

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

**Rischio di Caduta dall'alto – Analisi e Progetto delle misure di
prevenzione e dispositivi di protezione in copertura**



**Politecnico
di Torino**

Relatori:

Prof. Alberto Lauria

Prof. Enzo Rondoletti

Candidato:

Luca Paturzo

Marzo 2022

RINGRAZIAMENTI

Vorrei dedicare un pensiero a tutte le persone vicine in questo percorso di studi, la cui fine segna un importante traguardo della vita.

Il ringraziamento più grande va ai miei genitori che hanno sempre supportato le mie scelte e hanno creduto in me. Mi hanno reso la persona che sono trasmettendomi i loro valori e crescendomi con puro amore. Non avrei mai potuto desiderare una madre e un padre migliori.

Ringrazio i miei nonni, poter crescere con la loro vicinanza è stato un dono molto prezioso. I loro consigli mi accompagneranno per tutta la vita. Un ringraziamento speciale va a loro e a tutta la mia famiglia.

Vorrei ringraziare la mia fidanzata Noemi, che in questi ultimi anni di studio ha sempre ascoltato tutti i miei pensieri e sostenuto con il suo amore.

Ringrazio i miei amici con cui sono cresciuto e arrivato fino a questo traguardo, condividendo anni di studio, di amicizia e di spensieratezza.

Un sincero ringraziamento va al relatore Prof. Alberto Lauria e al co-relatore Prof. Enzo Rondoletti, per la disponibilità dimostrata in questi mesi di stesura dell'elaborato di tesi.

Infine, vorrei dedicare questo ambito traguardo a me stesso, che sia l'inizio di una carriera professionale di grandi soddisfazioni.

Luca Paturzo

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
1 EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO	3
1.1 Cenni storici legislativi in ambito di Sicurezza Sul Lavoro	4
1.2 Sviluppo della cultura della sicurezza dalla normativa anni '50 al d.lgs. 81/08 .	8
1.3 Analisi statistica dei dati infortunistici in relazione allo sviluppo normativo ...	11
1.3.1 Analisi statistica di eventi infortunistici nel settore edile.....	16
1.3.2 Analisi della situazione attuale, anno 2021	20
2 RISCHIO CADUTA DALL'ALTO - SICUREZZA IN CANTIERE	25
2.1 Analisi statistica delle morti causate da caduta dall'alto.....	25
2.2 Titolo IV: principi cardine della sicurezza in cantiere	32
2.2.1 Identificazione dei soggetti coinvolti in cantiere	33
2.2.2 Il ruolo principale della sicurezza in cantiere: i coordinatori	35
2.2.3 Il PSC: strumento operativo per la sicurezza in cantiere.....	37
2.2.4 Principi di progettazione dell'area di cantiere.....	38
2.2.5 Principi di individuazione e valutazione dei rischi	40
3 ANALISI TECNICA E TEORICA DEL RISCHIO DI CADUTA DALL'ALTO... 45	
3.1 Definizione del rischio di caduta dall'alto e criteri principali di valutazione del rischio.....	45
3.1.1 Principi di valutazione del rischio di caduta dall'alto	47
3.1.2 Proprietà geometriche e strutturali delle coperture	50
3.1.3 Tipologie di accesso in copertura.....	52
3.2 Metodologie di riduzione del rischio di caduta dall'alto: DPC e DPI.....	63
3.2.1 Analisi di ponteggi	65
3.2.2 Analisi parapetti e brevi cenni su ulteriori DPC	69

3.3	Dispositivi di protezione individuale contro la caduta dall'alto: sistemi di ancoraggio, requisiti progettuali.....	77
3.3.1	Focus sui sistemi di arresto caduta.....	90
4	CASO STUDIO	93
4.1	Introduzione del caso studio.....	93
4.2	Descrizione dell'intervento	94
4.3	Caratterizzazione geometrica e strutturale della copertura	98
4.4	Descrizione dello stato di progetto della copertura.....	101
4.5	Individuazione delle fasi di cantiere.....	105
4.6	Analisi e valutazione dei rischi delle varie fasi identificate	110
4.7	Ponteggio Metallico a tubi e giunti	119
4.8	Progetto e verifica del sistema di ancoraggio in copertura	121
4.8.1	Identificazione dei percorsi per l'accesso in copertura	122
4.8.2	Criteri progettuali del sistema di ancoraggio dei dispositivi di protezione individuali	125
4.8.3	Relazione di calcolo del sistema di ancoraggio permanente	133
4.9	Stima dei costi relativi al sistema di ancoraggio permanente	149
5	CONCLUSIONI.....	151
	ALLEGATI.....	155
	BIBLIOGRAFIA	157
	SITOGRAFIA.....	161

INDICE FIGURE

Figura 1-1-Transizione di approccio della sicurezza	8
Figura 1-2- Istogramma Infortuni annuali.....	14
Figura 1-3-Istogramma eventi mortali annuali.....	14
Figura 1-4-Percentuali di occupazione relativa a fasce di età nel 2008- Fonte: [4]	17
Figura 1-5-Percentuali di occupazione relativa a fasce di età nel 2017- Fonte: [4]	18
Figura 1-6- Analisi Territoriale -Fonte: Bollettino I trimestre Inail.....	21
Figura 1-7- Morti con riferimento al genere- Fonte: Bollettino I trimestre Inail	22
Figura 2-1- Infortuni mortali-fonte [9].....	26
Figura 2-2-Grafico caduta per sfondamento copertura	28
Figura 2-3- Grafico caduta da scale portatili.....	29
Figura 2-4-Grafico caduta da ponteggio	30
Figura 2-5-Grafico caduta all'interno di un varco	31
Figura 2-6-Grafico Caduta da mezzi di sollevamento	31
Figura 2-7-Ruoli nel processo edilizio	36
Figura 2-8-Spettro del rischio- Fonte: [11]	42
Figura 2-9-Curve Isorischio-Fonte: [11]	44
Figura 3-1- Flow chart per valutazione del rischio- Fonte: [12]	48
Figura 3-2- Tab 3.1.II [13]	51
Figura 3-3-Installazione Gabbia di protezione per altezza inferiore ai 10 m- Fonte: [15]	56
Figura 3-4--Schematizzazione di scala retrattile- Fonte:scaleretrabili.it.....	57
Figura 3-5- Schematizzazione accesso in copertura dall'interno del fabbricato- Fonte: [12]	63
Figura 3-6-Schematizzazione Parapetto Provvisorio- Fonte: [12].....	70
Figura 3-7-Criteri di scelta di parapetti provvisori- Fonte: [17]	73
Figura 3-8-Schematizzazione Sistema di ancoraggio- Fonte: [19]	78
Figura 3-9-Dispositivo di ancoraggio di tipo A- Fonte: [19].....	79
Figura 3-10-Dispositivo di ancoraggio di tipo C—Fonte: [19].....	80
Figura 3-11-Tirante d'aria per ancoraggio puntuale:Fonte- [12].....	84
Figura 3-12-Tirante d'aria per ancoraggio lineare: Fonte [12].....	85
Figura 3-13- Effetto pendolo, campana a 60°-elaborata dall'autore.....	86
Figura 3-14-Range di lavoro sicuro	87
Figura 3-15-Soluzioni progettuali per prevenire effetto pendolo- Fonte- [15]	88
Figura 3-16-Sistema arresto caduta su ancoraggio puntuale- Fonte: [12].....	90

Figura 4-1-Schematizzazione altezze edificio.....	96
Figura 4-2- Planimetria piano tipo dell'edificio in esame	97
Figura 4-3-Vista copertura in pianta	98
Figura 4-4-Sezione copertura in c.a.	99
Figura 4-5- Dettaglio del pannello FV monocristallino	101
Figura 4-6- Area di intervento per installazione impianto FV	102
Figura 4-7- Dimensioni impianto FV-Elaborata dall'autore.....	102
Figura 4-8-Sezione di progetto copertura.....	103
Figura 4-9-Porzione di demolizione per accesso in copertura	104
Figura 4-10-Listellatura per posa nuovo manto- Fonte: https://soluzioni-edili.it/tetto-isolato-e-ventilato/	107
Figura 4-11- Esempio di impianto FV disposto su lamiera- Fonte: https://www.infobuildenergia.it/	108
Figura 4-12- Vista in pianta del ponteggio.....	119
Figura 4-13- Sezione Tipo Ponteggio	120
Figura 4-14-Dimensioni accesso.....	124
Figura 4-15-Identificazione zone ad alto rischio caduta	125
Figura 4-16-Particolare del prospetto sud	126
Figura 4-17-Configurazione di lavoro in trattenuta applicata a tutti i bordi della copertura	127
Figura 4-18-Dettaglio dell'accesso in copertura con quotatura.....	128
Figura 4-19-Schema in pianta ancoraggio lineare.....	130
Figura 4-20- Schematizzazione sistema lineare-Vista Frontale-Fonte: [27].....	130
Figura 4-21- Disposizione sistema di ancoraggio	132
Figura 4-22- Schema Multi campata.....	135
Figura 4-23- Schema Singola Campata.....	135
Figura 4-24-Schematizzazione deflessione e deviazione angolare	136
Figura 4-25-Scomposizione carico nominale di progetto	137
Figura 4-26- Piastra di base tipo C.....	138
Figura 4-27-Meccanismi di rottura unione bullonata a taglio-Fonte [31].....	140
Figura 4-28-Verifiche Unioni Bullonate-Fonte: [31].....	141
Figura 4-29- Ancoraggio puntuale tipo A - Fonte: [27].....	146
Figura 4-30- Piastra ancoraggio di tipo A.....	147

INDICE TABELLE

Tabella 1-1- Struttura Gerarchica del Sistema Giuridico	3
Tabella 1-2-Dati Infortunistici 1951-2020- fonte:opendata INAIL	13
Tabella 1-3- Dati statistici del settore edile.....	16
Tabella 2-1-Caduta per sfondamento di copertura.....	28
Tabella 2-2- Caduta da scale portatili	29
Tabella 2-3- Caduta da ponteggio.....	30
Tabella 2-4-Caduta all'interno di un varco.....	31
Tabella 2-5-Caduta da mezzi di sollevamento	31
Tabella 3-1- Proprietà scala a pioli con gabbia di protezione	59
Tabella 3-2- Costi scala a pioli con gabbia di protezione- Fonte: [16].....	60
Tabella 3-3-- Proprietà scala retrattile.....	61
Tabella 3-4-Costi scala retrattile- Fonte:Catalogo STS EDINET	61
Tabella 3-5- Proprietà scala portatile	61
Tabella 3-6- Descrizione del flusso operativo del CSP.....	64
Tabella 3-7- Caratteristiche meccaniche acciaio s235JR.....	66
Tabella 3-8- Classi di carico- valori desunti da normativa	69
Tabella 3-9- Costi Parapetti Provvisori- Fonte:	74
Tabella 3-10- calcolo costo installazione rete di sicurezza tipo S di sup 40mq- Valori desunti da Prezzario Regionale 2020-Regione Piemonte	76
Tabella 3-11-Ordine Gerarchico delle condizioni di caduta	82
Tabella 4-1 - Valori Numerici Probabilità P-elaborata dall'autore.....	110
Tabella 4-2- Valori Numerici Magnitudo danno D-elaborata dall'autore	111
Tabella 4-3- Valori di R determinabili- elaborata dall'autore	111
Tabella 4-4-Classificazione dei livelli di criticità-elaborata dall'autore.....	112
Tabella 4-5- Valutazione dei rischi residui- Fase di Montaggio Ponteggio.....	113
Tabella 4-6-Valutazione dei rischi residui- Fase di rimozione del manto di copertura esistente e di demolizione di porzione di copertura per la realizzazione di un accesso permanente dall'interno dell'edificio.....	115
Tabella 4-7-Valutazione dei rischi residui- Fase Installazione sistema di ancoraggio permanente.....	116
Tabella 4-8-Valutazione dei rischi residui- Fase di posa del manto di coperture e fase di posa della lamiera grecata -Elaborata dall'autore.....	117

Tabella 4-9-Valutazione dei rischi residui- Fase di installazione dell'impianto FV-Elaborata dall'autore.....	118
Tabella 4-10-Confronto caratteristiche copertura e disposizioni normative	123
Tabella 4-11- Verifica dimensionale accesso.....	124
Tabella 4-12-Caratteristiche unione bullonata e piastra tipo C	139
Tabella 4-13-Analisi dei costi dispositivo di ancoraggio permanente	150

INTRODUZIONE

La tematica principale di questo elaborato di tesi magistrale consiste nell'analisi del rischio di caduta dall'alto effettuata su molteplici livelli: analisi statistica, analisi economica e analisi progettuale. Il numero elevato di eventi mortali riscontrabile nei luoghi di lavoro costituisce una delle principali problematiche della società odierna; il settore dell'edilizia risulta tra i settori produttivi con il maggior numero di vittime e il rischio di caduta dall'alto assume un ruolo preponderante tra le molteplici cause di eventi infortunistici. La scelta dell'analisi di questa tematica risiede nella volontà di sviluppo di competenze specifiche correlate alla progettazione della sicurezza secondo i moderni principi di prevenzione; la figura dell'ingegnere civile assume, infatti, un ruolo di primaria importanza nella gestione della sicurezza in cantiere, sia attraverso il ruolo di coordinatore della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione, sia nel ruolo di progettista. A tal punto, si evidenzia come lo sviluppo di un'edilizia economicamente e socialmente sostenibile diventi uno dei principali obiettivi nel prossimo futuro; di fatto, non è pensabile raggiungere tale traguardo con un numero elevato di morti in cantiere. Il progresso dell'ingegneria civile e edile è strettamente correlato allo sviluppo della cultura di prevenzione.

Il primo capitolo dell'elaborato contiene un excursus normativo, in cui si espone la sintetica evoluzione storica e concettuale della sicurezza in termini legislativi. Tale sintesi viene corredata da un'analisi statistica condotta su diversi livelli; si propone uno studio attraverso i dati ricavabili dagli Open Data di INAIL del numero di eventi mortali negli anni di sviluppo normativo al fine di rilevare le modalità in cui l'evoluzione dei concetti cardine della sicurezza incidano concretamente nella riduzione dell'effettivo numero di vittime. In secondo luogo, si esegue uno studio focalizzato al settore dell'edilizia per ipotizzare quali siano le cause che conducono a un numero molto elevato di morti in tale settore.

Il secondo capitolo fornisce una prima panoramica generale sul nucleo concettuale del presente elaborato di tesi; infatti, si definisce il rischio di caduta dall'alto attraverso una serie di valutazioni statistiche che inquadrano la preponderante incidenza di questa tipologia di rischio relativamente alla situazione infortunistica nel sistema cantiere. Successivamente, attraverso lo studio del Titolo IV del D.lgs. n. 81/08, si descrivono i principali aspetti teorici della sicurezza in cantiere.

Il terzo capitolo consiste in una analisi dettagliata del rischio di caduta dall'alto, in cui si descrivono i principali contenuti delle normative specifiche regionali e si dettaglia tecnicamente quali siano le misure di prevenzione e di protezione per ridurre l'entità del rischio, con particolare riferimento alle tipologie di sistema di ancoraggio permanente da disporre in copertura.

Il quarto capitolo contiene lo svolgimento di un ipotetico caso reale di progettazione ideato dall'autore, in questa fase si persegue il principale obiettivo progettuale del presente elaborato. Si descrivono, attraverso una precisa valutazione del rischio, le diverse fasi costruttive di una manutenzione straordinaria in copertura di un edificio esistente di civile abitazione con relativa installazione di impianto fotovoltaico; in particolare, si studia la disposizione di un sistema di ancoraggio permanente per garantire le condizioni di sicurezza necessarie agli operatori in quota durante le fasi costruttive e successivi interventi di manutenzione ordinaria. I risultati ottenuti vengono elaborati, interamente dall'autore, a livello grafico attraverso il software Autodesk-Autocad®2021 e a livello analitico mediante fogli di calcolo Microsoft Excel.

1 EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO

La continua evoluzione del settore edilizio e industriale deve necessariamente contemplare un parallelo sviluppo dei metodi di prevenzione e di protezione necessari a salvaguardare la salute e la sicurezza di tutti i soggetti coinvolti in un determinato luogo di lavoro.

Le fondamenta del quadro normativo odierno in ambito di sicurezza sul lavoro risalgono alla prima metà del '900, ovvero negli anni successivi alla Seconda Rivoluzione Industriale. In questo primo capitolo di tesi magistrale, si vuole analizzare sinteticamente l'avanzamento storico del quadro normativo italiano con particolare interesse alla evoluzione dei concetti cardine su cui si fondano le attuali disposizioni legislative relative alla sicurezza sul lavoro, contenute nel d. lgs. 81/08.

La suddivisione delle fonti del diritto proprie del sistema giuridico italiano si costituisce di tre fondamentali livelli: fonti costituzionali, fonti legislative e fonti regolamentari; la gerarchia relativa a tale suddivisione viene rappresentata schematicamente in tabella 1.1.

GERARCHIA DEL SISTEMA GIURIDICO ITALIANO
1° LIVELLO- FONTI COSTITUZIONALI
COSTITUZIONE
2° LIVELLO- FONTI LEGISLATIVE
FONTI SUPERPRIMARIE
FONTI PRIMARIE
FONTI SUBPRIMARIE
3° LIVELLO- FONTI REGOLAMENTARI
FONTI SECONDARIE

Tabella 1-1- Struttura Gerarchica del Sistema Giuridico

Il vertice gerarchico è rappresentato dalla Costituzione, a cui si attribuisce il massimo livello di validità giuridica; successivamente, si trovano le fonti super-primarie, le quali derivano dalle norme comunitarie, rappresentate dai Regolamenti e Direttive emanati dalla Unione Europea.

Le fonti primarie, invece, sono costituite da:

- Leggi, emanate dal Parlamento;
- Decreti-legge, emanati dal Governo.
- Decreti legislativi, emanati dal Governo in base ad una legge delega.
- Sentenze Costituzionali.

A completare il secondo livello giuridico, si collocano le fonti sub-primarie costituite da Leggi Regionali, mentre il terzo livello giuridico è rappresentato dalle fonti regolamentari o secondarie, le quali possono essere applicate in ambiti specifici.

Un ulteriore aspetto fondamentale proprio del sistema giuridico italiano è costituito dalla derogabilità, ovvero si consente la mancata applicazione di alcune norme di tipo civile senza alcuna conseguenza penale. In ambito di sicurezza sul lavoro, la normativa vigente costituita dal d. lgs 81/08 dispone una serie di obblighi per i soggetti coinvolti, tra cui dirigenti, preposti, lavoratori e altre figure professionali, il cui mancato adempimento viene esplicitamente accompagnato da conseguenze di tipo penale; quindi, il Testo Unico della Sicurezza si definisce come Norma Cogente, in cui non si ammette la derogabilità.

1.1 Cenni storici legislativi in ambito di Sicurezza Sul Lavoro

La sicurezza nei luoghi di lavoro viene regolamentata attualmente dal “Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro” emanato attraverso il D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81; il quadro normativo vigente deriva da una evoluzione storica, il cui inizio si colloca nella seconda metà del XIX secolo. I primi strumenti legislativi in ambito di sicurezza sul lavoro consistono nella legge n. 80 del 17 marzo 1898 e nel R.D. del 18 giugno 1899, in cui si descrivono diverse disposizioni e procedure per la garanzia della prevenzione in ambito infortunistico; si noti, quindi, come il moderno concetto di “prevenzione” sia ben radicato nella cultura legislativa italiana. Nel 1904 venne approvato il primo Testo Unico “51/1904”, il quale costituisce essenzialmente un raggruppamento delle norme riguardo prevenzione e assicurazione contro gli infortuni; tale decreto, inoltre, stabiliva le modalità di assicurazione contro gli infortuni e le indennità per le inabilità temporanee e permanenti, per lesioni subite o per la morte del lavoratore. Nel 1933 la “Cassa Nazionale

Infortuni” assume la denominazione di INAIL¹ il cui compito risultava la gestione esclusiva le assicurazioni nel settore dell’industria. [1]

Il Codice penale, emanato nel 1930, sancisce alcuni principi fondamentali relativi al sanzionamento nei confronti del datore di lavoro, responsabile dell’inadempimento degli obblighi in materia di salute e sicurezza; in particolare, risulta interessante evidenziare come nell’art. 589, in cui si espone la definizione di omicidio, vi sia un incremento di reclusione per il responsabile della morte di una persona, nel caso in cui tale evento mortale sia avvenuto in corrispondenza alla violazione delle norme di prevenzione sul lavoro; tale aspetto sanzionatorio viene ripreso nell’art. 590 relativo alle lesioni colpose. Ulteriori principi della sicurezza nei luoghi di lavoro, attualmente contenuti nella normativa vigente, furono introdotti nel R.D. 1765 del 1935, in cui si dettagliano le modalità del rapporto assicurativo per tutti i lavoratori, e nel 1942 con la pubblicazione del Codice civile, in cui nell’art. 2087 si impone come obbligo al datore di lavoro l’adozione di misure che tutelino l’integrità fisica e morale dei lavoratori.

La Costituzione Italiana (1948) assume fondamentale rilevanza in ambito di tutela dei lavoratori, si definiscono alcuni principi determinanti e invalicabili, di profonda attualità. In particolare, si fa riferimento ai seguenti articoli:

- Art. 27, in cui si definisce come la responsabilità penale sia personale;
- Art. 32, si definisce la salute come diritto dell’individuo, la cui tutela viene garantita dalla Repubblica nell’interesse della collettività
- Art. 35, il lavoro viene tutelato dalla Repubblica Italiana, con contestuale cura della formazione e della elevazione professionale dei lavoratori.
- Art. 37, si definisce a livello giuridico e retributivo l’uguaglianza della donna lavoratrice, con particolare riguardo alle funzioni familiari dei lavoratori.
- Art. 41. si definisce l’iniziativa economica e imprenditoriale come privata e libera; tuttavia, non si ammette contrasto tra l’iniziativa economica e l’utilità sociale in termini di sicurezza, libertà e dignità umana. [2]

Nel secondo dopoguerra, a causa della esponenziale crescita dell’edilizia e del settore industriale avvenuta durante la forte e repentina espansione economica italiana, insorgeva la

¹ INAIL- Istituto Nazionale per l’Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro

necessità di regolamentare in modo dettagliato le misure di prevenzione e di protezione negli ambienti di lavoro, con particolare interesse alla protezione dei lavoratori dall'impiego di macchine e attrezzature di nuova introduzione. In questo senso, il quadro normativo negli anni '50 si sviluppa attraverso i seguenti DPR:

- D.P.R. 547/55: *“Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro”*.
- D.P.R. 303/56: *“Norme generali per l'igiene sul lavoro.”*
- D.P.R. 164/56: *“Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni.”*

L'emanazione di tali decreti comportava un radicale cambiamento nella interpretazione della cultura della sicurezza, attraverso una assunzione di carattere oggettivo. A tal punto, lo scopo principale del quadro normativo dell'epoca consisteva nella realizzazione di una protezione obiettiva del lavoratore con misure di sicurezza prescrittive. L'importanza dello sviluppo normativo citato è riscontrabile da alcune profonde similitudini contenute nella normativa vigente; infatti, il Titolo IV contenuto nel d. lgs. 81/08 ripropone alcune misure contenute nelle norme del 1955. Nonostante una parziale uguaglianza in termini di disposizioni legislative tra la normativa degli anni '50 e quella attuale, esistono fondamentali differenze; tra queste, si evidenzia come in passato i soggetti garanti della sicurezza sul lavoro comprendevano esclusivamente il datore di lavoro e l'organo di controllo pubblico, mentre a partire dalla norma 626/94 si definiscono ulteriori figure professionali in grado di progettare e verificare le condizioni di sicurezza degli operatori nel settore industriale ed edilizio.

In ambito europeo, il primo evento relativo alla instaurazione di un quadro normativo comunitario coincide con il 25 marzo 1957, data in cui viene stipulato il Trattato di Roma dalla Comunità Europea. L'obiettivo principale del legislatore comunitario consisteva nel garantire un sostanziale incremento del livello di sicurezza e salute dei lavoratori contestualmente al forte interesse di riduzione del costo causato da eventi infortunistici. La direttiva di riferimento principale risulta la n. 89/391/CEE emanata il 12 giugno 1989. [3]

In Italia, il nuovo sistema di prevenzione e tutela della sicurezza pone le sue fondamenta sulle direttive europee sopra citate; negli anni '90, vennero emanati diversi decreti legislativi di attuazione alle norme europee, tra cui si evidenzia:

- D. lgs. 626/94;
- D. lgs. 494/96;
- D. lgs. 758/94.

Tra i decreti sopra citati, il d. lgs. 626/94 e in ambito edilizio il d. lgs. 494/96 rivestono sicuramente un ruolo di primaria importanza e costituiscono il vero inizio della attuale crescita della legislazione in tutela della salute e della sicurezza. La normativa risalente agli anni '90 introduceva importanti novità relative a specifiche misure di sicurezza comprendenti anche luoghi non particolari di lavoro, confermando come le condizioni di sicurezza costituiscano un aspetto primario e imprescindibile in tutti i settori lavorativi. Il preponderante carattere sanzionatorio della tradizionale normativa italiana assume un ruolo di importanza secondaria, attuando un modello di sicurezza i cui principi cardini consistono nella prevenzione e programmazione dettagliata delle diverse attività e includendo una partecipazione attiva dei lavoratori nei processi decisionali. Si introducono alcune figure professionali, come il “medico competente” e il “responsabile dei lavoratori per la sicurezza”, i cui compiti consistono nella gestione della sicurezza insieme al datore di lavoro; tali figure professionali, affiancate dal CSP e dal CSE, assumono attualmente un ruolo di primaria importanza.

La normativa vigente è costituita dal Testo Unico della Sicurezza, d.lgs. 81/08, emanato grazie ad una attività coordinata tra i ministeri del Lavoro, Salute e Previdenza sociale e il coinvolgimento delle parti sociali. Il campo di applicazione del nuovo T.U. riguarda tutti i lavoratori inseriti in qualsivoglia ambiente di lavoro, compresi i lavoratori autonomi. Si rafforzano le prerogative delle rappresentanze aziendali e dei sistemi di consulenza e prevenzione; vengono rivisitate le varie attività di informazione, formazione e vigilanza. Il d.lgs. 81/08 si propone, quindi, come una razionalizzazione di tutte le disposizioni legislative emanate durante la seconda metà del secolo scorso, le quali causavano una non trascurabile quota di incertezza riguardante l'applicazione puntuale delle misure di sicurezza nei vari luoghi di lavoro. [3]

1.2 Sviluppo della cultura della sicurezza dalla normativa anni '50 al d.lgs. 81/08

L'evoluzione storica della normativa coincide con una netta variazione concettuale riguardo i principi fondamentali in materia di sicurezza sul lavoro; nonostante vi siano molte similitudini tra il primo corpus normativo risalente agli anni '50 del secolo scorso e il quadro normativo vigente, si evidenziano le nette differenze di interpretazione degli approcci ai metodi di prevenzione e protezione nei luoghi di lavoro. Il passaggio concettuale proprio dell'evoluzione della normativa si identifica con l'introduzione del d.lgs. 626/94 attraverso la specifica transizione da un approccio di tipo "Command e Control" a un approccio "Organizzativo e Gestionale", come descritto nello schema in figura 1.1.

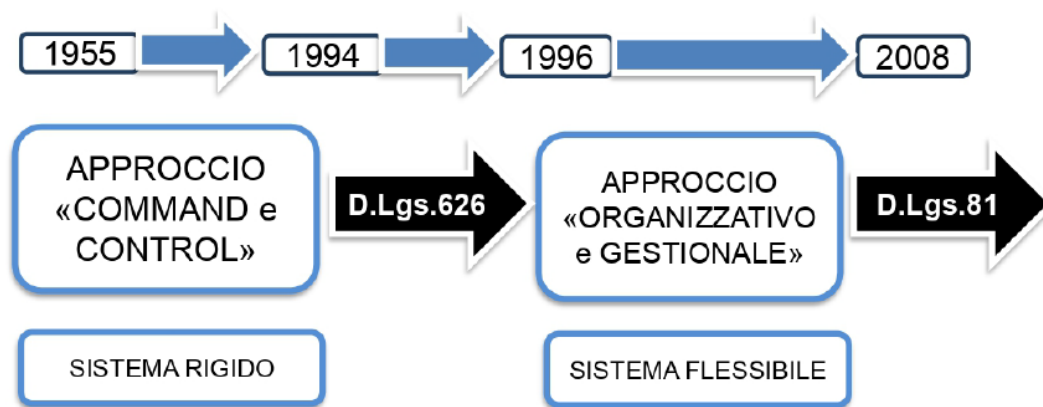


Figura 1-1-Transizione di approccio della sicurezza

L'approccio definito come "Command e Control" rappresenta un sistema normativo molto rigido di tipo prescrittivo e settoriale con un orientamento prevalente al carattere sanzionatorio rispetto alla prevenzione; inoltre, l'eccessiva frammentazione legislativa non consentiva una unificazione concettuale di linee guida per i datori di lavoro. In questo senso, il rigido approccio descritto si è rivelato negli anni un sistema poco efficace rispetto alla salvaguardia dei lavoratori non si costituivano, infatti, strategie di prevenzione nei luoghi di lavoro, bensì stretti vincoli legislativi intesi dai datori come fattori fortemente restrittivi della produzione.

Il secondo approccio presentato come "Organizzativo e Gestionale" si definisce come un sistema di tipo flessibile, il cui orientamento si concentra nella gestione e nella prevenzione della sicurezza; insorge la consapevolezza della necessità di una serie di figure professionali da

responsabilizzare nei diversi luoghi di lavoro, la molteplicità di soggetti risulta, quindi, fondamentale nella moderna concezione di sicurezza.

Il nuovo sistema non presenta particolari vincoli fissi, ma si propone come un sistema dinamico, il quale semplifica le trasformazioni organizzative e le politiche aziendali di ampie vedute in merito alla sicurezza nei luoghi di lavoro.

Il confronto normativo tra le norme anni '50 e il d. lgs. 626/94 viene esplicitato considerando la maggiore autonomia del datore di lavoro, che valuta i rischi presenti nelle diverse attività e individua i più adatti sistemi preventivi in relazione alla propria struttura aziendale, una maggiore collaborazione tra il datore di lavoro, i dirigenti, i lavoratori e il medico competente. Un ulteriore punto di forza del blocco normativo degli anni '90 è costituito dalla oggettiva necessità dell'informazione, formazione e addestramento di tutti i soggetti presenti nella realtà aziendale. Contestualmente allo sviluppo della cultura della sicurezza nella evoluzione della normativa, si attesta una variazione nella concezione dei rischi presenti in ambito lavorativo; la normativa tradizionale si focalizzava fortemente sulla specificità del rischio con carattere prevalentemente puntuale. Il d.lgs. 626/94 si analizza in modo complessivo e globale l'intero sistema dei rischi correlati alle diverse attività lavorative.

La procedura di analisi globale nella nuova concezione normativa si articola nei seguenti punti:

1. Individuazione dei rischi;
2. Valutazione dei rischi;
3. Riduzione dei rischi;
4. Misure Preventive;
5. Informazione e Formazione obbligatoria dei lavoratori;
6. Controlli Sanitari e Ambientali;
7. Sanzioni Penali.

A partire dal d.lgs. 626/94, si indicano obblighi specifici per i soggetti di riferimento nella realtà produttiva; le figure professionali introdotte assumono un ruolo preponderante nel garantire un adeguato livello di sicurezza nell'intero ambiente lavorativo. In particolare, si intuisce come il datore di lavoro, affiancato da preposti, medico competente, responsabile della sicurezza e ulteriori figure tecniche, si attiva obbligatoriamente nell'analisi del rischio costituita da individuazione e valutazione dei rischi stessi con conseguente studio e applicazione di misure preventive di sicurezza. L'informazione e la formazione dei lavoratori diventano intrinsecamente attività di prevenzione ed esplicitamente definite come obbligo del datore di lavoro.

Il d.lgs. 81/08 costituisce il globale riferimento in ambito di sicurezza in tutti i settori produttivi, tale strumento legislativo nasce con l'intento di unificare in un unico decreto le varie disposizioni in materia di sicurezza sul lavoro. Il Testo Unico, inoltre, rappresenta una nuova progressione nello sviluppo della cultura della sicurezza rispetto alla normativa italiana degli anni '90.

I sostanziali punti di innovazione del d.lgs. 81/08 possono elencarsi sinteticamente nei seguenti punti:

- Aggiorna le definizioni, introducendone alcune nuove e aggiornando i contenuti di altre;
- Amplia il campo di applicazione sia oggettivo, sia soggettivo;
- Ridefinisce il sistema istituzionale ed introduce l'interpello;
- Amplia le misure generali di tutela;
- Inserisce il principio della delega di funzioni di rilevanza penale;
- Aggiorna le prescrizioni in tema di sorveglianza sanitaria e ruolo MC;
- Amplia gli obblighi del datore di lavoro, lavoratori, dirigenti e figure esterne;
- Introduce il RLS di sito oltre agli RLS aziendali e territoriali;
- Amplia i diritti dei RLS.

1.3 Analisi statistica dei dati infortunistici in relazione allo sviluppo normativo

Il parallelismo tra l'evoluzione della normativa e l'andamento storico ed attuale dei dati di infortuni diventa oggetto di uno studio di ampia veduta, il cui obiettivo consiste nella analisi e comprensione delle motivazioni per cui, nonostante sia possibile constatare un miglioramento progressivo e concettuale della nuova normativa, sono presenti ad oggi ancora più di 600'000 infortuni all'anno, con una media giornaliera pari a 1644 infortuni al giorno.

La finalità dello studio eseguito è rappresentata dalla individuazione di una serie di cause ipotetiche tali per cui all'interno dell'arco temporale in cui si colloca un significativo sviluppo normativo non corrisponde necessariamente una diminuzione dell'incidenza infortunistica, bensì si nota un aumento in termini di mortalità nei luoghi di lavoro. Tale tendenza può definirsi come un vero e proprio problema sociale; inoltre, specialmente nel settore dell'edilizia, risulta impensabile assistere a un sostanziale sviluppo delle tecnologie costruttive senza garantire la salvaguardia di tutti gli operatori coinvolti.

Dalle statistiche disponibili nella “Banca dati” del portale INAIL², si effettua una analisi storica per individuare le tendenze di infortuni e di mortalità in un intervallo temporale costituito dal 1951 fino al 2020.

Più precisamente, vengono raccolti i dati infortunistici di tutti i settori produttivi negli anni di riferimento in tabella 1.2.

Anno	DENUNCE		Media Giorno	
	n. casi	di cui mortali		
1951	728'788	3'511	1'996.68	9.62
1952	853'134	3'871	2'337.35	10.61
1953	937'698	3'763	2'569.04	10.31
1954	1'036'124	3'840	2'838.70	10.52
1955	1'104'455	3'950	3'025.90	10.82
1956	1'150'354	3'900	3'151.65	10.68
1957	1'196'360	3'948	3'277.70	10.82
1958	1'205'342	3'980	3'302.31	10.90
1959	1'269'509	3'883	3'478.11	10.64
1960	1'366'672	3'978	3'744.31	10.90
1961	1'486'070	4'418	4'071.42	12.10
1962	1'484'361	4'349	4'066.74	11.92
1963	1'577'352	4'644	4'321.51	12.72
1964	1'504'721	4'254	4'122.52	11.65
1965	1'321'166	3'823	3'619.63	10.47
1966	1'382'294	3'744	3'787.11	10.26
1967	1'496'492	3'935	4'099.98	10.78
1968	1'519'164	3'829	4'162.09	10.49
1969	1'565'788	3'863	4'289.83	10.58
1970	1'601'061	3'675	4'386.47	10.07
1971	1'562'879	3'594	4'281.86	9.85
1972	1'522'683	3'462	4'171.73	9.48
1973	1'547'355	3'774	4'239.33	10.34
1974	1'433'358	3'057	3'927.01	8.38
1975	1'308'213	2'845	3'584.15	7.79
1976	1'283'667	2'793	3'516.90	7.65
1977	1'256'158	2'678	3'441.53	7.34
1978	1'186'684	2'524	3'251.19	6.92
1979	1'180'912	2'467	3'235.38	6.76
1980	1'167'903	2'565	3'199.73	7.03
1981	1'082'405	1'919	2'965.49	5.26
1982	1'003'241	1'666	2'748.61	4.56

² <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/dati-e-statistiche/statistiche-storiche/casi-denunciati.html>, data consultazione: ottobre 2021

1983	976'774	1'768	2'676.09	4.84
1984	975'645	1'880	2'673.00	5.15
1985	993'929	1'908	2'723.09	5.23
1986	997'217	2'083	2'732.10	5.71
1987	1'038'742	2'207	2'845.87	6.05
1988	1'089'430	2'416	2'984.74	6.62
1989	1'114'035	2'559	3'052.15	7.01
1990	1'176'491	2'417	3'223.26	6.62
1991	1'177'004	1'941	3'224.67	5.32
1992	1'146'244	1'807	3'140.39	4.95
1993	1'011'951	1'469	2'772.47	4.02
1994	1'041'155	1'328	2'852.48	3.64
1995	1'014'733	1'366	2'780.09	3.74
1996	987'084	1'359	2'704.34	3.72
1997	949'425	1'443	2'601.16	3.95
1998	963'263	1'473	2'639.08	4.04
1999	985'735	1'423	2'700.64	3.90
2000	991'843	1'389	2'717.38	3.81
2001	1'001'181	1'528	2'742.96	4.19
2002	968'179	1'454	2'652.55	3.98
2003	951'621	1'433	2'607.18	3.93
2004	938'702	1'312	2'571.79	3.59
2005	911'424	1'265	2'497.05	3.47
2006	899'411	1'329	2'464.14	3.64
2007	883'145	1'193	2'419.58	3.27
2008	843'813	1'104	2'311.82	3.02
2009	757'896	1'032	2'076.43	2.83
2010	743'581	1'464	2'037.21	4.01
2011	694'839	1'361	1'903.67	3.73
2012	628'034	1'336	1'720.64	3.66
2013	577'214	1'217	1'581.41	3.33
2014	551'399	1'159	1'510.68	3.18
2015	531'404	1'270	1'455.90	3.48
2016	641'081	1'178	1'756.39	3.23
2017	646'933	1'171	1'772.42	3.21
2018	645'375	1'279	1'768.15	3.50
2019	644'993	1'205	1'767.10	3.30
2020	571'198	1'538	1'564.93	4.21

Tabella 1-2-Dati Infortunistici 1951-2020- fonte: opendata INAIL

Attraverso la consultazione dei dati sopra riportati, si rappresentano in figura 1.2 e 1.3 gli istogrammi riferito al numero di eventi infortunistici o mortali per ciascun anno di riferimento.

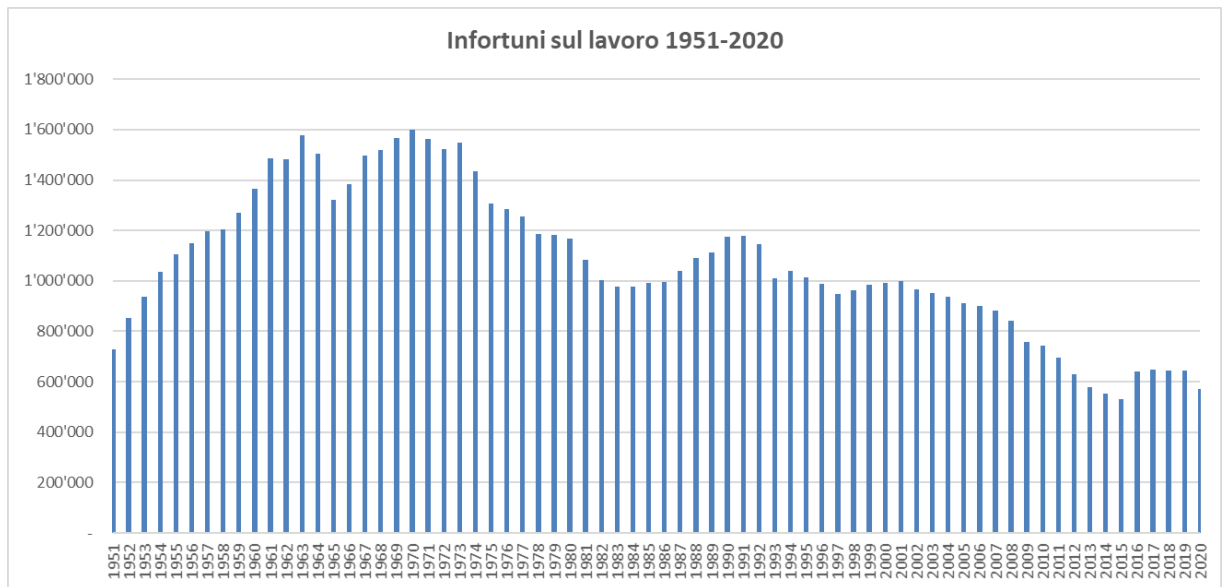


Figura 1-2- Istogramma Infortuni annuali

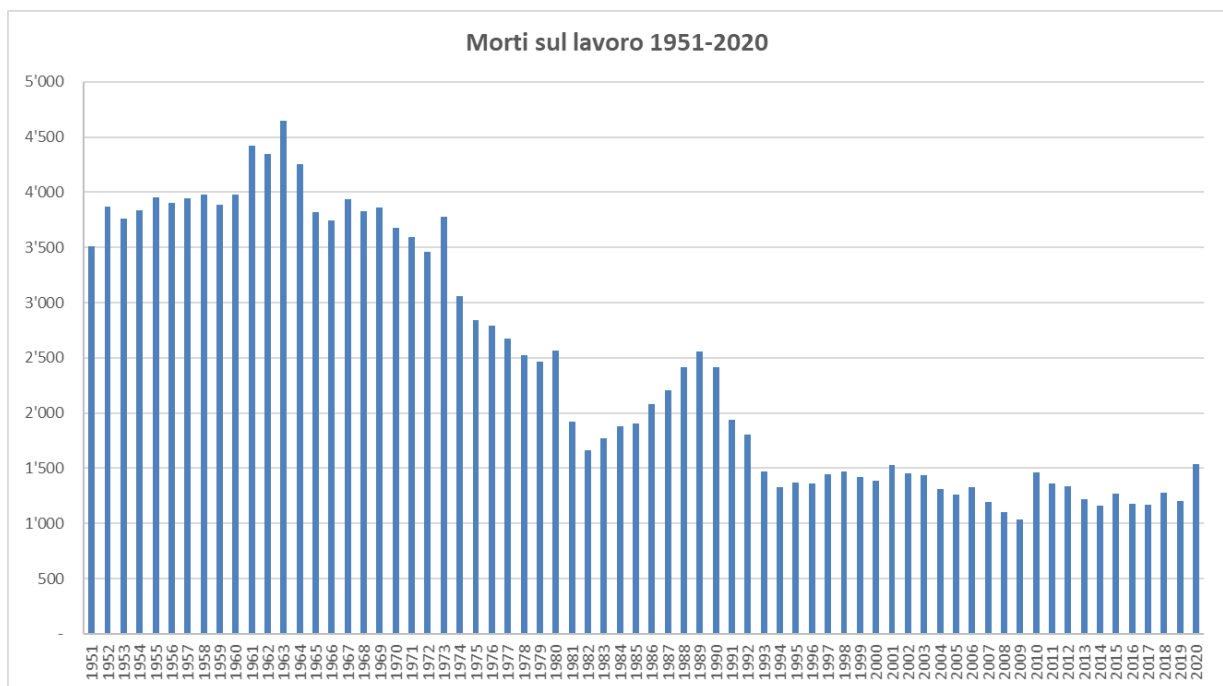


Figura 1-3-Istogramma eventi mortali annuali

Dai grafici riportati, si vuole analizzare l'andamento del numero complessivo degli infortuni e delle morti negli anni successivi alle diverse introduzioni delle normative di riferimento elencate:

- D.P.R. 547/55, D.P.R. 303/56, in ambito edilizio D.P.R. 164/56;
- D.lgs. 626/94 e in ambito edilizio d.lgs. 494/96;
- D. lgs. 81/08, normativa vigente.

