



L'ADEGUAMENTO SISMICO COME OCCASIONE PER LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO INDUSTRIALE CONTEMPORANEO

*Un progetto di reloading strutturale ed architettonico di un edificio del
Lanificio Cariaggi a Cagli, nelle Marche*

Silvia Lisi
Andrea Ripari



Politecnico di Torino

Dipartimento di Architettura e Design (DAD)
Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

L'adeguamento sismico come occasione per la valorizzazione del patrimonio industriale contemporaneo

Un progetto di reloading strutturale ed architettonico
di un edificio del Lanificio Cariaggi a Cagli, nelle Marche

Dicembre 2018

Relatore

Giuseppe Andrea Ferro (DISEG)

Correlatori

Massimo Crotti (DAD)
Alessandro Gabbianelli (DIST)
Luciana Restuccia (DISEG)

Candidati

Silvia Lisi
Andrea Ripari

INDICE

ABSTRACT	14
PREFAZIONE	17
1. IL PATRIMONIO INDUSTRIALE ITALIANO	
1.1. I capannoni prefabbricati	25
1.2. Tipologie strutturali	34
1.3. Il peso di una instabilità incontrollata	54
2. IL QUADRO NORMATIVO	
2.1. Conoscenza dei fenomeni, precarietà della classificazione	63
2.2. Adeguamento sismico dei capannoni monopiano	73
2.3. Analisi sulla Norma	97
2.4. Incentivare la sicurezza, il Sismabonus	101
3. CINTURE DI SICUREZZA SISMICHE	
3.1. Intervenire dall'esterno, sistemi di isolamento strutturale della copertura	105
3.2. Output della ricerca e considerazioni sui costi	108

4. L'ENNESIMO AVVERTIMENTO, LE MARCHE TREMANO

4.1. Il panorama industriale marchigiano, territori in bilico	113
4.2. Il terremoto del Centro Italia riapre la questione	140

5. IL LANIFICIO CARIAGGI DI CAGLI (PU), MARCHE

5.1. Consistenza dei luoghi	149
5.2. L'Azienda	152
5.3. Rilievo del capannone Cariaggi 4	160

6. È TUTTA QUESTIONE DI “EQUILIBRIO” TRA INGEGNERIA E ARCHITETTURA _ *“IlProgetto”*

6.1. Non solo un adeguamento sismico	167
6.2. Progetto strutturale	172
6.2.1. Modellazione	175
6.2.2. Analisi sui costi	179
6.2.3. Implementazione delle nuove funzioni	180
6.3. Progetto architettonico	186
6.3.1. Concept	190
6.3.2. Il reloading del Lanificio Cariaggi	192
6.3.3. Analisi sui costi	212

CONCLUSIONI	216
--------------------	-----

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	218
----------------------------------	-----

RINGRAZIAMENTI	221
-----------------------	-----

INDICE FOTOGRAFICO

1. Crolli ad Arquata del Tronto e ad Ascoli Piceno _ **p. 16**

Foto: Silvia Lisi

2. Figura 1 - Classificazione delle tipologie strutturali _ **p. 26**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 57

3. Figura 2 - Tipologie strutturali, a) monopiano a telai paralleli; b) monopiano con travi longitudinali; c) monopiano con travi reticolati; d) pluripiano _ **p. 27**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 58

4. Figura 3 - Numero delle strutture rilevate in base all'anno di costruzione _ **p. 28**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 58

5. Figura 4 - Diffusione delle tipologie di travi di copertura_ **p. 28**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 59

6. Figura 5 - Tipologia di sistema resistente per carichi verticali_ **p. 29**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 60

7. Figura 6 - Luci delle travi principali e applicazione delle medesime nel corso degli anni _ **p. 30**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 59

