



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
A.A. 2021/2022
Sessione di Laurea Luglio 2022

**Sistemi di arresto caduta con rete:
efficacia dei dispositivi esistenti e ipotesi
di applicazione anticaduta.**

Relatore:
Prof. Alberto Lauria

Candidato:
Lucrezia Dolfi
Matricola: 282410

Indice

INTRODUZIONE.....	5
CAPITOLO 1 – LE RETI DI SICUREZZA ANTICADUTA	7
1.1 Classificazione	9
1.2 Metodologie di prova	17
1.3 Funi	32
1.4 Sistema di ancoraggio	36
1.5 Requisiti	39
1.6 Criteri di utilizzo	43
1.7 Ispezione e manutenzione	49
1.8 Designazione, marcatura e documentazione	50
CAPITOLO 2 – LA RETE DI SICUREZZA IN SOSTITUZIONE DEL PARAPETTO	52
2.1 Dal parapetto alla rete	52
2.2 Applicazione innovativa: la rete come protezione unica.....	57
2.3 Analisi dei costi.....	76
2.4 Analisi dei tempi	82
CAPITOLO 3 – CASO STUDIO: CANTIERE ALL’INTERNO DEL CENTRO ITCILO.....	85
3.1 Da Italia ’61 a ITCILO.....	85
3.2 Utilizzo delle reti di sicurezza.....	90
3.3 Prospetto di tempi e costi di installazione della rete verticale.....	96
CONSIDERAZIONI FINALI	100
BIBLIOGRAFIA.....	103
SITOGRAFIA	104

INTRODUZIONE

Le reti di sicurezza sono strumenti largamente impiegati in molteplici campi e la cui applicazione può spaziare dall'ambito sportivo fino a quello industriale.

Nell'ambiente sportivo è ben noto l'utilizzo delle reti per scopi logistici, come la divisione dei campi da tennis o pallavolo, ma esse trovano impiego anche per fini legati alla protezione dell'individuo praticante l'attività stessa o di terzi. È il caso delle reti usate per la delimitazione delle piste da sci, posizionate ai lati delle medesime e fondamentali in caso di perdita di controllo dello sciatore, il quale rischia l'urto contro ostacoli o la caduta da ripidi pendii. Al contrario, la protezione nei confronti del pubblico è l'obiettivo delle reti di recinzione, utilizzate in numerose attività quali tennis, pallavolo, golf, basket, ma preponderanti in pratiche sportive dove l'accessorio che si usa nella prestazione, avente spesso forme pericolose, può essere scagliato contro gli spettatori a velocità elevata. Si possono citare sport quali il lancio del martello, il baseball, l'hockey, ma anche il calcio, dove le reti vengono utilizzate in porta per fermare la palla a seguito del goal.

Un'applicazione non prettamente legata alla protezione, ma più al divertimento, è quella delle reti nei parchi avventura o nei parchi gioco, le quali richiedono in ogni caso adeguate caratteristiche di resistenza e svolgono parallelamente la funzione di salvaguardare i fruitori del servizio.

Le reti di sicurezza sono elementi importanti anche nella pratica circense, dove gli acrobati, in particolare funamboli e trapezisti, si servono di questo genere di protezione per evitare infortuni durante le evoluzioni.

Nell'ambito industriale, le reti trovano largo impiego nei magazzini verticali, come dispositivi per il contenimento delle merci sugli scaffali; possiamo citare le reti ferma carico o quelle per la copertura dei container, come anche le reti elastiche ferma oggetti nel settore dell'automotive.

Possono essere menzionate anche le reti per l'agricoltura, sfruttate per proteggere le coltivazioni da grandine, agenti atmosferici o eccessiva esposizione al sole.

È appurato come le reti di sicurezza siano molto comuni nei suddetti ambiti, è invece ancora poco diffusa la pratica di impiegarle nel campo della sicurezza dei cantieri temporanei e mobili come reti anticaduta, forse per la poca conoscenza del prodotto e dei suoi vantaggi, forse per la scarsità di retifici specializzati sul territorio italiano. I grandi produttori di reti di sicurezza infatti, sono pochi, e localizzati principalmente all'interno del territorio bresciano; probabilmente la vicinanza del lago d'Iseo e del lago di Garda, che favorisce il settore della pesca lacustre, può aver incentivato la produzione di reti, tramutatasi con il tempo a produzione di reti di sicurezza per il mondo del lavoro.

Obiettivo della presente tesi è quello di analizzare un prodotto, la rete anticaduta, scarsamente conosciuto ed utilizzato, ma per il quale, grazie ai vantaggi che porta con sé, dovrebbe esserne incentivato l'impiego. Si propone nello specifico un confronto tra questo strumento e un altro dispositivo di protezione collettiva, il parapetto. In particolare, si analizzerà la sostituzione di quest'ultimo con la rete di sicurezza, sviluppando una nuova applicazione della rete, oltre a quelle previste dalla norma specifica. Valutando l'equivalente rete necessaria per sopperire a quello che è il compito del parapetto, in termini di resistenza alle azioni orizzontali ma soprattutto relativamente alla spinta verticale, ed effettuando un'analisi dei costi, si evidenzieranno i benefici delle reti di sicurezza. Verrà inoltre presentato un caso studio che concerne l'utilizzo di questa applicazione innovativa della rete per il cantiere di un edificio attualmente in fase di ristrutturazione.

CAPITOLO 1

LE RETI DI SICUREZZA ANTICADUTA

Le reti anticaduta si inseriscono all'interno della categoria dei dispositivi di protezione collettiva, i cosiddetti "DPC". Tali dispositivi costituiscono misure di sicurezza e prevenzione rispetto ai rischi derivanti da una specifica attività lavorativa eseguita in quota. In particolare, essi vengono utilizzati quando l'attività implica la presenza di più lavoratori contemporaneamente ottenendo così un'efficace riduzione dei rischi alla fonte.

Questi dispositivi sono regolamentati dal Testo Unico Sicurezza, D.Lgs 81/08, e sono indicati come scelta prioritaria rispetto ai dispositivi di protezione individuale (DPI), che, invece, hanno la caratteristica di essere attrezzature destinate ad essere indossate dal singolo individuo allo scopo di proteggerlo dai soli rischi residui. *L'Art. 75 - Obblighi di uso*, sancisce infatti che *"I DPI devono essere impiegati quando i rischi non possono essere evitati o sufficientemente ridotti da misure tecniche di prevenzione, da mezzi di protezione collettiva, da misure, metodi o procedimenti di riorganizzazione del lavoro."*

Nel processo di prevenzione e protezione, infatti, esiste una gerarchia di interventi volti alla gestione del rischio: fondamentale è ridurre il rischio alla fonte; se ciò non è possibile, è necessario introdurre misure tecnico-organizzative per limitarlo, quali la sostituzione di prodotti, attrezzature, macchinari utilizzati, la modifica della modalità di lavoro, l'inserimento di turni; oltre a queste accortezze, devono essere impiegati dispositivi di protezione collettiva per impedire la manifestazione del danno. Se alla fine del processo di mitigazione dei rischi permangono rischi residui occorre allora introdurre dispositivi di protezione individuale.

In aggiunta, le condizioni di sicurezza che garantiscono i dispositivi di protezione collettiva sono generalmente superiori rispetto a quelle che assicurano i dispositivi di protezione individuale.

All'Art. 111 - *Obblighi del datore di lavoro nell'uso di attrezzature per lavori in quota*, comma 1, si può leggere che: *"Il datore di lavoro, nei casi in cui i lavori temporanei in*

quota non possono essere eseguiti in condizioni di sicurezza e in condizioni ergonomiche adeguate a partire da un luogo adatto allo scopo, sceglie le attrezzature di lavoro più idonee a garantire e mantenere condizioni di lavoro sicure, in conformità ai seguenti criteri: a) priorità alle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale; b) dimensioni delle attrezzature di lavoro conformi alla natura dei lavori da eseguire, alle sollecitazioni prevedibili e ad una circolazione priva di rischi.”

E ancora, sempre all'Art. 111, comma 5, *“Il datore di lavoro [...] individua le misure atte a minimizzare i rischi per i lavoratori, insiti nelle attrezzature in questione, prevedendo, ove necessario, l'installazione di dispositivi di protezione contro le cadute. I predetti dispositivi devono presentare una configurazione ed una resistenza tali da evitare o da arrestare le cadute da luoghi di lavoro in quota e da prevenire, per quanto possibile, eventuali lesioni dei lavoratori [...]. Infatti, il datore di lavoro ha l'obbligo di svolgere un'attenta valutazione dei rischi, proponendo i DPI qualora non sia in alcun modo possibile eliminare il pericolo attraverso i DPC.”*

Appare quindi evidente l'accento posto dal legislatore rispetto ad un sistema di protezione collettivo intrinsecamente in grado di garantire, una volta apprestato, un livello di sicurezza elevato ed equivalente a chiunque si esponga a quello specifico rischio.

Nell'ambito dei dispositivi anticaduta, ed in particolare per gli apprestamenti di arresto caduta, le reti di sicurezza si pongono come importante e funzionale presidio contro le cadute dall'alto durante le lavorazioni in quota. Tali attrezzature sono ancora poco utilizzate in Italia, mentre trovano largo impiego all'estero, con particolare diffusione negli edifici a grande altezza. Occorre tuttavia evidenziare i vantaggi di questa soluzione rispetto a sistemi di protezione standard, come può essere il ponteggio, in condizioni di lavoro non usuali: la mobilità degli operatori, i quali risultano liberi da qualsiasi vincolo e non limitati nei movimenti, non è compromessa durante tutta l'attività lavorativa; le sollecitazioni sul corpo a seguito di un'eventuale caduta sono attenuate grazie alle generose deformazioni plastiche della rete; è giusto citare, infine, anche la facilità di montaggio e smontaggio. Applicazioni come la bonifica di coperture in amianto o il rifacimento delle orditure dei tetti in legno, evidenziano solo alcuni benefici che derivano dall'utilizzo di questa attrezzatura.

1.1 Classificazione

Le reti di sicurezza sono regolamentate dalla norma UNI-EN 1263-1:2015, che specifica i requisiti e le metodologie di prova, e dalla norma UNI-EN 1263-2:2015, la quale definisce i requisiti di sicurezza per il posizionamento.

La rete di sicurezza intesa come “rete sostenuta da una fune sul bordo, da altri elementi di supporto o da una combinazione di questi, progettata per fermare la caduta dall’alto di persone” (UNI-EN 1263-1:2015, 3.3.3), si presenta costituita da una connessione di maglie, e viene categorizzata in quattro classi, in funzione della massima energia che può sostenere (E_A) e della dimensione massima della maglia (l_M).

Distinguiamo:

- Classe A1: $E_A = 2.3 \text{ kJ}$; $l_M = 60 \text{ mm}$;
- Classe A2: $E_A = 2.3 \text{ kJ}$; $l_M = 100 \text{ mm}$;
- Classe B1: $E_A = 4.4 \text{ kJ}$; $l_M = 60 \text{ mm}$;
- Classe B2: $E_A = 4.4 \text{ kJ}$; $l_M = 100 \text{ mm}$;

Un’ulteriore classificazione, da considerarsi preponderante, che si basa sul sistema, ovvero sulla tipologia del supporto e sulla modalità di impiego, distingue tra: reti di tipo S e reti di tipo T, per l’utilizzo orizzontale, reti di tipo U e reti di tipo V, per l’impiego verticale.

1.1.1 Sistema S

Le reti di sicurezza di tipo S sono reti che vengono messe in opera in posizione orizzontale, per proteggere da cadute in una zona ampia dell’area di lavoro, solitamente situata all’interno della struttura oggetto di lavoro. Queste reti risultano costituite da una fune sul bordo, atta a rinforzarne il perimetro, a cui vengono collegati cavi di sollevamento e ancoraggio. La norma prevede che, per assicurare l’efficienza, tali reti devono avere una superficie minima di 35 m^2 , con il lato corto di lunghezza almeno 5 m ed una resistenza minima alla trazione di 30 kN.

Il montaggio avviene attraverso funi tiranti o altri dispositivi, come funi metalliche, applicati nei punti di ancoraggio, che siano in grado di sostenere il carico caratteristico.

La distanza tra i punti di fissaggio non deve superare i 2,5 m. Successivamente all'installazione è necessario verificare che la deformazione massima della rete non superi i limiti previsti.

Il collegamento tra singole reti di sicurezza viene eseguito per tramite di funi di accoppiamento, in modo tale che tra i bordi delle reti non si generino vuoti di ampiezza maggiore di 100 mm.

Applicazioni tipiche del sistema S sono le fasi di realizzazione delle coperture di capannoni industriali, la costruzione di ponti e cavalcavia, così come la protezione dei lavoratori nel caso di apertura di solai o di lavori sulle travi delle campate.

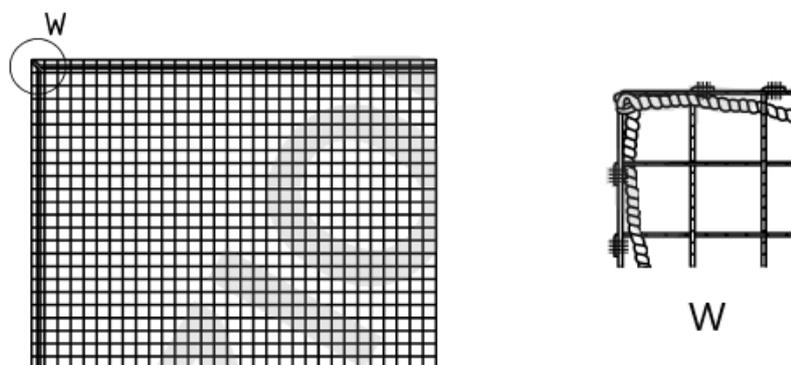


Figura 1.1. Rete di sicurezza di tipo S, maglia quadrata – UNI EN 1263-1:2015.

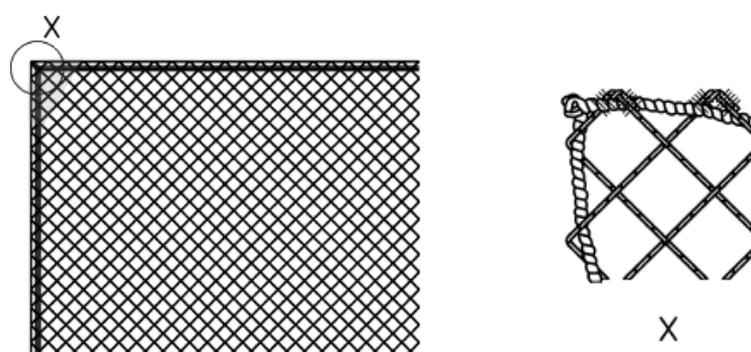


Figura 1.2. Rete di sicurezza di tipo S, maglia a losanga – UNI EN 1263-1:2015.



Figure 1.3-1.4. *A sinistra: esempio sistema S, copertura in acciaio. A destra: esempio sistema S, protezione caduta materiale – INAIL, Quaderni di ricerca n.15.*

1.1.2 Sistema T

Le reti di sicurezza di tipo T sono reti per utilizzo orizzontale che vengono fissate su staffe, le quali generano un telaio metallico di supporto. Ciò che le differenzia dalle reti di tipo S, oltre alla superficie minore, è il sistema di sostegno, che le configura come mensole a sbalzo dalla parete esterna della struttura a cui vengono collegate.

Anche in questo caso possono essere collegate tra loro singole reti di sicurezza attraverso funi di accoppiamento, in modo tale che la distanza tra i bordi delle reti non superi i 100 mm. Nel caso di collegamenti per sovrapposizione è necessaria una sovrapposizione di minimo 0,75 m.

L'intelaiatura di sostegno deve essere tale per cui il lavoratore non rischi di urtarla durante la caduta o, nel caso di urto, non subisca lesioni; per questo motivo è necessario che l'altezza di caduta venga ridotta, che la rete sia montata il più possibile vicino al bordo da proteggere e che venga applicato un opportuno rivestimento.

I sistemi a T diventano una valida sostituzione o integrazione dei parapetti provvisori. L'utilizzo ideale è però quest'ultimo, in cui la rete si configura come "sistema secondario" di affiancamento al "sistema principale". Applicazioni usuali sono infatti la protezione del lavoratore da cadute da zone perimetrali della struttura, da bordi esterni di tetti, solai, piattaforme mobili o da qualsiasi altra struttura in sopraelevazione come ponti e cavalcavia.

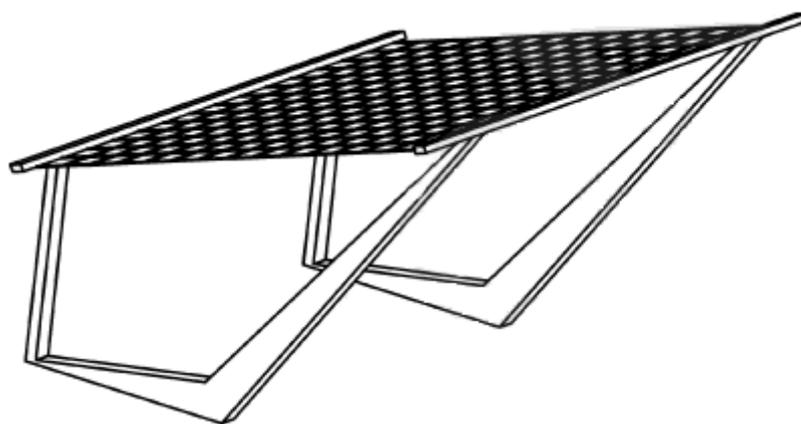


Figura 1.5. Rete di sicurezza di tipo T – UNI EN 1263-1:2015.



Figure 1.6-1.7. Esempio sistema T – Retificio Far Reti.

1.1.3 Sistema U

Le reti di sicurezza di tipo U sono reti per utilizzo verticale, fissate ad un'intelaiatura di sostegno, la quale può essere fornita dal costruttore e alla quale vengono collegate attraverso funi o cinghie idonee. In alternativa, possono essere messe in opera direttamente sul telaio della struttura di sostegno, facendo passare ogni maglia all'interno del tubo del telaio.

Come per le reti di tipo T, l'intelaiatura deve essere tale per cui il lavoratore, a seguito di caduta, non rischi di urtare la stessa o, nel caso di urto, non si arrechi nessuna lesione. Il rivestimento del bordo della struttura di sostegno è una procedura da attuare per garantire la sicurezza.

Questa tipologia di reti protegge dalle cadute laterali, derivanti da lavorazioni su tetto spiovente o superficie inclinata, dalle quali nasce il rischio di rotolamento o scivolamento.

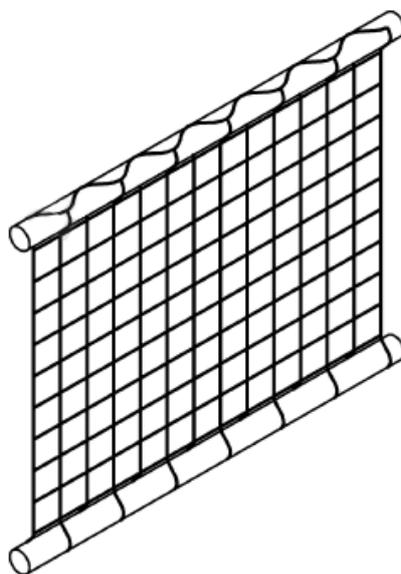


Figura 1.8. Rete di sicurezza di tipo U – UNI EN 1263-1:2015.

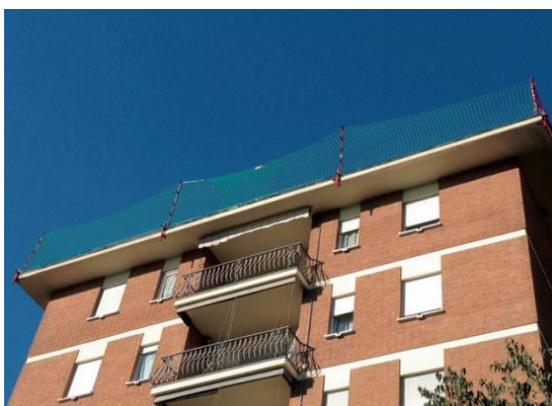


Figure 1.9-1.10. Esempio sistema U – INAIL, Quaderni di ricerca n.15.

1.1.4 Sistema V

Le reti di sicurezza di tipo V sono reti con fune sul bordo fissate ad un sostegno di tipo a forca che viene ancorato solidamente a due solai.

Per quanto concerne il montaggio, ci sono diverse prescrizioni da seguire: il bordo superiore della rete deve essere posizionato ad almeno 1 m sopra il livello di lavoro; la

distanza tra i due sostegni non deve superare i 5 m; i sostegni devono essere fissati in modo tale da evitarne la rotazione; la distanza tra i dispositivi di ancoraggio sul bordo inferiore non deve superare 0,50 m e la distanza tra i punti di ancoraggio e il bordo dell'edificio deve essere almeno 0,1 m.

Singole reti di sicurezza possono essere collegate tra loro attraverso funi di accoppiamento, in modo tale che la distanza tra i bordi delle reti non superi i 100 mm. In questo caso non sono ammessi collegamenti per sovrapposizione.

Per la sua conformazione, questo tipo di rete, viene utilizzata per proteggere da cadute verticali e laterali che si verificano tra due piani. Possono considerarsi una valida alternativa ai ponteggi metallici, in quanto permettono fasi di montaggio e smontaggio molto veloci.

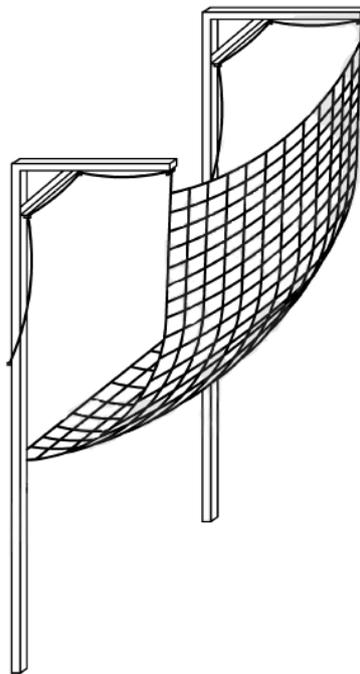


Figura 1.11. Rete di sicurezza di tipo V – UNI EN 1263-1:2015.



Figure 1.12-1.13. Esempio sistema V – INAIL, Quaderni di ricerca n.15.

La forca è una struttura metallica che funge da sostegno per la rete e assorbe l'energia cinetica generata dall'eventuale urto del lavoratore. La norma prevede che essa possa raggiungere la deformazione plastica ma deve rimanere stabile nei confronti dei movimenti accidentali. La forca può essere formata da una, due o tre sezioni, costituite da profili in acciaio di sezione quadrata o rettangolare. La forca a una sezione è costituita da una struttura metallica unica di lunghezza tra gli 8 e i 9 metri; quella a due sezioni è composta da una struttura metallica avente una testata e un'estensione, entrambe di 4 metri; infine, quella a tre sezioni è costituita da struttura metallica con una testata e due estensioni di lunghezza 3 metri.



Figura 1.14. Da sinistra: forca a una sezione, forca a due sezioni, forca a tre sezioni – INAIL.

Oltre ai componenti principali di questo sistema che sono la rete e la forca, per montarlo ed utilizzarlo, sono necessari altri elementi ausiliari quali la fune tirante, la fune di accoppiamento (vedi 1.3 Funi) e gli ancoraggi (omega, ganci di supporto e perni).

Gli omega sono gli elementi attraverso i quali la forza è ancorata ai solai. Sono realizzati con acciaio ad aderenza migliorata e devono avere un diametro minimo di 12 mm.

I ganci di sicurezza permettono il fissaggio della corda perimetrale della rete al solaio inferiore. Vengono realizzati in acciaio ad aderenza migliorata, diametro 8 mm e con una forma ad U rovesciata completata con due stanghette per assicurarne l'incastro.

I perni, che vengono prodotti in acciaio e di diametro 10 mm, vengono posizionati nel foro inferiore dell'estensione per fermare la forza verticalmente.



Figura 1.15. Particolare omega e gancio di sicurezza – INAIL.

1.2 Metodologie di prova

Le prove a cui le reti di sicurezza devono essere sottoposte per verificarne la resistenza statica, dinamica e all'invecchiamento, necessarie per ottenere la certificazione di conformità, sono presentate all'interno della norma UNI-EN 1263-1:2015.

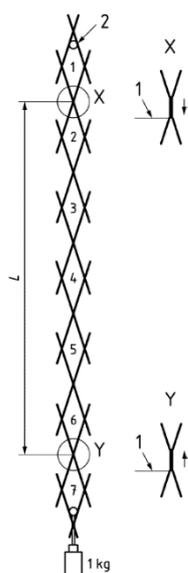
Preliminarmente a qualsiasi prova, le funi devono essere stoccate ad una temperatura dell'aria di $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidità relativa di $(65 \pm 5)\%$ per 72 ore.

1.2.1 Controllo dimensionale delle maglie

Una prima prova importante è il controllo dimensionale delle maglie. Per eseguire la verifica è necessario tagliare almeno 7 maglie nella sequenza di fabbricazione e appenderle tramite ancoraggio della maglia superiore ad un punto di fissaggio avente diametro di (11 ± 1) mm. Un peso di $(1 + 0,2)$ kg deve essere appeso all'ultima maglia e lasciato in sospensione per almeno (60 ± 10) s. Trascorso tale tempo viene effettuata la misurazione della sezione L, ossia della lunghezza tra il punto di connessione tra la prima e la seconda maglia e il punto di connessione tra la sesta e la settima.

Dividendo L per 10 si ottiene la dimensione della maglia, l_M :

$$l_M = \frac{L}{10} \quad (1.1)$$



Legenda:

1 – Punto di misurazione

2 – Punto di fissaggio alla prima maglia

Figura 1.16. Campione di prova – UNI EN 1263-1:2015.

1.2.2 Metodo di prova per fune per maglia

I campioni utilizzati per la prova devono essere tagliati dalla rete e devono essere tali da avere una lunghezza pari a $3 \cdot l_M$. Devono comprendere la lunghezza di tre funi per maglia e due punti di connessione.



Figura 1.17. Campione di prova – UNI EN 1263-1:2015.

Il campione di prova viene inserito all'interno dell'apparecchiatura di prova. Essa è costituita da un morsetto di fissaggio rigido che viene ancorato ad un supporto, da un secondo morsetto ad esso collegato a cui viene fissata l'estremità superiore del campione e da un terzo morsetto utilizzato per fissare l'estremità inferiore del campione a cui si collega una massa di prova di $(2 \pm 0,1)$ kg. Il campione di prova si trova così sospeso liberamente.

Prima di eseguire il test, entrambe le sezioni di uno dei sistemi di fili esterno devono essere tagliate tra i due punti di connessione. La prova consiste nel sollevare la massa per 50 ± 5 mm e nel lasciarla cadere liberamente per 10 volte consecutive. Per tutta la durata della procedura è necessario osservare il campione per capire se è in grado di sostenere la massa di prova e se il taglio continua a svilupparsi lungo i punti di connessione adiacenti.