In ordine cronologico, si può constatare che negli anni appena successivi al 1956 si manifesta una crescita sostanziale del numero di eventi infortunistici e di morti sul lavoro, tale aspetto può essere giustificato dal carattere esclusivamente sanzionatorio della normativa di quel tempo, senza alcun riguardo alla prevenzione, con l'ulteriore considerazione di un notevole aumento della produzione nel settore industriale e nel settore edile.

Dopo il 1972 segue una tendenza di decrescita in entrambi i parametri analizzati, mentre nel range temporale tra il 1980 e il 1994 si instaura una stabilizzazione del numero di eventi mortali e infortunistici, con alcuni picchi a ridosso degli anni '90.

La componente singolare di questa analisi consiste nell'osservazione di un trend di stabilizzazione successiva alla emanazione della normativa del 1994-1996; infatti con l'introduzione dei concetti di prevenzione esposti nei paragrafi precedenti, l'aspettativa potrebbe implicare la visione di una netta decrescita degli infortuni e delle morti, ma questo non avviene. Di fatto, si può attestare una vera problematica che risiede in una controversia tra il progresso normativo e i dati reali riportati.

A seguito dell'introduzione del Testo Unico del 2008, invece, si osserva una leggera decrescita degli infortuni; tuttavia, il numero delle morti tende leggermente ad aumentare. La criticità più marcata di questa analisi consiste nel quantitativo impressionante di morti e infortuni nei luoghi di lavoro che continua a perdurare nella situazione attuale.

Nel corso degli anni relative alle statistiche degli infortuni riportate, il settore delle costruzioni mantiene una media che oscilla tra il 15% e il 20% degli eventi infortunistici totali, tale media rappresenta quindi un fattore di notevole entità, a tal punto di poter eseguire un'analisi focalizzata riguardante il numero di infortuni proprio del settore edile.

1.3.1 Analisi statistica di eventi infortunistici nel settore edile

Attraverso la consultazione dei dati disponibili nel portale INAIL³, viene stimato il numero di infortuni relativo al settore delle costruzioni in un range temporale molto recente (2016-2020) in modo da ottenere un quadro delineato ed esplicativo della situazione attuale.

La finalità di questa analisi consiste nella specificazione delle fasce di età degli operatori edili vittime di infortunio; infatti, un elemento essenziale dei concetti di prevenzione espressi nel d.lgs. 81/08 risulta l'attività obbligatoria di formazione del lavoratore; dunque, risulterebbe di facile correlazione il numero elevato di morti giovanili con una mancata e adeguata formazione professionale precedente alla assunzione in impresa. Tuttavia, visualizzando i dati di seguito riportati, si noti come la fascia d'età con il numero più elevato di infortuni è quella compresa tra i 50 e 54 anni di età; i lavoratori più esperti, quindi, sono soggetti maggiormente ad infortunio rispetto a quelli più giovani.

Si riporta lo studio eseguito attraverso i dati statistici raccolti in tabella 1.3.

Classe di età	Numero di Infortuni					
	2016	2017	2018	2019	2020	TOTALE
fino a 14 anni	0	0	0	0	0	0
da 15 a 19 anni	336	337	396	457	305	1831
da 20 a 24 anni	1657	1566	1550	1667	1347	7787
da 25 a 29 anni	2548	2235	2063	1917	1424	10187
da 30 a 34 anni	3450	3214	2813	2548	1778	13803
da 35 a 39 anni	4192	3905	3521	3287	2211	17116
da 40 a 44 anni	5076	4694	4328	4062	2839	20999
da 45 a 49 anni	5184	5028	4757	4432	3262	22663
da 50 a 54 anni	4807	4909	4851	4794	3604	22965
da 55 a 59 anni	3667	3806	3785	3810	2910	17978
da 60 a 64 anni	1876	1948	1919	1924	1476	9143
da 65 a 69 anni	477	448	481	455	324	2185
da 70 a 74 anni	157	131	151	124	82	645
75 anni e oltre	58	48	49	46	37	238
TOTALE						147540

Tabella 1-3- Dati statistici del settore edile

³ <https://bancadaticsa.inail.it/bancadaticsa/bancastatistica.asp?cod=2>, data di consultazione: ottobre 2021

Le motivazioni per cui gli infortuni si concentrano principalmente nella classe di età compresa tra i 50 e i 54 anni possono essere molteplici; a livello puramente statistico, il numero di operatori esperti è sicuramente maggiore rispetto a operatori più giovani, attraverso la consultazione del documento riassuntivo del convegno tenuto dall' ANCE in data 18 maggio 2018 e in particolare dai dati desunti dalla CNCE (Commissione nazionale paritetica delle casse edili), si stima che negli anni dal 2008 al 2017 vi siano 200 mila operatori al di sotto dei 35 anni licenziati dalle varie imprese edili, con una diminuzione complessiva del 69% per questa fascia di età. Si osserva, inoltre, un ulteriore calo di occupazione nella fascia di tra i 36 e i 50 anni pari al 40% [4] . In figura 1.4 e 1.5 si illustrano i dati ricavati dalle statistiche ANCE e CNCE relative ai valori percentuali di occupazione per fasce di età.

LAVORATORI PER CLASSI DI ETÀ E AREA GEOGRAFICA NEL 2008				
Anni	Nord	Centro	Mezzogiorno	Italia
Fino a 35	138.593	78.475	81.042	298.110
36-50	121.379	67.191	84.492	273.062
51-60	39.723	22.892	36.928	99.543
Oltre 60	8.058	6.096	8.845	22.999
Totale	307.753	174.654	211.307	693.714
Composizione %				
Fino a 35	45,0	44,9	38,4	43,0
36-50	39,4	38,5	40,0	39,4
51-60	12,9	13,1	17,5	14,3
Oltre 60	2,6	3,5	4,2	3,3
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0
<i>Elaborazione Ance su dati CNCE di 89 casse edili</i>				

Figura 1-4-Percentuali di occupazione relativa a fasce di età nel 2008- Fonte: [4]

**LAVORATORI PER CLASSI DI ETÀ E AREA GEOGRAFICA
NEL 2017**

Anni	Nord	Centro	Mezzogiorno	Italia
Fino a 35	44.611	22.717	26.438	93.766
36-50	79.826	39.844	44.767	164.437
51-60	39.480	21.217	31.425	92.122
Oltre 60	7.691	4.855	8.266	20.812
Totale	171.608	88.633	110.896	371.137

Composizione %

Fino a 35	26,0	25,6	23,8	25,3
36-50	46,5	45,0	40,4	44,3
51-60	23,0	23,9	28,3	24,8
Oltre 60	4,5	5,5	7,5	5,6
Totale	100,0	100,0	100,0	100,0

Elaborazione Ance su dati CNCE di 89 Casse edili

Figura 1-5-Percentuali di occupazione relativa a fasce di età nel 2017- Fonte: [4]

Dai dati riportati si comprende, tuttavia, come la fascia di età maggiormente impiegata sia quella relativa ai 36-50 anni di età con una percentuale totale pari al 44.3%, mentre la fascia di età 51-60 anni conta una percentuale di occupazione del 24.8%, mentre il valore percentuale della fascia sotto i 35 anni risulta pari al 25.3%. Quindi, si può attestare come nonostante le percentuali di occupazione delle fasce di età sotto i 35 anni e quella sopra i 50 anni siano molto simili, gli operatori più anziani sono maggiormente esposti ad incidenti mortali. Un fattore rilevante che si propone come causa di questi dati infortunistici consiste nella perdita di attenzione da parte degli operatori relativamente alle misure di prevenzione e di protezione causata da un'eccessiva confidenza verso le proprie modalità operative, escludendo un vero e proprio aggiornamento educativo del "modus operandi". Di fatto, la ripetitività delle lavorazioni negli anni porta ad una vera e propria perdita della cognizione oggettiva del rischio, le attività di formazione devono continuamente essere presenti nel contesto di impresa, è necessario creare una forte cultura della prevenzione propria per ciascun operatore indipendentemente dal settore produttivo di riferimento; solamente attraverso continui interventi di formazione pratici e teorici è possibile mantenere inalterata la percezione del rischio oggettivo.

L' *"importanza dell'efficacia della formazione alla sicurezza"*⁴ risulta tangibilmente dimostrabile dal momento in cui essa venga intesa come una misura di prevenzione con la funzione essenziale di riduzione del rischio in ambito lavorativo. Ad esempio, nel settore edilizio prima di ciascuna fase di cantiere è necessario attuare attraverso il PSC opportuni incontri per evidenziare i rischi presenti nelle lavorazioni di ciascuna fase e, se ritenuto opportuno, fissare attività formative per gli operatori. Inoltre, risulta interessante evidenziare come ciascun cantiere contenga degli aspetti peculiari che possono innescare rischi interferenti, per cui ogni tipologia di lavorazione deve essere valutata in termini di sicurezza a seconda del luogo, delle macchine utilizzate e dalle altre attività presenti; non è pensabile in un conteso efficiente di impresa considerare i rischi presenti in fase di cantiere esclusivamente attraverso l'esperienza pregressa degli operatori, la quale deve essere integrata continuamente dalla formazione. [5]

Il problema degli elevati infortuni degli operatori edili, tuttavia, risulta molto più complesso per poter proporre come soluzione esclusivamente l'attuazione continua la formazione dei lavoratori del settore; infatti, nel d.lgs. 81/08 risulta già definito come obbligo del datore di lavoro e come obbligo del lavoratore stesso quello di partecipare alla formazione proposta. La complessità di tale problema risiede molto spesso nel garantire un'adeguata e attiva efficienza dei controlli durante le diverse fasi di cantiere.

La figura del CSE *"Coordinatore per la Sicurezza in fase di Esecuzione"* risulta di cruciale importanza nello sviluppo di un cantiere temporaneo o mobile; infatti, attualmente la sicurezza di cantiere spesso viene interpretata come un controllo esclusivo della documentazione delle imprese esecutrici e della direzione lavori, in realtà risulta necessario, al fine di assicurare una netta riduzione degli eventi infortunistici, integrare al controllo burocratico una verifica delle modalità operative delle squadre di cantiere negli aspetti più pratici delle lavorazioni stesse. Il controllo operativo delle fasi di cantiere è un elemento su cui investire fortemente, dal momento in cui risulta necessario colmare l'esteso distacco che intercorre tra gli aspetti progettuali e formativi della sicurezza e le modalità operative di cantiere, cercando ulteriormente di responsabilizzare gli operatori più esperti.

⁴*"L'importanza dell'efficacia della formazione alla sicurezza" -PuntoSicuro 2012*

Al fine di sanare il netto divario tra il progetto della sicurezza e l'esecuzione di essa, diventa altresì fondamentale estendere la formazione dei lavoratori ad attività pratiche, con una conseguente valutazione oggettiva dei rischi e la valutazione di idoneità professionale.

1.3.2 Analisi della situazione attuale, anno 2021

La situazione nell'anno corrente, 2021, constata un ulteriore incremento di eventi lesivi e mortali; attraverso il portale INAIL, si stima che nei primi otto mesi dell'anno siano avvenute 772 morti. Lo studio della situazione del 2021 può essere effettuato osservando i cosiddetti "Bollettini Trimestrali" redatti da INAIL. Il Bollettino trimestrale dell'Inail raccoglie importanti analisi statistiche riguardo il numero di eventi infortunistici suddivisi per periodi trimestrali nel corso di un anno.

Analizzando il Bollettino del I trimestre, periodo compreso tra gennaio e marzo 2021, si sono verificate 128'671 infortuni, una diminuzione rispetto al 2020 pari al 1.71%. Risulta interessante osservare la cosiddetta "*analisi territoriale per macroaree geografiche delle denunce di infortunio con esito mortale*"⁵ in cui è possibile confrontare rispetto al primo trimestre del 2020 il numero delle morti suddivisi per le Regioni del territorio italiano.

⁵ Bollettino Trimestrale-Denunce di Infortunio e malattie professionali-Periodo Gennaio-Marzo 2021

Nella figura 1.6 si nota come il numero totale delle morti nel primo trimestre del 2021 sia cresciuto del +11.45 % rispetto al 2020, totalizzando un numero pari a 185 morti sul lavoro in soli tre mesi e confermando la tendenza di crescita di tale numero.

Denunce di infortunio con esito mortale per regione			
	gen-mar 2020	gen-mar 2021	%
NORD OVEST	45	47	4,44
Piemonte	21	17	-19,05
Valle d'Aosta	0	0	
Lombardia	21	27	28,57
Liguria	3	3	0,00
NORD EST	34	38	11,76
Bolzano-Bozen	1	4	300,00
Trento	1	0	-100,00
Veneto	12	14	16,67
Friuli V.Giulia	4	2	-50,00
Emilia Romagna	16	18	12,50
CENTRO	23	34	47,83
Toscana	9	10	11,11
Umbria	1	2	100,00
Marche	6	3	-50,00
Lazio	7	19	171,43
SUD	47	58	23,40
Abruzzo	3	11	266,67
Molise	3	6	100,00
Campania	16	21	31,25
Puglia	17	13	-23,53
Basilicata	2	1	-50,00
Calabria	6	6	0,00
ISOLE	17	8	-52,94
Sicilia	14	7	-50,00
Sardegna	3	1	-66,67
TOTALE	166	185	11,45

Fonte Open data: dati rilevati al 31 marzo di ciascun anno
Elaborazioni: Inail - Direzione centrale pianificazione e comunicazione

Figura 1-6- Analisi Territoriale -Fonte: Bollettino I trimestre Inail

Nel “*Bollettino Trimestrale*” è contenuta un’ulteriore osservazione interessante sulla differenza di genere delle denunce di infortunio; nel riferimento al genere si constata un duplice aumento relativo sia al genere femminile sia al maschile. Di fatto, si attesta un aumento del +10.32 % di morti maschili e del +27.32% di morti femminili rispetto al primo trimestre del 2020, il tutto mostrato in figura 1.7. [6]

Denunce di infortunio con esito mortale per genere			
	gen-mar 2020	gen-mar 2021	%
Femmine	11	14	27,27
Maschi	155	171	10,32
Totale	166	185	11,45

Fonte Open data: dati rilevati al 31 marzo di ciascun anno
Elaborazioni: Inail - Direzione centrale pianificazione e comunicazione

Figura 1-7- Morti con riferimento al genere- Fonte: Bollettino I trimestre Inail

L’analisi sul confronto tra 2020 e 2021 viene estesa attraverso la consultazione del “*Bollettino Trimestrale*” del II trimestre con riferimento al periodo compreso tra gennaio e giugno 2021; in tale periodo si nota una leggera diminuzione degli infortuni con esito mortale pari al -5.61% e un aumento delle denunce di infortunio pari al +8.95%, si afferma quindi una sostanziale stabilizzazione degli eventi infortunistici. [7]

I dati riportati del 2021 confermano l’esistenza di una seria criticità nei luoghi di lavoro, tanto da indurre il governo italiano all’attuazione di nuove strategie per contrastare le crescite di infortuni e di morti sul lavoro, constatando come la sicurezza sia una materia in costante evoluzione e di forte interesse economico-sociale e assoluta protagonista di tutti i settori produttivi nei prossimi anni. Di fatto, la strategia adottata dal Governo Italiano viene esplicitata attraverso principi cardini legislativi, i quali sono rivolti ad un netto aumento sanzionatorio nei confronti delle aziende non ottemperanti delle misure di prevenzione riportate nel Testo Unico del 2008.

In particolare, il nuovo decreto-legge approvato il 15 ottobre 2021 prevede un rafforzamento dei controlli da parte degli organi di vigilanza, un aumento delle competenze di coordinamento assegnate all'Ispettorato Nazionale del Lavoro, un forte investimento economico sulle tecnologie di registrazione delle denunce di infortunio nella "Banca Dati" dell'INAIL e un importante aumento sanzionatorio nei confronti delle imprese recidive.

Il Testo Unico viene, quindi, integrato da particolari misure che consolidano alcuni punti chiave; tra le novità più eclatanti si nota la competenza propria dell'Istituto nazionale del lavoro "INL" di sospendere le attività produttive delle aziende di tutti i settori, in cui vengono riscontrati inadempimenti considerevoli nei confronti delle vigenti misure di prevenzione e protezione nei luoghi di lavoro, tale sospensione può avvenire anche in assenza di recidiva. Le competenze dell'INL vengono estese a tal punto che nelle suddette aziende possono essere applicate disposizioni specifiche per la riduzione del rischio dei lavoratori.

Un altro importante aspetto evidenziato nel nuovo decreto è costituito dal deciso contrasto al lavoro irregolare; di fatto, viene abbassata la soglia di ammissibilità di lavoratori irregolari presenti nel luogo di lavoro dal 20% al 10%, soglia che induce l'automatica sospensione di attività di impresa [8]. Il contrasto al lavoro irregolare è sicuramente un aspetto di notevole rilevanza in ambito di sicurezza sul lavoro; con riferimento al settore edilizio, l'eccessiva frammentazione del processo di costruzione esplicita dall'instaurarsi di subappalti tra diverse imprese comporta un difficile processo di controllo relativo sia alla regolarità dei lavoratori, sia alle misure di sicurezza nei luoghi di lavoro. L'abbassamento della soglia del lavoro irregolare costituisce un primo passo rilevante nel contrasto rivolto alla situazione infortunistica attuale.

Il carattere sanzionatorio viene ulteriormente rafforzato attraverso nuove disposizioni presenti nel decreto-legge in esame, in cui è presente una tabella specifica di riferimento che regola le ammende in caso di riscontro di infrazioni in ambito di sicurezza sul lavoro. In particolare, nell'Allegato I del decreto si elencano dodici voci di illeciti a cui corrispondono ammende di valore massimo pari a 3'000 euro. Tali sanzioni possono essere raddoppiate in caso venga constatata la recidività dell'impresa negli ultimi cinque anni.

2 RISCHIO CADUTA DALL'ALTO - SICUREZZA IN CANTIERE

In questo secondo capitolo, si vuole introdurre in modo dettagliato il nucleo centrale del presente elaborato: la caduta dall'alto. I rischi innescati dalle lavorazioni in quota rappresentano la percentuale maggiore di eventi mortali nel settore dell'edilizia. A differenza del settore industriale, il processo edilizio si differenzia in merito alla propria natura dinamica, la quale costituisce intrinsecamente un netto aumento di probabilità di accadimento di eventi infortunistici; risulta, quindi, necessario descrivere i fondamenti della sicurezza nei cantieri temporanei e mobili al fine di eseguire uno studio efficace delle misure di prevenzione da adottare. In questa fase, si pongono alcune basi teoriche che guidano lo svolgimento del caso studio del capitolo 4 di questo elaborato.

2.1 Analisi statistica delle morti causate da caduta dall'alto

Il rischio di caduta dall'alto statisticamente comporta un numero molto elevato di eventi mortali o di infortuni permanenti caratterizzati da notevole magnitudo; al fine di comprendere il contesto attuale, per cui risulta necessario uno sviluppo progressivo della prevenzione in merito al rischio caduta, si effettua una dettagliata analisi statistica attraverso la consultazione della scheda *"INFOR.MO- Le cadute dall'alto dei lavoratori"* pubblicata nel 2017 da Inail. Nel documento citato, si trova una statistica molto rilevante che fornisce una chiara idea di come le cadute dall'alto siano incisive nel determinare eventi mortali sui luoghi di lavoro, si stima che le morti così causate siano pari ad un terzo delle morti totali nei diversi settori produttivi. In particolare, lo studio focalizzato tra gli anni 2008 e 2012, constata come il 32.5 % delle morti in ambito lavorativo sia rappresentato dalle cadute dall'alto, seguono con percentuali minori altre cause di eventi mortali dettagliate in figura 2.1. [9]

Si riporta la figura 2.1 sopra citata.

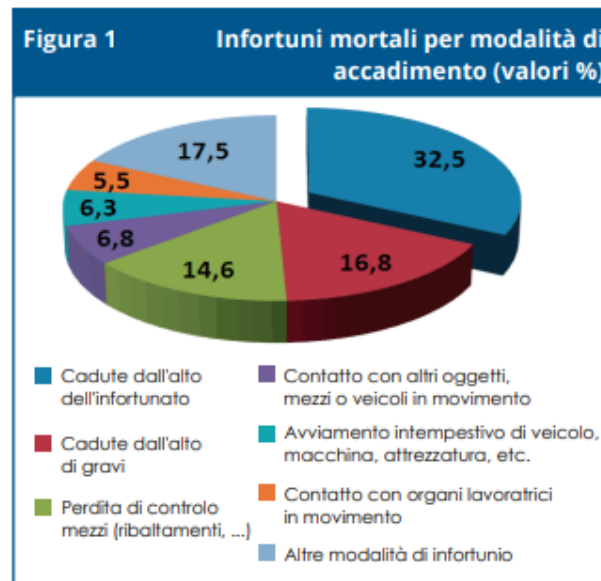


Figura 2-1- Infortuni mortali-fonte [9]

I dati ricavati dallo studio eseguito da INAIL forniscono molteplici interpretazioni interessanti e meritevoli di citazione al fine di delineare un quadro dettagliato delle concause che innescano eventi mortali per caduta in quota. Il settore edilizio conta una percentuale di morti per caduta dall'alto del 65% rispetto al numero di eventi mortali registrati nel periodo temporale in esame. In relazione ai diversi luoghi di lavoro della totalità dei processi produttivi, il cantiere costituisce il luogo dove si verifica il numero maggiormente elevato di cadute con una percentuale complessiva pari al 52.4%. [9]

Lo studio INAIL fornisce ulteriori dati rilevanti che confermano le argomentazioni espresse nei paragrafi 1.3.1 e 1.3.2 del presente elaborato; in particolare, si evidenzia come la irregolarità contrattuale del lavoratore soggetto ad evento infortunistico sia un ulteriore fattore di rischio, a causa di una probabile mancanza di formazione adeguata e certificata riguardo le lavorazioni in cantiere. A tal punto, si evince come la percentuale di operatori irregolari a livello contrattuale e soggetti ad evento mortale per caduta dall'alto sia pari al 10.4%, valore piuttosto elevato considerando che le vittime causate da altre tipologie di rischio con contratto irregolare contano una percentuale media del 6%. Un'ulteriore statistica da evidenziare è costituita dalla percentuale pari al 71% di eventi mortali per caduta dall'alto avvenuti in aziende medio-piccole con un

massimo di nove operatori [9]; risulta, quindi, opportuno rimarcare come la frammentazione del processo edilizio del sistema italiano porti alla presenza di un numero molto elevato di aziende di piccola entità che operano nel settore. Questa presenza, tuttavia, non costituisce un fattore di rischio che incide significativamente sulla sicurezza degli operatori a patto che ci sia un'adeguata e controllata formazione dei lavoratori. Inoltre, a riprova delle statistiche ottenute nel paragrafo 1.3.1 relative alla età media di picco delle vittime di infortunio mortale pari alla fascia tra i 50 e i 54 anni, circa il 50% delle vittime per caduta dall'alto presente un'età superiore ai 50 anni; quindi, oltre alla necessità di formazione continua per gli operatori di tutte le fasce di età, risulta essenziale una attenta e accurata progettazione per ciascuna lavorazione eseguita in quota congiuntamente al controllo della corretta esecuzione delle misure preventive e protettive disposte, il tutto come evidenziato nel capitolo 4.

Il rischio caduta può essere suddiviso in diverse tipologie con relative percentuali di accadimento:

- *“caduta per sfondamento di copertura (23.2%);*
- *caduta da scala portatile (17.3%);*
- *caduta da parte fissa di edificio (12.5%);*
- *caduta da ponteggi, impalcature fisse (10.1%);*
- *caduta all'interno di varco (10.1%);*
- *caduta da mezzi di sollevamento o per lavori in quota.”⁶*

Per ciascuna delle tipologie di caduta sopra evidenziate, si distinguono i fattori di rischio innescanti l'evento di caduta stessa come scorretta modalità operativa, fattori ambientali relativi allo specifico cantiere, fattore correlato ai macchinari e opere provvisorie utilizzati e il mancato o non adeguato uso dei DPI disposti. Ciascun fattore di rischio citato concorre con una percentuale diversa nelle varie tipologie di caduta dall'alto, si riportano i dati desunti dal documento precedentemente citato e la realizzazione di grafici elaborati dall'autore per una migliore visualizzazione delle cause innescanti la caduta.

⁶ La caduta dall'alto dei lavoratori- Scheda 2 INFOR.MO- INAIL

Caduta per sfondamento di copertura	
modalità operativa del lavoratore	43%
fattore ambiente	35%
mancato o scorretto utilizzo DPI	18%
altro	4%

Tabella 2-1-Caduta per sfondamento di copertura⁷

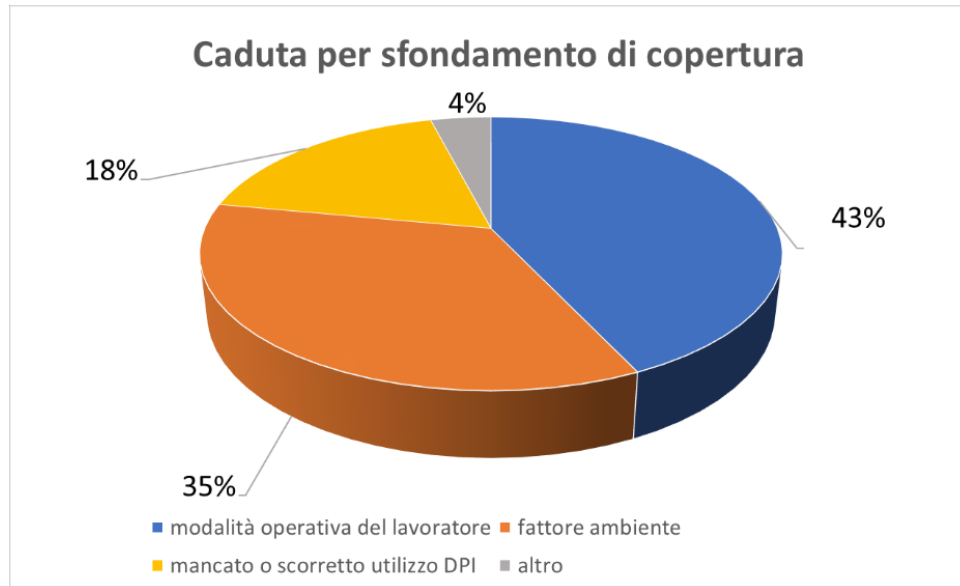


Figura 2-2-Grafico caduta per sfondamento copertura

Il 43% degli infortuni relativi a questa tipologia di caduta avviene per la non corretta modalità operativa del lavoratore, il quale per mancanza di una corretta pianificazione opera in porzioni di copertura non portante o non calpestabile. In questa casistica, un metodo di prevenzione efficace consiste in adeguate attività di coordinamento che permettono all'operatore di conoscere le situazioni e le zone di elevato rischio in modo da evitare il calpestio delle porzioni non portanti.

⁷ I dati contenuti nelle tabelle [2.1-2.5] sono ricavati da "La caduta dall'alto dei lavoratori- Scheda 2 INFOR.MO" - INAIL 2017

Caduta da scale portatili	
modalità operativa del lavoratore	62%
fattore utensili, macchine, impianti	31%
altro	7%

Tabella 2-2- Caduta da scale portatili

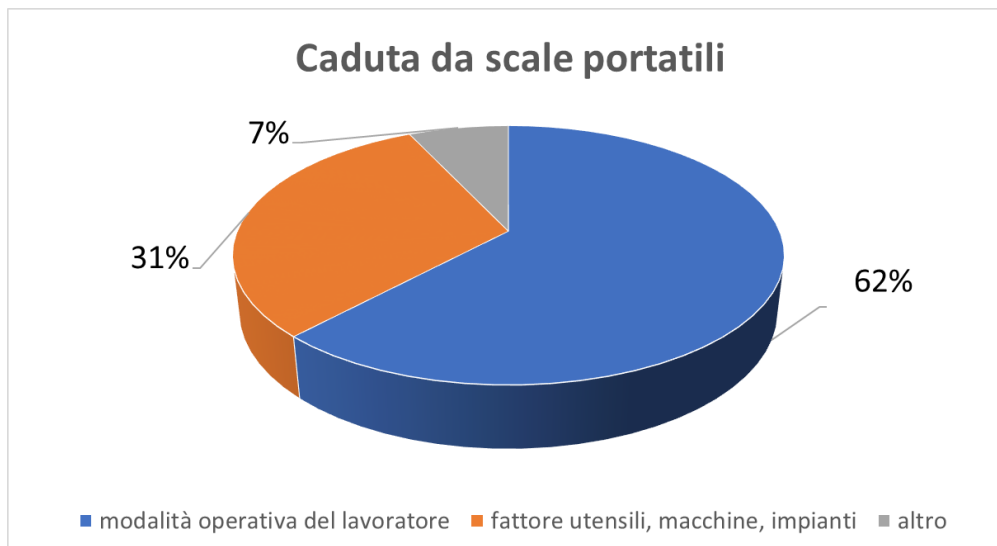


Figura 2-3- Grafico caduta da scale portatili

Nella tipologia di caduta dall'alto da scale portatili, la percentuale di causa di infortunio relativa alla modalità operativa del lavoratore sale al 62%; gli operatori che svolgono attività in quota su scala portatile sono maggiormente esposti al rischio caduta. Nonostante la normativa italiana limiti fortemente l'utilizzo di tale tipo di apprestamento per l'accesso in copertura e per molteplici lavorazioni in quota, le scale portatili presentano una notevole facilità di installazione congiunta a un costo relativamente basso; tale vantaggio economico induce molto spesso all'uso improprio di scale portatili da parte di imprese o lavoratori autonomi.

Caduta da ponteggi ed impalcature fisse	
modalità operativa del lavoratore	36%
fattore utensili, macchine, impianti	40%
altro	24%

Tabella 2-3- Caduta da ponteggio

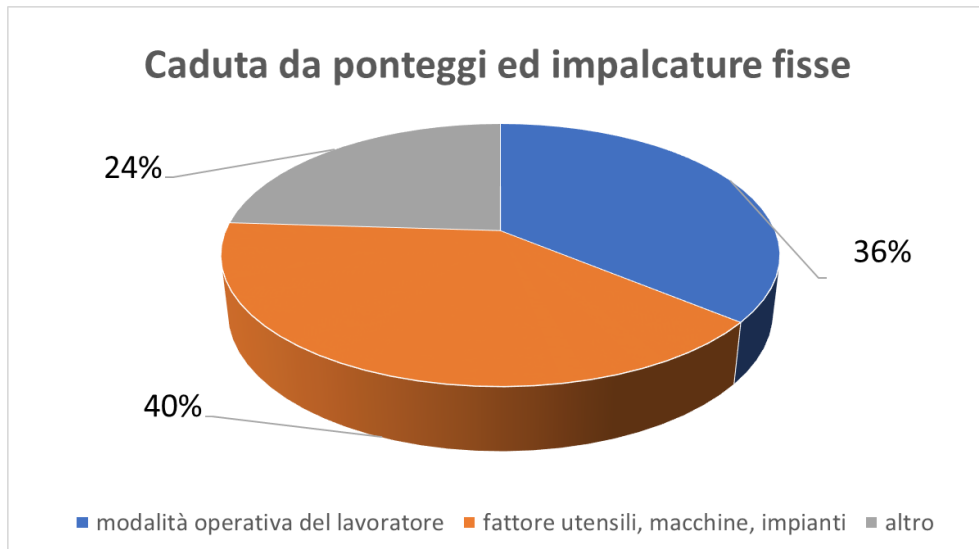


Figura 2-4-Grafico caduta da ponteggio

L'utilizzo di ponteggi e impalcature fisse limita fortemente l'insorgenza di infortuni causati per non corretta modalità operativa; infatti, il lavoratore risulta maggiormente guidato durante le lavorazioni ed è inevitabile utilizzare tali apprestamenti al fine di garantire un elevato livello di sicurezza. Tuttavia, osservando un aumento nel fattore "utensili, macchine e impianti" si nota l'importanza della corretta progettazione del ponteggio, ove richiesta, e della accurata installazione dell'opera provvisoria al fine di raggiungere il soddisfacimento degli standard di sicurezza previsti.

Caduta all'interno di varco	
modalità operativa del lavoratore	22%
fattore ambiente	48%
altro	30%

Tabella 2-4-Caduta all'interno di un varco

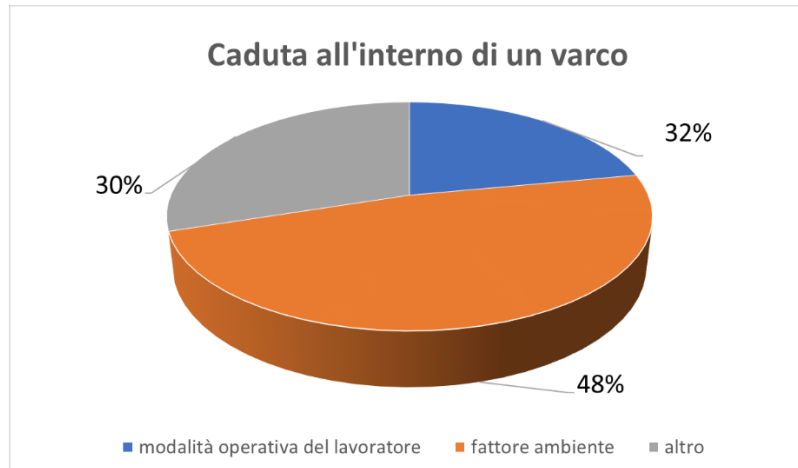


Figura 2-5-Grafico caduta all'interno di un varco

Caduta da mezzi di sollevamento	
modalità operativa del lavoratore	45%
fattore utensili, macchine, impianti	25%
altro	30%

Tabella 2-5-Caduta da mezzi di sollevamento

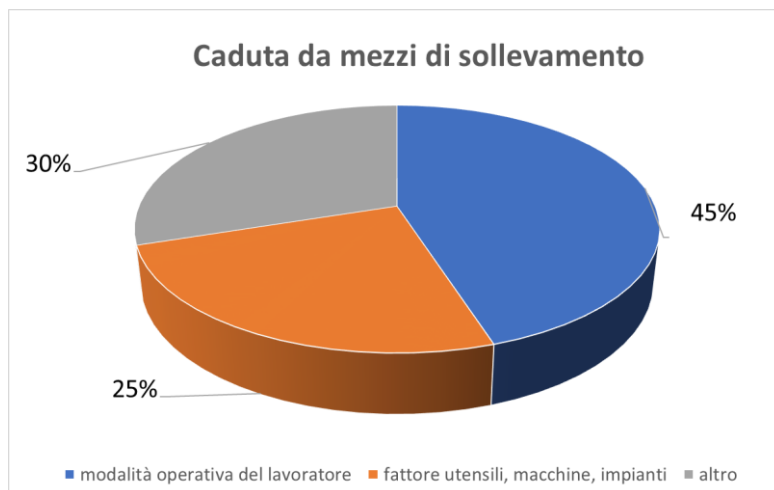


Figura 2-6-Grafico Caduta da mezzi di sollevamento

Data la notevole molteplicità e correlazione di cause, esistono varie soluzioni per l'applicazione di misure preventive e protettive nelle lavorazioni in quota; tuttavia, prima di dettagliare il rischio di caduta dall'alto a livello tecnico e teorico, è opportuno analizzare il quadro normativo di riferimento che guida i progettisti della sicurezza, i datori di lavoro e gli operatori stessi. La normativa vigente, costituita dal d.lgs. 81/08, analizza dettagliatamente il rischio di caduta nel Titolo IV del Testo Unico.

2.2 Titolo IV: principi cardine della sicurezza in cantiere

Il Titolo IV del d.lgs. 81/08 costituisce l'insieme dei criteri fondamentali propri del settore delle costruzioni; in particolare, si descrivono i diversi scenari presenti nei cantieri temporanei e mobili attraverso l'analisi dettagliata dei rischi presenti e delle misure attuative di prevenzione con la finalità di incrementare il livello di sicurezza degli operatori presenti.

L'organo legislativo dedica un intero Titolo del Testo Unico al settore edile poiché, a differenza del settore industriale, in cantiere non è possibile definire una struttura statica in cui i luoghi di lavoro risultano ben definiti; infatti, nelle varie fasi della costruzione o della manutenzione risultano presenti molteplici imprese con più lavoratori ciascuna, per cui oltre ai rischi derivanti dalle singole lavorazioni, nascono ulteriori rischi interferenziali, i quali devono essere opportunamente gestiti dai progettisti della sicurezza attraverso attività di coordinamento. In aggiunta, la disomogeneità del processo produttivo nell'edilizia comporta una diversificazione dei rischi presenti tale per cui ogni cantiere costituisce una realtà autonoma e indipendente. La gestione generalizzata dei rischi scaturiti dalle singole lavorazioni non risulta realizzabile, ma è necessaria un'analisi dedicata alla singola e specifica realtà di cantiere. In sintesi, si evidenzia il passaggio netto da uno studio generalizzato relativo al settore industriale ad uno studio singolare relativo al cantiere edile.

Il carattere dinamico dell'edilizia viene ulteriormente esplicitato da un continuo cambiamento dei luoghi di lavoro per ciascun operatore, il quale compie lavorazioni differenti ed opera in diverse modalità a seconda della fase di cantiere in corso. La probabilità di avvenimento di un evento infortunistico viene, quindi, inevitabilmente incrementata.

Gli articoli del Titolo IV vengono suddivisi in tre capi:

- “*Capo I- Misure per la salute e sicurezza nei cantieri temporanei o mobili*” (artt. 88-104 bis);
- “*Capo II- Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni e nei lavori in quota*” (artt.105-156);
- “*Capo III- Sanzioni*”⁸ (artt. 157-160).

Si vogliono analizzare gli aspetti essenziali del capo I e del capo II, nei capitoli successivi verranno trattate nel dettaglio l’analisi delle lavorazioni in quota attraverso considerazioni teoriche e riscontri pratici di un caso studio e il carattere sanzionatorio.

2.2.1 Identificazione dei soggetti coinvolti in cantiere

L’analisi dei principi fondamentali del capo I risulta essenziale per comprendere la realtà del cantiere, i soggetti coinvolti nel settore dell’edilizia e gli obblighi relativi a tali soggetti; questa analisi è indispensabile, inoltre, come introduzione per fornire le conoscenze di base rivolte alla attuazione delle misure preventive delle varie lavorazioni nel settore delle costruzioni, con particolare riguardo verso le lavorazioni in quota. L’art. 88 del d. lgs. 81/08 definisce il campo di applicazione delle misure riportate dal Titolo IV, oltre al cantiere temporaneo e mobili le disposizioni riguardano spettacoli musicali e manifestazioni fieristiche. Il cantiere temporaneo o mobile nell’art. 89 si definisce come “*qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civile il cui elenco è riportato nell’ALLEGATO X*”⁹.

L’art. 89 contiene ulteriori definizioni fondamentali relative ai soggetti coinvolti nel processo edilizio; in particolare, il committente ha facoltà di nominare un responsabile dei lavori, ovvero un professionista incaricato che diventa il responsabile della totalità del procedimento. Il coordinatore della sicurezza in fase di progettazione (CSP) e il coordinatore della sicurezza in fase di esecuzione (CSE) sono figure di fondamentale rilevanza per assicurare la prevenzione nelle varie fasi del cantiere, tali soggetti sono denominati dal responsabile dei lavori. L’impresa affidataria si definisce titolare del contratto di appalto, mentre l’impresa esecutrice risulta essere “*impresa che esegue un’opera parte di essa impegnando proprie risorse umane e materiali*”.¹⁰

⁸ d. lgs. 81/08

⁹ Art. 88, d.lgs. 81/08

¹⁰ Art.89, d.lgs. 81/08

Ciascuno dei soggetti sopra citato è tenuto alla esecuzione di diversi obblighi descritti negli artt. 90-95 del Titolo IV. In questo paragrafo si vogliono riportare in maniera sintetica i vari obblighi dei soggetti partecipanti all'attività di cantiere; in particolare, il committente o il RDL si attiene al rispetto delle misure generali di tutela contenute nell'art.15 del d.lgs. 81/08, dettagliate di seguito. Nei cantieri in cui si prevede la presenza di più imprese esecutrici, il committente o il RDL designa il coordinatore della sicurezza in fase di progettazione (CSP) e in fase di esecuzione (CSE), sovente i ruoli sopra citati sono ricoperti da un'unica figura professionale, con idonee competenze. Il RDL, o la figura designata, verifica l'idoneità delle imprese affidatarie ed esecutrici in termine di capacità tecniche e si appresta alla richiesta di titoli abilitativi all'Ente di competenza per procedere all'inizio delle attività di cantiere.

Il coordinatore per la progettazione della sicurezza, quando previsto, redige il Piano di Sicurezza e Coordinamento, i cui contenuti sono dettagliati nell'art.100 del Titolo IV e specificati nell'allegato XV. Il CSP, inoltre, predispone un fascicolo adattato alle caratteristiche dell'opera, documento da consultare nelle fasi di manutenzione successiva alla fine lavori.

Il coordinatore di sicurezza in fase di esecuzione verifica il rispetto da parte delle imprese esecutrici e da parte di eventuali lavoratori autonomi delle varie disposizioni contenute nel PSC; si richiede un'ulteriore verifica dei piani operativi di sicurezza (POS) delle imprese esecutrici presenti cantiere, tali piani devono essere intesi come procedure complementari al piano redatto dal CSP. Il CSE deve garantire la totale coerenza tra il PSC e i POS delle varie imprese presenti in cantiere attraverso eventuali adeguamenti necessari; tale procedura costituisce un ruolo di primaria importanza nella prevenzione di eventi infortunistici. Pertanto, il CSE si definisce come una figura chiave della sicurezza dei cantieri edili, i cui compiti non si riducono a semplici controlli burocratici, ma si richiedono efficaci disposizioni applicative, le quali devono essere rispettate dalle imprese esecutrici. Il CSE organizza il coordinamento e la cooperazione delle attività di lavorazione tra i datori di lavoro delle imprese ed eventuali lavoratori autonomi, organizzando anche attività di specifica formazione; inoltre, in caso di mancata attuazione delle disposizioni previste nel PSC o di mancato rispetto degli obblighi relativi alle imprese esecutrici e lavoratori autonomi, il CSE segnala sia al committente o al RDL tali inosservanze.

Nel caso in cui il RDL o il committente non adotti misure per contrastare questi adempimenti, la segnalazione va estesa agli organi competenti. I lavoratori autonomi e le varie imprese presenti in cantiere devono adeguarsi alle indicazioni fornite dal CSE e contenute nel piano di sicurezza. [10]

In questa fase descrittiva, risulta propedeutico citare le misure di tutela generale alla base della moderna cultura della sicurezza in cantiere; l'art. 15 prescrive una serie di disposizioni da rispettare come una sorta di dogma fondamentali. In particolare, per lo svolgimento del caso studio nel capitolo 4 del presente elaborato, risulta interessante citare i seguenti punti:

- “a) la valutazione di tutti i rischi per la salute e sicurezza;*
- b) la programmazione della prevenzione, mirata ad un complesso che integri in modo coerente nella prevenzione le condizioni tecniche [...];*
- c) l'eliminazione dei rischi e, ove ciò non sia possibile, la loro riduzione al minimo in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico;*
- d) il rispetto dei principi ergonomici nell'organizzazione del lavoro [...];*
- e) la riduzione dei rischi alla fonte;”¹¹*

2.2.2 Il ruolo principale della sicurezza in cantiere: i coordinatori

Attraverso l'identificazione dei soggetti coinvolti nelle attività di cantiere, si evidenzia la centralità dei ruoli dei coordinatori della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione nell'intero processo edilizio; la sicurezza in cantiere si compone di diverse fasi di studio e analisi: si esegue una accurata individuazione e valutazione del rischio con conseguente scelta in fase di progettazione delle misure preventive e protettive da attuare nel singolo contesto di cantiere. Successivamente, si effettua il coordinamento esecutivo delle misure proposte attraverso continue attività di formazione e informazione degli operatori addetti alle diverse lavorazioni. La procedura descritta si correla strettamente ad una attività di controllo eseguita in fase di esecuzione dal CSE; si comprende in modo intuitivo come i principi di ciclicità propri del sistema flessibile, descritti nel capitolo 1, siano cruciali per lo sviluppo della sicurezza.