8. Figura 7 - Rapporto altezza/ lato pilastro _ **p. 30**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 59

9. Figura 8 - Tipologie di connessioni trave-pilastro _ **p. 31**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3,

10. **Figura 9 - (a) schema statico a telaio, (b) schema statico a pilastri iso-statici _ p. 33**
Fonte: L. Casarin, "Risposta sismica di edifici prefabbricati: interazione tamponamenti struttura", tesi di Laurea Magistrale, università di Pdova, 2012, p. 23
11. **Figura 10 - Travi a doppia pendenza _ p. 35**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 5
12. **Figure 11 e 12 - Travi a doppia pendenza con pannelli binervati, con o senza lucernai o aperture a shed. _ p. 36**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 7
13. **Figura 13 - Travi a doppia pendenza a conci _ p. 37**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 13
14. **Figura 14 - Copertura piana con travi a I _ p. 37**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 17
15. **Figura 15 - Copertura piana con pannelli alveolari _ p. 38**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 18
16. **Figura 16 - Copertura piana con pannelli nervati _ p. 38**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 19
17. **Figura 17 - Copertura piana con voltini _ p. 39**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 20
18. **Figura 18 - Copertura piana con shed _ p. 39**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 23
19. **Figura 19 - Copertura piana con travi rovesce _ p. 40**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 24
20. **Figura 20 - Disposizione ed utilizzo delle travi rovesce a T e a L _ p. 41**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 24
21. **Figura 21 - Copertura piana travi rovesce e pannelli alveolari _ p. 41**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 25
22. **Figura 22 - Copertura piana travi rovesce e pannelli nervati _ p. 41**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 26
23. **Figura 23 - Reticolare piana _ p. 42**
Fonte: Autori vari,"Strutture prefabbricate:catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 44

24. **Figura 24 - Reticolare a shed _ p. 42**
Fonte: Autori vari, "Strutture prefabbricate: catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 44
25. **Figura 25 - Reticolari a doppia pendenza _ p. 43**
Fonte: Autori vari, "Strutture prefabbricate: catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 44
26. **Figura 26 - Pilastri a Y _ p. 44**
Fonte: Autori vari, "Strutture prefabbricate: catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 48
27. **Figura 27 - Travi a ginocchio _ p. 45**
Fonte: Autori vari, "Strutture prefabbricate: catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 50
28. **Figura 28 - Caratteristiche degli elementi di solaio di uso corrente (modificato da Calvi et al., 2006) _ p. 46**
Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 50
29. **Figura 29 - caratteristiche dei principali tegoli alari di grande luce di uso corrente (Modificata da Dassori, 2001) _ p. 47**
Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 51
30. **Figura 30 - nodo fondazione-pilastro: a) plinto prefabbricato; b) bicchiere prefabbricato con suola gettata in opera. _ p. 48**
Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 52
31. **Figura 31 - collegamenti pannello – struttura: a) pannelli orizzontali appesi ai pilastri mediante mensole, profili metallici e bulloni; b) esempio di appoggio di un pannello verticale su di un cordolo di fondazione _ p. 49**
Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 53
32. **Figura 32 - Morfologia delle teste dei pilastri: a) a testa piatta; b) e c) a forcella e a forcella allargata; d) a tenone _ p. 51**
Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 54
33. **Figura 33 - Tipiche connessioni trave-pilastro: a) tirafondo verticale; b) spinotto verticale e scatolari metallici zancati _ p. 51**
Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 54
34. **Figura 33 - Tipiche connessioni trave-pilastro: c) e d) barra metallica orizzontale _ p. 52**
Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3,

35. Figura 34 - Possibili soluzioni di collegamento trave-tegolo: a) collegamento mediante bulloni e squadretta metallica.; b) collegamento mediante getto parziale in opera e barre metalliche annegate _ **p. 52**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 55

36. Figura 35 - Collegamenti pannello –struttura: a) vincolo per evitare il ribaltamento fuori piano sia di pannelli orizzontali che verticali; b) dettaglio di un collegamento trave –pannello verticale dotato di vellea _ **p. 53**

Fonte: Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, p. 55

37. Figura 36 - Perdita di appoggio dovuta a forze orizzontali _ **p. 55**

Fonte: Autori vari, "Strutture prefabbricate: catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008, p. 57

38. Figura 37 a) e b) - caduta degli elementi di copertura e delle travi per perdita di appoggio _ **p. 56**

Fonte: a) <https://www.consulenzatecnicadiparte.it/terremoto-evitare-danni-terremoto-progettazione-antisismica-capannoniperizia-antisismica/>, b) <http://www.archistruttura.it/portfolio-item/mirandola-capannone/>

39. Figura 38 a) e b) - collasso dei pannelli di tamponatura di un capannone per rottura dei sistemi di ancoraggio _ **p. 57**

Fonte: L. Casarin, "Risposta sismica di edifici prefabbricati: interazione tamponamenti struttura", tesi di Laurea Magistrale, università di Pdova, 2012, p. 28

40. Figura 39 a) e b) - Bicchieri prefabbricati per alloggiamento del pilastro _ **p. 57**

Fonte: L. Casarin, "Risposta sismica di edifici prefabbricati: interazione tamponamenti struttura", tesi di Laurea Magistrale, università di Pdova, 2012, p. 29

41. Figura 40 - La sismicità tra il 1985 al 2014. Sono mostrati i terremoti di magnitudo $ML > 2.0$ registrati dalla Rete Sismica Nazionale _ **p. 59**

