando l'equilibrio del bacino soggetto alla sottospinta idraulica lungo la superficie BE, al peso proprio della struttura W_1 ed alla resistenza di progetto del sistema di ancoraggi.

Adottando sempre i coefficienti parziali di sicurezza previsti dalla attuale normativa si ha:

$$E_d = 1,1 \cdot h \cdot \overline{BE} \cdot L \quad (C.6.5)$$

$$R_d = 0,9 \cdot W_1 + 1 / \gamma_R \cdot R_{ok}^{sist} \quad (C.6.6)$$

dove γ_R è il coefficiente parziale operante sul valore caratteristico R_{ok}^{sist} della resistenza del sistema di ancoraggi.

Anche in questo caso deve risultare

$$E_d \leq R_d \quad (C.6.7)$$

Il secondo esempio esamina la situazione di una scarpata in un mezzo privo di coesione (Fig. 6.2).

In Fig. 6.2a è illustrato il tipo di verifica per equilibrio limite, che consente di stabilire la lunghezza degli ancoraggi mediante il confronto tra la resistenza al taglio lungo la potenziale superficie di rottura considerata AC e la componente, secondo la stessa superficie, del peso (W_1) del cuneo di terreno ABC.

La verifica è condotta in accordo a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per la stabilità dei fronti di scavo; per soddisfare la verifica deve risultare $E_d \leq R_d$

con

$$E_d = \gamma_{G1} \cdot W_1 \cdot \sin \psi_1 \quad (C.6.8)$$

$$R_d = (1 / \gamma_R) \cdot \left[(\gamma_{G1} \cdot W_1) \cdot \cos \psi_1 \cdot \left(\frac{tg \varphi_k}{\gamma_w} \right) \right] \quad (C.6.9)$$

dove γ_{G1} , fattore parziale per le azioni permanenti, vale 1 sia per W_1 favorevole che sfavorevole, mentre γ_R è il fattore parziale per la verifica di sicurezza, funzione del tipo di opera, che in questo

caso vale 1,1, e $\gamma_\varphi = 1,25$ è il fattore parziale sul coefficiente di attrito caratteristico lungo la superficie di rottura.

Nell'esempio di Fig. 6.2b è illustrata l'analisi di equilibrio limite che consente di stabilire la resistenza di progetto del sistema di ancoraggi R_{ad}^{sist} . A questo fine, la resistenza al taglio lungo la superficie di rottura considerata AD viene confrontata con le componenti del peso (W_2) del cuneo ABD e della forza di utilizzazione del sistema di ancoraggio (R_{ad}^{sist}) secondo la stessa superficie.

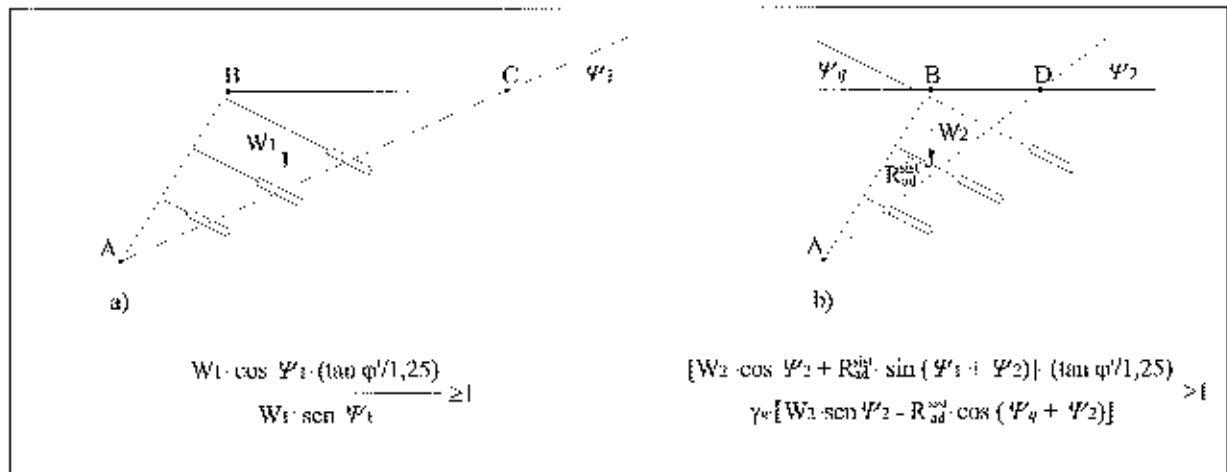


Fig. 6.2 – Esempio di verifica di analisi di stabilità globale - Ancoraggi per la stabilizzazione di una scarpata

In questo caso risulta:

$$F_{,d} = \gamma_{G1} \cdot W_2 \cdot \sin \psi_2 + R_{ad}^{sist} \cdot \cos(\psi_q + \psi_2) \tag{C.6.10}$$

$$R_{,d} = (1 / \gamma_R) \cdot \left[(\gamma_{G1} \cdot W_2) \cdot \cos \psi_2 + R_{ad}^{sist} \cdot \sin(\psi_q + \psi_2) \right] \cdot (\gamma_\varphi \varphi_k / \gamma_\varphi) \tag{C.6.11}$$

6.3.1 Condizioni di impiego particolari

Per opere di particolare importanza, ad alto rischio, è necessario che le analisi di stabilità globale tengano conto della possibilità che uno o più ancoraggi perdano di efficienza.

Per problemi di particolare rilevanza è spesso utile integrare le analisi di stabilità globale con una analisi di interazione opera ancorata-terreno che può consentire ad esempio di determinare:

- la localizzazione e l'estensione delle zone in cui vengono raggiunte condizioni di resistenza limite del terreno
- l'ammissibilità delle deformazioni e degli spostamenti dell'ammasso di terreno o della struttura ancorata
- l'evoluzione della forza agente nell'ancoraggio in funzione della tesatura iniziale, delle modalità di scavo e del comportamento reologico del terreno.

6.4 VERIFICA LOCALE

La progettazione di un ancoraggio comprende due fasi. Nella prima si deve determinare il valore del tiro di progetto P_d nella direzione di ancoraggio. Nella seconda si devono dimensionare le diverse parti che costituiscono l'ancoraggio, la sezione trasversale dell'armatura, la lunghezza libera, la lunghezza e il diametro del bulbo di fondazione e verificare che sia soddisfatta la condizione limite prevista dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, tenendo conto dei valori prescritti per i fattori parziali di sicurezza:

$$P_d \leq R_{ed} \quad (6.1)$$

dove P_d è il valore della massima azione di progetto considerando tutti i possibili stati ultimi e di esercizio dell'opera ancorata e R_{ed} è il valore di progetto della resistenza dell'ancoraggio che si ottiene dal valore caratteristico R_{ak} della resistenza applicando il fattore parziale γ_{Ra} , pari a 1,1 per gli ancoraggi temporanei e a 1,2 per quelli permanenti, previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Il valore di progetto P_d del tiro all'ancoraggio rappresenta, quindi, il massimo fra i valori del tiro necessario a garantire il rispetto delle condizioni di stabilità e funzionalità dell'opera ancorata.

Nel caso di paratie ancorate, l'azione di progetto sull'ancoraggio si può ottenere, ad esempio, amplificando, mediante i coefficienti parziali sulle azioni γ_F , quella calcolata mediante un'analisi che porti in conto, anche in maniera semplificata, l'interazione fra paratia e terreno, operando su configurazioni che rispettino l'equilibrio e la compatibilità con il criterio di resistenza, e nella quale tutti i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza siano unitari.

Per la determinazione della resistenza dell'ancoraggio occorre tenere conto della possibilità che si verifichino i seguenti stati limite:

- rottura per sfilamento della fondazione
- rottura dell'armatura.

Tenendo conto della necessità di contenere il rischio di rotture di tipo fragile, per il rispetto della gerarchia delle resistenze, quando, ad esempio, l'armatura è realizzata mediante trefoli di acciaio armonico, la resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio deve risultare minore della resistenza a snervamento della sua armatura.

Nel caso in cui la fondazione dell'ancoraggio ricada in terreni soggetti a deformarsi per fenomeni di tipo viscoso, la resistenza limite deve essere stabilita in modo tale che, nel corso della sua vita utile, l'opera ancorata non subisca deformazioni tali da determinare il raggiungimento di uno stato limite di esercizio.

6.4.1 Lunghezza dell'ancoraggio

La lunghezza libera dell'ancoraggio deve essere fissata, in primo luogo, tenendo conto della profondità degli strati di terreno in cui è opportuno realizzare la fondazione dell'ancoraggio. Inoltre è necessario che la lunghezza libera dell'ancoraggio sia sufficientemente estesa da garantire la stabilità del volume di terreno coinvolto in un possibile cinematismo di rottura globale.

La lunghezza del bulbo di fondazione viene determinata imponendo la condizione limite (6.1) con riferimento allo stato limite di sfilamento.

In tutti i casi la lunghezza della fondazione deve essere non inferiore a 3 m nei terreni e a 2 m per ancoraggi in roccia.

6.4.2 Resistenza allo sfilamento della fondazione

Il valore di progetto R_{ad} della resistenza di un ancoraggio si ricava applicando il fattore di sicurezza parziale γ_{Ra} al valore caratteristico R_{ak} della resistenza dell'ancoraggio:

$$R_{ad} = R_{ak} / \gamma_{Ra} \quad (6.2)$$

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio R_{ak} si può determinare:

- 1) dai risultati di prove di progetto su prototipi di ancoraggi
- 2) con metodi di calcolo analitici, dai valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati di prove in sito e/o di laboratorio.

6.4.2.1 Resistenza determinata in base ai risultati di prove di progetto

La fase di progetto comprende l'esecuzione di prove preliminari su ancoraggi dello stesso tipo di quelli da realizzare, in base alle quali vengono stabilite le caratteristiche definitive dell'ancoraggio.

Qualora si faccia direttamente ricorso a prove di progetto su ancoraggi reali, portati al limite di sfilamento, la resistenza caratteristica R_{ak} si ottiene con il seguente criterio:

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,m})_{\text{medio}}}{\xi_{a1}} ; \frac{(R_{a,m})_{\text{min}}}{\xi_{a2}} \right\} \quad (6.3)$$

dove $R_{a,m}$ è un valore misurato della resistenza limite e i coefficienti ξ_{a1} e ξ_{a2} dipendono dal numero delle prove di progetto secondo la tabella 6.2.

Tab. 6.2 – Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica da prove di progetto

Numero degli ancoraggi di prova	1	2	> 2
ξ_{a1}	1,5	1,4	1,3
ξ_{a2}	1,5	1,3	1,2

Nel caso di ancoraggi per i quali le prove non hanno prodotto lo sfilamento della fondazione, si considera valore misurato della resistenza limite $R_{a,m}$ il tiro corrispondente al valore critico della variazione di velocità di deformazione per "creep", se raggiunto come in Fig. 6.3, oppure il valore del tiro per il quale si ha $\alpha = 2$ mm (vedi appendice A per la determinazione del valore di P_{creep} e per il calcolo di α).

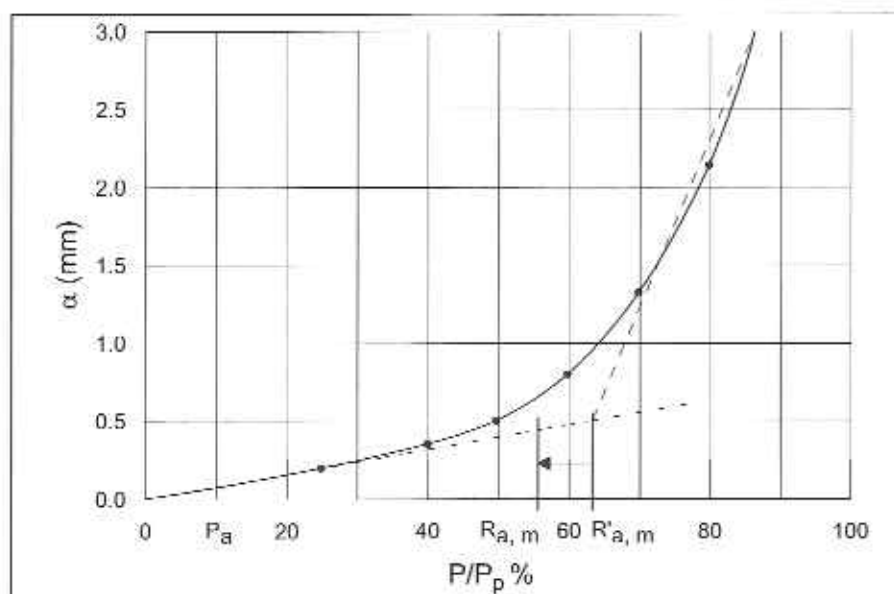


Fig. 6.3 – Determinazione del valore della resistenza limite

6.4.2.2 *Resistenza determinata in base a metodi di calcolo analitici*

Nel caso di impiego di calcoli analitici, il valore della resistenza caratteristica R_{ak} è il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} rispettivamente al valor medio e al valor minimo delle resistenze $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo. Per la valutazione dei fattori ξ_{a3} e ξ_{a4} , si deve tenere conto che i profili di indagine sono solo quelli che consentono la completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo per il terreno di fondazione dell'ancoraggio (Tab. 6.3).

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{\text{medio}}}{\xi_{a3}}, \frac{(R_{a,c})_{\text{min}}}{\xi_{a4}} \right\} \tag{6.4}$$

Tab. 6.3 Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche

Numero dei 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

Si devono quindi definire i valori caratteristici dei parametri geotecnici da assumere nel calcolo, sia con riferimento a tutti i profili di indagine, sulla base dei quali definire il valore di $(R_{a,c})_{\text{medio}}$, che con riferimento al profilo peggiore, sulla base del quale definire il valore di $(R_{a,c})_{\text{min}}$.

Nella valutazione analitica della resistenza allo sfilamento degli ancoraggi i coefficienti parziali di sicurezza sui valori caratteristici dei parametri geotecnici sono assunti unitari.

Allo stato delle conoscenze sono disponibili solo metodi empirici per determinare, con il calcolo, la resistenza limite di sfilamento del bulbo di fondazione $R_{a,c}$, fermo restando che l'attendibilità della previsione deve sempre essere verificata con prove di progetto.

Metodo 1: si basa sull'uso di diagrammi di progetto che correlano la lunghezza vincolata L_f al valore limite della resistenza allo sfilamento della fondazione $R_{a,c}$, ovvero alla resistenza limite unitaria q_s , rispettivamente per le terre incoerenti o a grana fine e in funzione delle modalità esecutive del bulbo di fondazione (da Ostermayer, 1974 e Ostermayer e Scheele, 1977).

Metodo 2: si basa sull'uso di diagrammi sperimentali che forniscono la resistenza unitaria q_s allo sfilamento della fondazione in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno e delle modalità esecutive e su una stima del diametro effettivo D della fondazione (da Bustamante e Doix, 1985).

6.4.2.2.1 Metodo 1

Nei terreni incoerenti la resistenza limite di sfilamento della fondazione di un ancoraggio si ricava direttamente dal diagramma di Fig. 6.4 dove sono rappresentati gli andamenti delle resistenze limite ottenute da prove sperimentali su ancoraggi reali, in funzione della composizione granulometrica del terreno, del suo stato di addensamento e della lunghezza, della fondazione (L_f).