Il ruolo del coordinatore assume una rilevanza determinante proprio in questo senso, ovvero nella moderna cultura della sicurezza si prevede un vero progetto esecutivo della prevenzione nei luoghi di lavoro.

I principi descritti possono essere garantiti esclusivamente dalla duplice presenza dei ruoli del CSP e del CSE per l'intera durata delle lavorazioni in cantiere. Si evidenzia una completa analogia tra le fasi di progettazione ed esecuzione aventi come oggetto la sicurezza del singolo cantiere e

¹¹ Art. 15, d.lgs. 81/08

le stesse fasi relative ai vari ambiti dell'ingegneria civile; infatti, nella gestione di un progetto costruttivo di un edificio vige un continuo parallelismo tra i metodi di calcolo adottati in seguito a determinate semplificazioni progettuali e le caratteristiche effettive delle opere realizzate, le quali devono soddisfare gli standard dettati dal progettista. Allo stesso modo, tale parallelismo risulta presente nella gestione della sicurezza nei luoghi di lavoro, in questo senso i ruoli del progettista e direttore lavori propri del settore delle costruzioni vengono sostituiti dai ruoli del CSP e CSE, così come evidenziato in figura 2.7.

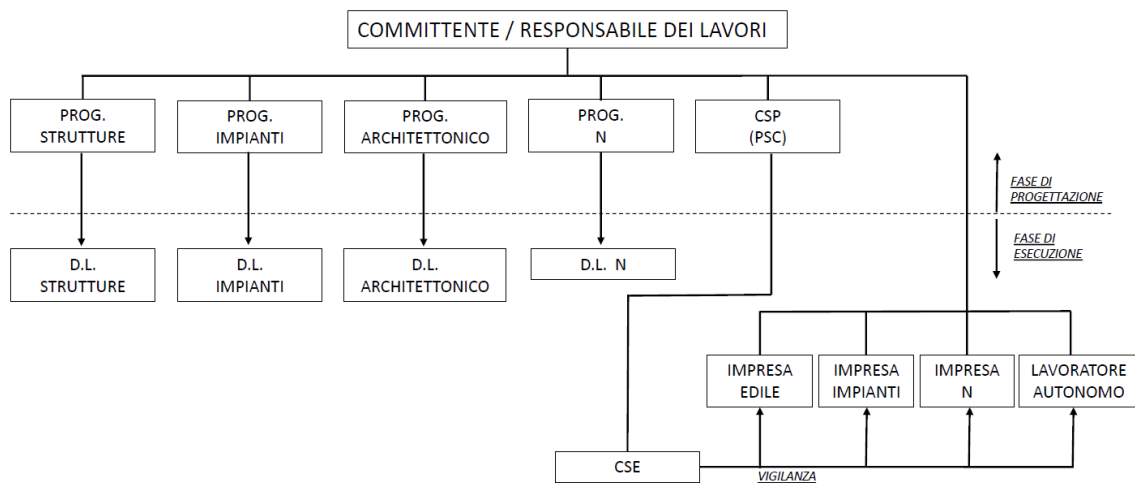


Figura 2-7-Ruoli nel processo edilizio

Nella intera fase di progettazione delle opere, il CSP assume ruolo di diretto riferimento del committente o del RDL, i compiti del coordinatore consistono nella determinazione delle misure di tutela in ambito di sicurezza e si estendono a partire della progettazione architettonica fino al progetto esecutivo delle opere, con particolare riguardo alla pianificazione delle lavorazioni stesse in modo da limitare il rischio di interferenza, obblighi esplicitati attraverso la redazione del PSC. L'operatività del ruolo del CSE viene legittimata al momento iniziale delle attività di cantiere; in ciascuna fase di lavorazione, il coordinatore in fase di esecuzione esegue un continuo controllo operativo riferito allo sviluppo del cantiere, integrando il PSC attraverso la consultazione dei vari POS di ciascuna impresa presente. Il controllo esecutivo del coordinatore si completa con eventuali segnalazioni di inadempienze riscontrate. [11].

2.2.3 Il PSC: strumento operativo per la sicurezza in cantiere

Il piano di sicurezza e coordinamento redatto dal CSP costituisce uno strumento operativo efficace a garantire lo svolgimento delle lavorazioni nelle diverse fasi di cantiere con un livello elevato di sicurezza per le imprese esecutrici. A livello legislativo, il PSC viene caratterizzato dall'art. 100 del d. lgs. 81/08 e dall'Allegato XV dello stesso decreto; il piano si costituisce attraverso una relazione tecnica in cui vengono integrate le prescrizioni rivolte agli operatori delle imprese esecutrici con la finalità di *“prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori”*¹². Il piano si completa con tavole esplicative di progetto riguardanti l'organizzazione del cantiere nelle varie fasi e una tavola tecnica sugli scavi, in caso la complessità dell'opera lo richieda.

Il PSC diventa *“parte integrante del contratto di appalto”*¹³ e i vari soggetti esecutori presenti in cantiere devono necessariamente attuare le prescrizioni riportate; tuttavia, l'impresa affidataria ha facoltà di proporre alcune integrazioni al coordinatore nel caso in cui tali integrazioni aumentino il livello di sicurezza degli operatori. Si nota, quindi, come la redazione e l'attuazione di un PSC siano costituite da un processo dinamico in analogia alla stessa dinamicità caratterizzante i principi cardine della nuova normativa. I contenuti minimi di un piano di sicurezza vengono esposti nell'Allegato XV del Testo Unico, di seguito si riporta un sintetico elenco di tali contenuti:

- Identificazione e descrizione dell'opera da eseguire, esplicitate attraverso l'indirizzo del cantiere, il contesto relativo all'area di cantiere e un'analisi sintetica delle scelte progettuali dell'opera di riferimento.
- Individuazione dei soggetti con compiti di sicurezza;
- Relazione tecnica contenente l'individuazione analisi valutazione dei rischi, con specifico riguardo all'area e alla organizzazione dello specifico cantiere e ai rischi che nascono in seguito alle interferenze delle varie attività.
- Le misure prescrittive di prevenzione e protezione.
- Le misure di coordinamento relative all'uso comune dei vari apprestamenti di cantiere.
- L'organizzazione riferita alla cooperazione e al coordinamento tra datori di lavoro delle imprese affidatarie ed esecutrici e i lavoratori autonomi.

¹² Art. 100 comma 1, d.lgs. 81/08

¹³ Art. 100 comma 2, d.lgs 81/08

- Le modalità di gestione delle emergenze, con dettagli specifici rivolti alle procedure di pronto soccorso, antincendio ed evacuazione lavoratori; inoltre, si riportano i vari riferimenti telefonici delle infrastrutture sanitarie e delle autorità competenti.
- Il cronoprogramma dei lavori in cui si definiscono le durate delle varie fasi e sottofasi di cantiere, tale strumento è necessario al fine di individuare le attività interferenti.
- La stima dei costi della sicurezza.

2.2.4 Principi di progettazione dell'area di cantiere

La parte iniziale del PSC si compone di una attenta progettazione delle modalità organizzative dell'area di cantiere, tale procedura risulta indispensabile al fine di determinare in modo corretto le misure preventive e protettive riferite alle varie lavorazioni, nonché per permettere una progressiva continuità alle lavorazioni stesse senza incorrere a eventuali interferenze aggiuntive, le quali causano sia un innalzamento delle durate delle attività con conseguente aumento dei costi, sia la crescita di esposizione a rischi ulteriori. Ciascuna area di cantiere presenta specifiche peculiarità, che devono essere preventivamente studiate dal coordinatore, il quale procede alla definizione di specifiche prescrizioni aventi lo scopo di evitare una correlazione dei rischi che scaturiscono dall'area di cantiere verso l'ambiente esterno e viceversa; la specificità di ogni cantiere non permette uno studio standardizzato dei luoghi di lavoro come in ambiente industriale, pertanto il CSP deve necessariamente procedere alla progettazione del singolo cantiere con l'analisi specifica dei cosiddetti vincoli di contesto.

Il primo step di analisi progettuale consiste nella contestualizzazione dell'ubicazione dei lavori, si individuano le criticità del contesto di cantiere e gli elementi di interdipendenza tra cantiere ed ambiente esterno. In particolare, consultando come dato di partenza le planimetrie e i rilevati del sito, considerando l'ingombro dell'opera da realizzare o da riqualificare, si determinano gli spazi operativi disponibili nel lotto di cantiere e si individuano i confini del cantiere stesso. Il coordinatore si pone come obiettivo specifico quello di minimizzare l'impatto del cantiere verso l'ambiente esterno, specialmente in contesto urbano. Si considera la presenza di eventuali edifici sensibili nelle adiacenze limitrofe delle aree di cantiere; in particolare, si pone molta attenzione alla presenza di infrastrutture educative e sanitarie adottando misure organizzative tali da non aumentare il traffico relativo alla viabilità urbana.

In relazione allo studio preliminare dell'area, il coordinatore esegue la meta-progettazione del sistema cantieristico, ovvero si effettua una analisi degli elementi del sistema secondo un approccio di tipo prestazionale finalizzata alla individuazione dei requisiti minimi di soddisfacimento, con l'obiettivo primario di aumentare il livello di sicurezza senza inficiare la produttività delle lavorazioni. Il sistema cantiere viene suddiviso in fasi, ovvero un ciclo di lavoro fondamentale facente parte dell'intera realizzazione dell'opera e costituito da un insieme di operazioni e lavorazioni che non causano un sostanziale mutamento del cantiere in termini di organizzazione e di personale presente. Il coordinatore suddividendo in fasi le intere lavorazioni riesce a discretizzare un complesso sistema edilizio in sottosistemi semplificati; attraverso tale suddivisione, si ottiene un incremento in termini di dettaglio del livello di progettazione e di esecuzione. Il passaggio da una fase di cantiere alla successiva viene valutato quando si verificano nette variazioni in termini di spazi disponibili, aree produttive, viabilità o installazione di apprestamenti e diversa modalità di stoccaggio materiale. Le fasi presenti per la realizzazione di opere variano con la stessa specificità e singolarità caratterizzanti ciascun cantiere, è possibile riportare a titolo esemplificativo un elenco di fasi costituenti la riqualificazione di un edificio:

- Allestimento cantiere;
- Realizzazione scavi e demolizioni;
- Esecuzione di opere strutturali;
- Completamento interno;
- Realizzazione impianti;
- Completamento esterno;
- Smaltimento di cantiere.

Ciascuna fase si articola in sottofasi comprendenti diverse lavorazioni elementari; tale processo di suddivisione in sottosistemi risulta propedeutico in relazione alla successiva pianificazione delle lavorazioni e studio delle durate delle lavorazioni facenti parte integrante del PSC, un completo esempio esecutivo di analisi delle fasi di un cantiere viene riportato contestualmente allo svolgimento del caso studio nel capitolo 4 del presente elaborato. L'organizzazione del cantiere effettuata nel PSC produce come risultato i lay-out di cantiere, i quali sono costituiti da tavole esplicative che sintetizzano lo studio effettuato dal coordinatore e identificano le varie aree, i servizi, gli apprestamenti e la viabilità del sistema costruttivo.

2.2.5 Principi di individuazione e valutazione dei rischi

L'individuazione e l'analisi dei rischi prevedibili viene effettuata dal coordinatore in riferimento alla totalità di lavorazioni previste nel progetto esecutivo; la valutazione dei rischi in fase di redazione del PSC si concentra sulla natura interferenziale dei rischi stessi. In particolare, quando molteplici lavorazioni vengono eseguite nello stesso arco temporale e medesimo luogo di lavoro si instaura una correlazione tra i rischi relativi alle singole attività; tale correlazione conduce a una situazione interferenziale critica, per la quale il coordinatore deve necessariamente prevedere misure specifiche di riduzione del rischio complessivo. In questo paragrafo, si vogliono riportare i principi generali della procedura di valutazione del rischio al fine di rappresentare le metodologie per la gestione del rischio di caduta dall'alto, sviluppata nei capitoli 3 e 4 dell'elaborato di tesi. La valutazione dei rischi si sviluppa attraverso l'individuazione delle sorgenti di rischio e delle situazioni possibili di interferenza contestualmente alla analisi in merito ai rischi specifici delle singole lavorazioni. L'identificazione del rischio, con la relativa valutazione, si compone di vari fattori comprendenti il tempo di esposizione alla sorgente di rischio, le modalità operative dei lavoratori e l'entità delle misure preventive; tuttavia, il processo di analisi svolta dal coordinatore riscontra molte difficoltà conoscitive poiché, la natura dinamica del singolo cantiere, in fase di progettazione non è possibile identificare con esattezza la totalità delle componenti operative. Il coordinatore effettua, quindi, alcune ipotesi riguardo le tecnologie utilizzate dalle imprese, le modalità operative e i macchinari presenti durante le varie fasi di cantiere. Si evidenzia nuovamente come l'interoperatività dei ruoli del CSP e CSE risulti fondamentale sia in merito all'osservanza delle prescrizioni da parte delle imprese esecutrici sia alle integrazioni di tali misure in fase esecutiva.

Le difficoltà conoscitive riscontrate, tuttavia, non impediscono al coordinatore di eseguire una stima corretta del rischio e di prescrivere idonee misure di tutela; durante la fase di progettazione l'attività del coordinatore si concentra nella oggettiva riduzione di fattori relativi all'insorgere di situazioni critiche dal punto di vista organizzativo e interferenziale. La modalità di approccio del progettista della sicurezza deve riscontare un carattere di unicità relativa al singolo cantiere, molto spesso una non corretta valutazione del rischio porta a sottostimare sorgenti di pericolo e le cause di questa sottostima risiedono nel fornire indicazioni e prescrizioni di carattere generale, senza un adeguato grado di dettaglio del cantiere e delle opere da realizzare [11]. Al fine di una migliore comprensione riferita alle metodologie di valutazione dei rischi effettuate dal coordinatore, è necessario fornire alcuni principi teorici, tra cui la definizione di rischio.

Il rischio si definisce come la convoluzione di due fattori: probabilità e magnitudo. La probabilità (P) si associa statisticamente all'accadimento di un evento dannoso in termini di sicurezza degli operatori; mentre la magnitudo (M) misura la potenziale gravità del danno riferita al rischio stesso.

Il rischio viene determinato analiticamente secondo la formula:

$$R = P * M$$

Il progettista, conoscendo il valore dato da questo prodotto, concentra il suo studio nella riduzione di uno dei due fattori o di entrambi al fine di ottenere un valore di rischio adeguato; tuttavia, a livello analitico si comprende che il valore di R non potrà mai raggiungere il valore nullo. Quindi, attraverso le opportune misure valutate dal coordinatore coerenti a quanto previsto dall'art.15 del d.lgs. 81/08 è possibile esclusivamente ridurre l'entità del valore di rischio, ma una progettazione efficace della sicurezza deve essenzialmente prevedere la gestione del rischio residuo.

La valutazione analitica del rischio viene estesa a una rappresentazione grafica riportata in figura 2.8

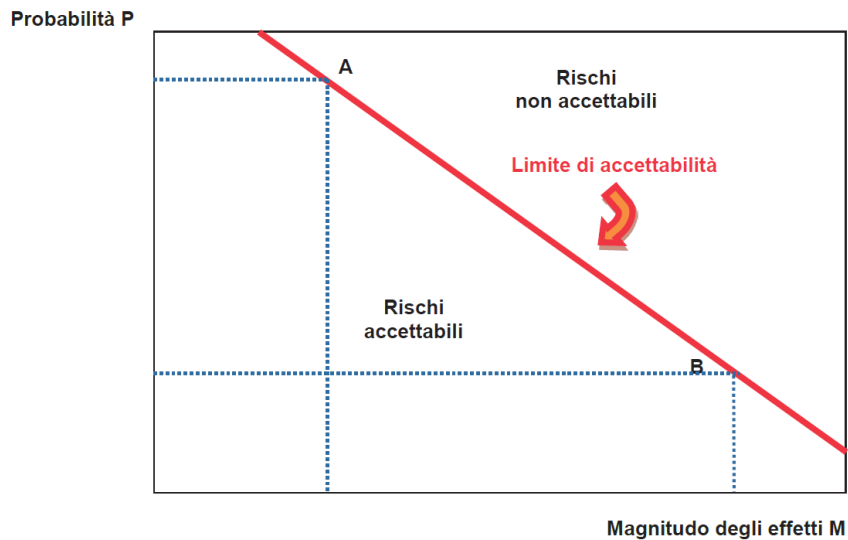


Figura 2-8-Spettro del rischio- Fonte: [11]

Lo spettro in figura 2.5 contiene nell'asse delle ascisse il valore di magnitudo M e in asse delle ordinate la probabilità P con cui si possono verificare eventi infortunistici. Si individuano nel grafico due zone di interesse: la zona caratterizzata dal punto "A" si riferisce ad un valore di rischio costituito da un elevata probabilità di accadimento P e da una bassa entità del danno M ; viceversa la zona "B" viene individuata da una elevata magnitudo e da un modesto valore di probabilità. Il limite di accettabilità è rappresentato graficamente da una retta e viene inteso come una sorta di dominio di resistenza dei valori di rischio accettabile. [11]

Si nota come il rischio di caduta dall'alto sia di particolare interesse poiché esso è caratterizzato da una elevata probabilità di accadimento nel cantiere, come descritto nell'incipit del presente capitolo, e al tempo stesso la magnitudo del danno a cui viene esposto il lavoratore in quota è massimizzata: la caduta dall'alto provoca con tutta probabilità una grave invalidità permanente al lavoratore o addirittura la morte dello stesso.

Il presente elaborato di tesi vuole valutare la specificità del rischio di caduta analizzando le metodologie di riduzione del rischio attraverso l'applicazione di un caso studio reale, al fine di ridurre i valori del rischio di esposizione nettamente al di sotto del limite di accettabilità.

I metodi di riduzione di rischio si fondano su due principi fondamentali: prevenzione e protezione. La prevenzione consiste nella *“riduzione della probabilità che si verifichi l’evento che può produrre danno”*¹⁴; mentre la protezione si concentra sulla limitazione del danno causato dal verificarsi di un evento. In termini operativi, la prevenzione riduce il valore complessivo del rischio R attraverso una diminuzione effettiva del valore di probabilità P ; mentre, la protezione produce un effetto riduttivo equivalente operando una riduzione sul valore della magnitudo M .

Nonostante a livello analitico le misure di prevenzione e protezione portino ad un risultato equivalente, la cultura della sicurezza sul lavoro prevede un maggiore focus da parte del progettista sulle misure di prevenzione rispetto a quelle di protezione; in questo senso, l’obiettivo principale del coordinatore risulta evitare l’accadimento di eventi infortunistici. Soventemente a livello operativo, la sicurezza in cantiere viene ridotta al semplice utilizzo di dispositivi di protezione individuale (DPI) e dispositivi di protezione collettiva (DPC) escludendo lo studio di metodi preventivi che comportino una riduzione della probabilità di accadimento di un infortunio; è inevitabile comprendere come, anche in questo aspetto, la formazione degli operatori e dei soggetti coinvolti in cantiere sia fondamentale per promuovere un approccio efficace e corretto alla definizione delle misure prescrittive durante l’intero svolgimento delle opere.

¹⁴ La progettazione della sicurezza nel cantiere, INAIL 2015

La riduzione del rischio viene determinata a livello grafico e analitico attraverso uno spostamento di una curva iso-rischio da una curva caratterizzata da un valore inferiore di rischio stesso; il procedimento viene mostrato nel grafico di figura 2.9, in cui la riduzione dell'entità del valore R viene rappresentata da una "somma vettoriale" delle misure di protezione e prevenzione.

Probabilità P

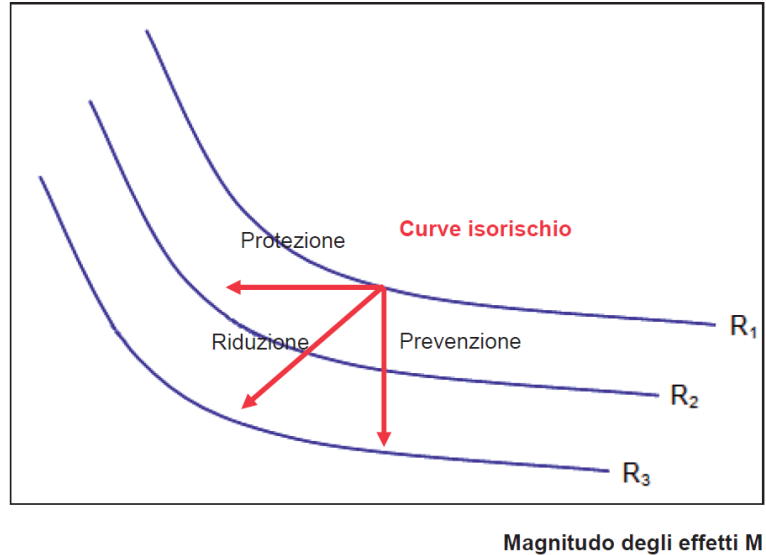


Figura 2-9-Curve Isorischio-Fonte: [11]

3 ANALISI TECNICA E TEORICA DEL RISCHIO DI CADUTA DALL'ALTO

In questo capitolo si vuole dettagliare il rischio di caduta dall'alto a livello teorico e tecnico, si analizzano i principi chiave per una corretta progettazione in termini di sicurezza degli operatori; inoltre, si descrivono le varie misure preventive e protettive per le lavorazioni in quota, con particolare riferimento alla installazione dei sistemi di ancoraggio in copertura, aspetto principale relativo allo svolgimento del caso studio del capitolo 4.

3.1 Definizione del rischio di caduta dall'alto e criteri principali di valutazione del rischio

I lavori in quota sono definiti nell'art. 107 del D.lgs. 81/08 come *“le attività che espongono il lavoratore al rischio di caduta da una quota posta ad altezza superiore ai 2 metri rispetto ad un piano stabile”*¹⁵ La caduta dall'alto di un operatore che lavora ad una quota superiore ai 2 metri rispetto ad un piano stabile comporta con elevata probabilità un'invalideria permanente del lavoratore stesso o un infortunio mortale; in questo senso nel settore delle costruzioni, la cultura della prevenzione relativa al rischio di caduta assume un ruolo chiave nell'intero sviluppo di ciascun cantiere che prevede almeno una fase lavorativa in quota. In particolare, nel presente elaborato, si effettua un'analisi specifica delle principali fasi lavorative in copertura, che espongono l'operatore al rischio di caduta.

Il ruolo preponderante della prevenzione di caduta dall'alto viene testimoniato anche dalla pubblicazione di specifici regolamenti regionali, in qualità di integrazione al Testo Unico, i quali prevedono la disposizione di sistemi di ancoraggio in copertura al fine di consentire in totale sicurezza manutenzioni ordinarie, straordinarie e altre tipologie di lavorazioni anche in fase successiva alla fine lavori. In questi termini, si rileva in immediato una sostanziale particolarità del rischio di caduta rispetto ad altri rischi presenti in cantiere; infatti, l'organo legislatore promuove lo sviluppo di una progettazione della prevenzione anche in fasi successive al termine di fine attività in cantiere.

¹⁵ Art. 107, d.lgs. 81/08

Considerando la forte incidenza in termini percentuali di eventi mortali per caduta dall'alto nel settore edilizio, risulta lecito prevedere un continuo sviluppo tecnico e legislativo della prevenzione di tale rischio nel prossimo futuro.

Nella Regione Piemonte vige il seguente decreto specifico in materia di lavori in quota ed in copertura: “*Norme in materia di sicurezza per l'esecuzione dei lavori in copertura (Articolo 15, legge regionale 14 luglio 2009 n. 20). Abrogazione del regolamento regionale 16 maggio 2016 n. 5/R*”; il principale oggetto del suddetto decreto consiste nella definizione dei requisiti tecnici operativi riferiti alle misure di prevenzione e protezione da adottare nella fase di accesso, transito e lavorazione in copertura. I requisiti tecnici sono previsti sia per operazioni di tipo strutturale in copertura, sia per interventi non strutturali caratterizzanti la manutenzione ordinaria della copertura stessa, quale installazione di impianti solari o sostituzione di altro tipo di impianto. Le soluzioni progettuali adottate al fine di garantire la sicurezza degli operatori in quota si predispongono, secondo il decreto regionale, in modo permanente sulla copertura; nei particolari casi in cui una soluzione permanente risulta tecnicamente non realizzabile si dispongono misure di carattere provvisorio contestualmente agli interventi da realizzare. L'adozione di sistemi di tipo provvisorio deve essere, tuttavia, giustificata in modo esaustivo da parte del progettista in fase di presentazione della richiesta del titolo abilitativo per l'inizio delle operazioni di cantiere. In linea generale, l'ambito di applicazione del Decreto regionale riguarda tutte le lavorazioni svolte su una copertura, tra cui:

- Nuova costruzione;
- Manutenzione straordinaria, risanamento e ristrutturazione edilizia;
- Manutenzione ordinaria;
- Installazione di impianti solari o termici;

Il principio cardine di una corretta progettazione consiste nell'adozione di misure preventive e protettive che prediligono una tutela collettiva piuttosto che individuale; tuttavia, al fine di ottenere un valore analitico del rischio caduta al di sotto dei limiti di accettabilità previsti dal progettista, si sceglie di disporre sistemi di protezione individuale costituiti da sistemi di ancoraggio permanente, oggetto di analisi esecutiva nel capitolo 4 dell'elaborato.

In fase di progetto, si redige, ogni qualvolta sono previste lavorazioni in copertura, l'Elaborato Tecnico di Copertura (ETC), ovvero il documento tecnico fondamentale per l'individuazione dei rischi e l'applicazione delle misure preventive e protettive adeguate. La redazione di tale

documento viene svolta dal CSP, tuttavia se il ruolo di coordinatore della sicurezza non è necessario nel contesto del cantiere di riferimento, l'ETC è redatto dal progettista.

Nonostante, l'ambito di applicazione della normativa regionale non interessi limitate tipologie di intervento, si può affermare che nella stragrande maggioranza di casi che prevedono lavorazione in quota, risulti necessaria l'installazione di sistemi di ancoraggio di tipo permanente al fine di garantire un livello di sicurezza adeguato agli operatori durante le fasi di cantiere dell'intervento e nelle fasi di manutenzione successive alla fine lavori. Pertanto, qualsiasi titolo abilitativo che preveda almeno una lavorazione in quota deve essere integrato dell'ETC, indipendentemente dal numero di imprese presenti nel cantiere, dall'obbligo di presentazione del PSC e dalla presenza del coordinatore della sicurezza. Il progettista strutturale o impiantistico deve possedere, quindi, preferibilmente competenze e conoscenze nell'ambito della valutazione del rischio di caduta dall'alto e delle scelte progettuali per ridurre l'entità del rischio stesso.

Le cause di eventi infortunistici per caduta dall'alto sono molteplici, è possibile riassumere tre tipologie differenti:

- Carenze organizzative, generate da micro-attività di cantiere a cui non è stata posta particolare attenzione in fase di redazione del POS ed eventuale PSC;
- Carenze di pianificazione, determinate da valutazioni procedurali errati che espongono gli operatori ad una esposizione maggiore di rischio.
- Carenze architettoniche, contestuali ai luoghi di lavoro oggetto di intervento.

Alle cause sopra citate, si aggiunge la carenza di formazione da parte degli operatori presenti, come esposto nel primo capitolo del presente elaborato.

3.1.1 Principi di valutazione del rischio di caduta dall'alto

Analogamente a quanto analizzato in linea generale nel paragrafo 2.2.5 si vuole dettagliare maggiormente la valutazione del rischio di caduta dall'alto, descrivendo le principali tipologie di sorgenti innescanti un evento infortunistico. L'analisi esclusiva del rischio di caduta dall'alto con conseguente riduzione di esso non è esaustiva a garantire una totale sicurezza dei lavoratori, il progettista valuta altre tipologie di rischio presenti, tra cui i rischi correlati alla geometria della copertura o rischi specifici delle attività da svolgere; si richiama il concetto di singolarità del cantiere e delle attività da eseguire.

In figura 3.1 si riporta il Flow-Chart adottato nella corretta ed efficace valutazione del rischio, procedura eseguita nella fase preliminare di progettazione delle opere.

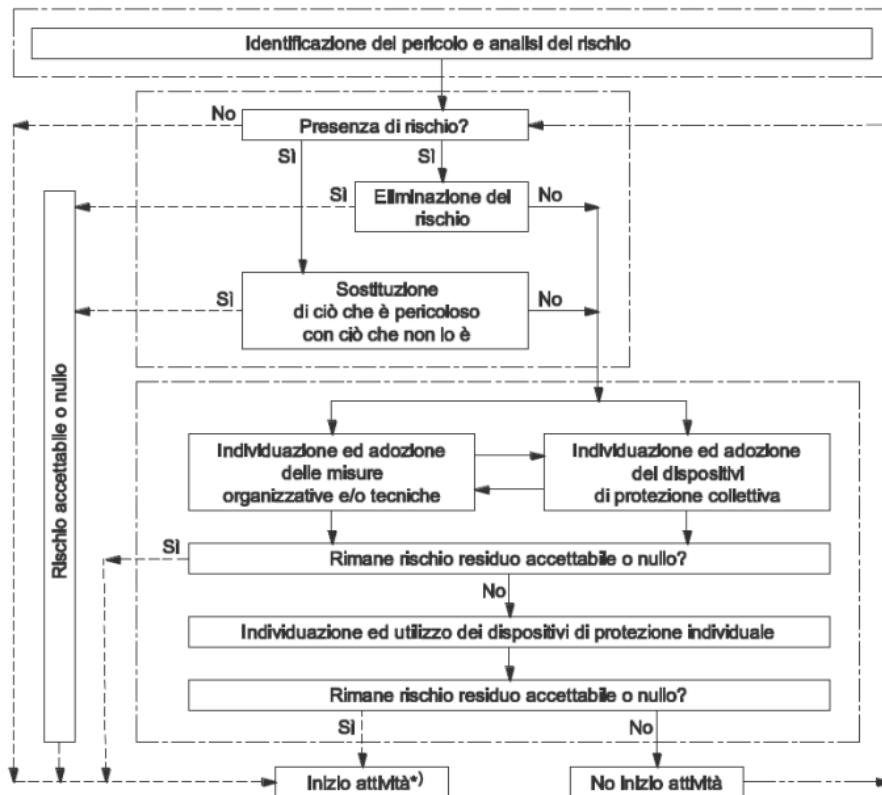


Figura 3-1- Flow chart per valutazione del rischio- Fonte: [12]

Nel diagramma di figura 3.1 si nota come l'individuazione e l'adozione dei dispositivi di protezione individuali risulti uno step terminale della metodologia di valutazione del rischio; infatti, il progettista si concentra dapprima sull'individuazione delle misure organizzative e tecniche, in modo da eliminare le carenze di pianificazione e di organizzazione. Successivamente, si adottano i dispositivi di protezione collettiva, che vengono sempre privilegiati rispetto a quelli individuali, e solo in caso di rischio residuo non accettabile si individuano i dispositivi di protezione individuale.

Le tipologie di rischio presente nelle lavorazioni in quota sono di diverso tipo:

- Rischi prevalenti;
- Rischi susseguenti;
- Rischi concorrenti;
- Rischi specifici di attività;
- Rischi correlati alle modalità operative dei lavoratori, fattore umano.

Il rischio prevalente si compone sia del pericolo di caduta dall'alto per lavorazioni in quota o interventi di montaggio e smontaggio di opere provvisorie, sia di caduta da copertura inclinata e conseguente urto contro i parapetti predisposti [12]. Si evidenzia come sia necessario pianificare in modo corretto le misure di protezione disposte in cantiere dal momento che spesso le fasi più critiche che espongono i lavoratori al rischio caduta siano proprio quelle di montaggio e di smontaggio di opere provvisorie, quali ponteggi metallici. Inoltre, la singolarità del cantiere relativamente all'analisi del rischio caduta viene esplicitata anche dalla geometria della copertura oggetto di intervento.

I rischi susseguenti vengono direttamente innescati dal verificarsi della caduta da parte di un operatore, in questa tipologia di rischio si trova quindi la probabilità di urto del corpo del lavoratore contro un ostacolo geometrico, il cosiddetto effetto pendolo. In fase di arresto caduta, la posizione sospesa del corpo dell'operatore rappresenta uno dei principali rischi susseguenti, dal momento che nell'arco temporale di poche ore un operatore appeso subisce danni fisici permanenti o addirittura maggiori complicanze sanitarie fino ad arrivare al decesso [12]. Pertanto, il progettista deve predisporre nell'ETC un piano di emergenza, ovvero una serie di procedure per il recupero del lavoratore sospeso nel minor tempo possibile. Si prevede la presenza in cantiere di più lavoratori istruiti e formati riguardo tali procedure di recupero.

Un'altra tipologia di rischio relativa alla caduta dall'alto consiste nei rischi concorrenti, rischi che sono direttamente correlati alla tipologia prevalente e possono indurre un aumento di entità del valore del rischio stesso. In tale tipologia di rischio, si collocano i diversi aspetti sfavorevoli del fattore ambientale, già citato nel capitolo 2; tra questi aspetti, si segnalano condizioni derivanti da natura atmosferica come vento, pioggia ed eventuale presenza di ghiaccio, condizioni che aggravano notevolmente la probabilità di esposizione al rischio caduta. Si considerano ulteriori concause che concorrono nel rischio caduta dall'alto, in particolare l'insorgenza di elementi avversi nella normale condizione psico-fisica dell'operatore, quali presenza di vertigini, eventuali

colpi di calore e riduzione di visibilità causata da abbagliamento [12]. Una corretta pianificazione dei lavori in quota deve, quindi, prevedere un'analisi iniziale delle condizioni al contorno delle fasi di lavoro oggetto di analisi.

Una componente imprescindibile dell'analisi del rischio caduta risulta la caratterizzazione della copertura a livello strutturale e geometrico; la conoscenza completa delle caratteristiche proprie della copertura costituisce l'incipit vero e proprio dell'intera valutazione del rischio e questi dati iniziali vengono trasposti nelle varie fasi della progettazione, comprese le disposizioni finali di installazione di sistemi di ancoraggio permanenti.

3.1.2 Proprietà geometriche e strutturali delle coperture

La copertura si definisce come “*la delimitazione superiore dell'involucro edilizio*” ¹⁶ generalmente costituita in legno, latero-cemento o acciaio.

In prima fase la copertura può essere classificata come copertura calpestabile o non calpestabile; per copertura calpestabile si intende soddisfatta la capacità di sostenere carichi riferiti al peso di persone ed eventuali materiali depositati, i valori di calcolo per definire i carichi di esercizio adottati per la progettazione e realizzazione di una copertura calpestabile si riferiscono alla Tabella 3.1.II delle NTC 2018, categoria H. [13]

¹⁶ D.P.G.R. 23 maggio 2016 n. 6/r, Regione Piemonte

Si riporta in figura 3.2 la tabella citata, con riferimento ai carichi di progetto.

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	$\geq 6,00$	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	da valutarsi caso per caso e comunque non minori di		
		5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.
 ** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

Figura 3-2- Tab 3.1.II [13]

Nella quasi totalità dei casi la copertura di edifici di civile abitazione risulta calpestabile a meno di eventuali danni subiti nel corso della vita utile dell'edificio stesso; tuttavia, non è raro rapportarsi con coperture non calpestabili presenti soprattutto nei capannoni industriali o diverse situazioni quali manti di copertura soggetti ad infiltrazione di acqua. In questi casi, è necessario prevedere ulteriori misure di prevenzione rispetto a quelle previste per le coperture praticabili. La copertura si definisce non calpestabile in caso ci siano porzioni strutturali su cui il transito di personale e relativo deposito di materiale costituisca un rischio elevato di sprofondamento; in questa tipologia di copertura si effettua uno studio preliminare per accertare la capacità portante della struttura di resistere ai carichi del personale e dei materiali di impiego depositati su di essa, qualora le verifiche di resistenza strutturale non siano soddisfatte si predispongono apprestamenti specifici con la finalità di garantire l'incolumità del personale operante in quota.

La geometria della copertura viene fortemente caratterizzata dalla propria inclinazione o pendenza, ovvero dall'angolo compreso tra il piano orizzontale e la superficie della copertura stessa. A livello geometrico, le coperture si classificano come:

- coperture orizzontali o sub-orizzontali, con valore di pendenza massimo del 15 %;
- coperture inclinate, coperture con pendenza compresa tra il 15% e il 50%;
- coperture fortemente inclinate, con pendenza oltre il 50%. [14]

Le coperture si classificano ulteriormente sia a seconda della presenza di protezione dei bordi, sia ad eventuali interferenze con coperture contigue. In sintesi, come proposto nel capitolo 4, il progetto delle misure di prevenzione e protezione della copertura in fase preliminare prevede la caratterizzazione della copertura, al fine di adottare soluzioni ottimali per ridurre l'entità del rischio caduta.

3.1.3 Tipologie di accesso in copertura

Avendo definito la geometria della copertura e le peculiarità strutturali, lo step successivo nella valutazione preliminare del rischio caduta consiste nell'analizzare la tipologia di accesso alla copertura. L'accesso in copertura può avvenire sia dall'interno della costruzione che dall'esterno di essa; inoltre, la tipologia di accesso può essere permanente o temporanea [14]. Le scelte progettuali conferiscono una netta priorità alla tipologia di accesso dall'interno e permanente costituita da scale a gradini fissi, le quali riducono l'esposizione al rischio caduta degli operatori; tuttavia, la disposizione di tale tipologia di accesso non risulta sempre realizzabile o presente; un ulteriore tipo di accesso permanente interno è costituito dall'impiego delle scale a pioli anticaduta. Le tipologie di accesso provvisorio possono essere adottate sia durante le varie fasi di costruzione dell'edificio, sia in fasi lavorative in copertura caratterizzata dalla fragilità strutturale dell'involucro esterno; la tipologia prevalente di accesso provvisorio utilizzata è costituita dalla installazione del ponteggio.

La normativa nazionale, costituita dal d.lgs. 81/08, non contiene indicazioni dettagliate relative alle tipologie di accesso e alle dimensioni da adottare a livello progettuale dei punti di sbarco in copertura.

Esclusivamente l'art. 111 del Testo Unico fa riferimento al sistema di accesso, il quale deve essere idoneo in termini di “*frequenza di circolazione, dislivello e durata dell'impiego*”¹⁷, tale idoneità deve essere garantita dal datore di lavoro.

La progettazione dei sistemi di accesso viene effettuata utilizzando come riferimento le normative regionali riguardo le misure di prevenzione e protezione correlate al rischio di caduta, in questo elaborato si fa riferimento alla normativa della Regione Piemonte descritta all'inizio del presente capitolo. In particolare, si vogliono riportare sinteticamente i requisiti delle varie tipologie di accesso, tale descrizione risulta essenziale per l'impostazione del caso studio del capitolo 4.

I criteri di progettazione dei percorsi per l'accesso alla copertura prevedono la realizzazione di una configurazione geometrica tale per cui il passaggio degli operatori con le varie attrezzature di lavoro non venga mai ostacolato, inoltre si impedisce l'accesso in copertura a coloro senza autorizzazione. L'art.8 del D.P.G.R. 23 maggio 2016, n.6/R della Regione Piemonte prevede la necessaria adozione di misure di segnalazione degli ostacoli fissi situati lungo i percorsi di accesso e il mantenimento di una adeguata illuminazione naturale o artificiale nei luoghi di transito dei lavoratori.

Il percorso viene dimensionato in base ai carichi di esercizio e tale dimensionamento strutturale può causare in linea generale delle criticità esclusivamente ai percorsi di tipo provvisorio; inoltre, è necessario il rispetto delle seguenti dimensioni minime per l'intero percorso:

- larghezza maggiore a 0.60 m per il solo transito dell'operatore;
- altezza libera pari o superiore a 1.80 m rispetto al piano di calpestio;
- in presenza di evidenti vincoli costruttivi, l'altezza libera minima viene ridotta a 1.20 m.

¹⁷ Art. 111, d.lgs. n. 81/08

Il percorso in verticale viene realizzato tramite tre metodologie:

- Utilizzo di scale fisse o retrattili, la cui disposizione rispetta il seguente ordine gerarchico:
 - *“scale fisse a gradini a rampe con sviluppo rettilineo;*
 - *scale retrattili fisse a gradino;*
 - *scale fisse a chiocciola;*
 - *scale fisse a pioli preferibilmente con inclinazione minore o uguale a 75°¹⁸;*
- Utilizzo di scale portatili.
- Utilizzo di ascensori o montacarichi in dotazione permanente all’edificio. [14]

In relazione alle scale fisse, non sono presenti particolari criticità da evidenziare poiché il dimensionamento strutturale di un vano scala viene effettuato utilizzando carichi di esercizio riferiti ad una situazione di massimo affollamento e i requisiti geometrici vengono definiti in fase di progettazione esecutiva dell’edificio; tuttavia, in ambito di analisi del rischio il progettista della sicurezza verifica che la geometria del vano scala permetta almeno il passaggio del singolo operatore.

Le scale fisse a pioli vengono classificate come:

- Scala fissa con due montanti verticali;
- Scala fissa con un solo montante verticale.

Secondo l’Allegato IV del d.lgs. 81/08, risulta necessario predisporre una gabbia metallica di protezione nel caso in cui la scala a pioli presenti una altezza maggiore di 5 m, in questo caso la protezione si estende a partire da una distanza rispetto al piano stabile di calpestio pari a 2.50 m [10]. In linea generale, quindi, adottando un percorso di accesso in copertura di tipo permanente costituito da una scala a pioli, si predispose come sistema di protezione una apposita gabbia metallica. Data la numerosità notevole di edifici esistenti nel territorio italiano, prima di intervenire in copertura il progettista della sicurezza deve necessariamente predisporre, se necessario, l’adeguamento di scale a pioli attraverso l’installazione della gabbia di protezione.

La gabbia metallica di protezione viene installata nella scala a pioli a partire da un’altezza superiore ai 2.50 m dal piano stabile di calpestio, tale gabbia va a raccordarsi con il parapetto del piano da raggiungere. I montanti della scala vengono prolungati di 1 m al di sopra del livello di

¹⁸ Art. 8 comma 2 f), D.P.G.R. 23 maggio 2016 n. 6/r, Regione Piemonte

quota del piano di arrivo, tale prolungamento risulta necessario al fine di garantire una presa adeguata da parte degli operatori. Nei casi in cui le scale portatili vengono utilizzate per superare dislivelli maggiori di 10 metri, si predispongono pianerottoli intermedi per far riposare gli operatori in salita; inoltre, in queste scale di elevata estensione, normalmente si installa una duplice gabbia metallica. Le scale a pioli non possono essere utilizzate da più operatori in contemporanea, si precisa che l'installazione della gabbia di protezione non è obbligatoria, a patto che si predispongano altri tipi di sistema anticaduta. Tra queste tipologie di sistemi si differenziano dispositivi di anticaduta di tipo guidato su linea di ancoraggio flessibile o rigida [15]. Si precisa che le scale a pioli anticaduta non possono essere installate per superare dislivelli oltre i 100 m.

Questa tipologia di soluzione risulta molto conveniente a causa della semplice e rapida installazione; tuttavia, le scale a pioli anticaduta presentano alcuni svantaggi in termini di operatività. A tal punto, l'impossibilità di uso contemporaneo di tale apprestamento limita fortemente le tempistiche di accesso in copertura. Questa soluzione, quindi, risulta vantaggiosa nei casi in cui in edifici esistenti non sia presente un vano scala geometricamente compatibile con le prescrizioni fino al raggiungimento della copertura.