Fonte: <https://ingvterremoti.wordpress.com/i-terremoti-in-italia/>

42. Figura 41 - Il Grande Cretto, Alberto Burri, 1984-2015 _ **p. 60**

Fonte: <https://www.tp24.it/2017/03/19/cultura/the-dance-of-the-living-stones-il-teatro-danza-al-cretto-di-burri-a-gibellina/108024>

43. Figura 42 - Prima classificazione italiana - RD 542 del 1909 _ **p. 64**

Fonte: rielaborazione personale delle carte storiche di pericolosità sismica INGV, <https://ingvterremoti.wordpress.com/>

44. Figura 43 - Introduzione della seconda zona sismica - RD 431 del 1927 _ **p. 65**

Fonte: rielaborazione personale delle carte storiche di pericolosità sismica INGV, <https://ingvterremoti.wordpress.com/>

45. Figura 44 - Introduzione della terza zona sismica - DM 35 del 1984 _ **p. 67**

Fonte: rielaborazione personale delle carte storiche di pericolosità sismica INGV, <https://ingvterremoti.wordpress.com/>

46. Figura 45 - Mappa della pericolosità sismica nazionale - OPCM 3519 del 2006 _ **p. 70**
Fonte: http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html
47. Figura 46 - Collegamento trave-pilastro mediante perno in acciaio _ **p. 77**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 89
48. Figura 47 - Collegamento trave-pilastro mediante perni e piastre in acciaio _ **p. 79**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, pp. 91-92
49. Figura 48 - Collegamento trave-pilastro mediante cavetti in acciaio _ **p. 79**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 94
50. Figura 49 - Inserimento di connettori in acciaio bullonati _ **p. 80**
Fonte: <http://www.zanolistudio.it/miglioramento-sismico-di-stabilimento-industriale>
51. Figura 50 - Collegamento tra pilastro e pilastro mediante profili metallici in asse _ **p. 82**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 111
52. Figura 51 - Collegamento tra pilastro e pilastro mediante piatti metallici alle estremità _ **p. 83**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 114
53. Figura 52 - Collegamento trave-tegolo mediante cavetti in acciaio _ **p. 84**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 120
54. Figura 53 - Controventi di falda con funi in acciaio _ **p. 85**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 131
55. Figura 54 - Collegamento di pannelli orizzontali mediante cavetti in acciaio _ **p. 86**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 133
56. Figura 55 - Cavi anti-caduta per pannelli verticali _ **p. 88**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 147
57. Figura 56 - Cavi anti-caduta per pannelli d'angolo _ **p. 89**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 150
58. Figura 57 - Collegamento tra pilastro e pavimento industriale _ **p. 91**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 153

59. **Figura 58 - Consolidamento del terreno circostante la fondazione _ p. 92**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, p. 156
60. **Figura 59 a) e b) - Confinamento alla base dei pilastri: a) mediante fasciatura in FRP, b) mediante angolari calastrellati _ p. 94**
Fonte: Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", 2012, pp. 166 e 169
61. **Figura 60 - Problematiche legate ai collegamenti spinottati trave-pilastro _ p. 99**
Elaborazione personale sulla base di: A. Belleri, M. Torquati e P. Riva, "Connessioni prefabbricate trave-pilastro. Confronto tra soluzioni tradizionali a secco, emulative del C.A. gettato in opera e di nuova concezione, p. 2
62. **Figura 61 - Problematiche legate alle connessioni meccaniche per l'adeguamento _ p. 99**
Elaborazione personale
63. **Figura 62 - Installazione delle putrelle e isolamento strutturale della copertura _ p.107**
Elaborazione personale
64. **Figura 63 - Effetto "cinture di sicurezza", distribuzione degli sforzi_ p. 107**
Elaborazione personale
65. **Da p. 115 a 139**
Foto: Silvia Lisi
66. **Figura 64 - Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna dal DM 35 del 1984_ p.141**
Elaborazione personale da: http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html
67. **Figura 65 - Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna dall'OPCM 3519 del 2006 _ p. 141**
Elaborazione personale da: http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html
68. **Figura 66 - Rapporto tra il cratere sismico 2012 e le aree urbanizzate, industriali e non _ p. 142**
Elaborazione personale da: http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html
69. **Figura 67 - Vigili del fuoco nella ricerca dei dispersi sotto le macerie dei capannoni _ p. 142**
Fonte: <https://www.lettera43.it/it/articoli/attualita/2012/05/30/terremoto-in-emilia-inchiesta-sui-capannoni/44870/>
70. **Figura 68 - Crollo delle scalere di stagionatura del Parmigiano Reggiano _ p. 143**
Fonte: <https://www.impresamia.com/terremoto-agricoltura-cia-danni-per-decine-di-mln-edifici-rurali-distrutti-animale-morti-e-distruzione-prodotti-tipici/>
71. **Figura 69 - Confronto tra i principali settori economici ed il carattere sismico 2016 _ p.144**
Elaborazione personale sulla base di: <https://oamarche.wordpress.com/2011/06/22/specializzazione-settoriale-prevalente/>
72. **Figura 70 - Crollo di un capannone prefabbricato monopiano ad Ascoli Piceno _ p.145**
Foto: Andrea Ripari
73. **Figura 71 - Diffusione dei distretti industriali lungo le valli fluviali _ p. 146**
Elaborazione personale

