

La standardizzazione delle opere provvisionali

3.1 Le schede STOP

Lo scenario generatosi dopo il terremoto dell’Aquila ha evidenziato la necessità di mettere in sicurezza gli edifici anche con il fine di ripristinare la viabilità principale compromessa da potenziali crolli. Ci si è trovati nella condizione di agire su larga scala e in scenari operativi critici, il che ha richiesto rapidità, efficacia e, per quanto possibile, uniformità d’azione. La risposta è dunque stata, giocoforza, la messa in atto di una pluralità coordinata di interventi di soccorso tecnico urgente.

L’istituzione del Nucleo di Coordinamento delle Opere Provvisionali ha risposto all’esigenza di attuare, da parte dei Vigili del Fuoco, una massiccia ed estesa opera di messa in sicurezza del patrimonio edilizio abruzzese colpito dal terremoto dell’aprile 2009. Tra i mandati affidati a tale Nucleo vi erano quelli di garantire l’uniformità nelle realizzazioni delle opere provvisionali ed elaborare standard progettuali e soluzioni tipo per rendere più rapide ed efficaci le operazioni.

Al fine di raggiungere tali obiettivi, il Nucleo ha condotto un’analisi preliminare del problema, sviluppata sulla base di osservazioni sul campo, con lo scopo di individuare le esigenze e le criticità operative. I risultati dell’analisi hanno consentito di individuare le strategie di azione nell’ambito di una specifica filosofia di progetto.

Le esigenze riscontrate hanno evidenziato la necessità di:

- fornire indicazioni pratiche sul piano realizzativo;
- mettere a punto strumenti “pompieristici”, ossia utilizzabili dai Vigili del Fuoco nel contesto di emergenza post-sisma;
- fornire soluzioni pre-codificate applicabili su larga scala, individuando soluzioni tipo, associate a scenari di riferimento.

Le valutazioni derivanti dall’analisi preliminare hanno suggerito la progettazione di strumenti di supporto alle decisioni utili anche, e soprattutto, nella fase realizzativa degli interventi. Nell’elaborazione sono stati adottati i seguenti criteri progettuali:

- messa a punto di schede tecniche per la realizzazione delle opere provvisionali (STOP - Schede Tecniche delle Opere Provvisionali);
- progettazione inversa e contestualizzata, ossia ricerca di soluzioni progettuali definite a partire dai materiali e dalle tecniche disponibili, e non viceversa come avviene nella progettazione ordinaria;
- capitalizzazione del know-how del CNVVF per la sistematizzazione e diffusione delle conoscenze.

3.1.1 Filosofia di progetto delle schede STOP

La progettazione delle schede STOP è stata impostata tenendo conto, innanzitutto, dello scenario nell’ambito del quale le schede dovevano essere

utilizzate – la fase di emergenza post sisma – e delle relative condizioni al contorno.

La filosofia di progetto ha portato quindi a concepire le schede come strumenti di supporto alle decisioni nelle diverse fasi, dalla pianificazione degli interventi alla loro realizzazione, in modo da rispondere alle seguenti esigenze:

- spiegare agli operatori che intervengono sul campo l'obiettivo che si intende perseguire con l'installazione di una determinata opera provvisoria e i criteri che devono essere adottati per la scelta della tipologia e per la corretta realizzazione dell'opera;
- evidenziare i punti di criticità su cui porre maggiore attenzione per garantire l'efficacia dell'opera;
- tenere conto dei problemi di sicurezza degli operatori durante tutte le fasi realizzative;
- fornire dettagli costruttivi, con particolare riferimento agli aspetti di maggiore criticità;
- velocizzare e standardizzare le operazioni di messa in sicurezza anche al fine di tener conto degli avvicendamenti tra le squadre operanti.

Le esigenze di sicurezza, gli scenari e le particolari condizioni operative hanno portato a definire specifici criteri generali di progetto. Tali criteri, in particolare, hanno cercato di tener conto:

- dell'attenzione alla sicurezza degli operatori chiamati ad operare in una fase in cui possono ripetersi scosse, anche violente;
- delle condizioni operative in cui i Vigili del Fuoco sono chiamati ad operare;
- della necessità di ricercare soluzioni riferite a scenari tipo, conservative e capaci di garantire modularità e semplicità esecutiva;
- del dimensionamento riferito ad un'azione sismica di riferimento per ambiti territoriali omogenei;
- dell'attenzione da prestare ai punti critici, quali i giunti fra le membrature delle opere provvisorie.

Inoltre, a fronte delle necessità di mettere in sicurezza gli edifici in tempi limitati, con maestranze dei Vigili del Fuoco che operano secondo turni che comportano avvicendamenti durante la realizzazione di una stessa opera e in un ambiente di lavoro a rischio, si è optato per:

- definire soluzioni tipo in modo da uniformare modalità e tecniche realizzative e facilitare i passaggi di consegne negli avvicendamenti del personale;
- semplificare quanto più possibile la scelta dei materiali da utilizzare tenendo conto di fattori quali semplice reperibilità e manovrabilità;

- semplificare quanto più possibile le soluzioni ed i particolari costruttivi, utilizzando, ad esempio, travi a sezione quadrata dimensionate con riferimento all'elemento maggiormente sollecitato, in modo tale da rendere notevolmente più semplice la realizzazione dei giunti e il computo a piè d'opera del materiale necessario per la sua realizzazione;
- semplificare la fase realizzativa (preparazione e montaggio) cercando, per quanto possibile, di operare in condizioni di sicurezza preferendo il pre-assemblaggio dell'opera, o di parti di essa, in zona di sicurezza.

Infine, per facilitarne l'utilizzo operativo, le schede sono state strutturate seguendo i punti chiave del ragionamento da porre in atto sul campo, e quindi organizzate secondo i seguenti tre *steps* fondamentali:

1. scelta della tipologia di opera, sulla base di un preliminare riconoscimento del cinematismo da presidiare;
2. dimensionamento dell'opera, con l'ausilio di opportuni abachi e tabelle;
3. esecuzione, supportata da avvertimenti sulle criticità globali e locali da gestire, da indicazioni sui particolari costruttivi da adottare per eliminare o controllare le criticità e da avvertenze di carattere generale o specifico da seguire per una corretta realizzazione.