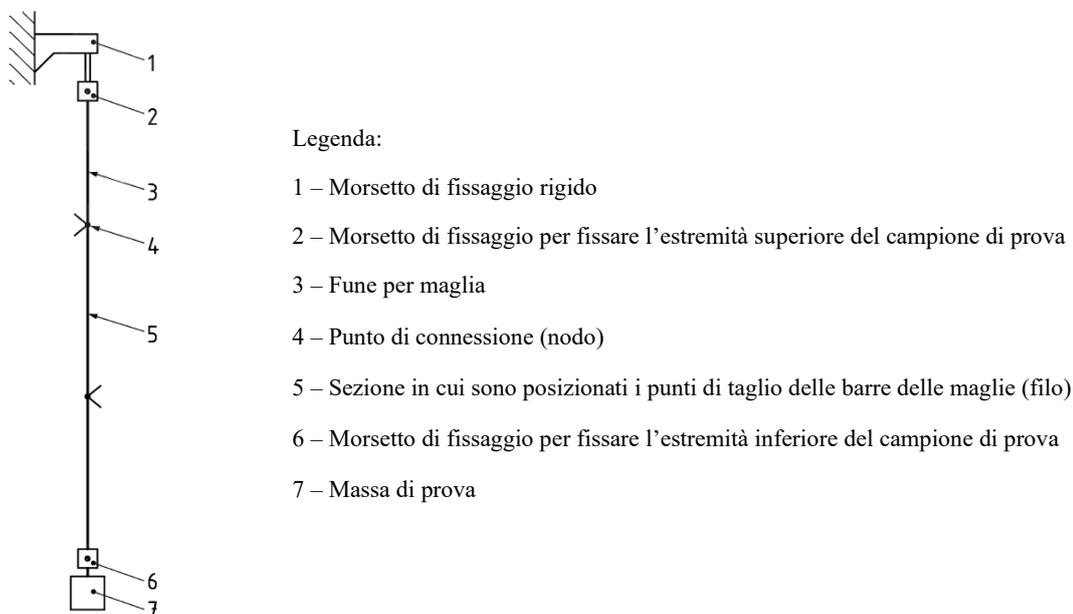


Figura 1.18. Banco di prova – UNI EN 1263-1:2015.

1.2.3 Prova per la resistenza statica delle reti

I campioni impiegati sono tre provini identici di dimensioni $(3 \pm 0,1) \text{ m} \times (3 \pm 0,1) \text{ m}$ scelti casualmente.

La rete viene posizionata all'interno di un'intelaiatura stabile, costituita da una struttura orizzontale in tubo d'acciaio di diametro minimo di 48,3 mm e spessore di parete minimo di 2,9 mm, e supportata da una struttura non flessibile quale può essere una rastrelliera ancorata. Ogni maglia di bordo della rete deve essere fissata ai tubi dell'intelaiatura attraverso moschettoni.

Il tutto deve essere corredato da alcuni strumenti: un dispositivo di trazione che genera una potenza di almeno 50 kN alla velocità di $(1 \pm 0,1) \text{ m/min}$; un dinamometro che possa registrare all'interno di un range che va da 5 kN a 50 kN con un'accuratezza di $\pm 1\%$ del valore visualizzato; uno strumento di misura del movimento che possa registrare all'interno di un range che va da 0,25 m a 2,5 m con un'accuratezza di $\pm 1\%$. La massa di prova è una sfera di acciaio con superficie liscia di diametro $(500 \pm 10) \text{ mm}$ e massa superiore a 50 kg.

La prova viene condotta applicando una forza alla massa posta al centro della rete fino a rottura di quest'ultima.

Obiettivo della prova è la valutazione dell'energia di rottura E_0 e dell'inflessione della rete, misurata a partire dalla superficie piana definita dalle linee mediane dei tubi di intelaiatura, che rappresenta il livello di riferimento. Prima della prova la flessione del campione scarico deve essere (5 ± 1) cm.

L'energia di rottura di una rete nello stato come nuovo deve essere:

$$E_0 \geq E_N \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad (1.2)$$

Dove:

- E_N , valore di azione dell'energia;
- $\gamma_1 = 1,5$, fattore di sicurezza generale;
- γ_2 fattore specifico di deterioramento dovuto a invecchiamento (vedi 1.2.5, 1.2.6).

Lo spostamento verticale della rete a rottura deve essere compreso tra 0,8 m e 1,5 m.

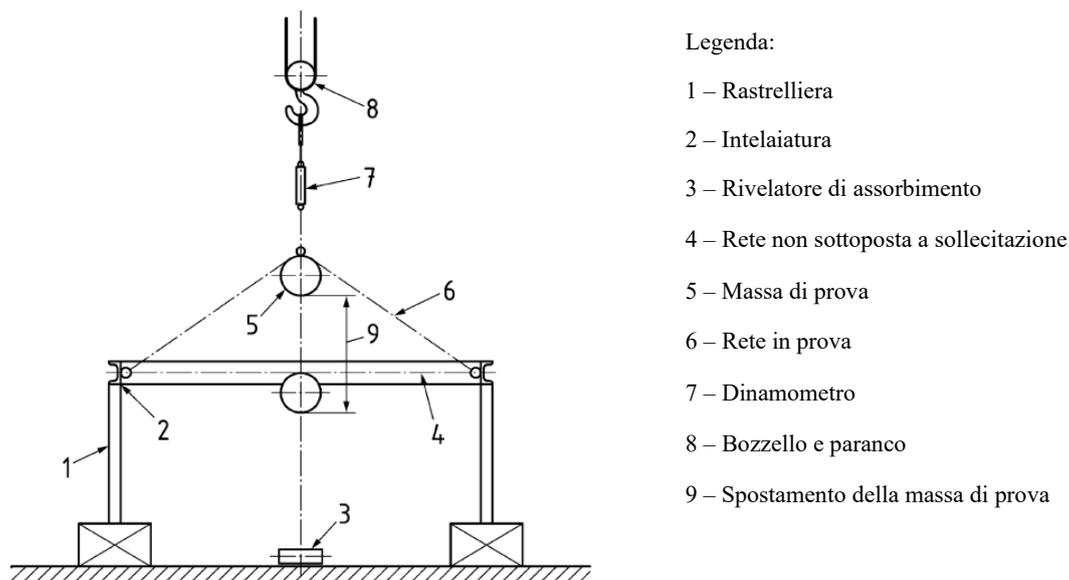


Figura 1.19. Prova statica – UNI EN 1263-1:2015.

1.2.4 Prova della resistenza dinamica delle reti

Rete di tipo S

Il campione di prova, di dimensioni $(5 \pm 0,1) \text{ m} \times (7 \pm 0,1) \text{ m}$, deve essere sospeso rigidamente per i quattro angoli, tramite la fune di bordo, a punti di fissaggio di diametro pari a $(11 \pm 1) \text{ mm}$, ai quali deve essere sottoposta una forza di precarico di 500 kN con un'accuratezza di $\pm 10\%$. Importante è la misurazione dell'inflessione iniziale.

La massa di prova, rappresentata da una sfera di acciaio con superficie liscia di diametro $(500 \pm 10) \text{ mm}$ e massa $(100 \pm 1) \text{ kg}$, deve essere lasciata cadere due volte al centro del campione di prova da un'altezza tale per cui l'energia risulti pari a 7 kJ con un'accuratezza di $\pm 1\%$.

La prova deve essere ripetuta una seconda volta a distanza di tempo non superiore a (30 ± 15) minuti.

Obiettivo è valutare lo spostamento massimo per ciascuna prova e verificare che non risulti superiore al 75% della lunghezza del lato più corto della rete. La deformazione permanente e la rottura di alcune funi per maglia sono consentite.

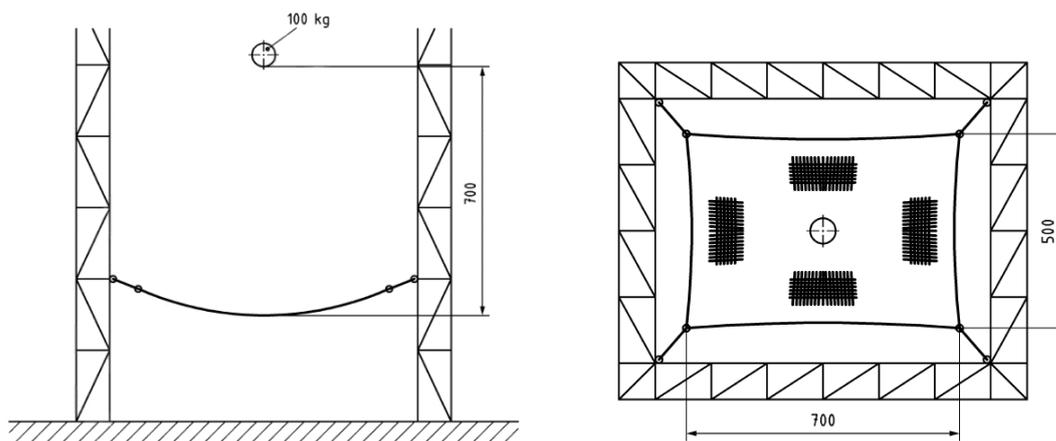


Figura 1.20. Prova dinamica reti S – UNI EN 1263-1:2015.

Reti di tipo T

Il campione di prova è costituito dall'intera rete su due campate e tre campioni delle staffe del sistema originale. Il tutto posizionato secondo le istruzioni del fabbricante.

La massa di prova, rappresentata da una sfera di acciaio con superficie liscia di diametro (500 ± 10) mm e massa (100 ± 1) kg, deve essere lasciata cadere due volte al centro della rete tra le due staffe da un'altezza tale per cui l'energia risulti pari a 7 kJ con un'accuratezza di $\pm 1\%$. Tra le due cadute non deve essere sostituita nessuna parte, che sia danneggiata oppure non la sia. Inoltre, la massa non deve entrare in contatto con l'intelaiatura di supporto.

La prova deve essere ripetuta due volte.

Obiettivo è la valutazione della flessione istantanea della rete, la quale non deve superare la lunghezza del lato più corto della rete. La deformazione permanente è ammessa. Inoltre, nessuna parte della rete, sia durante che dopo la prova, deve essere entrata in contatto con l'intelaiatura di sostegno.

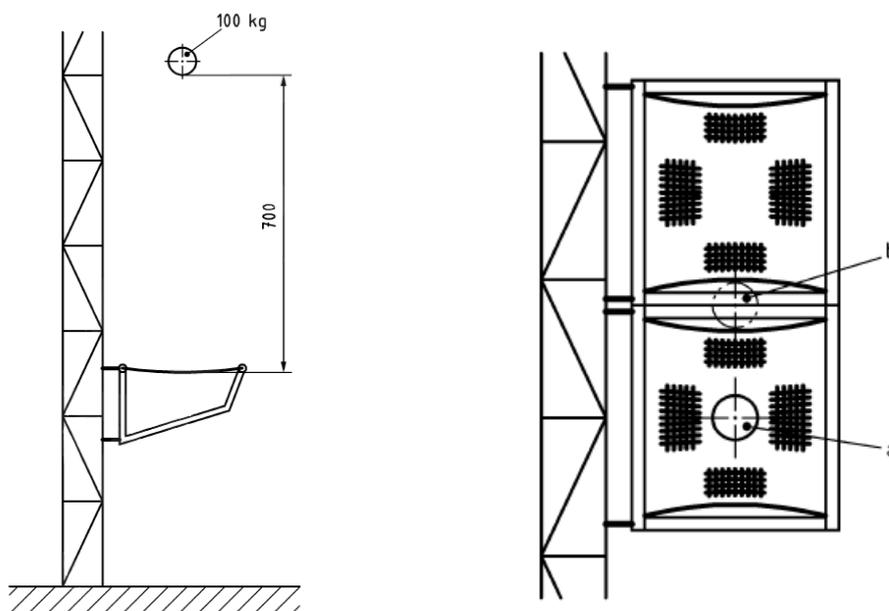


Figura 1.21. Prova dinamica reti T – UNI EN 1263-1:2015.

Reti di tipo U

Il campione di prova ha le dimensioni di $(1,0 \times 2,0)$ m, inclusi i mezzi di fissaggio del telaio e deve essere installato secondo le disposizioni del fabbricante.

La massa di prova è costituita da un corpo cilindrico, di almeno 25 mm di gomma e superficie liscia senza bordi taglienti, di massa (75 ± 1) kg, lunghezza (1000 ± 10) mm e diametro (300 ± 5) mm.

Tale massa deve essere lasciata rotolare lungo una rampa di prova, inclinata di $(60 \pm 3)^\circ$ rispetto all'orizzontale e di lunghezza minima 5,0 m, fino a raggiungere il centro della rete. Devono essere eseguite due prove, tra le quali nessuna parte deve essere sostituita, che sia danneggiata o meno.

Al termine della prova bisogna verificare che la rete riesca a trattenere la massa di prova. La deformazione permanente è ammessa e le funi per maglia sul bordo non devono rompersi.

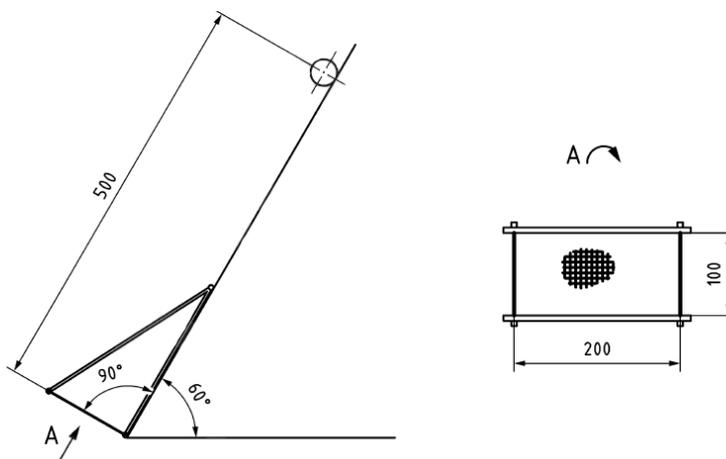


Figura 1.22. Prova dinamica reti U – UNI EN 1263-1:2015.

Reti di tipo V

Il campione di prova, di dimensioni $(5 \pm 0,1)$ m \times $(7 \pm 0,1)$ m, deve essere installato su dispositivi di tipo a forca, fissati a loro volta alla struttura di prova come disposizioni del fabbricante. La distanza tra i telai di sostegno deve essere di $(5 \pm 0,1)$ m. La fune del bordo inferiore della rete deve essere ancorata attraverso ganci a spirale posizionati ogni $(0,5 \pm 0,02)$ m.

La massa di prova, rappresentata da una sfera di acciaio con superficie liscia di diametro (500 ± 10) mm e massa (100 ± 1) kg, deve essere fatta cadere due volte tra i due sostegni di tipo a forca ad una distanza orizzontale tra i punti di fissaggio della fune del bordo inferiore del 50% della sporgenza dei sostegni, che deve essere almeno 1,0 m. L'altezza di caduta deve essere tale per cui l'energia risulti pari a 7 kJ con un'accuratezza di $\pm 1\%$. Tra le due cadute nessuna parte deve essere sostituita, che sia danneggiata o meno.

Obiettivo è la valutazione della flessione istantanea della rete, la quale non deve superare il 50% della lunghezza del lato più corto della rete, partendo da un'inflessione iniziale delle funi sul bordo esterno dovuta al peso proprio di $(0,3 \pm 0,05)$ m. La deformazione permanente è ammessa. La massa deve essere sostenuta dalla rete. Inoltre, deve essere segnalato se parti della rete, sia durante che dopo la prova, sono entrate in contatto con l'intelaiatura di sostegno.

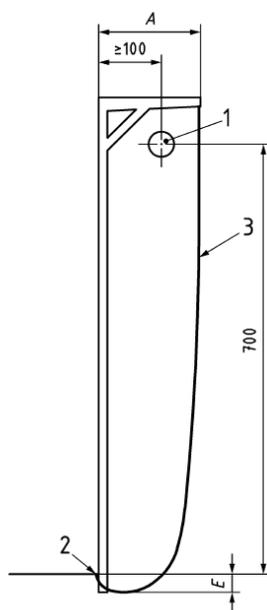


Figura 1.23. Prova dinamica reti V – UNI EN 1263-1:2015.

1.2.5 Prova di invecchiamento naturale

Le reti di sicurezza sono realizzate con materiali polimerici, più comunemente poliammide e polipropilene, i quali sono sensibili al fenomeno dell'invecchiamento dovuto all'esposizione ai raggi UV. Per questo motivo le reti possono essere esposte all'aria aperta per un periodo di tempo limitato oltre il quale devono essere ritirate dal servizio.

L'invecchiamento è rappresentato da una progressiva perdita delle proprietà intrinseche del materiale a seguito delle sollecitazioni esterne a cui è esposto durante l'esercizio, quali impatto ambientale, agenti atmosferici, temperatura, umidità, radiazioni ultraviolette, agenti chimici o meccanici. Tali sollecitazioni arrivano a rompere le catene polimeriche e ad innescare il processo di deterioramento.

Di conseguenza, la norma prescrive specifiche prove di invecchiamento, naturale ed artificiale, sulle reti di sicurezza.

Per quanto riguarda la prova di invecchiamento naturale, vengono utilizzati 10 campioni allo stato come nuovo da poter confrontare con altri 10 sottoposti ad un periodo di invecchiamento di almeno di 12 mesi.

I provini vengono fissati ad una macchina di prova a trazione tramite speciali dispositivi. Il macchinario deve essere corredato da strumenti in grado di misurare l'allungamento dei campioni a rottura, la forza di sollecitazione pertinente e la forza di allungamento, con un'accuratezza di $\pm 1\%$ del valore visualizzato in un'area tra il 10% e il 100% del campo di misura.

Precedentemente alla prova i campioni devono essere condizionati in una camera climatica a temperatura di $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidità relativa del $(65 \pm 5)\%$.

Obiettivo della prova è il calcolo di:

- Energia E_{vi} di ciascun campione i sottoposto ad invecchiamento, corrispondente all'area sottesa alla curva forza-allungamento fino alla forza di trazione a rottura del provino;

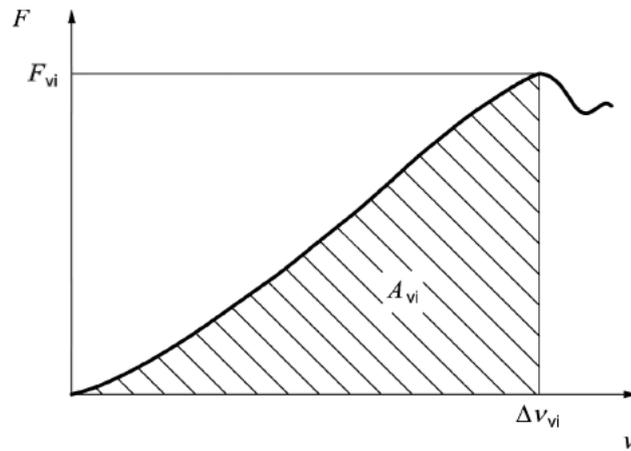


Figura 1.24. Curva forza-allungamento campioni sottoposti ad invecchiamento – UNI EN 1263-1:2015.

- Energia E_{oj} di ciascun campione j allo stato come nuovo, corrispondente all'area sottesa alla curva forza-allungamento fino alla forza di trazione a rottura del provino;

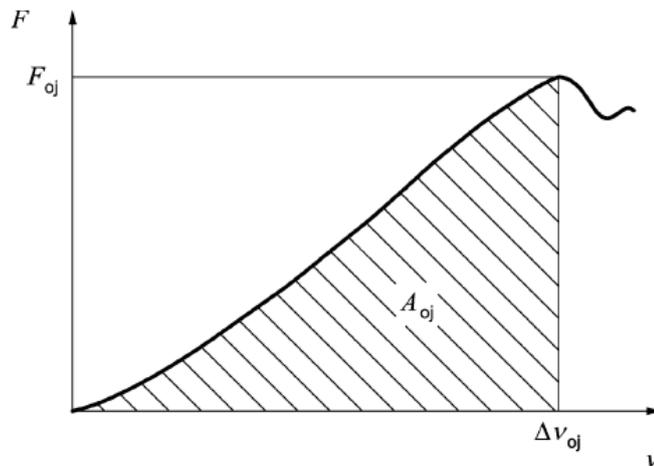


Figura 1.25. Curva forza-allungamento campioni allo stato come nuovo – UNI EN 1263-1:2015.

- Reazione R , corrispondente a rapporto tra la somma della quantità di energia E_{vi} dei 10 campioni sottoposti ad invecchiamento e la somma della quantità di energia dei 10 campioni allo stato come nuovo:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{10} E_{vi}}{\sum_{j=1}^{10} E_{oj}} \quad (1.3)$$

- Media aritmetica $\langle F_o \rangle$ della forza di resistenza a rottura dei 10 campioni allo stato come nuovo F_{vi} e media aritmetica $\langle F_v \rangle$ della forza di resistenza a rottura dei 10 campioni sottoposti ad invecchiamento F_{oj} :

$$\langle F_o \rangle = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} F_{oj} \quad (1.4)$$

$$\langle F_v \rangle = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} F_{vi} \quad (1.5)$$

- Perdita di energia alla rottura ΔE_{12} della rete dopo un invecchiamento naturale di 12 mesi:

$$\begin{cases} \Delta E_{12} = 0 & \text{se } L_{12} \leq 0 \\ \Delta E_{12} = E_0 \cdot L_{12} \\ E_{12} = E_0 - \Delta E_{12} & \text{se } L_{12} > 0 \end{cases} \quad (1.6)$$

Dove L_{12} è il fattore di correlazione tra l'energia di rottura di una maglia e l'energia di rottura di una rete, rispetto all'invecchiamento:

$$L_{12} = 1 - R^{-0,31} \cdot \left[\frac{\langle F_v \rangle}{\langle F_o \rangle} \right]^{1,31} \quad (1.7)$$

E_0 e E_{12} sono l'energia alla rottura della rete alle condizioni di riferimento, temperatura $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidità relativa del $(65 \pm 5)\%$, rispettivamente allo stato come nuovo e a seguito di invecchiamento naturale.

- Fattore specifico del deterioramento dovuto a invecchiamento γ_2 :

$$\gamma_2 = \frac{E_0}{E_{12}} \quad (1.8)$$

1.2.6 Prova di invecchiamento artificiale

In questo caso vengono impiegati 3 campioni di prova allo stato come nuovo da poter confrontare con altri 3 sottoposti ad invecchiamento artificiale.

La metodologia di prova per realizzare l'invecchiamento accelerato nella camera di invecchiamento richiede le seguenti specifiche:

- La sorgente luminosa è rappresentata da una lampada ad arco allo xeno di forma cilindrica media o lunga, combinata con un filtro interno al quarzo e un altro esterno al borosilicato atti a simulare la radiazione solare eliminando le lunghezze d'onda inferiori a 290 nm che sono assenti dallo spettro solare;
- La rastrelliera di prova deve avere una velocità di rotazione compresa tra 1 min⁻¹ e 5 min⁻¹;
- La superficie anteriore dei campioni deve essere bagnata con acqua di resistività uguale o superiore a 10⁶ Ωcm, temperatura compresa tra 10°C e 30°C, con un angolo di getto di 50° ed una portata unitaria compresa tra 15 l/h e 25 l/h. L'irrorazione viene eseguita attraverso un dispositivo apposito, costituito da spruzzatori a pioggia, che deve inoltre impedire la contaminazione dell'acqua;
- L'energia di illuminazione deve essere controllata con un radiometro costituito da un filtro interferenziale centrato su (365 ± 2) nm, avente lunghezza di banda (20 ± 3) nm per una trasmissione $\tau \geq 60\%$. La potenza della lampada deve essere regolata a seguito di ogni controllo per ottenere un'energia di illuminazione media pari a (2,2 ± 0,2) mW/cm²;
- L'umidità relativa dell'aria che circola all'interno della camera di prova deve rientrare nei valori limite;

- La temperatura della camera θ_E deve essere misurata con una protezione dalla radiazione della lampada. La temperatura del termometro a pannello nero θ deve rispettare i seguenti limiti:

$$\theta_E + 15^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq \theta_E + 25^{\circ}\text{C} \quad (1.9)$$

I campioni devono essere sottoposti ad un ciclo di invecchiamento per 336 volte. Tale ciclo è costituito dalle seguenti fasi:

- 1) Spruzzatura con acqua distillata a $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ per 20 minuti;
- 2) Aumento di temperatura fino a 80°C per 10 minuti;
- 3) Essiccamento a temperatura di $(80 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidità relativa del $(15 \pm 5)\%$ per 100 minuti;
- 4) Diminuzione della temperatura fino a 60°C per 10 minuti;
- 5) Esposizione a radiazione UV a temperatura 60°C e temperatura ambiente di $(36 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidità relativa del $(20 \pm 5)\%$ per 90 minuti;
- 6) Diminuzione della temperatura fino a 20°C per 10 minuti.

La durata della prova è di massimo 70 giorni, corrispondenti a 6 mesi di invecchiamento naturale.

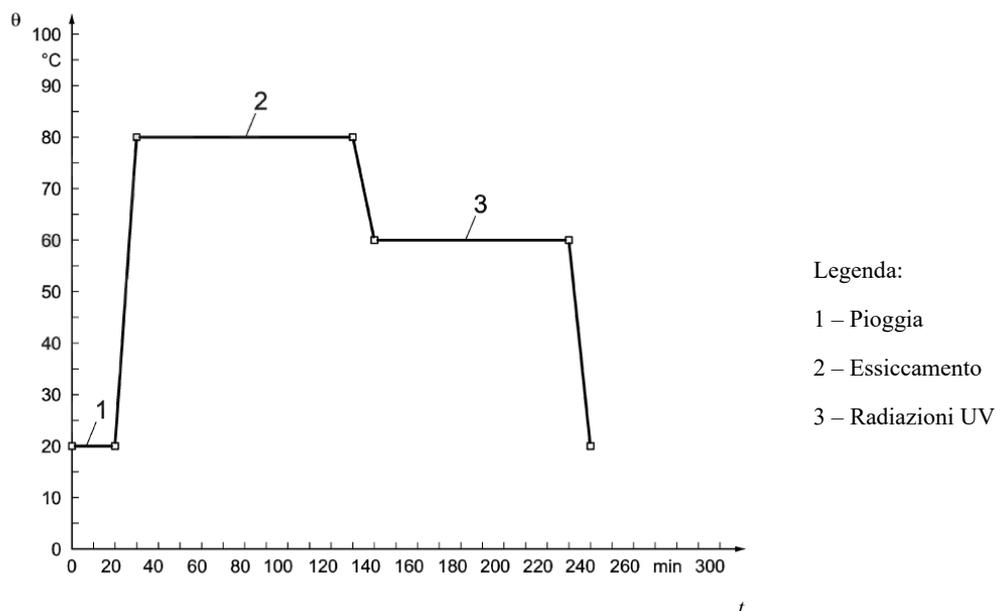


Figura 1.26. Ciclo invecchiamento artificiale – UNI EN 1263-1:2015.