Si riporta a titolo esemplificativo in figura 3.3 la rappresentazione schematica di una scala a pioli anticaduta.

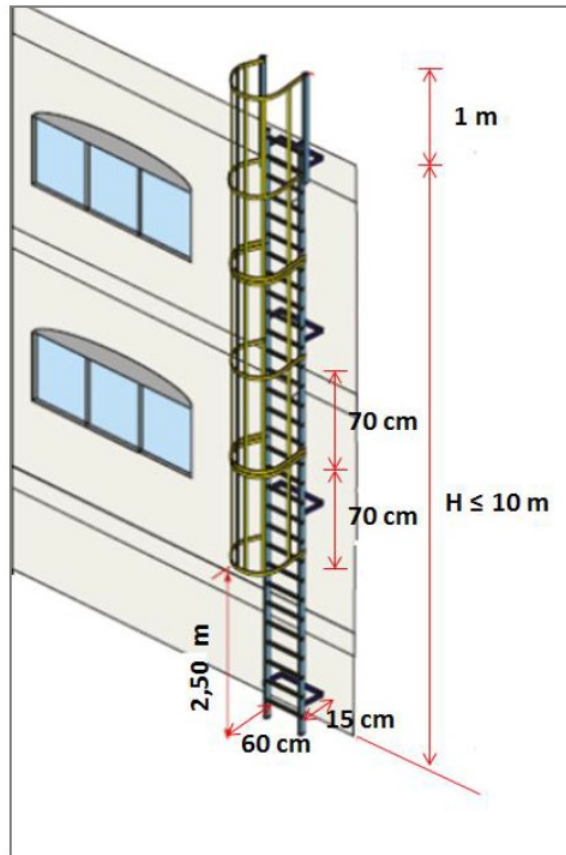


Figura 3-3-Installazione Gabbia di protezione per altezza inferiore ai 10 m- Fonte: [15]

Le scale retrattili o scale per sottotetto costituiscono una soluzione interessante per la realizzazione di percorsi di accesso in copertura in condizioni tali per cui risulta impossibile la formazione di una scala fissa a gradini tradizionale e permanente. Le scale retrattili possono essere utilizzate per dislivelli inferiori ai 3 metri; nel caso in cui la larghezza dei gradini in acciaio risulti superiore o pari a 8 cm con inclinazione della scala compresa nell'intervallo tra 15° e 60° , la soluzione di scala retrattile viene considerata di tipo permanente. Risulta altresì necessario installare dei sistemi di protezione per gli operatori in salita, tali sistemi sono semplicemente costituiti da corrimani laterali e prese per lo sbarco [15]. Questa tipologia di soluzione verrà dettagliata maggiormente nel capitolo 4 riferito al caso studio in esame; le scale retrattili spesso sono predisposte alla contestuale presenza di un vano scala o di un ascensore permanente che conduce il personale fino al piano del sottotetto. La contemporanea presenza di un vano scala fisso e di una scala retrattile nel sottotetto risulta molto efficiente, i lavoratori sopraggiungono in totale sicurezza al livello appena al di sotto della copertura per poi oltrepassare un dislivello di lieve entità utilizzando l'apprestamento retrattile. In questo senso, rispetto all'utilizzo di una scala a pioli anticaduta, la combinazione esposta comporta notevoli vantaggi in termini di operatività e di sicurezza, lo svantaggio maggiore riscontrabile risulta nuovamente l'impossibilità di trasporto materiale ingombrante in copertura. In figura 3.4 si espone una schematizzazione di scala retrattile.

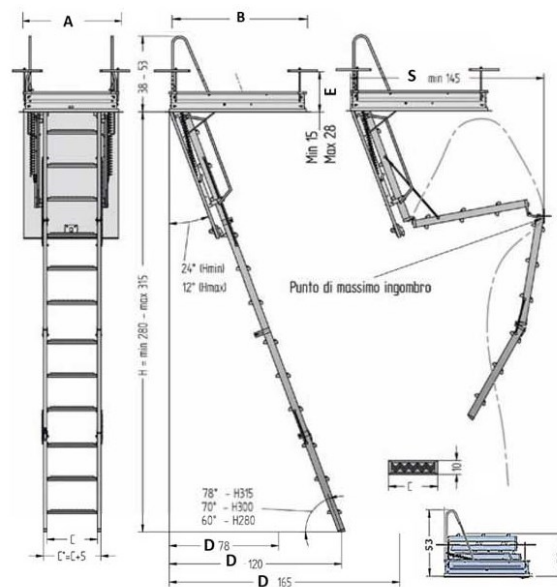


Figura 3-4--Schematizzazione di scala retrattile- Fonte:scaleretrabili.it

Le scale portatili costituiscono una soluzione di grande impiego nel settore delle costruzioni; tuttavia, in molti casi l'uso di tale apprestamento non è legittimato dalla normativa ed un elevato numero di eventi infortunistici è direttamente correlabile all'adozione inadeguata di scale portatili. Come descritto nel capitolo 2 del presente elaborato, la causa maggiore di caduta da scala portatile risulta l'errata modalità operativa dell'operatore proprio perché il lavoratore in quota a differenza di quanto visto per le scale a pioli con sistema anticaduta spesso non è dotato di dispositivi che guidano la sua attività e costituiscono un'intrinseca protezione. Il 17% delle morti totali per caduta dall'alto è correlato all'utilizzo di scale portatili, in questo senso la normativa di riferimento (D.P.G.R. Regione Piemonte 23 maggio 2016, n. 6/r) precisa che: *"per particolari e documentate esigenze di natura tecnica [...] è ammesso il ricorso ad apposite scale portatili, [...] solidamente vincolabili alla zona di sbarco e di altezza tale da sporgere a sufficienza oltre il livello di accesso"*¹⁹. Si nota, quindi, una forte limitazione dell'utilizzo di tali apprestamenti, i quali possono essere adottati esclusivamente in situazioni di vincolo tecnico che non permette l'utilizzo di altra tipologia di scala. La criticità preponderante delle scale portatili è costituita dalla possibilità di ribaltamento e scivolamento dello stesso apprestamento se non opportunamente vincolato in corrispondenza della zona di sbarco; l'operatore in salita deve dotarsi di idoneo dispositivo anticaduta mentre, un secondo operatore vigila lo svolgimento della salita dal basso. Il lavoratore in quota non è legittimato ad utilizzare la scala come piano di lavoro, ma esclusivamente come dispositivo di accesso alla copertura.

¹⁹ D.P.G.R. 23 maggio 2016 n. 6/r, Regione Piemonte

In figura 3.5 si rappresenta un esempio di scala portatile.



Figura 3-5-Schematizzazione Scala Portatile- Fonte: SFERA INGEGNERIA

Avendo dettagliato le varie tipologie di scale utilizzate per l'accesso in copertura, risulta interessante svolgere uno studio di comparazione sui costi di installazione delle soluzioni mostrate attraverso la consultazione del Prezziario Regionale della Regione Piemonte nella sezione dedicata alla sicurezza in cantiere [16]. Da questo studio viene esclusa la soluzione migliore tra tutte quelle elencate, ovvero la realizzazione di un vano scala a gradini fissi che consente lo sbarco direttamente in copertura. L'esclusione di questa tipologia di accesso viene legittimata dal costo molto elevato rispetto alle altre tipologie di scala; inoltre, l'analisi si correla alle dotazioni da adottare in situazioni di edificio esistente e di vincoli geometrici della copertura che non consentono lo sbarco tramite vano scala fisso.

Si riporta lo studio effettuato nelle tabelle seguenti.

SCALA A PIOLI CON GABBIA DI PROTEZIONE		
Proprietà Principali		
1	Elevato impatto urbanistico	
2	Livello di sicurezza elevato	
3	Limitazione ad un solo operatore in salita	
4	Fino a 100 m di dislivello	

Tabella 3-1- Proprietà scala a pioli con gabbia di protezione

COSTO [€]		
01.A40.A20.050	Scala fissa con gabbia H variabile dai 3 m fino a 5 m -	1.779,53
	Fornitura e posa in opera di scala fissa verticale con	
	gabbia di protezione alla schiena H variabile tra i 3m e i	
	5m con protezione terminale fino a metri 1,10 dal piano	
	d'uscita. Modulo terminale con uscita allargata di cm 55	
	e corrimano su entrambi i lati per favorire un comodo	
	passaggio. Pioli quadrati anti-scivolo in alluminio mm	
	30 x 30 posizionati ad un passo confortevole. Montanti	
	verticali in profilo rettangolare mm 58 x 25. Larghezza	
	esterna scala maggiorata a 520 mm. Completa di	
	gradino di sbarco e maniglioni al punto di arrivo.	
	Compresi ancoranti al supporto. Compreso	
	sollevamento e tiro in quota materiale e personale	
01.A40.A20.060	nonchè tutta la manodopera necessaria a dare il lavoro	3.458,46
	finito, compresi ripristini e sigillature nei punti di	
	foratura e fissaggio.	
	Scala fissa con gabbia H variabile oltre i 5 m e fino a	
	10 m - Fornitura e posa in opera di scala fissa	
	verticale con gabbia di protezione alla schiena H	
	variabile oltre i 5 m e fino ai 10 m con protezione	
	terminale fino a metri 1,10 dal piano d'uscita. Modulo	
	terminale con uscita allargata di cm 55 e corrimano su	
	entrambi i lati per favorire un comodo passaggio. Pioli	
	quadrati anti-scivolo in alluminio mm 30 x 30	
	posizionati ad un passo confortevole. Montanti verticali	
	in profilo rettangolare mm 58 x 25. Larghezza esterna	
	scala maggiorata a 520 mm. Completa di gradino di	
	sbarco e maniglioni al punto di arrivo. Compresi	
	ancoranti al supporto. Compreso sollevamento e tiro in	
	quota materiale e personale nonché tutta la	
	manodopera necessaria a dare il lavoro finito,	
	compresi ripristini e sigillature nei punti di foratura e fissaggio.	

Tabella 3-2- Costi scala a pioli con gabbia di protezione- Fonte: [16]

SCALA RETRATTILE		
Proprietà Principali		
1	Integrazione architettonica ottimale	
2	Livello di sicurezza adeguato	
3	Limitazione ad un solo operatore in salita	
4	Fino a 3-3.50 m di dislivello	

Tabella 3-3-- Proprietà scala retrattile

COSTO [€]		
STS-EDINET	SCALA RETRATTILE 50 x 80/280 cm	563.30
	SCALA RETRATTILE 60 x 100/280 cm	
	SCALA RETRATTILE 60 x 120/280 cm	
	SCALA RETRATTILE 70 x 80/280 cm	
	SCALA RETRATTILE 70 x 90/280 cm	
	SCALA RETRATTILE 70 x 100/280 cm	

Tabella 3-4-Costi scala retrattile- Fonte:Catalogo STS EDINET

SCALA PORTATILE		
Proprietà Principali		
1	Rapidità notevole di installazione	
2	Livello di sicurezza basso	
3	Limitazione ad un solo operatore in salita	
4	Utilizzabile solo in caso di documentati e comprovati vincoli tecnici che impediscono l'installazione delle soluzioni precedentemente riportate	

Tabella 3-5- Proprietà scala portatile

Il costo delle scale portatili è molto vario ed è correlato all'altezza dell'apprestamento, tuttavia a seguito di consultazione di vari cataloghi di diverse aziende produttrici, si può attestare che il costo di una scala portatile di alluminio allungabile fino ai 10 m di altezza oscilla tra € 700 e € 1000. Si nota facilmente come il costo di una scala portatile sia decisamente inferiore al costo di una scala a pioli con gabbia di protezione metallica avente stessa altezza; inoltre, la facilità di disposizione comporta un utilizzo maggiore delle scale portatili rispetto a quelle fisse con protezione. L'utilizzo elevato di tale tipologia di apprestamento comporta, inevitabilmente, un aumento del numero di eventi infortunistici; pertanto, è necessario un maggiore controllo da parte dei soggetti coinvolti nel settore edilizio e delle autorità competenti rivolto al rispetto della normativa, che consente solo in via eccezionale la disposizione di scale portatili.

I dati sopra riportati conducono alla individuazione della soluzione più efficiente in termini di operatività e costi, applicabile a situazioni tali per cui non è tecnicamente possibile accedere in copertura tramite un vano scala fisso a gradini, sia la disposizione combinata del vano scala a gradini e di una scala retrattile da sottotetto dal momento che solitamente l'altezza del sottotetto stesso sia inferiore ai 3.5 metri. Tale soluzione viene applicata al caso studio del capitolo 4 nel presente elaborato di tesi.

3.1.3.1 Requisiti geometrici normativi dell'accesso in copertura

Al fine di completare la caratterizzazione della copertura con le proprie caratteristiche geometriche e le tipologie di percorso, è necessario dettagliare i requisiti geometrici dell'accesso in copertura imposti dalla normativa. Il riferimento normativo consiste nuovamente nel D.P.G.R. 23 maggio 2016 n. 6/r Regione Piemonte, il quale caratterizza l'accesso in copertura attraverso i seguenti punti:

- Il tipo prioritario di accesso in copertura da disporre consiste nella tipologia interna e permanente, accesso che deve necessariamente garantire il transito in sicurezza degli operatori e del materiale necessario. In caso di accesso esterno, è necessario esplicitare le motivazioni di tale scelta nell'elaborato tecnico.
- Le dimensioni dell'accesso interno devono rispettare i seguenti valori:
 - Accesso costituito da apertura verticale, apertura minima di 0.70 metri e altezza minima di 1.20 metri;
 - Accesso costituito da apertura orizzontale o inclinata, superficie uguale o superiore ai 0.50 mq e apertura minima di 0.70 metri;
- Il punto di accesso deve avere una distanza con il primo punto del sistema di ancoraggio permanente tale per cui l'operatore riesca ad agganciare il proprio dispositivo di protezione individuale prima dello sbarco in copertura;
- Si dispongono in prossimità dell'accesso indicazioni sull'obbligo di utilizzo di DPI, identificazione del sistema di ancoraggio permanente e rappresentazione attraverso planimetria in scala,

In figura 3.8 si rappresenta una schematizzazione del punto di accesso in copertura, in questo caso si tratta di un accesso interno al fabbricato. Si precisa che per particolari condizioni di edifici esistenti l'accesso in copertura può avvenire dall'esterno e di carattere temporaneo.

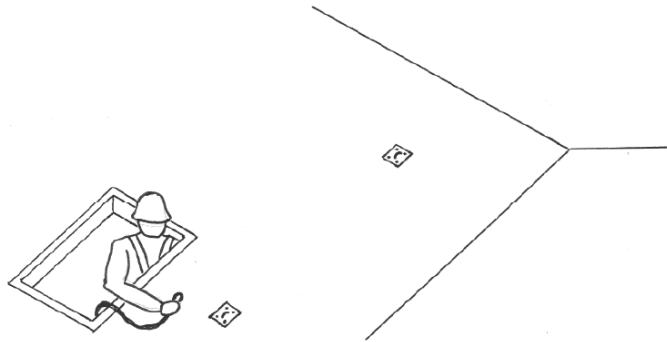


Figura 3-5- Schematizzazione accesso in copertura dall'interno del fabbricato- Fonte: [12]

3.2 Metodologie di riduzione del rischio di caduta dall'alto: DPC e DPI

La riduzione dell'entità del valore del rischio, inteso come prodotto tra magnitudo e probabilità di accadimento, viene ottenuta attraverso la limitazione di uno dei due fattori della convoluzione stessa; in particolare, come già citato nel capitolo 2 del presente elaborato, il progettista della sicurezza dispone misure preventive e protettive al fine garantire un adeguato livello di rischio residuo inferiore ai limiti di accettabilità imposti dalla normativa. Analogamente alle varie tipologie di rischio presenti in tutti i settori produttivi, nel rischio di caduta dall'alto si ottiene una riduzione della magnitudo del rischio adottando dispositivi di protezione collettiva (DPC) e dispositivi di protezione individuale (DPI). Nella moderna cultura della sicurezza, come proposto dal d.lgs. 81/08, si conferisce una netta priorità nell'utilizzo di dispositivi di protezione collettiva rispetto a dispositivi individuali; tale priorità rappresenta intrinsecamente misura di prevenzione. L'utilizzo preferenziale di DPC, infatti, riduce notevolmente l'aspetto aleatorio della esposizione a un rischio specifico da parte dell'operatore: attraverso un sistema di protezione comune si dispone di maggiore controllo in fase operativa e durante le varie fasi di formazione ed addestramento; in particolare, la disposizione di sistemi collettivi consente una protezione passiva a ciascun lavoratore presente in uno stesso luogo di lavoro nelle diverse fasi lavorative. L'utilizzo di sistemi individuali, viceversa, fornisce al singolo lavoratore una protezione attiva, poiché il singolo lavoratore, oltre ad essere formato e addestrato, deve procedere in autonomia al corretto

utilizzo del dispositivo di protezione individuale fornito dal datore di lavoro. Nel settore edile, sovente, si innescano situazioni di criticità corrispondenti alla insorgenza di eventi infortunistici poiché nella cultura operativa la sicurezza in cantiere viene associata direttamente all'utilizzo dei comuni DPI (guanti, casco, scarpe antinfortunistiche), tuttavia in una struttura gerarchica di progettazione la disposizione di DPI risulta uno dei passi finali della procedura di riduzione del rischio. Esistono situazioni per cui si sceglie di non disporre di DPC, ma di utilizzare direttamente dispositivi individuali a cura di particolari condizioni operative; nel presente elaborato di tesi, in particolare nella analisi di un caso reale di progettazione nel capitolo 4, si studia nel dettaglio la disposizione in copertura di un sistema di ancoraggio permanente che costituisce essenzialmente un dispositivo di protezione individuale.

In linea generale, il coordinatore della sicurezza si interfaccia con la gestione del cantiere seguendo il flusso descritto in tabella 3.6.

Flusso operativo del coordinatore
Rischio $R = M \cdot P$ (magnitudo*probabilità di accadimento)
Misure di prevenzione- riduzione della probabilità P
Utilizzo prioritario di DPC- riduzione della magnitudo M
Utilizzo di DPI- riduzione della magnitudo M e gestione rischio residuo

Tabella 3-6- Descrizione del flusso operativo del CSP

La priorità consiste nella riduzione del valore della probabilità di accadimento, successivamente si abbate la magnitudo, confinando l'entità analitica del rischio in una soglia di accettabilità, la gestione del rischio residuo viene affidata alla disposizione di DPI. Nella realtà operativa, il coordinatore prescrive una soluzione combinata nell'utilizzo simultaneo di DPC e DPI.

I principali dispositivi di protezione collettiva utilizzati per la riduzione del rischio di caduta dall'alto possono elencarsi in:

- Ponteggio;
- Parapetti;
- Trabattelli;
- Reti di sicurezza;
- Piattaforma di lavoro elevabile (PLE).

Nei paragrafi successivi si effettua una analisi dettagliata dei vari dispositivi sopra elencati.

3.2.1 Analisi di ponteggi

I ponteggi sono opere provvisorie di carattere temporaneo allestite per la realizzazione, la manutenzione e il recupero di opere edilizie. La classificazione delle diverse tipologie di ponteggio avviene secondo quattro criteri principali:

- Materiale costituente la struttura del ponteggio;
- Altezza dell'apprestamento e dell'opera edilizia di riferimento;
- Elementi costruttivi utilizzati;
- Classe di carico del ponteggio.

La classificazione di un ponteggio è una valutazione assolutamente necessaria ed eseguita dal progettista, il quale attraverso la determinazione e la scelta della tipologia più idonea da utilizzare per le opere da eseguire definisce le procedure atte all'installazione e allo smontaggio del ponteggio, nonché stima il valore economico dell'utilizzo di tale apprestamento da conteggiare nei cosiddetti costi della sicurezza. Il materiale comunemente adottato nella realizzazione dei ponteggi è l'acciaio; tuttavia, storicamente i ponteggi venivano costituiti in legno, materiale che secondo la normativa vigente è ancora ammissibile, ma non più utilizzato per condizioni sfavorevoli di analisi costi- benefici nonché a causa di una scarsa durabilità e versatilità.

Il tipo di acciaio impiegato nei ponteggi si differenzia a seconda degli elementi costruttivi e strutturali che compongono l'apprestamento; in linea generale, si può affermare che il materiale utilizzato risulta acciaio di tipo S235JR per i montanti, i correnti ed i traversi. Mentre gli elementi di collegamento vengono realizzati con un acciaio di tipo S355JR.

Si riportano le caratteristiche dei materiali sopra citati nelle tabelle 3.7 e 3.8.

Acciaio S235JR, impiegato per montanti, traversi e correnti					
Spessore nominale t dell'elemento considerato					
t ≤ 40 mm			40 mm < t ≤ 80 mm		
fyk [N/mm ²]		ftk [N/mm ²]	fyk [N/mm ²]		ftk [N/mm ²]
235		360	215		360
JR		Resilienza misurata attraverso Prova a pendolo di Charpy			
T [°C]			Charpy Energy CVN Jmin [Joule]		
20			27		

Tabella 3-7- Caratteristiche meccaniche acciaio s235JR

Acciaio S355JR, impiegato per collegamenti					
Spessore nominale t dell'elemento considerato					
t ≤ 40 mm			40 mm < t ≤ 80 mm		
fyk [N/mm ²]		ftk [N/mm ²]	fyk [N/mm ²]		ftk [N/mm ²]
355		510	335		470
JR		Resilienza misurata attraverso Prova a pendolo di Charpy			
T [°C]			Charpy Energy CVN Jmin [Joule]		
20			27		

Tabella 3-8- Caratteristiche meccaniche acciaio s355JR

I valori di riferimento contenuti nelle tabelle sono ricavati dalla norma tecnica UNI EN10025-2, in cui:

- f_{yk} : tensione di snervamento misurata in N/mm² (Mpa);
- f_{tk} : tensione di rottura misurata in N/mm² (Mpa);

Si nota come l'acciaio utilizzato per la realizzazione dei collegamenti sia maggiormente performante dal punto di vista strutturale rispetto al tipo di acciaio impiegato per gli elementi da collegare, quali montanti trasversi e correnti, la motivazione risiede nel criterio di progettazione proprio della gerarchia delle resistenze, in cui si prevede una sostanziale salvaguardia degli elementi di collegamento.

L'altezza del ponteggio, contestualmente alla specifica disposizione geometrica, costituisce il discriminante principale in termini di normativa e di documentazione necessaria per l'installazione del ponteggio stesso; a tal punto, un ponteggio standard la cui altezza non superi i 20 metri rispetto al piano di posa e la cui disposizione geometrica sia contenuta negli "*schemi tipo*" delle Autorizzazioni Ministeriali, correlate all'opera provvisoria di riferimento, non necessita di progettazione strutturale. Nei casi in cui almeno una delle due condizioni sopra riportate non sia rispettata, vi è la necessità di un progetto strutturale per poter procedere alla installazione del ponteggio stesso. A prescindere dall'esecuzione del progetto, il ponteggio viene sempre corredato del Pi.M.U.S., documento contenente il disegno esecutivo dell'opera provvisoria e delle prescrizioni operative di montaggio e smontaggio degli elementi costituenti. Il disegno esecutivo costituisce uno strumento fondamentale per guidare a livello operativo il personale responsabile dell'installazione del ponteggio, inoltre, attraverso una precisa rappresentazione grafica del quantitativo degli elementi da utilizzare per la disposizione del ponteggio, è possibile stimare in maniera accurata il costo del nolo del ponteggio per i tempi necessari a svolgere le lavorazioni e il costo così calcolato viene computato nella sezione relativa ai costi della sicurezza contenuta in un eventuale PSC. Nel Pi.M.U.S. vengono ulteriormente considerati i vari dispositivi anticaduta da usare nelle fasi di montaggio e smontaggio del ponteggio, con annessa valutazione del rischio delle varie fasi delle procedure, i contenuti di tale documento vengono meglio dettagliati nell'Allegato XII del D.lgs. 81/08.

La distinzione tra i vari elementi costruttivi del ponteggio consente un'ulteriore classificazione dell'opera provvisoria in tre tipologie:

- ponteggio a tubi e giunti;
- ponteggio a telai prefabbricati;
- ponteggio multidirezionale.

Il ponteggio a tubi e giunti risulta la tipologia maggiormente diffusa e standardizzata nel settore dell'edilizia, tale tipologia viene caratterizzata dalla presenza di profilati di tipo cavo (tubi) che

vengono collegati tra loro attraverso i giunti. La struttura da realizzare può assumere diverse disposizioni geometriche proprio grazie alla tecnologia del montaggio consentendo una elevata versatilità in grado di eludere la maggioranza dei vincoli fissi propri della struttura oggetto di intervento [11]. Il montaggio di un ponteggio a tubi e giunti non è caratterizzato da elevata rapidità; tuttavia, poiché tale tecnologia di installazione risulta quella più standardizzata e compatibile alla maggioranza degli edifici esistenti presenti nel territorio, questo tipo di soluzione costituisce la maggioranza dei ponteggi installati nel settore edile.

Il ponteggio a telai prefabbricati viene installato adottando come elemento di base il cavalletto, ovvero un elemento metallico in cui sono presenti dislocazioni in grado di consentire la disposizione di ulteriori componenti, quali ad esempio controventatura formata da diagonali o parapetti. Il principale vantaggio di questa tipologia di opera provvisoria rispetto alla classica installazione a tubi e giunti consiste nella elevata rapidità di montaggio: dal momento che gli elementi costituenti risultano tutti prefabbricati; tuttavia, l'utilizzo di questa tipologia di telai comporta una forte riduzione della versatilità e della compatibilità geometrica con edifici esistenti. La tecnologia a telai prefabbricati rappresenta una soluzione molto interessante ed efficiente per edifici con forme geometriche lineari [11]. Si constata un importante abbattimento nelle tempistiche di installazione e una sostanziale riduzione dei rischi correlati alle fasi di montaggio e smontaggio nonché all'utilizzo del ponteggio stesso poiché, rispetto alla tecnologia a tubi e giunti, vi è una minore interdipendenza tra una precisa procedura di montaggio e la corretta stabilità dell'opera.

Il ponteggio multidirezionale è una soluzione che combina i vantaggi esposti precedentemente per le due tipologie di tubi e giunti e telai prefabbricati; in questo tipo di ponteggio si mantiene sia la versatilità geometrica in grado di disporre l'opera provvisoria in maniera del tutto compatibile alla geometria dell'edificio da servire, sia l'elevata rapidità di installazione. Nonostante gli enormi vantaggi di questa tipologia, non vi è un forte impiego della tecnologia multidirezionale a causa di una importante onerosità e una bassa diffusione nel settore edilizio.

La classificazione dei ponteggi, infine, viene condotta ulteriormente in correlazione alle classi di carico, in particolare si elencano due tipologie di ponteggio:

- Ponteggio da manutenzione;
- Ponteggio da costruzione.

In tabella 3.8 si riportano i valori di riferimento delle classi di carico sopra citate.

Classi di carico	Carico uniformemente distribuito	Carico concentrato su area 0.5m*0.5m
	[KN/mq]	[KN]
Ponteggio da manutenzione	1.50	1.50
Ponteggio da costruzione	3.00	3.00

Tabella 3-8- Classi di carico- valori desunti da normativa

A seguito della installazione di qualsiasi tipologia di ponteggio, la normativa impone specifiche verifiche da eseguire in archi temporali differenti, in particolare:

- “verifiche di primo impianto;
- verifiche durante l’uso;
- verifiche eccezionali.”²⁰

3.2.2 Analisi parapetti e brevi cenni su ulteriori DPC

I parapetti costituiscono un dispositivo di protezione collettiva correlato al transito e alla esecuzione di lavorazioni in quota molto diffuso nel settore dell’edilizia, presentando un costo modesto e una installazione non particolarmente critica. In linea generale, è possibile effettuare una classificazione dei parapetti potenzialmente collocabili in copertura, la prima discriminante da considerare consiste nel carattere permanente o temporaneo del parapetto stesso.

Il parapetto si definisce come un dispositivo composto da almeno due montanti, un corrente principale, un corrente intermedio e un eventuale arresto al piede [12]. A livello normativo, tale dispositivo viene caratterizzato dal d.lgs. 81/08 nell’allegato IV; in particolare, secondo la normativa, il materiale costituente il parapetto deve risultare rigido e in buono stato di conservazione. L’altezza minima utile del parapetto risulta pari a 1 metro, il dimensionamento e il fissaggio vengono calcolati attraverso la valutazione del massimo carico agente sul parapetto stesso.

²⁰ La progettazione della sicurezza nel cantiere, INAIL 2015

Al fine di analizzare il rischio di caduta dall'alto, risulta interessante approfondire l'installazione di parapetti provvisori, i quali riducono notevolmente il valore del rischio consentendo sostanzialmente l'arresto dell'operatore in caduta; tuttavia, risulta necessario considerare la presenza di alcuni rischi specifici correlati alla installazione dei parapetti. Un esempio della presenza di rischi specifici, relativi a tali dispositivi, è costituito dal pericolo di urto tra operatore in caduta e lo spigolo di un parapetto provvisorio; quindi, al fine di poter non considerare la pericolosità intrinseca della disposizione di parapetti e concentrare l'analisi relativamente a evidenti benefici scaturiti dalla presenza di questi dispositivi, il progettista della sicurezza si attiene con estrema precisione alle indicazioni dimensionali e strutturali fornite dalla normativa di riferimento italiana ed europea, costituita dal d.lgs. 81/08 e dalla norma UNI 13374:2013.

Lo schema di assemblaggio di un parapetto provvisorio viene rappresentato in figura 3.9.

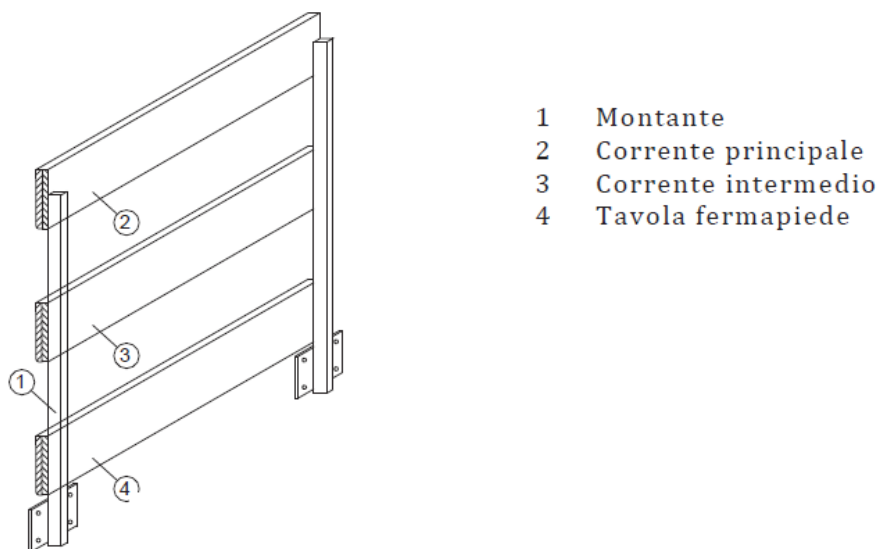


Figura 3-6-Schematizzazione Parapetto Provvisorio- Fonte: [12]

Nella realizzazione di un parapetto si predispongono quindi due montanti, costituenti gli elementi portante dell'intero dispositivo, fissati sul bordo della copertura; ai montanti vengono ammorati un corrente principale posto ad una altezza pari o superiore ad 1 metro rispetto il piano di lavoro e un corrente intermedio posizionato ad una quota pari alla metà del dislivello tra piano di lavoro e corrente principale. L'assemblaggio del parapetto viene completato dalla eventuale presenza di

una tavola fermapiede posizionata ad una quota superiore o pari a 0.15 metri rispetto il piano di lavoro [12]. Il parapetto può essere costruito direttamente in cantiere con materiali quali legno o acciaio; tuttavia, solitamente si dispongono dispositivi prefabbricati di acciaio, i cui requisiti prestazionali vengono opportunamente controllati attraverso le prove esposte nella UNI 13374 e certificati dal fabbricante.

La norma tecnica UNI 13374 fornisce una classificazione di parapetti provvisori fondata sulla suddivisione in tre categorie: A, B e C; la differenziazione in tre categorie si basa sui requisiti prestazionali che i dispositivi devono soddisfare: funzionalità di protezione e resistenza all'urto. I requisiti citati si traducono in differenti proprietà geometriche di ciascuna categoria.

La classe A identifica parapetti dimensionati in modo da resistere a carichi statici, in particolare tali dispositivi sono in grado di sorreggere un operatore appoggiato al dispositivo stesso e di consentire l'arresto caduta di un operatore nella direzione del dispositivo [17]. I parapetti di classe A possono essere disposti su coperture con una inclinazione minore ai 10° , i requisiti geometrici da soddisfare risultano:

- la distanza tra l'estremo superiore del corrente principale e il piano di lavoro deve risultare maggiore di 1 m;
- la distanza tra bordo superiore del fermapiede e il piano di lavoro deve risultare maggiore di 0.15 m;
- lo spazio libero tra i correnti deve risultare inferiore a 0.47 m;
- l'angolo di inclinazione tra il parapetto e la verticale deve risultare inferiore ai 15° . [17]

I parapetti di classe B sono dimensionati al fine di resistere a carichi statici e ai carichi dinamici di bassa intensità; in particolare, oltre ai requisiti prestazionali forniti dai parapetti di classe A, tali dispositivi sono in grado di consentire l'arresto di un operatore in caduta su piano di lavoro inclinato [17]. Tali dispositivi vengono installati su coperture di inclinazioni fino a 30° e di inclinazioni fino a 60° con una altezza di caduta inferiore ai cinque metri.

I requisiti geometrici dei parapetti provvisori di classe B sono:

- la distanza tra l'estremo superiore del corrente principale e il piano di lavoro deve risultare maggiore di 1 m;
- la distanza tra bordo superiore del fermapiede e il piano di lavoro deve risultare maggiore di 0.15 m;
- lo spazio libero tra i correnti si riduce a un valore massimo pari a 0.25 m;
- l'angolo di inclinazione tra il parapetto e la verticale deve risultare inferiore ai 15°. [17]

Infine, i parapetti di classe C resistono a carichi statici e a elevati carichi dinamici: tali dispositivi consentono l'arresto di un operatore in caduta su un piano di lavoro fortemente inclinato [17]. I parapetti provvisori di classe C sono disposti su coperture aventi una inclinazione compresa tra 30° e 45° e su coperture con inclinazione compresa tra i 45° e i 60° con altezza di caduta inferiore ai cinque metri, i requisiti geometrici sono di seguito elencati:

- la distanza tra l'estremo superiore del corrente principale e il piano di lavoro deve risultare maggiore di 1 m;
- la distanza tra bordo superiore del fermapiede e il piano di lavoro deve risultare maggiore di 0.15 m;
- lo spazio libero tra i correnti si riduce a un valore massimo pari a 0.10 m;
- la retta di inclinazione del parapetto deve essere compresa tra la retta in direzione verticale e la retta perpendicolare al piano di lavoro. [17]

Il progettista della sicurezza sceglie di adottare questi dispositivi di protezione collettiva considerando sia le caratteristiche strutturali e geometriche della copertura, in modo tale da consentire un idoneo ancoraggio dei parapetti provvisori di specifica classe, in relazione alle lavorazioni da effettuare.

Si riporta un grafico relativo ai criteri di scelta della classe di parapetto da disporre in relazione alla inclinazione della copertura e alla altezza di caduta dell'operatore in figura 3.10

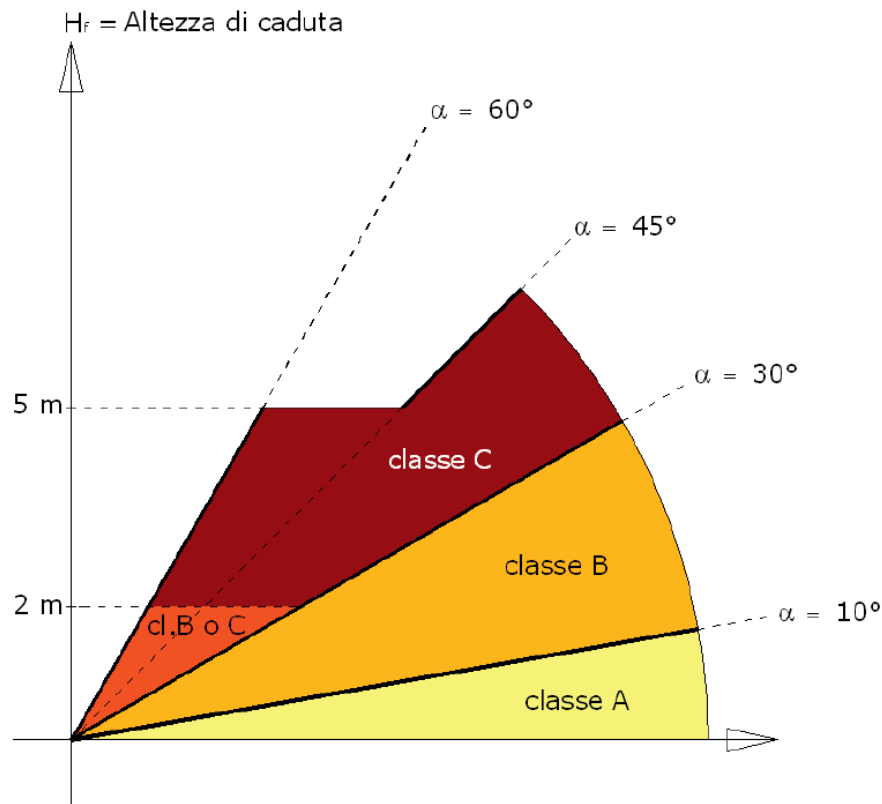


Figura 3-7-Criteri di scelta di parapetti provvisori- Fonte: [17]

Si nota come, per coperture con inclinazione superiore ai 60° e/o con altezza di caduta maggiore di cinque metri, la normativa non consente l'utilizzo di parapetti provvisori come dispositivo di protezione collettiva, si deve quindi optare per una soluzione differente che può essere costituita dalla installazione di un ponteggio o della installazione di un sistema di ancoraggio anticaduta permanente o provvisorio.

Si effettua una analisi in termini di costi relativi alla disposizione di parapetti provvisori in copertura; si vede come nei prezzi regionali il costo venga riportato considerando come unità di misura il metro lineare e, considerando coperture non troppo estese con inclinazioni e geometria compatibile alle disposizioni normative, la scelta di disporre parapetti provvisori risulti economicamente conveniente rispetto alla installazione di un ponteggio.

Si riporta lo studio eseguito in tabella 3.9, con voci di riferimento ricavato dal Prezzario Regionale della Regione Piemonte.

COSTO [€]		[m]
01.A40.A10.005	Parapetto in alluminio autoportante idoneo anche per installazioni provvisorie (protezione dei bordi luogo di lavoro in quota) - Fornitura e posa in opera di dispositivo di protezione collettiva contro le cadute dall'alto costituito da parapetto in alluminio, conforme e certificato ai sensi delle norme D.Lgs. 81/2008 e UNI EN ISO 14112-3. Installazione conforme alle indicazioni del produttore ed al progetto, esclusi eventuali ripristini dell'impermeabilizzazione o del manto di copertura, escluse opere di lattoneria ma compreso quanto necessario a dare il lavoro finito, compreso rilascio di Dichiarazione di corretta installazione. Esclusa la fornitura di carpenterie specifiche o accessori. Il sistema è predisposto per una altezza di 1100 mm.	164.40 €
01.A40.A10.010	Parapetto in alluminio a fissaggio su piano orizzontale (protezione dei bordi luogo di lavoro in quota) - Fornitura e posa in opera di dispositivo di protezione collettiva contro le cadute dall'alto costituito da parapetto in alluminio, conforme e certificato ai sensi delle norme D.Lgs. 81/2008 e UNI EN ISO 14112-3. Installazione conforme alle indicazioni del produttore ed al progetto, esclusi eventuali ripristini dell'impermeabilizzazione o del manto di copertura, escluse opere di lattoneria ma compreso quanto necessario a dare il lavoro finito, compreso rilascio di Dichiarazione di corretta installazione. Esclusa la fornitura di carpenterie specifiche o accessori. Il sistema è predisposto per una altezza di 1100 mm.	133.78 €

Tabella 3-9- Costi Parapetti Provvisori- Fonte:

Al fine di completare l'analisi relativa ai DPC correlati al rischio caduta dall'alto, è utile presentare alcuni cenni riguardo un sistema di protezione adottato in alcuni casi nei cantieri temporanei o mobili, ovvero le reti di sicurezza. Tale sistema viene definito come: *“dispositivi di protezione collettiva (DPC) destinati alla protezione di persone e/o cose contro le cadute dall'alto, costituiti da reti e da intelaiature di sostegno”*²¹.

²¹ Quaderno Tecnico per i cantieri temporanei e mobili- Reti di sicurezza-INAIL 2018

Il d.lgs. 81/08 non fornisce un riferimento esplicito riguardo le reti di sicurezza, poiché nella tradizione edilizia tali dispositivi non risultano frequentemente applicati e si preferisce adottare i sistemi citati in precedenza per la protezione collettiva dei lavoratori; tuttavia, esistono applicazioni nel settore edilizio in cui queste reti possono essere predisposte con destinazione d'uso alla protezione dei lavoratori e di materiale in caduta. La normativa tecnica europea costituita dalla UNI EN 1263-1:2015 e dalla UNI 1263-2:2015 identifica una classificazione delle reti di sicurezza secondo la classe, che definisce sia le dimensioni della maglia sia le caratteristiche di resistenza rappresentata dalla quantità di energia d'urto in grado di essere assorbita, e secondo il sistema, che definisce le modalità di impiego e il tipo di supporto della rete.

In particolare, si identificano quattro classi:

- Classe A1, con una dimensione massima della maglia (I_m) pari a 60 mm e con una energia agente (E) pari a 2.3 KJ;
- Classe A2, con una dimensione massima della maglia (I_m) pari a 100 mm e con una energia agente (E) pari a 2.3 KJ;
- Classe B1, con una dimensione massima della maglia (I_m) pari a 60 mm e con una energia agente (E) pari a 4.4 KJ;
- Classe B2, con una dimensione massima della maglia (I_m) pari a 100 mm e con una energia agente (E) pari a 4.4 KJ.

Si identificano due tipologie di sostegno principali: sistemi per l'impiego orizzontale (S, T) e sistemi per l'impiego verticale (U, V). Il sistema S prevede la presenza di una fune nella zona perimetrale della rete di sicurezza, posizionata orizzontalmente; tale tipologia di sistema prevede delle dimensioni minime indicate dalla normativa tecnica UNI, in particolare si richiede una superficie minima pari a 35 mq e una lunghezza del lato corto non inferiore ad un'estensione pari a 5 metri. Il sistema T consiste in una rete di sicurezza posizionata orizzontalmente e fissata ad un telaio metallico; relativamente ai sistemi ad impiego verticale, il sistema U prevede il fissaggio ad una intelaiatura, mentre il sistema V è formato da rete di sicurezza posizionata verticalmente con fune sul bordo. [18]

Si effettua un'analisi riguardo i costi per l'installazione delle reti di sicurezza, in particolare di un sistema orizzontale S; i valori di riferimento sono desunti dal Prezzario Regionale 2020 della Regione Piemonte. Inoltre, la normativa prevede una superficie di estensione minima pari a 35 mq, si considera, a titolo esemplificativo, una rete di sicurezza con estensione pari a 40 mq per il calcolo del costo totale di installazione; lo studio eseguito viene riportato in tabella 3.10.