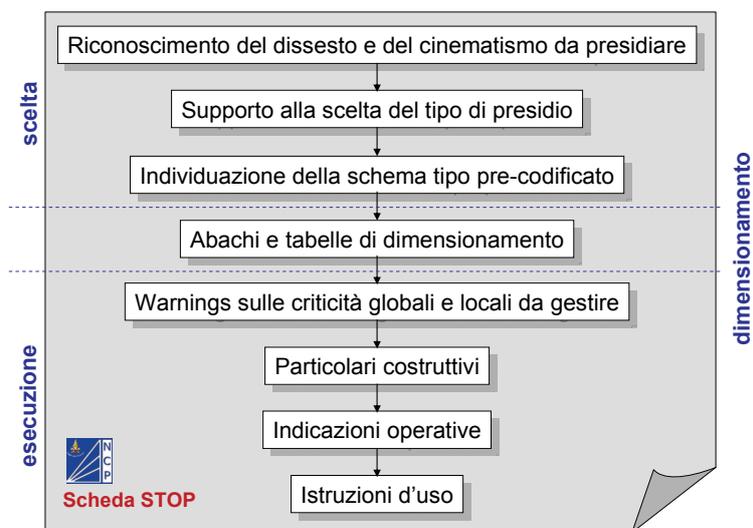


Figura 3.1 Struttura logica delle schede STOP.

Le considerazioni sopra espone e la necessità di standardizzare quanto più possibile l'opera hanno suggerito di ricorrere ad una "pre-progettazione" delle opere per "scenari di riferimento". Ciò, come si vedrà in seguito, ha consentito di pervenire al "Vademecum STOP" che può essere interpretato come una sorta di catalogo di opere pre-dimensionate in funzione di specifiche richieste prestazionali e di determinate variabili geometrico/tipologiche osservabili sul campo. Tale strumento costituisce il riferimento di rapido utilizzo per identificare la soluzione da adottare una volta caratterizzate le variabili richieste dallo specifico problema da affrontare.

3.2 Criteri generali di progetto

I criteri generali di progetto sono stati concepiti tenendo conto della necessità di procedere con la progettazione contestualizzata di interventi tecnici urgenti.

Si è optato, quindi, per l'individuazione di soluzioni standardizzate, definite attraverso una preventiva tipizzazione e dimensionamento delle opere per "scenari di riferimento", tenendo conto sia del contesto operativo sia delle tempistiche di realizzazione.

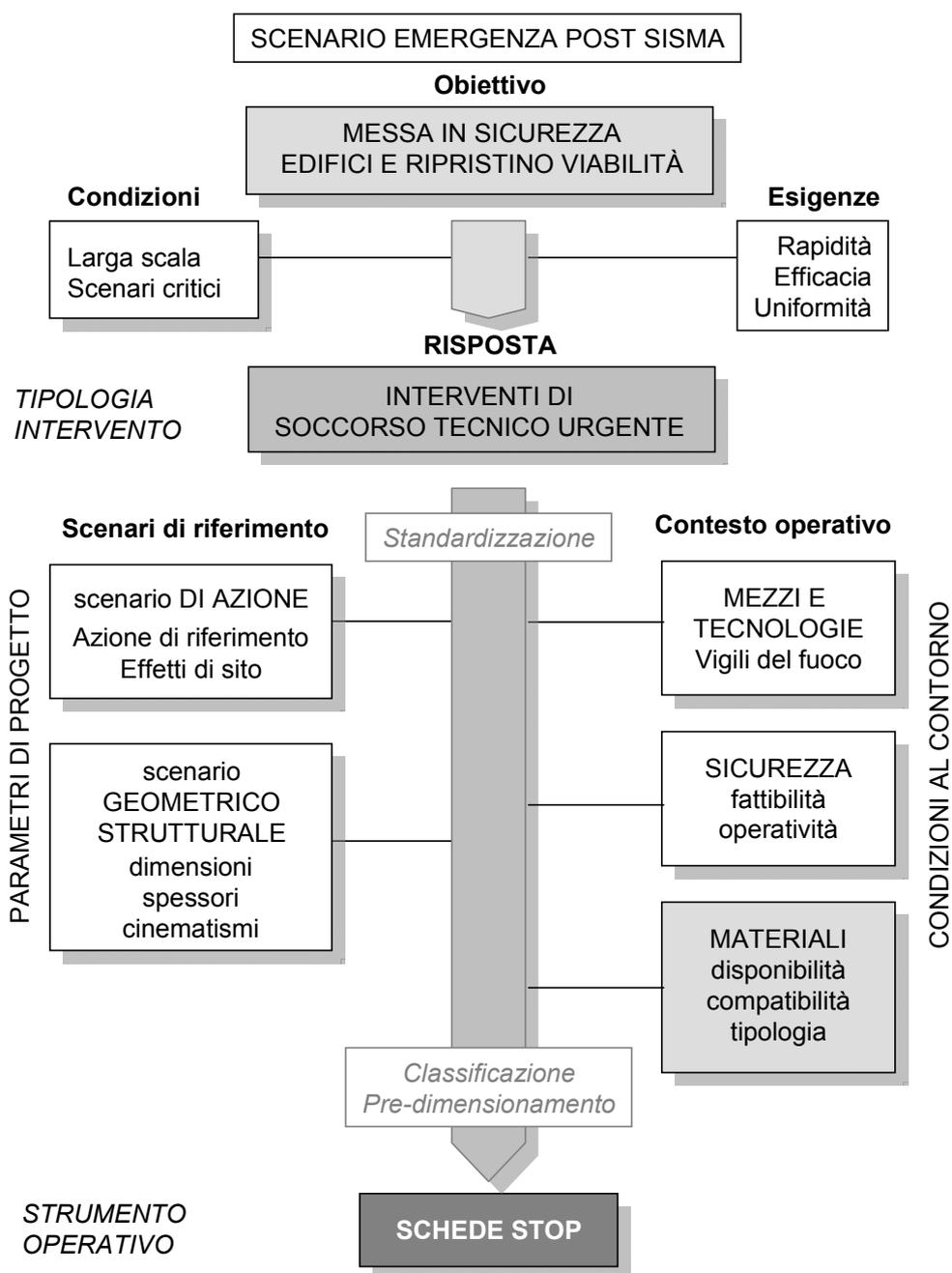


Figura 3.2 Schema logico dei criteri di progetto delle schede STOP.

Ulteriori elementi considerati nella progettazione delle opere provvisionali sono legati alle seguenti problematiche:

- la compatibilità dei materiali in relazione ai beni e valori da tutelare;
- la specificità delle attrezzature e delle tecniche di intervento dei Vigili del Fuoco;
- la sicurezza degli operatori, sia in rapporto alla fattibilità sia all'operatività legata al tipo di materiali disponibili.

Prendendo in considerazione tutti questi elementi si è proceduto con la preventiva classificazione di casistiche rappresentative, la definizione di soluzioni tipo e il relativo pre-dimensionamento; infine sono state elaborate le relative schede tecniche contenute nel Vademecum STOP.