74. Figura 72 - Confronto tra la zonizzazione sismica odierna e la diffusione delle aree industriali _ **p. 147**

Elaborazione personale in base a: http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html

75. Immagini storiche del Lanificio Cariaggi _ **p. 152**

Fonte: archivio fotografico del Lanificio Cariaggi

76. Immagini del guado a) e b) _ **p. 156**

Fonte: a) <https://pixabay.com/it/kaczeniec-knie%C4%87-guado-fiore-giallo-2234360/>, b) archivio fotografico del Lanificio Cariaggi

77. Figura 77 - Fessurazione della trave prefabbricata in corrispondenza del nodo _ **p. 160**

Elaborazione personale in base a: http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html

78. Immagini del capannone Cariaggi 4_ **p. 165**

Foto: Andrea Ripari

ABSTRACT

In una fase della storia italiana in cui gran parte dei profondi limiti delle tecniche costruttive utilizzate sinora per infrastrutture, industria ed edilizia, stanno venendo a galla con una frequenza e una devastazione disarmanti; questa tesi si propone di analizzare i rischi e le criticità del nostro patrimonio industriale, in ottica di vulnerabilità sismica, qualità architettonico-funzionale e ambientale. Lo scopo è quello di esplorare, attraverso gli strumenti della ricerca universitaria, una soluzione al tema della grave vulnerabilità degli opifici presenti in Italia, colonna portante di un'economia che ha attraversato e sta attraversando un periodo in cui le garanzie di efficienza e continuità assolute della produttività rappresentano la differenza tra la prosperità o la totale distruzione di intere comunità, già ampiamente chiamate a risollevarsi da situazioni al limite della catastrofe.

Il lavoro parte da una tecnologia costruttiva fulcro di un tema di ricerca avviato all'interno del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Geotecnica ed Edilizia (DISEG) del Politecnico di Torino dal Professor Giuseppe Andrea Ferro, con il nome di "Cinture di sicurezza sismiche", e sviluppato sinora solo in casi ideali, per testarne la realizzabilità e i vantaggi.

Partendo dalla considerazione che le tecniche di adeguamento dei capannoni prefabbricati (citate nelle NTC 2008) prevedono un massiccio intervento di riconsolidamento strutturale con lunghi periodi di cantiere e fermo della produzione, il sistema strutturale, base di questo lavoro, prevede una serie di portali reticolari collegati, posti a cavallo del capannone monopiano, a cui viene collegata la copertura attraverso un

ordine di stralli che entrano in trazione nel momento in cui la trave del capannone perde il suo appoggio sul pilastro, agendo quindi quasi totalmente dall'esterno.

Avvalendosi delle ottimizzazioni sviluppate dalla ricerca, questo lavoro si propone di sfruttare il tema dell'adeguamento sismico come occasione per dare nuova luce ad un patrimonio che pecca sotto molti aspetti, a partire da quelli tecnici fino a quelli architettonico-funzionali, energetico-ambientali e paesaggistici, senza interrompere la produzione a causa del cantiere e donando qualità senza dover consumare ulteriore suolo. Il progetto di una tale struttura non può solo essere un adeguamento fine a se stesso, ma deve al contempo esplorare tutte le possibilità generate in termini di nuovi spazi e quindi funzioni a disposizione delle aziende, della possibilità di innestare tecnologie e sistemi che possano favorire la performance e l'utilizzo dell'esistente e, in ultimo, restituire una qualità architettonica troppo spesso lasciata ai margini nei progetti in questo settore. L'intento finale è quello di innescare processi virtuosi con una prevenzione orientata al recupero-riuso piuttosto che al nuovo, alla riqualificazione piuttosto che al semplice adeguamento, evitando di aspettare che il disastro si presenti prima di prendersene cura.