COSTO [€]		[mq]
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: 5,00x10,00 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.	2,20
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).	5,23
28.A10.B10.010	TRECCIA PER GIUNZIONE in poliestere. Dimensioni: bobina da 100,00 m.	45,93 cad.
Calcolo costo ipotetico di una rete di sicurezza di estensione 40 mq		
	2.20 €/mq *40 mq +	88.00 €
	5.23€/mq*40 mq +	209.20 €
	45.93 €	45.93 €
	Costo totale di installazione	343.13 €
	a cui si aggiunge costo della cinghia di bordo (si arrotonda per eccesso)	400.00 €

Tabella 3-10- calcolo costo installazione rete di sicurezza tipo S di sup 40mq- Valori desunti da Prezzario Regionale 2020-Regione Piemonte

Dall'analisi rappresentata in tabella 3.10 si nota come il costo di installazione di una rete di sicurezza sia piuttosto contenuto; tuttavia, esistono diverse criticità correlate all'impiego di tali dispositivi. Oltre alla particolarità geometrica specifica di ciascun contesto di applicazione, le reti di sicurezza presentano una durabilità non elevata a causa di una scarsa resistenza verso l'esposizione ad agenti atmosferici di vario tipo e ai raggi UV [18]. A tal proposito, si prevede l'ispezione di questi dispositivi ogni cinque anni e, in caso di riscontro di anomalie o in caso di un singolo evento di caduta dall'alto dell'operatore, si impone la sostituzione delle reti. Queste criticità, in aggiunta alla prevalenza di dispositivi collettivi tradizionali, comportano una scarsa diffusione delle reti di sicurezza nel settore edile, nonostante i costi contenuti.

3.3 Dispositivi di protezione individuale contro la caduta dall'alto: sistemi di ancoraggio, requisiti progettuali.

I dispositivi di protezione individuale costituiscono una misura di protezione e prevenzione molto efficace al fine di ridurre il rischio di caduta dall'alto; nonostante i criteri di progettazione generale contenuti nel Testo Unico indicano la gerarchica priorità di scelta dei dispositivi collettivi rispetto a quelli individuali, esistono situazioni tali per cui l'installazione di DPI risulta un'ottima scelta progettuale in termini di benefici riguardo la sicurezza e i costi. Un esempio pratico, analizzato nel capitolo 4 del presente elaborato, può essere descritto dalla necessità di accedere in copertura per ispezione o manutenzione in condizioni di sicurezza ed evitando la predisposizione di un ponteggio ogni qualvolta si presenta tale necessità. In questi casi, si nota come l'utilizzo di dispositivi di protezione individuali rappresenti la soluzione migliore, come suggerito dalle normative regionali che impongono l'obbligo di installazione di tali sistemi.

In questo paragrafo si vogliono descrivere i principali requisiti e caratteristiche dei sistemi di protezione anticaduta e di ancoraggio in modo da delineare le conoscenze necessarie alla progettazione e alla verifica di tali dispositivi. La prevenzione rispetto la caduta dall'alto viene garantita attraverso la combinazione di sistemi di ancoraggio permanenti posizionati in copertura e sistemi anticaduta.

La progettazione corretta del sistema di ancoraggio permanente diventa, quindi, elemento indispensabile per poter operare in copertura in condizioni di totale sicurezza; a livello normativo, tali sistemi vengono ampiamente caratterizzati dalle norme UNI EN 735:2012, UNI 11560:2014 e UNI 1158:2015, le quali forniscono sia i requisiti principali sia le indicazioni progettuali per le comuni tipologie di copertura.

Il sistema di ancoraggio è costituito da tre principali elementi:

- la struttura di supporto;
- l'ancorante;
- l'elemento da fissare.

L'ancoraggio, quindi, permette la connessione tra la struttura di supporto, rappresentata nel caso di valutazione del rischio di caduta dall'alto come il materiale di base costituente la copertura, e l'elemento da fissare, inteso come sede del collegamento di un eventuale sistema di protezione anticaduta, attraverso il cosiddetto ancorante. Si riporta una schematizzazione di un sistema di ancoraggio, normativa sopra, in figura 3.8.

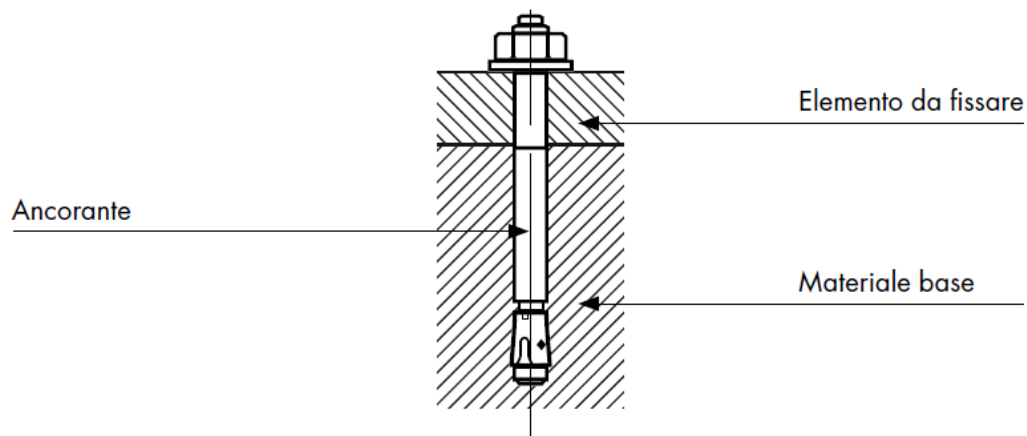


Figura 3-8-Schematizzazione Sistema di ancoraggio- Fonte: [19]

La classificazione delle diverse tipologie di ancoraggio viene effettuata considerando molteplici discriminanti, di particolare interesse risulta la differenza teorica tra ancoraggio di tipo puntuale e ancoraggio di tipo lineare; l'ancoraggio puntuale presenta un collegamento con il sistema di protezione anticaduta attraverso un punto stazionario e non scorrevole, mentre l'ancoraggio lineare presenta lo stesso collegamento attraverso una linea flessibile o rigida ed il sistema risulta scorrevole lungo tale linea [12]. L'utilizzo simultaneo di più ancoraggi puntuali o lineari determina la creazione di un sistema di ancoraggi che viene definito come esclusivamente puntuale, esclusivamente lineare o combinato.

La normativa, inoltre, classifica i dispositivi di ancoraggio in cinque categorie, ciascuna delle quali può presentare un carattere permanente o provvisorio e peculiarità dettate dal principio di funzionamento.

In particolare, si identificano:

- Dispositivi di ancoraggio di tipo A, formati da uno o più punti di ancoraggio stazionari di tipo permanente;
 - Dispositivi di ancoraggio di tipo B, formati da uno o più punti di ancoraggio stazionari di tipo provvisorio;
 - Dispositivi di ancoraggio di tipo C, costituiti da una linea di ancoraggio flessibile che permette una deviazione massima di 15° dall'orizzontale e di carattere permanente;
 - Dispositivi di ancoraggio di tipo D, la linea di ancoraggio risulta rigida con deviazione massima pari a 15° ;
 - Dispositivi di ancoraggio di tipo E, uso su superfici inclinate fino a 5° , il cui funzionamento è determinato dalla massa e dall'attrito tra dispositivo e superficie stessa.
- [20]

Si riportano in figura 3.9 e in figura 3.10 le schematizzazioni con relativa legenda dei dispositivi di ancoraggio di tipo A e di tipo C, dispositivi maggiormente usati nel settore edilizio.

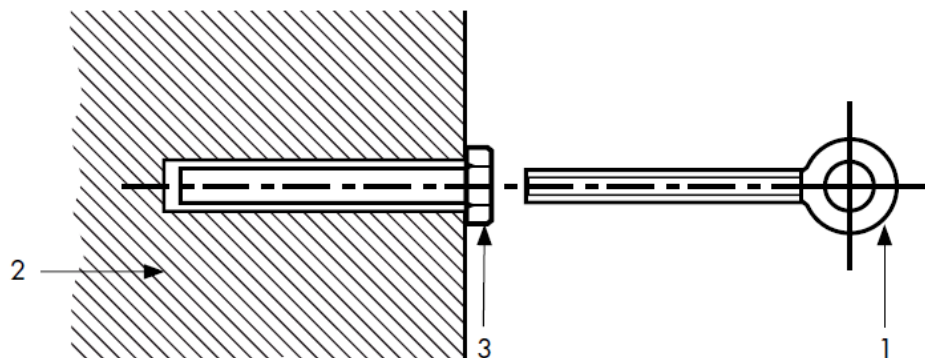


Figura 3-9-Dispositivo di ancoraggio di tipo A- Fonte: [19]

In cui:

- 1- Punto di ancoraggio
- 2- Struttura di base
- 3- Ancoraggio strutturale

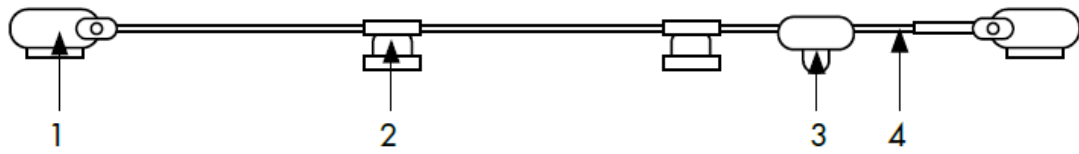


Figura 3-10-Dispositivo di ancoraggio di tipo C—Fonte: [19]

In cui:

- 1- Ancoraggio di estremità
- 2- Ancoraggio intermedio
- 3- Connettore, punto di ancoraggio mobile
- 4- Linea di ancoraggio flessibile

I criteri di progettazione dei sistemi di ancoraggio a livello concettuale vengono descritti attraverso un parallelismo che prevede il rispetto di particolari requisiti geometrici e prestazionali; la corretta disposizione in copertura degli ancoraggi deve garantire la prevenzione nei confronti delle cadute dall'alto, contestualmente al rispetto dei requisiti strutturali, i quali permettono l'efficienza del collegamento tra l'elemento da fissare e la struttura di base; quest'ultimo aspetto risulta di particolare importanza, poiché la normativa prevede un vero e proprio calcolo strutturale dei sistemi di ancoraggio predisposti in copertura.

Il progetto del sistema di ancoraggio e del relativo sistema anticaduta di collegamento viene guidato dalla UNI 11560:2014, norma che delinea in maniera esplicita le caratteristiche del sistema di ancoraggio in termini di requisiti prestazionali e geometrici. In prima fase, risulta necessario valutare il sistema di anticaduta da collegare ai dispositivi di ancoraggio, in particolare si considerano le diverse tipologie di caduta e il metodo di prevenzione e protezione del sistema di anticaduta stesso. Le tipologie di caduta dall'alto, infatti, si classificano attraverso il criterio geometrico che definisce la modalità di esposizione dell'operatore all'evento caduta. In particolare, le tipologie comunemente definite in letteratura si identificano come:

- Caduta libera, la distanza di caduta risulta superiore a 0.60 metri lungo la direzione verticale e la massima altezza di caduta consentita è pari a 1.5 metri, tale valore viene esteso ai 4 metri nel caso specifico della fase di montaggio/smontaggio del ponteggio, in cui gli operatori addetti indossano obbligatoriamente specifici dispositivi anticaduta.

Si precisa che la distanza di caduta si definisce come la distanza “*misurata tra il punto di caduta e il punto in cui comincia l’azione del sistema di arresto*”²²

- Caduta libera limitata, in questo caso la distanza di caduta risulta inferiore o uguale ai 0.60 metri, misurata sia lungo la direzione verticale, sia lungo una superficie inclinata;
- Caduta totalmente prevenuta (trattenuta), la caduta dall’alto viene totalmente impedita dal momento che la combinazione tra sistema di ancoraggio e sistema anticaduta non consente all’operatore di esporsi al di fuori dei bordi della copertura attraverso una limitazione del raggio di azione;
- Caduta contenuta, in questa condizione l’operatore in caduta viene trattenuto grazie alla combinazione di ancoraggio e dispositivo anticaduta, risulta una situazione intermedia tra la caduta trattenuta e la caduta libera limitata, la distanza di caduta risulta inferiore o uguale ai 0.60 metri, misurata sia lungo la direzione verticale, sia lungo una superficie inclinata. [21]

Considerando il principio chiave della sicurezza sul lavoro dettato dall’art. 15 del Testo Unico che impone a tutti gli effetti la priorità di adozione delle misure preventive rispetto a quelle protettive per la riduzione di un determinato rischio, si delinea una gerarchia progettuale delle condizioni di caduta.

²² Linee Guida per la prevenzione del rischio di caduta dall’alto e Istruzioni tecniche per la progettazione dei sistemi di prevenzione e protezione nei lavori in copertura, Leonardi, Trapani & Gerbino.

In tabella 3.11 viene rappresentato l'ordine gerarchico delle condizioni di caduta citate.

GERARCHIA PROGETTUALE DELLE CONDIZIONI DI CADUTA	
1. CADUTA TOTALMENTE PREVENUTA	
2. CADUTA CONTENUTA	
3. CADUTA LIBERA LIMITATA	
4. CADUTA LIBERA	

Tabella 3-11-Ordine Gerarchico delle condizioni di caduta

L'ordine riportato evidenzia come una progettazione efficace preveda di operare in condizioni di trattenuta per quanto possibile piuttosto che in arresto caduta; infatti, l'operatore in arresto viene esposto sempre a un danno e deve essere soccorso il prima possibile al fine di evitare un infortunio di carattere permanente o problemi circolatori. Esistono, tuttavia, situazioni riguardanti vincoli architettonici o specifiche fasi di lavoro che conducono a una progettazione di sistemi funzionanti in arresto caduta e risulta necessario considerare anche questa opzione in progetto al fine di una corretta valutazione del rischio e di installazione di sistemi idonei a proteggere l'operatore.

Al fine di eseguire una progettazione ottimale del sistema di ancoraggio, risulta necessario valutare il cosiddetto tirante d'aria definito come lo spazio misurato dal punto iniziale di caduta dell'operatore comprendente la caduta libera e l'estensione del sistema di ancoraggio e di arresto caduta considerando un ulteriore margine di sicurezza convenzionalmente pari a 1 metro. A livello operativo, il progetto del sistema deve garantire che la distanza tra il punto di caduta e il punto di possibile impatto dell'operatore sia maggiore del tirante d'aria calcolato.

Si deve garantire il rispetto della relazione:

$$Z \geq TA \geq DA$$

In cui,

- Z: distanza tra il punto di caduta e il punto di possibile impatto dell'operatore;
- TA: tirante d'aria
- DA: distanza di arresto, misurata dal punto di inizio caduta dell'operatore fino all'arresto verticale completo. [22]

Il problema di valutazione e calcolo del tirante d'aria risulta di carattere fondamentale nella progettazione di sistemi in coperture inclinate: le altezze di caduta risultano differenti in base alla posizione in cui avviene la caduta stessa; a livello concettuale il tirante d'aria può essere assimilato alla distanza minima dal suolo e sommariamente calcolato come l'addizione tra:

- Lunghezza del cordino del sistema anticaduta;
- Lunghezza del dissipatore del sistema anticaduta;
- Altezza dell'operatore;
- Margine di sicurezza pari a 1 m;

Nella letteratura tecnica si individuano diverse modalità di calcolo del tirante d'aria; in particolare si differenzia il calcolo di tirante d'aria in caso di disposizione di ancoraggio puntuale o disposizione di ancoraggio lineare, dal momento che i contributi geometrici da computare nel calcolo risultano differenti a seconda del dispositivo installato e questo aspetto diventa fondamentale nella progettazione del sistema idoneo.

In caso di ancoraggio puntuale vale la relazione²³:

$$ta = da + r = h_{cl} + h_{cf} + r = l_c - d_r + d_{ip} + h_{cf} + r$$

Mentre, in caso di ancoraggio lineare²⁴:

$$ta = da + r = h_{cl} + h_{cf} + r = l_c + f - d_r + d_{ip} + h_{cf} + r$$

In cui,

²³ Quaderno di ricerca n.15, Luca Rossi INAIL 2017

²⁴ ibidem

- d_a : distanza di arresto caduta, pari alla somma tra la distanza percorsa in caduta libera e la distanza percorsa in caduta frenata;
- r : distanza corrispondente a un margine di sicurezza convenzionalmente pari a 1 m;
- h_{cl} : distanza percorsa in condizione di caduta libera;
- h_{cf} : distanza percorsa in condizione di caduta frenata;
- l_c : estensione della lunghezza del cordino del sistema anticaduta agganciato all'operatore;
- d_r : distanza che intercorre tra il punto di ancoraggio e il punto di inizio caduta;
- d_{ip} : distanza sterno-piedi del corpo del lavoratore;
- f : freccia di deviazione dell'ancoraggio lineare, termine non presente nei sistemi di ancoraggio puntuale. [12]

Si riporta in figura 3.12 lo schema di calcolo per ancoraggio puntuale.

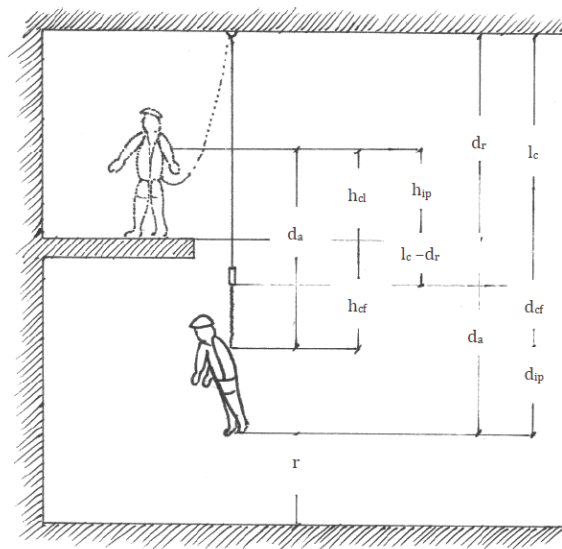


Figura 3-11-Tirante d'aria per ancoraggio puntuale:Fonte- [12]

Si riporta in figura 3.15 lo schema di calcolo per dispositivi di ancoraggio lineare.

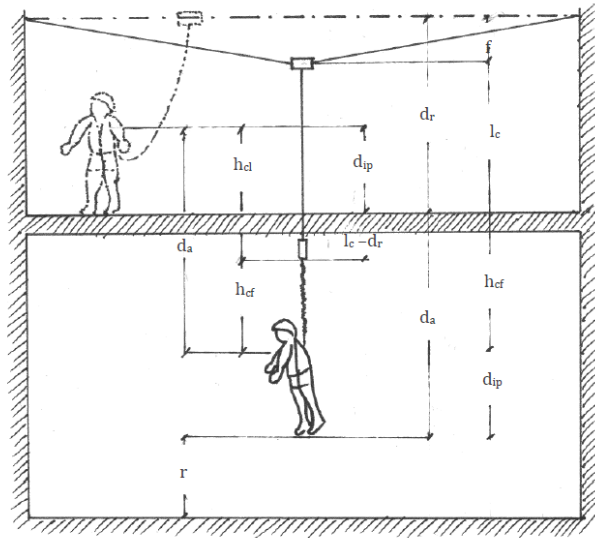


Figura 3-12-Tirante d'aria per ancoraggio lineare: Fonte [12]

Congiuntamente alla valutazione del valore del tirante d'aria, si considera un ulteriore requisito prestazionale da computare con attenzione in fase di progettazione: effetto pendolo. L'effetto pendolo viene generato dal disallineamento verticale tra il punto di caduta e l'ancoraggio e si definisce come la traslazione e oscillazione di un operatore rispetto all'ancoraggio puntuale o lineare. Il rischio innescato da tale effetto consiste nella possibilità di urto dell'operatore contro un ostacolo fisso; pertanto, a seguito delle valutazioni effettuate in fase di progettazione, le quali producono come risultato la possibilità di urto laterale dell'operatore si deve necessariamente adottare una diversa configurazione del sistema di ancoraggio. Si nota come la scelta di adottare un sistema che porti alla totale trattenuta di caduta evita queste situazioni di criticità. L'effetto pendolo viene considerato direttamente correlato sia all'attrito tra il dispositivo mobile e la fune, sia alla configurazione geometrica del sistema di ancoraggio e alla freccia, che consiste nello spostamento massimo del punto di ancoraggio rispetto alla posizione iniziale. [22]

La valutazione dell'effetto pendolo risulta uno tra gli aspetti principali che indirizzano le scelte progettuali del sistema di ancoraggio e, dal momento che tale effetto innesci un correlato rischio di urto, risulta opportuno prevenirne l'insorgenza. secondo i principi cardini della cultura della sicurezza,

In linea generale, il progettista effettua una valutazione preliminare analitica riguardo la possibilità di situazioni critiche innescate dall'effetto pendolo, il quale viene considerato equivalente ad una forma geometrica a campana di 60° .

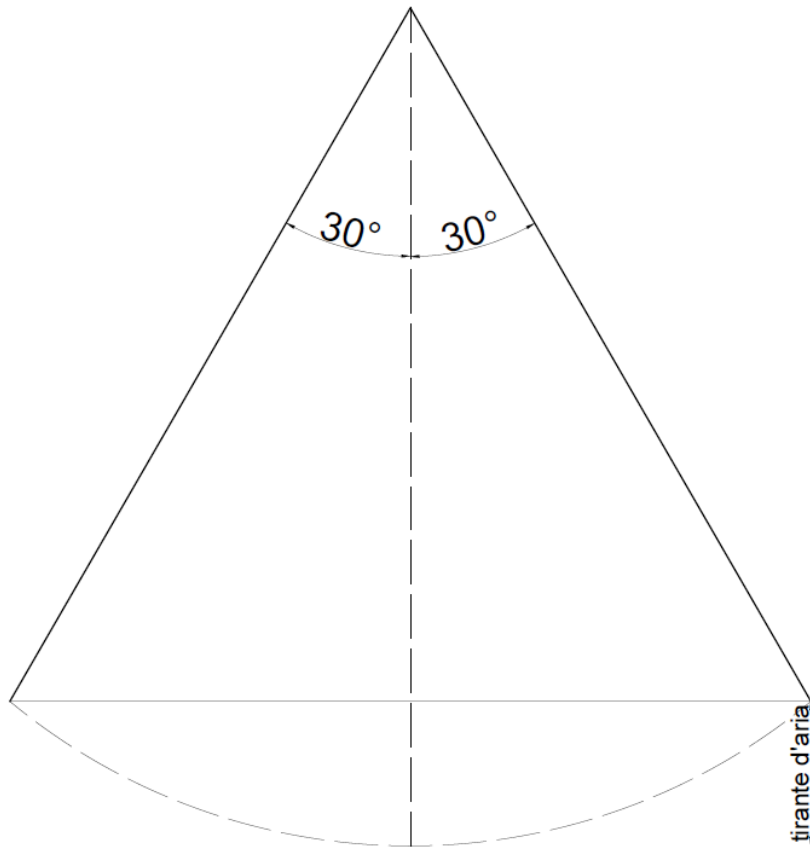


Figura 3-13- Effetto pendolo, campana a 60° -elaborata dall'autore

L'obiettivo della valutazione preliminare consiste nell'identificare la presenza di ostacoli fissi o temporanei e di prevedere la possibilità di urto dell'operatore; esistono diverse soluzioni che impediscono l'esposizione a tale rischio di urto derivante dall'effetto pendolo, tra queste si identifica il posizionamento del dispositivo di ancoraggio rispettando sia la verticalità con l'operatore e limitando l'inclinazione del cordino rispetto alla verticale stessa in un range di lavoro pari a $[-15^\circ; +15^\circ]$. [23]

Quindi, garantendo un determinato range di lavoro attraverso la limitazione dell'angolo di deviazione rispetto alla verticale passante per il baricentro del dispositivo di ancoraggio si riesce a prevenire l'effetto pendolo.

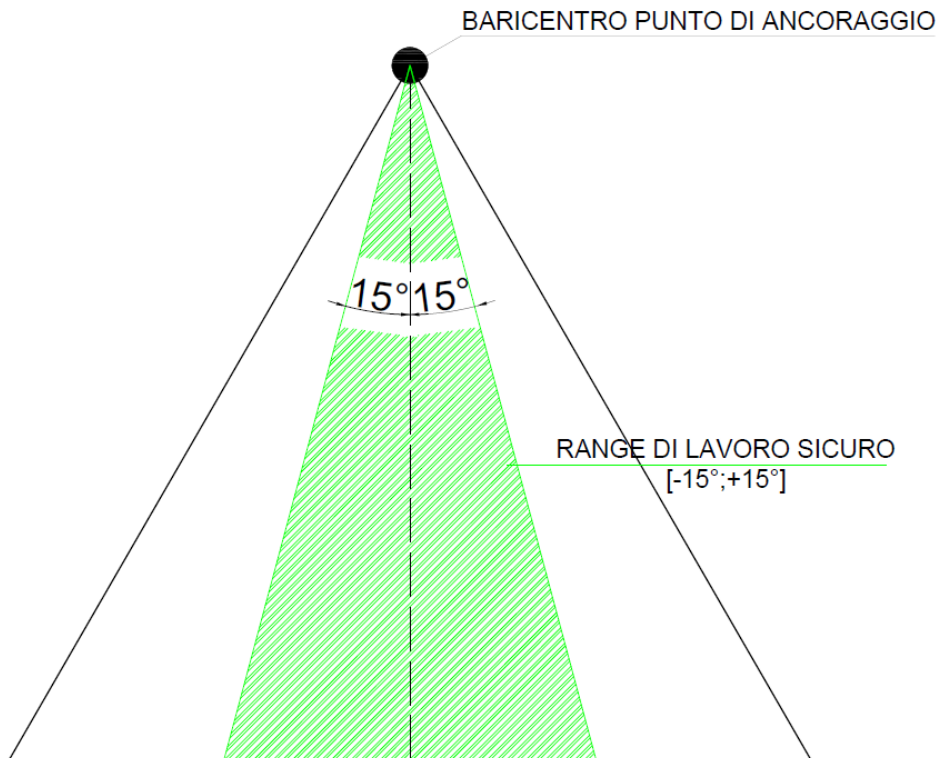


Figura 3-14-Range di lavoro sicuro

Un'ulteriore soluzione progettuale al fine di prevenire l'effetto pendolo consiste nel posizionamento di idonei dispositivi di ancoraggio, prevalentemente di tipo A, nelle zone maggiormente critiche della copertura, ovvero in prossimità degli angoli. In particolare, la porzione di copertura critica risulta avere una estensione pari a 2 metri rispetto ai bordi e generalmente è opportuno procedere all'installazione di dispositivi di ancoraggio in corrispondenza della bisettrice degli angoli della copertura ad una distanza pari a 2.60 metri rispetto all'angolo della copertura stessa [15]. Tali dispositivi sono da intendersi supplementari ad un sistema di ancoraggio principale installato al colmo della copertura, solitamente si adotta un sistema principale di tipo C e un sistema supplementare di tipo A al quale l'operatore aggancia un secondo cordino per prevenire l'effetto pendolo.

In figura 3.15 si rappresenta la soluzione combinata costituita da dispositivi principali di tipo C e sistema di ancoraggio supplementare di tipo A. Si nota, inoltre, come l'operatore rimane collegato al dispositivo principale di ancoraggio e dispone un secondo cordino in corrispondenza del dispositivo supplementare "anti-pendolo" e l'intera zona critica diventa un'area in trattenuta, in cui la caduta dall'alto e conseguentemente l'effetto pendolo sono totalmente prevenuti.

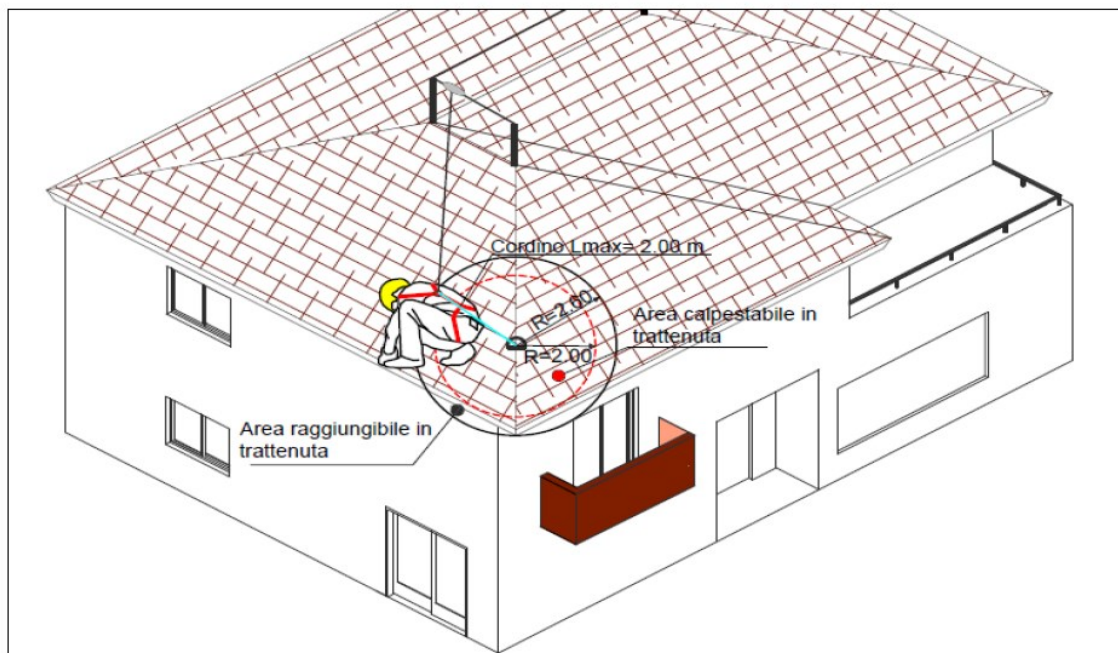


Figura 3-15-Soluzioni progettuali per prevenire effetto pendolo- Fonte- [15]

Oltre al tirante d'aria e all'effetto pendolo, la normativa indica ulteriori requisiti prestazionali da rispettare nella progettazione ed installazione dei sistemi di ancoraggio, tra cui:

- Ergonomia;
- Dissipazione.
- Resistenza strutturale;

L'ergonomia costituisce un fattore rilevante in fase di progettazione e nella scelta delle tipologie dei sistemi di ancoraggio su una copertura, ai sensi dell'art.15 del Testo Unico si impone di fatto come obbligo del datore di lavoro il “*rispetto dei principi ergonomici*” per prevenire l'insorgenza di rischi concorrenti dettata dalla monotonia e ripetitività delle attività di lavoro. Quindi, nella disposizione di sistemi di ancoraggio, il progettista predilige l'utilizzo di dispositivi di ancoraggio lineari che evitano operazioni di “aggancio-sgancio” effettuate dal lavoratore, le quali possono indurre situazioni di criticità; la priorità di scelta del sistema lineare rispetto a quello puntuale viene di fatto interpretata come principio ergonomico. Nei casi reali di progettazione e principalmente in presenza di copertura inclinata, risulta indispensabile adottare soluzioni combinate tra ancoraggio lineare e ancoraggio puntuale, come espressamente descritto nel capitolo 4 del presente elaborato.

L'energia cinetica componente generata da una caduta dall'alto di un operatore deve necessariamente essere dissipata attraverso la combinazione di dispositivi idonei installati sia nel sistema di arresto caduta indossato dal lavoratore stesso e sia in corrispondenza del sistema di ancoraggio. Al fine di un adeguato grado di analisi relativa alle modalità di esplicazione della dissipazione durante la caduta di un operatore, si dettagliano il funzionamento e le tipologie dei sistemi anticaduta indossati dagli operatori, con particolare riferimento al sistema di arresto caduta.

I requisiti prestazionali elencati vengono correlati ad ulteriori requisiti geometrici che guidano la progettazione del sistema di ancoraggio, secondo le indicazioni contenute nella normativa vigente. Il rispetto di tali requisiti geometrico si basa, innanzitutto, sulla possibilità dell'operatore di raggiungere la totalità della superficie della copertura calpestabile; inoltre, per l'ottenimento di una progettazione efficace è necessario che il sistema di ancoraggio preveda una adeguata continuità per il transito e per le operazioni di intervento. La geometria del sistema deve essenzialmente ridurre i rischi concorrenti relativi all'effetto pendolo e al tirante d'aria; tuttavia, dal momento che il tirante d'aria consiste in un vincolo tecnico fisso è necessario valutare sia una disposizione diversa del sistema di ancoraggio, sia l'adozione di dispositivi di arresto caduta. [12]

3.3.1 Focus sui sistemi di arresto caduta

Il sistema di arresto caduta viene definito come un dispositivo di protezione individuale la cui finalità consiste nella limitazione della componente cinetica della forza d'urto agente sull'operatore in fase di arresto caduta [24] e si compone, generalmente, di molteplici elementi con importanza equivalente in fase di installazione e progettazione, quali:

- Imbragatura, *“componente di un sistema di arresto caduta che ha lo scopo di sostenere e tenere tutto il corpo di una persona durante e dopo l'arresto della caduta.”*²⁵
- Cordino, elemento di collegamento tra l'imbragatura e il punto di ancoraggio;
- Assorbitore di energia, *“Componente di un sistema di arresto caduta che ha lo scopo di sostenere e tenere tutto il corpo di una persona durante e dopo l'arresto della caduta.”*²⁶
- Ancoraggio, elemento strutturale di collegamento tra sistema anticaduta e struttura di supporto.

In figura 3.21 si riporta la rappresentazione di un sistema di arresto caduta disposto su ancoraggio di tipo puntuale.

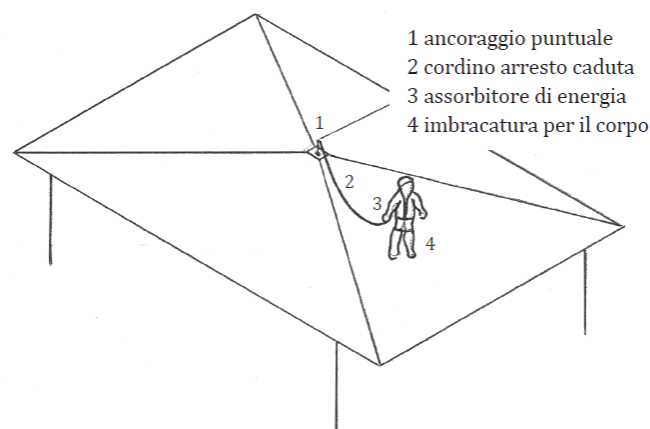


Figura 3-16-Sistema arresto caduta su ancoraggio puntuale- Fonte: [12]

Il requisito fondamentale dell'imbracatura per il corpo consiste nel consentire l'adesione ottimale al corpo dell'operatore; l'imbracatura si compone di bretella, elementi di regolazione, cinghia e cosciali. L'adesione al corpo viene ottenuta attraverso un attacco sternale e uno dorsale posti alla

²⁵ Idoneità dell'assorbitore di energia in relazione al peso del lavoratore, INAIL 2016

²⁶ ibidem

stessa altezza del corpo e attraverso la regolazione dei cosciali, aspetto cruciale nel funzionamento corretto del sistema di arresto caduta.

Il sistema di arresto caduta, e di conseguenza gli elementi componenti, viene definito un DPI di Categoria III dal D.lgs. 81/08; tale categoria identifica i dispositivi di protezione per i quali è necessario ed obbligatorio fornire un adeguato livello di formazione agli operatori riguardo le modalità di utilizzo. Nel caso specifico dell'imbracatura, l'operatore deve essere in grado di indossare in maniera adeguata il dispositivo in modo da equilibrare sia l'agilità di movimento senza scorrimento del corpo ed evitare una regolazione eccessivamente aderente.

Il cordino di collegamento si definisce attraverso diverse tipologie:

- Cordino fisso, di lunghezza non regolabile e collegato ad un punto di ancoraggio;
- Cordino regolabile o retrattile, con dispositivo di avvolgimento e dissipatore di energia;
- Cordino scorrevole su fune o cavo, collegato quindi ad un sistema di ancoraggio lineare.

La caduta dall'alto di un operatore viene generalmente suddivisa in una serie di fasi, tale divisione consente l'analisi finalizzata allo studio e alla ricerca riguardo la tecnologia dei sistemi di arresto caduta. La letteratura tecnica, quindi, fornisce la suddivisione in quattro fasi di caduta:

1. *“Fase 1: corpo in posizione di riposo in quota”*, questa fase viene caratterizzata dalla posizione di quiete del corpo dell'operatore, il sistema di arresto caduta non viene teso e il punto di ancoraggio non si trova in trazione. Tale situazione identifica una sorta di “step iniziale” della caduta dall'alto, utile a definire le varie altezze di caduta libera e di arresto caduta.
2. *“Fase 2: corpo in caduta libera”*, in cui si constata il moto uniformemente accelerato del corpo soggetto alla caduta dall'alto, l'accelerazione uniforme è pari alla forza di gravità e si definisce la distanza che percorre il corpo in caduta prima dell'azionamento del sistema di arresto come altezza di caduta libera, h_{cl} .
3. *“Fase 3: corpo in caduta frenata”*, in cui il sistema di arresto caduta si aziona; in particolare, il cordino del sistema anticaduta risulta teso, il dissipatore abbate l'energia cinetica accumulata dalla fase precedente, l'imbracatura sorregge il corpo e il punto di ancoraggio lavora in trazione. La distanza percorsa dal corpo in frenata viene definita come altezza di caduta frenata, h_{cf} .

4. “*Fase 4: corpo in quiete dopo la caduta*”, in cui si ristabilisce la condizione iniziale di quiete descritta in fase 1; tuttavia, la situazione finale prevede il corpo del lavoratore sospeso in quota e sostenuto dal sistema di arresto dopo avere percorso una distanza complessiva pari alla somma dell’altezza di caduta libera e di caduta frenata. In tale fase, risulta fondamentale la predisposizione di un tempestivo piano di soccorso dell’operatore sospeso, piano di emergenza che non deve causare rischi aggiuntivi per gli operatori addetti al recupero. [25]

L’analisi delle fasi di caduta risulta propedeutica alle metodologie di determinazione di valori caratteristici da imporre al sistema di arresto caduta al fine di evitare o minimizzare i possibili danni a cui il corpo in caduta viene esposto in seguito all’arresto. Il quadro normativo europeo è costituito dalla norma UNI EN 355 che predispone i limiti dinamici imposti ai vari assorbitori di energia presenti in un sistema di arresto caduta; in particolare, il principale requisito riguarda la limitazione del valore della forza frenante dell’assorbitore, forza esplicita in fase di caduta frenata (fase 3) dal sistema di arresto caduta e correlata alle caratteristiche dinamiche dell’assorbitore stesso. Il valore limite della forza frenante risulta pari a 6 KN misurata ad una distanza di arresto che sia inferiore alla somma tra il doppio della lunghezza del cordino comprensivo di assorbitore ed un fattore di sicurezza pari a 1.75 m.

L’imposizione di un valore limite alla forza frenante è strettamente associata all’insorgenza di danni relativi al corpo in caduta; la rapidità della decelerazione esplicita dall’assorbitore in fase 3 al moto uniformemente accelerato del corpo in caduta in fase 2 deve essenzialmente essere limitata, poiché una eccessiva rapidità di frenata causa un sostanziale aumento di probabilità di insorgenza di danni permanenti all’operatore in corrispondenza della spina dorsale in caso di disallineamento di caduta dalla verticale e agli organi interni. [25]

Relativamente a quanto esposto, si comprendono le motivazioni delle indicazioni date dalla normativa specifica relativa alla progettazione del sistema di ancoraggio, oltre che dai principi cardine della cultura della sicurezza esposti nell’art. 15 del D. lgs. 81/08, in merito alla scelta prioritaria di un sistema anticaduta di trattenuta rispetto ad un sistema di arresto caduta. In linea generale, la progettazione della sicurezza deve sempre conferire una netta priorità alla prevenzione del rischio, intesa come riduzione di probabilità di accadimento, piuttosto che alla protezione, intesa come riduzione della magnitudo del danno associato.

4 CASO STUDIO

4.1 Introduzione del caso studio

Nel presente elaborato di tesi si vuole esaminare un caso reale di progettazione, ideato dall'autore, riguardo la manutenzione straordinaria della copertura di un edificio di civile abitazione; in particolare, si analizza la sostituzione del manto di copertura con contestuale installazione di impianto fotovoltaico e posa di sistema di ancoraggio permanente. Lo studio si concentra sulle misure preventive e protettive da applicare durante le lavorazioni; si effettua, quindi, l'analisi delle diverse fasi lavorative, la valutazione del rischio delle medesime, il progetto degli apprestamenti comprendenti il disegno esecutivo del ponteggio per la riduzione del rischio di caduta dall'alto e il progetto esecutivo del sistema di ancoraggio.

La progettazione del sistema di ancoraggio permanente consiste nella redazione dell'elaborato tecnico di copertura ETC con annessa relazione di calcolo strutturale di verifica di fissaggio degli ancoraggi da installare in copertura. La scelta di svolgimento del caso studio di riferimento viene dettata dalla volontà di completa analisi delle misure preventive e protettive del rischio di caduta dall'alto che si riscontra nelle diverse fasi di un cantiere e nelle fasi successive di manutenzione, ai sensi del D.P.G.R. Piemonte 23/05/2016, n. 6/r. A tal punto, considerata la notevole crescita di incentivi per l'installazione di sistemi termo-elettrici basati sullo sfruttamento di energia rinnovabile da collocare nelle coperture di edifici esistenti, nasce l'esigenza di un contestuale sviluppo della progettazione di misure atte a garantire un adeguato livello di sicurezza per gli operatori che svolgono lavorazioni in quota.

4.2 Descrizione dell'intervento

L'intervento proposto consiste nella manutenzione straordinaria di una copertura a falde inclinata di un edificio di civile abitazione e si compone attraverso le seguenti opere elencate in ordine tale da garantire la sicurezza del sistema cantiere e degli operatori.

- Allestimento cantiere;
- Installazione ponteggio metallico fisso (a tubi e giunti);
- Rimozione del manto di copertura esistente e della listellatura sottostante;
- Apertura di foro in copertura per la realizzazione di un accesso permanente;
- Stesura di teli impermeabili a salvaguardia di infiltrazioni di acqua durante le fasi costruttive;
- Realizzazione di nuova listellatura;
- Installazione di sistema di ancoraggio permanente, il sistema di ancoraggio permanente viene disposto al fine di garantire la sicurezza degli operatori in quota durante le successive fasi di manutenzione o ispezione dell'impianto oggetto di intervento;
- Posa del manto di copertura.

In aggiunta alle opere sopra citate, la falda sud della copertura è interessata dalla installazione di un sistema di impianto fotovoltaico; pertanto, in tale falda si aggiungono le seguenti lavorazioni:

- Posa di lamiera grecata per installazione di impianto pannelli fotovoltaici in una porzione della falda sud;
- Listellatura falda sud per successiva posa del manto di copertura e pannelli fotovoltaici;
- Installazione di impianto fotovoltaico costituito da moduli di celle in silicio monocristalline;
- Completamento del manto di copertura.

Quali opere accessorie si elencano:

- Sostituzione dei canali di gronda;
- Opere di faldaleria;
- Smontaggio del ponteggio.

L'ubicazione dell'edificio di civile abitazione consiste in una zona residenziale della città di Torino, in questo contesto ambientale non si evidenziano particolari interferenze o situazioni di rischio addizionale a quelli prevalenti, concorrenti, susseguenti e specifici delle diverse fasi lavorative. L'esclusivo aspetto interferenziale del sistema cantiere viene rappresentato dalla presenza abitativa dei condomini nell'edificio residenziale. La copertura in esame si colloca ad un'altezza di gronda pari a 18.50 metri rispetto al terreno, con una pendenza del 45%, mentre l'altezza di colmo risulta di 21.80 metri.