Al termine della prova vengono calcolate le seguenti grandezze:

- Energia E_{vi} di ciascun campione i sottoposto ad invecchiamento, corrispondente all'area sottesa alla curva forza-allungamento fino alla forza di trazione a rottura del provino;
- Energia E_{oj} di ciascun campione j allo stato come nuovo, corrispondente all'area sottesa alla curva forza-allungamento fino alla forza di trazione a rottura del provino;
- Reazione R , corrispondente a rapporto tra la somma della quantità di energia E_{vi} dei 3 campioni sottoposti ad invecchiamento e la somma della quantità di energia dei 3 campioni allo stato come nuovo:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^3 E_{vi}}{\sum_{j=1}^3 E_{oj}} \quad (1.10)$$

- Media aritmetica $\langle F_o \rangle$ della forza di resistenza a rottura dei 3 campioni allo stato come nuovo F_{vi} e media aritmetica $\langle F_v \rangle$ della forza di resistenza a rottura dei 3 campioni sottoposti ad invecchiamento F_{oj} :

$$\langle F_o \rangle = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 F_{oj} \quad (1.11)$$

$$\langle F_v \rangle = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 F_{vi} \quad (1.12)$$

- Perdita di energia alla rottura ΔE_6 della rete dopo un invecchiamento corrispondente a 6 mesi:

$$\begin{cases} \Delta E_6 = 0 & \text{se } L_6 \leq 0 \\ \Delta E_6 = E_0 \cdot L_6 \\ E_6 = E_0 - \Delta E_6 & \text{se } L_6 > 0 \end{cases} \quad (1.13)$$

Dove L_6 è il fattore di correlazione tra l'energia di rottura di una maglia e l'energia di rottura di una rete, rispetto all'invecchiamento:

$$L_6 = 1 - R^{-0,31} \cdot \left[\frac{\langle F_v \rangle}{\langle F_o \rangle} \right]^{1,31} \quad (1.14)$$

E_0 e E_6 sono l'energia alla rottura della rete alle condizioni di riferimento, temperatura $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidità relativa del $(65 \pm 5)\%$, rispettivamente allo stato come nuovo e a seguito di invecchiamento artificiale corrispondente a 6 mesi.

- Perdita di energia ΔE_{12} della rete dopo un invecchiamento corrispondente ad almeno 12 mesi:

$$\begin{cases} \Delta E_6 = E_0 - E_6 \\ \Delta E_{12} = 2 \cdot \Delta E_6 \\ E_{12} = E_0 - \Delta E_{12} \end{cases} \quad (1.15)$$

Dove E_{12} è l'energia alla rottura della rete alle condizioni di riferimento a seguito di invecchiamento artificiale corrispondente a 12 mesi.

- Fattore specifico del deterioramento dovuto a invecchiamento per un periodo di almeno 12 mesi γ_2 :

$$\gamma_2 = \frac{E_0}{E_{12}} \quad (1.16)$$

1.3 Funi

Oltre a soddisfare i requisiti previsti della norma UNI EN 1263-1:2015 relativamente alle reti, le funi vengono definite dalla norma EN ISO 2307:2019 “*Corde di fibra - Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche*”.

Le funi che compongono le reti di sicurezza sono formate da fibre, principalmente chimico sintetiche come la poliammide e il polipropilene. Per creare la fune, tali fibre vengono riunite e configurate attraverso due possibili modalità: cablatura o intrecciatura. Nel primo caso, usato per realizzare funi perimetrali e di attacco, le fibre sono combinate in filamenti semplici che vengono poi intrecciati formando i cordini, uniti in treccia a loro volta a formare la fune. La seconda metodologia, utilizzata prevalentemente per la realizzazione di corde costituenti la maglia della rete, prevede che le fibre vengano combinate in filamenti semplici che intrecciati tra loro formano direttamente la corda.

Un parametro importante nella definizione delle caratteristiche della fune è la densità lineare, la quale fornisce informazioni relative alla massa delle fibre di una corda per unità di lunghezza. Essa può essere espressa attraverso differenti unità di misura, tra cui, le più usate: il sistema di numerazione Tex, che esprime la massa in grammi di 1000 metri di fune; il sistema di numerazione Denier, il quale definisce la massa in grammi di 900 metri di fune; il sistema di numerazione Runnage, che esprime la densità lineare di una corda in metri/chilogrammi.

Le caratteristiche meccaniche e chimiche fondamentali per le funi costituenti le reti di sicurezza sono: resistenza a trazione, all’abrasione e alle intemperie. La resistenza a trazione è definita attraverso la curva sforzo-allungamento, dalla quale si ricavano i parametri di:

- resistenza a rottura, limite oltre il quale la corda si spezza;
- allungamento a rottura, allungamento misurato al momento del collasso;
- energia a rottura, capacità di assorbimento di energia fino alla rottura.

La resistenza all’abrasione è la resistenza della fune all’usura, che provoca asportazione e sfaldamento del materiale. Corde intrecciate sono più resistenti all’abrasione rispetto a quelle cablate, in quanto più compatte. La resistenza alle intemperie definisce la capacità della fune di resistere alla degradazione provocata da reazioni chimiche che avvengono a

contatto con l'ambiente esterno. Le radiazioni solari sono uno dei fattori dominanti di degrado. È importante valutare tutte queste caratteristiche in quanto le reti di sicurezza possono essere soggette a sforzi elevati, esposte ad ambiente aggressivo e a condizioni climatiche differenti.

1.3.1 Tipologie di funi

Si possono identificare, in base alla funzione che svolgono, tre diverse tipologie di funi: funi sul bordo, funi tirante e funi di accoppiamento.

Le funi sul bordo sono funi chiuse che collegano tutte le maglie sul perimetro della rete e devono essere cucite o fissate adeguatamente ad essa per impedire il distacco.

Denominazione	Sistema	Minima resistenza a trazione (kN)
K	S	30
P	V	20
W	T	20

Tabella 1.1. Caratteristiche funi sul bordo.



Figura 1.27. Fune sul bordo – INAIL.

Le funi tirante presentano invece estremità, con o senza cappio. Vengono impiegate per ancorare la fune sul bordo alla struttura di sostegno per cui viene usata la rete di sicurezza.

Denominazione	Sistema	Minima resistenza a trazione (kN)
F	V	20
G	V	20
H	V	10
J	V	10
L	S	20
M	S	20
R	S	15
Z	S	15

Tabella 1.2. Caratteristiche funi tirante.

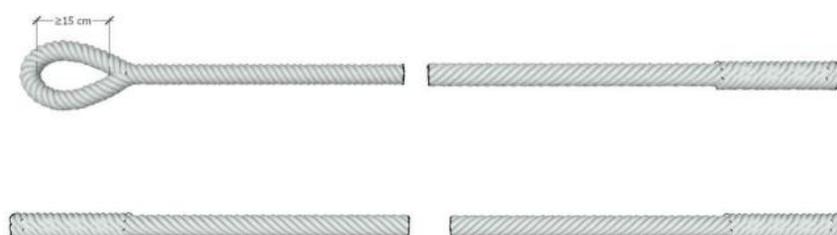


Figura 1.28. Fune tirante con e senza cappio – INAIL.

Infine, la fune di accoppiamento viene utilizzata per collegare diverse reti di sicurezza tra loro.

Denominazione	Sistema	Minima resistenza a trazione (kN)
N	S,T,U,V	7.5
O	S,T,U,V	7.5

Tabella 1.3. Caratteristiche funi di accoppiamento.

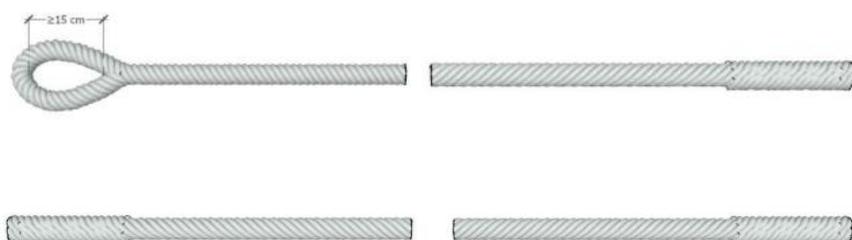


Figura 1.29. Fune di accoppiamento con e senza cappio – INAIL.

Nella Tabella 1.4 sono rappresentate le caratteristiche delle funi in funzione del loro diametro, il quale deve essere considerato come indicativo in quanto di difficile determinazione a causa della natura flessibile della corda.

Fibra	Diametro	Resistenza a trazione	Densità lineare	
	mm	kN	m/kg	kg/m
Poliammide	12	30	11	0.090
	10	20	18	0.055
	8-9	15	30	0.033
	7-8	10	40	0.025
	6-7	7.5	50	0.020
Poliestere	12	30	9	0.111
	10	20	14	0.071
	9	15	25	0.040
	8	10	33	0.030
	7	7.5	42	0.024
Polipropilene	13-14	30	10	0.100
	11-12	20	15	0.067
	9-10	15	25	0.040
	8-9	10	35	0.028
	7-8	7.5	50	0.020
Polysteel	13	30	-	0.090
	11	20	-	0.060
	9	15	-	0.050
	7	10	-	0.024
	6	7.5	-	0.018

Tabella 1.4. Caratteristiche funi in funzione del diametro.

1.4 Sistema di ancoraggio

Il sistema di ancoraggio è costituito da una struttura di supporto a cui viene assicurato, attraverso l'ancorante, l'elemento da fissare, al quale a sua volta viene collegata la rete di sicurezza.

Il fabbricante degli ancoranti deve fornire i carichi consigliati per l'attacco ai diversi tipi di materiali (calcestruzzo, muratura...), ma se non esistono informazioni a riguardo o se non si conosce l'effettiva resistenza della struttura di supporto, è necessario effettuare test preliminari per valutare il massimo carico a cui può essere sottoposta. In generale, risultando complesso realizzare prove sulla struttura di sostegno, viene operato un test di trazione sull'ancorante, con cui ne viene valutata la resistenza a trazione orizzontale sottoponendolo ad un carico applicato di almeno 6 kN a 45°, che può inoltre provocare tagli e piegature.

L'ancoraggio può essere realizzato mediante: ancorante meccanico, chimico o da legno, connettori, fasce a cricchetto, fune tirante doppia o singola e fune di accoppiamento singola.



Figura 1.30. Da sinistra: ancorante meccanico, ancorante chimico, ancorante da legno – INAIL.



Figura 1.31. Da sinistra: fascia a cricchetto, connettore – INAIL.

Si riportano alcuni esempi di strutture e ancoraggi reperiti da “Reti di sicurezza – Guida tecnica per la scelta, l’uso e la manutenzione” a cura dell’INAIL.

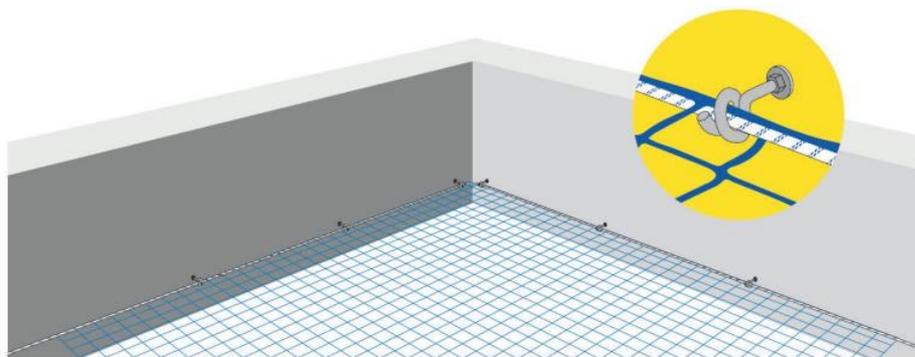


Figura 1.32. Ancoraggio su struttura in calcestruzzo con ancorante meccanico e gancio a riccio – INAIL.

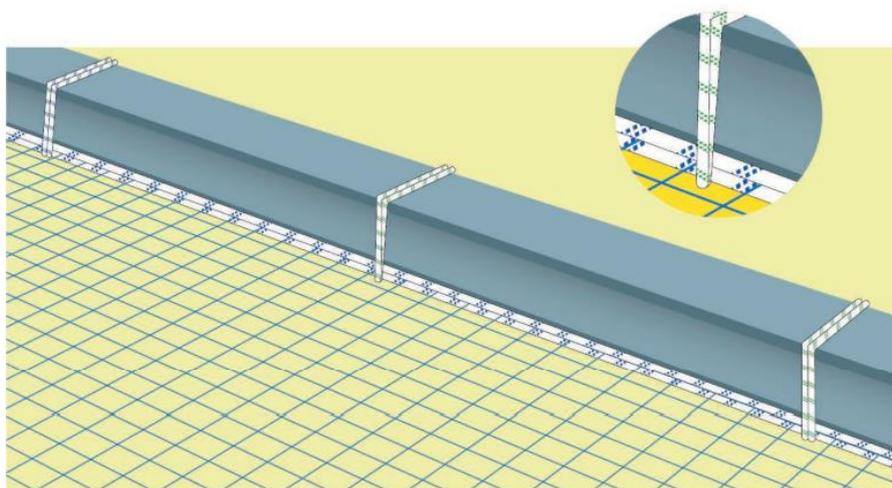


Figura 1.33. Ancoraggio su trave in acciaio con fune tirante utilizzata in doppia – INAIL.

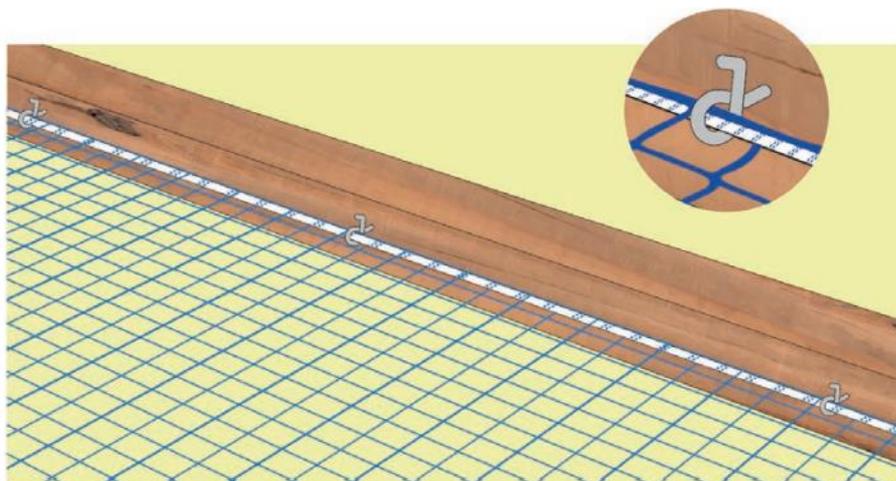


Figura 1.34. Ancoraggio su trave in legno con viti da legno – INAIL.

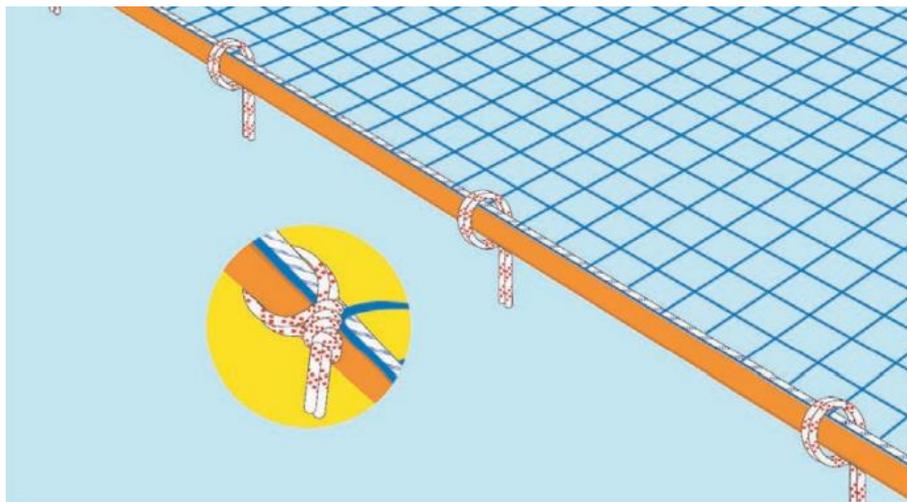


Figura 1.35. Ancoraggio con fascia a cricchetto e fune tirante utilizzata in doppia – INAIL.

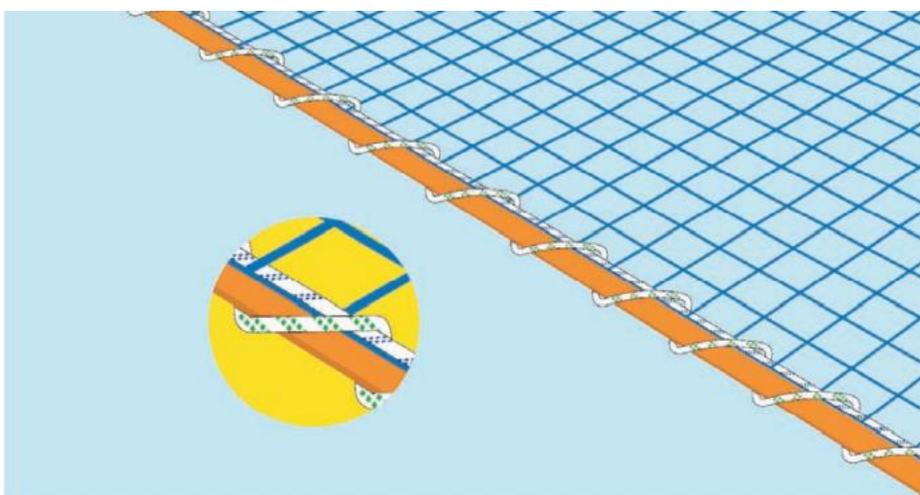


Figura 1.36. Ancoraggio con fascia a cricchetto e fune di accoppiamento – INAIL.

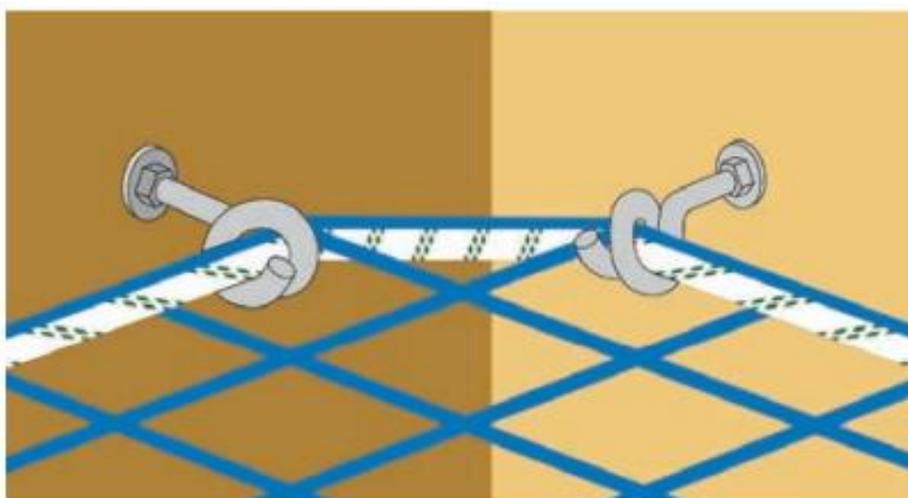


Figura 1.37. Ancoraggio ad angolo – INAIL.

1.5 Requisiti

1.5.1 Requisiti prestazionali

La rete di sicurezza, affinché possa garantire le funzionalità per cui è stata definita, deve soddisfare i seguenti requisiti:

- Essere in grado di resistere alle azioni statiche e dinamiche trasmesse dai lavoratori, sia in caso di appoggio che in caso di caduta, urti o scivolamento contro la stessa;
- In caso di scivolamento o rotolamento del lavoratore, impedirne la caduta;
- In caso di caduta, scivolamento o rotolamento, deve essere capace di assorbire l'energia cinetica trasmessa dall'urto dei lavoratori per ridurre le azioni dinamiche esercitate sul corpo e garantire un atterraggio morbido senza infortuni;
- In caso di caduta dei lavoratori, nessuna parte della rete deve entrare in contatto con l'intelaiatura di sostegno, nei sistemi che ne sono provvisti;
- La struttura di supporto, le caratteristiche costruttive e di resistenza dei materiali impiegati che influiscono sulle prestazioni dell'ancoraggio devono essere adeguate;
- Deve resistere anche all'azione del vento.

1.5.2 Requisiti geometrici e limiti di posizionamento

Poiché le reti di sicurezza devono proteggere il lavoratore non solo in caso di cadute verticali ma anche paraboliche, è necessario stabilire dei requisiti di posizionamento che considerino sia l'altezza di caduta che la larghezza di raccolta.

L'*altezza di caduta* è definita come la distanza verticale tra il piano di lavoro e la rete di sicurezza, e si distingue tra:

- H_i , se il lavoratore è posizionato all'interno della struttura;
- H_e , se il lavoratore è posizionato sul bordo della struttura;
- Altezza di caduta ridotta H_r , se il lavoratore è posizionato all'interno della struttura ad una distanza dall'ancoraggio inferiore a 2 m.

Altezza di caduta	Limite	Note
H_i	≤ 6 m	La massima altezza di caduta nominale dal centro di gravità della persona è 7 m
H_e	≤ 6 m	-
H_r	≤ 3 m	Localizzata in una zona più debole della rete, che riesce a reggere un carico di impatto minore lungo i suoi bordi

Tabella 1.5. Limiti altezze di caduta.

In ogni caso, quando è possibile e soprattutto se la rete è l'unico dispositivo di protezione presente, l'altezza di caduta deve essere limitata a 2 metri.

La *larghezza di raccolta* è invece definita come “la distanza orizzontale tra il bordo estremo della zona di lavoro e il bordo estremo della rete di sicurezza” (UNI EN 1263-2:2015, 4.3). Tale grandezza è importante in quanto considera la possibilità che il lavoratore venga proiettato fuori dalla superficie protetta dalla rete a causa della componente orizzontale della velocità che esso può possedere durante la caduta. La larghezza di raccolta (b) è funzione dell'altezza di caduta e dell'inclinazione della superficie di lavoro.

Superfici di lavoro inclinate fino a 20°			
H_e	$\leq 1,0$ m	$\leq 3,0$ m	$\leq 6,0$ m
b	$\geq 2,0$ m	$\geq 2,5$ m	$\geq 3,0$ m

Tabella 1.6. Limiti larghezze di raccolta.

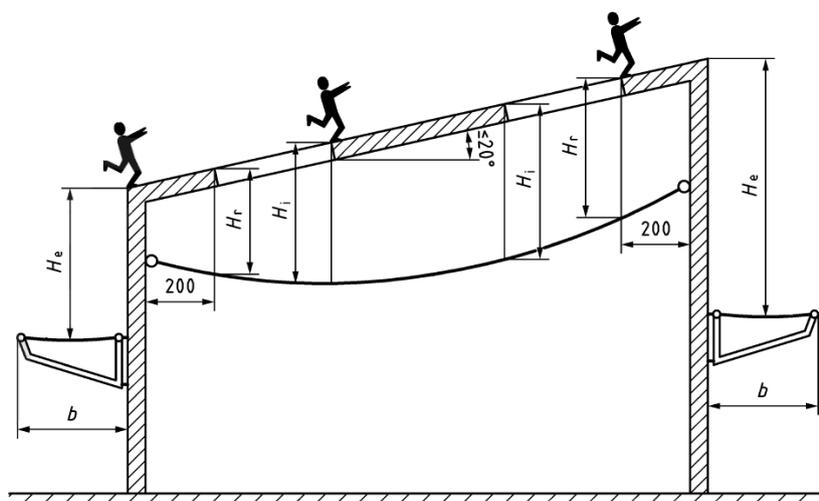


Figura 1.38. Altezze di caduta e lunghezze di raccolta per zone di lavoro inclinate fino a 20° – UNI EN 1263-2:2015.

Nel caso di zone di lavoro con inclinazione superiore ai 20°, la larghezza di raccolta deve essere almeno pari a 3,0 m e la distanza tra il punto di lavoro più basso e il punto più basso del bordo della rete deve essere inferiore a 3,0 m.

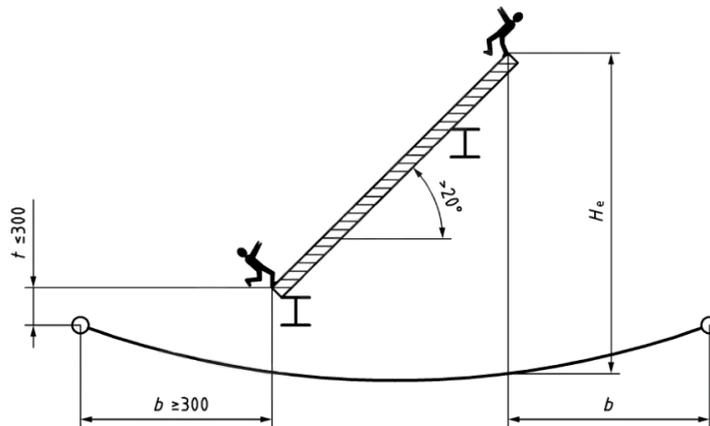


Figura 1.39. Altezze di caduta e lunghezze di raccolta per zone di lavoro inclinate più di 20° – UNI EN 1263-2:2015.

Fondamentale anche la *deformazione massima* della rete, f_{max} , che tiene conto dell'abbassamento dovuto al peso proprio (f_0) e alla deformazione causata dal carico dinamico. Essa, funzione della larghezza della rete (l) e dell'altezza di caduta (h), viene definita nel seguente grafico, utilizzabile nel caso in cui:

$$\begin{cases} f_0 \leq 0,1 \cdot l \\ H_i = h + f_0 \leq 6,0 \end{cases} \quad (1.17)$$

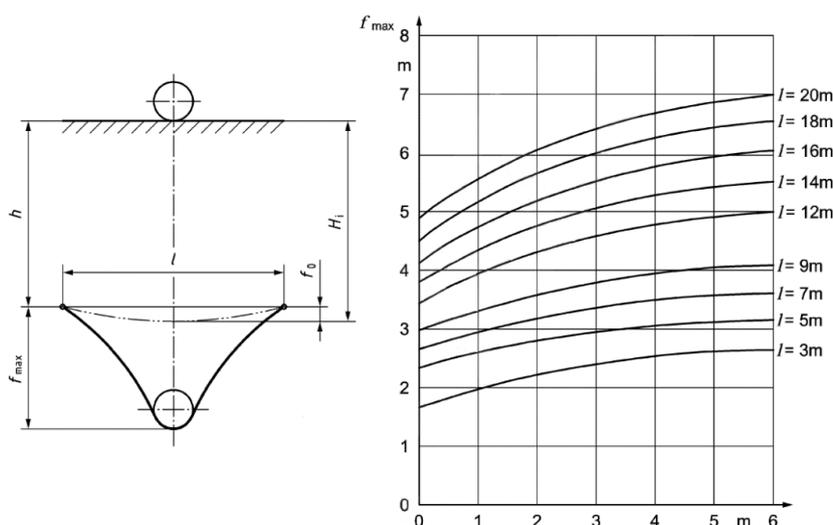


Figura 1.40. Deformazione massima della rete di sicurezza – UNI EN 1263-2:2015.