I crolli di Arquata del Tronto (in alto) e la zona industriale di Ascoli Piceno (in basso)



PREFAZIONE

Generalmente analizziamo le questioni inerenti al terremoto, fenomeno purtroppo diffusissimo nel nostro territorio, in termini di effetti sulla quotidianità delle persone, che vanno dalla perdita di ogni sicurezza acquisita (per esempio la nostra casa), alle questioni ben più gravi della messa in pericolo della vita, o addirittura della morte di chi ci è più caro, a causa delle incertezze legate alla previsione dei fenomeni.

Ovviamente la tematica dell'incolumità delle persone è la più importante e merita ogni attenzione possibile per scongiurare i disastri che punteggiano troppo di frequente la storia del nostro Paese.

Ma i terremoti non lasciano dietro di loro solo morte e distruzione di beni materiali, gli effetti che determinano la prosperità o la distruzione di intere comunità sono legati ad aspetti intrinseci.

La perdita prolungata delle economie dei luoghi, degli spazi del lavoro, dei servizi e delle infrastrutture generano molta più morte del crollo di una casa, soprattutto in Paesi come il nostro, dove gran parte del territorio più soggetto ai fenomeni è caratterizzato da strutture economiche semplici, strettamente legate allo sfruttamento delle risorse naturali o ad un piccolo artigianato di qualità.

La vita di quei luoghi è costantemente appesa ad un filo sottile, in bilico tra la prosecuzione di tradizioni secolari, che hanno fatto grande l'Italia nel Mondo, e lo spopolamento, che affligge già da tempo le aree più interne anche senza il contributo di disastri naturali.

In molte di queste zone sono presenti anche importanti attività produttive di tipo industriale, realtà che danno lavoro alle comunità pre-

sentì e rappresentano la linfa vitale di un sistema vulnerabile ad ogni perturbazione.

Il terremoto assume, dunque, un valore diverso da quello che gli viene generalmente attribuito, non riguarda più soltanto il tema della devastazione, della salvaguardia di ciò che ci è più caro, ma diventa un'occasione per ripensare i luoghi della produzione, per reimmaginarli, per reinventarli, per dotarli di nuova luce, per prepararli agli eventi futuri, in una chiave totalmente diversa da quella che riguarda i sistemi insediativi, infrastrutturali e dei servizi.

Dopo gli avvenimenti sismici che hanno interessato l'Emilia Romagna nel 2012 e quelli del Centro Italia del 2016, che colpiscono proprio questo tipo di contesto, distruggendo il cuore pulsante delle economie dei territori - fondate su edifici fatiscenti, non più in linea con le recenti classificazioni sismiche e relative Norme Tecniche - è nuovamente riaffiorata la necessità di approfondire le tematiche di adeguamento sismico atte a garantire la sicurezza degli occupanti, la salvaguardia di prodotti, semilavorati e macchinari, nonché la tutela del patrimonio industriale.

L'oggetto dell'analisi sono i capannoni industriali monopiano i quali, per tipologia, sono i più diffusi nel territorio nazionale e, per la maggior parte, sono realizzati senza l'adozione di criteri anti-sismici, in quanto i collegamenti trave-pilastro e pilastro-fondazione sono spesso affidati esclusivamente all'attrito o a collegamenti meccanici non verificati alle sollecitazioni sismiche. Tali connessioni però non garantiscono il corretto trasferimento degli sforzi e sono dunque state la causa dei principali danneggiamenti e crolli delle strutture produttive.

In questo caso il terremoto Emiliano ne è un perfetto esempio. In quel contesto infatti l'inadempienza dei fabbricati ha portato a dei lunghissimi periodi di fermo e conseguente distruzione dei sistemi economici locali, non sono state molte infatti le attività che hanno avuto la for-

za di ricominciare e l'Italia ha perso alcune delle più importanti aziende nell'ambito agro-alimentare e biomedico con ripercussioni fortissime sugli indicatori economici Nazionali. Emblematiche sono le immagini che ritraggono le circa 800.000 forme di Parmigiano Reggiano cadute dalle scalere, la maggior parte delle quali destinate allo spreco a causa della mancanza di luoghi fisici per la stagionatura.

Basti pensare che l'11,3% delle aziende totali della regione è stato bloccato, il 18,7% di quelle agro-industriali, con un cratere sismico che copre circa il 14% del territorio.