La manutenzione straordinaria prevede la disposizione di diversi dispositivi di protezione, in prima fase viene disposto un ponteggio collocato in corrispondenza della intera facciata dell'edificio oggetto di intervento; successivamente, si installa un sistema di ancoraggio permanente utilizzato da ciascun operatore in quota per le fasi di manutenzione dell'impianto fotovoltaico installato. Il ponteggio viene disposto in corrispondenza delle singole facciate fin dal momento iniziale delle fasi lavorative; infatti, al fine di perseguire la prevenzione di caduta dall'alto degli operatori in copertura risulta necessaria l'installazione dell'opera provvisoria contestualmente alla fase di allestimento cantiere. A tal punto, il ponteggio costituisce sia un accesso provvisorio e sicuro per lo sbarco in copertura, sia un dispositivo di protezione collettiva, garantendo lo svolgimento delle lavorazioni in quota in totale sicurezza.

In figura 4.1 si presenta la schematizzazione delle altezze di gronda e di colmo dell'edificio in esame.

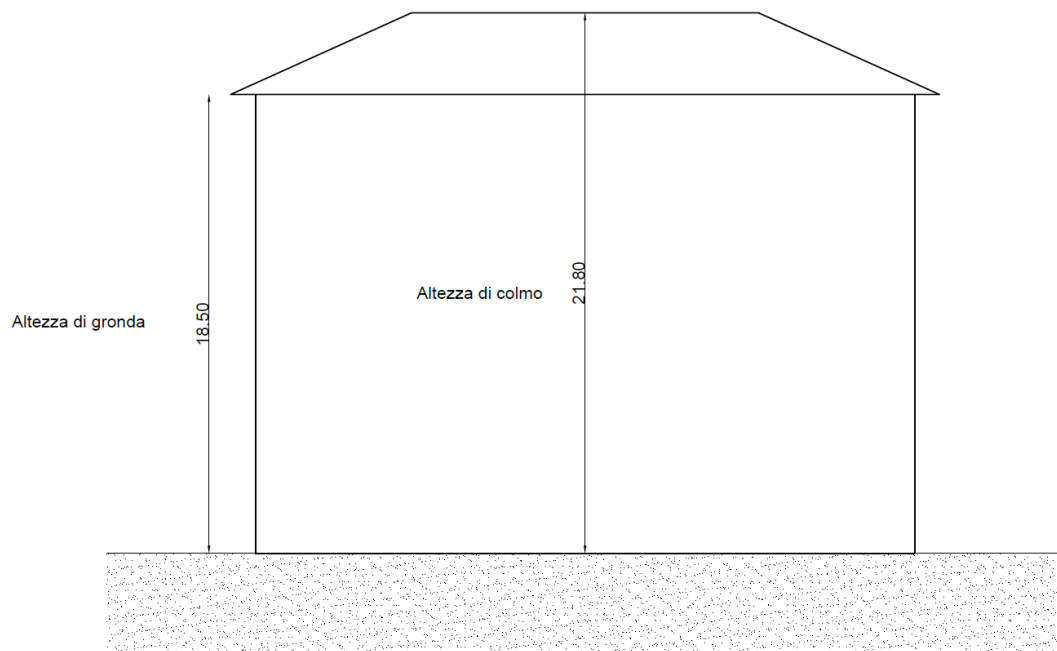


Figura 4-1-Schematizzazione altezze edificio

In figura 4.2 si rappresenta la pianta del piano tipo dell'edificio considerato, avente un vano scala con annesso vano ascensore condominiale, due distinte unità immobiliari su ogni piano, ciascuna unità è composta da otto vani e due balconi disposti sui lati opposti dell'edificio.

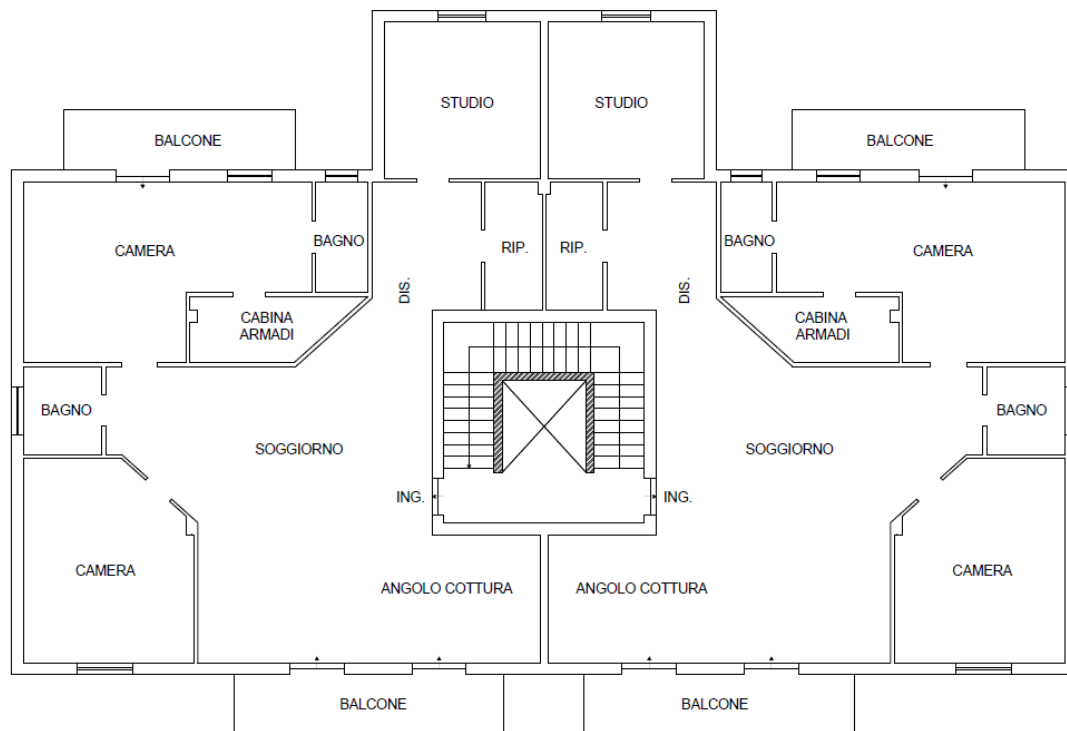


Figura 4-2- Planimetria piano tipo dell'edificio in esame

4.3 Caratterizzazione geometrica e strutturale della copertura

La copertura oggetto di intervento si presenta con una pendenza del 45 % rispetto all'orizzontale, valore del tutto compatibile alle condizioni climatiche della città di Torino, luogo in cui si colloca l'edificio in esame. La copertura risulta planare e costituita da falde multiple, si riporta una vista planimetrica della geometria in esame, in figura 4.3.

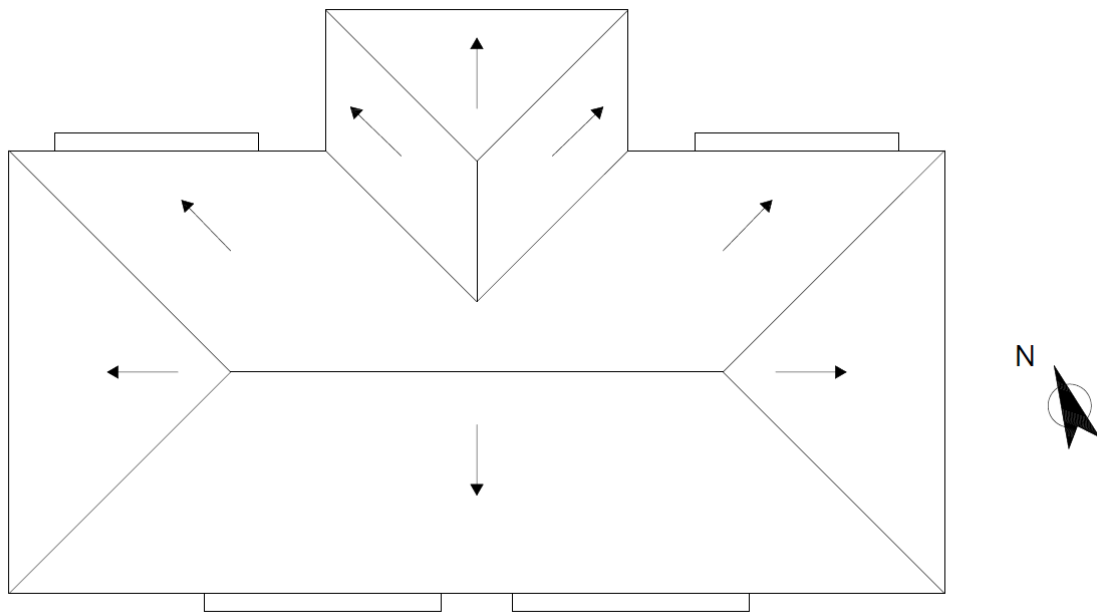


Figura 4-3-Vista copertura in pianta

In ambito di sicurezza relativa alla caduta dall'alto, è fondamentale caratterizzare a livello geometrico la copertura in modo tale da permettere lo svolgimento di una accurata valutazione del rischio correlata alle lavorazioni da eseguire. In questo caso specifico, la pendenza del 45% si traduce in un valore pari a 24° dell'angolo di inclinazione; quindi, come definito nel capitolo 3 del presente elaborato, la copertura in esame si definisce inclinata, dal momento che la pendenza è compresa tra il 15% e il 50%. La superficie di lavoro risulta avere una medio-forte pendenza tale per cui il rischio caduta dell'operatore per scivolamento o rotolamento sia elevato.

La struttura della copertura è costituita da c.a. ordinario con solaio in laterocemento, con una pendenza del 45% e uno strato finale costituito da listellatura e tegole in laterizio. Si precisa che a seguito della manutenzione straordinaria, le proprietà geometriche e strutturali rimangono inalterate. La caratterizzazione strutturale è rappresentata in figura 4.4 in cui si riporta una sezione della copertura oggetto di intervento. Si precisa che la soletta in laterocemento presenta uno spessore pari a 24 mm.

Si evidenziano le seguenti componenti:

- Solaio in laterocemento;
- Strato di coibentazione attraverso isolante termico;
- Listellatura costituita da elementi di dimensione 5 mm*6 mm;
- Tegole in laterizio.

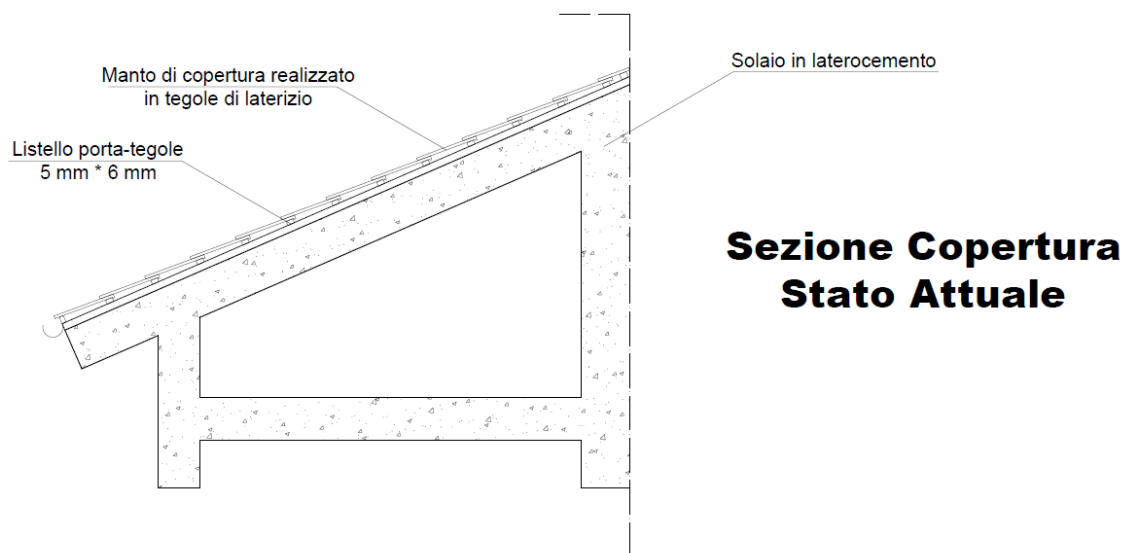


Figura 4-4-Sezione copertura in c.a.

Attraverso la consultazione della pratica edilizia di riferimento alla costruzione dell'edificio, si evince come la struttura sia stata progettata ai sensi della "*Legge 5 novembre 1971, n.1086*"; la manutenzione straordinaria non prevede incrementi di carichi significativi: il peso dei pannelli risulta totalmente confrontabile con quello del manto di copertura esistente. Di fatto, in merito alle lavorazioni delle fasi costruttive in esame, non è necessaria una valutazione del rischio riguardo possibili cedimenti strutturali della copertura; si permette la presenza su di essa di operatori per effettuare lavorazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria. Il carico permanente non strutturale addizionale costituito dalla installazione di pannelli fotovoltaici combinato con il carico variabile causato dalla presenza di lavoratori in copertura risultano del tutto comparabili alla combinazione dei carichi adottata in fase di progettazione; pertanto, non si segnalano condizioni di rischio a livello strutturale della copertura oggetto di intervento.

Non si evidenzia la presenza di ostacoli fissi quali linee elettriche non protette; tuttavia, si precisa che una porzione della falda posta a sud oggetto di installazione di intervento non risulterà calpestabile in seguito della installazione dei pannelli fotovoltaici. Tali pannelli definiscono, quindi, un'area non percorribile dagli operatori in quota, i quali transitano sulla copertura costeggiando l'area di interesse dell'impianto realizzato.

4.4 Descrizione dello stato di progetto della copertura

L'intervento di rimozione del manto laterizio esistente riguarda la superficie totale della copertura, mentre l'area di installazione dell'impianto fotovoltaico si colloca interamente nella falda sud con superficie in pianta di circa 45.70 mq.

Al di sotto dei pannelli fotovoltaici, quale manto di copertura viene installata una lamiera grecata di altezza pari a 27 mm e con spessore pari a 6/10 di mm; mentre nel resto della superficie della copertura si procede alla disposizione di un nuovo manto costituito da tegole in laterizio.

L'impianto fotovoltaico viene realizzato utilizzando pannelli in silicio monocristallino realizzati con vetro temprato di dimensioni pari a 1650 mm*990 mm*35 mm ciascuno avente una potenza pari a 300 Watt ed un peso di 17.70 kg, carico aggiuntivo ininfluenza nel comportamento strutturale della copertura²⁷; tale carico risulta, infatti, totalmente confrontabile con il manto di copertura in laterizio.

Il pannello adottato viene rappresentato in figura 4.5.

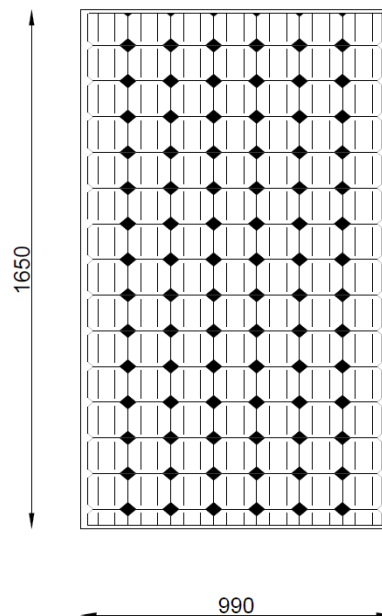


Figura 4-5- Dettaglio del pannello FV monocristallino²⁸

²⁷ <https://www.futurasun.com/prodotti/pannelli-monocristallini/monocristallino-fotovoltaico-300/>

²⁸ <https://www.archweb.com/cad-dwg/Impiantistica/Solare-fotovoltaico/>

Si sceglie di installare un quantitativo pari a 24 pannelli fotovoltaici, individuando un'area di intervento pari a 45.70 mq nella falda sud della copertura in esame, come mostrato in figura 4.6.

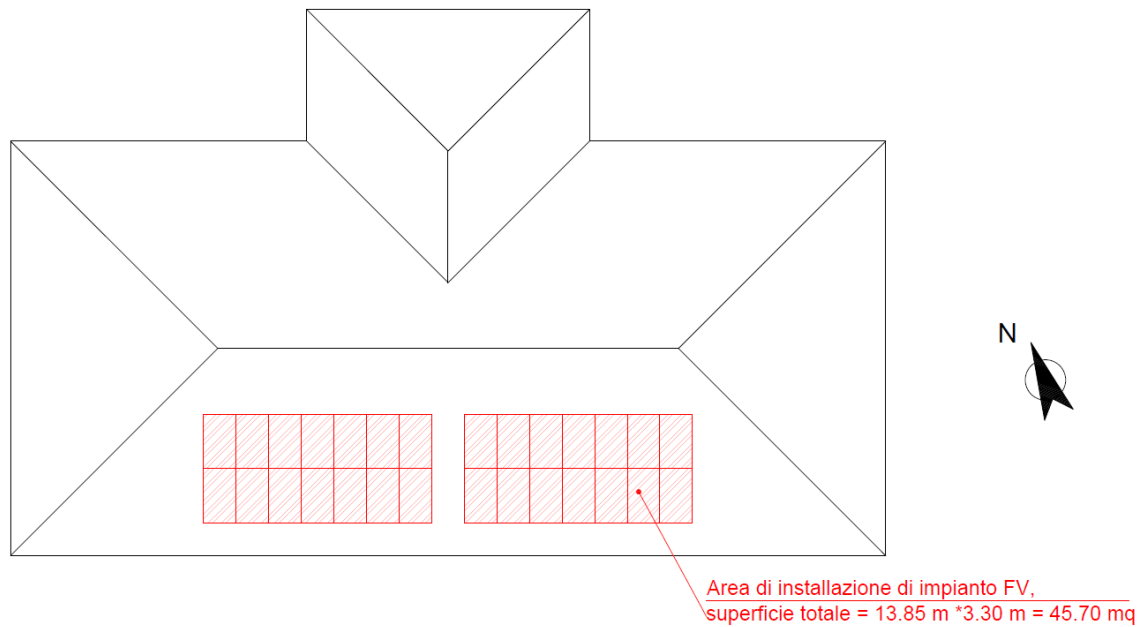


Figura 4-6- Area di intervento per installazione impianto FV

In figura 4.7 si presenta un focus dell'impianto realizzato.

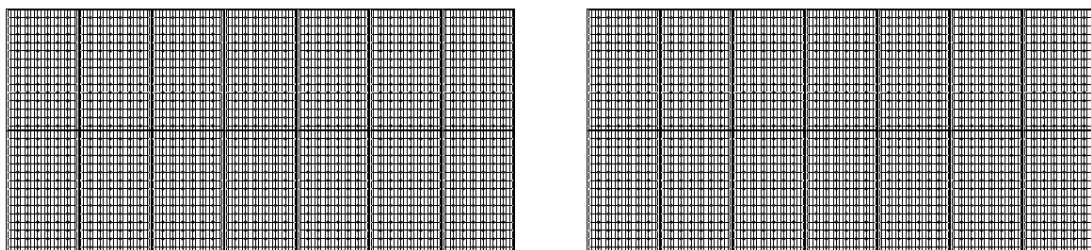


Figura 4-7- Dimensioni impianto FV-Elaborata dall'autore

Attraverso una valutazione preliminare, si può stimare che la potenza massima raggiungibile in condizioni ottimali dell'impianto installato risulti pari a:

$$24 \text{ pannelli} * 300 \text{ W} = \mathbf{8.4 \text{ KWp}}$$

Il quantitativo di potenza installato, congiuntamente ad un sistema di accumulo, riesce a soddisfare il fabbisogno energetico annuale delle parti comuni condominiali: ascensore, luci interne del vano scala, luci esterne, sistema di videosorveglianza, cancello automatico.

Nell'area di collocazione dell'impianto evidenziata, il manto esistente, una volta rimosso, viene sostituito da una lamiera grecata con tubolari di fissaggio in modo da consentire una efficiente integrazione architettonica del sistema fotovoltaico. La sezione di progetto descritta viene rappresentata in figura 4.8.

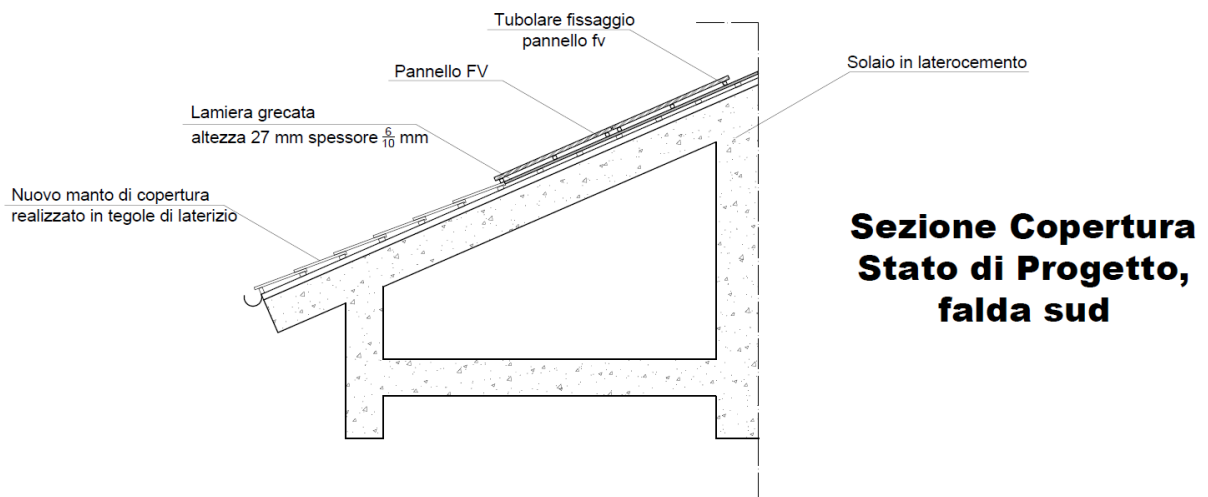


Figura 4-8-Sezione di progetto copertura

Il progetto prevede uno sbarco in copertura realizzato attraverso una demolizione di una limitata porzione della copertura stessa in modo da predisporre un accesso interno di tipo permanente dal sottotetto; tale porzione viene localizzata nella falda sud in modo tale da consentire lo sbarco in prossimità dell'impianto così da limitare il tratto di percorrenza dell'operatore in quota.

Congiuntamente, si provvede alla installazione di un sistema di ancoraggio permanente per garantire la sicurezza degli operatori sulla copertura, come dettagliato nei paragrafi successivi del presente elaborato di tesi.

In figura 4.9 viene evidenziata la porzione di copertura da demolire, con dimensioni di 1m*0.80m.

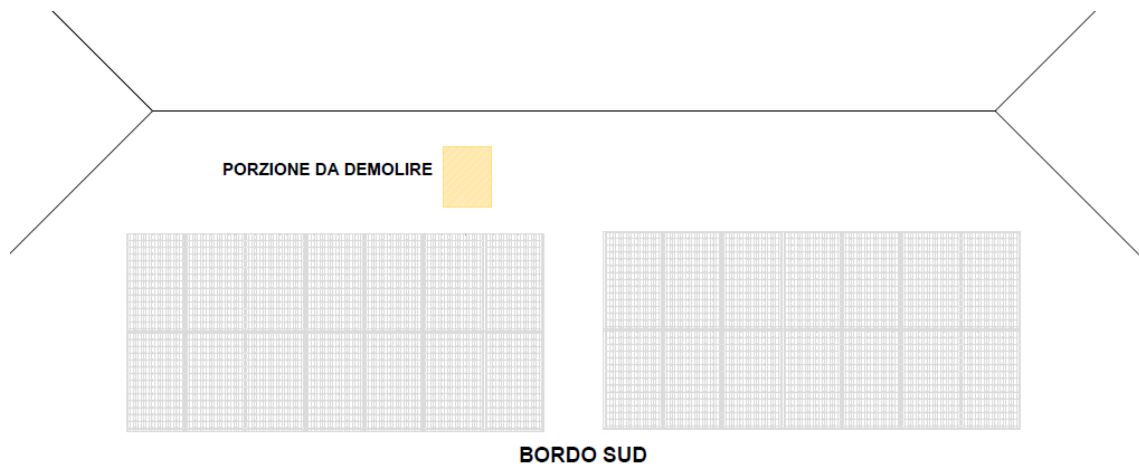


Figura 4-9-Porzione di demolizione per accesso in copertura

4.5 Individuazione delle fasi di cantiere

La manutenzione straordinaria in esame comporta l'allestimento di un cantiere composto da una serie di fasi elementari riferite alle singole lavorazioni da effettuare per la realizzazione delle opere. In questo paragrafo, si vogliono identificare le varie fasi citate in modo tale da consentire una idonea valutazione dei rischi presenti per gli operatori.

Gli interventi da eseguire si compongono nelle seguenti macro-fasi:

- Allestimento del cantiere;
- Interventi di demolizione e rimozione;
- Realizzazione della copertura;
- Smaltimento materiali di risulta
- Smontaggio cantiere.

Si vogliono descrivere sinteticamente le lavorazioni componenti ciascuna delle fasi sopra riportate, in modo da specificare la metodologia di esecuzione delle opere al fine di ottenere un'analisi esaustiva per la corretta identificazione e valutazione dei rischi, con particolare riguardo nel rischio di caduta dall'alto.

Nel dettaglio, le operazioni di preparazione dell'area di cantiere comprendono le seguenti fasi:

▪ Allestimento del cantiere

L'allestimento del cantiere prevede la delimitazione dell'area di interesse attraverso una recinzione idonea e ben visibile, in modo da impedire l'accesso dall'esterno come possibile causa di interferenza con le lavorazioni. Inoltre, si esegue la preparazione dell'area stessa e si dispongono i baraccamenti necessari alle maestranze, quali servizi igienici e un locale tecnico di cantiere, oltre le opere provvisorie necessarie.

▪ Montaggio e smontaggio del ponteggio metallico fisso

La manutenzione straordinaria interessa la totalità della superficie esistente in copertura, data l'estensione dell'area di intervento si provvede all'utilizzo del ponteggio da collocare sull'intero perimetro dell'edificio oggetto di intervento. Il ponteggio costituisce il dispositivo di protezione collettiva per le lavorazioni in quota oltre che il metodo di accesso della copertura durante le diverse fasi costruttive;

a causa di un'altezza di gronda dell'edificio minore di 20 m e di una geometria regolare di installazione, non è necessario il progetto. ma un semplice schema in accordo con le istruzioni di montaggio a corredo dell'Autorizzazione Ministeriale.

- **Impiantistica di cantiere**

L'impiantistica di cantiere riguarda la disposizione di un quadro elettrico in quota e la disposizione di un impianto di messa a terra del ponteggio.

Gli interventi di demolizione e rimozione in copertura si compongono delle seguenti fasi:

- **Rimozione del manto di copertura esistente e listellatura sottostante**

L'intera superficie del manto esistente in copertura viene rimossa; il manto esistente è costituito da tegole in laterizio semplicemente appoggiato sulla listellatura. Il materiale rimosso non viene recuperato, si procede allo smaltimento del materiale attraverso le procedure indicate nell'analisi e valutazione del rischio e si rimuove conseguentemente la listellatura esistente sottostante.

- **Apertura di foro in copertura per la realizzazione di un accesso permanente**

La porzione da demolire per consentire l'apertura di un accesso permanente in copertura ha una superficie pari a 1 m * 0.8 m, la posizione del varco viene indicata nelle tavole allegate.

- **Stesura di teli impermeabili**

Quale opera propedeutica e provvisoria per evitare infiltrazioni meteoriche durante i lavori si posano all'estradosso teli impermeabili sulla superficie di copertura. Questa fase si propone, quindi, come una misura progettuale logica per evitare l'interferenza tra il sistema cantiere e il sistema residenziale dell'edificio oggetto di intervento.

La realizzazione della copertura avviene attraverso lo svolgimento delle fasi seguenti:

- **Realizzazione nuova listellatura**

La realizzazione della nuova listellatura risulta necessaria per il supporto del nuovo manto di copertura e tale realizzazione si esplica attraverso l'infissione di tasselli per collegare saldamente i listelli alla caldana del solaio. In figura 4.10 si rappresenta un esempio di listellatura a supporto di un manto in laterizio.



Figura 4-10-Listellatura per posa nuovo manto- Fonte: <https://soluzioni-edili.it/tetto-isolato-e-ventilato/>

- **Posa della lamiera grecata**

Nella parte di superficie di interesse relativo alla installazione dell'impianto FV si procede alla posa di una lamiera grecata avente spessore pari a 6/10 mm e di altezza pari a 27 mm al fine di realizzare una sottostruttura efficiente e impermeabile per la posa dei pannelli. Tale sottostruttura viene completata con la disposizione di profili tubolari di fissaggio per gli stessi pannelli.

▪ **Installazione dell'impianto fotovoltaico**

In questa fase avviene la posa dei pannelli sulla lamiera grecata precedentemente disposta, in particolare si fissano i pannelli monocristallini ai profili tubolari. Si installano 28 pannelli totali in due blocchi di 14 pannelli ciascuno; i due blocchi vengono disposti a una distanza di 1 m in modo da permettere il semplice passaggio dell'operatore per le opere di installazione e di successiva manutenzione ordinaria, come mostrato nelle tavole in allegato. In figura 4.11 si espone un esempio di impianto FV installato su lamiera grecata.



Figura 4-11- Esempio di impianto FV disposto su lamiera- Fonte: <https://www.infobuildenergia.it/>

▪ **Sostituzione dei canali di gronda e opere di faldaleria**

Per il completamento della manutenzione straordinaria, si esegue la sostituzione dei canali di gronda e opere di faldaleria.

▪ **Installazione del sistema di ancoraggio permanente**

Questa fase risulta di cruciale importanza nel presente caso studio, attraverso il progetto ed installazione di un sistema di ancoraggio permanente è possibile incrementare fortemente il livello della sicurezza degli operatori in quota durante le fasi costruttive e negli interventi di manutenzione successivi alla fine lavori. L'installazione del sistema di ancoraggio permanente viene analizzata nel paragrafo dedicato.

- **Posa del nuovo manto di copertura**

La posa delle tegole in laterizio nelle diverse falde della copertura, si procede dal colmo fino all'altezza di gronda; inoltre, la tipologia di intervento prevede la posa del nuovo manto in imminente successione alla rimozione delle tegole esistenti. Non avvengono variazioni all'assetto strutturale della copertura.

La superficie interessata alla posa del nuovo manto di copertura risulta pari alla differenza tra la superficie totale della copertura pari a 369.56 m^2 e la superficie interessata alla installazione dell'impianto FV, entrambe misurate in pianta:

$$369.56 \text{ m}^2 - 45.70 \text{ m}^2 = 323.86 \text{ m}^2$$

Infine, si procede alla fase di smontaggio cantiere in cui avviene la rimozione delle opere provvisorie predisposte; si ripristina, inoltre, l'area di intervento e si rimuovono le recinzioni.

4.6 Analisi e valutazione dei rischi delle varie fasi identificate

Attraverso la suddivisione in fasi della manutenzione straordinaria da realizzare, è possibile svolgere la valutazione dei rischi presenti in ciascuna di queste fasi, in modo da analizzare le principali criticità delle lavorazioni con il fine di attuare le procedure necessarie alla riduzione del rischio e alla gestione del rischio residuo. Tra i vari rischi presenti, in questo elaborato si pone particolare attenzione alle prescrizioni per limitare e ridurre il valore del rischio di caduta dall'alto.

I criteri generali adottati per la valutazione del rischio vengono desunti da una procedura analitico-numerica semplificata, la quale attraverso la stima della probabilità di accadimento del rischio e la magnitudo del danno provocata da un evento infortunistico definisce il livello di gravità del rischio analizzato.

In merito alla probabilità di accadimento si adottano i seguenti valori numerici:

Probabilità P	
	Valore
Probabilità di accadimento molto bassa	1
Probabilità di accadimento bassa	2
Probabilità di accadimento normale	3
Probabilità di accadimento elevata	4

Tabella 4-1 - Valori Numerici Probabilità P-elaborata dall'autore

In riferimento ai valori di magnitudo si identificano:

- Danno Lieve, inabilità facilmente reversibile
- Danno Medio, infortunio temporaneo
- Danno Grave, invalidità permanente
- Danno Molto Grave, evento mortale

Magnitudo Danno M	
	Valore
Danno lieve	1
Danno medio	2
Danno grave	3
Danno molto grave	4

Tabella 4-2- Valori Numerici Magnitudo danno D-elaborata dall'autore

Ricordando la definizione di rischio, esplicitata attraverso il seguente prodotto di convoluzione:

$$R = P * M$$

In cui,

P: probabilità di accadimento;

M: magnitudo del danno;

R: valore del rischio

I possibili valori di rischio determinabili risultano rappresentati in tabella 4.3:

Valori di R determinabili				
P / M	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16

Tabella 4-3- Valori di R determinabili- elaborata dall'autore

Pertanto, si identificano i seguenti livelli di criticità:

- Criticità Bassa;
- Criticità Media;
- Criticità Alta;
- Criticità Molto Alta.

I livelli di criticità elencati sono definiti dai valori numerici in tabella 4.4.

Valori di R	
	Valore
Criticità Bassa	[1;2]
Criticità Media	[3;4]
Criticità Elevata	[6]
Criticità Molto Elevata	[7-16]

Tabella 4-4-Classificazione dei livelli di criticità-elaborata dall'autore

Per ciascuna delle fasi elencate viene effettuata l'analisi dei rischi presenti, a meno della fase di allestimento cantiere con relativa realizzazione di impianto cantieristico e fase di smaltimento cantiere; tali fasi, infatti, non presentano particolari criticità da computare nel presente caso studio. Inoltre, la valutazione del rischio viene corredata dalle procedure necessarie alla riduzione del livello di criticità individuato.

Nella fase di montaggio del ponteggio, viene allestita la tipologia a tubi e giunti con dimensioni dettagliate nella tavola di riferimento in allegato; il montaggio viene effettuato secondo le prescrizioni contenute nel P.i.M.U.S dell'impresa installatrice attraverso argani, attrezzi manuali comuni ed autogrù.

I plausibili rischi riscontrabili in questa fase sono:

- Caduta dall'alto di lavoratori in quota;
- Caduta dall'alto di materiale;
- Scivolamento e caduta;
- Investimento;
- Urti;
- Tagli ed abrasioni;
- Movimentazione dei carichi;
- Rumore;
- Vibrazioni.

Il primo step per montare il ponteggio in sicurezza è la verifica della capacità portante della base di appoggio; le lavorazioni di installazione dell'opera provvisoria vengono effettuate con la continua sorveglianza attiva di un preposto. Al fine di evitare la caduta dall'alto del personale in quota, risulta necessario che gli operatori addetti indossino idonei sistemi anticaduta ancorati stabilmente seguendo le indicazioni del POS dell'impresa, sistema anticaduta formato da connettore, cordino e assorbitore di energia, oltre che dall'ancoraggio stesso. Relativamente alla caduta di materiale dall'alto, si predispongono sistemi di guida e direzionamento dei carichi sospesi e attraverso l'installazione di mantovane para-sassi si limita la probabilità del rischio stesso di caduta di materiale dall'alto. Il rischio di investimento può essere facilmente ridotto attraverso procedure organizzative che dividono in sequenze temporali diverse le lavorazioni di montaggio e di approvvigionamento o deposito di materiale; infatti, ogni qualvolta un autocarro percorre l'area, opportunamente segnalata e delimitata, di posa dell'opera provvisoria si interrompono le operazioni di montaggio. Inoltre, si predispone il divieto di accesso alle aree interessate al personale non addetto alla installazione del ponteggio. Attraverso le prescrizioni riportate, si limita fortemente la probabilità di accadimento dei rischi presenti; tuttavia, si prescrive l'utilizzo di comuni DPI di categoria I per limitare la magnitudo relativa agli urti, tagli, vibrazioni e rumore. Si precisa che il rischio di elettrocuzione non viene esaminato dal momento che non si segnalano criticità costituite da linee elettriche scoperte a distanze ravvicinate all'area di cantiere.

In tabella 4.5 si effettua la valutazione dei rischi residui secondo i criteri proposti.

Valutazione dei rischi residui- Fase di Montaggio Ponteggio				
	P	M	R	Livello di criticità
Caduta dall'alto di operatori	2	4	8	Elevata
Caduta dall'alto di materiale	2	2	4	Media
Scivolamento e caduta	2	3	6	Elevata
Investimento	1	3	3	Media
Urti	2	1	2	Bassa
Tagli ed abrasioni	1	2	2	Bassa
Movimentazione dei carichi	2	1	2	Bassa
Rumore	1	1	1	Bassa
Vibrazioni	1	1	1	Bassa

Tabella 4-5- Valutazione dei rischi residui- Fase di Montaggio Ponteggio

Si analizzano in modo congiunto le fasi successive di rimozione del manto di copertura esistente, della rimozione della listellatura e della apertura del varco per l'accesso in copertura attraverso demolizione di porzione di copertura; i rischi presenti nelle fasi citate sono equivalenti, si segnalano le seguenti criticità:

- Caduta dall'alto;
- Scivolamento e caduta;
- Caduta di materiale dall'alto;
- Polveri (inalazioni e visibilità);
- Urti;
- Tagli ed abrasioni;
- Movimentazione dei carichi;
- Rumore;
- Vibrazioni.

Nella fase di rimozione del manto, la criticità più importante risulta, quindi, la caduta di materiale dall'alto dal momento che per le considerazioni precedenti vi è una scarsa probabilità sia di caduta dall'alto dell'operatore, sia di uno scivolamento. Il materiale rimosso non deve essere recuperato, ma solamente smaltito attraverso un deposito temporaneo nell'area di cantiere e conferimento giornaliero in discarica autorizzata allo smaltimento stesso. Risulta indispensabile definire adeguatamente le modalità di discesa del materiale dalla copertura al piano terreno, evitando situazioni di pericolo. L'abbassamento delle macerie prodotte può essere realizzato in vari modi, sia manualmente attraverso l'ausilio dei piani di carico/scarico del ponteggio, sia in maniera meccanizzata attraverso l'utilizzo di mezzi di sollevamento quali gru oppure come nel caso in esame attraverso la predisposizione di auto-gru. In ogni caso le misure di prevenzione da adottare consistono nell'impedimento del passaggio di personale al di sotto delle zone di lavorazione durante la rimozione e di evitare una posa di carico troppo elevato sul ponteggio.

In aggiunta ai rischi citati, i quali sono presenti anche nelle fasi di cantiere precedentemente analizzate, vi è la potenziale presenza di polvere che causa problematiche relative alla inalazione e alla visibilità; si utilizzano opportuni DPI di I categoria quali mascherine ed occhiali protettivi in aggiunta ai comuni DPI citati. Inoltre, risulta opportuno precisare che viene totalmente esclusa la presenza di strati isolanti in amianto in copertura.

La valutazione dei rischi residui viene riportata in tabella 1.7.

Valutazione dei rischi residui- Fase di rimozione del manto di copertura esistente e di demolizione di porzione di copertura per la realizzazione di un accesso permanente dall'interno dell'edificio				
	P	M	R	Livello di criticità
Caduta dall'alto di operatori	1	4	4	Media
Caduta dall'alto di materiale	2	3	6	Elevata
Scivolamento e caduta	1	3	3	Media
Polvere	2	2	4	Media
Urti	2	2	4	Media
Tagli ed abrasioni	1	2	2	Bassa
Rumore	1	1	1	Bassa
Movimentazione dei carichi	2	1	2	Bassa
Vibrazioni	1	1	1	Bassa

Tabella 4-6-Valutazione dei rischi residui- Fase di rimozione del manto di copertura esistente e di demolizione di porzione di copertura per la realizzazione di un accesso permanente dall'interno dell'edificio

La disposizione del ponteggio comporta un accesso dall'esterno sicuro sulla copertura e altresì la possibilità di effettuare operazioni in prossimità dei bordi della copertura, direttamente dall'ultimo piano di lavoro dell'opera provvisoria. Tuttavia, data la forte pendenza della superficie della copertura è necessario prevedere una ulteriore misura preventiva e protettiva per eseguire in modo sicuro la manutenzione straordinaria oggetto di analisi.

In questa fase si evidenziano i seguenti rischi:

- Caduta dall'alto;
- Scivolamento e urto;
- Tagli ed abrasioni;
- Caduta dall'alto di materiale;
- Rumore;
- Vibrazioni.

Avendo predisposto un ponteggio metallico, una volta che l'operatore accede in copertura ha una bassa probabilità di cadere dall'alto; tuttavia, in questa fase risulta necessario installare il sistema di ancoraggio permanente, in modo da permettere all'operatore di muoversi sulla copertura in maniera corretta e sicura, abbattendo fortemente l'entità di rischio più gravoso nelle lavorazioni in quota su copertura inclinata i cui bordi sono protetti dall'ultimo ripiano del ponteggio, ovvero lo scivolamento e l'urto contro i montanti del ponteggio stesso.

Tutte le varie fasi analizzate in precedenza presentano la finalità di operare in completa sicurezza durante le operazioni di rimozione del manto e di demolizione; infatti, il ponteggio consente sia l'accesso in sicurezza sulla falda sia il punto di partenza per l'installazione del sistema di ancoraggio permanente, il quale limita fortemente la probabilità di accadimento di una caduta dall'alto da parte dell'operatore. I sistemi anticaduta vengono utilizzati "in trattenuta" e gli operatori sono liberi di muoversi in sicurezza anche in prossimità dei bordi dove non si è disposto il ponteggio. Si forniscono in questa fase i comuni DPI di categoria I, quali: casco, scarpe di sicurezza e guanti; la valutazione dei rischi residui viene riportata in tabella 4.7.

Valutazione dei rischi residui- Fase di installazione del sistema di ancoraggio permanente				
	P	M	R	Livello di criticità
Caduta dall'alto di operatori	2	4	8	Elevata
Scivolamento e caduta	2	3	6	Elevata
Caduta dall'alto di materiale	1	2	2	Bassa
Tagli ed abrasioni	1	2	2	Bassa
Rumore	1	1	1	Bassa
Vibrazioni	1	1	1	Bassa

Tabella 4-7-Valutazione dei rischi residui- Fase Installazione sistema di ancoraggio permanente

In seguito, si analizzano i rischi relativi alle fasi di posa del manto di copertura e di lamiera grecata coibentata; i rischi esposti sono equivalenti a quelli elencati nelle fasi di rimozione del manto e demolizione; tuttavia, ad essi viene aggiunto il rischio di investimento da parte degli operatori in quota rispetto al braccio dell'auto-gru. L'auto-gru viene utilizzata, infatti, per portare in quota il quantitativo necessario di tegole da disporre e il quantitativo di lamiera grecata di 45.70 m². Di seguito si elencano i rischi presenti nelle fasi descritte:

- Caduta dall'alto;
- Caduta di materiale dall'alto;
- Scivolamento e caduta;
- Investimento;
- Urti;
- Tagli ed abrasioni;
- Polveri;
- Rumore;
- Movimentazione carichi;
- Vibrazioni.

La caduta dall'alto di operatori e di materiale presenta una scarsa probabilità di accadimento grazie alle disposizioni già adottate nelle fasi precedenti, prescrizioni mantenute per tutte le fasi lavorative in esame; la probabilità di accadimento di investimento viene fortemente contenuta predisponendo il divieto assoluto di presenza di personale nell'area circoscritta dal braccio dell'auto-gru durante il sollevamento in quota dei carichi. Relativamente ai rischi fisici presenti, si prescrivono i comuni DPI di categoria I già citati.

Si riporta in tabella 4.8 la valutazione dei rischi residui.