Il *tirante d'aria* è definito come lo spazio libero al di sotto del punto di caduta del lavoratore necessario affinché esso non urti nessun ostacolo, comprensivo di altezza di caduta libera, altezza di caduta frenata, data dalle deformazioni della rete, e di eventuale margine di sicurezza.

La caduta libera, causata dalla sola forza di gravità, è lo spazio percorso dal lavoratore a partire dal punto di caduta dalla zona di lavoro fino a toccare la rete. La caduta frenata invece, è lo spazio percorso dall'operatore da quando arriva sulla rete fino al completo esaurimento del moto, derivante dalla deformazione della rete, che può essere valutata circa pari alla metà del suo lato corto.

In funzione di queste quantità, deve essere previsto uno spazio libero minimo al di sotto della rete, la quale è preferibile che venga installata il più possibile vicino al piano di lavoro per limitare al massimo la caduta libera.

1.6 Criteri di utilizzo

La scelta della rete di sicurezza più adeguata dipende principalmente dall'utilizzo che se ne vuole fare, dalle modalità con cui si effettua la realizzazione e dalle caratteristiche del sito di installazione, in particolare la resistenza della struttura a cui viene collegata, la quale deve poter resistere alle forze trasmesse dalla rete.

Le reti devono essere adeguatamente installate da personale qualificato.

L'utilizzo della rete non esclude la possibilità di impiegare una misura di protezione individuale complementare, soprattutto durante le fasi di montaggio in cui il dispositivo collettivo non può essere montato dal basso o tramite piattaforme di lavoro, oppure in caso di tetti a falde molto estese e/o a forte pendenza.

1.6.1 Metodi di accesso

Il montaggio delle reti di sicurezza può avvenire attraverso differenti metodi: dispositivi di aggancio remoto, piattaforme di lavoro elevabili, ponteggi, trabattelli, scale portatili.

I dispositivi di aggancio remoto permettono di effettuare le operazioni di montaggio e smontaggio rimanendo a distanza rispetto al piano di posizionamento della rete e, di conseguenza, non si manifesta il rischio caduta dall'alto durante questa fase preliminare in cui non si dispone ancora della protezione collettiva.

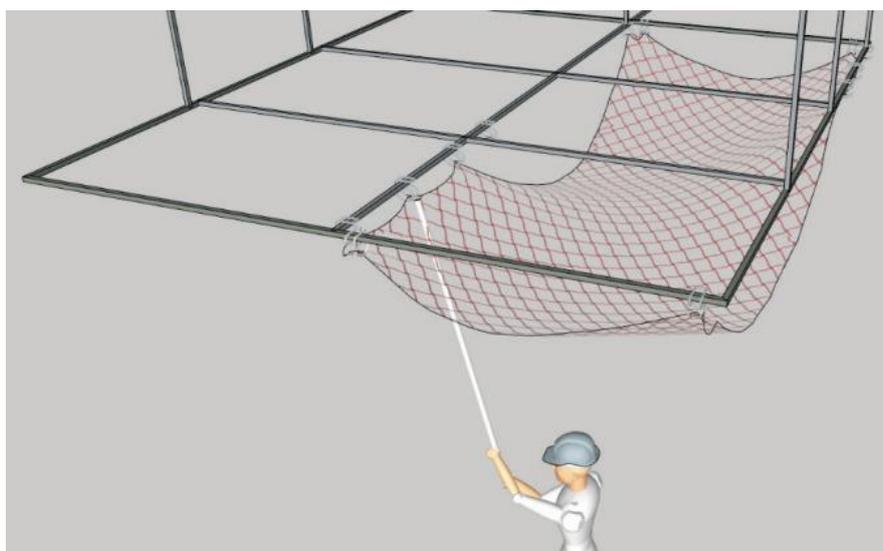


Figura 1.41. Utilizzo del dispositivo di aggancio remoto – INAIL.

Le piattaforme di lavoro mobili elevabili (PLE), sono tra i migliori sistemi di installazione delle reti in quota. Naturalmente tali macchine devono essere conformi alle direttive specifiche, per essere posizionate necessitano di luoghi accessibili e di terreno con caratteristiche idonee. I lavoratori che ne fanno uso devono essere informati, formati e addestrati adeguatamente ed utilizzare un dispositivo anticaduta.

Anche i ponteggi possono essere impiegati per montare e smontare le reti di sicurezza. Come per i ponteggi utilizzati per opere di costruzione e manutenzione, essi devono disporre di Autorizzazione Ministeriale e, se non realizzati seguendo gli schemi tipo o se di altezza superiore ai 20 m, deve essere redatto un progetto specifico.

I trabattelli possono essere utilizzati come mezzi di accesso alle reti di sicurezza se tale impiego è previsto dal fabbricante e riportato nel libretto di istruzioni, a patto che posseggano i requisiti di resistenza e stabilità necessari, riducendo, se non eliminando, il rischio caduta dall'alto.

Se i dispositivi sopra elencati non possono essere utilizzati perché il livello di rischio e la durata di impiego sono limitate o le caratteristiche del sito inadeguate, è possibile utilizzare scale a castello. Poiché questi elementi, non permettendo di raggiungere qualsiasi posizione di lavoro agevolmente, comportano il rischio ribaltamento se il lavoratore tenta di sporgersi lateralmente, è preferibile prediligere dispositivi di aggancio remoto, PLE, ponteggi o trabattelli, ritenuti più sicuri.

1.6.2 Montaggio

Sistema S

In generale, il sistema S deve essere installato con funi tiranti nei punti di ancoraggio che siano in grado di sopportare un carico caratteristico di almeno 6 kN per un'altezza di caduta di 6 m. Definiti i punti di ancoraggio, la rete viene sollevata e la sua corda perimetrale viene fissata tramite la fune tirante ad essi.

Necessarie sono la riduzione al minimo dei vuoti tra fune di bordo e struttura di sostegno e la massima tesatura possibile della rete.

Le reti devono essere posizionate in modo tale da non creare aperture superiori a 100mm, anche tramite cuciture o sovrapposizioni di almeno 2 metri, e, se non possono essere realizzate, le reti devono essere legate insieme attraverso una fune di accoppiamento con carico minimo di rottura 7,5 kN.

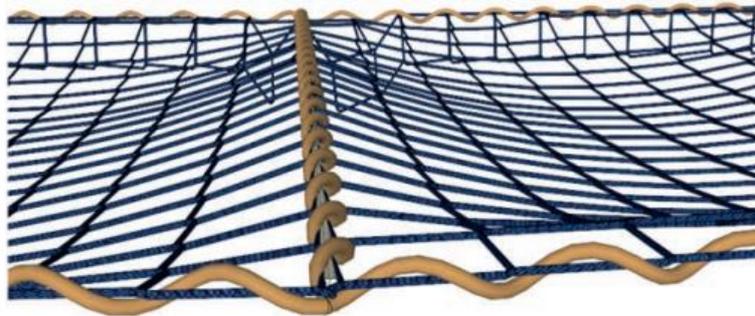


Figura 1.42. *Accoppiamento di reti di tipo S – INAIL.*

Lo smontaggio delle reti avviene tagliando la fune tirante, così da portarle a terra per procedere al disaccoppiamento dei pezzi, alla loro revisione, pulizia e piegatura necessarie prima dello stoccaggio.

Le reti devono potersi adattare alle dimensioni del sito di installazione: l'adattamento può essere ottenuto mediante arrotolamento o raccolta. Tra i due metodi, l'arrotolamento della rete sul bordo, che permette una distribuzione uniforme del carico applicato riducendo la tensione sulle singole maglie e quindi riducendo al minimo la probabilità di strappo, è il migliore. In base però al metodo di accesso al montaggio della rete, può essere più appropriato l'utilizzo della raccolta, che si realizza con una piegatura della rete sul bordo: se viene utilizzata una scala a pioli, realizzare un arrotolamento può portare a rischi aggiuntivi derivanti da un elevato tempo di permanenza sulla scala.

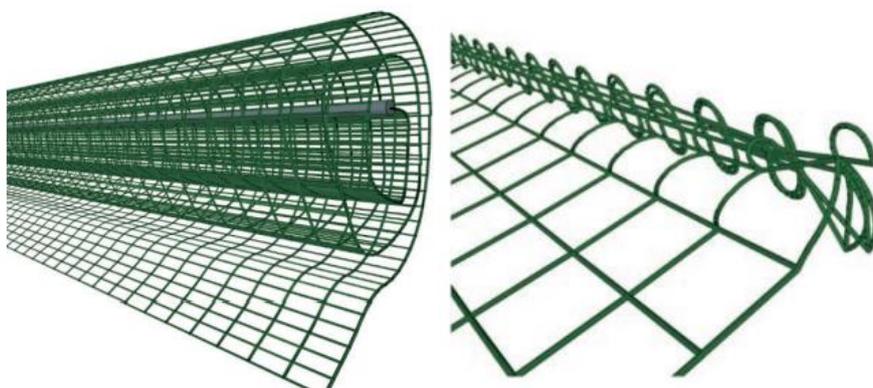


Figura 1.43. *Arrotolamento della rete (sinistra) e raccolta della rete (destra). – INAIL.*

Sistema T

Il sistema a T, che è costituito da un supporto a ganascia, un braccio articolato e dei longheroni, viene comunemente installato con gru o con attrezzi manuali, quali carrucole che permettono di movimentare il sistema.

L'installazione con la gru, che è preferibile data la complessità e il peso del sistema, prevede inizialmente un accoppiamento da terra di due bracci articolati sui quali sono stati montati i supporti a ganascia e il sistema di bloccaggio antivento. La rete viene montata sui longheroni che vengono posizionati sul morsetto superiore del supporto a ganascia e fissati con il sistema di bloccaggio antivento. Il sistema così realizzato deve essere imbragato e sollevato con una gru fino al punto di posizionamento, dove poi viene fissato tramite viti ad espansione. Inizialmente i moduli vengono tenuti in verticale e viene realizzata la cucitura della rete per una sovrapposizione di 75 cm, poi vengono posizionati orizzontalmente.

Anche le reti del sistema T devono adattarsi alle dimensioni del sito di installazione, cucendole o sovrapponendole per almeno 2 metri, in modo che non si creino aperture superiori a 100 mm.

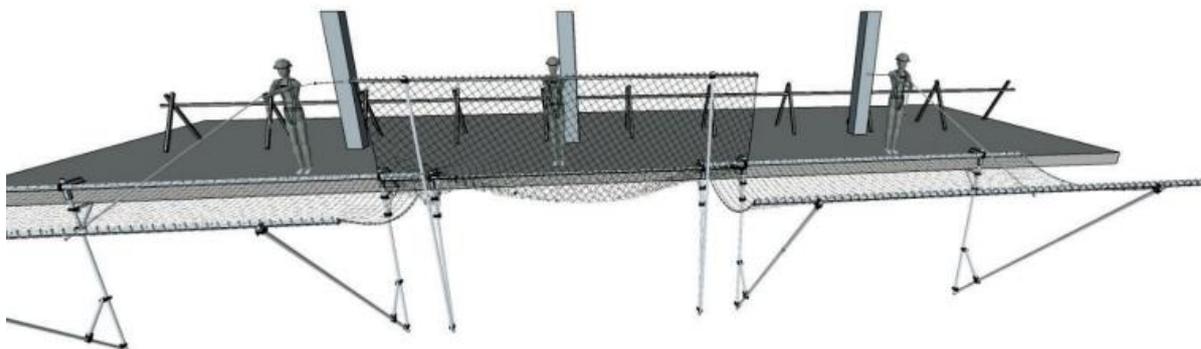


Figura 1.44. *Montaggio del sistema T – INAIL.*

Sistema U

Il sistema U viene montato manualmente e tramite l'ausilio di PLE. Vengono posizionati i montanti alla distanza prevista dal fabbricante, definita facendo riferimento alla UNI EN 1263:2015 e anche alla UNI EN 13374:2019, norma relativa ai parapetti provvisori. Come già specificato, infatti, questo sistema è sostitutivo al parapetto e deve raggiungere

un'altezza minima di 1 metro dalla superficie di lavoro. Le reti devono essere cucite maglia per maglia e non devono esserci aperture superiori a 10 cm.

Sistema V

L'installazione del sistema V è più complicata. Inizialmente vengono montati gli "omega", elementi di sostegno della forca ai solai, legandoli all'armatura del solaio prima del getto: durante il montaggio di quelli sul primo solaio, poiché inferiormente non è presente nessuna rete, deve essere eliminato il rischio di caduta dall'alto tramite ponteggio perimetrale o altri dispositivi di protezione collettiva, o dispositivi di protezione individuale. Gli omega vengono posti ad una distanza massima di 5 m e gettati nel solaio per almeno 15 cm. Ad una distanza di 20 cm dagli omega devono essere posizionati i ganci di sicurezza che sono incorporati nel calcestruzzo del solaio con passo di 50 cm.

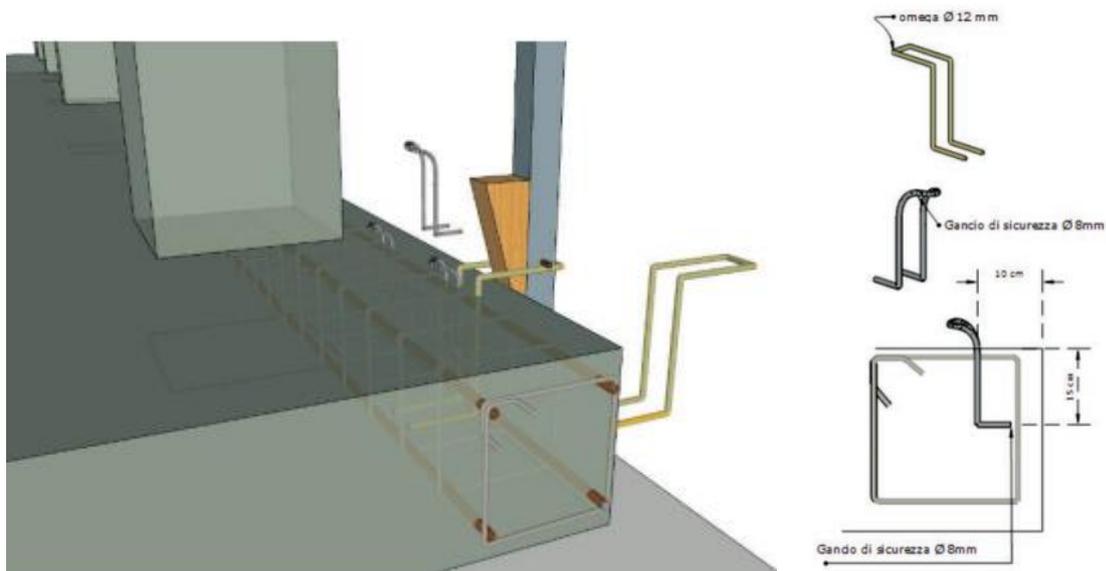


Figura 1.45. Montaggio di omega, perno, gancio di sicurezza e cuneo – INAIL.

La forca, se composta da due o tre sezioni, viene assemblata al suolo e successivamente, dopo aver disposto le funi di attacco negli anelli guida della testa della forca, viene agganciata alla gru per essere sollevata. Viene poi introdotta nell'ancoraggio omega del solaio del primo piano e posizionata nel solaio al suolo, inserendo dei cunei di legno negli ancoraggi per evitare movimenti rotatori della forca. Vengono stese le reti nel solaio al suolo e giuntate tramite corda di cucitura, poi vengono sollevate tirando le funi di attacco e le funi perimetrali vengono fissate ai ganci di supporto.

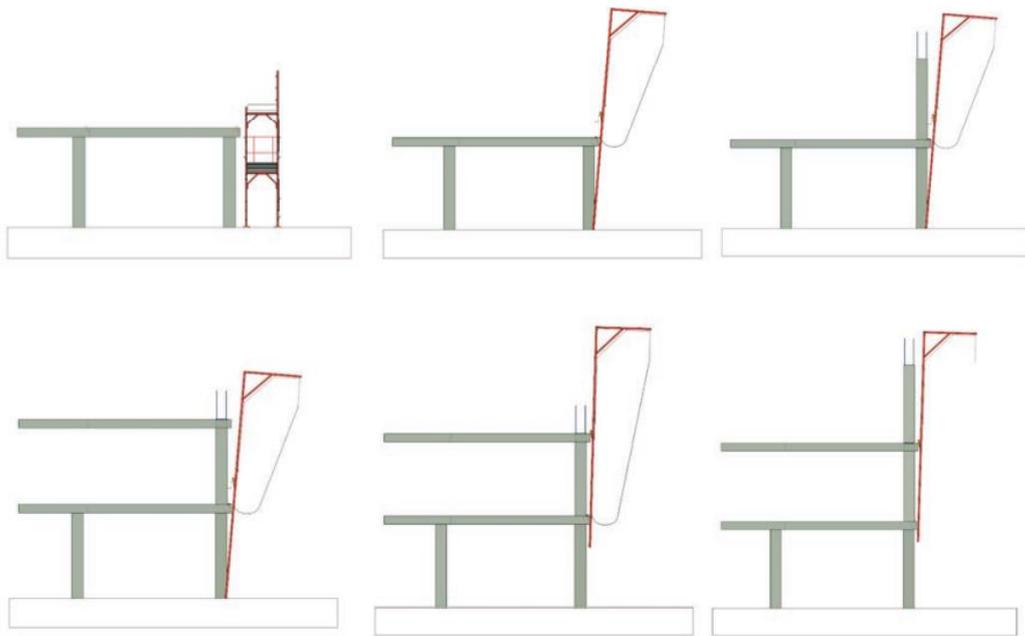


Figura 1.46. Sequenza di montaggio sistema V – INAIL.

La rete deve assumere una configurazione specifica: nella parte bassa si deve presentare come un sacco di raccolta, di profondità non superiori a 25-35 cm del solaio a cui è fissata.

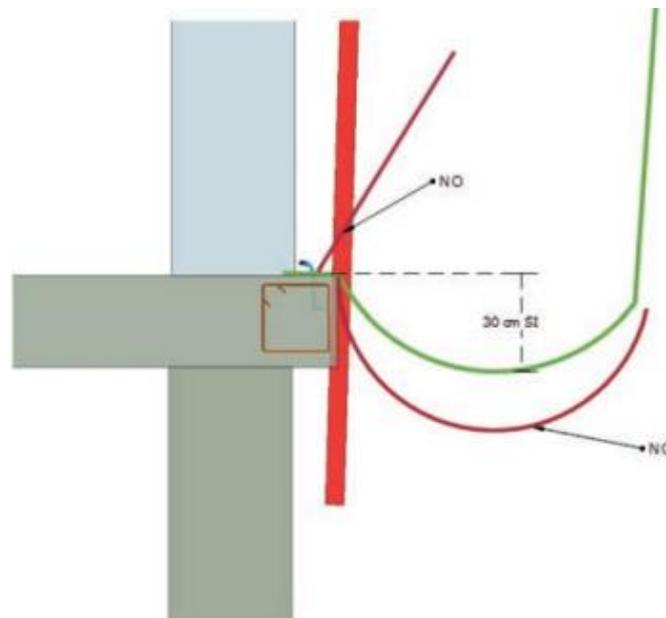


Figura 1.47. Configurazione della rete come sacco di raccolta – INAIL.

Come durante la fase di montaggio, anche per lo smontaggio deve essere eliminato o ridotto il rischio caduta dall'alto attraverso dispositivi di collezione protettiva e/o dispositivi di protezione individuale. Per rimuovere il sistema si deve allentare la fune di

attacco dal solaio del piano superiore e sganciare la fune perimetrale dai ganci di supporto. Raccolta la rete, vengono tagliate le corde di cucitura per separare le unioni e le reti vengono predisposte per lo stoccaggio. Anche la forca, una volta rimossa con la gru, viene stoccata per il successivo reimpiego.

1.7 Ispezione e manutenzione

L'ispezione della rete prevede, oltre alla verifica visiva volta a valutare le condizioni della stessa, test di trazione periodici, la cui frequenza è stabilita dal fabbricante o dal datore di lavoro dell'impresa che la utilizza, su campioni in esercizio. Tali prove, volte a stabilire se la rete conserva ancora le caratteristiche necessarie all'impiego e determinare l'eventuale riduzione delle prestazioni, forniscono la forza a rottura e la capacità di assorbimento residua, le quali non devono essere inferiori ai valori di forza minima di rottura ed energia minima riportati sull'etichetta.

In generale sono previste un'ispezione precedente al montaggio e successiva allo smontaggio a cura dell'installatore. Inoltre, il lavoratore è tenuto, prima e dopo ogni attività, a controllare visivamente la rete e tutte le sue componenti. La rete non deve presentare tagli o sfibramenti nelle funi, rottura delle maglie, deterioramenti, abrasioni, deformazioni delle componenti metalliche.

La frequenza delle ispezioni periodiche è definita dal fabbricante ma comunque non deve superare l'anno. Tale controllo prevede anche l'osservazione di tutti i dispositivi di ancoraggio. Nel caso di rilevamento di difetti o irregolarità si procede con l'ispezione straordinaria, effettuata a cura dell'utilizzatore da parte di personale esperto, al fine di stabilire se rimetterla subito in uso, ripararla o ritirarla dal servizio.

Le riparazioni, che non coinvolgono le funi perimetrali, le quali in caso di danneggiamento devono essere eliminate, consistono in cuciture o rinforzi realizzati impiegando parti di altre reti o materiale compatibile, oppure nell'utilizzo di elementi particolari come anelli a "C" in acciaio inossidabile.

Se, a seguito di ispezione straordinaria, si evidenzia la necessità di effettuare interventi di manutenzione come la sostituzione di alcuni componenti, il manutentore deve

successivamente fornire la documentazione che attesti la coretta esecuzione dell'intervento.

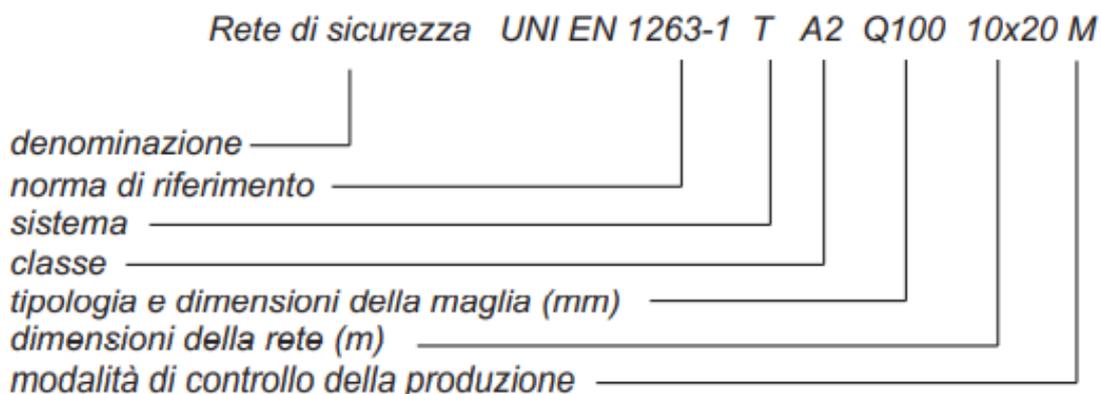
Ispezioni periodiche, straordinarie e interventi di manutenzione devono essere registrati in appositi registri di controllo, nei quali vengono indicati, oltre alle caratteristiche della rete, tutti i controlli effettuati. Tali registri sono tenuti dal datore di lavoro, dal fabbricante o da un soggetto autorizzato e devono poter essere consultabili dal lavoratore che fa uso della rete.

1.8 Designazione, marcatura e documentazione

La rete di sicurezza deve essere designata in modo tale da includere le seguenti informazioni:

- Denominazione;
- Norma di riferimento;
- Sistema;
- Classe;
- Tipologia e dimensioni della maglia;
- Dimensioni della rete;
- Modalità di controllo della produzione.

Esempio:



La marcatura riporta informazioni aggiuntive:

- Nome e marchio del fabbricante o dell'importatore;
- Designazione;
- Numero di identificazione;
- Anno e mese di fabbricazione della rete;
- Capacità minima di assorbimento dell'energia e forza minima di rottura delle maglie di prova;
- Codice del prodotto del fabbricante;
- Simbolo dell'organizzazione competente indipendente.

Tutti i requisiti elencati devono essere presenti nella marcatura e nella designazione, in caso contrario la rete non è utilizzabile. La marcatura deve essere permanente.

Le reti, una volta entrate in cantiere, devono essere corredate da opportuna documentazione:

- Indicazione dell'estensione della rete;
- Informazioni di installazione, uso e smontaggio;
- Accessori e strumenti necessari per la messa in opera;
- Informazioni su stoccaggio, cura e controllo;
- Date per i test sulle maglie di prova;
- Condizioni per il ritiro e il servizio;
- Eventuali avvertimenti di pericolo;
- Dichiarazione di conformità;

CAPITOLO 2

LA RETE DI SICUREZZA IN SOSTITUZIONE DEL PARAPETTO

2.1 Dal parapetto alla rete

Il parapetto, normato dalla UNI EN 13374:2019, è il sistema di protezione collettiva più comune per la prevenzione delle cadute dall'alto. Esso è costituito da un corrente principale, un corrente intermedio e un corrente inferiore, definito anche tavola fermapiede, i quali vengono fissati ad almeno due montanti, rappresentanti i sostegni principali ancorati all'elemento strutturale.

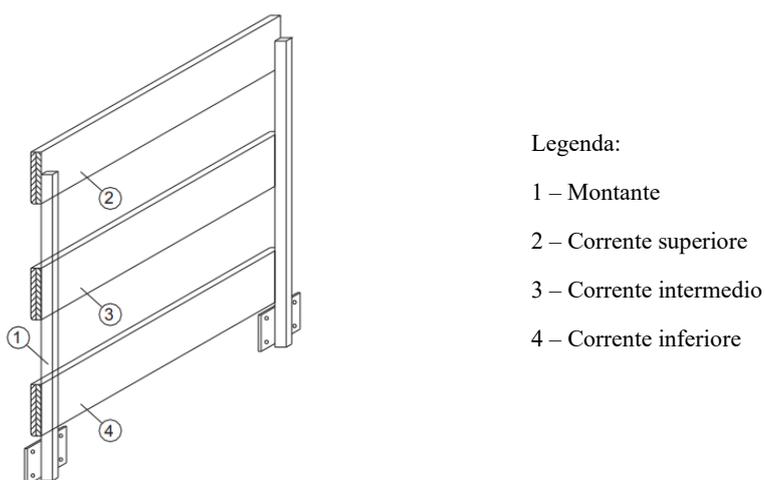


Figura 2.1. Parapetto provvisorio – INAIL.

I parapetti provvisori vengono suddivisi in 3 classi di resistenza in funzione della prestazione che offrono.

- Classe A: utilizzati per superfici inclinate fino a 10° , garantiscono il sostegno della persona che si appoggia alla protezione e il suo arresto in caso di caduta;
- Classe B: utilizzati per superfici inclinate fino a 30° o fino a 60° se l'altezza di caduta è inferiore a due metri, garantiscono il sostegno e l'arresto della persona

che sta camminando, cadendo o scivolando lungo la zona di lavoro verso la protezione;

- Classe C: utilizzati per superfici inclinate fino a 45° o fino a 60° se l'altezza di caduta è inferiore a 5 metri, per arrestare la persona in caso di scivolamento, rotolamento o caduta verso la protezione.