Se rapportassimo il dato all'intera regione, fino al contesto nazionale, sebbene non tutti i luoghi abbiano le stesse caratteristiche, il risultato sarebbe sconcertante.¹

L'adeguamento sismico dei capannoni industriali prefabbricati pone dunque all'attenzione del progettista tutta una serie di tematiche diverse da quelle sul patrimonio edilizio: mentre quando ci si relaziona ad un contesto abitativo, a maggior ragione se possiede un qualche tipo di valore storico, l'approccio è quello di salvaguardare la sicurezza, mantenendo quanto più possibile inalterato l'aspetto fisico del bene e valutando la possibilità di perderlo e ricostruirlo ogni volta che viene gravemente danneggiato; con gli edifici industriali entrano in gioco i temi cardine per garantire un corretto svolgimento delle attività: la fabbrica non può in alcun modo permettersi di smettere di produrre; seppure saranno necessari dei piccolissimi periodi di fermo dovuti a valutazioni di agibilità post-sisma, lo stabile deve assolutamente poter garantire la ripresa delle attività nel più breve tempo possibile.

¹ I dati riguardanti le aziende danneggiate dal sisma in Emilia-Romagna sono stati estrapolati dal sito della Regione all'indirizzo: <https://www.regione.emilia-romagna.it/terremoto/archivio/nove-mesi-dal-sisma/i-danni>.

Questo fattore, che risulta determinante nel progetto dell'adeguamento in ottica di pura convenienza economica, ci fa riflettere sulla validità delle tecniche di adeguamento proposte nelle NTC 2008 e nelle "Linee di indirizzo" ReLuis pubblicate a seguito degli eventi del 2012. Gli interventi prevedono, infatti, un massiccio cantiere interno di riconsolidamento delle fondazioni e di connessione meccanica dei nodi strutturali ad attrito che, oltre ad avere delle problematiche statiche non irrilevanti (che verranno poi descritte con maggiore accuratezza), bloccherebbero l'operatività dello stabile per un tempo prolungato che dipende sia dallo stato della struttura in questione, sia dalla difficoltà nel raggiungimento dei nodi, con conseguente sgombero di macchinari o manufatti stoccati.

Vanno oltretutto scongiurati i fenomeni di abbandono e dismissione degli stabili inadeguati, sia nel presente che in futuro, con conseguente consumo di nuovo suolo per la ricostruzione. Questo fenomeno è infatti una devastante piaga per l'Italia, che già dal 2008 ha visto una larga parte dei suoi distretti industriali dismessi a causa della crisi, con un impatto impressionante in termini di aree improduttive e desolate.

Il tema dell'inadeguatezza sismica non deve rappresentare un ennesimo modo per foraggiare questo trend che già si cerca di affrontare in ogni modo con strumenti innovativi di ricerca architettonica.²

Un'altra tematica importante da sollevare è quella legata alla demolizione e ricostruzione dello stabile con criteri antisismici che, anche se potrebbe sembrare una buona soluzione al tema dell'inefficienza dei fabbricati esistenti, porta con sé numerose problematiche relative allo smaltimento dei rifiuti da demolizione e al consistente costo dell'investimento.

² Sono molte le occasioni di ricerca attivate in Italia sul tema della dismissione dei capannoni industriali, narrate in vari testi e pubblicazioni. Uno tra tutti, il lavoro svolto dal gruppo di ricerca interateneo RECYCLE ITALY, che unisce i saperi di vari atenei italiani nello sviluppo delle soluzioni a questa tematica in più di 20 pubblicazioni ufficiali.

L'adeguamento deve pertanto garantire un sistema aperto di investimento, in grado sì di eliminare le carenze strutturali dello stabile, ma anche di garantire una elevata flessibilità nel tempo, con la possibilità di implementazione di funzioni e tecnologie al servizio delle aziende, che possa scongiurare i fenomeni sopra citati in ottica di reloading del patrimonio industriale esistente; senza bloccare la produzione durante il cantiere, senza bisogno di delocalizzare le attività, con costi contenuti, o comunque accettabili in ottica di investimento globale.

Sebbene l'Italia sia un territorio prevalentemente sismico e il problema legato all'adeguamento dei capannoni monopiano sia largamente diffuso, la nostra attenzione si è concentrata sulla regione Marche in quanto è la nostra terra di origine e sentiamo molto vicini i problemi legati a questo territorio, radicato fortemente ad un artigianato di altissima qualità che costituisce la piccola e media impresa, all'agro-industria e a realtà puntuali di aziende a carattere industriale, leader nel loro settore.

Dopo le scosse sismiche del 2016, che hanno principalmente colpito il settore residenziale e le piccole disseminate aziende agro-industriali, queste realtà hanno dovuto affrontare periodi difficili sia per i danni riportati alle strutture sia per il danneggiamento dei collegamenti viari, alcuni dei quali, ancora oggi, risultano impraticabili.

Il sisma ha avuto nelle Marche conseguenze molto diverse rispetto a quelle dell'Emilia, ma osservando la conformazione dei sistemi produttivi territoriali è lampante che essi si sviluppino lungo le valli dei principali torrenti, allungandosi in modo trasversale alla pericolosità sismica, dalle zone più vivaci e meno pericolose della costa, all'entroterra, fino a raggiungere le zone sismicamente più attive della dorsale appenninica.