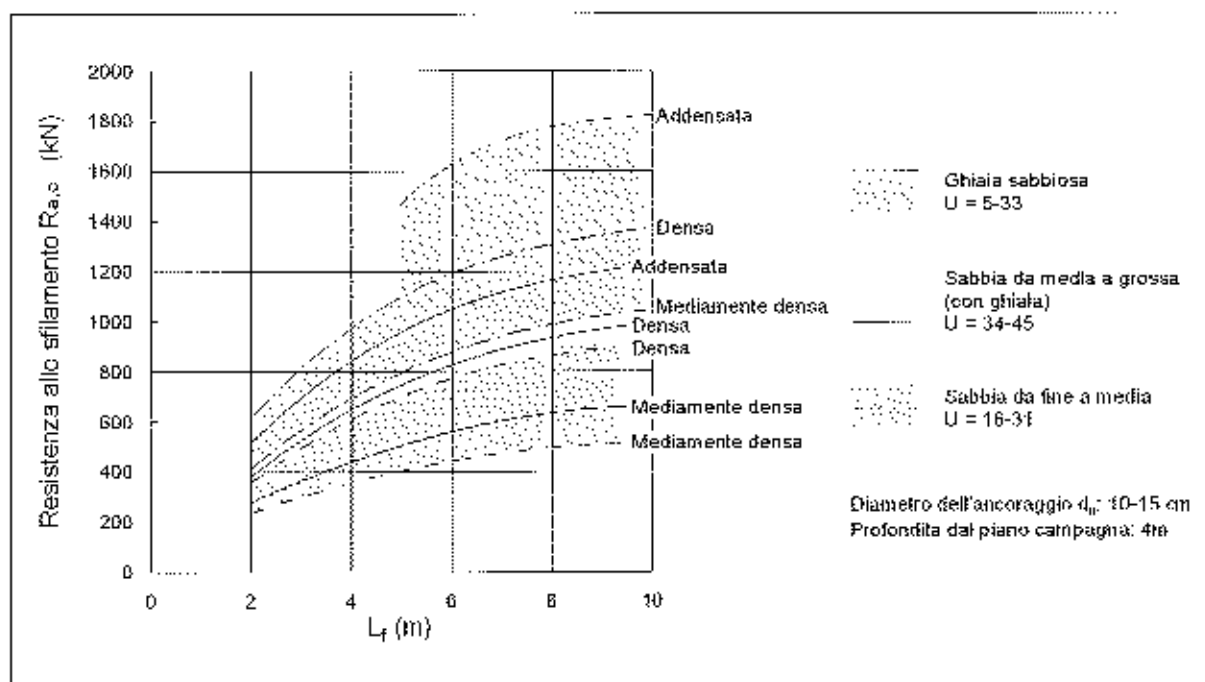


Fig. 6.4 - Resistenza limite di sfilamento di ancoraggi in sabbie o ghiaie (da Ostermayer e Scheele, 1977)

Nei terreni a grana fine, la resistenza al limite di sfilamento si ottiene in funzione della resistenza limite unitaria q_s , del diametro nominale di perforazione D_s e della lunghezza del bulbo di fondazione L_f nel modo seguente:

$$R_{a,c} = \pi D_s L_f q_s \quad (6.5)$$

La resistenza unitaria q_s è rappresentata nei diagrammi di Fig. 6.5 in funzione della lunghezza L_f , della plasticità del terreno e delle modalità esecutive del bulbo di fondazione, distinguendo fra il caso di iniezione unica dell'intero bulbo (IGU) ed il caso di bulbo realizzato con iniezioni multiple, cioè tratto per tratto, e ripetute (IRS).

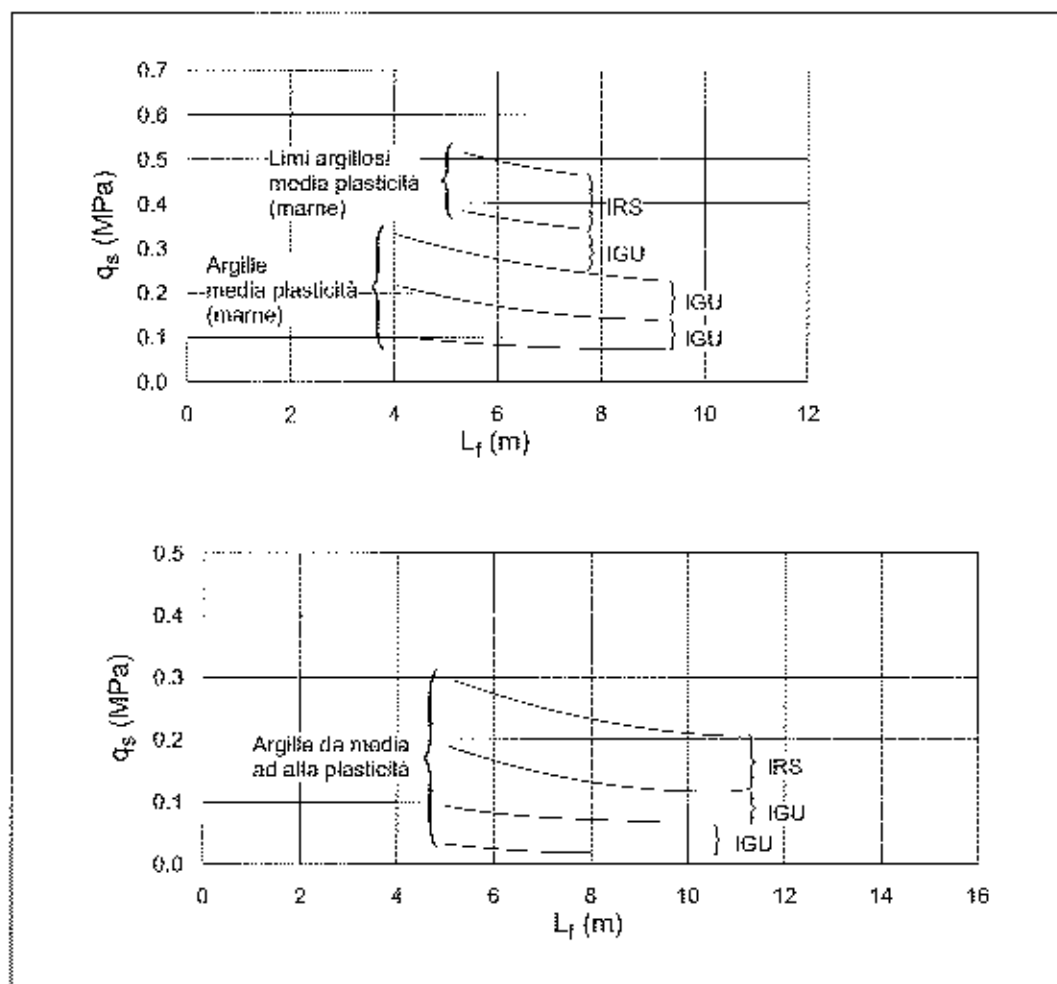


Fig. 6.5 - Resistenza limite unitaria per ancoraggi in terreni a grana fine (da Ostermayer, 1974)

6.4.2.2.2 Metodo 2

Con questo metodo la resistenza limite di sfilamento $R_{s,c}$ dipende dal diametro reale D_s del bulbo di fondazione. Si ha

$$R_{s,c} = \pi \cdot D_s \cdot L_f \cdot q_s \tag{6.6}$$

dove $D_s = \alpha_d \cdot D_d$

con α_d coefficiente maggiorativo del diametro di perforazione funzione del tipo di terreno, della pressione di iniezione e della tecnica di iniezione; possibili valori di α sono indicati nella tabella 6.4, mentre la resistenza unitaria a sfilamento si ricava dai diagrammi sperimentali riportati nelle Figg. 6.6 + 6.9, tenendo conto di quanto indicato in tabella 6.5 per la scelta del diagramma appropriato al tipo di terreno ed alla tecnica esecutiva.

Nel metodo 2 si distingue infatti fra il caso di bulbo realizzato con iniezioni ripetute e controllate (IRS) ad alta pressione di iniezione, cioè superiore alla pressione limite del terreno determinata da prove pressiometriche, ed il caso di iniezione unica, a bassa pressione (IGU), tipicamente inferiore alla metà della pressione limite, sebbene almeno pari a 0,5 MPa.

Tab. 6.4 - Valori del coefficiente α_d per la stima del diametro reale della fondazione dell'ancoraggio

Terreno	Valori del coefficiente α_d		Quantità minima di miscela consigliata V_s	Rapporto A/C
	IRS ($p_i \geq p_l$)	IGU ($p_i < p_l$)		
Ghiaia	1,8	1,3 ÷ 1,4	1,5 V_s	1,7 : 2,4
Ghiaia sabbiosa	1,6 : 1,8	1,2 ÷ 1,4	1,5 V_s	
Sabbia ghiaiosa	1,5 : 1,6	1,2 ÷ 1,3	1,5 V_s	
Sabbia grossa	1,4 : 1,5	1,1 ÷ 1,2	1,5 V_s	
Sabbia media	1,4 : 1,5	1,1 ÷ 1,2	1,5 V_s	
Sabbia fine	1,4 : 1,5	1,1 ÷ 1,2	1,5 V_s	
Sabbia limosa	1,4 ÷ 1,5	1,5 ÷ 2,0	IRS: (1,5 : 2) V_s ; IGU: 1,5 V_s	
Limo	1,4 ÷ 1,6	1,1 ÷ 1,2	IRS: 2 V_s ; IGU: 1,5 V_s	1,7 ÷ 2,4
Argilla	1,8 ÷ 2,0	1,2	IRS: (2,5 : 3) V_s ; IGU: (1,5 ÷ 2) V_s	
Marna	1,8	1,1 ÷ 1,2	(1,5 ÷ 2) V_s per strati compatti	1,7 ÷ 2,4
Calcarei marnosi	1,8	1,1 ÷ 1,2	(2 : 6) V_s o più per strati fratturati	
Calcarei alterati o fratturati	1,8	1,1 ÷ 1,2		
Roccia alterata c/o fratturata	1,2	1,1	(2÷6) V_s o più per strati poco fratturati 2 V_s o più per strati fratturati	1,7 : 2,4
IRS: iniezione ad alta pressione a più stadi e ripetuta IGU: iniezione a bassa pressione in unica soluzione p_l : pressione limite dalla prova pressiometrica Ménard p_i : pressione di iniezione			$V_s = L_f D_s^2 / 4$ L_f : lunghezza della fondazione D_s : diametro reale della fondazione	
Nota: nella tabella sono riportati i valori teorici della quantità in volume della miscela di iniezione nelle diverse condizioni operative ed il rapporto acqua cemento ottimale (da Bustamante e Doix, 1985)				

Tab. 6.5 - Scelta dei valori di q_i in funzione del terreno e della tecnica esecutiva

Terreno	Tipo di iniezione		Figura corrispondente
	IRS ($p_i \geq p_l$)	IGU ($p_i < p_l$)	
Ghiaia	SG.1	SG.2	Fig. 6.6
Ghiaia sabbiosa			
Sabbia ghiaiosa			
Sabbia grossa			
Sabbia media			
Sabbia fine			
Sabbia limosa			
Limo	AL.1	AL.2	Fig. 6.7
Argilla			
Marna	MC.1	MC.2	Fig. 6.8
Calcarei marnosi			
Calcarei alterati o fratturati			
Roccia alterata c/o fratturata	> R.1	≥ R.2	Fig. 6.9
IRS: iniezione ad alta pressione a più stadi e ripetuta IGU: iniezione a bassa pressione in unica soluzione p_l : pressione limite dalla prova pressiometrica Ménard p_i : pressione di iniezione			