Nel seguito si descrivono, con maggiore dettaglio, i criteri adottati nei procedimenti di standardizzazione e dimensionamento, con particolare riferimento alle azioni di progetto e ai materiali.

3.2.1 Azione sismica di riferimento

Un terremoto distruttivo che comporta danni alle strutture tali da richiedere interventi di messa in sicurezza, anche con l'impiego di opere provvisionali, solleva la necessità di definire l'azione rispetto alla quale le stesse opere devono essere dimensionate.

Solitamente, per definire condizioni di sicurezza di parti strategiche del territorio (ad esempio la viabilità principale) o per obiettivi di salvaguardia dei beni storico-monumentali, tali opere devono essere realizzate già dalle prime fasi dell'emergenza sismica.

Da un punto di vista funzionale, infatti, l'opera provvisoria per la messa in sicurezza delle costruzioni danneggiate ha la finalità di contrapporsi alla ulteriore mobilitazione dei cinematismi attivati e contenere, per quanto possibile, la prosecuzione del danno evitando quanto meno il crollo, ovvero fungere da elemento protettivo di aree operative o che permettono lo svolgimento di funzioni strategiche.

Se l'opera è realizzata già nella fase dell'emergenza sismica, la sua prestazione deve essere riferita alle sollecitazioni che si possono produrre nel breve periodo dopo la scossa principale. L'azione di progetto da considerare nel dimensionamento delle opere provvisorie deve, pertanto, essere riferita alle ulteriori azioni sismiche ragionevolmente prevedibili nella fase temporale immediatamente successiva alla sua installazione nell'area di intervento.

Qualora la realizzazione avvenga nella fase immediatamente post-evento, è quasi certo che l'opera provvisoria installata sarà più volte chiamata a reagire ad ulteriori azioni sismiche severe, tanto più quanto la scossa principale è stata violenta e tanto più quanto l'opera provvisoria è installata nel breve periodo rispetto alla scossa principale.

Qual è dunque l'azione sismica da porre alla base del dimensionamento dell'opera? Al riguardo l'esperienza insegna che dopo un terremoto distruttivo si susseguono altre scosse violente la cui intensità, solitamente, non supera quella della scossa principale, a meno che non si attivino altri terremoti in zone sismogenetiche limitrofe. In tale fase acuta, gli ipocentri delle varie scosse interessano diverse parti della faglia o sistema di faglie attivate.

Partendo da tali considerazioni, un criterio che può essere seguito per definire l'entità dell'azione rispetto alla quale progettare le opere che vengono installate nel breve termine può essere quello di considerare un'azione paragonabile a quella che ha determinato il danno che ha richiesto l'introduzione dell'opera provvisoria.

Pare invece meno adeguato seguire il criterio adottato dalla normativa antisismica, riferito a valori derivati da analisi di *hazard* probabilistico, per due principali ragioni:

- l'evento principale è già avvenuto e potrebbe essersi rivelato diverso da quello previsto nelle analisi di *hazard*;
- si esce dal campo delle valutazioni probabilistiche a medio e lungo termine e si entra in quello delle osservazioni post-evento nel breve termine.

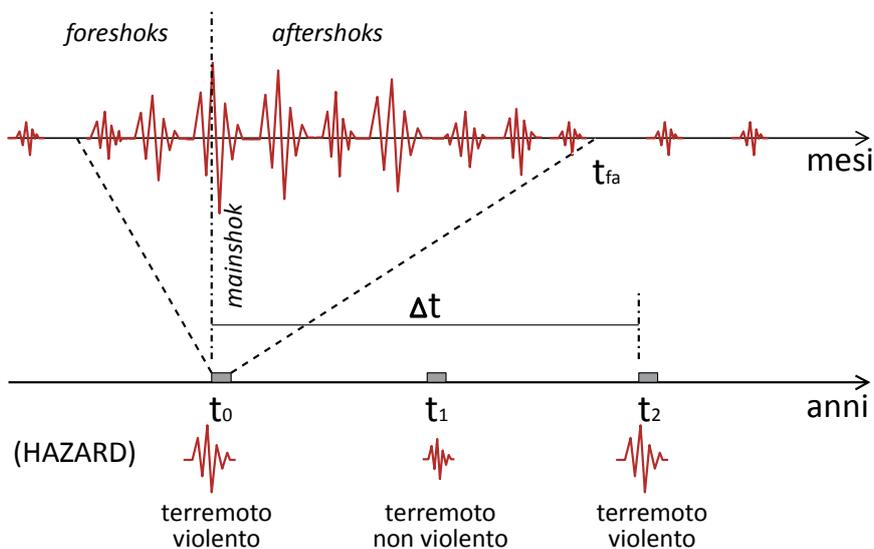


Figura 3.3 Le valutazioni di *hazard* si basano su calcoli probabilistici degli eventi *mainshok* nel lungo termine nei quali non si considerano gli *aftershocks*. Per la definizione delle azioni sismiche attese nella fase dell'emergenza post-sismica le previsioni di *hazard* perdono di significatività ed è più corretto riferirsi a criteri macrosismici.

In assenza di dati strumentali estesi sul territorio, una quantificazione dell'azione sismica effettivamente associata all'evento principale può essere derivata per via empirica a partire dal grado di intensità macrosismica osservato nell'area di intervento.

I valori di intensità possono, infatti, essere empiricamente correlati a valori rappresentativi di accelerazione al suolo. La necessità di introdurre opere provvisionali può essere associata al grado di intensità macrosismica risentita. L'esigenza di installazione sarà puntuale nelle aree che hanno registrato un grado di intensità macrosismica inferiore a VIII MCS e più generalizzata nelle aree caratterizzate da un'intensità macrosismica superiore a VIII MCS.

D'altra parte, l'intervento urgente ed esteso su un territorio colpito da un terremoto distruttivo abbisogna, già nel breve periodo, di criteri pragmatici per l'individuazione di soluzioni applicabili su larga scala.

Tutto questo ha suggerito la definizione di una strategia basata su soluzioni progettuali standardizzate, dimensionate con riferimento a due classi prestazionali, rapportate alle intensità macrosismiche osservate.

In particolare, valutando le varie relazioni empiriche proposte in letteratura che correlano l'intensità macrosismica con accelerazione al suolo, si è optato per un dimensionamento delle opere provvisionali con riferimento a due livelli di azione sismica, corrispondenti a diversi range di intensità macrosismica registrata o attesa nel breve periodo.