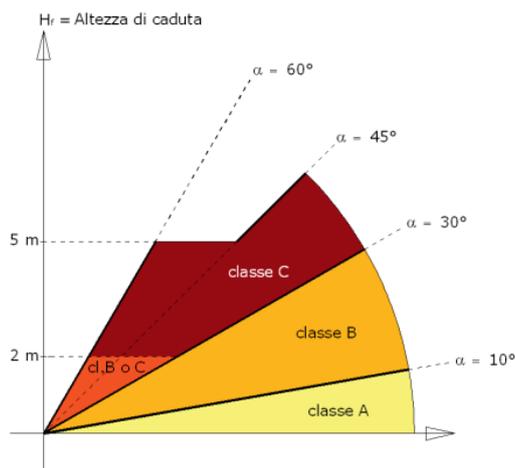


Figura 2.2. Classi di utilizzo per inclinazioni e altezze di caduta diverse – INAIL.

Ogni classe deve rispettare precisi requisiti di resistenza relativi alle massime spinte che possono essere sostenute e altrettanti requisiti dimensionali in merito allo spazio libero tra i correnti, alle distanze tra corrente superiore e superficie di lavoro, e tavola fermapiede e superficie di lavoro.

Classe	Spazio libero tra correnti	Distanza corrente superiore – superficie di lavoro	Distanza tavola fermapiede – superficie di lavoro
A	< 47 cm	≥ 100 cm	≥ 15 cm
B	< 25 cm	≥ 100 cm	≥ 15 cm
C	< 10 cm	≥ 100 cm	≥ 15 cm

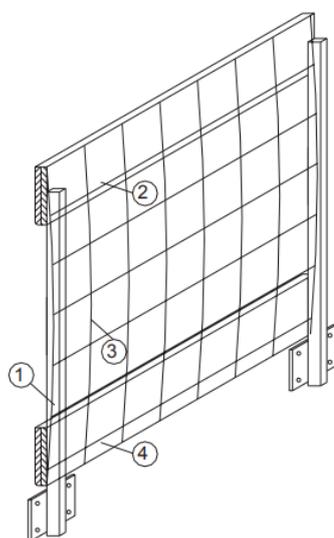
Tabella 2.1. Requisiti dimensionali parapetti provvisori.

Classe	Spinta orizzontale*	Spinta verticale	Note
A	30 kg	125 kg	*Spinta statica orizzontale
B	50 kg	125 kg	*Spinta orizzontale dinamica (massa oscillante)
C	75 kg	125 kg	*Spinta orizzontale dinamica (massa in rotolamento)

Tabella 2.2. *Requisiti di resistenza parapetti provvisori.*

Il parapetto si configura lo strumento di protezione collettiva tradizionale, nonché più usato e conosciuto, anche per l'ampia tipologia di ancoraggi e ammortamenti disponibili. Sono possibili però varianti a questo sistema che potrebbero sfociare in una maggiore facilità di impiego e rapidità di messa in opera.

Le normative vigenti prevedono un utilizzo alternativo delle reti di sicurezza come sostituzione o integrazione dei parapetti provvisori. In particolare, viene fatto riferimento alla “*protezione intermedia*” nel caso in cui la barriera protettiva tra corrente superiore e corrente inferiore sia costituita da una rete.



Legenda:

- 1 – Montante
- 2 – Corrente superiore
- 3 – Protezione intermedia
- 4 – Corrente inferiore

Figura 2.3. *Parapetto provvisorio con protezione intermedia – INAIL.*

Oppure, come già evidenziato relativamente alle reti di sicurezza di tipo U, esse rappresentano una specifica tipologia di rete per l'utilizzo verticale che può essere impiegata, per tramite di un'intelaiatura rigida, come sistema sostitutivo al parapetto.

Anche nella fruizione del sistema a U è sempre previsto un supporto rigido che deve essere fissato alla struttura di sostegno e che fa da contenimento della rete, la quale vi trasferisce le sollecitazioni a cui è sottoposta. L'integrazione della rete con l'intelaiatura e l'ancoraggio della stessa rispetto all'elemento strutturale richiedono tempistiche e accortezze importanti, che possono essere ridotte trasformando ulteriormente questo sistema.

Ciò che si vuole proporre nell'ambito di questo capitolo è un'applicazione innovativa delle reti di sicurezza in sostituzione ai parapetti di classe A e, di conseguenza, una trasposizione della norma UNI EN 13374:2019 al campo delle reti. Si prevede il posizionamento della rete in modo verticale e il suo ancoraggio alla struttura attraverso elementi di bordo, superiori e inferiori, tesati e successivamente tassellati o annodati agli elementi strutturali, tipicamente i pilastri del fabbricato. Tali elementi sono le funi guida, quali quelle utilizzate come funi di bordo o di accoppiamento (vedi 1.3 Funi); si propone pertanto di utilizzare esclusivamente la rete come protezione unica, la quale scarica le sollecitazioni a cui è soggetta alle funi perimetrali ad essa cucite, che a loro volta le trasferiscono agli elementi strutturali a cui sono ancorate, eliminando la necessità di inserire montanti o telai di sostegno in quanto l'elemento resistente del sistema diventa la fune stessa.

Viene prospettata perciò una deviazione dalla normativa per valutare l'esistenza di possibili soluzioni alternative finalizzate ad una rapidità di impiego e ad una riduzione di costi, ma che offrano sempre una protezione adeguata e congruente rispetto a quei principi di sicurezza per i quali tutti questi sistemi sono stati progettati ed implementati.

Requisito fondamentale che deve essere mantenuto rispetto al parapetto è la minima altezza dal piano di lavoro, che è pari ad un metro. Utilizzando una rete posta verticalmente occorre prevenire l'effetto di riduzione dell'altezza minima a causa della freccia generata dalle sollecitazioni (catenaria) che rende il sistema non soltanto meno efficiente ma soprattutto non conforme alle prescrizioni minime per i parapetti.

In merito a questo vengono proposte delle ipotesi teoriche, con relative calcolazioni, finalizzate a capire l'effettiva possibilità di impiego innovativo di questa tipologia di rete ed individuare le relative criticità cercando di definire i parametri minimi (diametri, sezioni e tesatura degli elementi di supporto ai bordi, ma soprattutto, lunghezze massime della rete) affinché il sistema sia compatibile con le norme di sicurezza attualmente in vigore. Tutto in funzione dei carichi e della deformazione a cui il sistema può essere sottoposto, in particolare rispetto all'azione verticale che può dar seguito ad una diminuzione dell'altezza del dispositivo di protezione.

2.2 Applicazione innovativa: la rete come protezione unica

L'efficacia della rete di sicurezza come dispositivo per la protezione dalle cadute dai bordi è strettamente connessa alla struttura a cui tale strumento viene ancorato, la quale deve rispondere a precisi requisiti soggetti a valutazione del progettista.

Fondamentale è l'analisi delle sollecitazioni, che permette di capire in quale classe, tra quelle descritte precedentemente in relazione ai parapetti, deve ricadere il sistema di protezione. La rete deve essere in grado di assorbire l'energia cinetica di un corpo che, nei diversi casi, urta, rotola o scivola lungo il piano di lavoro contro la protezione stessa. Ovviamente, a seguito dell'impatto, si genera una sollecitazione che viene trasmessa dalla rete alla struttura di sostegno e che la struttura deve essere in grado di sostenere.

L'applicazione che si vuole presentare prevede l'utilizzo della rete di sicurezza in posizione verticale, comprensiva delle sue funi di bordo, le quali diventano gli elementi resistenti del sistema, in quanto non viene predisposto l'inserimento di un'intelaiatura metallica di sostegno.

Si prevede l'utilizzo di questa tipologia di dispositivo nel caso in cui siano presenti elementi strutturali portanti, quali i pilastri, murature in c.a., ecc. a cui ancorare le funi di sostegno. Conseguentemente, non è necessaria una verifica della struttura a cui la rete viene collegata perché, essendo portante, resiste alle sollecitazioni trasmesse dal sistema di protezione (i dispositivi di protezione possono essere ancorati a strutture portanti).

La verifica preponderante è quella relativa alla fune di bordo, che, come evidenziato, rappresenta l'elemento resistente.

Tale particolare e nuova configurazione del dispositivo di protezione presentato vuole essere un sistema sostitutivo rispetto ai parapetti di classe A. Pertanto, le sollecitazioni a cui deve resistere sono:

- 125 kg in direzione verticale;
- 30 kg di spinta statica orizzontale in corrispondenza di ogni corrente.

Naturalmente, poiché questo sistema non presenta correnti ma un'intera superficie di rete, le spinte orizzontali vengono considerate nelle tre posizioni predefinite in cui dovrebbero

essere presenti i correnti. In particolare, considerando una rete di altezza pari ad 1 metro, altezza minima per i parapetti, le spinte si applicano alla quota delle funi di bordo superiore e inferiore e in mezzeria della rete.

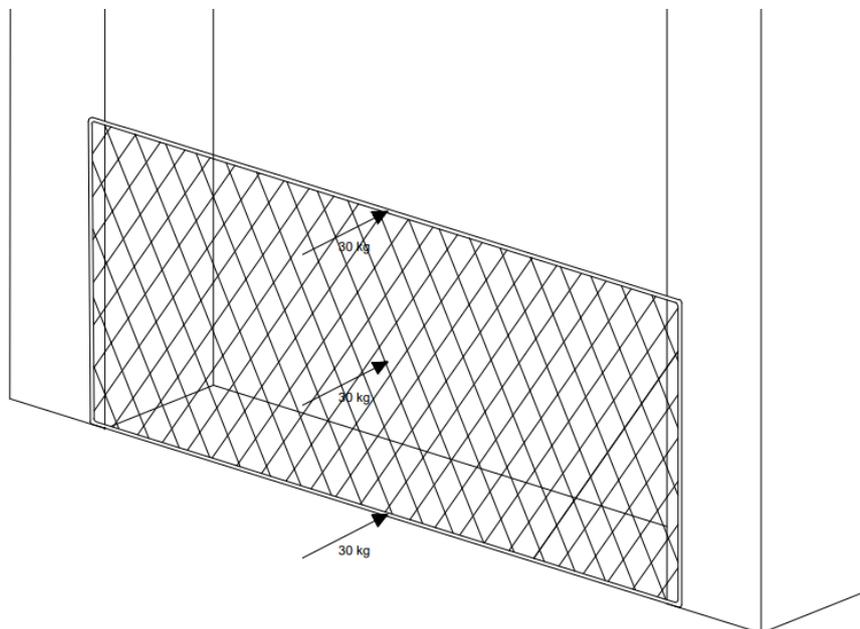


Figura 2.4. Spinte orizzontali.

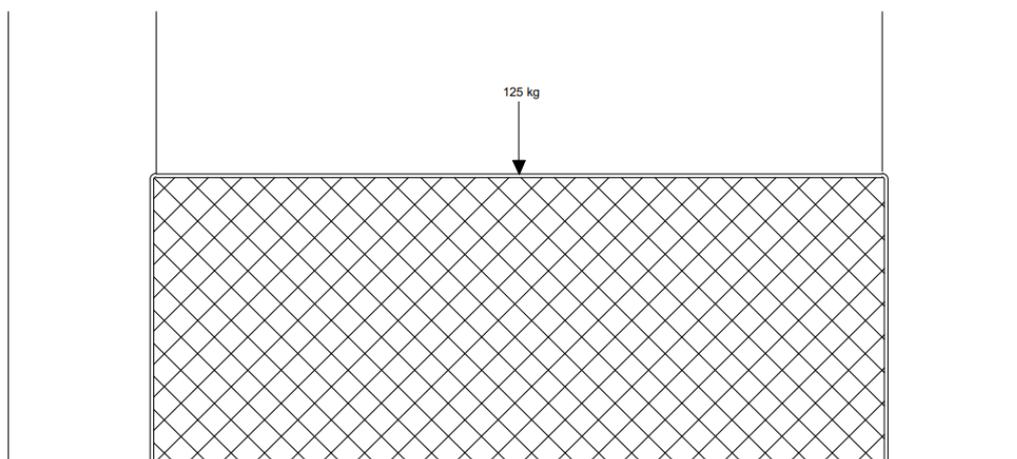


Figura 2.5. Spinta verticale.

Nel seguito verranno presentate diverse tipologie di analisi, condotte per valutare il comportamento di questo dispositivo. Si precisa che sono tutte assunzioni puramente teoriche e che sono state effettuate delle approssimazioni per cercare di simulare il comportamento del sistema rete – fune.

2.2.1 Analisi considerando la fune come corpo rigido

La problematica principale è la determinazione della massima lunghezza che la rete può avere per resistere alle sollecitazioni previste. Tale valore si ricava tramite un'analisi dell'inflessione della fune di bordo, e di conseguenza anche della rete, in quanto connesse, considerando sia la direzione verticale che quella orizzontale. Si effettuano due analisi separate per le due direzioni, in quanto la componente generata dalla somma vettoriale tra la spinta verticale e quella orizzontale darà origine ad un'inflessione minore nelle due direzioni rispetto a quella che si otterrebbe separando le casistiche. Inoltre, poiché l'analisi si basa sulla normativa relativa ai parapetti e intende esserne una trasposizione nei confronti delle reti, viene fatto riferimento alle disposizioni in essa contenute, che prevedono la resistenza dei dispositivi di classe A a spinte verticali e orizzontali non concomitanti. Di conseguenza, l'analisi delle due condizioni distintamente risulta a favore di sicurezza perché effettuata considerando la casistica più sfavorevole.

La condizione più gravosa è quella relativa alla resistenza al carico verticale concentrato di 125 kg, il quale non deve provocare un'inflessione della rete superiore al limite previsto del 5%.

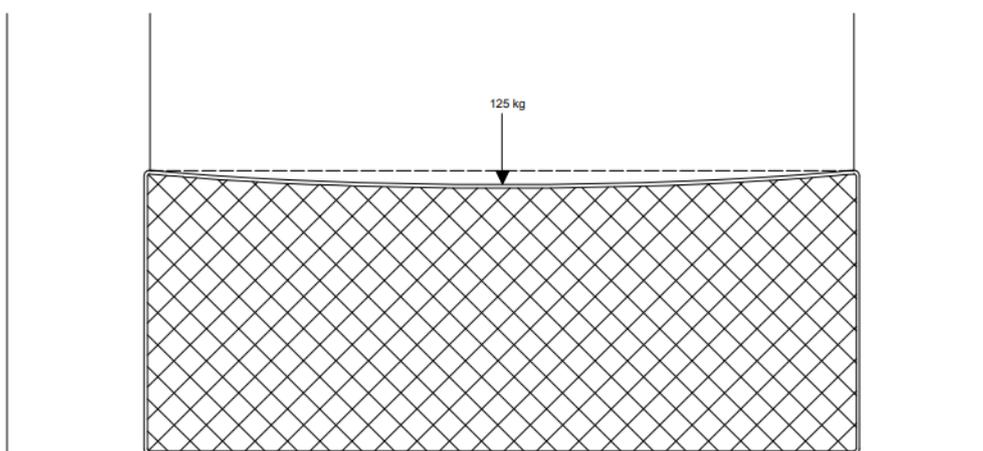


Figura 2.6. Spinta verticale e inflessione della rete.

L'analisi che si propone nel seguito viene condotta in via approssimata, andando ad assimilare il comportamento di questo sistema a quello di un elemento rigido.

Considerando lo schema statico della fune come una trave in semplice appoggio ad entrambi gli estremi, soggetta ad un carico concentrato in mezzzeria, la freccia viene calcolata come segue:

$$f = \frac{PL^3}{48 EJ} \quad (2.1)$$

Dove:

- P , carico concentrato in mezzzeria;
- L , lunghezza della fune;
- E , modulo elastico della fune;
- I , momento di inerzia della sezione della fune.

L'incognita del problema è la lunghezza massima che la fune può avere per resistere alle spinte previste da normativa, considerando una freccia massima pari al 5% dell'altezza totale del sistema di protezione, ovvero 5 cm:

$$L = \sqrt[3]{\frac{48 f E J}{P}} \quad (2.2)$$

Il modulo elastico E dipende dal materiale con cui è realizzata la fune. Poiché esistono diverse tipologie di funi di bordo prodotte con materiali differenti, viene effettuata una ricerca di mercato per individuare le soluzioni esistenti più adeguate.

I principali produttori di reti di sicurezza sono il retificio *Ribola*, il retificio *La Rete* e il retificio *Far Reti*, che offrono numerose soluzioni, sia per l'anticaduta che per ambiti alternativi. Essi, oltre a realizzare prodotti finiti, forniscono anche singoli componenti come le funi di accoppiamento o di bordo. Per ottenere una prospettiva più ampia delle diverse alternative si sposta il campo di indagine dai retifici ai produttori di corde, tra i quali possono essere citate le aziende *Monteisola Corde* e *Plam*, che offrono anch'essi copiose soluzioni adatte alla sicurezza. Le possibilità sono numerose: funi in poliestere, in polietilene, in polysteel, in fibra di nylon.

A seguito di un interscambio con i produttori sono state reperite le schede tecniche delle varie tipologie di corde, tra le quali, per lo svolgimento dell'analisi, si sceglie una fune in

treccia di polietilene di diametro 12 mm, prodotta dal retificio *La Rete*. Le informazioni contenute nella documentazione fornita dall'azienda derivano da prove sperimentali di trazione condotte su campioni di prodotto da cui viene ricavata la curva carico (N) – allungamento (mm).

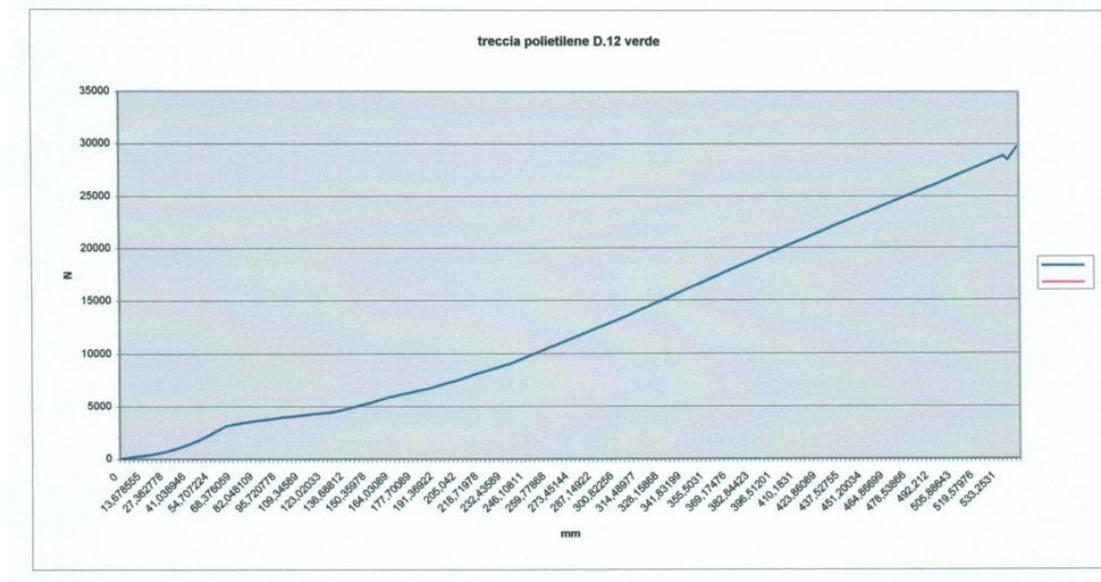


Figura 2.4. Grafico carico – allungamento – Prova sperimentale Retificio La Rete.

Carico di rottura	Allungamento	Energia
30210 N	549,77 mm	6843,06 J

Tabella 2.3. Risultati test sperimentale su campione di prova – Retificio La Rete.

Il modulo elastico del materiale corrisponde al rapporto tra la tensione e la deformazione.

La tensione a rottura viene valutata come segue:

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2.3)$$

Dove:

- $A = \frac{\pi d^2}{4}$, area della sezione della fune;
- N , carico di rottura.

Mentre la deformazione:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.4)$$

Dove:

- Δl , allungamento del campione;
- l , lunghezza iniziale del campione di prova.

Le prove che permettono di definire le caratteristiche meccaniche e fisiche delle funi sono descritte nella norma EN ISO 2307:2019, la quale specifica anche la lunghezza del campione di prova da utilizzare: “*The test piece shall be of adequate length to give an effective length between terminations which is at least equal to 5 pitches or lays or 400 mm, whichever is greater.*”. Le prove condotte dal retificio hanno evidenziato un allungamento del campione, presumibilmente pari a m 10, di 549,77 mm.

Nella Tabella 2.4 sono rappresentate le grandezze di interesse.

Carico a rottura	Area	Tensione
30210 N	113,10 mm ²	267, 12 N/mm ²

Allungamento	Lunghezza	Deformazione
549,77 mm	1000 mm	0,55

Tabella 2.4. Parametri di interesse per il calcolo del modulo elastico.

Il modulo elastico risulta essere pari a:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = 485,87 \text{ N/mm}^2 \quad (2.5)$$

Il momento di inerzia viene calcolato approssimando la sezione della fune ad una superficie circolare. Pertanto, rispetto al baricentro della sezione:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} = 2035,75 \text{ mm}^4 \quad (2.6)$$

È necessario evidenziare che la sezione della fune non è puramente di forma circolare, in quanto le corde vengono solitamente realizzate tramite fibre raccolte in filamenti, successivamente intrecciati tra loro. La semplificazione fatta può considerarsi accettabile in quanto la sezione è effettivamente approssimabile ad un cerchio e inoltre, le funi vengono definite, anche commercialmente, attraverso il loro diametro, lasciando trasparire il carattere circolare della sezione.

Ricavati tutti i parametri necessari al calcolo, si può procedere alla determinazione della lunghezza massima che la rete può avere per sostenere la sollecitazione verticale, utilizzando la formula 2.2:

$$L = \sqrt[3]{\frac{48 f E J}{P}} = 123,84 \text{ mm} = 0,124 \text{ m} \quad (2.2)$$

La lunghezza di fune ottenuta è molto bassa, insufficiente per lo scopo cercato. Gli elementi a fune sono elementi che lavorano bene a trazione lungo il loro asse e non sono predisposti per sostenere sollecitazioni verticali perpendicolari ad esso.

La rete è assimilabile ad un guscio che ha comportamento membranale, pertanto, considerando la direzione orizzontale, è difficile stabilire come essa distribuisca le sollecitazioni alle funi di bordo. Essendo la presente analisi una valutazione approssimata del comportamento del sistema di protezione sotto i carichi verticali e orizzontali, si sceglie di effettuare una semplificazione: le tre spinte statiche orizzontali di 30 kg si considerano applicate tutte nella mezzeria della rete, ottenendo un carico totale di 90 kg, il quale viene poi ripartito in due parti uguali sulla fune superiore e inferiore. Sulla sezione centrale di ogni fune agisce pertanto un carico concentrato di 45 kg. Tali considerazioni permettono un'analisi a favore di sicurezza, in quanto viene esaminata la condizione più

gravosa in cui le spinte si distribuiscono verso un unico punto che risulta quindi quello maggiormente sollecitato. Inoltre, le reti di sicurezza sono conformi alla norma UNI-EN 1263:2015, che le certifica nei confronti di sollecitazioni statiche e dinamiche maggiori rispetto a quelle richieste per i parapetti (Vedi 1.2 Metodologie di prova). Lo scopo di questo esame non è infatti valutare la resistenza della rete, ma capire la lunghezza massima di fune, e conseguentemente di rete, che può essere impiegata.

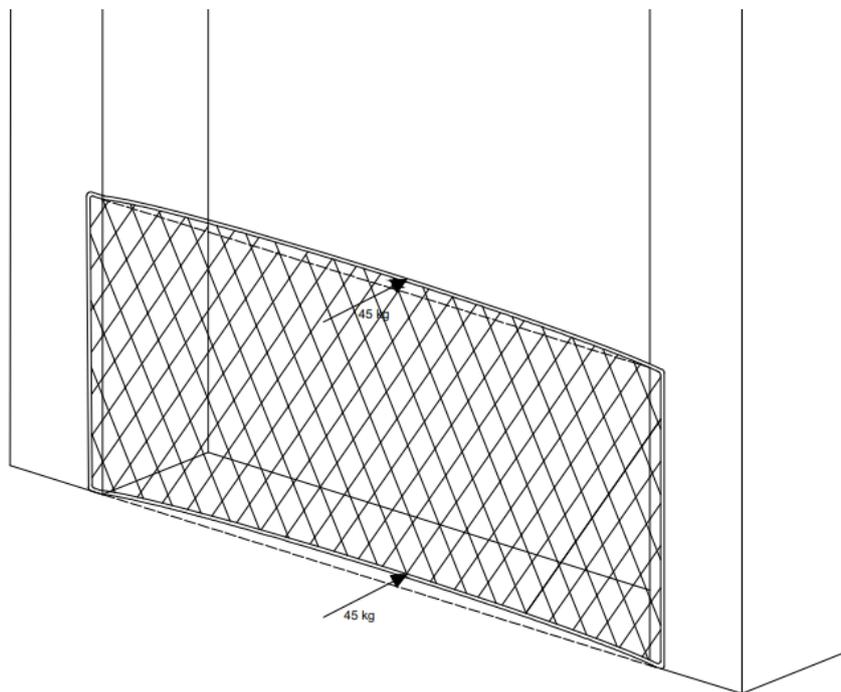


Figura 2.7. Spinte orizzontali e inflessione della rete.

Evidenziati questi aspetti, la procedura risulta essere la medesima che è stata seguita per l'analisi in direzione verticale:

$$L = \sqrt[3]{\frac{48 f E J}{P}} = 174,08 \text{ mm} = 0,1741 \text{ m} \quad (2.2)$$

Anche l'analisi in direzione orizzontale fornisce un risultato non soddisfacente: la lunghezza ottenuta è molto ridotta, sintomo che l'elemento non è in grado di lavorare correttamente nel modo ipotizzato.

2.2.2 Analisi seguendo il comportamento di funi e membrane

Si passa ad un'altra tipologia di analisi, nella quale ci si concentra sulla fune e sul suo comportamento. In generale, le funi fissate a due estremi soggette al loro peso proprio e a carichi concentrati o distribuiti vanno ad assumere una configurazione di equilibrio in cui ogni sezione risulta sollecitata a trazione. Tale configurazione genera una freccia che dipende dal peso per unità di lunghezza della fune e dalla forza di trazione con la quale essa è stata installata.

Nello specifico caso, le funi superiore e inferiore della rete vengono annodate agli elementi principali oppure fissate ad ancoraggi posizionati sulla struttura portante e vengono opportunamente tesate in modo da assumere una configurazione rettilinea orizzontale. La tipologia di ancoraggio dipende dal tipo di struttura a cui essi vengono fissati; per i muri in cemento armato esistono specifici ancoraggi brevettati secondo la norma UNI EN 1263:2015, come i ganci a ricciolo.