Valutazione dei rischi residui- Fase di posa del manto di coperture e fase di posa della lamiera grecata				
	P	M	R	Livello di criticità
Caduta dall'alto di operatori	1	4	4	Media
Caduta dall'alto di materiale	1	3	3	Media
Scivolamento e caduta	1	3	3	Media
Investimento	1	3	3	Media
Polvere	2	2	4	Media
Urti	2	2	4	Media
Tagli ed abrasioni	1	2	2	Bassa
Rumore	1	1	1	Bassa
Movimentazione dei carichi	2	1	2	Bassa
Vibrazioni	1	1	1	Bassa

Tabella 4-8-Valutazione dei rischi residui- Fase di posa del manto di coperture e fase di posa della lamiera grecata - Elaborata dall'autore

Relativamente alla fase di posa dei pannelli fotovoltaici, non si evidenziano particolari rischi differenti rispetto alla posa in opera della lamiera grecata e del manto sostitutivo; infatti, il sollevamento dei pannelli avviene sempre attraverso l'ausilio dell'auto-gru, si mantengono le stesse prescrizioni e misure citate in precedenza. La caduta dall'alto viene totalmente prevenuta dal momento che il bordo inferiore della falda sud, così come tutti i bordi della copertura, risulta interamente protetto dal ponteggio, aspetto che conferisce un'ulteriore misura di sicurezza in aggiunta all'utilizzo del sistema anticaduta permanente. La movimentazione dei carichi può causare criticità fisiche al lavoratore, il sollevamento di un pannello deve essere effettuato da due operatori in simultanea. I rischi presenti nella fase di installazione di impianto FV risultano, quindi, elencati di seguito:

- Caduta dall'alto;
- Scivolamento e urto;
- Caduta di materiale dall'alto;
- Investimento;
- Movimentazione dei carichi;

- Elettrocuzione;
- Rumore;
- Tagli ed abrasioni;
- Vibrazioni.

In tabella 4.9 si riporta la valutazione effettuata.

Valutazione dei rischi residui- Fase di installazione dell'impianto FV				
	P	M	R	Livello di criticità
Caduta dall'alto di operatori	1	4	4	Media
Caduta dall'alto di materiale	1	2	2	Media
Scivolamento e urto	2	2	4	Media
Investimento	1	3	3	Media
Elettrocuzione	1	3	3	Media
Movimentazione dei carichi	2	2	4	Media
Tagli ed abrasioni	1	2	2	Bassa
Rumore	1	1	1	Bassa
Vibrazioni	1	1	1	Bassa

Tabella 4-9-Valutazione dei rischi residui- Fase di installazione dell'impianto FV-Elaborata dall'autore

In merito alla eventuale presenza di rischio interferenziale, si evidenzia che le attività proposte non vengono mai svolte in contemporanea, ovvero nello stesso arco temporale; pertanto, non vi è la presenza di possibili situazioni interferenti e non si instaurano rischi aggiuntivi a quelli riportati in questa analisi.

4.7 Ponteggio Metallico a tubi e giunti

Al fine di consentire una riduzione del rischio di caduta dall'alto, si adotta per le opere della manutenzione straordinaria oggetto di analisi la tipologia di ponteggio a tubi e giunti. Il ponteggio ha una duplice funzionalità nel caso in esame; in particolare costituisce un accesso diretto in copertura dall'esterno durante le varie fasi costruttive e consente la possibilità di svolgere in totale sicurezza le lavorazioni nelle zone in prossimità dei bordi della copertura.

Il ponteggio installato presenta un'altezza complessiva di 19.40 m, inferiore al limite previsto di 20 metri per cui vi è la necessità di progettazione dell'opera provvisoria; inoltre, la configurazione geometrica semplice consente altresì di procedere alla installazione senza un progetto esecutivo del ponteggio, ma attraverso la predisposizione della Autorizzazione Ministeriale e del P.i.M.U.S, in cui è presente il disegno esecutivo. In questo paragrafo, si vuole analizzare la configurazione geometrica del ponteggio installato ed elaborato dall'autore; in figura 4.12 viene riportata una vista in pianta della installazione proposta.

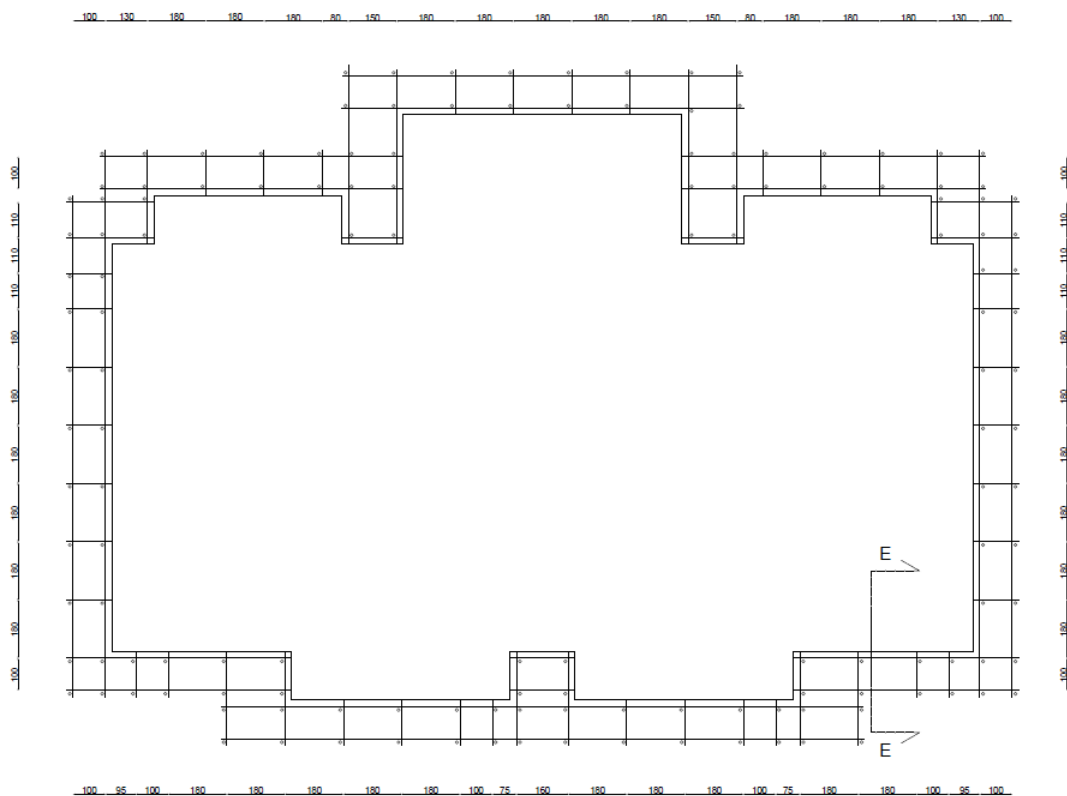


Figura 4-12- Vista in pianta del ponteggio

Si precisa che il ponteggio in esame presenta 10 impalcati comprensivi di tavole; il carico in esercizio del singolo impalcato viene determinato pari a 1.50 KN/m^2 . Si dispone almeno un ancoraggio ogni 22 m^2 resistente ad uno sforzo normale pari a 5 KN assunto sia in segno di trazione che di compressione. Si dispone, inoltre, un ancoraggio a ogni stilata. In figura 4.13 si riporta una sezione tipo del ponteggio in analisi.

SEZIONE E-E

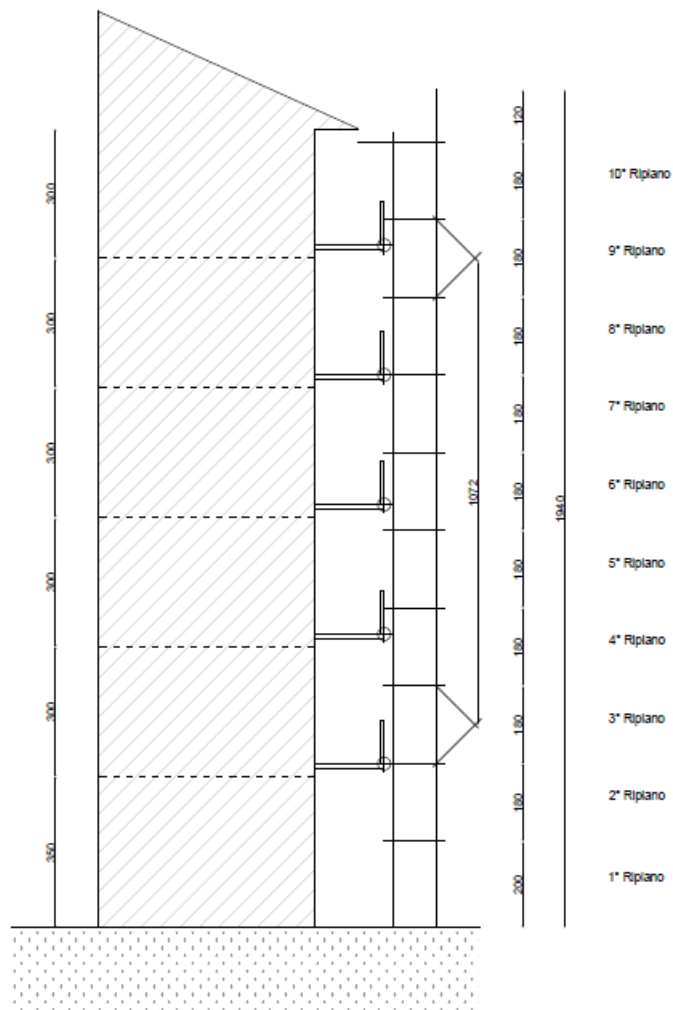


Figura 4-13- Sezione Tipo Ponteggio

4.8 Progetto e verifica del sistema di ancoraggio in copertura

In questo paragrafo si esegue il progetto e conseguente verifica del sistema di ancoraggio da disporre in copertura con la finalità di garantire lo svolgimento delle operazioni relative alle fasi di manutenzione in condizioni di totale sicurezza nella intera superficie della copertura, comprensiva di tutte le falde.

I metodi di progettazione si fondano sul rispetto dei requisiti prestazionali e geometrici evidenziati nel capitolo 3 del presente elaborato, ricavati dalle prescrizioni normative. Nei casi reali di progettazione, il progettista del sistema di ancoraggio redige l'Elaborato Tecnico della Copertura (ETC) che consiste nel documento cardine di identificazione sia delle scelte progettuali effettuate, sia delle disposizioni geometriche e strutturali riferite alla ditta installatrice del sistema di ancoraggio. I contenuti necessari allo sviluppo dell'ETC vengono esposti nell'art. 6 della norma di riferimento consultata per lo svolgimento del presente elaborato, ovvero il D.P.G.R 23 maggio 2016, n.6/R della Regione Piemonte; a livello sintetico l'ETC risulta composto da:

1. Relazione tecnica con studio dei percorsi, la tipologia di accesso alla copertura, le scelte progettuali dei dispositivi da installare e le prescrizioni relative alle misure di sicurezza da adottare;
2. Tavole esplicative rappresentanti planimetrie in scala della copertura e dei percorsi di accesso ad essa.
3. Relazione di calcolo per il dimensionamento e la verifica del fissaggio dei dispositivi di ancoraggio adottati, con particolare riguardo alla interazione strutturale tra ancoraggio e materiale di base. La relazione di calcolo viene corredata di tavole grafico di dettaglio strutturale.
4. Certificazione del fabbricante dei dispositivi installati con relativa dichiarazione di conformità da parte dell'installatore;
5. Manuale di utilizzo del sistema installato;
6. Registro identificativo delle ispezioni da effettuarsi nel corso della vita utile del sistema installato, secondo modalità identificate dal fabbricante. [14]

Nello svolgimento di questo elaborato si vuole simulare un caso reale di redazione di ETC con riferimento ai primi tre punti citati nell'elenco suddetto; quindi, si esegue in prima fase la caratterizzazione dei percorsi e dell'accesso in copertura con riferimento allo stato di progetto della manutenzione straordinaria in esame.

Successivamente, si espongono i criteri e le scelte adottate nella fase di progettazione e si redige una relazione di calcolo relativa ai dispositivi installati, il tutto corredato da tavole grafiche presenti nella sezione allegati.

4.8.1 Identificazione dei percorsi per l'accesso in copertura

L'identificazione dei percorsi per l'accesso in copertura si riferisce allo stato di progetto della manutenzione straordinaria studiata nel presente elaborato.

Le caratteristiche fondamentali della copertura risultano descritte nei seguenti punti:

- Struttura di cemento armato con solaio in latero-cemento;
- Pendenza pari al 45%, angolo di inclinazione pari a 24°;
- Tipologia di copertura a falde piane;
- Copertura strutturalmente resistente ai carichi di manutenzione imposti da normativa di riferimento della pratica edilizia correlata alla costruzione dell'edificio residenziale, "Legge 5 novembre 1971, n.1086";
- Una porzione di copertura nella falda sud risulta non calpestabile a causa della presenza di pannelli fotovoltaici installati.

Il percorso per l'accesso in copertura risulta di tipo permanente ed è costituito da un vano scala condominiale formato da gradini fissi con sviluppo verticale; in aggiunta, si segnala la presenza del vano ascensore presente nel condominio per trasporto di persone e materiale di lieve ingombro, materiale necessario per manutenzione ordinaria ai pannelli FV o per ispezioni.

Le dimensioni e le caratteristiche del percorso identificato risultano totalmente compatibili alle prescrizioni contenute nell'art. 8 del D.P.G.R. 23 maggio 2016, n.6/R, come dimostrato nella tabella 4.10, in cui si esegue la verifica citata.

Confronto del percorso di accesso con disposizioni contenute nell'art.8 D.P.G.R. 23 maggio 2016 n.6/R		
Comma 2		VERIFICA
a	Non si segnala la presenza di ostacoli fissi lungo il percorso identificato dal vano scala condominiale e dalla scala retrattile posta a livello del sottotetto per l'accesso in copertura	VERIFICATO
b	A causa della mancanza di aperture nel vano scala condominiale viene garantita in modo continuo adeguata illuminazione artificiale per assicurare idonea visibilità	VERIFICATO
c	La larghezza del vano scala condominiale, dell'ascensore condominiale e della scala retrattile posta a livello del sottotetto sono superiori al valore minimo di 0.60 m imposto da normativa; in particolare le larghezze di riferimento sono:	
	Vano scala condominiale, L = 1.25 m	≥ 0.60 m
	Vano ascensore, L = 2.10 m	≥ 0.60 m
	Scala retrattile, L = 0.80 m	≥ 0.60 m
d	Lungo tutto il percorso di accesso viene garantita un'altezza libera superiore ad 1.80 m, sia nel vano scala condominiale e sia nel posizionamento della scala retrattile	VERIFICATO
e	Non si segnala la presenza di percorsi orizzontali o inclinati, pertanto non è necessario ridurre i rischi di caduta nei lati prospicienti il vuoto	VERIFICATO
f	Percorso realizzato con scala fissa e scala retrattile ed eventualmente ausilio di vano ascensore	VERIFICATO

Tabella 4-10-Confronto caratteristiche copertura e disposizioni normative

L'accesso alla copertura consiste in un accesso dall'interno e di carattere permanente, realizzato mediante una demolizione di porzione limitata di copertura sulla falda sud durante le lavorazioni di manutenzione straordinaria precedentemente descritte. Ai sensi dell'art. 9 del DPR n.6/r, si conferisce, quindi, una priorità di scelta progettuale ad un accesso di tipo comune dall'interno con caratteristiche dimensionali adeguate al passaggio di un operatore eventualmente dotato di utensili in condizioni di totale sicurezza.

Le dimensioni dell'accesso disposto vengono evidenziate in figura 4.14.

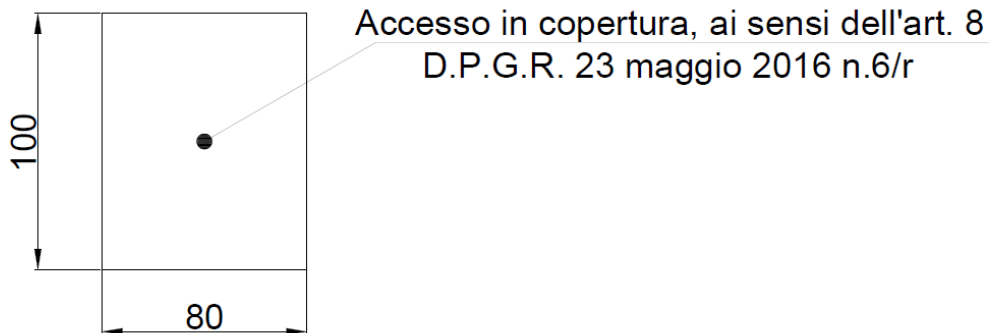


Figura 4-14-Dimensioni accesso

Si effettua la verifica dimensionale dell'accesso posizionato in tabella 4.11.

Verifica dimensionale accesso in copertura ai sensi dell'art. 9 del D.P.G.R. 23 maggio 2016 n.6/R				
Accesso costituito da apertura orizzontale o inclinata				VERIFICA
Superficie totale [m ²]	0.80	≥	0.50	VERIFICATO
Apertura di passaggio [m]	0.80	≥	0.70	VERIFICATO

Tabella 4-11- Verifica dimensionale accesso

Inoltre, si precisa la presenza di cartellonistica in cui vengono segnalate le prescrizioni per l'accesso in copertura in totale sicurezza, ovvero i dispositivi installati e i DPI da indossare oltre al numero massimo di utilizzatori del sistema di ancoraggio. Inoltre, come mostrato nelle tavole in allegato, il punto di accesso risulta posizionato in modo tale da consentire l'ancoraggio dell'operatore prima dello sbarco in copertura.

4.8.2 Criteri progettuali del sistema di ancoraggio dei dispositivi di protezione individuali

La disposizione del sistema di ancoraggio viene progettata attraverso il rispetto dei diversi requisiti prestazionali e geometrici esposti nel capitolo 3 del presente elaborato; in modo particolare, si studia una soluzione che garantisca un livello massimo di sicurezza relativo all'intera superficie della copertura e combinato ad un elevato grado di ergonomia per gli operatori in quota. La predisposizione del sistema di ancoraggio viene intesa come una misura di sicurezza relativa alle successive fasi di manutenzione ed ispezioni dell'impianto fotovoltaico, per tale motivo si considera la messa in sicurezza di tutta la superficie della copertura e non esclusivamente la falda sud oggetto della installazione. Tale distinzione tra le fasi di lavoro appena citate è fondamentale, dal momento che una valutazione superficiale di analisi del rischio potrebbe indurre a considerare esaustiva, al fine di garantire un adeguato livello di sicurezza, la sola predisposizione di un ponteggio; mentre, la necessità di disporre di un sistema di ancoraggio permanente in copertura si riferisce alle fasi di manutenzione e ispezione della copertura. Pertanto, lo sviluppo delle diverse normative regionali impone la installazione di tali sistemi di protezione.

Il primo step per effettuare la progettazione del sistema di ancoraggio consiste nella individuazione delle zone critiche della copertura in esame; ovviamente, tali zone si collocano in prossimità dei bordi della copertura come rappresentato in figura 4.15.

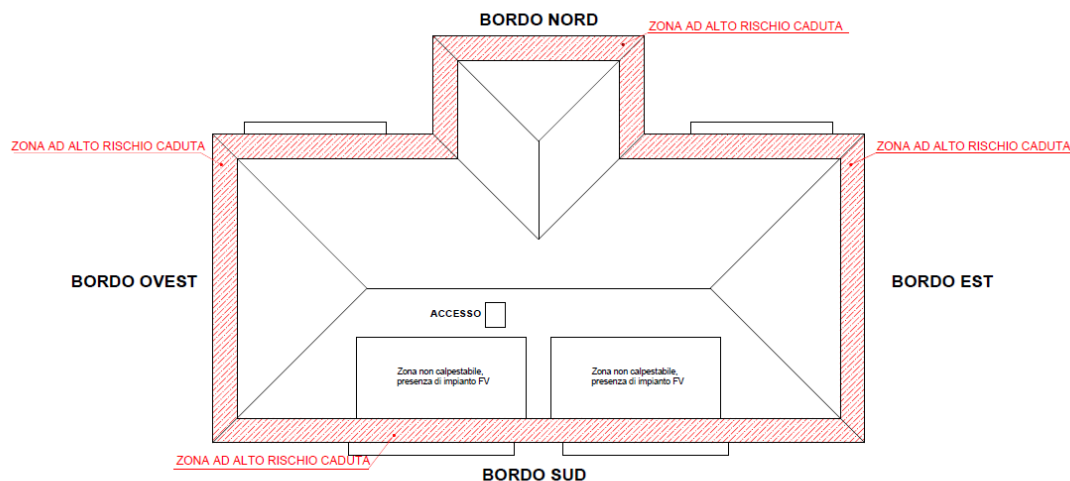


Figura 4-15-Identificazione zone ad alto rischio caduta

Avendo individuato le zone maggiormente critiche per il rischio di caduta dall'alto, risulta opportuno definire per ciascun bordo della copertura un sistema anticaduta di tipo arresto caduta o trattenuta. In linea generale, la scelta di un sistema di trattenuta risulta nettamente preferibile a livello di prevenzione del rischio [22]. Nel caso studiato, quindi, il sistema di ancoraggio permanente viene progettato per consentire una modalità di lavoro in trattenuta lungo tutti i bordi della copertura; tale scelta viene motivata ulteriormente da una limitata distanza disponibile di caduta riferita al bordo sud e nord della copertura. Infatti, come ampiamente riportato nel capitolo 3 del presente elaborato, gli aspetti relativi al tirante d'aria e all'effetto pendolo hanno un ruolo preponderante tra i requisiti prestazionali e geometrici fondamentali da rispettare per la progettazione del sistema di ancoraggio. La presenza di ostacoli fissi costituiti da due ampi balconi al di sotto dei bordi sud e nord della copertura costituisce un fattore importante di rischio relativo all'urto dell'operatore in arresto caduta e soggetto ad effetto pendolo, come dimostrabile nel dettaglio del prospetto sud rappresentato in figura 4.16 precisando che la situazione relativa al prospetto nord è del tutto equivalente.

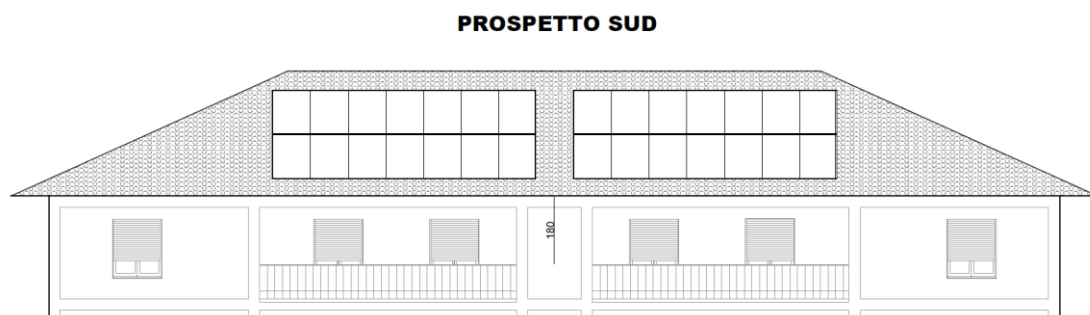


Figura 4-16-Particolare del prospetto sud

In figura si nota come la distanza tra la linea di gronda della copertura e il primo ostacolo fisso al di sotto di essa sia pari a 1.80 metri, valore molto limitato per consentire un arresto caduta in totale sicurezza.

Relativamente ai bordi est ed ovest della copertura, non si segnala la presenza di ostacoli fissi al di sotto di essi; in questo caso, la scelta di lavoro in trattenuta incrementa la condizione di ergonomia garantendo la continuità del criterio di progettazione del sistema di ancoraggio, oltre che costituire una misura preventiva importante.

In sintesi, in figura 4.17 si riporta la configurazione di lavoro in trattenuta.

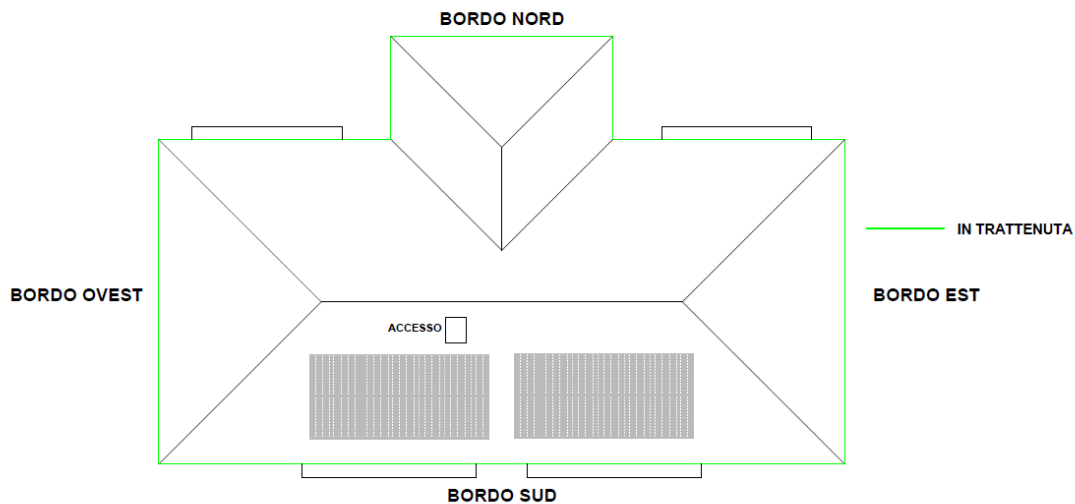


Figura 4-17-Configurazione di lavoro in trattenuta applicata a tutti i bordi della copertura

Avendo determinato la condizione di lavoro del sistema anticaduta, il passo successivo della progettazione del sistema di ancoraggio permanente consiste nella disposizione del primo punto di ancoraggio per consentire all'operatore di sbarcare in copertura in totale sicurezza. Dal momento che l'operatore deve essere in grado di ancorarsi ad un punto fisso direttamente dal dispositivo di accesso in copertura, nel caso in esame si ricorda che l'accesso si effettua attraverso una scala retrattile, risulta necessario che la distanza tra il punto di ancoraggio e il punto di accesso in cui si trova l'operatore sia opportunamente limitata. Attraverso la consultazione della norma regionale D.P.R. 23/05/2016 n.6/r, non si evidenzia un valore limite imposto alla distanza tra accesso e punto di ancoraggio; infatti, nell'art. 9 al comma 3 si prescrive esclusivamente che il punto di accesso *“deve essere dotato di un ancoraggio facilmente raggiungibile al quale l'operatore, prima di accedere alla copertura, possa agganciare il dispositivo di protezione individuale e collegarsi ad un sistema di ancoraggio presente sul tetto.”*²⁹

²⁹ Art. 9, D.P.G.R. 23 maggio 2016 n.6/r

Al fine di soddisfare tale esigenza, si dispone il punto di ancoraggio ad una distanza pari a 0.60 m dal punto di accesso sulla copertura; tale valore è assunto pari al raggio della circonferenza inscritta dalla rotazione del braccio dell'operatore. In figura 4.18 si rappresenta la disposizione del primo ancoraggio puntuale.

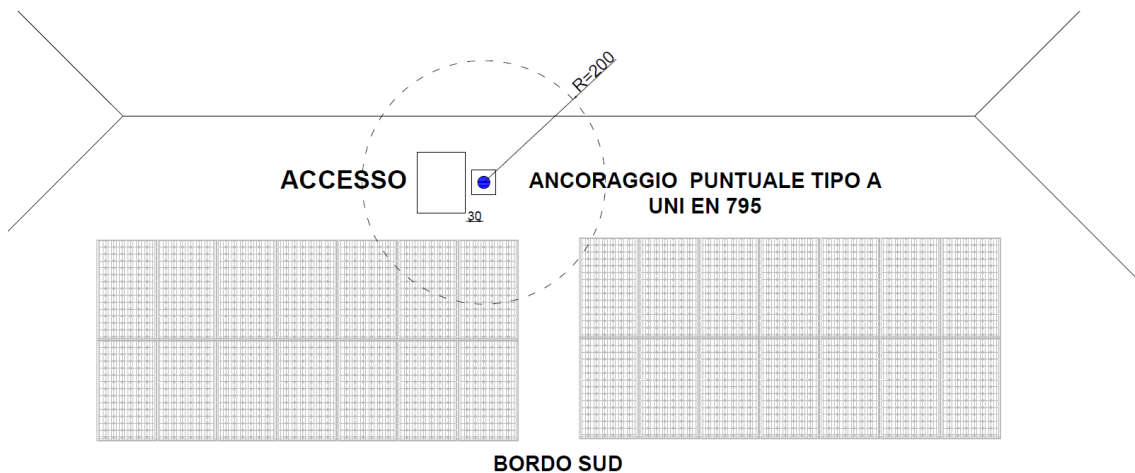


Figura 4-18-Dettaglio dell'accesso in copertura con quotatura

In figura si descrive in modo dettagliato la distanza di 0.30 m tra accesso e punto di ancoraggio, il quale consiste in un ancoraggio puntuale di tipo A secondo la definizione della norma UNI EN 795. L'operatore riesce ad ancorarsi a tale dispositivo mediante il sistema anticaduta in dotazione, in modo da riuscire a percorrere una circonferenza con un raggio pari a 2 m; in seguito, la progettazione prevede la disposizione di un sistema di ancoraggio principale all'interno del raggio di azione dell'operatore relativo al primo punto di ancoraggio. Le caratteristiche del punto di ancoraggio, con relativa verifica strutturale vengono trattate nel paragrafo 4.8.3.

La progettazione del sistema di ancoraggio prosegue attraverso la possibilità di adottare una scelta relativa ad una duplice tipologia di sistema; infatti, è possibile disporre in copertura un sistema caratterizzato da una serie di ancoraggi puntuale di tipo A, oppure scegliere di adottare un sistema di ancoraggio lineare di tipo C. Nel caso in esame la scelta ricade nella disposizione di un sistema di ancoraggio combinato formato da un sistema lineare e una serie di ancoraggi puntuali disposti nelle zone maggiormente critiche della copertura.

La scelta di installare un sistema di ancoraggio lineare incrementa notevolmente il fattore ergonomico delle lavorazioni in copertura; infatti, l'operatore risulta guidato dalla cosiddetta linea vita riducendo il fattore di rischio correlato alle scorrette modalità di lavoro; si limitano, infatti, le operazioni di aggancio-sgancio necessarie in un ipotetico sistema di ancoraggio puntuale.

Il sistema di ancoraggio lineare viene comunemente formato da due pali di estremità a cui si collega solidalmente una linea flessibile che devia dall'orizzontale per un angolo inferiore o uguale ai 15° [26] ; confrontando molteplici cataloghi indicanti le caratteristiche tecniche di diversi fabbricanti di sistemi di ancoraggio lineare, si evidenzia una sostanziale differenza tra sistema a singola campata o sistema a molteplice campata. Un sistema a singola campata individua esclusivamente due pali di estremità, costituenti le basi per il fissaggio del sistema lineare, con un range di estensione pari dai 2 ai 15 metri; mentre un sistema multi-campata prevede la presenza di uno o più pali intermedi dotati di dispositivo “passa-palo” in modo tale che il cordino di collegamento dell'operatore riesca a oltrepassare il fissaggio intermedio senza il distacco dalla linea flessibile, in questo caso il range estensionale si estende oltre il limite dei 15 metri individuato in precedenza. [27]

Nel caso in esame, si sceglie di collocare il sistema di ancoraggio lineare nel colmo della copertura avente una estensione pari a 14 metri, distanza per cui risulta sufficiente la disposizione di un sistema lineare; tuttavia, al fine di incrementare il livello di sicurezza inteso come riduzione di caratteristiche di sollecitazioni agente sulle singole piastre di estremità, si dispone un sistema multi-campata avente un palo intermedio collocato nel punto di mezzeria del colmo di copertura, il quale costituendo un vincolo aggiuntivo del sistema riduce la sollecitazione agente sui pali di estremità attraverso un meccanismo di ripartizione statica.

In figura 4.19 si riporta la schematizzazione in pianta del sistema lineare installato.

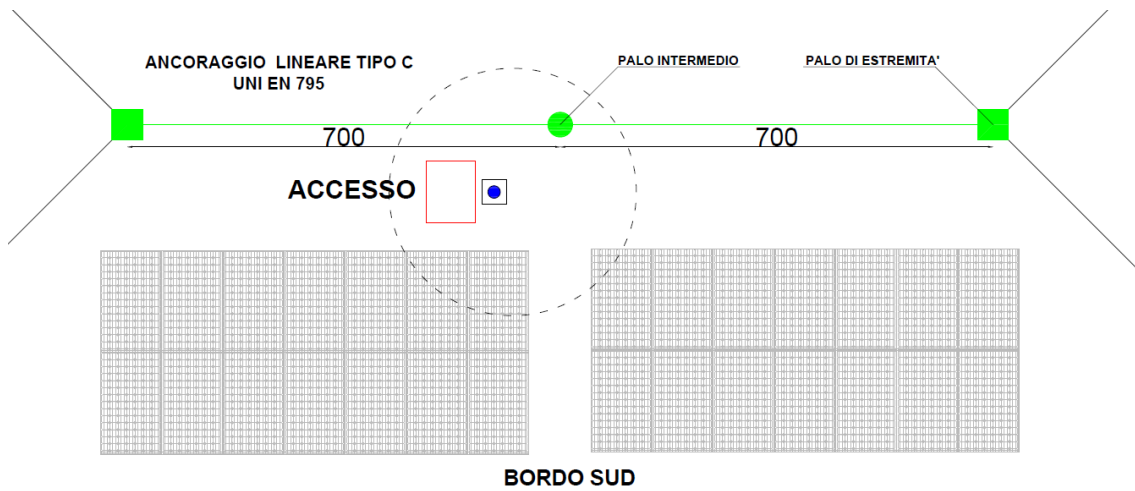


Figura 4-19-Schema in pianta ancoraggio lineare

Mentre, in figura 4.20 si riporta uno schema in vista frontale della tipologia di sistema adottato, precisando che la distanza tra punto A e punto B risulta di 7 metri.

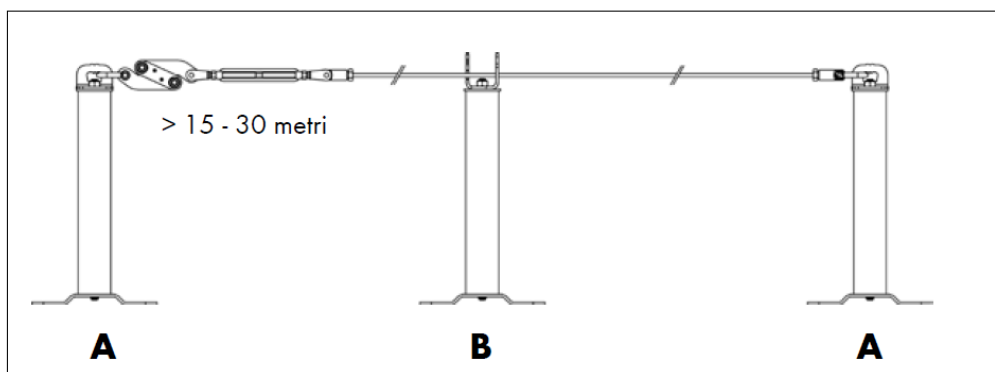


Figura 4-20- Schematizzazione sistema lineare-Vista Frontale-Fonte: [27]

In cui,

A: “punto di ancoraggio di estremità con golfare”;

B: “punto di ancoraggio intermedio con passapalo.”³⁰

³⁰ Linea Vita Robust- La Linea Vita Würth, www.wuerth.it/lineavita

Nella schematizzazione in pianta si evidenzia che la distanza tra il primo punto di ancoraggio disposto in prossimità dell'accesso in copertura e il sistema principale costituito dalla tipologia lineare C risulta totalmente compatibile alla circonferenza di raggio pari a 2 metri, spazio in cui l'operatore è libero di muoversi in totale sicurezza; in questo senso, non è necessario installare un ulteriore ancoraggio puntuale per permettere all'operatore di agganciarsi al sistema principale.

A ridosso delle estremità della linea flessibile si dispongono sia un tenditore di cavo sia un riduttore tensionale, il cui compito risiede nella dissipazione di energia cinetica in caso di caduta dell'operatore. Si nota, inoltre, che i punti di ancoraggio costituenti il sistema lineari sono ancorati alla struttura di supporto attraverso piastre di collegamento realizzate in acciaio, la verifica di tale modalità di fissaggio viene computata nel paragrafo 4.8.3. La linea flessibile di collegamento risulta generalmente costituita da acciaio inox, in modo da evitare eccessiva sensibilità agli effetti della corrosione prodotti da agenti atmosferici. Il transito sulla copertura viene permesso attraverso la combinazione del sistema lineare con i dispositivi in dotazione all'operatore.

La progettazione del sistema di ancoraggio permanente prevede una ulteriore analisi in merito alle zone in prossimità dei bordi della copertura; in tali zone si sceglie di disporre ancoraggi puntuali di supporto, il cui compito consiste nel ridurre ulteriormente la probabilità di avvenimento caduta con conseguente effetto pendolo. Gli ancoraggi puntuali da disporre risultano di tipologia A e si definiscono come deviatori di caduta, comunemente chiamati “anti-pendolo”; nelle zone di disposizione evidenziate, l'operatore rimanendo ancorato al sistema principale lineare si aggancia attraverso un doppio cordino agli ancoraggi puntuali, cordino con un raggio fisso di 2 m.

Il posizionamento dei deviatori di caduta viene effettuato nella porzione terminale delle varie falde, individuando una distanza pari a 2.30 metri in direzione verticale ed orizzontale rispetto agli angoli della copertura. In questo modo, si consente al lavoratore di operare in condizione di caduta totalmente prevenuta (trattenuta) anche nelle zone maggiormente critiche. In figura 4.21 si rappresenta la disposizione descritta in precedenza.

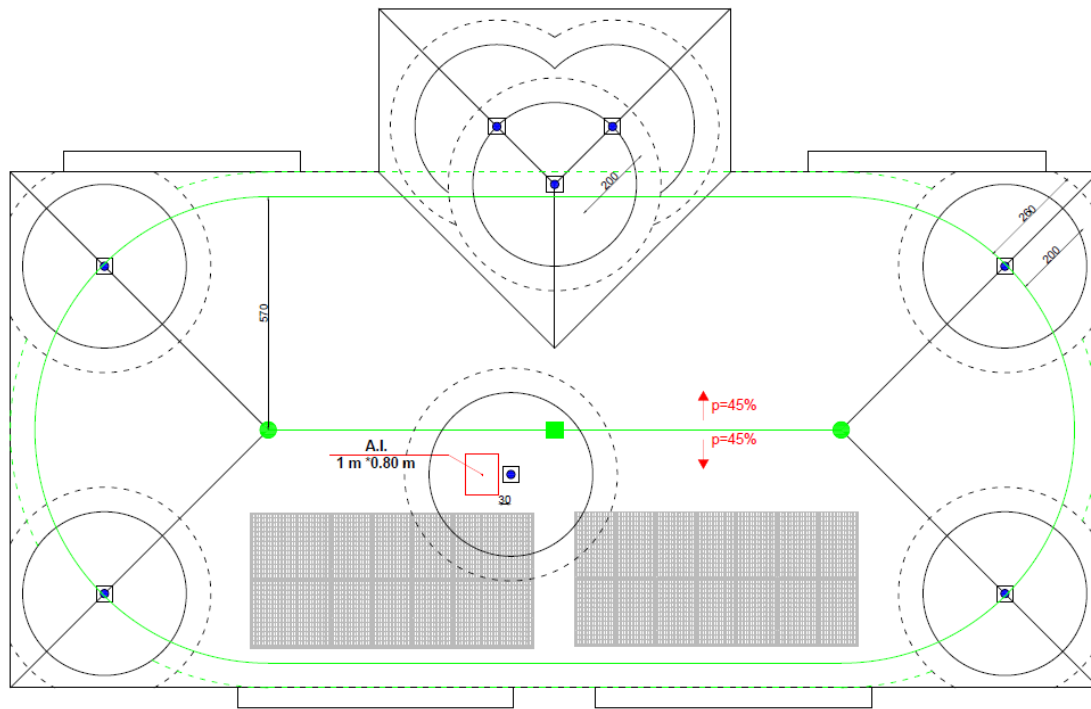


Figura 4-21- Disposizione sistema di ancoraggio

Si rimanda alla sezione allegati per la completa visualizzazione del sistema di ancoraggio permanente predisposto.

4.8.3 Relazione di calcolo del sistema di ancoraggio permanente

Nel presente paragrafo si vuole completare il progetto del sistema di ancoraggio permanente attraverso la relazione di calcolo strutturale comprendente il dimensionamento e la verifica dell'interazione tra il sistema di ancoraggio e la struttura di supporto della copertura.

Il sistema di ancoraggio si compone dei seguenti elementi:

- n. 2 pali di ancoraggio di estremità, tipo C con relative piastre di supporto;
- n. 1 palo di ancoraggio intermedio, tipo C con relativa piastra di supporto;
- n. 1 cavo in acciaio inox Φ 8 costituente linea flessibile;
- n. 1 tenditore;
- n. 1 assorbitore di energia;
- n. 2 punti di ancoraggio tipo A e relativo fissaggio;
- n. 6 punti di ancoraggio tipo A costituenti deviatori di caduta e relativo fissaggio.

La struttura di base si riferisce ad una copertura in latero-cemento con pendenza pari al 45%, inclinazione pari a 24° e manto di copertura costituito da tegole in laterizio.

Il fissaggio degli elementi elencati viene studiato singolarmente con caratteristiche tecniche e geometriche ricavate dai prodotti comunemente presenti in commercio.

4.8.3.1 Materiali di riferimento

Si analizzano le caratteristiche di resistenza e i legami costitutivi dei materiali presenti nel caso studiato; la tipologia di calcestruzzo costituente la struttura si desume dalla pratica strutturale del titolo abilitativo di riferimento alla costruzione dell'edificio residenziale. Un ulteriore metodo di conoscenza delle caratteristiche del materiale della base di supporto consiste nell'esecuzione di precise prove di carotaggio e di analisi in laboratorio. Il calcestruzzo in esame risulta di classe C 25/30, si determina la resistenza a compressione attraverso la relazione 4.1.3 del DM 17/01/2018:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 * 25 MPa}{1.5} = 14.17 MPa$$

In cui:

f_{ck} : resistenza caratteristica di compressione cilindrica del calcestruzzo [MPa];

α_{cc} : coefficiente riduttivo riferito alla resistenza per lunga durata, pari a 0.85;

γ_c : coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo, pari a 1.5.

Gli elementi formanti il sistema di ancoraggio permanente in copertura e i relativi fissaggi sono costituiti interamente da acciaio, la cui tipologia si differenzia a seconda del prodotto analizzato; quindi, per ciascun elemento in fase di relazione di calcolo si specificano le caratteristiche del materiale adottato. Relativamente al legame costitutivo dell'acciaio impiegato, si fa riferimento a un modello sforzo-deformazione del tipo “*elastico-perfettamente plastico indefinito*”³¹

³¹ DM 17/10/2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

4.8.3.2 Verifica del sistema di ancoraggio lineare di Tipo C

Il sistema di ancoraggio lineare disposto sulla copertura risulta avere uno schema a multi-campata costituito da due ancoraggi di estremità ed un ancoraggio intermedio, elementi a cui viene collegata una linea flessibile formata da un cavo $\Phi 8$ in acciaio inox, secondo lo schema in pianta riportato in figura 4.22.

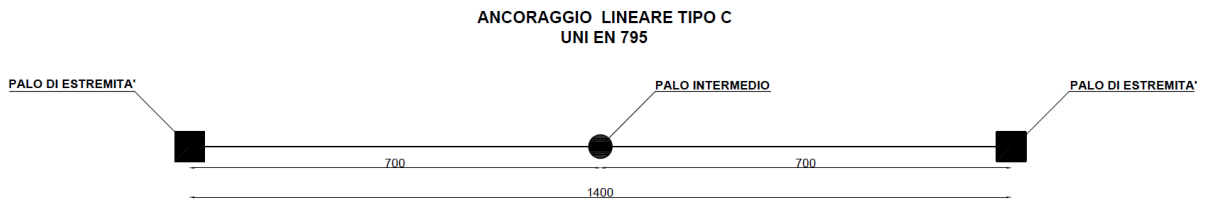


Figura 4-22- Schema Multi campata

La verifica degli elementi costituenti il sistema di ancoraggio lineare consistono in procedure svolte simultaneamente, in cui si confrontano i dati forniti dai fabbricanti dei prodotti da installare con le esigenze dettate dalla geometria e dalla struttura di base della copertura studiata. In particolare, il progettista attraverso una accurata analisi dei prodotti presenti in commercio valuta l'idoneità di tali elementi al fine di soddisfare le verifiche strutturali relative alla unione tra elemento di ancoraggio e struttura di supporto. Nel presente elaborato, si sceglie di ipotizzare in maniera realistica, attraverso la consultazione di diversi cataloghi di molteplici ditte fabbricanti, la geometria degli elementi di fissaggio e le relative caratteristiche tecniche.