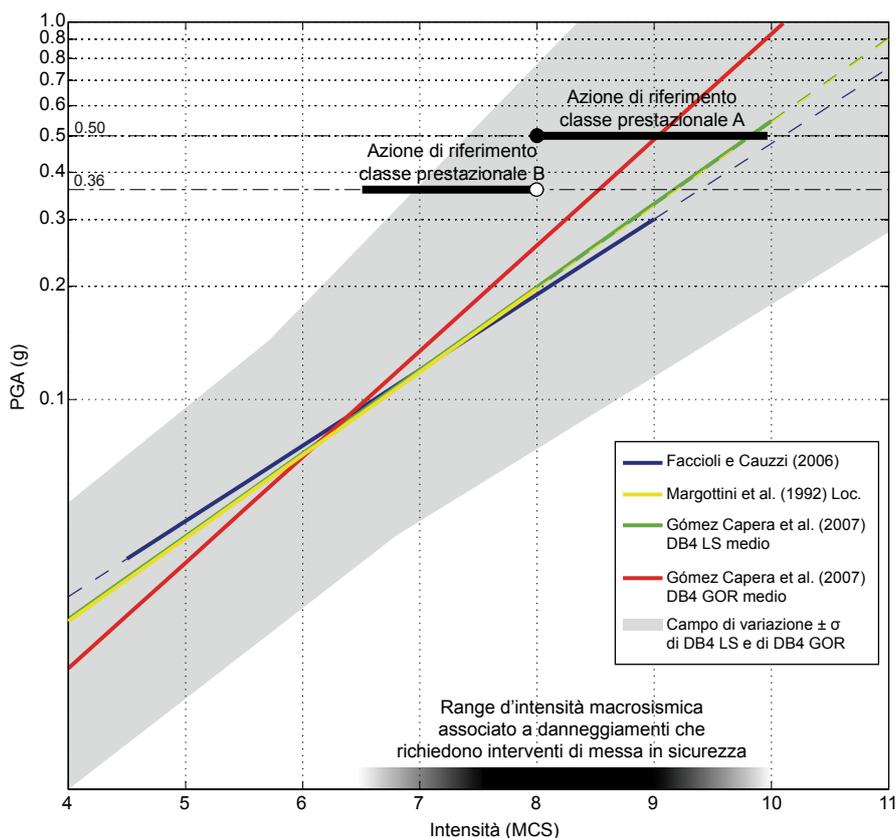


Figura 3.4 Relazioni empiriche tra intensità macrosismica e accelerazione al suolo con indicati i posizionamenti delle azioni di riferimento utilizzate per le classi prestazionali A e B nell'ambito delle fasce di intensità associate a danneggiamenti che richiedono l'installazione delle opere provvisionali.

Tabella 3.1 Criterio macrosismico per la definizione della classe prestazionale delle opere provvisionali da realizzare nella fase immediatamente post-sisma.

Classe prestazionale	Ambito di intervento	Accelerazione di riferimento
A	Installazioni in aree danneggiate caratterizzate da una intensità macrosismica risentita o prevista ¹ uguale o superiore al VIII grado della scala MCS	0.50 g
B	Installazioni in aree danneggiate caratterizzate da una intensità macrosismica risentita e prevista nel breve termine inferiore al VIII grado della scala MCS <i>oppure</i> Installazioni che vengono realizzate in aree danneggiate a distanza di molti mesi dalla scossa principale	0.36 g

¹⁾ Nella fase immediatamente post-sisma è opportuno prevedere una estensione del massimo grado registrato a tutta l'area del sistema di faglie correlato alla scossa principale, in modo da tenere conto della possibile migrazione degli ipocentri delle successive scosse di assestamento.

La definizione delle classi prestazionali per le varie aree del territorio colpito dal terremoto può essere fatta nell'immediato post-sisma sulla base del piano quotato delle intensità macrosismiche risentite e delle conoscenze sismotettoniche dell'area. Tale definizione potrà essere resa nota agli operatori VVF dalle Autorità competenti sotto forma di mappa di zonazione o di elenco dei comuni nell'area colpita con indicazione della relativa classe prestazionale richiesta.

Il riferimento alla intensità macrosismica osservata ha anche il vantaggio di essere legato all'effettiva azione sismica risentita al sito, ossia di tenere implicitamente conto degli eventuali effetti di sito che hanno portato ad incrementare il valore di accelerazione rispetto a quello di riferimento (sito in roccia con superficie piana ed orizzontale). Tali effetti di amplificazione, dovuti alle caratteristiche di sito, concorrono a definire il livello di scuotimento al sito determinato dalle scosse successive.

Nel caso del terremoto dell'Aquila, tali valori convenzionali delle azioni di riferimento sono paragonabili a quelli massimi effettivamente registrati rispettivamente in prossimità della zona epicentrale e nell'area ad essa circostante, dove i danni riportati erano comunque tali da richiedere interventi di messa in sicurezza. In assenza di specifiche determinazioni, basate sull'analisi del livello di scuotimento risentito, le classi prestazionali furono definite associando ai comuni che erano classificati in zona 1 secondo l'OPCM 3274/03 la classe A e ai comuni classificati in zona 2 la classe B.

Volendo fare, invece, una corrispondenza tra le azioni convenzionali poste alla base delle classi prestazionali A e B e le azioni sismiche previste dalle NTC 2008, si può affermare che:

- con riferimento all'intero territorio nazionale, le opere di classe A e B consentono di rispondere alle accelerazioni attese nello scenario

caratterizzato dal massimo valore di accelerazione prevista per un periodo di ritorno di 475 anni, corrispondente a $0.28 g$, aggravato da un coefficiente di amplificazione locale per effetti geomorfologici pari rispettivamente a 1.8 e 1.3;

- con riferimento all'area abruzzese, caratterizzata da un valore di a_g per la città dell'Aquila, per un periodo di ritorno di 475 anni, corrispondente a $0.26 g$, le opere di classe A e B consentono di rispondere rispettivamente a valori di amplificazione locale per effetti geomorfologici pari a 1.9 e 1.4.

Tali valori consentono di tenere in considerazione gli effetti amplificativi di sito che si possono avere in gran parte dei fondovalle anche in prossimità di terrazzi alluvionali, conoidi, creste e versanti, piane alluvionali.