L'obiettivo è sempre quello di valutare la lunghezza massima di fune da poter utilizzare tra due ancoraggi o annodata ai pilastri e in questo caso il problema viene studiato facendo riferimento al comportamento specifico di funi e membrane.

La fune, soggetta al carico concentrato verticale di 125 kg in mezzera, come per le analisi precedenti, assume una condizione di equilibrio che presuppone il generarsi di una freccia, la quale dipenderebbe sia da questo carico che dal peso proprio. Considerando sempre la fune in treccia di polietilene prodotta dal retificio La Rete, le cui caratteristiche sono note attraverso le schede tecniche fornite, essa ha un peso di 68 g/m. Essendo tale peso molto basso e nettamente trascurabile rispetto al carico concentrato di 125 kg, si decide di trascurarlo. Di conseguenza, la configurazione deformata sarà soltanto funzione del carico applicato e di quanto la fune è stata tesata prima di essere caricata, affinché risultasse rettilinea.

Nella figura 2.8 è mostrato il comportamento della fune soggetta al suddetto carico concentrato.

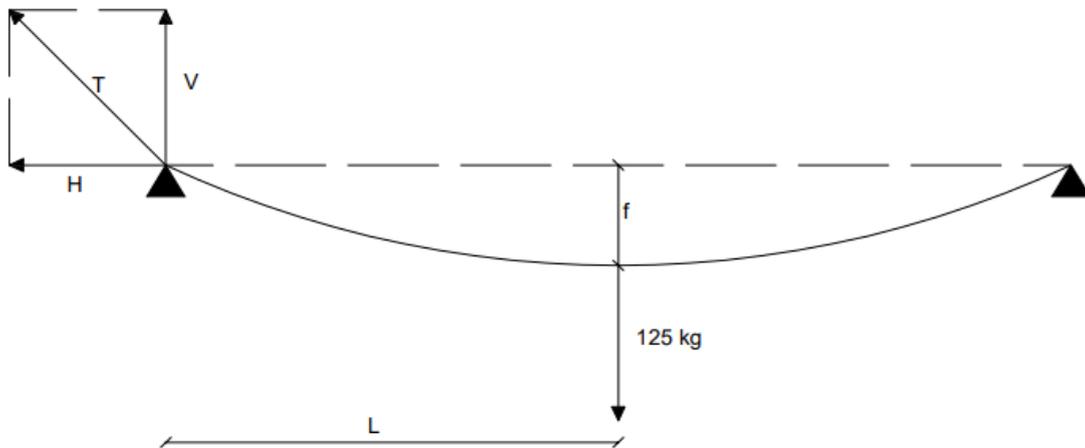


Figura 2.8. Fune sotto carico concentrato.

Si possono individuare le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{F \cdot L}{f} \\
 V &= F \\
 T &= \sqrt{H^2 + V^2}
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

Il problema risulta essere di tipo isostatico, pertanto bastano unicamente le equazioni di equilibrio per risolverlo.

La nostra incognita non è il tiro T che si genera nella fune a seguito dell'applicazione del carico, bensì la lunghezza L. Si ipotizza che la forza con cui può essere tirata la fune per risultare rettilinea prima dell'applicazione del carico sia di 10 kg, un tiro che può essere facilmente applicato in opera dal lavoratore. Ponendo la freccia coincidente con il limite del 5%, ovvero 0,05 m, e conoscendo la forza orizzontale $H = 10 \text{ kg}$, usata per tesare la fune:

$$L = \frac{H \cdot f}{F} = \frac{10 \text{ kg} \cdot 0,05 \text{ m}}{125 \text{ kg}} = 0,004 \text{ m}
 \tag{2.7a}$$

La lunghezza della fune, come si può vedere dalla figura 2.8, è il doppio della distanza appena calcolata:

$$L_{fune} = 2 \cdot L = 0,008 \text{ m} \quad (2.8)$$

È possibile notare come la lunghezza ottenuta anche con questa seconda tipologia di analisi risulta molto bassa per poter applicare il sistema di protezione.

A questo punto si potrebbe applicare il ragionamento inverso, ossia valutare l'entità della forza di tesatura da applicare alla fune tale per cui essa riesca a resistere alla forza concentrata di 125 kg senza provocare un'inflexione eccedente dai limiti. La procedura prevede di aumentare la forza di tesatura fin quando la lunghezza della fune non raggiunge un valore accettabile per poter essere impiegata ancorandola a due pilastri. Si stabilisce di ottenere una lunghezza minima tra i 5 e i 6 metri.

A seguito di diversi tentativi si ottiene:

$$L_{fune} = 2 \cdot \frac{H \cdot f}{F} = \frac{7000 \text{ kg} \cdot 0,05 \text{ m}}{125 \text{ kg}} = 5,6 \text{ m} \quad (2.9)$$

Utilizzando una forza di tesatura di 70 kN, è possibile utilizzare una rete di lunghezza 5,6 metri.

Tale forza è però molto elevata e difficile da applicare, considerando anche il fatto che la rete di protezione deve essere tesata nel momento in cui viene posta in opera, e che tale forza deve essere applicata dagli stessi lavoratori preposti, i quali non sono presumibilmente in grado di sviluppare una forza simile manualmente.

2.2.3 Prova pratica con dinamometro

A sostegno dei risultati ottenuti è stata effettuata anche una prova pratica sulla fune per valutare, con l'utilizzo di un dinamometro, il rapporto tra forza applicata e freccia che si manifesta sulla fune.

Per la prova, la fune è stata ancorata alle estremità a due elementi di sostegno, assicurando la massima pre-tesatura in modo avere la minima inflessione possibile a seguito della sollecitazione.

Scopo della prova è quella di replicare il comportamento della fune soggetta a carico verticale concentrato e valutare l'entità della freccia che si genera di conseguenza. A causa di impedimenti tecnici che hanno reso impossibile l'applicazione della forza verticalmente è stato applicato il carico attraverso una trazione orizzontale della fune, e misurata la freccia nella stessa direzione.

La cella di carico del dinamometro, sollecitata dallo sforzo di trazione applicato manualmente tramite un gancio collegato alla mezzeria della fune, ha consentito di verificare il rapporto tra sollecitazione e freccia.

Per la prova è stato utilizzato un dinamometro tipo "SAUTER FL" per prove di trazione e compressione.





Figura 2.9. *Strumentazione di prova.*

Sono state effettuate n. 3 prove di trazione, raggiungendo la sollecitazione massima applicabile manualmente pari a 100 N.

I valori di deformazione ottenuti oscillano tra i 30 e i 35 cm.

Forza applicata	Freccia media
100 N	33 cm

Tabella 2.5. *Risultati prova di tiro con il dinamometro.*

La prova pratica ha permesso di evidenziare nella realtà l'entità della freccia che si genera in questo tipo di elemento, nonostante l'applicazione di una sollecitazione piuttosto contenuta (10 daN), certamente inferiore alle sollecitazioni che dovrebbe sostenere il sistema posto in sostituzione al parapetto.

Pertanto, a seguito delle analisi effettuate, si conclude che, a livello teorico, non è possibile realizzare una tipologia di rete di sicurezza avente una lunghezza tale da poter essere impiegata in sostituzione al parapetto nel modo previsto. Infatti, limitando l'inflessione massima a 5 cm, la massima lunghezza di fune che può sostenere la spinta

verticale di 125 kg e le spinte orizzontali di 30 kg risulta troppo bassa per poter essere ancorata agli elementi strutturali, che nelle normali costruzioni sono posizionati ad una distanza media di circa 5-6 m. Tale condizione evidenzia che la fune è un elemento che resiste bene a trazione, ma è poco resistente a sollecitazioni che provocano inflessioni fuori piano.

2.2.4 Soluzioni alternative

Una possibile soluzione per poter impiegare il sistema costituito dalla sola rete con fune di bordo è aumentare l'altezza della protezione. In questo modo, l'inflessione della rete non influisce sui requisiti minimi per la sicurezza in quanto condizione che non si verifica: il carico verticale di 125 kg, infatti, è previsto solo nel caso in cui il lavoratore possa cadere sopra la protezione, alta un metro dal piano di calpestio. Con una protezione di altezza superiore alla persona, non si prospetta il rischio di caduta sopra la rete. Altezze superiori ad 1 metro si possono ottenere utilizzando una rete di altezza pari a 2 metri, oppure sovrapponendo due strisce di rete alta 1 metro. Nel secondo caso è necessario creare una connessione tra le due reti attraverso funi di accoppiamento, come previsto dalla norma.

Tuttavia, è stata valutata la necessità di considerare comunque tale sollecitazione verticale verso il basso, ipotizzando l'eventualità di un lavoratore che in fase di caduta o scivolamento si appende alle maglie della rete.

Volendo utilizzare tale sistema alternativo, non essendo più necessaria la verifica della massima inflessione verticale raggiunta, si passa ad una verifica di resistenza della rete soggetta ad un carico concentrato obliquo, ottenuto come combinazione del carico verticale e di quello orizzontale agenti. L'analisi può essere scomposta in una verifica di resistenza sulle maglie della rete e in un'altra sulle funi di bordo. Nel caso di utilizzo di due reti sovrapposte, la spinta sollecitante trova in opposizione la resistenza di due funi, e non di una, in quanto l'unione delle reti viene realizzata tramite accoppiamento delle due funi di bordo. Pertanto, la resistenza delle due funi è da valutare come il doppio di quella della corda singola.

Nel primo caso si considera il carico concentrato applicato nella mezzieria della rete inferiore e ottenuto come combinazione della spinta verticale di 125 kg e orizzontale di 90 kg, sommatoria delle tre spinte orizzontali, per considerare la condizione più sfavorevole. Il carico si considera applicato alla rete inferiore in quanto le spinte orizzontali, che sono sempre quelle previste per i parapetti, devono essere applicate all'altezza in cui dovrebbero essere presenti i correnti.

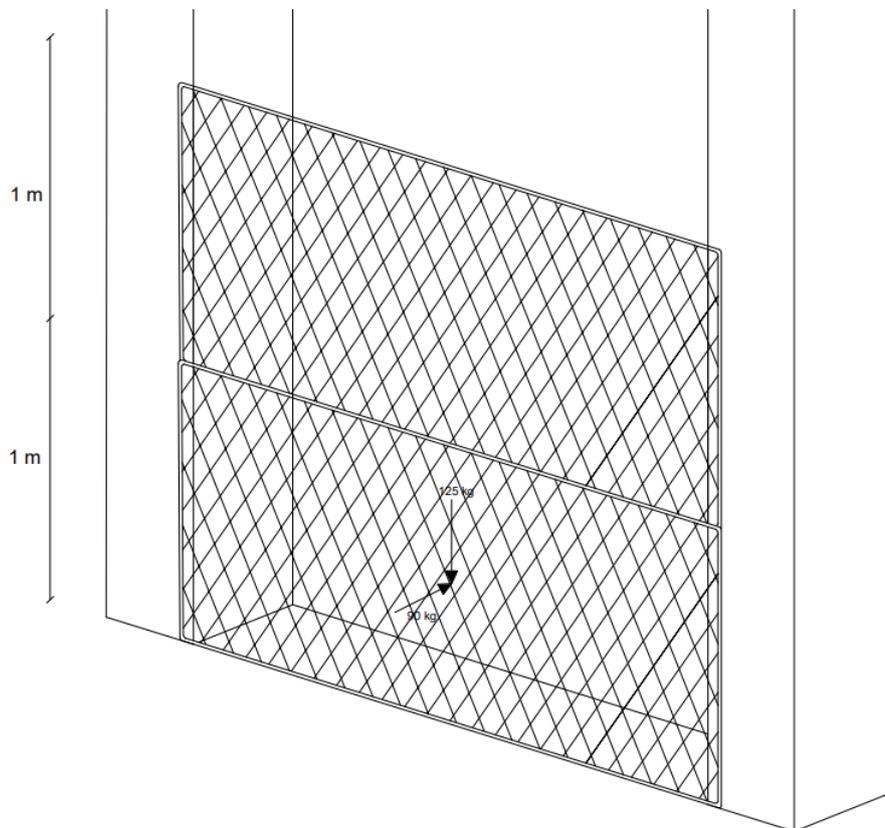


Figura 2.10. Spinta verticale e orizzontale sulla rete.

$$F = \sqrt{F_{oriz}^2 + F_{vert}^2} = \sqrt{90^2 + 125^2} = 154,30 \text{ kg} = 1,543 \text{ kN} \quad (2.10)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{F_{vert}}{F_{oriz}}\right) = \arctan\left(\frac{125}{90}\right) = 54,25^\circ \quad (2.11)$$

La spinta risultante sulla rete è di 1,54 kN ed ha un'inclinazione rispetto all'orizzontale di 54,25°.

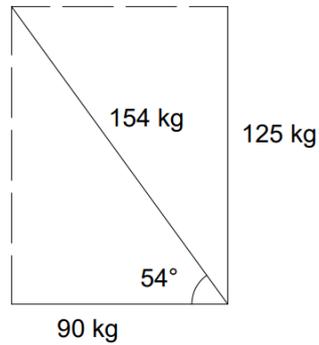


Figura 2.11. *Combinazione della spinta verticale e orizzontale.*

Per quanto riguarda la spinta sulle funi di bordo, la risultante viene valutata come combinazione della spinta verticale di 125 kg e della spinta orizzontale di 45 kg. Considerando infatti le tre spinte statiche orizzontali di 30 kg tutte applicate nella mezzeria della rete, si ottiene un carico totale di 90 kg, il quale viene poi ripartito in due parti uguali sulla fune superiore e inferiore. Sulla sezione centrale di ogni fune agisce pertanto un carico concentrato di 45 kg.

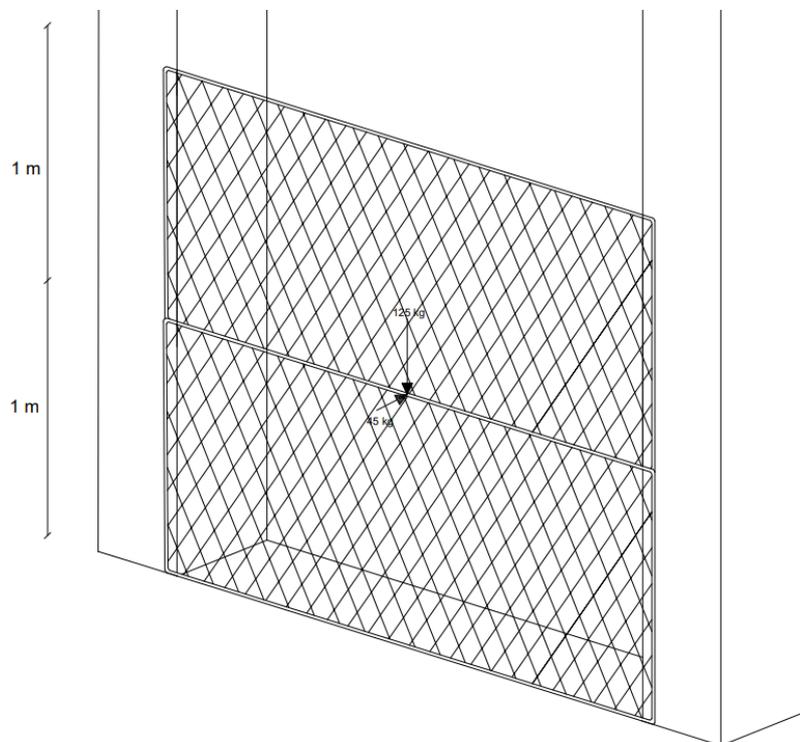


Figura 2.12. *Spinta verticale e orizzontale sulla fune.*

$$F = \sqrt{F_{oriz}^2 + F_{vert}^2} = \sqrt{45^2 + 125^2} = 132,85 \text{ kg} = 1,3285 \text{ kN} \quad (2.10)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{F_{vert}}{F_{oriz}}\right) = \arctan\left(\frac{125}{90}\right) = 70,20^\circ \quad (2.11)$$

La spinta risultante sulla rete è di 1,33 kN ed ha un'inclinazione rispetto all'orizzontale di 70,20°.

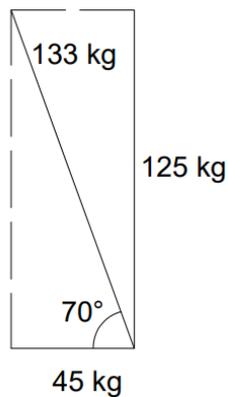


Figura 2.13. *Combinazione della spinta verticale e orizzontale.*

Le forze ottenute devono essere confrontate con la resistenza della rete e delle funi, perché in funzione di dove la spinta è applicata può entrare in gioco la capacità delle maglie della rete o della corda di bordo.

Le resistenze a rottura da confrontare con il carico agente dipendono dalla tipologia di rete e fune impiegate. La fune di bordo è la treccia di polietilene di diametro 12 mm, prodotta dal retificio *La Rete*, le cui specifiche sono note grazie ai risultati della prova di trazione riportati in precedenza. Il carico che porta a rottura la corda è 30,21 kN; considerando le due funi si ottiene una resistenza doppia, di 60,42 kN, che è largamente superiore alla spinta sollecitante di 1,33 kN; pertanto, la verifica sulla fune è soddisfatta. Volendo considerare tipologie differenti di funi, si può fare riferimento alla tabella 1.4 (paragrafo 1.3 Funi), nella quale sono definite diverse resistenze, tutte superiori alla spinta in gioco.

Consultando le schede tecniche fornite dal retificio *La Rete* si trovano diverse opportunità per le reti ad utilizzo verticale, rappresentate con i rispettivi carichi di rottura in tabella 2.5.

Articolo	Caratteristiche	Carico di rottura
	Rete in polipropilene ad alta tenacità	
RS1	Maglia quadra 60x60 mm Spessore treccia 6 mm	30,803 kN
	Rete in polietilene ad alta densità	
RS5	Maglia quadra 100x100 mm Spessore treccia 5 mm	19,571 kN
	Rete in polipropilene ad alta tenacità	
RS7	Maglia quadra 100x100 mm Spessore treccia 6 mm	19,875 kN

Tabella 2.6. Reti fornite dal retificio *La Rete*.

The figure displays three technical sheets for La Rete products, each with a grid image and detailed specifications:

- SCHEDA TECNICA ART.: RS1**: Rete in polipropilene alta tenacità, maglia quadra 60x60 mm, spessore treccia 6 mm. Carico di rottura: 30,803 kN.
- SCHEDA TECNICA ART.: RS5**: Rete polietilene (PE) alta densità, maglia 100x100 mm quadra annodata, spessore di treccia 5 mm. Carico di rottura: 19,571 kN.
- SCHEDA TECNICA ART.: RS7**: Rete in polipropilene alta tenacità, maglia quadra 100x100 mm, spessore treccia 6 mm. Carico di rottura: 19,875 kN.

Each sheet includes sections for:

- CERTIFICAZIONE A NORMA UNI EN 1263-1**: Reference to static and dynamic tests.
- CARATTERISTICHE TECNICHE**: Material (HT polypropylene or HD polyethylene), fusion temperature (174°C or 137°C), transition temperature (17°C or 30°C), mesh size, weight, and energy values.
- UTILIZZAZIONI**: Vertical positioning as a safety barrier.
- CONTACT INFO**: 25050 MONTE ISOLA (BS) Via Sivano Loc. Porto, 223. Tel. 0309886336 - Fax 0309825081.

Figura 2.14. Schede tecniche reti retificio *La Rete*.

Tutte le diverse tipologie di reti, testate e certificate seguendo i requisiti della norma specifica, hanno una resistenza superiore alla spinta ottenuta, 1,54 kN. Pertanto, la verifica a resistenza sotto le spinte previste dalla normativa relativa ai parapetti è soddisfatta.

Una seconda soluzione alternativa per ovviare al limite rappresentato dall'inflessione troppo elevata e per ottenere una maggiore rigidità del sistema, potrebbe essere rappresentata dall'utilizzo di una fune in trefolo di acciaio come fune di bordo. Valutando attentamente le implicazioni legate a:

- Modalità di connessione tra rete e fune in trefolo di acciaio;
- Comportamento a fatica dell'interfaccia fune di bordo – rete;
- Modalità di stoccaggio di un sistema dotato di diverse rigidità;
- Usura differenziata degli elementi di diverso materiale.

2.3 Analisi dei costi

I costi per la sicurezza sono riferiti a tutte quelle misure di prevenzione e protezione messe in atto con l'obiettivo di eliminare o ridurre i rischi sul lavoro. La stima dei costi della sicurezza è obbligatoria e deve essere inserita nel Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC), come previsto dall'Art. 100 del D.Lgs. 81/2008: *“1. Il piano è costituito da una relazione tecnica e prescrizioni correlate alla complessità dell'opera da realizzare ed alle eventuali fasi critiche del processo di costruzione, atte a prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, ivi compresi i rischi particolari di cui all'ALLEGATO XI, con specifico riferimento ai rischi derivanti dal possibile rinvenimento di ordigni bellici inesplosi nei cantieri interessati da attività di scavo , nonché la stima dei costi di cui al punto 4 dell'ALLEGATO XV. [...]”*.

Il punto 4 dell'Allegato XV sopra citato indica quali sono i costi che devono essere stimati all'interno del PSC:

“4.1.1. Ove è prevista la redazione del PSC ai sensi del Titolo IV, Capo I, del presente decreto, nei costi della sicurezza vanno stimati, per tutta la durata delle lavorazioni previste nel cantiere, i costi:

- a) degli apprestamenti previsti nel PSC;*
- b) delle misure preventive e protettive e dei dispositivi di protezione individuale eventualmente previsti nel PSC per lavorazioni interferenti;*
- c) degli impianti di terra e di protezione contro le scariche atmosferiche, degli impianti antincendio, degli impianti di evacuazione fumi;*
- d) dei mezzi e servizi di protezione collettiva;*
- e) delle procedure contenute nel PSC e previste per specifici motivi di sicurezza;*
- f) degli eventuali interventi finalizzati alla sicurezza e richiesti per lo sfasamento spaziale o temporale delle lavorazioni interferenti;*
- g) delle misure di coordinamento relative all'uso comune di apprestamenti, attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva.”*

Alcune di queste voci sono dettagliate nel successivo Allegato XV.1, nel quale è riportato un elenco indicativo di apprestamenti, attrezzature, infrastrutture e mezzi e servizi di protezione collettiva.

Gli apprestamenti sono definiti come quelle opere provvisorie necessarie ai fini della tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori in cantiere. In questa categoria rientrano i ponteggi, i trabattelli, i parapetti, le armature delle pareti degli scavi, i puntellamenti, i servizi igienici, i locali adibiti ai lavoratori, le delimitazioni delle aree di lavoro e tanti altri elementi. Anche le reti di sicurezza fanno parte di questo gruppo in quanto dispositivi di protezione collettiva.

Le misure preventive e protettive e i dispositivi di protezione individuale da inserire nella stima sono quelli finalizzati unicamente alla protezione di rischi derivanti da lavorazioni interferenti e non a servizio delle specifiche attività.

Per impianti si intendono quelli temporanei, installati esclusivamente per la protezione del cantiere, e non quelli preesistenti, che fanno parte della struttura per la quale viene creato il cantiere.

Anche i mezzi e i servizi di protezione collettiva come segnaletica di sicurezza, avvisatori acustici, attrezzature per il primo soccorso, illuminazione di emergenza, mezzi estinguenti e servizi di gestione delle emergenze, sono necessari in caso di rischi interferenziali.

Le procedure a cui fa riferimento l'Allegato XV non sono da intendersi come quelle comunemente effettuate per svolgere le lavorazioni in sicurezza bensì sono relative a rischi peculiari che possono presentarsi nell'ambito dello specifico cantiere, derivanti dal contesto ambientale o dalle interferenze.

Per quanto concerne gli interventi per lo sfasamento spaziale o temporale delle lavorazioni, quelli che rientrano nei costi della sicurezza sono derivanti da interferenze risolvibili solo tramite ulteriore sfasamento rispetto a quelli già previsti nel cronoprogramma, che non rientrano invece nel computo della sicurezza.

Importanza è data anche alle misure di coordinamento volte all'utilizzo in sicurezza di elementi di uso comune come apprestamenti, attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva. Queste misure, che devono rientrare nei costi per la sicurezza, si

traducono in riunioni di cantiere o nella presenza di personale a sovrintendere l'uso comune.

L'Allegato XV al punto 4 continua specificando che: *“4.1.3. La stima dovrà essere congrua, analitica per voci singole, a corpo o a misura, riferita ad elenchi prezzi standard o specializzati, oppure basata su prezziari o listini ufficiali vigenti nell'area interessata, o sull'elenco prezzi delle misure di sicurezza del committente; nel caso in cui un elenco prezzi non sia applicabile o non disponibile, si farà riferimento ad analisi costi complete e desunte da indagini di mercato. Le singole voci dei costi della sicurezza vanno calcolate considerando il loro costo di utilizzo per il cantiere interessato che comprende, quando applicabile, la posa in opera ed il successivo smontaggio, l'eventuale manutenzione e l'ammortamento.*

4.1.4. I costi della sicurezza così individuati, sono compresi nell'importo totale dei lavori, ed individuano la parte del costo dell'opera da non assoggettare a ribasso nelle offerte delle imprese esecutrici.”

Pertanto, tali costi non devono essere valutati come percentuale rispetto all'importo complessivo dei lavori, come veniva fatto in passato, ma considerandoli separatamente in funzione delle necessità del cantiere. Inoltre, essi non devono essere soggetti a ribasso in quanto la sicurezza risulta di primaria importanza.

Come indicato, parapetti e reti di protezione sono contemplati all'interno della categoria degli apprestamenti e, di conseguenza, rientrano nel computo metrico estimativo dei costi per la sicurezza.

I prezzi generalmente vengono determinati facendo riferimento agli elenchi dei prezzi standard o specializzati, a prezziari o listini ufficiali vigenti nel territorio di interesse, all'elenco dei prezzi delle misure di sicurezza del Committente. In questo caso viene consultato il Prezziario della Regione Piemonte 2022 ed in particolare la Sezione 28, relativa alla sicurezza.

Per effettuare una stima generica, volta a confrontare i due sistemi di protezione anche a livello di costi, per capire quale possa essere la soluzione più economica, si ipotizza di

dover realizzare una protezione collettiva che ricopra una lunghezza di 10 metri. In un caso si utilizzeranno i parapetti provvisori, nell'altro le reti di sicurezza.

Nella figura 2.13 è possibile visionare un estratto del Prezziario della Regione Piemonte nel quale sono definiti i costi per parapetti di diversa tipologia, comprensivi degli oneri derivanti dalle operazioni di montaggio e smontaggio.