Quelle pre-montane sono zone molto delicate, dove la difficoltà nella produzione agricola ed un turismo non in grado di competere con la costa rendono le poche, ma peculiari, attività industriali presenti l'uni-

co freno ad uno spopolamento che già negli ultimi decenni sta registrando un forte aumento.

È stata proprio questa la ragione principale che ci ha portato a scegliere Cagli ed il lanificio Cariaggi come oggetto della nostra ricerca, una grande realtà produttiva, fiore all'occhiello del settore tessile italiano che agisce in un territorio difficile ed è caratterizzata da un impianto edilizio non pronto a subire un sisma di intensità pari a quello del 2016.

1. IL PATRIMONIO INDUSTRIALE ITALIANO

1.1. I capannoni prefabbricati

La pratica costruttiva della prefabbricazione in Italia ha trovato il suo massimo sviluppo a partire dal secondo dopoguerra, come conseguenza di una forte crescita economica che ha visto la proliferazione di numerose aziende. Questa tecnica, applicata alle strutture in cemento armato, viene tutt'oggi privilegiata in quanto viene incontro alle esigenze di facilità d'uso, economicità e, soprattutto, velocità nell'esecuzione non solo nel caso dei capannoni industriali (monopiano e pluripiano) ma anche per altre strutture come piscine, parcheggi e stabili per uffici.

È però soggetta ad alcuni svantaggi legati ad esempio alla necessità di macchinari specifici per la posa in opera degli elementi e, soprattutto, alla presenza di discontinuità nei nodi, con conseguente rischio di perdita di appoggio dei componenti orizzontali durante un eventuale sisma.

La relazione con i vari gradi di progettazione è fondamentale a partire dalla realizzazione degli elementi in aziende specializzate sino al processo costruttivo in cantiere che segue i principi della prefabbricazione industriale che ha come tema chiave la standardizzazione dei processi e dei componenti.

Sulla base della classificazione delle tipologie strutturali di capannoni redatta da Calvi et al. del 2007 (Fig. 1) sono state catalogate le quattro categorie maggiormente diffuse nel territorio italiano. Sicuramente i capannoni monopiano a telai paralleli, costituiti da due pilastri incastrati alla base e da una trave semplicemente appoggiata con connessioni resistenti a taglio, sono quelli più tradizionali e utilizzati.

Il comportamento dei pilastri è basato su uno schema statico a mensola incastrata al suolo e, soprattutto, su un efficiente collegamento tra il pilastro e la fondazione.

La seconda tipologia, i capannoni monopiano con travi longitudinali, è caratterizzata da portali collegati l'un l'altro da travi a I che sorreggono elementi di copertura di luci considerevoli. Anche in questo caso sono presenti collegamenti a secco resistenti a taglio. La terza soluzione sostituisce gli elementi in calcestruzzo con delle travi reticolari in acciaio utilizzate principalmente per rendere la struttura più leggera e per la realizzazione di coperture di grandi luci.

Infine, la quarta ed ultima tipologia costituita dai capannoni pluripiano con pilastri a tutta altezza incastrati alla base e travi, ad I o a doppia pendenza, incernierate ai nodi.

Per quanto riguarda gli elementi di copertura e le connessioni i principi di progettazione sono gli stessi dei capannoni della prima tipologia (Fig 2).

Tipo	Tipologia strutturale	Pilastri	Travi	Elementi di copertura	Connessioni
1	Monopiano a telai paralleli	Incastrati alla base	A doppia pendenza	Tegoli	A secco resistenti a taglio
2	Monopiano con travi longitudinali	Incastrati alla base	A I	Grande campata con tegoli	A secco resistenti a taglio
3	Monopiano con travi reticolari	Incastrati alla base	Reticolari	Lastre sottili precomprese	A secco resistenti a taglio
4	Pluripiano	Pilastri a tutta altezza incastrati alla base	A I a doppia pendenza	Tegoli	A secco resistenti a taglio