Per la progettazione di opere provvisionali da realizzarsi successivamente alla fase di emergenza sismica, le NTC2008 prevedono una azione sismica di riferimento definita come l'accelerazione che ha la probabilità del 10% di essere superata nel periodo di riferimento (vita nominale 10 anni, vita di riferimento 35 anni) ossia all'azione corrispondente ad un periodo di ritorno di 332 anni. Il massimo valore sul territorio nazionale è pari a $0.23 g$. Anche in questo caso è necessario poi tener conto dei coefficienti moltiplicativi relativi agli eventuali effetti di amplificazione stratigrafica e topografica del sito. Pertanto l'impiego di opere provvisionali di classe prestazionale B garantisce livelli di sicurezza conservativi nella maggior parte delle situazioni geomorfologiche presenti sul territorio. Dove i livelli di *hazard* sono significativamente inferiori potrebbe risultare opportuno dimensionare l'opera per azioni di progetto inferiori a quelle della classe B. I valori dei coefficienti di amplificazione dovuti ad effetti geomorfologici risultano, in questo caso, pari a 2.2 per le opere in classe A e 1.6 per le opere in classe B.

3.2.2 Problematiche realizzative

La salvaguardia dei beni danneggiati richiede una rapida realizzazione delle opere provvisionali. Più tardi si inserisce l'opera provvisoria più la struttura subirà una evoluzione del quadro di danneggiamento come conseguenza del susseguirsi delle scosse nella fase sismica. Per questo è opportuno intervenire con la realizzazione delle opere il prima possibile.

D'altra parte, attuare una immediata installazione dell'opera, significa operare in una fase in cui l'azione sismica può manifestarsi durante l'intervento di realizzazione.

Da un punto di vista della sicurezza degli operatori e delle caratteristiche dell'opera stessa, realizzare un'opera provvisoria in piena attività sismica è, pertanto, cosa ben diversa dall'operare in situazioni ordinarie, anche se l'opera è progettata per resistere a future azioni sismiche. L'intervento realizzativo nella fase di emergenza sismica comporta dunque, per gli operatori, criticità molto maggiori di quelle associate a realizzazioni effettuate a distanza di molti mesi o anni dalla scossa principale. Questo richiede necessariamente l'adozione di soluzioni e tecniche realizzative che, a parità di risultato finale, consentano di salvaguardare la sicurezza degli operatori.

In ultima analisi le opere provvisionali in emergenza sismica vanno concepite e gestite secondo i principi e i criteri propri degli interventi tecnici urgenti in scenari critici.

3.2.3 I materiali

L'esigenza di intervenire in modo esteso con la realizzazione delle opere provvisionali nella fase post-sismica, quando possono avvenire gli *after-shocks*, pone anche problemi relativi alla tipologia di materiale che è più opportuno impiegare. Questo, sia con riferimento alla disponibilità e reperibilità degli stessi, sia con riferimento alla necessità di porre in atto interventi tecnici urgenti da parte dei VVF. Disponibilità, manovrabilità, praticità di lavorazione e, per quanto possibile, contenimento dei costi sono quindi i parametri principali che guidano la scelta del materiale nella standardizzazione delle opere.

Nel seguito vengono descritte le caratteristiche dei materiali utilizzate per il dimensionamento delle opere.

3.2.3.1 Legno

Per le opere provvisionali si utilizzano elementi in legno massiccio. A seconda della provenienza (estera o nazionale) esistono due diverse classificazioni, basate, per il legname di provenienza estera, sulle resistenze caratteristiche e, per quello di provenienza italiana, su criteri visivi inerenti le caratteristiche geometriche e la presenza o meno di determinati difetti.

Tenuto in considerazione il contesto operativo, per cui vi è la possibilità di utilizzare anche legname recuperato in sito (ad esempio elementi provenienti da orizzontamenti lignei pre-esistenti), si è deciso di ammettere classi di resistenza relativamente basse, in particolare la classe C16, pioppo e conifere (UNI EN 338), per quanto riguarda la classificazione estera e la classe S3-Abete/Nord per la classificazione italiana.

Le due classi adottate presentano caratteristiche meccaniche simili e, a favore di sicurezza, sono stati utilizzati per la progettazione i valori di resistenza della classe C16, che consentono anche l'utilizzo di travi smussate, tipo "uso Trieste".

Dimensioni commerciali

In commercio si trovano facilmente e in tempi ridotti travi a sezione quadrata aventi le dimensioni riportate in Tabella 3.2.

Tabella 3.2 Denominazione e caratteristiche geometriche delle travi di facile reperibilità.

Denominazione	Base x altezza	Lunghezza
10x10	10 cm x 10 cm	600 cm
13x13	13 cm x 13 cm	600 cm
15x15	15 cm x 15 cm	600 cm
18x18	18 cm x 18 cm	600 cm
20x20	20 cm x 20 cm	800 cm

Inoltre si utilizzano tavole e tavoloni con le caratteristiche geometriche riportate in Tabella 3.3.

Tabella 3.3 Denominazione e caratteristiche geometriche di tavole e tavoloni.

Denominazione	Base x altezza	Lunghezza	
Tavola	2.5x12	2.5 cm x 12 cm	400 cm
Tavolone	5x20	5 cm x 20 cm	400 cm

In seguito, per identificare un elemento ligneo si farà riferimento solo alla sua denominazione.

Parametri caratteristici

In Tabella 3.4 si riportano i valori caratteristici delle resistenze, dell’elasticità e della massa specifica per un legno di classe C16 (UNI EN 338).

Tabella 3.4 Parametri caratteristici di resistenza (X_k), elasticità e massa specifica, per legno di classe C16.

Descrizione	Simbolo	Valore
Flessione (5-percentile)	$f_{m,k}$	16 MPa
Trazione parallela alla fibratura (5-percentile)	$f_{t,0,k}$	10 Mpa
Trazione perpendicolare alla fibratura (5-percentile)	$f_{t,90,k}$	0.3 Mpa
Compressione parallela alla fibratura (5-percentile)	$f_{c,0,k}$	17 Mpa
Compressione perpendicolare alla fibratura (5-percentile)	$f_{c,90,k}$	2.2 Mpa
Taglio (5-percentile)	$f_{v,k}$	1.8 Mpa
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (medio)	$E_{0,mean}$	8000 Mpa
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (5-percentile)	$E_{0,0,05}$	5360 Mpa
Modulo di elasticità perpendicolare alla fibratura (medio)	$E_{90,mean}$	270 Mpa
Modulo di taglio (medio)	G_{mean}	500 Mpa
Massa volumica (5-percentile)	ρ_k	310 kg/m ³
Massa volumica (media)	ρ_{mean}	370 kg/m ³

Resistenze di calcolo

I parametri che si utilizzano nel dimensionamento (parametri di calcolo, indicati con X_d), sono ottenuti a partire dai rispettivi parametri caratteristici (X_k) mediante la seguente relazione:

$$X_d = \frac{K_{mod} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

dove γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza sul materiale e K_{mod} il coefficiente che tiene conto dell’umidità dell’ambiente dove l’opera è posta (classe di servizio) e della durata dell’azione cui l’opera è soggetta (classe di durata del carico).