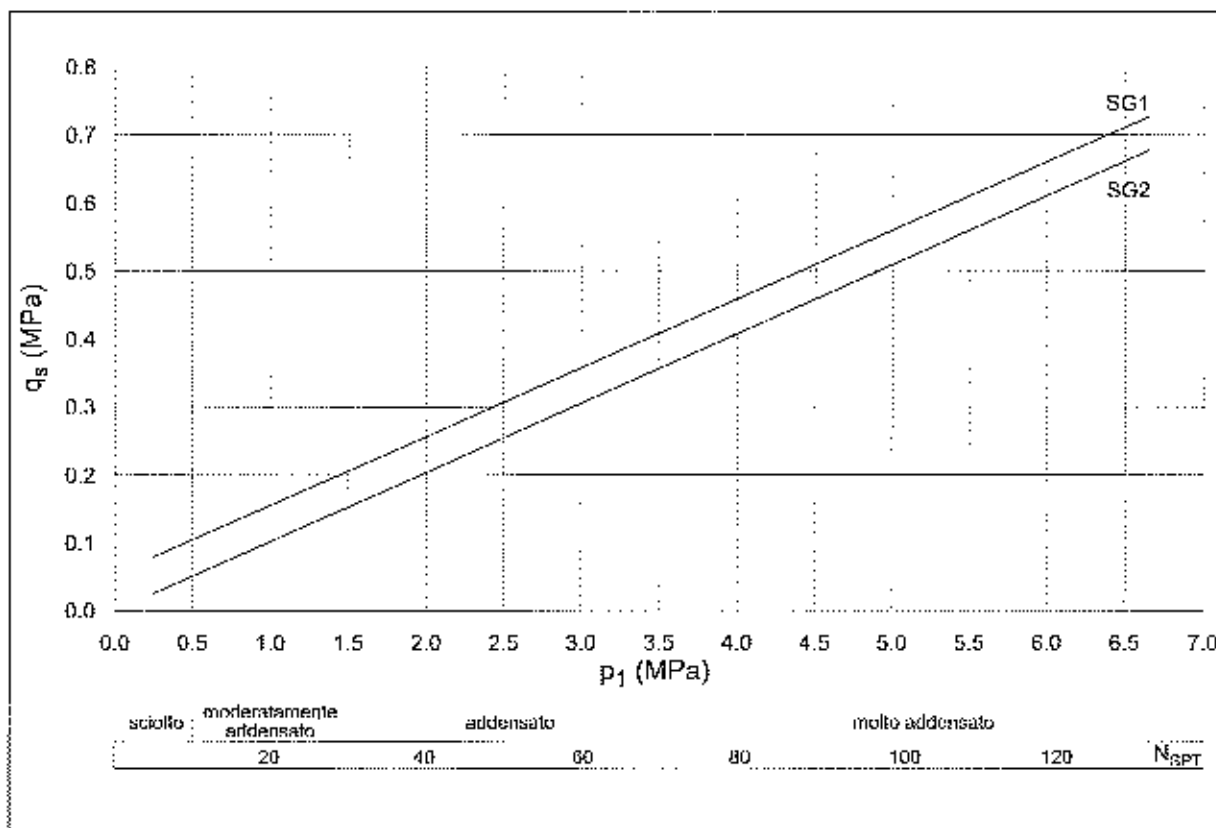


Fig. 6.6 - Resistenza unitaria limite per terreni incoerenti

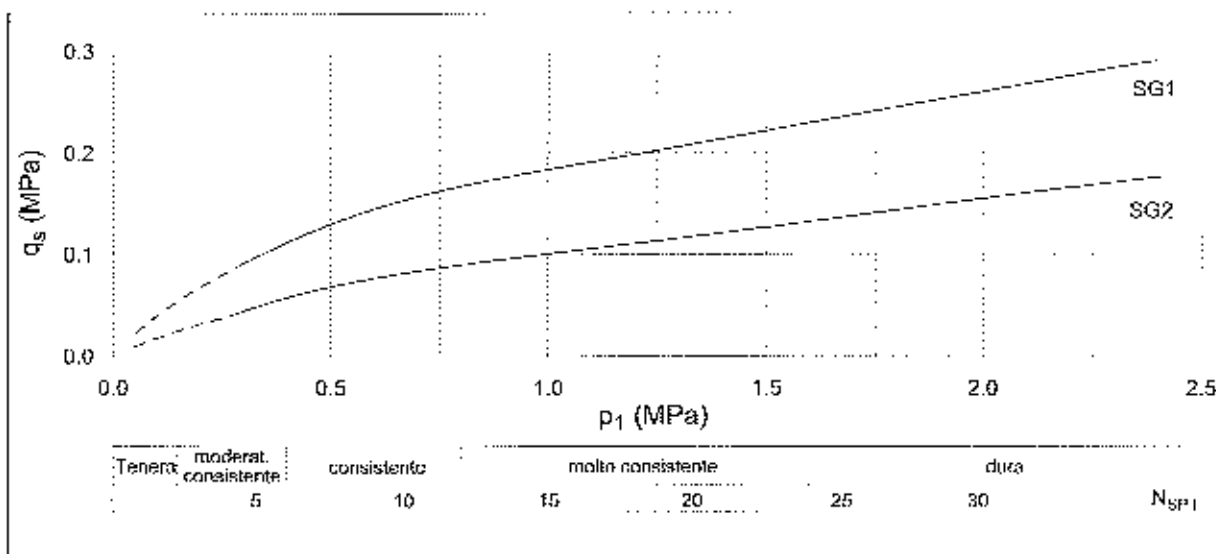


Fig. 6.7 - Resistenza unitaria limite per terreni a grana fine

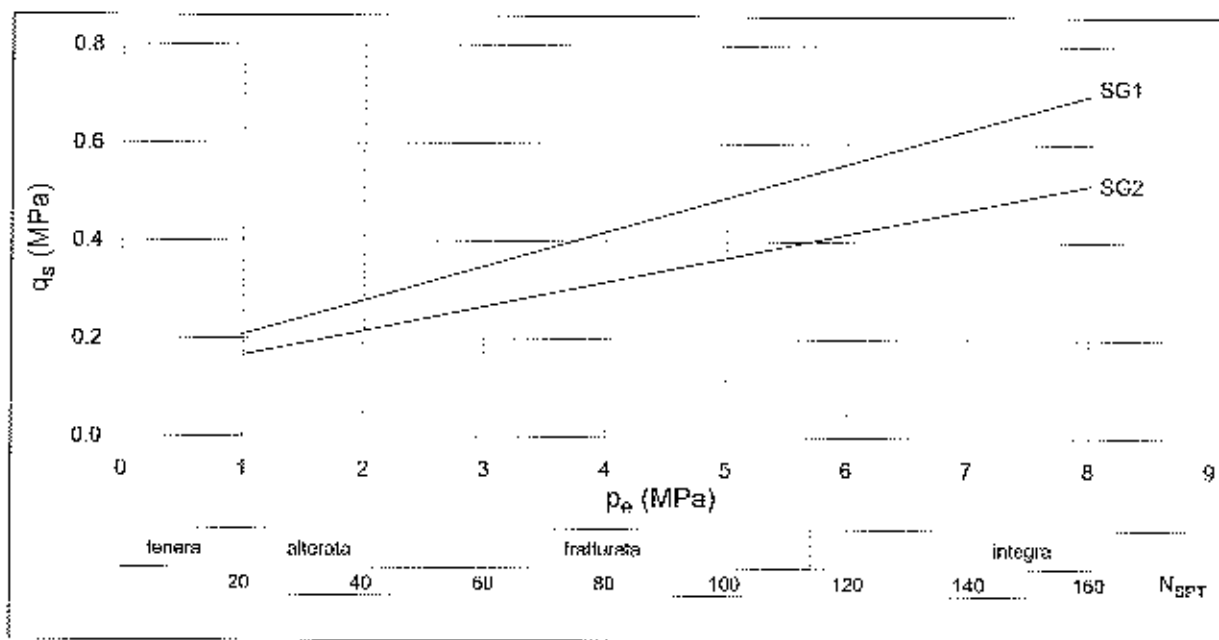


Fig. 6.8 - Resistenza unitaria limite per le marni ed i calcari

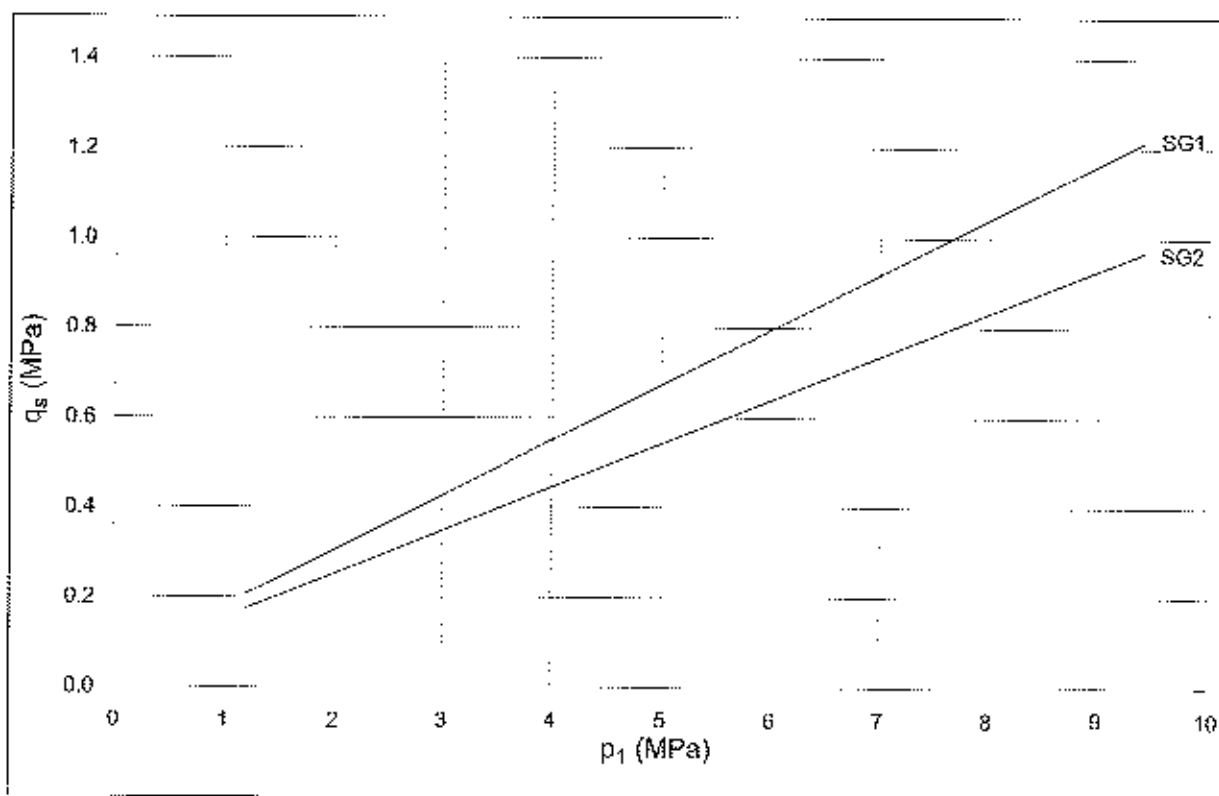


Fig. 6.9 - Resistenza unitaria limite per rocce tenere e fratturate

6.4.3 Sezione di armatura

Il dimensionamento strutturale dell'ancoraggio deve garantire il rispetto del criterio della progettazione in capacità (gerarchia delle resistenze) per cui, nel caso specifico, la rottura per sfilamento della fondazione deve precedere sempre la rottura dell'armatura, se questa può dar luogo a rotture di tipo fragile.

A tale scopo si deve verificare che sia soddisfatta anche la seguente condizione:

$$R_{ak,max} \cdot \gamma_{Rd} < R_{td} \quad (6.7)$$

dove

- $R_{ak,max}$ è il valore massimo della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio ottenuto nel corso delle prove di progetto ($R_{a,m}$) o determinato con metodi di calcolo analitici ($R_{a,c}$)
- γ_{Rd} è il coefficiente di sovrarresistenza dell'ancoraggio che, in prima approssimazione, può essere posto pari a 1, salvo più accurate determinazioni nei casi che richiedono maggiori garanzie
- R_{td} è la resistenza di progetto del materiale che costituisce l'armatura dell'ancoraggio (barre, trefoli, tubi, ecc.) il cui valore è dato da

$$R_{td} = A_s \cdot f_{yk} / \gamma_s \quad (6.8)$$

essendo A_s l'area della sezione di armatura e γ_s , pari a 1,15, il fattore parziale di sicurezza richiesto dalla Normativa sulla tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio f_{yk} , e sulle tensioni convenzionali di snervamento dell'acciaio di armatura assunte nei progetti di strutture in c.a.p. (f_{pyk} , $f_{p0,yk}$, $f_{p10,yk}$, rispettivamente valide per barre, fili, trefoli e trecce).

6.4.4 Forza di tesatura e forza effettivamente agente nell'ancoraggio

La forza effettivamente agente in un ancoraggio è soggetta a variazioni durante la vita utile. Essa dipende dalla forza di tesatura iniziale e dall'interazione tra terreno, struttura ancorata e dispositivo di ancoraggio.

In ogni caso tale forza non potrà superare la forza di collaudo P_c .

C.6.4.4 Ad esempio in Fig. 6.10 sono riportate tre possibili situazioni che portano a differenti evoluzioni della forza effettivamente agente:

- *La curva a) corrisponde al caso in cui si prevede una perdita di tensione negli ancoraggi per effetto di deformazioni viscosse nel sistema ancoraggi-terreno; in questo caso si è applicata una forza di tesatura $P_{t,a}$ più elevata della resistenza di progetto (P_Q).*
- *La curva b) corrisponde al caso in cui deformazioni del terreno conseguenti a processi di scavo o a fenomeni di rigonfiamento determinano un aumento nel tempo della forza effettivamente agente; pertanto si è adottata una forza di tesatura $P_{t,b}$ inferiore alla resistenza di progetto (P_Q).*
- *La curva c) corrisponde al caso in cui per l'incertezza di valutazione del comportamento del sistema si prevede la regolazione della forza effettivamente agente sulla base del controllo del comportamento nel tempo. Nel caso esaminato, la forza effettivamente agente tende a superare la resistenza di progetto, per cui si deve effettuare una riduzione del tiro nel tempo.*

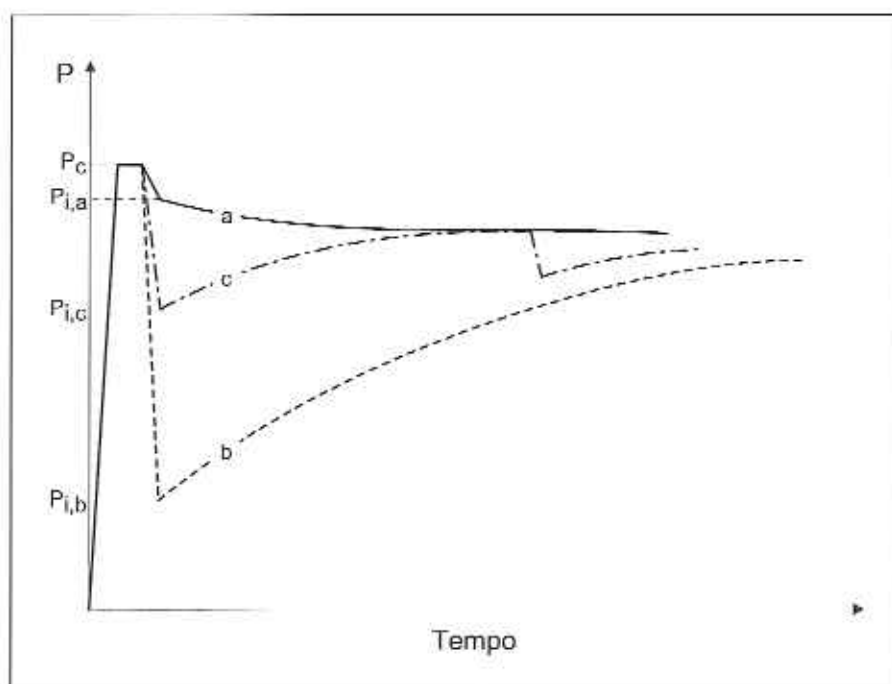


Fig. 6.10 - Possibile evoluzione nel tempo della forza effettivamente agente nell'ancoraggio

6.4.5 Resistenza limite di sfilamento di ancoraggi in gruppo

La resistenza limite di sfilamento di un ancoraggio si può assumere valida anche per gli ancoraggi in gruppo, solo quando il loro interasse è maggiore o uguale a:

- un terzo della lunghezza della fondazione L_f
- dieci volte il diametro della perforazione.

Se gli ancoraggi in gruppo non sono paralleli, l'interasse fra due ancoraggi è la distanza fra i punti centrali delle rispettive fondazioni.

6.5 MONITORAGGIO DEGLI ANCORAGGI PERMANENTI E DEGLI ANCORAGGI UTILIZZATI PER OPERE CHE INTERESSANO L'INCOLUMITÀ DELLE PERSONE

Il monitoraggio consiste nella installazione di un'appropriata strumentazione e nella misura di grandezze fisiche significative con la finalità sia di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati che di controllare la funzionalità degli ancoraggi e quindi del manufatto nel tempo.

Non è ammesso l'impiego di ancoraggi permanenti senza l'adozione di un piano di monitoraggio dell'opera nel tempo adeguato all'importanza della stessa e inserito, a sua volta, in un progetto, completo e dettagliato, costituito da tutti gli altri elementi indicati al § 6.6, nell'ambito di tutte le verifiche previste al § 6.3 e 6.4.

6.6 CONTENUTI FONDAMENTALI DEL PROGETTO

6.6.1 Aspetti generali

Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito, delle caratteristiche geotecniche dei terreni nel volume significativo e delle condizioni ambientali.

Nei casi più semplici le caratteristiche geologiche dell'area dell'intervento possono essere descritte nella relazione geotecnica. Nei casi più complessi, i risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica di cui al § 3.4.2 devono essere esposti in una specifica relazione geologica.

Le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini e prove che il progettista deve definire in base alle scelte tipologiche dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.

Il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, di cui al § 3.4.3, le scelte progettuali, la descrizione delle fasi e modalità costruttive, unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico degli ancoraggi, devono essere illustrati in una specifica relazione geotecnica.

Il progetto in sintesi deve contenere:

- la caratterizzazione e modellazione geologica del sito
- le caratteristiche generali dell'opera da ancorare o dell'intervento
- la programmazione delle indagini geotecniche e delle prove sugli ancoraggi pilota
- la caratterizzazione fisico-meccanica e idraulica dei terreni e delle rocce e la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo
- il dimensionamento del sistema di ancoraggio
- la descrizione delle fasi e delle modalità costruttive
- le verifiche della sicurezza e delle prestazioni
- i piani di controllo e monitoraggio.

Nella scelta del tipo di ancoraggio si deve tenere conto dell'entità e del tipo di sollecitazioni prevedibili, delle caratteristiche del sottosuolo, dell'aggressività ambientale.

Nel progetto devono indicarsi la resistenza di progetto dell'ancoraggio (R_{ad}), la lunghezza totale e della fondazione, il diametro di perforazione, l'orientazione e il numero degli ancoraggi, la tecnica di perforazione e d'iniezione e le tolleranze di esecuzione, l'eventuale programma di saturazione ed il tiro di bloccaggio.

Deve, inoltre, essere predisposto un piano di monitoraggio per verificare il comportamento dell'ancoraggio nel tempo, da recepire, in relazione alla rilevanza dell'opera, nel piano di manutenzione.