In prima fase, avendo predisposto un sistema a multi-campata, si effettua un focus sulla singola campata riferita al palo di estremità indicato come punto A in figura 4.23 e il palo intermedio indicato come punto B; la lunghezza della singola campata oggetto di calcolo risulta, quindi, pari a 7 metri.

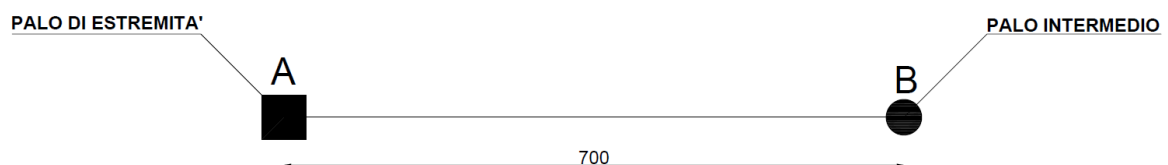


Figura 4-23- Schema Singola Campata

Le condizioni di calcolo per la verifica strutturale del sistema di ancoraggio lineare coincidono con le condizioni di arresto caduta dell'operatore, nonostante il sistema sia progettato in caduta totalmente prevenuta; in particolare, il fabbricante certifica, attraverso i metodi di prova di resistenza statica e di deformazione descritti compiutamente nella norma UNI EN 795:2012, il massimo carico di progetto a cui è soggetto il sistema di ancoraggio lineare nel fissaggio di estremità e la massima deflessione (freccia) nel punto di mezzeria. Il progettista, in questa fase, assume come carico nominale il valore fornito dal fabbricante, che esegue le prove normative al livello europeo al fine di certificare il prodotto attraverso la marcatura CE. In questo senso, nel presente caso studio, si vuole simulare l'attività del progettista, assumendo realisticamente che il palo di estremità in fase di arresto caduta sia soggetto ad un carico nominale (F) pari a 14.0 kN e il valore della freccia in mezzeria sia pari a 1.11 m [28], come mostrato in figura 4.24.

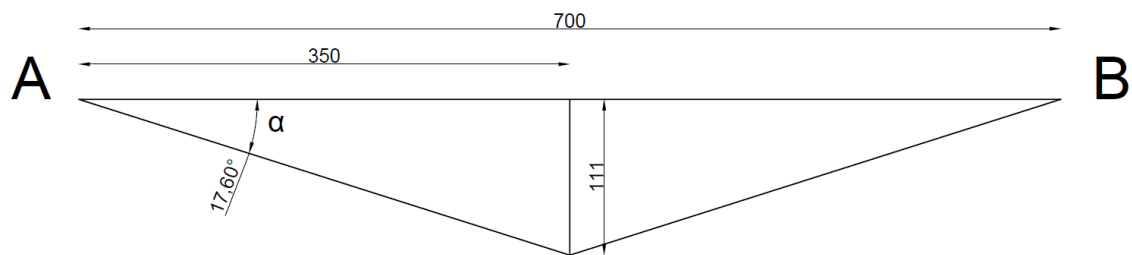


Figura 4-24-Schematizzazione deflessione e deviazione angolare

In sintesi, i dati di partenza della presente verifica strutturale sono dettagliati nei seguenti punti:

- Lunghezza della campata, schema di singola campata:

$$L_{campata} = 7.00 \text{ m}$$

- Altezza palo di estremità:

$$H_{palo} = 0.50 \text{ m}$$

- Carico Nominale di Progetto

$$Fd = 14.0 \text{ KN}$$

- Freccia in mezzzeria:

$$FLV = 1.11 \text{ m}$$

Il carico Fd viene scomposto nelle due direzioni riferite alla direzione parallela all'asse della linea flessibile (direzione x) e alla direzione ortogonale all'asse della linea flessibile (direzione y):

$$Fd, x = Fd * \cos\alpha = 13.35 \text{ KN}$$

$$Fd, y = Fd * \sin\alpha = 4.23 \text{ KN}$$

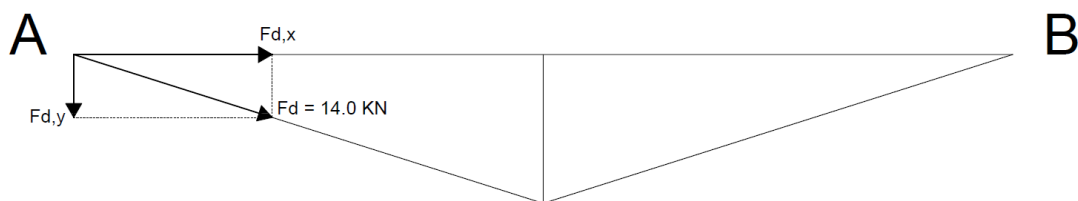


Figura 4-25-Scomposizione carico nominale di progetto

In questo senso, le azioni agenti alla base del palo in esame consistono nella forza di taglio (F_d) e nei momenti flettenti calcolati secondo le due direzioni principali ($M_{d,x}$; $M_{d,y}$), i cui valori si determinano come:

$$F_d = 14.0 \text{ KN}$$

$$M_{d,x} = 2.12 \text{ KNm}$$

$$M_{d,y} = 6.68 \text{ KNm}$$

Si sceglie di disporre alla base del palo studiato una piastra in acciaio s235 di dimensioni 300mm*300mm di spessore 10mm avente 8 fori per la disposizione di barre filettate M12 [29] .

Lo schema della piastra viene mostrato in figura 4.26; mentre le caratteristiche strutturali della piastra e dei bulloni adottati sono elencati nella tabella 4.12.



Figura 4-26- Piastra di base tipo C³²

³² SICURPAL® - Manuale d'istruzioni per montaggio, uso e manutenzione di dispositivi di ancoraggio per linee vita "Economy-Line", rielaborato dall'autore.

Caratteristiche unione bullonata			
Tipologia		M12	
Classe		8.8	
Diametro bullone	d	12	mm
Diametro Foro,	d0	13	mm
Area	A	113	mm ²
Area filettata	Ares	84.3	mm ²
Tensione Snervamento bullone	fyb	640	MPa
Resistenza ultima bullone	fub	800	MPa
Caratteristiche Piastra di collegamento			
Tipologia Acciaio		s235	
Dimensioni in pianta	300	300	mm
Spessore	t	10	mm
Area	A, piastra	90000	mm ²
Tensione di snervamento piastra	fy	235	MPa
Resistenza ultima piastra	fu	360	Mpa

Tabella 4-12-Caratteristiche unione bullonata e piastra tipo C

Lo step successivo consiste nello studio e nella verifica dei diversi meccanismi di rottura riferiti alla unione bullonata, alla piastra di base e alla struttura di supporto in calcestruzzo. In prima fase si analizzano i meccanismi di rottura “lato acciaio”, ovvero i meccanismi critici riferiti alle caratteristiche strutturali della unione bullonata. In linea generale, un’unione bullonata viene sollecitata da forze esclusivamente parallele al gambo del bullone definendo la modalità di lavoro del collegamento “a trazione” oppure da forze esclusivamente perpendicolari al gambo del bullone comportando il lavoro “a taglio” dell’unione. Nel caso in esame, si dimostra che il palo di estremità del sistema di ancoraggio di tipo C trasmette una sollecitazione flettente e tagliente alla piastra di collegamento; quindi, l’unione studiata viene impiegata da una combinazione di forze di taglio e di trazione simultanee.

Si precisa che la modalità di calcolo effettuata prevede alcune considerazioni semplificate rispetto al comportamento reale della bullonatura; in particolare, si schematizza la dimensione geometrica del bullone come puntiforme con posizionamento in corrispondenza del baricentro e si trascura il fattore di concentrazione degli sforzi in prossimità del foro del bullone ipotizzando, quindi, una distribuzione tensionale uniformemente distribuita in tutto il collegamento.

In riferimento alla crisi strutturale della unione bullonata si possono individuare tre diverse situazioni critiche:

- Rifollamento della piastra, meccanismo causato dal passaggio di un valore elevato di pressione sollecitante dal bullone alla piastra stessa di collegamento. Si instaura una rottura localizzata della lamiera, mentre il bullone rimane integro.
- Trazione della lamiera, la rottura della piastra di collegamento avviene per un superamento della capacità portante della lamiera stessa.
- Taglio della lamiera, avviene il distacco di una superficie conica della lamiera in prossimità dell'elemento di collegamento. [30]

I meccanismi di rottura propri di una unione a taglio vengono rappresentati in figura 4.27.

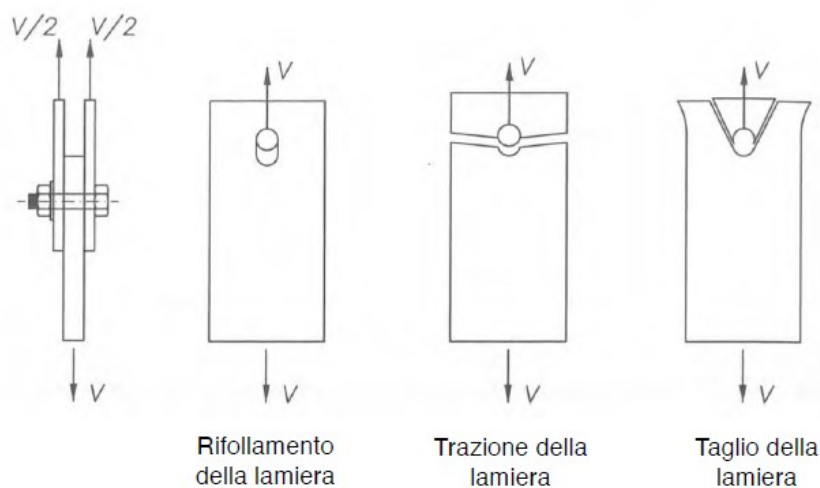


Figura 4-27-Meccanismi di rottura unione bullonata a taglio-Fonte [31]

Come descritto in precedenza, l'unione in esame viene sollecitata sia a trazione sia a taglio a causa della contestuale presenza di sforzo tagliante e momento flettente; le verifiche strutturali da effettuare si riferiscono all'Eurocodice 3 e alle Norme Tecniche delle Costruzioni con particolare riferimento alle unioni bullonate di Categoria A, le quali comprendono la bullonatura dalla classe 4.6 alla classe 10.9 in assenza di precarico; tuttavia, a causa della presenza di uno sforzo di trazione si devono effettuare ulteriori verifiche riferite alla Categoria D, comprendente elementi di collegamento fino alla classe 10.9 in assenza di precarico.

Le tipologie di verifica svolte nel presente caso studio vengono sintetizzate in figura 4.28.

Collegamenti sollecitati a taglio		
Categoria	Criterio	Note esplicative
A unioni a taglio	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Non è richiesto precarico Viti di classi da 4.6 a 10.9
B unioni ad attrito resistenti allo stato limite di servizio	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$	Viti di classi 8.8 o 10.9 Assenza di scorrimento allo stato limite di servizio
C unioni ad attrito resistenti allo stato ultimo	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Viti di classi 8.8 o 10.9 Assenza di scorrimento allo stato limite ultimo Indebolimento del piatto per la presenza di fori
Collegamenti sollecitati a trazione		
Categoria	Criterio	Note esplicative
D unioni con viti non prevaricate	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Non è richiesto precarico Viti di classi da 4.6 a 10.9
E unioni con viti precaricate	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Viti di classi 8.8 o 10.9

Figura 4-28-Verifiche Unioni Bullonate-Fonte: [31]

La prima verifica trattata consiste nella resistenza a taglio dell'unione, in cui deve essere rispettata la seguente condizione:

$$F_{v,ed} \leq F_{v,rd}$$

In cui,

$F_{v,ed}$: forza di taglio agente sul collegamento, singolo bullone [KN];

$F_{v,rd}$: resistenza di taglio del collegamento, singolo bullone [KN]; [30]

Per determinare il valore del taglio agente sul singolo bullone si effettua un semplice rapporto tra il valore di taglio totale calcolato in precedenza e trasmesso dal palo di estremità del sistema di ancoraggio sulla copertura alla piastra di collegamento in cui si collocano i bulloni, ricordando che vengono disposti 8 bulloni M12.

Il valore della resistenza di taglio viene determinato considerando la duplice situazione di passaggio del piano di taglio per la zona filettata o per la zona non filettata, in particolare nel caso in esame di una unione costituita da bulloni di classe 8.8 la relazione per determinare la resistenza di taglio vale la seguente relazione.

Piano di taglio passante per la zona filettata:

$$F_{v,rd} = n_s * \frac{0.6 * f_{ub} * A_{res}}{\gamma_{m2}}$$

In cui,

n_s : numero di sezioni resistenti del bullone;

γ_{m2} : coefficiente di sicurezza relativo alle unioni, ricavato dalle Norme Tecniche, pari a 1.25.
[30]

Il prossimo step consiste nel verificare la resistenza del rifollamento della piastra, attraverso il calcolo del valore di resistenza valutabile dalla seguente relazione:

$$F_{b,rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * d * t}{\gamma_{m2}}$$

In cui:

k_1 : coefficiente adimensionale riferito alla direzione ortogonale di trasferimento del carico, si differenzia per bulloni di bordo e bulloni interni

a_b : coefficiente adimensionale riferito alla direzione parallela di trasferimento del carico, si differenzia per bulloni di bordo e bulloni interni

f_u : carico di rottura della piastra di collegamento [MPa]

d : diametro del bullone [mm]

t : spessore della piastra [mm]

γ_{m2} : coefficiente di sicurezza pari a 1.25

[30]

Si evidenzia come nella formula per il calcolo della resistenza del rifollamento sono presenti diversi fattori di calcolo riferiti alla piastra; come descritto in precedenza, infatti, tale meccanismo di crisi strutturale interessa la piastra di base e gli elementi di collegamento restano integri e non sono interessati da rotture localizzate.

Per completare l'analisi del collegamento riferita alle diverse situazioni di crisi lato acciaio, risulta necessario valutare il massimo valore della sollecitazione di trazione che interessa l'unione bullonata in esame. A tale scopo, il dato di partenza risulta la sollecitazione flettente nelle diverse componenti $M_{d,x}$ e $M_{d,y}$ calcolate in precedenza; il massimo valore di sforzo di trazione agente $F_{t,d}$ si calcola attraverso l'ipotesi di equilibrio rispetto ad un cinematismo costituito da rotazione rigida della piastra di base. In particolare, si effettua il calcolo delle due componenti di trazione attraverso le seguenti relazioni, precisando che attraverso tale calcolo si determinano le sollecitazioni presenti sul singolo bullone:

$$F_{x,i} = \frac{M_{d,y} * x_i}{\sum_{k=1}^m n_i * x_i^2}$$

$$F_{y,i} = \frac{M_{d,x} * y_i}{\sum_{k=1}^m n_i * y_i^2}$$

In cui:

x_i, y_i : distanza tra fila di bulloni considerata e centro di rotazione;

n_i : numero di bulloni della fila in esame;

m : numero totale delle file nella piastra di collegamento.

Successivamente alla determinazione del valore massimo di trazione sollecitante, si procede con le relative verifiche strutturali. La verifica a trazione prevede un duplice controllo riguardo la resistenza di progetto a trazione del singolo bullone ($F_{t,rd}$) e riguardo la resistenza di progetto a punzonamento localizzato della piastra ($B_{p,rd}$).

Si fa riferimento alle seguenti formulazioni [30]:

$$F_{t,rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_{res}}{\gamma_{m2}}$$

In cui,

k_2 : coefficiente sperimentali pari a 0.9

[30]

$$B_{p,rd} = \frac{0.6 * \pi * d_m * t * f_u}{\gamma_{m2}}$$

In cui,

d_m : valore minimo tra il valore medio della distanza misurata tra i punti e tra le superfici piane della testa del bullone e il valore medio della distanza misurata tra i punti e le superfici piane del dado. [30]

Oltre alla singola verifica a taglio e trazione da svolgere sull'unione bullonata in esame, risulta fondamentale considerare che l'interazione tra lo sforzo di trazione e lo sforzo tagliante comporta una diminuzione piuttosto significativa della resistenza di progetto complessiva del collegamento. In particolare, a livello teorico, si considera tale interazione attraverso il rispetto della seguente verifica combinata dei rapporti tra azione e resistenza di progetto:

$$\frac{F_{v,ed}}{F_{v,rd}} + \frac{F_{t,ed}}{1.4 * F_{t,rd}} \leq 1$$

Le verifiche del collegamento risultano interamente soddisfatte, si rimanda alla sezione allegati di riferimento per la consultazione dei tabulati di calcolo.

Al fine di completare, risulta necessario verificare la lunghezza di ancoraggio delle barre filettate M12 per evitare lo sfilamento delle barre stesse. Il dimensionamento della lunghezza di ancoraggio delle barre viene effettuato attraverso la valutazione di una lunghezza minima calcolata come:

$$l_{min} = \frac{F_{t,ed}}{2\pi r * f_{bd}}$$

In cui,

$F_{t,ed}$: Forza di trazione massima agente sulle barre, calcolata in precedenza [KN]

f_{bd} : tensione tangenziale di aderenza acciaio- calcestruzzo di progetto valutata secondo il punto 4.1.2.1.1.4 delle NTC 2018.

r : raggio della barra filettata in esame [mm].

Si precisa che per il calcolo di f_{bd} si considera una condizione di “buona aderenza”³³, si riporta il calcolo effettuato in tabella.

Calcolo lunghezza minima di ancoraggio barra - Piastra di fissaggio tipo C			
Forza massima agente a trazione	$F_{t,ed}$	16.32	KN
Resistenza caratteristica a compressione del cls	f_{ck}	25	MPa
Coefficiente di sicurezza cls	γ	1.5	
Resistenza a trazione media cls	f_{ctm}	2.56	MPa
Resistenza caratteristica a trazione del cls	f_{ctk}	1.79	MPa
Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza	f_{bk}	4.03	MPa
Resistenza tangenziale di aderenza di progetto	f_{bd}	2.69	MPa
Raggio della barra filettata	r	6	mm
Lunghezza minima di ancoraggio barra	l_{min}	161.13	mm
Lunghezza di ancoraggio disposta	l	170	mm
Verifica	Verificato		

Tabella 4-13- Calcolo lunghezza di ancoraggio

³³ DM 17/01/2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

Attraverso una lunghezza di ancoraggio pari a 170 mm si garantisce la perfetta aderenza tra le barre in acciaio e il calcestruzzo della struttura di base; nel caso in esame viene disposta una soluzione con contropiastra, garantendo una lunghezza di ancoraggio maggiore di 240 mm, si rimanda alla tavola esecutiva in allegato per maggiori dettagli. Si esegue nella sezione tabulati di calcolo la verifica a punzonamento della soletta in laterocemento, verifica soddisfatta.

4.8.3.3 Verifica del sistema di ancoraggio puntuale di tipo A

La verifica del sistema di ancoraggio puntuale di tipo A viene svolta in modalità analoghe a quanto descritto per il sistema di tipo C. Nonostante, quindi, la procedura di calcolo sia completamente uguale alla precedente, si contestualizzano variazioni in merito alle ipotesi di base e alla geometria della piastra di collegamento. In figura 4.29 si rappresenta un esempio di ancoraggio puntuale.



Figura 4-29- Ancoraggio puntuale tipo A - Fonte: [27]

In particolare, si installa un dispositivo di ancoraggio puntuale avente un'altezza pari a 30 cm; il carico nominale di progetto viene determinato con le prove certificate secondo la UNI EN 795 eseguite dal fabbricante. Si ipotizza un carico nominale di progetto pari a 14.0 KN, anche in questo caso.

In sintesi, si elencano i dati iniziali:

- Altezza dell'ancoraggio puntuale rispetto alla piastra:

$$H = 0.30 \text{ m}$$

- Carico Nominale di Progetto

$$F_d = 14.0 \text{ KN}$$

- Momento flettente agente:

$$M_d = F_d * H = 14.0 \text{ KN} * 0.30 \text{ m} = 4.20 \text{ KNm}$$

In figura 4.30 si riporta la geometria della piastra di collegamento realizzata in acciaio s235 di dimensioni 180 mm*180 mm avente uno spessore pari a 10 mm [29]. Si dispongono 4 barre filettate M12 di classe 8.8, come nel caso precedente; la piastra di collegamento viene disposta in maniera solidale alla copertura, con una pendenza pari al 45%.

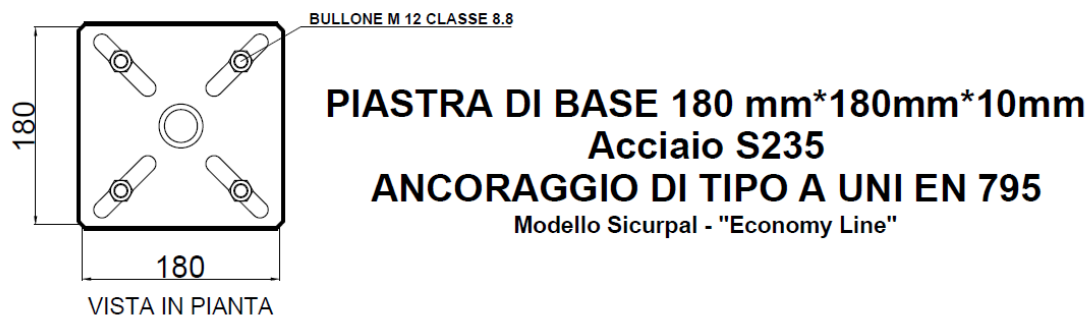


Figura 4-30- Piastra ancoraggio di tipo A³⁴

³⁴ SICURPAL®- Manuale d'istruzioni per montaggio, uso e manutenzione di dispositivi di ancoraggio per linee vita "Economy-Line", rielaborato dall'autore.

Si riportano le caratteristiche geometriche e strutturali della piastra di collegamento.

Caratteristiche unione bullonata- sistema ancoraggio tipo A			
Tipologia		M12	
Classe		8.8	
Diametro bullone	d	12	mm
Diametro Foro,	d0	13	mm
Area	A	113	mm ²
Area filettata	Ares	84.3	mm ²
Tensione Snervamento bullone	fyb	640	MPa
Resistenza ultima bullone	fub	800	MPa
Caratteristiche Piastra di collegamento			
Tipologia Acciaio		s235	
Dimensioni in pianta	180	180	mm
Spessore	t	10	mm
Area	A,piastra	32400	mm ²
Tensione di snervamento piastra	fy	235	MPa
Resistenza ultima piastra	fu	360	Mpa

Tabella 4-14-Caratteristiche unione bullonata e piastra tipo A

Analogamente a quanto svolto nel paragrafo 4.8.3.2, si effettuano le verifiche riferite al collasso lato acciaio, tali verifiche risultano interamente soddisfatte; i tabulati di calcolo e i dettagli costruttivi vengono riportati nella sezione allegati del presente elaborato. Si precisa ulteriormente la disposizione di una contropiastra al fine di garantire un fissaggio con massima condizione di sicurezza.

4.9 Stima dei costi relativi al sistema di ancoraggio permanente

In questo paragrafo conclusivo del caso studio, si vuole proporre un'analisi riguardo i costi da sostenere nella installazione del sistema di ancoraggio permanente oggetto di progettazione. La stima dei costi viene effettuata attraverso la consultazione del Prezzario Regionale 2020 della Regione Piemonte; esistono lievi differenze dimensionali tra le voci riportate nel computo effettuato e i dispositivi applicati nel sistema del caso in esame. Nonostante tali differenze, la stima dei costi svolta si definisce ben indicativa ed efficiente ad un inquadramento economico delle soluzioni permanenti in copertura.

La cifra complessiva, analizzata nel complesso del costo della manutenzione straordinaria studiata, risulta relativamente non elevata; inoltre, è necessario considerare che a fronte di una spesa limitata, il livello di sicurezza in copertura viene incrementato notevolmente in modo da garantire l'incolumità degli operatori che accedono in copertura. Essendo la soluzione di carattere permanente, risulta necessario anche considerare i costi relativi alla manutenzione, alla ispezione e alla revisione del sistema di ancoraggio stesso, procedure da attuarsi secondo le indicazioni precise della ditta fabbricante e dalla ditta installatrice.

In conclusione, i benefici ottenibili dalla installazione di un sistema di ancoraggio permanente in copertura risultano del tutto preponderanti rispetto al costo da sostenere.

Si riporta in tabella 4.13 il calcolo del costo totale, i valori di riferimento sono desunti dal Prezzario Regionale 2020. [16]

Stima costi sistema ancoraggio permanente-Caso studio					
Voce di riferimento		U.M.	Costo	Quantità	Prezzo tot.
01.A40.A01.055	Linea di ancoraggio permanente tipo C (UNI 11578:2015) in alluminio su campata singola H25 cm. Fornitura di kit e posa in opera di supporti di dispositivo di ancoraggio contro le cadute dall'alto costituito da linea flessibile orizzontale, conforme e certificata tipo C nel rispetto della normativa vigente [...]. Escluso Cavo in acciaio INOX AISI 316. Linea costituita da: - N° 2 ancoraggi d'estremità in lega di alluminio [...]; N°1 kit di serraggio [...];-N°1 Tenditore M14[...];N°1 Dissipatore in acciaio INOX AISI 302 [...]	cad.	693.40 €	1	693.40 €
01.A40.A01.060	Supporto intermedio in alluminio H25 cm per Linea di ancoraggio permanente tipo C (UNI 11578:2015): Fornitura e posa in opera di supporto intermedio (rettilineo o angolare) per dispositivo di ancoraggio contro le cadute dall'alto costituito da linea flessibile orizzontale, conforme e certificata tipo C nel rispetto della normativa vigente [...]. Componente costituito da: - n.1 ancoraggio intermedio della linea flessibile orizzontale in lega di alluminio con componenti montati in assenza di saldature. Profilo verticale estruso tondo Ø45 mm in lega di alluminio 6082, Piastra orizzontale estrusa con sagoma in lega di alluminio 6063 preforata con base di dimensione 160x250 mm, spessore variabile 6-8 mm. Piatto di aggancio fune realizzato in lega di alluminio 6082 spessore 8 mm. Borchia di chiusura anodizzata con marcatura laser. Altezza totale ancoraggio 250 mm.	cad.	219.49 €	1	219.49 €
01.A40.A01.040	Cavo per linea di ancoraggio permanente tipo C (UNI 11578:2015) Fornitura e posa in opera di Cavo in acciaio INOX AISI 316 diametro 8 mm formazione 7x19 = 133 fili crociata dx. Carico di rottura 42 KN, completo ad un estremo di capocorda a occhiello con redance e manicotto di serraggio in alluminio, lunghezza come da progetto.	m	13.99 €	14	195.86 €
01.A40.A01.005	Punto fisso di ancoraggio tipo A (UNI 11578:2015) a paletto - verticale H40 cm: Fornitura e posa in opera di punto di ancoraggio contro le cadute dall'alto conforme e certificato tipo A nel rispetto della normativa vigente [...]	cad.	124.70 €	8	997.60 €
TOTALE					2'106.35 €

Tabella 4-13-Analisi dei costi dispositivo di ancoraggio permanente

5 CONCLUSIONI

Il settore dell'edilizia viene colpito attualmente da un elevato numero di eventi mortali causati dalle mancate condizioni di sicurezza nei cantieri temporanei o mobili. La causa principale delle morti in cantiere avviene proprio per caduta dall'alto degli operatori; in questo elaborato di tesi, la gestione di tale tipologia di rischio è stata compiutamente analizzata attraverso lo studio delle diverse misure preventive previste dalla attuale normativa costituita dal d. lgs. n. 81/08, decreto di riferimento per la sicurezza nei luoghi di lavoro in tutti i settori produttivi, con particolare riferimento all'analisi dei sistemi di ancoraggio permanente in copertura. In ciascun capitolo di questo elaborato si sono ottenuti interessanti risultati in termine di analisi statistica, analisi economica e specifici aspetti tecnico-progettuali.

Nel primo capitolo, la sintetica descrizione dell'evoluzione della normativa in ambito di sicurezza sul lavoro risulta di notevole importanza al fine di definire quali sono i pilastri fondamentali della moderna cultura della sicurezza. In questo senso, dall'introduzione in Italia delle Leggi Comunitarie si è visto un notevole cambiamento dell'approccio normativo; infatti, nella seconda metà degli anni '90 il tradizionale e rigido approccio sanzionatorio delle autorità governative italiane viene posto in secondo piano a favore di una metodologia organizzativa e gestionale attraverso l'introduzione di nuovi ruoli professionali che affiancano il datore di lavoro per garantire le condizioni di sicurezza a favore di ciascun operatore. L'aspetto fondamentale della nuova normativa risulta la forte priorità conferita alla prevenzione dell'evento infortunistico corredata da metodi protettivi per la gestione del rischio residuo, piuttosto che l'esclusivo carattere sanzionatorio. Attraverso una precisa analisi statistica comprendente un intervallo temporale che si estende dal 1951 fino al 2020, si è voluto evidenziare come l'evoluzione della cultura della sicurezza nella normativa si accompagna a una riduzione del numero di eventi mortali, ma nella situazione attuale con specifico riguardo agli anni successivi al 2008 in cui è stato approvato il decreto legislativo vigente si nota un preoccupante trend di stabilizzazione del numero di morti nei vari settori produttivi. Questo ampio quadro statistico viene completato attraverso una ulteriore analisi focalizzata in uno studio esclusivamente riferito al settore dell'edilizia in un range temporale molto più breve rispetto al precedente.

Lo studio viene eseguito considerando le varie fasce di età delle vittime in tale settore, la fascia più colpita risulta compresa tra i 50 e i 54 anni di età, motivo per cui si sottolinea come sia fondamentale il rispetto dell'obbligo di formazione e aggiornamento continuo degli operatori e come lo svolgimento abitudinario di alcune lavorazioni comporti intrinsecamente un incremento di probabilità di accadimento del rischio.

Nel secondo capitolo si sono analizzati i numeri di vittime correlate al rischio di caduta dall'alto, con la volontà di comprendere quanto tale tipologia di evento sia determinante nel causare eventi mortali nella realtà di cantiere. I dati analizzati confermano quanto ipotizzato nella fase introduttiva del presente elaborato, i morti per caduta dall'alto costituiscono il 65% delle vittime presenti in cantiere; pertanto, si evidenzia come lo sviluppo di conoscenze e competenze della prevenzione specifica sia essenziale per la complessa gestione di un sistema cantiere comprendente lavorazioni in quota. Il secondo capitolo si completa attraverso la descrizione dei fondamenti teorici dell'analisi del rischio e della sicurezza in cantiere; questa parte descrittiva è profondamente propedeutica per lo svolgimento di casi reali di progettazione.

Il terzo capitolo propone le principali soluzioni per la prevenzione del rischio di caduta dall'alto; in prima fase si vuole evidenziare come l'importanza riscontrabile di tale tipologia di rischio sia riscontrabile attraverso il continuo aggiornamento normativo, attraverso molteplici integrazioni legislative di carattere regionale. Successivamente, si analizzano dapprima i dispositivi di protezione collettiva con particolare riguardo alla disposizione di ponteggi, parapetti provvisori e reti di sicurezza. Si procede allo studio dei dispositivi di protezione individuale attraverso la caratterizzazione dei diversi sistemi di ancoraggio permanente, principale oggetto di analisi progettuale nello svolgimento del caso studio del capitolo 4.

Il quarto capitolo dell'elaborato prevede lo svolgimento di un caso reale di progettazione interamente ideato dall'autore; inizialmente si è ipotizzata una configurazione architettonica di un edificio residenziale con copertura di pendenza pari al 45%. Considerando l'attuale politica italiana ed europea di riqualificazione energetica degli edifici esistenti, attraverso la forte incentivazione economica promossa a partire dalla seconda metà del 2020, si descrive nel capitolo in esame una manutenzione straordinaria della copertura che prevede la sostituzione del manto esistente e l'installazione di un impianto fotovoltaico. L'analisi dell'intervento ipotizzato viene svolta con particolare riguardo al progetto della sicurezza durante le varie fasi costruttive del cantiere e nelle fasi successive alla fine lavori comprendenti interventi di manutenzione ordinaria e di revisione dell'impianto installato.

La sicurezza degli operatori viene garantita attraverso un sistema combinato di dispositivi di protezione collettiva e individuale; in particolare, in fase preliminare di allestimento cantiere viene disposto un ponteggio metallico a tubi e giunti. In fase successiva, attraverso la possibilità di accesso in copertura in condizioni di totale sicurezza grazie proprio alla presenza del ponteggio, si sceglie di installare un sistema di ancoraggio permanente, il quale riduce fortemente la probabilità di caduta con scivolamento e urto del lavoratore contro i montanti del ponteggio durante le fasi costruttive. Tuttavia, la motivazione principale dell'installazione di un sistema di ancoraggio permanente si identifica nella volontà, promossa e imposta da specifici decreti regionali italiani, di consentire lo svolgimento di operazioni future in copertura di carattere ordinario in totale sicurezza, conferendo una sorta di ereditarietà nella prevenzione dell'intervento di manutenzione straordinaria studiato. L'obiettivo della progettazione in sicurezza consiste proprio nel predisporre tutte le misure necessarie per garantire la prevenzione di tutti gli operatori in uno stesso luogo di lavoro; pertanto, grazie alla disposizione di un sistema di ancoraggio permanente, il personale in copertura esegue opere di manutenzione ordinaria in totale sicurezza senza la necessità di predisporre un ponteggio per tale tipologia di lavoro ordinario. La progettazione del sistema di ancoraggio in copertura del caso specifico viene svolta in totale compatibilità alle specifiche norme di riferimento europee e italiane; si sceglie di disporre il sistema in modo da garantire la lavorazione nella modalità di caduta totalmente prevenuta. Tale configurazione geometrica del sistema non permette all'operatore adeguatamente ancorato di oltrepassare i bordi della copertura, si lavora in condizione di trattenuta. Il sistema di ancoraggio è costituito da un ancoraggio lineare di tipo C formato da due pali di estremità con testa girevole e un palo intermedio disposti sul colmo della copertura e da una serie di ancoraggi puntuali di tipo A disposti nelle zone maggiormente critiche coincidente con i vertici dei bordi della copertura il cui obiettivo consiste nell'evitare la caduta dell'operatore con il conseguente effetto pendolo.

Il progetto del sistema viene, inoltre, eseguito con l'obiettivo di garantire l'ergonomia nei confronti degli operatori, ai sensi dell'art. 15 del d.lgs. n. 81/08 in cui si espongono le principali misure di tutela generale. Il rispetto dell'ergonomia risulta fondamentale nella diminuzione dell'entità del rischio di caduta consentendo all'operatore di essere guidato dal sistema evitando una serie di operazioni che possono condurre a una modalità non corretta di lavoro da parte dello stesso lavoratore. Per tale motivo, si preferisce l'utilizzo di un sistema lineare sul colmo, rispetto alla disposizione di una serie di ancoraggi puntuali; l'operatore si aggancia al cavo passante tra i due pali di estremità attraverso un cordino regolabile in modo da poter facilmente raggiungere l'intera superficie della copertura.

La progettazione si conclude attraverso l'ipotetica scelta di piastre di fissaggio degli ancoraggi di tipo C e di tipo A con conseguente verifica strutturale dei collegamenti disposti. Tale verifica viene svolta ai sensi della attuale normativa di riferimento per il calcolo strutturale, costituita dalle Norme Tecniche delle Costruzioni e dai relativi Eurocodici. Per il completamento del progetto, si producono elaborati grafici che simulano la redazione di un E.T.C.

Il caso studio viene corredato da una stima sommaria dei costi relativi alla disposizione del sistema di ancoraggio permanente; l'analisi economica effettuata evidenzia come, in relazione all'importo complessivo dei lavori di manutenzione straordinaria, il costo del sistema di ancoraggio risulta relativamente limitato. Si dimostra come sia necessario lo sviluppo della installazione di sistemi di ancoraggio in copertura al fine di incrementare notevolmente il livello di sicurezza delle molteplici tipologie di edificio presenti nel territorio italiano. La disposizione degli ancoraggi in copertura si propone, quindi, come uno dei principali tipi di intervento di forte espansione nel settore dell'edilizia nel prossimo futuro al fine di ridurre fortemente il numero degli eventi mortali per caduta dall'alto.

ALLEGATI

Si allegano al presente elaborato di tesi magistrale le tavole grafiche eseguite dall'autore attraverso il software Autodesk-Autocad® 2021 e i tabulati di calcolo estrapolati da fogli di calcolo Microsoft Excel, redatti dall'autore.

- Tavola 1- Pianta Piano Tipo;
- Tavola 2- Pianta copertura Stato Attuale;
- Tavola 3- Pianta copertura Stato Progetto;
- Tavola 4- E.T.C;
- Tavola 5- Disegno esecutivo Ponteggio;
- Tavola 6- Particolari costruttivi;
- Tabulati di calcolo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] INAIL, *Storia della prevenzione*, Milano, 2014.
- [2] *Costituzione della Repubblica Italiana*, GU n.298 del 27-12-1947.
- [3] R. Zucchetti, « Dai primi del '900 al Testo Unico, Storia normativa sicurezza sul lavoro in Italia,» 21 12 2012. [Online].
- [4] A. Giovani, «NON E' UN PAESE PER GIOVANI,» in *Costruttori... al lavoro!*, Napoli, 2018.
- [5] Redazione PuntoSicuro, «L'importanza dell'efficacia della formazione alla sicurezza. Punto Sicuro,» 16 ottobre 2012. [Online].
- [6] INAIL, *Bollettino Trimestrale-Denunce di Infortunio e malattie professionali-Periodo Gennaio-Marzo 2021*, 2021.
- [7] INAIL, *Bollettino Trimestrale-Denunce di Infortunio e malattie professionali-Periodo Gennaio-Giugno 2021*, 2021.
- [8] P. Baroni, «Pugno duro contro le morti sul lavoro,» *La Stampa*, 16 ottobre 2021.
- [9] INAIL, *INFOR.MO-Scheda 2-Le cadute dall'alto dei lavoratori*, 2017.
- [10] *Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81, Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, G.U. n. 101.*
- [11] INAIL, *La progettazione della sicurezza nel cantiere*, Milano, 2015.
- [12] L. Rossi, *Esecuzione in sicurezza dei lavori in copertura. Misure di prevenzione e protezione*, Milano: INAIL- Quaderno di ricerca n.15, 2017.

- [13] *Decreto 17 gennaio 2018, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».*
- [14] *Decreto del Presidente della Giunta regionale 23 maggio 2016, n. 6/R. Regolamento regionale recante: “Norme in materia di sicurezza per l’esecuzione dei lavori in copertura (Articolo 15, legge regionale 14 luglio 2009 n. 20).”, Regione Piemonte, 2016.*
- [15] Leonardi, Trapani & Gerbino, *Linee Guida per la prevenzione del rischio di caduta dall’alto e Istruzioni tecniche per la progettazione dei sistemi di prevenzione e protezione nei lavori in copertura*, 2012.
- [16] Regione Piemonte, *Prezzi di riferimento per Opere e Lavori Pubblici nella Regione Piemonte- Prezzario Regione Piemonte*, 2020.
- [17] INAIL, *Quaderni Tecnici per i cantieri temporanei e mobili-Parapetti Provvisori*, Milano, 2018.
- [18] INAIL, *Quaderno Tecnico per i cantieri temporanei e mobili-Reti di sicurezza*, Milano, 2018.
- [19] INAIL, *Guida Tecnica per la scelta, l'uso e la manutenzione degli ancoraggi*, 2011.
- [20] *Norma UNI EN 795:2012- Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Dispositivi di ancoraggio*, 2012.
- [21] Luigi Cortis - I.S.P.E.S.L, *Linea Guida per l’individuazione e l’uso di dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall’alto sistemi di arresto caduta*.
- [22] *Norma UNI 11560:2014: Sistemi di ancoraggio permanenti in copertura - Guida per l'individuazione, la configurazione, l'installazione, l'uso e la manutenzione*, 2014.
- [23] ASL-INAIL della PROVINCIA DI BERGAMO, *Dispositivi di ancoraggio sulle coperture- Prevenzione del rischio di caduta dall'alto durante lavori di manutenzione sulla copertura di edifici*, Bergamo.

- [24] INAIL, Quaderno Tecnico per i cantieri temporanei e mobili- Sistemi di protezione individuale dalle cadute, Milano, 2018., Milano, 2018.
- [25] INAIL, Idoneità dell'assorbitore di energia in relazione al peso del lavoratore, Milano, 2016.
- [26] *Norma UNI 11578: Dispositivi di ancoraggio destinati all'installazione permanente-Requisiti e metodi di prova*, 2015.
- [27] Würth, «Linea Vita Robust- La Linea Vita Würth,» [Online].
- [28] Officine Rasera, «àncora linea vita-by rasera- Manuale Tecnico,» [Online].
- [29] Sicurpal, «Manuale d'istruzioni per montaggio, uso e manutenzione di dispositivi di ancoraggio per linee vita "Economy-Line",» [Online].
- [30] C. Bernuzzi, Progetto e Verifica delle strutture in acciaio, Milano: Hoepli, 2018.
- [31] Prof. Tondolo F., slide del corso Teoria e Progetto strutture in acciaio e composite, Politecnico di Torino, 2020.

SITOGRAFIA

<https://www.accessorirasera.com/wp-content/uploads>

[data consultazione: gennaio 2022]

<https://www.archweb.com/cad-dwg/Impiantistica/Solare-fotovoltaico/>

[data consultazione: gennaio 2022]

<https://bancadaticsa.inail.it/bancadaticsa/bancastatistica.asp?cod=2>

[data consultazione: ottobre 2021]

<https://www.futurasun.com/prodotti/pannelli-monocristallini/monocristallino-fotovoltaico-300/>

[data consultazione: dicembre 2021]

<https://www.inail.it/cs/internet/attivita/dati-e-statistiche/statistiche-storiche/casi-denunciati.html>

[data consultazione: ottobre 2021]

<https://www.infobuildenergia.it/>

[data consultazione: febbraio 2022]

[https://giovani.ance.it/agenda/convegni.\(aspx?id=5136&pid=-1&pcid=5122&docId=32685\)](https://giovani.ance.it/agenda/convegni.(aspx?id=5136&pid=-1&pcid=5122&docId=32685))

[data consultazione: ottobre 2021]

<https://www.puntosicuro.it/sicurezza-sul-lavoro-C-1/>

[data consultazione: ottobre 2021]

<https://www.quotidianosicurezza.it/sicurezza-sul-lavoro/esperto-risponde/sintesi-storia-sicurezza-lavoro-italia.htm>.

[data consultazione: novembre 2021]

<http://www.scaleretraibili.it/scale-retraibili-misure-4pezzi.html>

[data consultazione: novembre 2021]

<https://www.sferaingegneria.com/lavori-pali-consigli-luso/>

[data consultazione: novembre 2021]

<https://www.sicurpal.it/file>

[data consultazione: gennaio 2022]

<https://soluzioni-edili.it/tetto-isolato-e-ventilato/>

[data consultazione: febbraio 2022]

<https://www.stspolistirolti.it/prodotti/scale-retrattili>

[data consultazione: novembre 2021]

[www.wuerth.it/lineavita.](http://www.wuerth.it/lineavita)

[data consultazione: gennaio 2022]