Sez.	Codice	Descrizione	U.M.	Euro
28	28.A05.B10	PARAPETTO anticaduta in assi di legno dell'altezza minima di 1,00 m dal piano di calpestio e delle tavole fermapiede, da realizzare per la protezione contro il vuoto, (es.: rampe delle scale, vani ascensore, vuoti sui solai e perimetri degli stessi, cigli degli scavi, balconi, etc), fornito e posto in opera. I dritti devono essere posti ad un interasse adeguato al fine di garantire la tenuta all'eventuale spinta di un operatore. I correnti e la tavola fermapiede non devono lasciare una luce in senso verticale, maggiore di 0,6 m, inoltre sia i correnti che le tavole ferma piede devono essere applicati dalla parte interna dei montanti. Sono compresi: il montaggio con tutto ciò che occorre per eseguirlo e lo smontaggio anche ripetuto durante le fasi di lavoro; l'accatastamento e l'allontanamento a fine opera.		
28	28.A05.B10.005	Misurato a metro lineare posto in opera	m	15,62
28	28.A05.B15	PARAPETTO prefabbricato in metallo anticaduta da realizzare per la protezione contro il vuoto (es.: rampe delle scale, vani ascensore, vuoti sui solai e perimetri degli stessi, cigli degli scavi, balconi, etc), fornito e posto in opera. I dritti devono essere posti ad un interasse adeguato al fine di garantire la tenuta all'eventuale spinta di un operatore. I correnti e la tavola ferma piede non devono lasciare una luce in senso verticale, maggiore di 0,6 m, inoltre sia i correnti che le tavole ferma piede devono essere applicati dalla parte interna dei montanti. Sono compresi: il montaggio con tutto ciò che occorre per eseguirlo e lo smontaggio anche ripetute volte durante le fasi di lavoro; l'accatastamento e l'allontanamento a fine opera.		
28	28.A05.B15.005	Misurato a metro lineare posto in opera.	m	11,94
28	28.A05.B20	PARAPETTO temporaneo a rete completo di connettori, cinghie di tensionamento e banda ferma-piede.		
28	28.A05.B20.005	lunghezza massima 6m -altezza 1,1m	m	108,43

Figura 2.15. Estratto del Prezziario della Regione Piemonte 2022.

Al fine di questo confronto si considerano le prime due tipologie di parapetto evidenziate nel prezziario: parapetto in assi di legno e parapetto prefabbricato in metallo. Il parapetto temporaneo a rete è un sistema peculiare che non rientra nelle categorie di protezioni standard che si vogliono raffrontare con le reti di sicurezza.

Tipologia di parapetto	Costo per 10 metri di parapetto
Parapetto con assi in legno	$15,62 \times 10 = 156,20 \text{ euro}$
Parapetto prefabbricato in metallo	$11,94 \times 10 = 119,40 \text{ euro}$

Tabella 2.7. Analisi dei costi parapetti.

Anche le reti di sicurezza trovano il loro spazio nella stessa sezione del prezziario. In figura 2.14 è rappresentato un estratto in cui sono rappresentati i costi relativi a questo sistema di protezione.

Sez.	Codice	Descrizione	U.M.	Euro
28	28.A10.B05	RETE DI SICUREZZA in maglia di nylon 6x6 cm, Ø treccia 3 mm, fune perimetrale Ø 18 mm, sostenuta da cavi metallici ancorati ai pilastri con cravatte metalliche.		
28	28.A10.B05.005	Per ogni montaggio, smontaggio con intervento di autocarro con cestello porta persone su braccio idraulico (fino ad altezza di 18,00 m).	m ²	5,23
28	28.A10.B05.010	Per ogni montaggio, smontaggio con l'ausilio di trabattello (fino ad altezza di 5,40 m)	m ²	3,77
28	28.A10.B10	APPARATO DI PROTEZIONE composto da:		
28	28.A10.B10.005	RETE DI SICUREZZA e protezione tipo "S" orizzontale da utilizzare nei lavori di costruzione e montaggio come dispositivo per arrestare la caduta di persone ed oggetti. Escluso montaggio. Dimensioni: 5,00 x10,00 m, 5,00x15,00 m, 5,00x20,00 m, 5,00x25,00 m. Durata: 5 anni con obbligo di revisione annuale. necessita per il montaggio di treccia e cinghia da computarsi a parte.	m ²	2,20

Figura 2.16. Estratto del Prezziario della Regione Piemonte 2022.

L'applicazione presentata non è una soluzione esistente, pertanto, relativamente a questo computo, si sceglie di non utilizzare la voce presente nel prezziario che definisce un costo complessivo e comprensivo di montaggio e smontaggio.

Il prezzo della rete di protezione viene valutato considerando il costo della rete a cui viene sommata una maggiorazione derivante dal montaggio.

Si ipotizza che la rete possa essere montata in 30 minuti con l'intervento di due operai specializzati, il cui costo orario è reperibile da prezziario nella sezione relativa alla manodopera.

01	01.P01.A05.080	Lavori in galleria di riparazione o manutenzione	h	38,10
01	01.P01.A10	Operaio specializzato		
01	01.P01.A10.005	Ore normali	h	36,91
01	01.P01.A10.010	Ore straordinarie diurne	h	46,46
01	01.P01.A10.015	Ore straordinarie notturne	h	48,20
01	01.P01.A10.020	Ore straordinarie festive	h	53,35
01	01.P01.A10.025	Ore straordinarie festive notturne	h	58,52
01	01.P01.A10.030	Ore festive normali	h	40,00

Figura 2.17. Estratto del Prezziario della Regione Piemonte 2022.

Il quantitativo di rete necessaria per proteggere 10 metri di struttura è pari a 20 m², in quanto si realizza una rete di altezza pari a 2 metri oppure si utilizzano due reti sovrapposte alte 1 metro.

Costo di 20 m ² di rete	Costo manodopera	Costo complessivo
2,20 × 20 m ² = 44 euro	2 operai specializzati × 36,91 euro × 0,5 h = 36,91 euro	44 + 36,91 = 80,91 euro

Tabella 2.8. Analisi dei costi reti di sicurezza.

Si evidenzia che il costo complessivo ottenuto è confrontabile con quelli ricavabili facendo riferimento alle tipologie esistenti e pertanto l'ipotesi fatta può definirsi congrua.

Rete di sicurezza	Costo per 20 m ² di rete
Montaggio e smontaggio con PLE	5,23 × 20 m ² = 104,60 euro
Montaggio e smontaggio con trabattello	3,77 × 20 m ² = 75,40 euro

Tabella 2.9. Analisi dei costi reti di sicurezza.

A seguito di questa analisi di costi si può concludere che l'utilizzo della tipologia di rete proposta rispetto al parapetto tradizionale permette un sensibile risparmio in termini economici.

La percentuale di risparmio derivante dall'impiego della rete è circa pari al 30%.

$$\left(1 - \frac{\text{Costo rete}}{\text{Costo parapetto}}\right) \cdot 100 = 32,24 \% \quad (2.12)$$

2.4 Analisi dei tempi

Un'ulteriore comparazione tra parapetto e rete di protezione prevede il confronto in termini di tempistiche di realizzazione. Oltre al vantaggio economico si vuole evidenziare il risparmio di tempo durante la fase di montaggio, che permette una velocizzazione dell'attività e quindi una potenziale contrazione del tempo complessivo del cronoprogramma.

Si suppone di dover installare una protezione collettiva che permetta di prevenire il rischio caduta dall'alto dal bordo di un solaio e che deve essere collocata in posizione intermedia tra due pilastri distanti 10 metri.

Nel primo caso si sceglie il parapetto come sistema di protezione. Il parapetto generalmente deve essere fissato alla struttura di sostegno ogni 180 centimetri, attraverso il posizionamento di montanti ancorati al solaio tramite morsetto di blocco. A seguito di questa considerazione, poiché la luce da coprire con la protezione è di 10 metri, dovranno essere installati almeno 4 montanti lungo il bordo della struttura.

Il montaggio può essere facilmente effettuato da un singolo operatore, il quale deve essere adeguatamente protetto con l'installazione di una linea vita temporanea (tipo A o B), perché, non essendo ancora presente il sistema di protezione collettiva, permane il rischio caduta dall'alto.

Considerando la distanza tra i pilastri e la necessità di almeno 4 montanti da dover fissare al solaio, occorrono due punti di ancoraggio a cui fissare il cordino anticaduta che sarà collegato all'imbracatura del lavoratore. Un solo punto di ancoraggio non è infatti sufficiente, in quanto presuppone il doversi spostare lateralmente per troppi metri, l'utilizzo di un cordino troppo lungo e, a seguito di eventuale caduta, il conseguente configurarsi dell'effetto pendolo che porta il lavoratore ad oscillare e urtare contro ostacoli. Ciò sottintende la realizzazione di due punti di ancoraggio provvisori rispondenti alla norma UNI EN 795:2012 e la conoscenza della resistenza della struttura a cui viene fissato l'ancoraggio stesso.

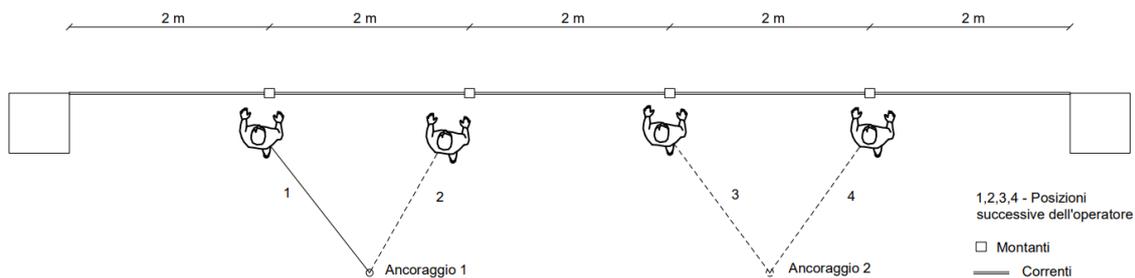


Figura 2.18. *Schema di montaggio del parapetto.*

Analizzando la sequenza di montaggio, possono essere ipotizzate le tempistiche corrispondenti alle diverse operazioni come segue:

- 20 minuti in media per portare il materiale necessario al piano;
- 5 minuti per realizzare ciascun ancoraggio provvisorio che rispetti la norma UNI EN 795:2012. Tale valore viene determinato considerando i tempi per realizzare il buco con il trapano, inserire il tassello, stringerlo, indossare l'imbracatura e collegarsi con il cordino;
- 10 minuti per installare i montanti e le tavole che costituiscono i correnti del parapetto.

Il tempo totale necessario ad un lavoratore per montare il parapetto è pari a 40 minuti.

Nel secondo caso il sistema di protezione collettiva che si vuole installare è la rete di protezione.

Il montaggio deve essere effettuato da due lavoratori che devono posizionarsi in corrispondenza dei pilastri ancorandovisi a strozzo e realizzando, come prevede la norma UNI EN 795:2012, un ancoraggio provvisorio di tipo B, che contempla la possibilità di cingere un elemento strutturale. Non è necessaria la creazione di buchi per fissare gli ancoraggi.

La rete, che inizialmente viene posizionata a terra, viene presa dagli operatori, srotolata, posta in posizione verticale e collegata ai pilastri. Nel caso in cui l'edificio oggetto di intervento risulti avere pilastri con interasse costante, il collegamento può essere eseguito attraverso tassellatura delle funi di bordo agli elementi portanti, avendo cura di realizzare

reti con una lunghezza pari alla distanza tra essi, in modo tale da avere il giusto tensionamento una volta posta in opera. Al contrario, se la distanza tra i pilastri non è costante, il collegamento può essere effettuato arrotolando la fune di bordo attorno ad essi fin quando la rete non risulta sufficientemente tesa. In questa seconda casistica, la fune deve presentare una tacchetta di segnalamento che indichi fino a che livello deve essere arrotolata per ottenere una trazione ideale, per non lasciare soggettività nella scelta del grado di tensionamento.

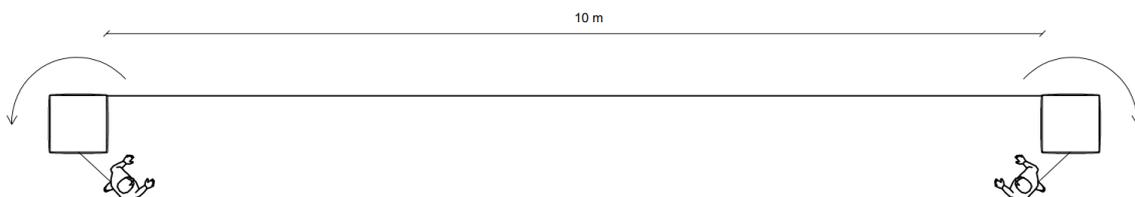


Figura 2.19. Schema di montaggio della rete.

Queste considerazioni portano a tempi di montaggio che prevedono:

- 10 minuti in media per il trasporto del materiale necessario al piano;
- 10 minuti necessari per il montaggio della rete in caso di arrotolamento della fune attorno ai pilastri;
- 20 minuti necessari per il montaggio della rete in caso di utilizzo di tasselli. Si considerano 5 minuti per la realizzazione di ciascun ancoraggio.

Il tempo complessivo impiegato da due lavoratori è di 20 minuti, considerando la rete fissata con arrotolamento, e di 30 minuti con l'impiego di tasselli.

In entrambi i casi si evidenzia un grande risparmio di tempo che risulta notevole soprattutto quando la rete viene semplicemente arrotolata ai pilastri.

In particolare:

$$\left(1 - \frac{\text{Tempo rete}}{\text{Tempo parapetto}}\right) \cdot 100 = 50 \% \quad (2.13)$$

Il montaggio della rete richiede la metà del tempo necessario per l'installazione del parapetto.

CAPITOLO 3

CASO STUDIO: CANTIERE NEL CENTRO ITCILO

Il caso studio che si vuole trattare in questo capitolo è relativo all'utilizzo del sistema di reti, definito nel capitolo precedente, in sostituzione al parapetto provvisorio di due padiglioni attualmente in fase di ristrutturazione all'interno dell'International Training Centre of the International Labour Organization (ITCILO), a Torino.

3.1 Da Italia '61 a ITCILO

Il progetto prevede il restauro e il risanamento conservativo del padiglione “Africa 10” e del padiglione “Africa 11”, situati nell'area compresa tra corso Unità d'Italia, viale Maestri del Lavoro e il fiume Po. Questi fabbricati hanno un interesse storico in quanto fanno parte del complesso che era stato realizzato in occasione dell'Esposizione internazionale del lavoro Italia '61, per celebrare il centenario dell'unità nazionale. Gli edifici oggetto di intervento facevano parte della “Mostra delle regioni”, un complesso di 19 padiglioni, ognuno rappresentante una regione d'Italia, disposti a formare uno stivale, per riprendere la forma della penisola. Quelli che oggi sono Africa 10 e Africa 11, al tempo erano i padiglioni rappresentativi di Lazio e Umbria, che, insieme agli altri 17, furono progettati dall'architetto Nello Renacco e nel 1963 vennero insigniti del “Premio nazionale per un'opera realizzata”.



Figura 3.1. Planimetria della “Mostra delle regioni” – Esposizione Italia '61.

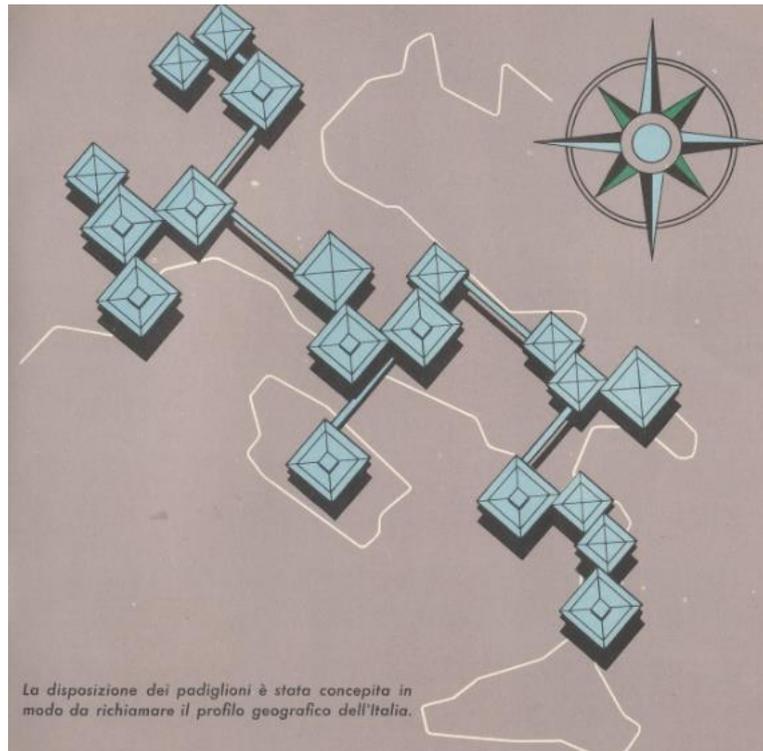


Figura 3.2. *Disposizione dei padiglioni – Esposizione Italia '61.*

I padiglioni della Mostra delle Regioni, insieme al grande Padiglione Unitario, volevano esprimere lo spirito alla base delle celebrazioni per il centenario dell'unità d'Italia. Ciò che voleva essere rappresentato attraverso questo complesso non era un'unione che definiva una completa uguaglianza tra tutto il territorio nazionale bensì le differenze presenti tra regione e regione, sia in termini positivi che negativi. Oltre alle divergenze economiche, che rappresentano l'aspetto negativo, le regioni erano, e sono, diverse per cultura e tradizione, nonostante appartengano ad una stessa nazione. La Mostra ha voluto sottolineare le peculiarità e le caratteristiche di ogni zona d'Italia assegnando un tema differente ad ogni padiglione. Lo spazio destinato alla creazione di questo progetto si trovava all'interno di un vasto territorio di 150 mila metri quadri, certamente ricco di risorse panoramiche, quali il fiume Po e la folta vegetazione, ma anche molto irregolare e spesso invaso dalle acque. Proprio per superare questi ostacoli ambientali e collocare i padiglioni in un ambiente che non celasse lo spirito che dovevano rappresentare, vennero realizzati con fattezze molto sobrie: vetro come elemento preponderante, accompagnato

da ferro e acciaio, e cemento ridotto al minimo indispensabile, per creare luoghi estremamente luminosi e funzionali.

In origine, era previsto che questi padiglioni venissero smantellati al termine dell'Esposizione, ma, nel 1964, un accordo tra il Governo italiano e l'Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO) permise che potessero essere riutilizzati, a seguito di un cambio della destinazione d'uso. In particolare, da quell'accordo, venne fondato il Centro Internazionale del Lavoro, un'agenzia di formazione professionale il cui scopo è la creazione *“del lavoro dignitoso per tutti, uomini e donne”* e raggiungere l'obiettivo di sviluppo sostenibile numero 8 dell'Agenda 2030 dell'ONU: *“Promuovere una crescita economica inclusiva, sostenuta e sostenibile, un'occupazione piena e produttiva e un lavoro dignitoso per tutti”*. All'interno del centro multiculturale è possibile presenziare e partecipare a lezioni di classe, workshop, visite studio, condotte con le più innovative tecniche pedagogiche, finalizzate all'apprendimento e alla condivisione di esperienze del mondo del lavoro derivanti da culture differenti, e al potenziamento delle capacità per governi, organizzazioni dei lavoratori, dei datori di lavoro e partner per lo sviluppo.

Proprio il carattere multietnico, inclusivo e di condivisione tra culture del mondo che caratterizza il Centro, si ritrova nella nuova definizione dei padiglioni, i quali, a seguito di restauri, ampliamenti, ricostruzioni, sono stati organizzati in gruppi, ognuno dei quali rappresenta uno dei cinque continenti.

Il campus ha come obiettivo l'innovazione ma sempre preservando le risorse naturali presenti nell'ambiente. Il centro ha infatti sottoscritto il *“Policy Statement on the Environment”*, una dichiarazione politica per l'ambiente, nella quale si impegna, durante il suo mandato, a proteggere l'ambiente e affermare il principio di sostenibilità, adottando misure rispettose dell'ambiente. In particolare, utilizza energie rinnovabili, riduce il più possibile l'emissione dei gas serra e il consumo d'acqua e riutilizza o ricicla i rifiuti. Inoltre, diffonde i principi di sostenibilità inserendoli all'interno dei suoi pacchetti di apprendimento e li attua realizzando edifici e strutture a basso impatto ambientale.

Nel 2014, grazie a questa filosofia, il Centro ha ricevuto il premio Eco Campus dalla Fondazione per l'Educazione Ambientale e segue il Greening the Blue Initiative, un progetto focalizzato al coinvolgimento del sistema delle Nazioni Unite nella transizione

verso una maggiore sostenibilità ambientale nella gestione delle sue strutture e delle operazioni.

L'intervento di riqualificazione si inserisce all'interno di un progetto più ampio che, negli anni, ha portato alla ristrutturazione di altri padiglioni del Campus ITCILO, quali i padiglioni Americas 1, Americas 5, Africa 8 e Africa 9, recuperati in occasione delle Olimpiadi invernali di Torino 2006, e successivamente anche i padiglioni Piemonte ed Europa. Tutti gli interventi hanno seguito le medesime linee guida, definendo un'unica tipologia architettonica, con l'intento di creare un sistema integrato di edifici che si relazionano efficacemente tra loro e con il paesaggio circostante.

I padiglioni in esame si trovano a far parte di un blocco comune insieme ad altri due padiglioni, Africa 8 e Africa 9, con i quali condividono le caratteristiche architettoniche: sono edifici a pianta quadrata costituiti da un piano terreno e un piano primo, sul quale è presente una balconata coperta che collega tutte e quattro le strutture. Africa 10 e Africa 11, considerando il piano terra, hanno due corpi distinti, mentre al piano superiore sono collegati tramite una soletta continua interna e la balconata.



Figura 3.3. *Inquadramento degli edifici.*

L'intervento in corso di attuazione verte alla ridefinizione dello spazio interno ed esterno di tali padiglioni, senza modifica della destinazione d'uso. Creare un'interazione tra i due edifici, realizzando un'unica entità strutturale anche a piano terra e integrarli nel contesto paesaggistico e con gli altri padiglioni, sono gli obiettivi primari del progetto.

In aggiunta, la ristrutturazione si fonda su principi di sostenibilità promossi dal Centro, e quindi risparmio energetico, idrico e riduzione delle emissioni di anidride carbonica, che permettono di ottenere la certificazione LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design). Ulteriore requisito è la realizzazione di un ambiente interno che possa creare confort e benessere psicofisico degli occupanti, per ottenere un ambiente di lavoro più sano, con controllo del rumore, dell'aria, scelta di determinati materiali, colori e prevalenza di luce naturale, caratteri fondanti della certificazione WELL.

3.2 Utilizzo delle reti di sicurezza

La prima fase dell'intervento, a seguito del cantiere di bonifica amianto, è stata di "strip-out", un processo di demolizione selettiva non invasiva, che permette di rimuovere tutti gli elementi non strutturali, in preparazione alla ristrutturazione vera e propria.

Nella fase di rimozione del preesistente manto di copertura del piano superiore sono state impiegate le reti di sicurezza. In particolare, sono state utilizzate le reti di tipo S prodotte dallo stabilimento La Rete, le più adatte per questa tipologia di lavorazione, in quanto reti ad utilizzo orizzontale. La rimozione del manto di copertura è stata svolta in due fasi: taglio e rimozione del primo strato, che era costituito da guaine bituminose e calcestruzzo alleggerito, e rimozione degli strati di lamiera che erano avvitati al solaio in legno.

L'impiego delle reti è stata una scelta obbligata in quanto non nota la resistenza della copertura. Grazie a questo sistema di protezione i lavoratori hanno potuto operare anche al di sopra delle lamiere in sicurezza, essendo le reti posizionate al di sotto e pronte a raccogliere l'operaio da eventuali cadute a seguito di cedimenti strutturali.

Le reti così predisposte hanno svolto una duplice funzione: oltre a proteggere il lavoratore in caso di caduta dall'alto, costituivano una protezione rispetto alla caduta di materiali e detriti. Infatti, essendo il primo piano in corso di ristrutturazione, vedeva il passaggio di persone, le quali si trovavano al di sotto di una struttura non sicura.

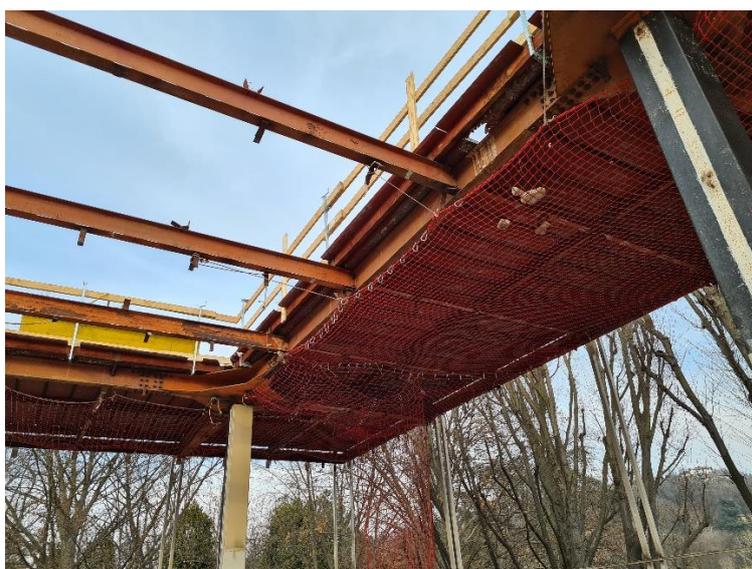


Figura 3.4. Reti di sicurezza per la caduta materiale.

Evidenziato questo aspetto, è fattuale il vantaggio che si può ottenere in termini di sicurezza collettiva attraverso l'utilizzo delle reti di protezione al posto di altri sistemi più frequentemente utilizzati.

Le reti sono state installate con piattaforme di lavoro elevabili a coprire la superficie dell'orditura strutturale primaria e sono state affiancate da parapetti perimetrali e linee vita provvisorie per permettere agli operatori di assicurarsi contro la caduta.

La lavorazione viene suddivisa in step differenti, suddividendo la copertura in 3 lotti di superficie pari a circa 500 metri quadri ciascuno, sui quali si è intervenuto in sequenza per poter utilizzare le stesse reti spostandole di fase in fase.