Coefficiente parziale di sicurezza sul materiale γ_M

Il coefficiente di sicurezza parziale sul materiale γ_M tiene conto di eventuali variabilità delle proprietà dei materiali, nonché, in abbinamento con i coefficienti parziali di sicurezza per le azioni, di incertezze sulla geometria e sul modello di calcolo (§ 2.3, NTC 2008).

Per gli elementi lignei che compongono le opere di puntellamento si è distinto tra due elementi principali: elementi “primari” ed elementi “secondari”. I primi sono gli elementi principali dell’opera, ai quali per esempio è assegnata la maggior parte del carico e che non hanno subito grosse lavorazioni (intagli ecc.). Gli elementi secondari sono quelli che hanno funzione di diffusione degli sforzi.

Si adottano coefficienti di sicurezza distinti a seconda che l’elemento sia primario o secondario, ed abbia quindi semplice funzione di diffusione degli sforzi o meno; i coefficienti di sicurezza parziale sul materiale (γ_M) adottati sono riportati in Tabella 3.5. Nella stessa tabella si riporta anche il coefficiente parziale di sicurezza per le unioni, che assume sempre il valore 1.5.

Tabella 3.5 Coefficienti di sicurezza parziale sul materiale per gli elementi in legno massiccio primari e secondari, e per le unioni.

Descrizione	γ_M
Legno massiccio – elementi primari	1.5
Legno massiccio – elementi secondari	1.0
Unioni	1.5

Classe di servizio e classe di durata del carico: K_{mod}

La funzione delle opere provvisionali è quella di “aiuto” nel sostenere il peso proprio di parti strutturali danneggiate dal sisma, oppure quella di evitare eventuali ribaltamenti di parti dell’opera a causa di repliche sismiche.

Nel primo caso, poiché l’opera deve sostenere il peso della struttura per l’intera vita dell’opera provvisoria (valutata in 10 anni) si considera una classe di durata del carico “lunga”. Nel secondo caso, invece, l’opera provvisoria è chiamata ad intervenire solamente in caso di sisma, e quindi è soggetta ad azioni di tipo istantaneo.

Per quanto riguarda la classe di servizio, a seconda che l’opera sia esposta o meno alle intemperie, si considera in classe di servizio 2 (caratterizzata da un’umidità del materiale in equilibrio con l’ambiente a una temperatura di 20°C e un’umidità relativa dell’aria circostante che superi l’85% solo per poche settimane all’anno) oppure 3 (caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2).

La Tabella 3.6 riporta i valori di K_{mod} per diverse classi di servizio e di durata del carico.

Tabella 3.6 Valori di K_{mod} , per legno massiccio, al variare delle classi di durata del carico e classe di esposizione (da NTC 2008).

Classe di servizio	Classe di durata del carico		
	Permanente	Lunga	Istantanea
classe 2	0.6	0.70	1.0
classe 3	0.5	0.55	0.9

3.2.3.2 Picchetti e graffe

Per la realizzazione dei picchetti e delle graffe (denominate anche cambre) si utilizzano barre ad aderenza migliorata tipo FeB44k. Tale tipo di acciaio, pur non essendo più contemplato nelle NTC 2008, è ancora piuttosto diffuso.

Parametri caratteristici

Tabella 3.7 Parametri caratteristici (X_k) per i picchetti e le graffe.

Descrizione	Simbolo	Valore
Resistenza caratteristica	$f_{y,k}$	430 MPa
Modulo di elasticità longitudinale	E	206000 MPa
Modulo di elasticità tangenziale	G	79231 MPa
Coefficiente di Poisson	ν	0.3
Peso specifico del materiale	γ	77.0 kN/m ³

Resistenze di calcolo

I parametri che si utilizzano nel dimensionamento (parametri di calcolo), e indicati con X_d , sono ottenuti a partire dai rispettivi parametri caratteristici (X_k) mediante la seguente relazione:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_s}$$

Dove γ_s è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio (Tabella 3.8).

Tabella 3.8 Coefficiente di sicurezza parziale sul materiale per le barre d'acciaio (§ 4.1.2.1.1.3 delle NTC 2008).

Materiale	γ_M
Barre acciaio	1.15

3.2.3.3 Acciai da carpenteria

Per gli elementi in acciaio si utilizzano acciai di tipo S275 (ex Fe430). Tale tipo di acciaio è il più diffuso e, rispetto al S235 (ex Fe360), consente di ottenere profili più leggeri che agevolano le operazioni di installazione in quota.

Resistenze e parametri caratteristiciTabella 3.9 Tensioni caratteristiche (X_k) dell'acciaio S275 (§ 11.3.4.1, NTC 2008).

Descrizione	Simbolo	Valore
Resistenza di snervamento per spessori ≤ 40 mm	f_{yk} ($s \leq 40$ mm)	275 MPa
Resistenza di snervamento per spessori > 40 mm	f_{yk} ($s > 40$ mm)	255 MPa
Resistenza di rottura per trazione per spessori ≤ 40 mm	f_{tk} ($s \leq 40$ mm)	430 MPa
Resistenza di rottura per trazione per spessori > 40 mm	f_{tk} ($s > 40$ mm)	410 MPa
Modulo di elasticità longitudinale	E	210000 MPa
Modulo di elasticità tangenziale	G	80769 MPa
Coefficiente di Poisson	ν	0.3
Peso specifico del materiale	γ	77.0 kN/m ³

Resistenze di calcolo

I parametri che si utilizzano nel dimensionamento (parametri di calcolo), e indicati con X_d , sono ottenuti a partire dai rispettivi parametri caratteristici (X_k) mediante la relazione seguente:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dove γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio (Tabella 3.10).

Tabella 3.10 Coefficiente di sicurezza parziale per i materiali, da utilizzare nel calcolo della resistenza dei profili in acciaio (§ 4.2.4.1 NTC 2008)

Materiale	γ_M
Resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1.05$
Resistenza ad instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1.05$
Resistenza nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1.25$

3.2.3.4 Bulloni e chiodi

Si utilizzano bulloni di classe 8.8, scelti per la loro facile reperibilità e diffusione. Le tensioni di snervamento e rottura sono riportate in Tabella 3.11.

Tabella 3.11 Tensioni di snervamento e rottura per bulloni e chiodi di classe 8.8 conformi, per le caratteristiche dimensionali, alle norme UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968 (§ 11.3.4.6, NTC 2008).

Descrizione	Classe	8.8
Tensione di snervamento (MPa)	f_{yb}	640
Tensione di rottura (MPa)	f_{tb}	800

Resistenze di calcolo

I parametri che si utilizzano nel dimensionamento (parametri di calcolo), e indicati con X_d , sono ottenuti a partire dai rispettivi parametri caratteristici (X_k) mediante la seguente relazione:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dove γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio (Tabella 3.12).