6.6.2 Dimensionamento del sistema di ancoraggio

Sulla base degli elementi e dei dati, di cui ai § 6.1 e 6.2 e delle verifiche statiche di cui ai § 6.3 e 6.4 vanno stabilite le caratteristiche generali del sistema degli ancoraggi, va definito il programma per l'esecuzione degli ancoraggi preliminari di prova e sulla base dei risultati ottenuti vanno infine stabilite le caratteristiche degli ancoraggi definitivi.

In particolare, i dati e gli elementi che il progetto deve fornire sono:

- la tipologia dell'ancoraggio e la vita utile prevista
- la resistenza di progetto R_{qd}
- il numero e l'interasse degli ancoraggi
- la posizione e l'inclinazione dei singoli ancoraggi
- la lunghezza della fondazione e quella del tratto libero
- il diametro di perforazione
- le tolleranze di esecuzione
- le misure di protezione nei riguardi della corrosione
- l'ubicazione e le caratteristiche degli ancoraggi di prova
- le caratteristiche della miscela di iniezione
- il programma di tesatura, il valore nominale del tiro di bloccaggio P_i e la previsione dell'evoluzione nel tempo del tiro residuo negli ancoraggi
- l'analisi delle situazioni conseguenti alla perdita di efficienza di uno o più ancoraggi (nel caso di opere di particolare importanza)
- le misure di controllo e di eventuale monitoraggio degli ancoraggi e dell'opera ancorata nel suo complesso.

Oltre alla situazione finale dell'opera, devono essere considerate e verificate le fasi intermedie di costruzione significative.

6.6.3 Ancoraggi preliminari di prova

La fase di progetto comprende l'esecuzione di prove preliminari (cap. 7) su ancoraggi dello stesso tipo di quelli definitivi, in base alle quali vengono stabilite tutte le caratteristiche degli ancoraggi.

Quando non è possibile realizzare ancoraggi preliminari di prova in fase di progetto, si esegue un primo dimensionamento del dispositivo sulla base di valutazioni tecnicamente motivate da verificare successivamente, dopo l'esecuzione delle prove preliminari, che vanno comunque effettuate prima dell'esecuzione degli ancoraggi definitivi.

6.6.4 Ulteriori aspetti tecnici da valutare

Si deve tener presente e valutare adeguatamente:

- l'influenza esercitata dall'opera ancorata sui manufatti adiacenti, per quanto riguarda deformazioni, spostamenti e stabilità globale
- la distanza degli ancoraggi da altre opere circostanti ed in particolare dalle loro fondazioni; la distanza da canalizzazioni sotterranee e l'influenza delle perforazioni e delle iniezioni su queste opere e su altri manufatti adiacenti.

6.7 ASPETTI LEGALI DA TENERE PRESENTI

Possono riguardare:

- le ripercussioni della esecuzione e della presenza degli ancoraggi sulle proprietà adiacenti
- gli accordi richiesti dalla presenza degli ancoraggi nel sottosuolo di proprietà di terzi e gli eventuali vincoli di servitù derivanti.

7. ANCORAGGI PRELIMINARI DI PROVA

7.1 GENERALITÀ

Si intendono per "ancoraggi preliminari di prova" quei dispositivi di ancoraggio, realizzati nello stesso sito e con la stessa metodologia costruttiva di quelli definitivi, da sottoporre a prove più severe di quelle di collaudo e, pertanto, non utilizzabili per l'impiego successivo. Tali ancoraggi sono definiti preliminari in quanto finalizzati al dimensionamento ed alla determinazione della resistenza caratteristica a sfilamento dell'ancoraggio R_{ak} sulla base dei valori misurati $R_{a,mi}$; le prove costituiscono, quindi, parte integrante del progetto degli ancoraggi.

Il dimensionamento iniziale dell'ancoraggio di prova, noto il valore di progetto dell'azione e quindi quello caratteristico della resistenza dell'ancoraggio, va condotto con l'impiego dei metodi analitici di cui al § 6.4.2.2, e nel rispetto del principio di gerarchia delle resistenze fra sfilamento della fondazione e snervamento dell'armatura.

Gli ancoraggi preliminari possono essere realizzati solo dopo l'esecuzione di tutte quelle operazioni preparatorie del cantiere quali scavi, riporti, mutamenti nel regime idraulico del terreno, così come previste in progetto e che possono influire sulla resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio.

Le prove sugli ancoraggi preliminari possono avere inizio solo dopo che sia trascorso, dal loro completamento, il tempo sufficiente per la maturazione delle miscele utilizzate per realizzare la fondazione e, nel caso di terreni a grana fine sensibili, il periodo di tempo minimo, a partire dalla completa installazione dell'ancoraggio, necessario per consentire al terreno di recuperare le proprietà meccaniche originali.

7.2 DISPOSITIVO DI PROVA

Le prove devono essere eseguite da personale specializzato, nel rispetto delle norme che garantiscono la sicurezza degli operatori e di terze persone.

Per l'esecuzione delle prove è richiesto, generalmente, l'allestimento di una apposita struttura di contrasto.

Il dispositivo di prova è costituito da un martinetto idraulico alimentato da una pompa motorizzata, da un sistema di contrasto e dagli strumenti di misura.

L'allestimento tipico di prova è quello rappresentato nello schema di Fig. 7.1.

Il martinetto idraulico deve consentire l'applicazione del tiro simultaneamente a tutti gli elementi costituenti l'armatura dell'ancoraggio. La corsa del martinetto deve essere tale da garantire l'esecuzione della prova senza riposizionamenti del martinetto. Gli strumenti devono consentire la misura del tiro applicato, preferibilmente per mezzo di una cella di carico in asse all'ancoraggio, l'allungamento dell'armatura, la pressione applicata al martinetto di tesatura. Inoltre è opportuno che nel corso delle prove venga misurato lo spostamento (assoluto) della struttura di contrasto, prendendo come riferimento un punto fisso esterno alla zona che può essere influenzata dalla prova.

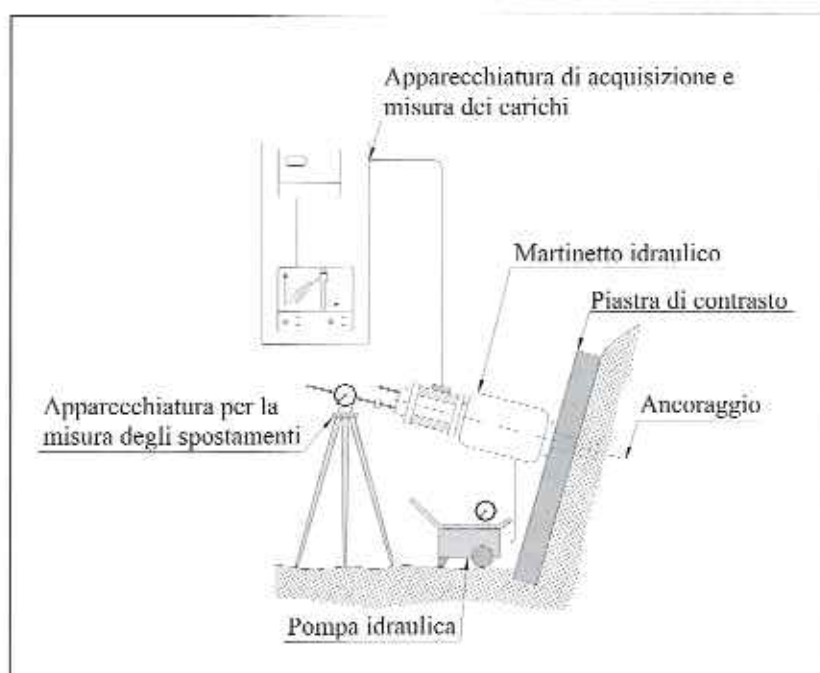


Fig. 7.1 Schema di un dispositivo di prova

Le apparecchiature da impiegare nell'esecuzione delle misure devono essere tarate presso un Laboratorio Ufficiale e consentire le misure con la seguente precisione:

- per gli allungamenti: il valore maggiore fra 0,1 mm e l'1% dello spostamento misurato;
- per le forze applicate: il valore maggiore fra 10 kN e il 2% della forza misurata, ovvero, nel caso in cui la prova richieda la misura degli incrementi di carico, il valore maggiore fra 5 kN e lo 0,5 % della forza misurata
- per le misure di temperatura la precisione di 1° C
- per le misure di tempo la precisione di 1 secondo.

Gli aspetti più rilevanti dell'installazione degli ancoraggi di prova devono essere annotati per essere riportati nel rapporto di prova. Sono inoltre rilevanti le informazioni che riguardano la natura dei terreni attraversati nel corso della perforazione, le condizioni idrogeologiche del sito di prova, la composizione delle miscele di iniezione, nonché tutte le particolarità e le eventuali difficoltà incontrate nel corso delle lavorazioni.

7.3 SCOPO E OBBLIGATORIETÀ DELLE PROVE DI PROGETTO

Le prove preliminari di progetto servono per stabilire dimensionamento e modalità costruttive di ogni diversa tipologia di ancoraggio e per ogni possibile situazione geotecnica, misurando uno o più valori della resistenza a sfilamento della fondazione $R_{a,m}$ e per verificare che la capacità del sistema di ancoraggio sia idonea ad assorbire l'azione di progetto P_d .

In base alle Norme Tecniche per le Costruzioni, le prove su ancoraggi preliminari sono obbligatorie.

7.3.1 Numero degli ancoraggi di prova

Il numero minimo di ancoraggi da sottoporre a prova (nel rispetto delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008) è indicato nella tabella 7.1 che riporta anche l'articolazione delle prove fra le diverse modalità.

Qualora il numero totale degli ancoraggi non superi 30, la normativa prescrive un solo ancoraggio di prova; in tali casi però, sarebbe opportuno che gli ancoraggi di prova fossero sempre almeno 2. La verifica del dimensionamento definitivo potrà essere effettuata anche con prove di idoneità sui primi ancoraggi che verranno realizzati nella fase esecutiva dei lavori.

Al fine di conteggiare il numero degli ancoraggi da sottoporre a prova, si considerano di una stessa tipologia gli ancoraggi adibiti alla medesima funzione, aventi uguale tipo e sezione di armatura, modalità e diametro di perforazione, modalità e pressione di iniezione.

Allo stesso fine si considerano omogenei fra loro quei terreni di fondazione ai quali le indagini consentono di attribuire il medesimo comportamento geotecnico (§ 3.4.3).

Tab. 7.1 - Numero minimo degli ancoraggi di prova e tipi di prove

N° di ancoraggi da eseguire	N° minimo di prove da eseguire (*)	Modalità di prova	
		Tipo 1	Tipo 2
compreso tra 1 e 30	1	1	-
compreso tra 31 a 50	2	1	1
compreso tra 51 a 100	3	2	1
compreso tra 101 a 200	7	2	5
compreso tra 201 a 500	8	3	5
oltre 500	10	3	7

(*) La Norma tende a premiare l'aumento del numero delle prove preliminari attraverso una progressiva riduzione dei fattori di correlazione ξ fra R_{ch} e R_{om} con il crescere del numero delle prove.

Nel caso di ancoraggi fondati nello stesso terreno, adibiti alla medesima funzione e realizzati con le stesse modalità di perforazione e di iniezione, ma con una forza teorica di utilizzazione diversa (e quindi con sezione di armatura e diametro di perforazione diversi), si può in alternativa:

- realizzare un gruppo di ancoraggi di prova per ogni specifica situazione di progetto
- effettuare le prove solo per il gruppo di ancoraggi soggetti all'azione P_d più elevata.

In questo ultimo caso una volta determinato, dalle prove, il valore della resistenza caratteristica a sfilamento del gruppo di ancoraggi, è possibile ricavare una tensione tangenziale limite convenzionale ($p_{s,ke}$) di aderenza tra fondazione e terreno:

$$q_{s,ke} = \frac{R_{ch}}{\pi \cdot D_d \cdot l_f} \quad (7.1)$$

dove:

R_{ak} = valore caratteristico della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio

D_d = diametro nominale della fondazione

L_f = lunghezza della fondazione

e si dimensionano tutti gli ancoraggi assumendo una tensione tangenziale limite ultima (q_s) pari a quella ricavata dalle prove. In particolare, per ogni tipologia di ancoraggio, così come ad esempio quelli di minor capacità, il valore della resistenza caratteristica R_{ak} si otterrà caso per caso variando la lunghezza della fondazione (L_f) e il diametro (D_d) dell'ancoraggio.

7.4 MODALITÀ DI PROVA

In generale è necessario sottoporre a prove preliminari uno o più ancoraggi, secondo due possibili modalità di prova.

Il primo tipo di prova è una prova di sfilamento; ha lo scopo di determinare la tensione tangenziale limite convenzionale di aderenza tra la fondazione ed il terreno, per il dimensionamento della fondazione degli ancoraggi definitivi. L'ancoraggio di prova ha quindi un'armatura sovradimensionata per quanto possibile in relazione al diametro di perforazione, oppure una lunghezza di fondazione ridotta rispetto agli ancoraggi definitivi in modo che possa essere sfilato dal terreno senza determinare lo snervamento dell'armatura.

Il secondo tipo di prova è una prova di idoneità; si esegue su un ancoraggio realizzato come quelli definitivi, con caratteristiche della fondazione e dell'armatura identiche a quelle previste per gli ancoraggi in opera con la sola eccezione della sezione metallica dell'armatura che sarà la massima compatibile con il diametro di perforazione. La prova ha lo scopo di misurare un valore $R_{a,m}$ della resistenza dell'ancoraggio e di verificare l'idoneità complessiva del dispositivo alle prestazioni richieste.

7.4.1 Esecuzione della prova di sfilamento

Nella prova a sfilamento, l'ancoraggio deve essere sollecitato fino al massimo carico di prova possibile, ovverosia il carico P_p che determina il raggiungimento di una tensione nell'armatura pari al **90% di quella di snervamento:**

$$P_p = 0,9 R_{tk} = 0,9 \cdot A_s \cdot f_{yk} \quad (7.2)$$

Per aumentare il carico di prova e favorire lo sfilamento della fondazione, la sezione dell'armatura dell'ancoraggio deve essere quindi appositamente dimensionata in modo tale che la resistenza a sfilamento della fondazione possa essere prevedibilmente raggiunta prima che si produca lo snervamento dell'armatura.

Qualora questo non bastasse per produrre lo sfilamento della fondazione, la prova dovrà essere effettuata su un ancoraggio con fondazione di lunghezza ridotta, $(L_f)_{prova}$, rispetto a quella di progetto, $(L_f)_{proj}$. In tal caso potrebbe essere necessario incrementare la lunghezza libera dell'ancoraggio di una quantità pari alla riduzione della lunghezza della fondazione onde sperimentare il terreno alla stessa profondità di fondazione dell'ancoraggio definitivo. Solo in questo caso la resistenza caratteristica per gli ancoraggi definitivi potrà essere stimata amplificando la resistenza misurata mediante un fattore pari al rapporto delle lunghezze $(L_f)_{proj}/(L_f)_{prova}$.

La velocità di applicazione del carico, così come quella di scarico, dovrà essere inferiore a 10 kN al minuto.

La prova comprende le seguenti fasi:

1. tesatura fino ad una forza di allineamento P_a , usualmente pari al valore minimo tra 50 kN e il 10% del carico di prova P_p ; la corrispondente configurazione dell'ancoraggio costituisce il riferimento geometrico per la misura degli allungamenti ΔL .
2. tesatura per incrementi di carico pari a 0,1 di P_p ogni 1' fino a raggiungere lo sfilamento o il carico di prova P_p , con sosta a ciascun incremento per il solo tempo necessario alla lettura del corrispondente allungamento.