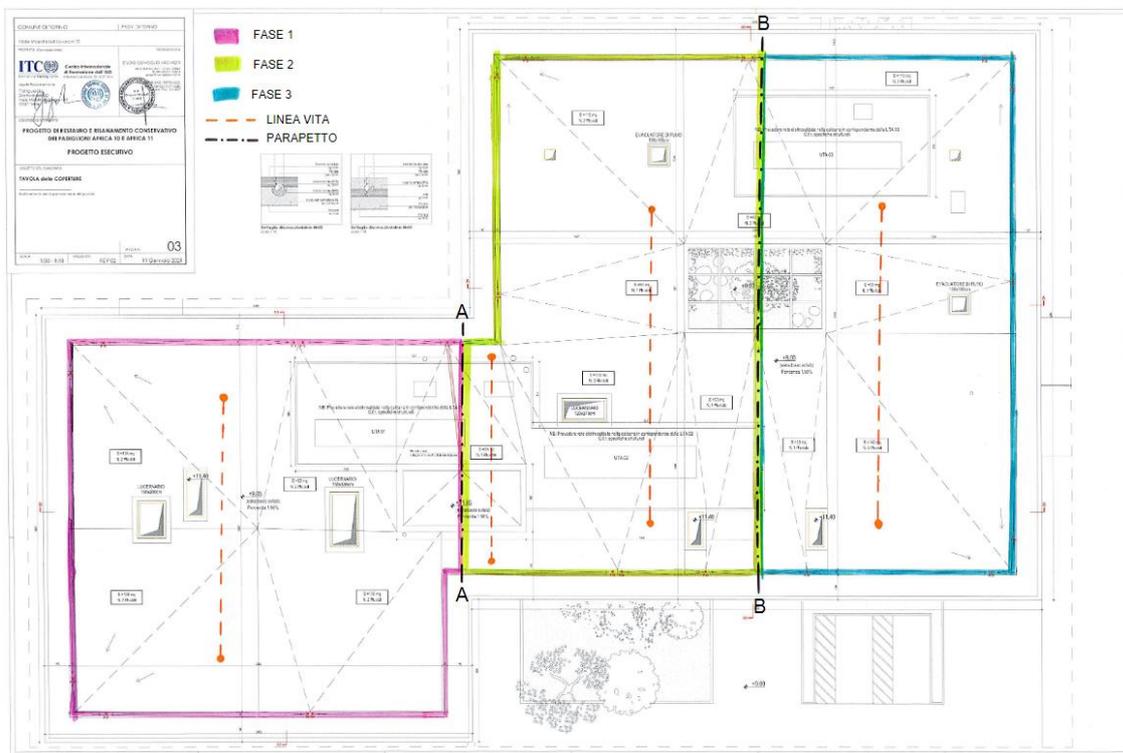


Figura 3.5. Planimetria descrittiva delle fasi di rimozione del manto di copertura.

Si allegano delle immagini relative alle fasi appena descritte, nelle quali è possibile notare il posizionamento delle reti anticaduta e il loro ancoraggio.

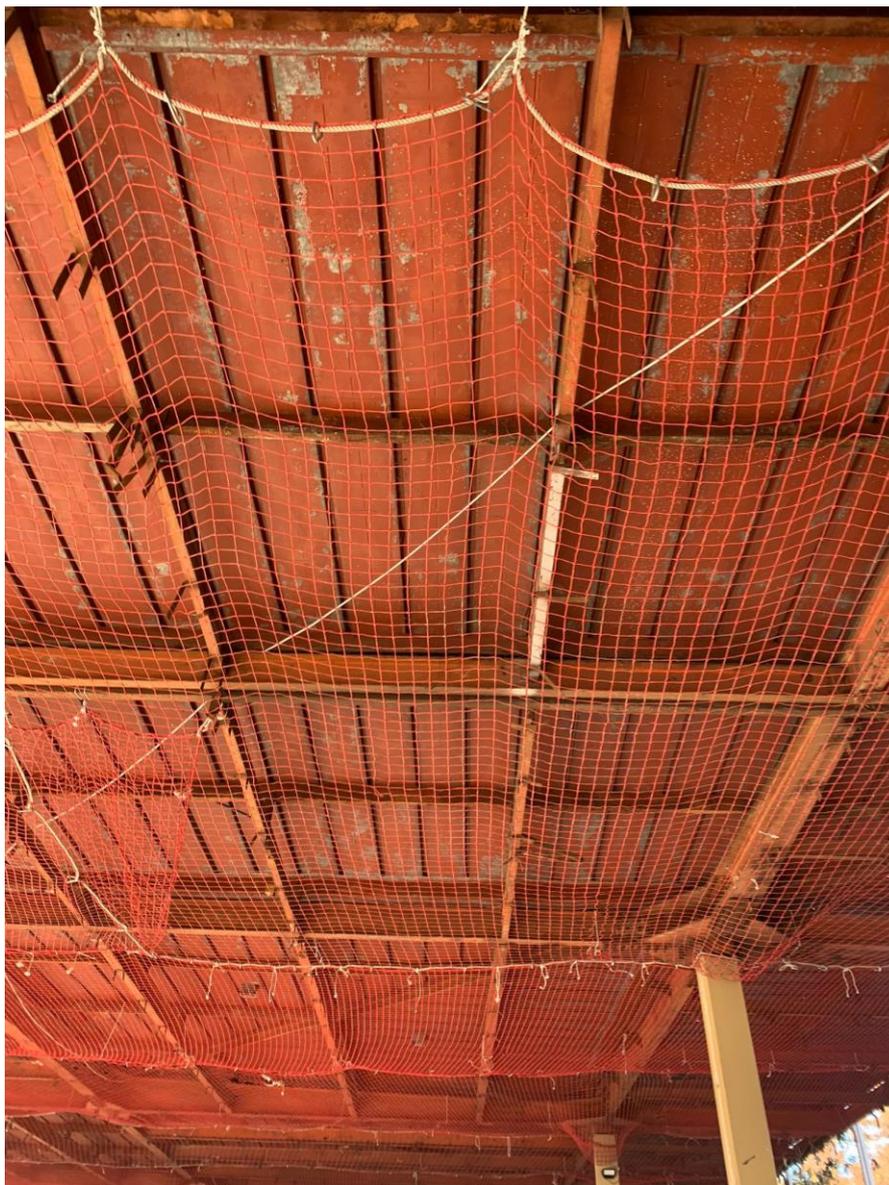


Figura 3.6. Reti di sicurezza anticaduta sotto l'orditura in legno.

La figura 3.6 mostra una distesa di reti di sicurezza ancorate all'orditura strutturale in legno. La rete, a maglia quadrata e di colore rosso, è corredata, sul perimetro, dalla sua fune di bordo che si distingue per il colore bianco. Sono visibili gli accoppiamenti tra diverse porzioni di rete ottenuti tramite sovrapposizioni e funi di accoppiamento.

La figura 3.7, nella quale è possibile apprezzare l'ancoraggio della rete al solaio in legno, realizzato annodando le funi preposte agli elementi strutturali, evidenzia una caratteristica importante dell'impiego delle reti: la facilità di montaggio. Esse, infatti, possono essere fissate agli elementi portanti attraverso semplici nodi, eliminando la necessità di realizzare ancoraggi a tassello e fori, maggiormente impegnativi e dispendiosi.



Figura 3.7. Reti di sicurezza anticaduta, dettaglio ancoraggio.



Figura 3.8. Reti di sicurezza anticaduta, fase 3.

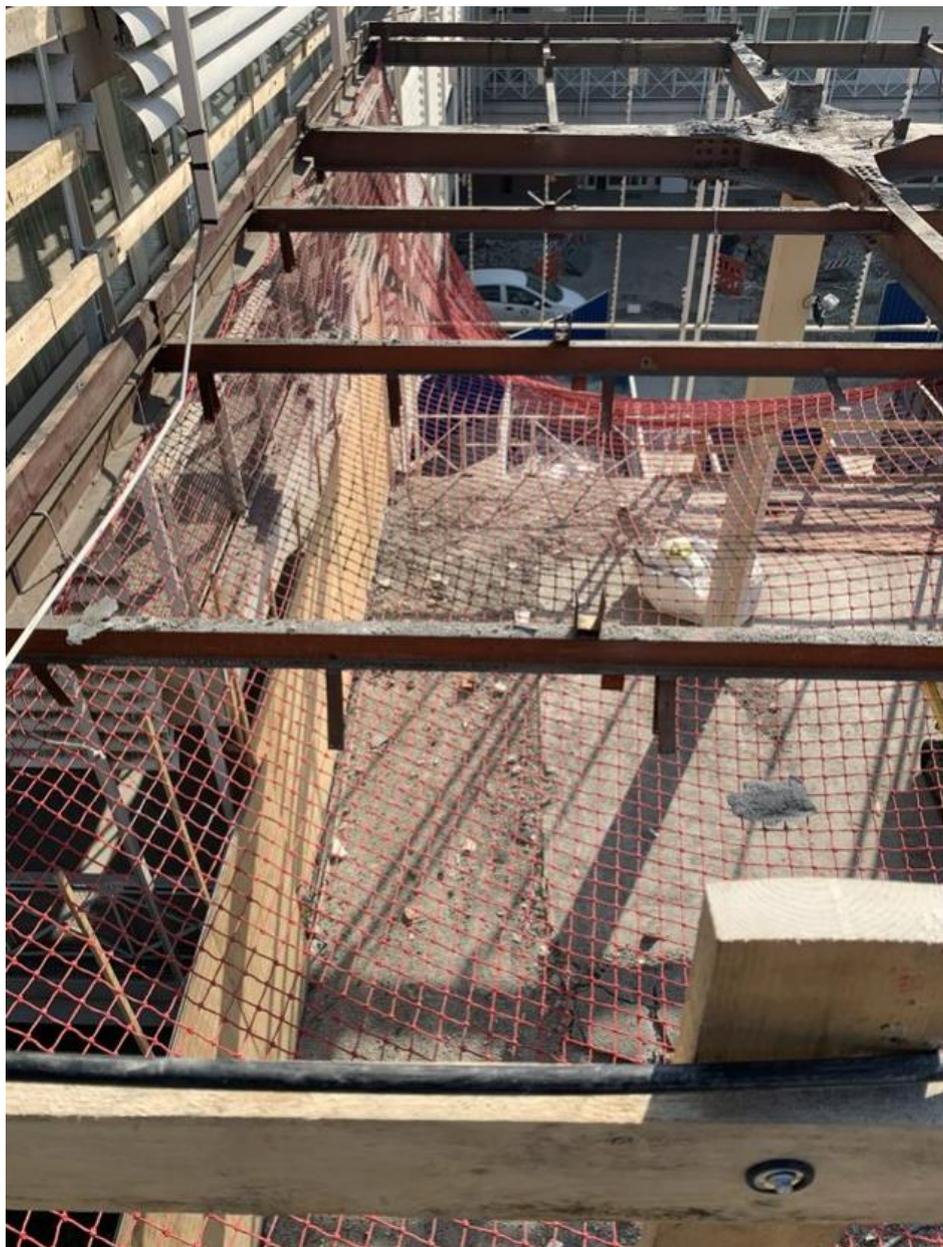


Figura 3.9. Reti di sicurezza anticaduta a copertura rimossa.

La Figura 3.9 permette di evidenziare uno degli scopi principali dell'utilizzo delle reti di sicurezza orizzontali: la rimozione di coperture. La rete permette di lavorare dall'alto eliminando il rischio di caduta a seguito di rottura o cedimento della copertura, della quale, soprattutto in edifici vecchi, non è nota la resistenza.



Figura 3.10. Reti di sicurezza anticaduta, fase 2.

Nell'intervento di posizionamento delle nuove lamiere di copertura non è invece stato possibile l'impiego delle reti a causa della forte contrarietà da parte dell'impresa affidataria, la quale ha trovato soluzioni alternative per lo svolgimento di tale attività. Questo denota quanto ancora ci sia diffidenza nei confronti di questo sistema di protezione. Tale mancanza di fiducia deriva da una bassa conoscenza del prodotto e delle sue potenzialità che permettono una protezione contemporanea dei lavoratori dal rischio caduta dall'alto, ma non solo; attraverso l'utilizzo delle reti viene fatto un passo ulteriore: l'impiego è rivolto a salvaguardare il più possibile la salute della persona in caso di impatto con la protezione, perché le sollecitazioni vengono attutite grazie alle deformazioni della rete.

3.3 Prospetto di tempi e costi di installazione della rete verticale

Il caso studio presentato vuole applicare ad un caso reale il sistema di protezione studiato in questo elaborato di tesi. In particolare, si ipotizza di utilizzare due reti di protezione sovrapposte in posizione verticale, e senza nessun supporto a sostegno di esse, in sostituzione al parapetto provvisorio posizionato, durante le prime fasi di cantiere, sul perimetro del solaio del primo piano degli edifici Africa 10 e Africa 11, precedentemente descritti. Nella situazione reale, in questa posizione, viene realizzato direttamente un parapetto definitivo, in quanto il progetto prevede la realizzazione di un balcone che corre attorno al perimetro dell'edificio al primo piano. In questa simulazione si vuole ipotizzare l'utilizzo della protezione temporanea prima dell'installazione di quella definitiva.

Ogni porzione di rete viene disposta tra due elementi portanti in acciaio che collegano il solaio inferiore a quello superiore, che possono essere assimilabili a pilastri, ed è ancorata ad essi annodandovi intorno la fune di bordo. La protezione collettiva a protezione contro la caduta dall'alto è necessaria in quanto il primo piano è oggetto di lavori, e, per la configurazione del sito e la tipologia di attività da eseguire, non risulta possibile e conveniente installare un ponteggio perimetrale tutt'attorno agli edifici.

Viene fatto riferimento ai paragrafi 2.2 – Analisi dei costi e 2.3 – Analisi dei tempi, nei quali sono stati valutati costi e tempi per montare 20 metri quadri di rete. Tali considerazioni vengono trasposte ad una struttura reale valutando l'effettivo quantitativo di rete necessaria per ricoprire tutto il perimetro della struttura.

Partendo dai file DWG/AutoCAD dalle tavole di progetto degli edifici, è possibile calcolare il perimetro complessivo del primo piano che deve essere confinato con il dispositivo di protezione.

Il perimetro da misurare è quello rappresentativo del patio esterno, visibile in Figura 3.11 come il poligono più grande, in quanto, durante le fasi di cantiere, i muri perimetrali non sono ancora presenti e il rischio caduta dall'alto si configura in corrispondenza del bordo del solaio, dove risulta necessario posizionare la protezione.

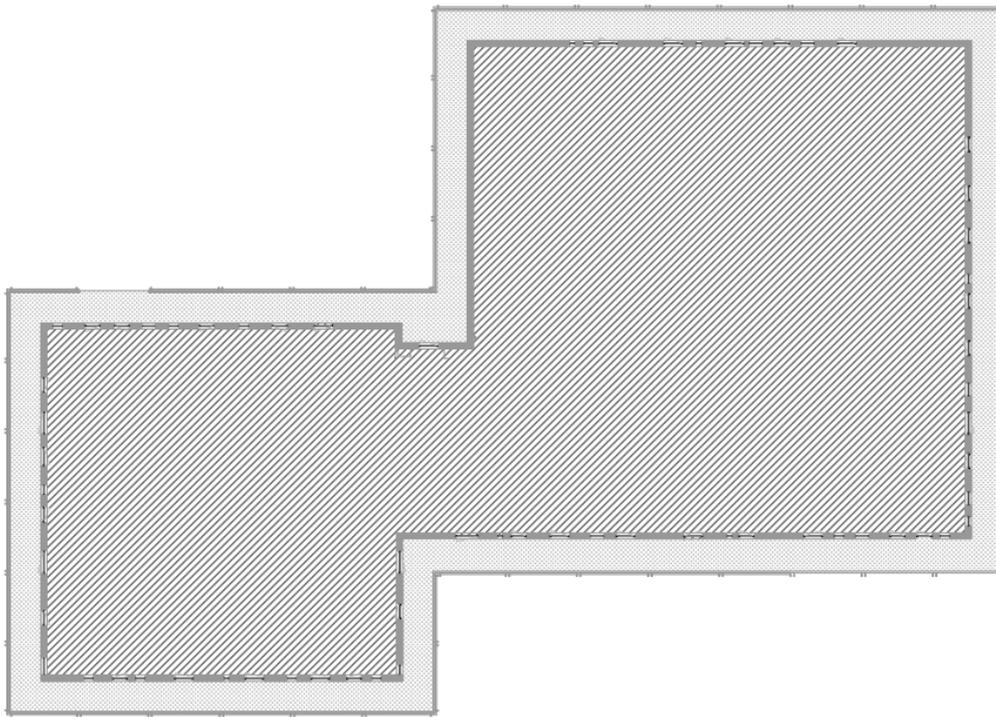


Figura 3.11. *Pianta piano primo.*

Il perimetro complessivo risulta essere pari a 192,11 metri; considerando l'altezza della rete pari a 2 metri, si ottiene un'area complessiva della protezione di 384,22 m². L'analisi dei costi e dei tempi effettuata nei paragrafi 2.2 e 2.3 del Capitolo 2, viene condotta su un campione di rete di 20 metri quadri, pertanto, per trasporre le analisi ad un caso generico è necessario valutare il rapporto:

$$\frac{384,22 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2} = 19,21 \quad (3.1)$$

L'analisi dei costi conduce ad un costo complessivo, per 20 metri quadri di rete, comprensivo dei costi della manodopera, di 80,91 euro.

Costo complessivo per 20 m ²	Costo complessivo per 384,22 m ²
80,91 euro	19,21 × 80,91 euro = 1554,36 euro

Tabella 3.1. *Analisi dei costi reti di sicurezza.*

Il tempo complessivo per l'installazione di 20 metri quadri di rete con due operai specializzati è di 20 minuti.

Tempo di installazione per 20 m ²	Tempo di installazione per 384,22 m ²
20 minuti	19,21 × 20 minuti = 395 minuti = 7 ore

Tabella 3.2. *Analisi dei tempi reti di sicurezza.*

Considerando turni lavorativi di 4 ore ciascuno, con due turni due operai possono installare l'intera rete.

Se, al posto della rete, si volesse installare un parapetto provvisorio, le considerazioni risulterebbero le medesime. Le analisi sono state effettuate considerando 10 metri di parapetto, che rapportati ai 192,11 metri, forniscono:

$$\frac{192,11 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 19,21 \quad (2.13)$$

L'analisi dei costi conduce ad un costo complessivo, valutato attraverso prezzario, di 119,40 euro per 10 metri.

Costo per 10 m	Costo complessivo per 192,11 m
119,40 euro	19,21 × 119,40 euro = 2293,79 euro

Tabella 3.3. *Analisi dei costi parapetto.*

Il tempo complessivo per l'installazione di 10 metri di parapetto è di 40 minuti.

Tempo di installazione per 10 m	Tempo di installazione per 192,11 m
40 minuti	19,21 × 40 minuti = 769 minuti = 13 ore

Tabella 3.4. *Analisi dei tempi parapetto.*

Considerando turni lavorativi di 4 ore, sono necessari più di tre turni per installare l'intero parapetto.

Naturalmente, il rapporto di proporzionalità tra rete e parapetto nell'analisi sui 10 metri di protezione e nell'analisi appena effettuata rimane il medesimo. Risulta però interessante la valutazione, in termini di costi e di tempi, di un caso realistico, che evidenzia un risparmio in entrambi i campi.

In figura 3.12 è rappresentata la simulazione del sistema di protezione, costituito da due reti alte 1 metro sovrapposte, in una porzione dell'edificio.



Figura 3.12. *Applicazione della rete di sicurezza.*

CONSIDERAZIONI FINALI

Il confronto sviluppato nei capitoli 2 e 3 porta a concludere che la scelta di un sistema di protezione quale la rete anticaduta presenta notevoli vantaggi rispetto alle soluzioni tradizionali, con particolare riferimento al parapetto provvisorio. In particolare, l'applicazione proposta in questo elaborato di tesi permette di sfruttare al massimo le caratteristiche della rete di sicurezza, che offre già di per sé elevate prestazioni in termini di resistenza, fornendo un valore aggiunto legato al risparmio di costi, tempi e facilità di installazione, grazie all'assenza di intelaiature di sostegno.

Facendo riferimento all'analisi dei costi e dei tempi, si può affermare che utilizzando il parapetto il vantaggio è quello di poter impiegare un unico lavoratore durante la fase di montaggio, ma i costi e i tempi complessivi sono superiori rispetto alle reti di sicurezza. Lo svantaggio di quest'ultima soluzione è la necessità di due operai per poter installare il dispositivo, ma il costo della manodopera, già computato all'interno dei costi, non genera un aumento di prezzo, il quale infatti rimane inferiore rispetto a quello del parapetto.

Inoltre, l'aspetto primario rappresentato dalla massima garanzia di sicurezza è comunque garantito e si somma al vantaggio di risparmio economico di un sistema che richiede non solo costi e tempi di installazione inferiori ma anche un volume minore di materiale da stoccare, trasportare, gestire.

L'installazione del parapetto provvisorio prevede la realizzazione di ancoraggi temporanei di tipo "A" o "B" a cui l'operatore si deve collegare; la norma UNI EN 795:2012 stabilisce che la resistenza dell'elemento strutturale in cui viene realizzato l'ancoraggio debba essere verificata e adeguata, condizione che implica valutazioni attente in situ. Gli ancoraggi diventano pertanto un secondo elemento da governare relativo alla sicurezza, oltre all'applicazione della protezione collettiva: una errata realizzazione della linea vita temporanea – e quindi eseguita in opera - può inficiare sulla sicurezza dei lavoratori che operano affidando erroneamente la propria incolumità ad un sistema che non la può garantire.

Inoltre, vi sono anche implicazioni di natura estetico-funzionale: la creazione di ancoraggi implica la realizzazione di fori nella struttura esistente, che richiedono molto spesso un ripristino.

Al contrario, l'installazione della rete non prevede l'utilizzo di ancoraggi a cui collegare gli operatori in quanto essi, non avendo la necessità di spostarsi, possono assicurare le imbracature di sicurezza ai pilastri della struttura tramite ancoraggi non invasivi (esempio: ancoraggio a strozzo di tipo "B").

Il livello di sicurezza offerto dalla rete durante l'esercizio è superiore rispetto al parapetto, soprattutto in termini di durabilità, con conseguenti ricadute sulla manutenzione. Il parapetto deve essere verificato periodicamente per garantire che i montanti, gli elementi preposti a contrastare il momento ribaltante generato dalla sollecitazione meccanica data dal morsetto sul solaio, non si allentino, e la coppia di serraggio deve essere monitorata periodicamente. Inoltre, l'impiego di tavole in legno per i correnti orizzontali implica un loro ammaloramento nel tempo e conseguente sostituzione periodica.

La rete permette un'ispezione visiva ogni volta che viene montata e smontata e, poiché la periodicità dei controlli ordinari è uno all'anno, il tempo e il costo delle verifiche sono minimi. I controlli sono residuali perché il sistema rete non è suscettibile di ammaloramento legato agli agenti atmosferici e di conseguenza risulta a favore di sicurezza. Una possibile fonte di problemi è l'invecchiamento, fenomeno che interessa i materiali polimerici con cui la rete è realizzata, che provoca una progressiva perdita delle proprietà intrinseche del materiale a causa delle condizioni ambientali, con particolare riferimento all'esposizione ai raggi UV. Le reti sono testate rispetto agli effetti dell'invecchiamento e, come previsto dalla norma, il fabbricante stabilisce i limiti temporali entro i quali ritirarla dal servizio.

In termini di resistenza, le sollecitazioni di rottura a cui può resistere la rete sono superiori rispetto a quelle previste per i parapetti ed un sistema più resistente equivale ad un sistema più sicuro.

Lo studio condotto nel presente elaborato di tesi è fondato su assunzioni e ipotesi, in quanto l'obiettivo non è brevettare un nuovo sistema di protezione bensì valutare, in prima approssimazione, la fattibilità dell'applicazione innovativa proposta. Dalla trattazione emerge che un'applicazione di questo tipo è concretamente attuabile e le analisi dei costi e dei tempi si pongono a sostegno della tesi e permettono di evidenziare i vantaggi di questa tipologia di applicazione. Naturalmente lo studio dovrebbe essere portato avanti attraverso analisi più approfondite e accurate ma soprattutto tramite prove

di laboratorio, estendendo il campo di indagine a reti con distribuzione di maglie differente e a funi di bordo di diametro diverso (nel presente elaborato è stato possibile valutare un solo diametro). Tutto ciò potrebbe porre le basi per una possibile revisione della norma con conseguente integrazione di un nuovo dispositivo di protezione collettiva: più economico, più veloce da installare, più facile da stoccare e certamente più sicuro.

BIBLIOGRAFIA

American Steel and Wire Company, *Wire rope engineering handbook*, 1946.

Antoniotti Paola, *La sicurezza in edilizia*, Sistemi Editoriali, 2002.

Atti e rassegna tecnica della società ingegneri e architetti in Torino, nuova serie, A.15, N. 6, giugno 1961, *Rassegna tecnica – Documenti sulle grandi strutture per le esposizioni in corso Unità d'Italia*.

Borgazzi Barbò Carlo, *I sistemi anticaduta*, Il Sole 24 ORE, 2001.

Caroli Massimo, Progettare in sicurezza, n. 12/09-01/10, “*I costi della sicurezza dopo il D. Lgs. 106/2009*”.

Cortis Luigi, Fabiani Francesca Maria, Ratti Carlo, Rossi Luca, Svampa Davide Geoffrey, Vitale Calogero, *Analisi delle caratteristiche funzionali e di resistenza di differenti tipi di parapetti provvisori prefabbricati utilizzati nei cantieri temporanei o mobili*, INAIL, 2014.

Cortis Luigi, Rossi Luca, *Linea guida per la scelta, l'uso e la manutenzione dei sistemi collettivi di protezione dei bordi*, INAIL, 2008.

D. Lgs. 81/2008, *Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*.

Fabiani Francesca Maria, *I lavori su coperture e l'attività dell'INAIL. Stato dell'arte, esigenze e possibili soluzioni – Tende da sole - Sicurezza nei lavori in quota*, 2017.

Fabiani Francesca Maria, Rossi Luca, Svampa Davide Geoffrey, *Reti di sicurezza – Guida tecnica per la scelta, l'uso e la manutenzione*, INAIL, 2020.

Fabiani Francesca Maria, Svampa Davide Geoffrey, *Dispositivi di protezione collettiva (DPC) nei lavori in copertura*, INAIL, 2013.

Ferrari Aggradi Giampietro, Pidotella Cipriano, *Corso di meccanica, macchine ed energia – Approfondimento: equilibrio delle funi*, Zanichelli 2012.

Memento Pratico, *Salute e sicurezza sul lavoro*, Giuffrè Francis Lefebvre, 2022.

Norma UNI EN 795:2012 – *Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute – Dispositivi di ancoraggio.*

Norma UNI EN 1263-1,2:2015 – *Reti di sicurezza.*

Norma UNI EN 13374:2019, *Sistemi temporanei di protezione dei bordi - Specifiche di prodotto, metodi di prova.*

Regione Piemonte, *Prezziario della Regione Piemonte 2022 – Prezzi di riferimento per Opere e Lavori Pubblici nella Regione Piemonte.*

Rossi Luca, Quaderni di ricerca n. 15, ottobre 2017 “*Esecuzione in sicurezza dei lavori in copertura. Misure di prevenzione e protezione*”, INAIL.

Semeraro Giuseppe, *Il cantiere sicuro*, EPC.

Zignoli Vittorio, *Trasporti meccanici – Calcolo, progettazione, costruzione, economia ed esercizio delle macchine e degli impianti di sollevamento e trasporto industriali*, Ulrico Hoepli Editore, 1970.

SITOGRAFIA

Esposizione Italia '61, [Esposizione Italia '61 \(italia61.org\)](http://italia61.org)

ILO, [International Training Centre of the ILO - ITCILO](#)

Monteisola corde, [Monteisola Corde](#)

PLAM S.r.l., [Produzione di trecce, corde e nastri - Plam S.r.l.](#)

Retificio Far-Reti, [Produzione Reti a Provaglio d'Iseo Brescia | Retificio Far Reti Srl \(far-reti.it\)](#)

Retificio La Rete, [Home page - Retificio La Rete \(laretesrl.it\)](#)

Retificio Ribola, [Produzione e Vendita Reti in Fibra Sintetica \(retificioribola.it\)](#)