Tabella 3.12 Coefficiente di sicurezza parziale per i materiali, da utilizzare nel calcolo della resistenza di chiodi ed i bulloni (§ 4.2.8.1.1, NTC 2008)

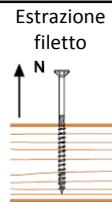
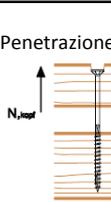
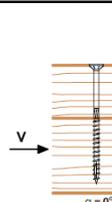
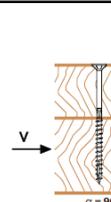
Materiale	γ_M
Resistenza di chiodi e bulloni	$\gamma_{M2} = 1.25$

3.2.3.5 Viti per legno

Per le viti per legno si adottano i valori di resistenza ad estrazione e a taglio riportati dalle norme DIN 1052:2004 (vedi Tabella 3.13).

Resistenze caratteristiche

Tabella 3.13 Resistenze caratteristiche (X_k) ad estrazione e a taglio per viti da legno (da DIN 1052:2004).

diametro d (mm)	lunghezza L (mm)	resistenza estrazione		resistenza a taglio	
		$R_{ax,k}$ (kN)	$R_{ax,k}$ (kN)	R_k (kN)	R_k (kN)
					
5	100-120	2.89	1.16	1.61	1.61
6	100-120	3.47	1.66	2.24	2.24
	140-300	5.20	1.66	2.24	2.24
8	100-140	4.81	2.43	3.64	3.64
	160-280	7.39	2.43	3.64	3.64
	300-400	9.24	2.43	3.64	3.64
10	160-280	9.24	3.95	5.47	4.65
	300-400	11.55	3.95	5.47	4.65
12	200-280	11.09	4.97	6.58	5.55
	300-600	16.63	4.97	6.58	5.55

Resistenze di calcolo

I parametri che si utilizzano nel dimensionamento (parametri di calcolo), e indicati con X_d , sono ottenuti a partire dai rispettivi parametri caratteristici (X_k) mediante la relazione seguente:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dove γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo alle unioni tra elementi lignei (Tabella 3.14).

Tabella 3.14 Coefficiente parziale di sicurezza relativo alle unioni tra elementi lignei (§ 4.4.6, NTC 2008).

Materiale	γ_M
Unioni	1.5

3.2.3.6 Cavi a trefolo in acciaio

Resistenze caratteristiche dei cavi

Per il calcolo delle opere provvisionali sono stati considerati cavi a trefolo aventi i valori minimi di resistenza caratteristica definiti nella Tabella 3.15.

Tabella 3.15 Valori dei carichi caratteristici ($X_k=Q_k$) a trazione dei cavi per differenti diametri (portata). I dati sono ricavati dal catalogo Teci (2009) per cavo S10^{ZN}.

Diametro (mm)	Q_k	
	(kN)	(t)
12	107.9	11.00
14	146.6	14.95
16	191.2	19.50
18	242.7	24.75
20	299.1	30.50
22	360.9	36.80
24	429.5	43.80

Resistenza di calcolo

I parametri che si utilizzano nel dimensionamento (parametri di calcolo), indicati con X_d , sono ottenuti a partire dai rispettivi parametri caratteristici (X_k) mediante la relazione seguente:

$$X_d = \alpha \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}$$

dove γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo ai cavi e α è il coefficiente di efficacia dell'attacco con morsetti.

Per l'impiego dei cavi a trefoli come tiranti nelle opere provvisionali, le azioni si possono considerare di tipo statico equivalente piuttosto che dinamiche; inoltre non sono presenti le problematiche tipiche del sollevamento quali, ad esempio, la possibilità di grossi sbilanciamenti dei carichi. Si è quindi ritenuto ragionevole adottare un coefficiente di sicurezza minore rispetto al valore di 5 previsto in caso di sollecitazioni dinamiche ripetute, in particolare $\gamma_M = 2.5$, valore che tiene conto delle caratteristiche statiche/vibratorie del carico e anche della possibilità che la

resistenza ultima del cavo venga ridotta a causa dell'adozione di raggi di curvatura ridotti.

Per tener conto dell'eventuale debolezza dei sistemi di giunzione effettuati con i morsetti, si considera un coefficiente di efficacia dell'attacco $\alpha = 0.8$.

Si ha quindi che:

$$Q_d = \alpha \cdot \frac{Q_k}{\gamma_M} = 0.8 \cdot \frac{Q_k}{2.5}$$

Si riportano in Tabella 3.16 i valori di progetto per i cavi.

Tabella 3.16 Valori dei carichi di progetto (Q_d) a trazione dei cavi per differenti diametri. I dati sono ricavati dal catalogo Tecni (2009) per cavo S10^{ZN}.

Diametro (mm)	Q_d	
	(kN)	(t)
12	34.5	3.52
14	46.9	4.78
16	61.2	6.24
18	77.7	7.92
20	95.7	9.76
22	115.5	11.78
24	137.5	14.02

3.2.3.7 Dispositivi per attacchi

Per le giunzioni e gli attacchi si utilizzano:

- golfari
- grilli
- tenditori

Come per i cavi, nei calcoli sono considerate resistenze di progetto ricondotte ad un coefficiente di sicurezza $\gamma_M = 2.5$ pertanto

$$Q_d = \frac{Q_k}{\gamma_M}$$

Tutti i dispositivi di attacco devono essere dimensionati per un carico superiore o uguale al carico di progetto del relativo cavo.

Golfari

Si adottano golfari tipo DIN 580 maschio e DIN 582 femmina (da catalogo Tecni) o equivalenti.

In Tabella 3.17 si riportano i carichi caratteristici (Q_k) e di calcolo (Q_d), ottenuti mediante l'impiego di un coefficiente di sicurezza parziale sul materiale $\gamma_M = 2.5$.

Tabella 3.17 Carichi caratteristici (Q_k) e di progetto (Q_d) per i golfari per differenti misure. I valori e la descrizione (misura) sono stati tratti da Tecì (2009).

Misura (mm)	Q_k (kN)	Q_d (kN)
M30	141.2	56.5
M36	200.0	80.0
M42	274.6	109.8

Grilli

Si adottano grilli di tipo omega o equivalenti.

In Tabella 3.18 si riportano i valori minimi dei carichi caratteristici (Q_k) e di progetto (Q_d), ottenuti con coefficiente di sicurezza parziale sul materiale $\gamma_M = 2.5$.