Nel caso non sia stato raggiunto lo sfilamento vero e proprio della fondazione, la prova va ripetuta riducendo le dimensioni della fondazione o aumentando la sezione dell'armatura.

Nel caso di ancoraggi temporanei ad espansione meccanica, la prova viene condotta su un dispositivo uguale a quello da impiegare ed è spinta fino a raggiungere lo snervamento dell'armatura o lo sfilamento della fondazione.

Il valore ultimo di prova viene assunto come un valore misurato della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio ($R_{a,m}$).

7.4.2 Esecuzione della prova di idoneità

La prova di idoneità viene eseguita su un ancoraggio avente le medesime caratteristiche degli ancoraggi definitivi (modalità costruttive, diametro di perforazione, lunghezza di fondazione, ecc.) stabilite anche sulla base dei risultati della prova di sfilamento. Per ragioni di sicurezza per gli operatori, l'armatura dell'ancoraggio potrà essere opportunamente maggiorata.

Il carico di prova P_p coincide con il valore stimato della resistenza caratteristica dell'ancoraggio. Quest'ultima si ricava dal tiro di progetto P_d , tenendo conto del fattore parziale γ_{Rk} previsto per il tipo di ancoraggio ($\gamma_{Rk,p} = 1,2$ per ancoraggi permanenti; $\gamma_{Rk,t} = 1,1$ per ancoraggi temporanei) e del fattore ξ_{a1} di Tab. 6.2 che correla il valore caratteristico della resistenza e la media dei valori misurati, in funzione del numero degli ancoraggi di prova.

Si ha pertanto:

$$P_p = P_d \cdot \gamma_{Rk} \cdot \xi_{a1} \quad (7.3)$$

La velocità di applicazione del carico, così come quella di scarico, dovrà essere inferiore a 10 kN al minuto.

La prova comprende le seguenti fasi:

Prima fase

Tesatura iniziale dell'ancoraggio con una forza di allineamento P_a pari al valore minimo tra 50 kN e il 10% di P_p ; la corrispondente configurazione dell'ancoraggio costituisce il riferimento geometrico per la misura degli allungamenti ΔL .

Seconda fase

Tesatura con incrementi del carico fino al carico di prova P_p ; per ciascun livello di carico, la forza dovrà essere mantenuta costante per un intervallo di tempo sufficiente a rilevare l'andamento degli

allungamenti nel tempo; una possibile articolazione degli incrementi e delle durate del carico è indicata nella tabella 7.2.

Tab. 7.2 Modalità della prova di idoneità

Fase di carico	Carico applicato	Durata minima del carico (min) per la misura degli allungamenti			
		Ancoraggi temporanei		Ancoraggi permanenti	
		Roccia o Terreni incoerenti	Terreni a grana fine	Roccia o Terreni incoerenti	Terreni a grana fine
1	0,25 P_n	1	1	15	15
2	0,40 P_p	1	1	15	15
3	0,55 P_p	1	1	15	15
4	0,70 P_p	5	5	30	60
5	0,85 P_p	5	5	30	60
6	1,00 P_p	30	60	60	180

Per ogni singolo incremento di carico, si dovranno rilevare gli allungamenti con i seguenti tempi di lettura:

1, 2, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180 minuti

Nel corso di questa fase di prova devono essere tracciate le curve dell'allungamento in funzione del tempo in scala logaritmica, per tutte le soste a carico costante (Fig. 7.2a) e l'andamento del rapporto di creep α nel tratto rettilineo finale delle predette curve, in funzione del rapporto fra carico applicato P e carico di prova P_p (Fig. 7.2b).

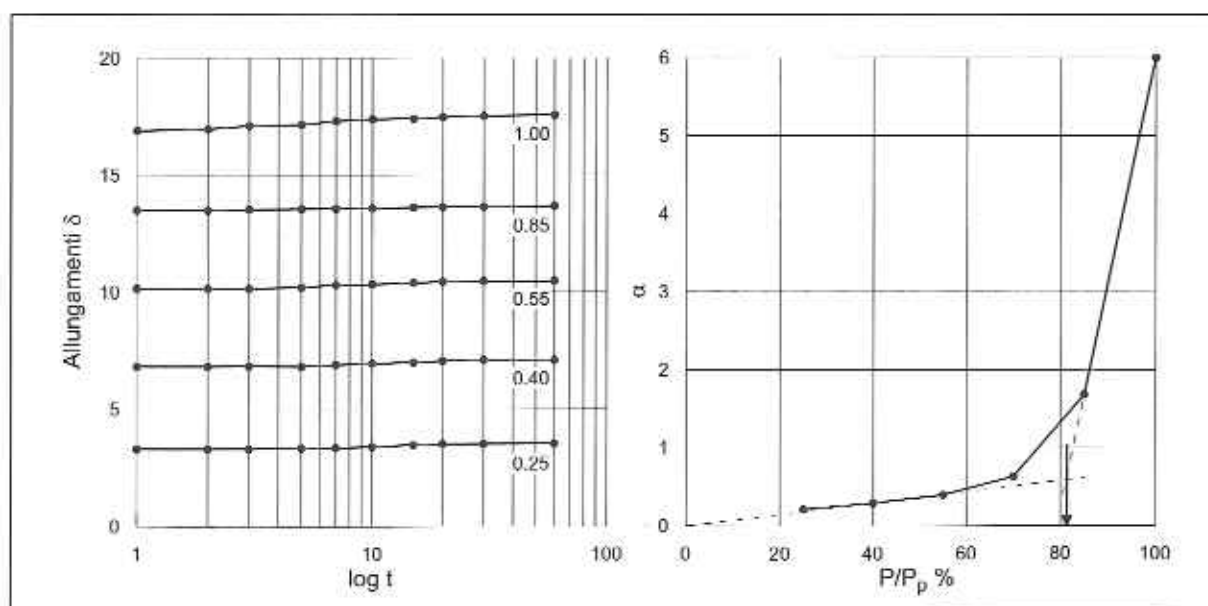


Fig. 7.2a – Diagramma tempo - allungamenti

7.2b – Diagramma rapporto di carico - α

Nel rispetto degli intervalli minimi suggeriti, una fase di carico può comunque considerarsi terminata se il corrispondente valore di α (per la determinazione di α vedi appendice A1) risulta maggiore di 2 mm.

I tempi di osservazione indicati nella precedente tabella 7.2, se necessario, potranno essere estesi opportunamente al fine di determinare con certezza il valore di α ; in particolare fino a 120' per ancoraggi in terreni incoerenti o in roccia e fino a 720' se in terreni a grana fine.

Terza fase

scarico fino al tiro di allineamento P_a in tre stadi, con sosta ad ogni gradino per il tempo necessario ad effettuare la lettura del relativo allungamento e misura dell'allungamento residuo ΔL_{per} al valore di P_a .

Al termine della prova viene tracciato il diagramma forze-allungamenti (Fig. 7.3).

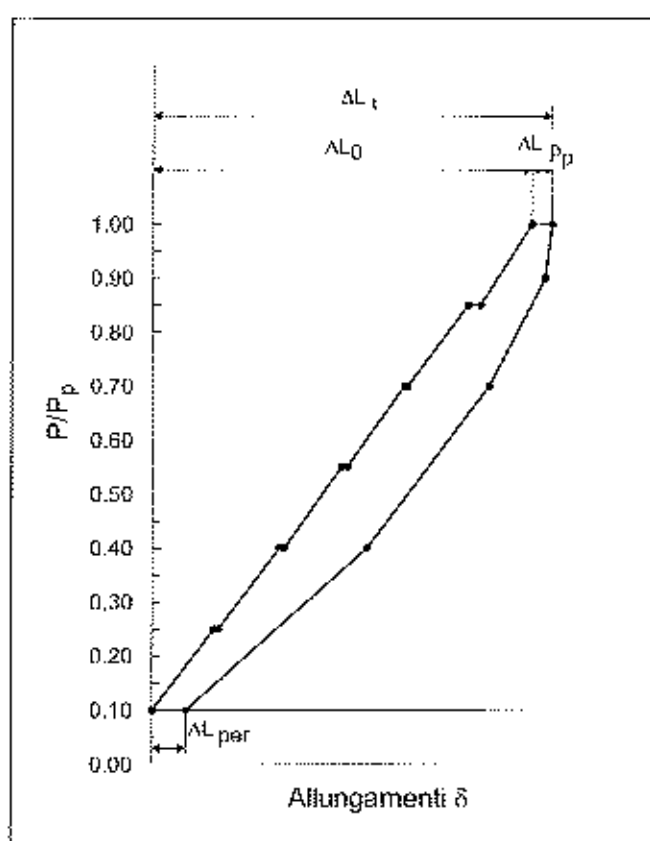


Fig. 7.3 – Diagramma forze - allungamenti

Si assume come valore misurato della resistenza a sfilamento dell'ancoraggio il valore $R_{s,m}$ come di seguito ottenuto:

- per tutti i terreni è il valore minimo del carico di prova per il quale risulta $\alpha \geq 2$ mm, e qualora la precedente condizione non sia applicabile:
 - *nel caso di roccia o terreno incoerente*: il massimo valore della forza applicata durante la prova anche se non si è raggiunto lo sfilamento dell'ancoraggio
 - *nel caso di terreno a grana fine*: il valore della forza di sfilamento ovvero il valore della forza per cui il diagramma di Fig. 7.2b presenta una evidente variazione di pendenza.

Inoltre, se non diversamente previsto dal progetto, l'idoneità dell'ancoraggio risulta accertata:

- 1) se gli spostamenti misurati e il rapporto di creep al carico di prova soddisfano i requisiti indicati nella seguente tabella 7.3.

Tab. 7.3 - Valori di riferimento degli allungamenti e del rapporto di creep α

	Ancoraggi temporanei		Ancoraggi permanenti	
	Roccia o terreni incoerenti	Terreni a grana fine	Roccia o terreni incoerenti	Terreni a grana fine
Carico di Prova	P_p	P_T	P_p	P_p
Prove con tempi di osservazione brevi				
t_1 (min)	10	20	20	60
t_2 (min)	30	60	60	180
Allungamento $\Delta\delta = \delta_2 - \delta_1$ (mm)	$\leq 0,7$ mm	$< 0,7$ mm	$\leq 0,7$ mm	$\leq 0,7$ mm
Prove con tempi di osservazione lunghi				
t_2 (minimo)	≥ 30	≥ 60	> 120	> 720
rapporto di creep α	$\leq 2,0$ mm	$< 2,0$ mm	$\leq 2,0$ mm	$\leq 2,0$ mm

- 2) se la lunghezza libera teorica L_t e la lunghezza libera apparente L_{app} dell'ancoraggio verificano le condizioni seguenti:

$$0,9 L_t \leq L_{app} \leq L_t + 0,5 L_t \tag{7.4}$$

dove L_t è la lunghezza della fondazione dell'ancoraggio e L_{app} si ricava in prima approssimazione con la seguente relazione

$$L_{app} = \frac{\Delta L \cdot A_s \cdot E_s}{P_p - P_a} \tag{7.5}$$

dove:

A_s è l'area della sezione di armatura

E_s è il modulo elastico del materiale di armatura

ΔL è l'allungamento elastico misurato al valore del tiro di prova

P_p, P_a sono i valori del tiro di prova e di allineamento

In base al valore della resistenza misurata, la prova consente di determinare, come indicato al § 6.4.2.1, il valore appropriato della resistenza caratteristica a sfilamento dell'ancoraggio e quindi di verificare che il tiro di progetto P_d risulti minore o uguale al valore di progetto della resistenza (R_{sd}) secondo la (6.1) del § 6.4.

8. COLLAUDI

8.1 GENERALITÀ

Il collaudo di un ancoraggio si esegue tramite la prova di accettazione.

Si definisce prova di accettazione di un ancoraggio la prova di tesatura non distruttiva per il controllo finale del dispositivo posto in opera.

La prova consiste in un ciclo semplice di carico e scarico dell'ancoraggio realizzato secondo una delle due modalità riportate al § 8.2.

La prova di accettazione deve essere effettuata su tutti gli ancoraggi prima o al momento della loro utilizzazione, comunque dopo che sia trascorso il tempo necessario alla maturazione della miscela utilizzata per realizzare la fondazione e quello occorrente, nel caso di terreni a grana fine sensitivi, per consentire al terreno di recuperare le proprietà meccaniche originali alterate nel corso delle operazioni di realizzazione dell'ancoraggio.

La prova di accettazione si esegue per:

- verificare che ogni ancoraggio sia idoneo a sopportare il carico massimo di prova
- verificare che, al massimo carico di prova, il valore degli allungamenti Δl o del rapporto di creep α risultino contenuti entro i limiti previsti
- determinare la lunghezza libera apparente l_{app} dell'ancoraggio.

8.2 MODALITÀ DELLA PROVA DI COLLAUDO

Il personale e le attrezzature da impiegare nel corso delle varie attività previste per le operazioni di collaudo debbono rispettare le prescrizioni di cui al § 7.2.

Il carico di prova coincide con il valore di collaudo P_c , tipicamente pari a $1,2 P_d$, essendo P_d il tiro di progetto dell'ancoraggio.

La prova può essere condotta secondo uno dei due metodi sotto riportati.

8.2.1 Metodo 1 - a carico costante

L'ancoraggio viene tesato, a partire da una forza di allineamento P_a , usualmente pari al valore minimo tra 50 kN e il 10% di P_c , fino al valore della forza di collaudo P_c in almeno 5 incrementi di carico con sosta, a ciascun incremento, per il solo tempo necessario alla misura del corrispondente allungamento (Fig. 8.1).

La velocità di applicazione del carico, così come quella di scarico, dovrà essere inferiore a 10 kN al minuto. La prova può essere condotta secondo la procedura indicata in Tabella 8.1 per i diversi tipi di terreno di fondazione dell'ancoraggio.

Al massimo carico di prova P_c il tiro viene mantenuto costante per un periodo di tempo Δt pari a 5 o 15 minuti, in funzione del tipo di terreno, misurando gli allungamenti dell'ancoraggio ai seguenti tempi:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 10 \rightarrow 15 \text{ minuti}$$

Qualora l'allungamento, al carico di prova, risultasse superiore a quello previsto per l'accettazione, il tempo di osservazione viene prolungato fino a poter determinare il corrispondente valore del rapporto di creep α :

- per ancoraggi in roccia o in terreni incoerenti almeno 30 minuti con lettura dell'allungamento a 5, 10, 20, 30 minuti
- per ancoraggi in terreni a grana fine almeno 60 minuti con misura dell'allungamento a 15, 30, 45 e 60 minuti.

Tab. 8.1 - Procedura di carico per la prova di accettazione

Fase di carico	Carico di prova	Durata minima del carico (min)	
		Rocce o terreni incoerenti	Terreni a grana fine
1	0,40 P_c	1	1
2	0,55 P_c	1	1
3	0,70 P_c	1	1
4	0,85 P_c	1	1
5	1,00 P_c	5	15

Al termine del periodo di osservazione al carico di prova P_c , dopo aver rilevato l'incremento di allungamento a tale carico (ΔL_{P_c}) (Fig. 8.1), l'ancoraggio viene scaricato al valore della forza di allineamento P_a in almeno tre fasi, con sosta ad ogni fase per il tempo necessario a rilevare il relativo allungamento.

I dati raccolti nel corso della prova consentono di:

- tracciare il diagramma degli allungamenti in funzione del carico (Fig. 8.1)
- tracciare, per i terreni a grana fine, il diagramma degli allungamenti in funzione del tempo (Fig. 8.2)
- determinare il valore di α al carico di collaudo se appropriato (cfr. appendice A1 per il calcolo di α)
- determinare l'entità dell'allungamento al carico di collaudo ΔL_{P_c}
- determinare il valore dell'allungamento permanente ΔL_{per}
- determinare la lunghezza libera apparente L_{app} (cfr. appendice B per il calcolo di L_{app}).

Se sono rispettati i criteri di accettazione di cui al § 8.3, l'ancoraggio può essere tesato e bloccato al valore della forza di tesatura P_t prevista dal progetto.

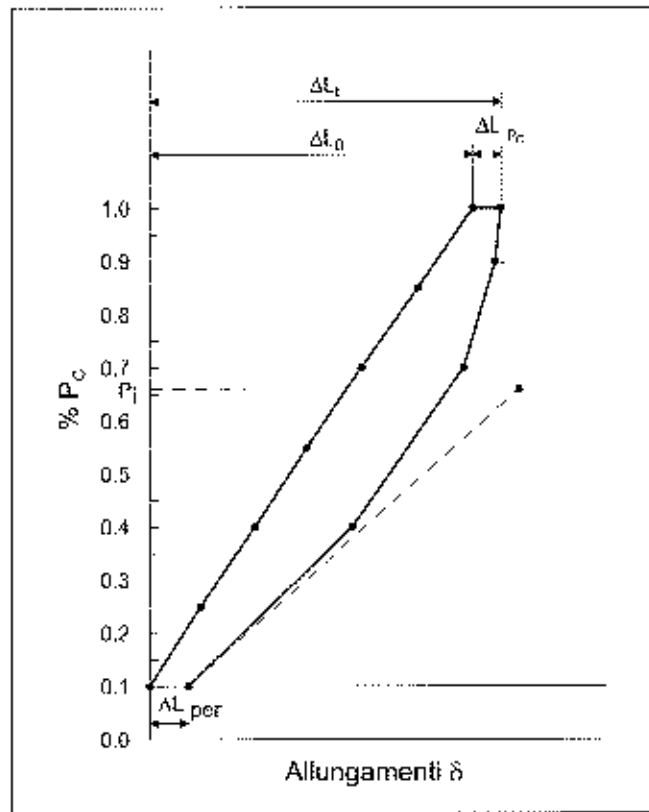


Fig. 8.1 - Diagramma forze - allungamenti

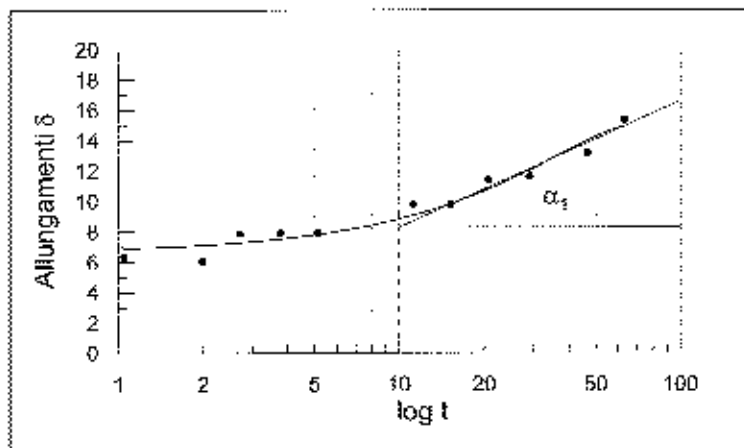


Fig. 8.2 - Diagramma allungamenti - tempo al carico di collaudo

Nota - Al termine della prova di accettazione e prima della tesatura al valore della forza P_i (forza di bloccaggio) può essere eseguito un ciclo di carico e scarico per valutare l'entità della forza di attrito e consentire una valutazione più accurata delle lunghezza libera apparente dell'ancoraggio e della forza effettiva applicata alla fondazione (cfr. appendice B per il calcolo di L_{app}).

8.2.2 Metodo 2 – ad allungamento costante

Il tirante viene tesato, a partire da una forza di allineamento P_0 , usualmente, pari al valore minimo tra 50 kN e il 10% di P_c , fino al valore della forza di collaudo P_c in almeno 5 incrementi di carico (Tab. 8.1), con sosta, a ciascun incremento per il solo tempo necessario alla misura del corrispondente allungamento.

La velocità di applicazione del carico, così come quella di scarico, dovrà essere inferiore a 10 kN al minuto.

L'allungamento ΔL_0 , ottenuto all'apice del ciclo di carico, viene mantenuto costante per un periodo di tempo Δt pari a 15 minuti.

Durante questa fase vengono rilevate le variazioni del carico ΔP ai seguenti tempi:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 10 \rightarrow 15 \text{ minuti}$$

Qualora la variazione del carico applicato (ΔP), durante il periodo di osservazione sopra richiamato, risultasse superiore al valore previsto per l'accettazione, il tempo di osservazione viene prolungato adeguatamente:

- per ancoraggi in roccia o in terreni incoerenti almeno 30 minuti con lettura dell'allungamento a 5, 10, 20, 30 minuti
- per ancoraggi in terreni a grana fine almeno 60 minuti con misura dell'allungamento a 15, 30, 45 e 60 minuti.

Al termine del periodo di osservazione ad allungamento costante, l'ancoraggio viene scaricato al valore della forza di allineamento P_0 , in almeno tre stadi; ad ogni stadio si deve rilevare il relativo allungamento (Fig. 8.3).

I dati raccolti nel corso della prova consentono di:

- tracciare il diagramma del carico in funzione degli allungamenti (Fig. 8.3)
- tracciare, per i terreni a grana fine, il diagramma delle variazioni del carico in funzione del tempo (Fig. 8.4)
- determinare l'entità della caduta di tensione nell'ancoraggio di prova ΔP in corrispondenza dell'allungamento ΔL_0 (Fig. 8.3)
- determinare il valore dell'allungamento permanente ΔL_{per}
- determinare la lunghezza libera apparente L_{app}

Se i criteri di accettazione di cui al § 8.3 risultano verificati, l'ancoraggio può essere tesato al valore P_c previsto in progetto e bloccato.

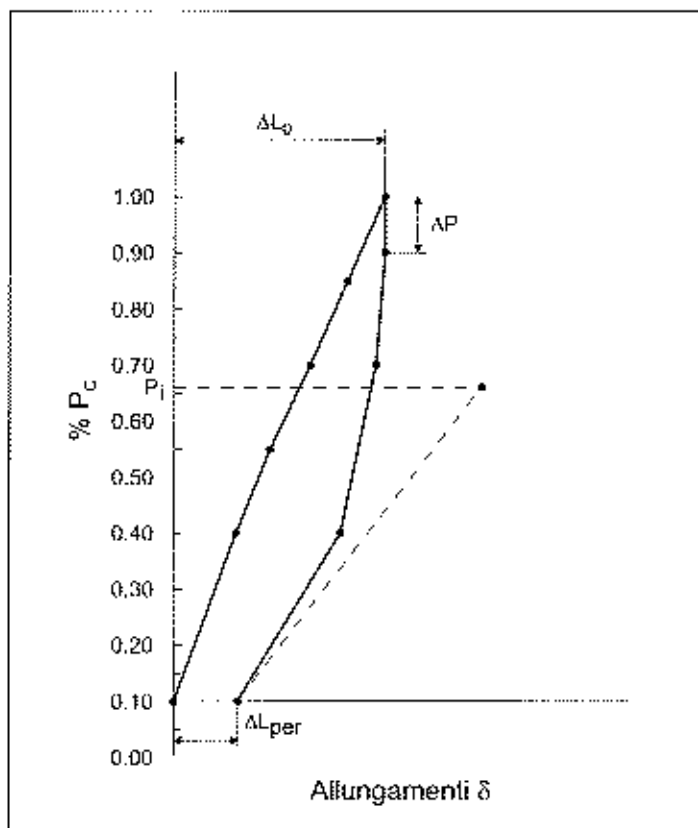


Fig. 8.3 Diagramma forze - allungamenti

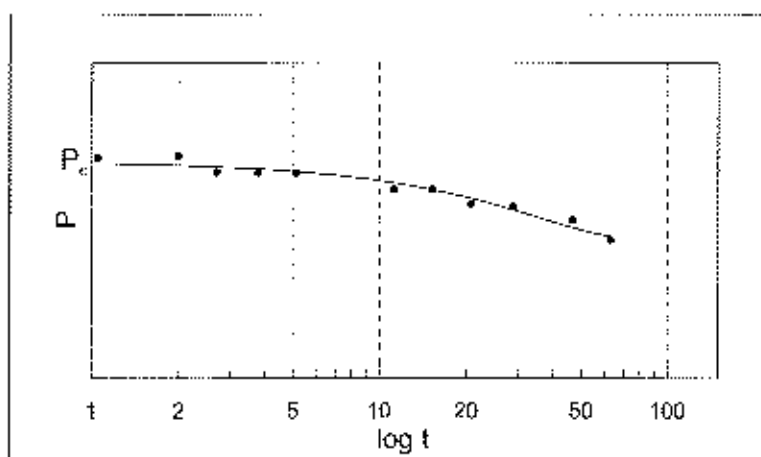


Fig. 8.4 -- Diagramma carico - tempo ad allungamento costante

8.3 ACCETTAZIONE DEGLI ANCORAGGI

Gli ancoraggi che non soddisfano i requisiti di collaudo sotto indicati vanno sostituiti con nuovi ancoraggi o opportunamente declassati.

8.3.1 Condizioni per l'accettazione

Per l'accettazione del singolo ancoraggio devono essere verificate le seguenti condizioni:

1) sul comportamento dell'ancoraggio nel tempo

a1) se la prova è condotta a carico costante (P_c)

il valore degli allungamenti $\Delta L_{0,6}$ o del rapporto di creep α devono risultare contenuti entro i limiti previsti dalla tabella 8.2

Tab. 8.2 - Valori di riferimento degli allungamenti e del rapporto di creep α

	Roccia o terreni incoerenti	Terreni a grana fine
Carico di Prova	P_c	P_c
Prove rapide		
t_1 (min)	2	5
t_2 (min)	5	15
Allungamento $\Delta L = L_2 - L_1$ (mm)	$\leq 0,5$	$\leq 0,6$
Prove con tempi di osservazione lunghi		
t_2 (minuti)	>30	>60
rapporto di creep α (mm)	$\leq 2,0$	$< 2,0$

a2) se la prova è condotta ad allungamento costante (ΔL_0)

la variazione della forza all'apice del ciclo deve risultare:

- inferiore al 3% della forza di collaudo ($\Delta P_c < 0,03P_c$) per 60 minuti di tempo di osservazione;
- inferiore al 6% della forza di collaudo ($\Delta P_c < 0,06P_c$) per 24 ore di tempo di osservazione.

b) per entrambi i tipi di prova l'allungamento permanente ΔL_{per} deve essere contenuto entro valori fissati dal progettista ed in ogni caso non deve superare il 10% dell'allungamento elastico ΔL .

2) sulla lunghezza libera apparente

La lunghezza libera apparente deve verificare le seguenti condizioni:

$$0,9 \cdot L_1 \leq L_{app} \leq L_t + 0,5 \cdot L_t \quad (8.1)$$

in cui L_{app} è data in prima approssimazione dalle espressioni di seguito riportate:

$$L_{app} = \frac{\Delta L_0 \cdot A_s \cdot E_s}{P_c - P_a} \quad (\text{prova a carico costante}) \quad (8.2)$$

valida nel caso in cui la forza di attrito che si sviluppa lungo il tratto libero dell'ancoraggio può essere trascurata (inferiore al 5% del carico di prova P_p)

$$L_{app} = \frac{\Delta L_0 \cdot A_s \cdot E_s}{P_c - P_a - \Delta P_f} \quad (\text{prova a carico costante}) \quad (8.3)$$

dove ΔP_f rappresenta la correzione del carico per tener conto dell'attrito nel tratto libero (vedi Appendice B).

$$L_{app} = \frac{\Delta L_0 \cdot A_s \cdot E_s}{(P_c - \Delta P) - P_a} \quad (\text{prova ad allungamento costante}) \quad (8.4)$$

9. REGISTRAZIONE DEI LAVORI

9.1 GENERALITÀ

Tutti i lavori devono essere accuratamente registrati. Nei paragrafi seguenti sono elencate le principali informazioni da registrare.

9.2 SITUAZIONI AMBIENTALI E GEOTECNICHE

Devono essere registrate tutte le informazioni geotecniche e idrauliche relative al sito ed i risultati delle prove su campioni in laboratorio.

9.3 MATERIALI

9.3.1 Acciaio d'armatura

Devono essere registrati tutti i dati tecnici riguardanti l'armatura usata.

9.3.2 Materie plastiche e simili

Devono essere registrate tutte le informazioni tecniche relative alle materie plastiche od altri materiali similari, usati per la confezione degli ancoraggi.

9.3.3 Grassi ed altre sostanze protettive

Devono essere registrati tutti i dati tecnici relativi ai grassi ed alle sostanze similari usate per proteggere gli ancoraggi dalla corrosione.

9.4 PROCEDIMENTI COSTRUTTIVI

9.4.1 Perforazioni

Devono essere registrati tutti i dati tecnici relativi alle perforazioni.

9.4.2 Prova d'acqua nei fori

Devono essere registrati tutti i dati tecnici relativi alle prove d'acqua nei fori.

C.9.4.2 Dati tecnici importanti sono, ad esempio, l'uso e la posizione dell'otturatore, la pressione ed il volume dell'acqua immessa, il tempo di misura, il grado di perdita e, se necessario, la cementazione e la ripetizione della prova.

9.4.3 Malte

Devono essere registrati tutti i dati tecnici riguardanti la malta e le iniezioni di malta.

C.9.4.3 La composizione ed il tipo di cemento, le miscele e l'acqua, compresa l'eventuale presenza di sostanze nocive, come cloruri e solfiti, oltre che i risultati dei test fondamentali sulla miscela, sono dati tecnici rilevanti.

9.4.4 Tesatura e prove

Devono essere registrati tutti i dati tecnici relativi alla tesatura ed alle prove.

C.9.4.4 La descrizione tecnica delle apparecchiature di tesatura e degli strumenti di misura (celle di carico, indicatori e così via) e per ciascun ancoraggio tutti i risultati tabulati secondo le sequenze di tesatura e di prova sono dati progettuali importanti.

9.5 RAPPORTO GENERALE

Ciascun lavoro dovrà essere descritto in un rapporto generale contenente tutte le registrazioni sopra elencate. Inoltre, deve contenere anche la descrizione della situazione esistente prima dell'inizio dei lavori riguardante:

- l'ambiente circostante
- gli edifici
- le strade
- le condutture
- le sorgenti
- la posizione in pianta ed in alzato di tutti gli ancoraggi previsti dal progetto
- tutte quelle notizie che possono essere di interesse per una corretta descrizione dei luoghi non comprese in quelle sopra richiamate.

APPENDICE A

A. 1 - CALCOLO DEL RAPPORTO DI CREEP

A. 2 - DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA LIMITE DI CREEP

A.1 – CALCOLO DEL RAPPORTO DI CREEP

Nel corso della prova di idoneità vengono tracciate le curve dell'allungamento (δ) in funzione del tempo in scala logaritmica per tutte le soste a carico costante (Fig. A.1).