Tabella 3.18 Valori minimi dei carichi caratteristici (Q_k) e di progetto (Q_d) per grilli omega per differenti misure. I valori e la descrizione (misura) sono stati tratti da Tecì (2009).

Misura (mm)	Q_k (kN)	Q_d (kN)
A22	98.1	39.2
A26	159.3	63.7
A31	232.9	93.2
A36	318.7	127.5
A43	416.8	166.7

Tenditori

Si adottano due tipi di tenditore:

- tenditori zincati a due occhi, tipo O-O;
- tenditori zincati con due occhielli allungati, tipo IIB - UNI 2020.

In Tabella 3.19 e in Tabella 3.20 si riportano i rispettivi carichi caratteristici (Q_k) e di calcolo (Q_d), ottenuti con coefficiente di sicurezza parziale sul materiale $\gamma_M = 2.5$.

Tabella 3.19 Valori minimi dei carichi caratteristici (Q_k) e di progetto (Q_d) per tenditori zincati a due occhi tipo O-O per differenti misure. I valori e la descrizione (misura) sono stati tratti da Tecì (2009).

Misura (mm)	Q_k (kN)	Q_d (kN)
M22	103.2	41.3
M24	120.0	48.0
M27	156.9	62.8
M30	190.6	76.3
M33	236.9	94.8
M36	255.0	102.0
M39	309.9	123.9

Tabella 3.20 Valori minimi dei carichi caratteristici (Q_k) e di progetto (Q_d) per tenditori zincati a due occhi tipo IIB per differenti misure. I valori e la descrizione (misura) sono stati tratti da Tecì (2009).

Misura (mm)	Q_k (kN)	Q_d (kN)
A27	98.1	39.2
A30	122.6	49.0
A33	154.4	61.8
A36	196.1	78.4
A39	245.2	98.1
A45	308.9	123.6
A52	392.2	156.9

3.2.3.8 Tasselli ancoranti

Si utilizzano tasselli ancoranti di tipo meccanico aventi caratteristiche minime uguali o superiori a quelle riportate in Tabella 3.21.

Nel caso di impiego di tasselli chimici, al fine di garantire le stesse resistenze a trazione e a taglio definite nella Tabella 3.21, occorre acquisire informazioni su resistenze e modalità applicative dal fornitore del prodotto in base alla qualità della muratura, al diametro della barra e alla classe dell'acciaio.

Tabella 3.21 Valori minimi dei carichi e dei valori di posa per i tasselli ancoranti di tipo meccanico. I dati sono stati tratti da Würth (2009) per tasselli di tipo W-HAZ.

Descrizione	Filetto	
	M10	M12
Zona tesa, calcestruzzo fessurato C20/25 trazione (kN)	7.6	12.3
Zona tesa, calcestruzzo fessurato C20/25 taglio (kN)	20.5	24.5
Zona compressa, calcestruzzo non fessurato C20/25 trazione (kN)	11.9	14.3
Zona compressa, calcestruzzo non fessurato C20/25 taglio (kN)	20.7	34.3
Profondità foro (mm)	95	105
Diametro foro (mm)	15	18
Profondità ancoraggio (mm)	70	80
Distanza caratteristica tra ancoranti (mm)	216	240
Distanza minima tra ancoranti (mm)	70	80
Distanza caratteristica dai bordi (mm)	107	120
Distanza minima dai bordi (mm)	70	80
Spessore minimo supporto (mm)	140	160
Coppia di serraggio (M·m)	55	80

3.2.3.9 Puntelli telescopici regolabili in acciaio

Per la progettazione degli interventi con utilizzo di puntelli telescopici in acciaio, si è fatto riferimento alla norma UNI EN 1065. Secondo tale norma i puntelli devono essere classificati secondo la resistenza caratteristica nominale $R_{y,k}$ e alla massima lunghezza l_{max} , come riportato nella Tabella 3.22.

Per i puntelli di classe A, B e C la resistenza caratteristica nominale riportata nella tabella è applicata alla massima lunghezza di estensione. Per i puntelli di classe D ed E la resistenza caratteristica nominale è applicata a tutte le possibili lunghezze di estensione.

I valori della resistenza di calcolo utilizzati sono stati dedotti da quelli della resistenza caratteristica, utilizzando un coefficiente di sicurezza pari a 1.7.

Tabella 3.22 Valori della lunghezza, alla massima estensione, e resistenza caratteristica nominale per le differenti classi dei puntelli telescopici in acciaio.

Classe	Lunghezza alla massima estensione l_{max} (m)	Resistenza caratteristica nominale $R_{y,k}$ (kN)
A 25	2.50	20.4
A 30	3.00	17.0
A 35	3.50	14.6
A 40	4.00	12.8
B 25	2.50	27.2
B 30	3.00	22.7
B 35	3.50	19.4
B 40	4.00	17.0
B 45	4.50	15.1
B 50	5.00	13.6
B 55	5.50	12.4
C 25	2.50	40.8
C 30	3.00	34.0
C 35	3.50	29.1
C 40	4.00	25.5
C 45	4.50	22.7
C 50	5.00	20.4
C 55	5.50	18.6
D 25	2.50	34.0
D 30	3.00	
D 35	3.50	
D 40	4.00	
D 45	4.50	
D 50	5.00	
D 55	5.50	
E 25	2.50	51.0
E 30	3.00	
E 35	3.50	
E 40	4.00	
E 45	4.50	
E 50	5.00	
E 55	5.50	

3.2.3.10 Picchetti

Per l'ancoraggio a terra delle opere provvisionali, qualora necessario, si adottano barre ad aderenza migliorata FeB44k $\phi 26$ di lunghezza minima 80 cm, ed infisse nel terreno per una profondità minima di 50 cm.

La resistenza caratteristica del suddetto sistema di ancoraggio è stata valutata mediante prove in situ su terreno di varie caratteristiche. Tali prove hanno evidenziato sempre il cedimento del sistema di ancoraggio per snervamento della barra d'acciaio. In Tabella 3.23 si riportano i valori minimi di resistenza ottenuti nelle prove (Q_k) e i valori di resistenza di calcolo (Q_d), ottenuti mediante la relazione

$$Q_d = \frac{Q_k}{\gamma_M}$$

assumendo un coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_M = 1.25$.



Figura 3.5 Foto di una prova su picchetti.

Tabella 3.23 Resistenza minima da prove in situ (Q_k) e resistenze di calcolo (Q_d) per i sistemi di ancoraggio a terra mediante picchetti. Valori ottenuti su terreno di discrete caratteristiche e per una profondità di infissione di 50 cm.

Descrizione	Q_k (kN)	Q_d (kN)
Picchetto $\phi 26/30+50$	12.5	10.0