Per ciascuna curva viene determinato il valore del coefficiente angolare (rapporto di creep) del tratto finale della curva dato da:

$$\alpha = (\delta_2 - \delta_1) / \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (\text{A.1})$$

dove:

α è il valore del coefficiente angolare

δ_1 è il valore dell'allungamento al tempo t_1

δ_2 è il valore dell'allungamento al tempo t_2

t_1 è il tempo subito dopo l'applicazione dell'incremento del tiro o di inizio dell'osservazione

t_2 è il tempo al termine del periodo di osservazione a carico costante

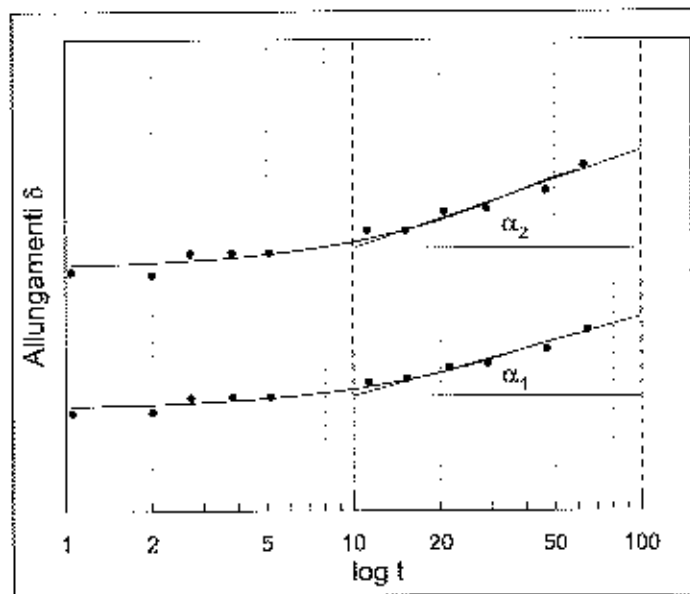


Fig. A.1 – Determinazione del rapporto di creep

Determinati i valori del rapporto di "creep", ai vari tiri crescenti della prova di idoneità, è possibile tracciare l'andamento di α in funzione del rapporto di tiro P_i/P_p (Fig. A.2) in cui:

P_i – valore del tiro relativo a ciascun incremento

P_p = valore del tipo di prova

A.2 – DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA LIMITE DI CREEP

Il valore della resistenza di "creep" (P_{creep}) di un ancoraggio è il valore del tiro corrispondente alla parte finale del primo tratto pseudolineare del diagramma $\alpha - P_j/P_p$.

A volte, non risultando semplice individuare il valore di P_{creep} , può essere usato, in alternativa, lo schema grafico sotto riportato dove il valore di P_{creep} viene determinato riducendo del 10% il valore del tiro P'_{creep} individuato dall'intersezione del segmento pseudolineare della prima parte del diagramma $\alpha - P_j/P_p$ con la linea costruita con gli ultimi punti del diagramma (Fig. A.2).

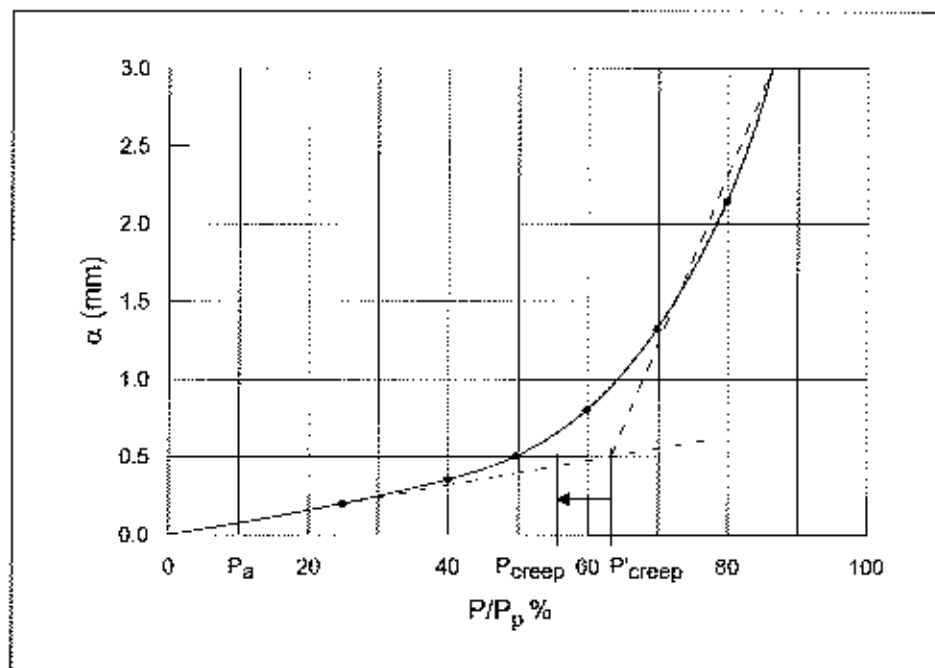


Fig. A.2 – Determinazione del valore della resistenza limite di "creep"

$$P_{creep} = 0,9 \cdot P'_{creep} \quad (A.2)$$

APPENDICE B

B. 1 - CALCOLO DELLA LUNGHEZZA LIBERA APPARENTE

B.1 CALCOLO DELLA LUNGHEZZA LIBERA APPARENTE

La lunghezza libera apparente di un ancoraggio (L_{app}) è la lunghezza del tratto non vincolato al terreno, calcolata sulla base dell'allungamento misurato nel corso di una prova, a partire dal punto di connessione con il martinetto di tesatura.

La lunghezza libera apparente può essere calcolata come segue:

$$l_{app} = \frac{\Delta L \cdot A_s \cdot E_s}{P_p - P_a - \Delta P_f} \quad (B.1)$$

dove:

A_s = area della sezione di armatura

E_s = modulo elastico del materiale di armatura

ΔL = allungamento elastico misurato

P_p, P_a = valori del tiro di prova e di allineamento

ΔP_f = correzione del carico per l'attrito nel tratto libero

Nella precedente espressione ΔP_f è un termine che rappresenta la forza di attrito che si sviluppa lungo il tratto libero e può essere trascurata quando è inferiore al 5% del carico di prova; se assume valori superiori, tale forza va portata in conto nella definizione sia del carico di collaudo sia del tiro di bloccaggio dell'ancoraggio.

Per stimare il valore della forza di attrito si può eseguire, al termine della sosta al carico di collaudo, un ciclo di scarico come indicato nello schema di figura B.1 e ricavare il valore ΔP_f dal primo tratto della curva di scarico considerato fino a quando non inizia a manifestarsi il recupero elastico.

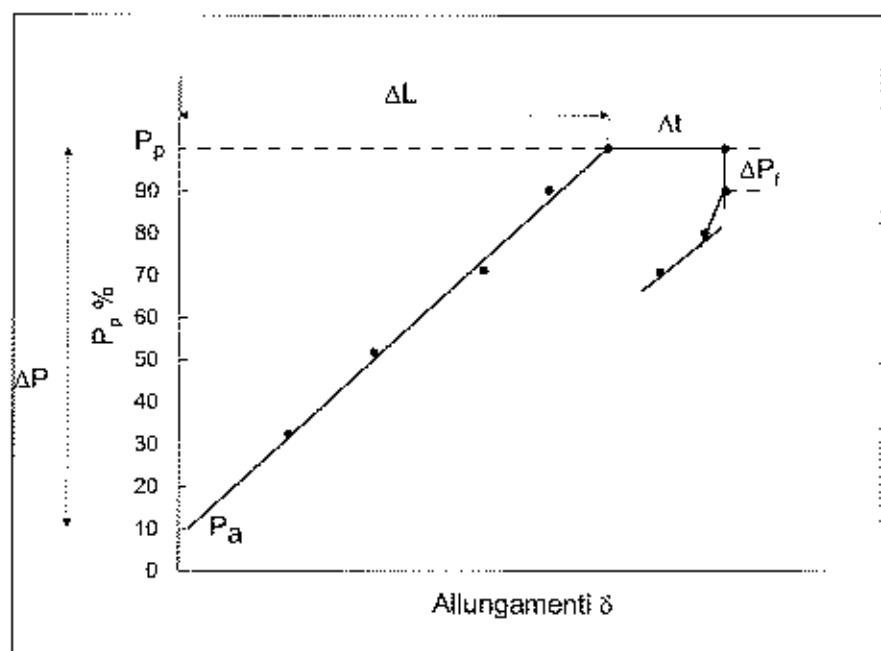


Fig. B.1 - Stima della rigidità elastica in presenza di attrito significativo

APPENDICE C

ESEMPIO DI RAPPORTO TECNICO

- C1 – RAPPORTO DI PERFORAZIONE
 - C2 – RAPPORTO DI INIEZIONE
 - C3 – RAPPORTO DI TESSATURA
-

C.1 - RAPPORTO DI PERFORAZIONE

COMMITTENTE: _____

CANTIERE: _____

LOCALITÀ: _____

	ANCORAGGIO N°				
CARATTERISTICHE DELL'ANCORAGGIO					
Ubicazione cfr. dis.					
Inclinazione sull'orizzontale (°)					
Lunghezza totale ancoraggio (L) (m)					
Lunghezza della fondazione (L _f) (m)					
PERFORAZIONE					
Data					
Metodi di perforazione					
Diametro di perforazione (mm)					
Rivestimento diametro (mm)					
da metri / a metri					
Stratigrafia					
A fino a m					
B fino a m					
C fino a m					
Perdita fluido di circolazione (si/no)					
da metri					
a metri					
Entità della perdita (lt/min)					
Iniezione di bonifica					
Tipologia d'iniezione					
da metri / a metri					
da metri / a metri					
Rapporto acqua/cemento A/C					
Cemento (tipo/kg)					
Pressione finale (bar)					
Riperforazione (m)					
PROVA DI TENUTA DEL FORO					
Data					
Tipo di fluido impiegato					
Pressione utilizzata (bar)					
Entità della perdita (lt/min)					
CEMENTAZIONE					
Data					
Cemento (tipo/kg)					
Additivo (tipo/%)					
Rapporto acqua/cemento A/C					
Pressione finale (bar)					

C.2 - RAPPORTO DI INIEZIONE

COMMITTENTE:
CANTIERE:
LOCALITÀ:

ANCORAGGIO N°	
CARATTERISTICHE DELL'ANCORAGGIO	
Diametro di perforazione (mm)	
Lunghezza totale ancoraggio (L) m	
Lunghezza della fondazione (L _f) m	
Lunghezza libera teorica (L _l) m	

INIEZIONE IN UNICA SOLUZIONE	
Data	
Tipo di miscela	
Rapporto acqua cemento (A/C)	
Quantità iniettata (kg)	
Pressione finale (bar)	

INIEZIONE A DUE STADI	Tratto libero		Tratto vincolato	
	1	2	1	2
Fasi				
Data				
Tipo di miscela				
Rapporto acqua cemento (A/C)				
Quantità iniettata (kg)				
Pressione finale (bar)				

INIEZIONE A PIÙ STADI	
INIEZIONE PRIMARIA	
Data	
Tipo di miscela	
Rapporto acqua cemento (A/C)	
Quantità iniettata (kg)	
Pressione finale (bar)	

INIEZIONE A PRESSIONE		Prima passata data ...				Seconda passata data ...			
Profondità da m a m	Valvola n°	Pressione rottura bar	Pressione iniezione bar	Pressione residua bar	Volume iniettato kg - lt	Pressione rottura bar	Pressione iniezione bar	Pressione residua bar	Volume iniettato kg - lt

C.3 - RAPPORTO DI TESATURA

COMMITTENTE: _____
 CANTIERE: _____
 LOCALITÀ: _____

ANCORAGGIO N.

CARATTERISTICHE DELL'ANCORAGGIO

Tipo d'impiego: Temp. \square Perm. \square

Tiro di collaudo P_c : kN

Forza di tesatura P_t : kN

Tiro di progetto P_d : kN

Lunghezza totale ancoraggio (L_t): m

Lunghezza della fondazione (L_f): m

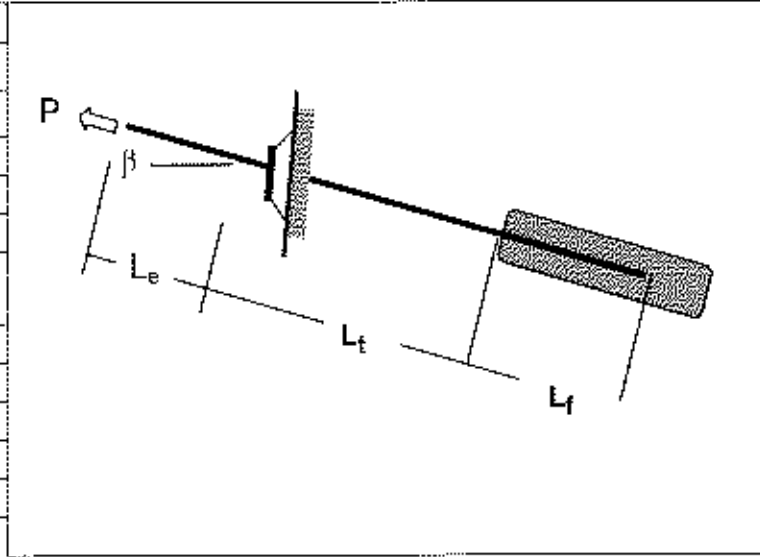
Lunghezza fibra teorica (L_{ft}): m

Lunghezza di estensione (L_e): m

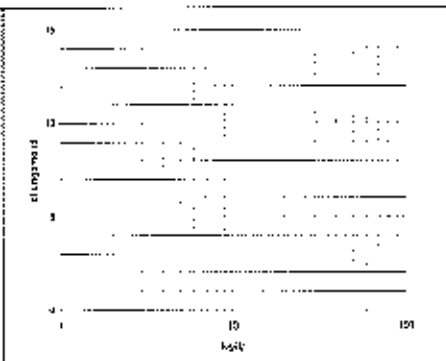
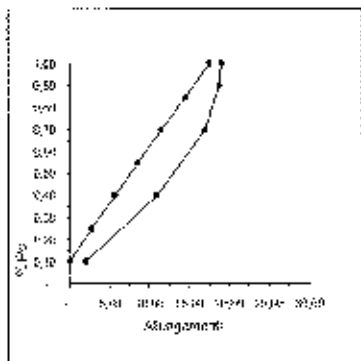
Tipo di armatura:

Sezione armatura (A_s): mm²

Modulo Elastico (E_s): kN/mm²



PROCEDURA DI CARICO	FASI DI CARICO						FASI DI SCARICO				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Incrementi di tiro (kN)											
Tiro (kN)											
Allungamento t=1 (mm)											
Allungamento t=2 (mm)											
Allungamento t=3 (mm)											
Allungamento t=5 (mm)											
Allungamento t=7 (mm)											
Allungamento t=10 (mm)											
Allungamento t=15 (mm)											
% di tiro	10	25	40	55	70	85	100	90	70	40	10
Data della prova:	Operatore: _____										
Osservazioni:	_____										



Allungamento:

$$\alpha = (\delta_2 - \delta_1) / \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \leq 2$$

Lunghezza libera apparente

$$L_{app} = \frac{A_{t2} \cdot A_s \cdot E_s}{P_c - P_a}$$

Diagramma: Allungamento - Carico Diagramma: Log(tempo) - Allungamento a P_c Verifiche

PRINCIPALI NORME E RACCOMANDAZIONI

Nella redazione del presente testo si è tenuto debito conto delle principali Norme e Raccomandazioni esistenti, connesse con l'argomento oggetto delle presenti raccomandazioni, e di seguito elencate alle quali si deve fare riferimento per quanto non esplicitamente richiamato:

NORME DI INTERESSE GENERALE

D.M. 14.01.2008	Norme Tecniche per le Costruzioni
C.S.LL.PP. Circol. n. 617/2009	Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008
UNI EN 1537	Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Tiranti di ancoraggio
Dir. 89/106/CEE (21.12.1988)	recepita in Italia dal DPR 21/04/1993, n. 246, così come modificato dal DPR 10/12/1997, n. 499, relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione
UNI CEI EN ISO/IEC 17050	Valutazione della conformità - Dichiarazione di conformità rilasciata dal fornitore
ETAG013	Sistemi di pre-tensionamento per la precompressione di strutture - Linea guida
ISO/DIS 22477-5	Geotechnical Investigation and Testing – Testing of Geotechnical Structures – Part 5: Testing of Anchorages
C.S.LL.PP. 17.06.2011	Linee guida per la certificazione dell'idoneità tecnica dei sistemi di precompressione a cavi post-tesi
C.S.LL.PP. 22.12.2011	Linee guida per la certificazione dell'idoneità tecnica dei tiranti di ancoraggio per uso geotecnico

EUROCODICI

EN 1990	Eurocode - Basis of structural design
EN 1991-1-1	Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings
EN 1992-1-1	Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings
EN 1993-1-1	Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings
EN1993-5	Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 5: Piling
EN 1997-1	Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 1: General rules
EN 1997-2	Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing
EN 1998-1	Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

ACCIAIO

UNI EN ISO 15630	Acciaio per calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso - Metodi di prova (serie di norme)
UNI EN 10210	Profilati cavi finiti a caldo di acciai non legati e a grana fine per impieghi strutturali (serie di norme)
UNI EN 10025	Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali (serie di norme)
prEN 10138	Prestressing Steels
ASTM S1P 741	Underground corrosion

CEMENTO

UNI EN 196	Metodi di prova dei cementi - Parte 1: Determinazione delle resistenze meccaniche (serie)
UNI EN 197	Cemento (serie)
UNI EN 14216	Cemento - Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi speciali a calore di idratazione molto basso
UNI EN 14647	Cemento alluminoso - Composizione, specificazioni e criteri di conformità
UNI EN 15743	Cemento sovrassolfatato - Composizione, specifiche e criteri di conformità
UNI 9156	Cementi resistenti ai solfati. Classificazioni e composizione
UNI 9606	Cementi resistenti al dilavamento della calce. Classificazione e composizione
UNI 10595	Cementi resistenti ai solfati e al dilavamento. Determinazione della classe di resistenza - Metodo chimico di prova
UNI 10764	Leganti idraulici microfini - Definizioni e requisiti

ACQUA D'IMPASTO

UNI EN 1008	Acqua d'impasto per il calcestruzzo - Specifiche di campionamento, di prova e di valutazione dell'idoneità dell'acqua, incluse le acque di recupero dei processi dell'industria del calcestruzzo, come acqua d'impasto del calcestruzzo
-------------	---

CALCESTRUZZO

UNI EN 206-1	Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
UNI 11104	Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
UNI EN 12350	Prova sul calcestruzzo fresco (serie di norme)
UNI EN 12390	Prova sul calcestruzzo indurito (serie di norme)
UNI 7122	Prova sul calcestruzzo fresco - Determinazione della quantità d'acqua d'impasto essudata
UNI 7123	Calcestruzzo. Determinazione dei tempi di inizio e fine presa mediante la misura della resistenza alla penetrazione

MALTA E BOIACCA

UNI EN 445	Boiaccia per cavi di precompressione - Metodi di prova
UNI EN 446	Boiaccia per cavi di precompressione - Procedimento di iniezione della boiaccia
UNI EN 447	Boiaccia per cavi di precompressione. Requisiti di base
UNI 7044	Determinazione della consistenza delle malte cementizie mediante l'impiego di tavola a scosse
UNI 7121	Malta normale. Determinazione del contenuto d'aria
UNI 7927	Malta. Determinazione della resistenza alla penetrazione e dei tempi di inizio e fine presa
UNI 6687	Malta normale. Determinazione del ritiro idraulico. Prova di laboratorio

ADDITIVI

UNI EN 480	Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione - Metodi di prova (serie di norme)
UNI EN 934	Additivi per calcestruzzo, malta e malta per iniezione (serie di norme)
UNI 8146	Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi - Idoneità e relativi metodi di controllo
UNI 8147	Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi - Determinazione dell'espansione contrastata della malta

UNI 8148	Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi - Determinazione dell'espansione contrastata del calcestruzzo
UNI 8149	Agenti espansivi non metallici per impasti cementizi. Determinazione della massa volumica
UNI 10765	Additivi per impasti cementizi - Additivi multifunzionali per calcestruzzo - Definizioni, requisiti e criteri di conformità

AGGREGATI

UNI EN 932	Prove per determinare le proprietà generali degli aggregati (serie di norme)
UNI EN 933	Prove per determinare le proprietà geometriche degli aggregati (serie di norme)
UNI EN 1097	Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati (serie di norme)
UNI EN 1367	Prove per determinare le proprietà termiche e la degradabilità degli aggregati (serie di norme)
UNI EN 1744	Prove per determinare le proprietà chimiche degli aggregati - Analisi chimica (serie di norme)
UNI EN 12620	Aggregati per calcestruzzo
UNI EN 13139	Aggregati per malta
UNI 8520	Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 (serie di norme)

BIBLIOGRAFIA

- British Standard Code of Practice for Ground Anchorages* - B.S.I., London, 1989
- Corrosion Protection of Prestressing Steels* - FIP Commission II and IV - State of the Art Report, Draft Oct. 1991
- Grouting of Tendons in Prestressed Concrete* - FIP Commission on Practical Construction - Telford, London, 1990
- Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage* - Bureau Securitas, Paris, 1986
- Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors* - PTI, Phoenix, 1986
- Tirants d'ancrage* - STA, Zurich, 1977
- Verpressanker* - DIN 4125 Teil 1, Berlin 1988; Teil 1 A1, Berlin, 1988
- Anchors in Theory and Practice*. In Widmann R. (ed.) Proc. Int. Symp., Salzburg, 1995, Balkema.
- Bustamante M. & Doix B.* (1985). Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés. Bull. Liason Lab Ponts et Chaussées, 140, pp. 75-95.
- Hanna T.H.* (1982). Foundations in Tension. Trans. Tech Publications, Series on Rock and Soil Mechanics Vol 6.
- Ostermayer H.* (1974). Construction, carrying behaviour and creep characteristics of ground anchors. Proc. Diaphragm walls and Anchorages Conference, pp 141-152, London.
- Ostermayer H. & Scheele H.* (1977). Research on ground anchors in non-cohesive soils. Proc. IX Int. Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, Specialty Session 4, pp. 92-97, Tokyo.
- Panet M.*: Renforcement des fondations et des talus à l'aide d'ancrages actifs et passifs. 7th Congr. Int. Soc. Rock Mech., p. 1569-1580, Montreal, 1987
- Xanthakos P.* (1991). Ground anchors and anchored structures. John Wiley and Sons.

INDICE GENERALE

SIMBOLOGIA.....	13
1. GENERALITA'	15
1.1 Tipi di ancoraggio	15
1.2 Campo di applicazione delle Raccomandazioni.....	15
1.3 Deroghe alle presenti Raccomandazioni.....	15
2. TERMINOLOGIA RELATIVA AGLI ANCORAGGI	16
2.1 Terminologia di uso corrente	16
2.2 Parti funzionali dell'ancoraggio.....	17
2.3 Elementi costitutivi dell'ancoraggio.....	18
2.4 Classificazione degli ancoraggi.....	18
2.4.1 Denominazione in base alla tensione iniziale	18
2.4.2 Denominazione in base alla possibilità di controllo delle variazioni di tensione.....	19
2.4.3 Denominazione in base alla durata di esercizio.....	19
2.5 Tipologia degli ancoraggi.....	19
2.5.1 In base al dispositivo di bloccaggio	19
2.5.2 In base all'armatura	19
2.5.3 In base alla guaina.....	19
2.5.4 In base al dispositivo di ancoraggio al terreno	19
3. SITUAZIONI AMBIENTALI E GEOTECNICHE	21
3.1 Generalità.....	21
3.2 Finalità delle indagini.....	21
3.3 Estensione delle indagini.....	21
3.4 Elementi di base da definire.....	22
3.4.1 Situazione topografica	22
3.4.2 Situazione geologica	22
3.4.3 Situazione geotecnica	22
3.4.4 Situazione ambientale	23
3.4.5 Opere ed interventi di modesta rilevanza	23
4. MATERIALI COMPONENTI E TECNOLOGIE COSTRUTTIVE	24
4.1 Generalità.....	24
4.2 Armatura	24
4.2.1 Acciai.....	24
4.2.2 Altri materiali.....	24
4.3 Accoppiatori	24
4.4 Testata dell'ancoraggio	24
4.4.1 Piastre di ripartizione.....	26
4.4.2 Compatibilità dei componenti	26
4.5 Distanziatori e dispositivi di contraggio.....	26

4.6	Separazione tra parte libera e fondazione	26
4.7	Condotti di iniezione	27
4.8	Elementi di protezione	27
4.8.1	Guaine e tubi di plastica.....	27
4.8.2	Guaine termo-restringenti.....	28
4.8.3	Dispositivi di tenuta	28
4.8.4	Acciai ingrassati ed inguainati.....	28
4.9	Fabbricazione	29
4.10	Trasporto - Manipolazione - Posa	29
4.11	Miscele di iniezione e loro componenti	29
4.11.1	Componenti	29
4.11.1.1	Cemento	29
4.11.1.1.1	Requisiti.....	30
4.11.1.2	Acqua.....	30
4.11.1.3	Aggregati.....	30
4.11.1.4	Additivi.....	30
4.11.1.5	Resine	30
4.11.2	Miscele di iniezione con legante cemento.....	30
4.11.2.1	Requisiti	31
4.11.2.2	Controlli	31
4.11.3	Miscele di iniezione speciali.....	32
4.12	Metodi di perforazione	32
4.12.1	Disposizioni generali	32
4.12.2	Scelta del metodo di perforazione.....	32
4.12.3	Tolleranze.....	33
4.12.4	Prova di tenuta.....	33
4.13	Connessione al terreno – Iniezione dell'ancoraggio	33
4.13.1	Modalità di iniezione	33
4.14	Tesatura.....	34
4.14.1	Disposizioni generali	34
4.15	Rapporto tecnico.....	35
5.	PROTEZIONE CONTRO LA CORROSIONE.....	36
5.1	Situazioni ambientali aggressive per gli ancoraggi.....	36
5.1.1	Premessa di carattere generale	36
5.1.2	Individuazione delle situazioni potenzialmente aggressive.....	36
5.1.2.1	Situazione potenzialmente aggressiva nei confronti dell'acciaio.....	36
5.1.2.2	Situazione potenzialmente aggressiva nei confronti della malta di iniezione.....	37
5.2	Caratteristiche di un sistema di protezione contro il degrado chimico-fisico dei materiali impiegati.....	38
5.2.1	Requisiti della progettazione	38
5.2.2	Caratteristiche di un sistema di protezione contro la corrosione.....	38
5.2.3	Spessori minimi di ricoprimento delle armature e dispositivi di centraggio	38
5.2.4	Protezione delle testate di ancoraggio nel caso di impiego anche parziale di materiali diversi dalle malte cementizie.....	38
5.3	Materiali e metodi per la protezione contro la corrosione.....	39
5.3.1	Guaine e tubi di plastica.....	39
5.3.2	Malta cementizia	39

5.3.3	Miscelo a base di resina	39
5.3.4	Prodotti anticorrosione.....	39
5.3.5	Rivestimenti metallici di protezione	39
5.3.6	Altri rivestimenti su parti in acciaio	39
5.3.7	Tubi e cappucci o calotte in acciaio	40
5.3.8	Protezione catodica	40
5.4	Applicazione di protezione anticorrosione.....	40
5.4.1	Generalità	40
5.4.2	Lunghezza libera	41
5.4.3	Lunghezza di fondazione.....	41
5.4.4	Raccordo fra testata dell'ancoraggio e lunghezza libera	41
5.4.5	Testata dell'ancoraggio.....	42
5.4.5.1	Ancoraggi temporanei	42
5.4.5.2	Ancoraggi permanenti	42
5.5	Controlli della protezione con prove di sistema.....	43
6.	PROGETTO.....	44
6.1	Generalità.....	44
6.2	Elementi di base per il progetto	44
6.2.1	Caratteristiche delle opere	44
6.2.2	Situazioni ambientali.....	44
6.2.3	Requisiti prestazionali.....	45
6.2.4	Definizione degli stati limite	45
6.3	Analisi di stabilità globale.....	45
6.3.1	Condizioni di impiego particolari	48
6.4	Verifica locale	49
6.4.1	Lunghezza dell'ancoraggio.....	49
6.4.2	Resistenza allo sfilamento della fondazione	50
6.4.2.1	Resistenza determinata in base ai risultati di prove di progetto.....	50
6.4.2.2	Resistenza determinata in base a metodi di calcolo analitici	51
6.4.2.2.1	Metodo 1.....	52
6.4.2.2.2	Metodo 2.....	53
6.4.3	Sezione di armatura.....	57
6.4.4	Forza di tesatura e forza effettivamente agente nell'ancoraggio.....	57
6.4.5	Resistenza limite di sfilamento di ancoraggi in gruppo	58
6.5	Monitoraggio degli ancoraggi permanenti e degli ancoraggi utilizzati per opere che interessano l'incolumità delle persone	58
6.6	Contenuti fondamentali del progetto	59
6.6.1	Aspetti generali	59
6.6.2	Dimensionamento del sistema di ancoraggio.....	59
6.6.3	Ancoraggi preliminari di prova.....	60
6.6.4	Ulteriori aspetti tecnici da valutare	60
6.7	Aspetti legali da tenere presenti	60
7.	ANCORAGGI PRELIMINARI DI PROVA	61
7.1	Generalità.....	61
7.2	Dispositivo di prova.....	61

7.3	Scopo e obbligatorietà delle prove di progetto	62
7.3.1	Numero degli ancoraggi di prova	63
7.4	Modalità di prova	64
7.4.1	Esecuzione della prova di sfilamento	64
7.4.2	Esecuzione della prova di idoneità	65
8.	COLLAUDI	69
8.1	Generalità	69
8.2	Modalità della prova di collaudo	69
8.2.1	Metodo 1 - a carico costante	69
8.2.2	Metodo 2 - ad allungamento costante	72
8.3	Accettazione degli ancoraggi	74
8.3.1	Condizioni per l'accettazione	74
9.	REGISTRAZIONE DEI LAVORI	76
9.1	Generalità	76
9.2	Situazioni ambientali e geotecniche	76
9.3	Materiali	76
9.3.1	Acciaio d'armatura	76
9.3.2	Materie plastiche e simili	76
9.3.3	Grassi ed altre sostanze protettive	76
9.4	Procedimenti costruttivi	76
9.4.1	Perforazioni	76
9.4.2	Prova d'acqua nei fori	76
9.4.3	Malte	77
9.4.4	Tesatura e prove	77
9.5	Rapporto generale	77
APPENDICE A	79
APPENDICE B	83
APPENDICE C	87
PRINCIPALI NORME E RACCOMANDAZIONI	93
BIBLIOGRAFIA	97
INDICE GENERALE	99