Figura 1 _ Classificazione delle tipologie strutturali



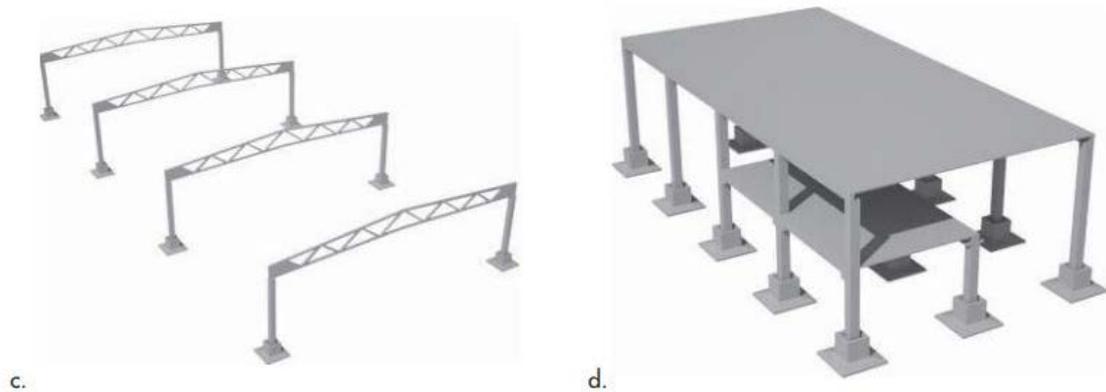


Figura 2 _ Tipologie strutturali, a) monopiano a telai paralleli; b) monopiano con travi longitudinali; c) monopiano con travi reticolati; d) pluripiano

Sulla base di questa classificazione e a seguito del devastante terremoto del 2012 in Emilia Romagna, il settore Analisi Strutturale di Eucentre insieme all'Associazione Confindustria di Piacenza, hanno svolto degli studi approfonditi all'interno del territorio emiliano al fine di fornire un quadro più specifico delle tipologie e, soprattutto, per valutare i danni subiti dalle strutture industriali a seguito del sisma. I sopralluoghi, eseguiti principalmente in provincia di Piacenza, avevano come scopo quello di rilevare le caratteristiche dimensionali e tipologiche di tali capannoni al fine di stabilire il grado di vulnerabilità degli edifici oggetto di analisi.

Anche se lo studio è incentrato sul territorio emiliano, è interessante analizzare i risultati in quanto forniscono un quadro, approssimativamente dettagliato, delle tipologie maggiormente diffuse nel territorio nazionale a partire dagli inizi degli anni '60 sino al 2010.

L'output della ricerca ha evidenziato che solo il 2,5% degli edifici è stato costruito dopo l'introduzione delle norme NTC 2008, mentre circa l'85% è stato realizzato prima della classificazione sismica del 2003 (Fig. 3).

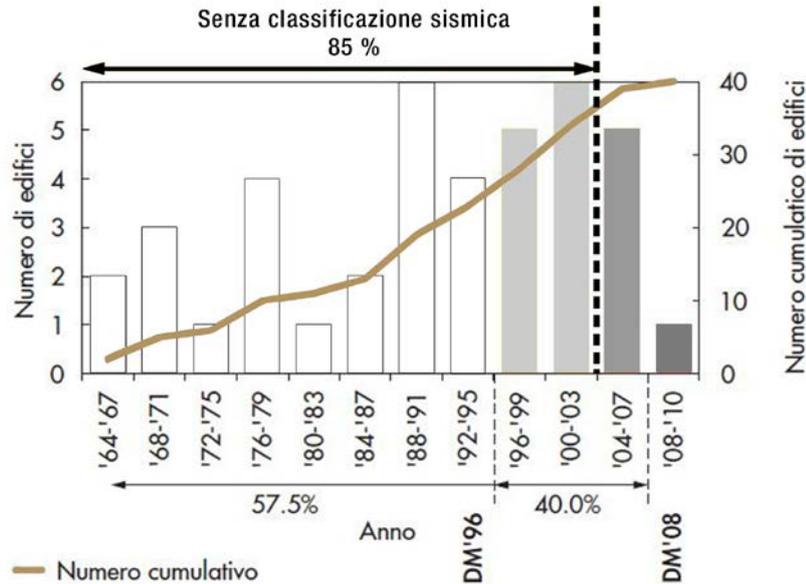


Figura 3 _ Numero delle strutture rilevate in base all'anno di costruzione

Questo in parte fornisce una spiegazione all'entità dei danni riscontrati dagli stabili, che hanno visto il collasso totale o parziale della copertura, degli elementi di rivestimento e dei componenti strutturali. Come precedentemente illustrato nella classificazione dei capannoni industriali, la travi più frequenti sono quelle a doppia pendenza, con una percentuale del 64.4%, mentre il 22.2% è costituito da travi a sezione costante a I (Fig. 4). Al primo posto, con una percentuale dell'85%, ci sono i capannoni monopiano a telai paralleli, con travi a doppia pendenza, mentre solo 15% sono capannoni monopiano, con travi longitudinali a I, e nel 65% dei casi è presente il carroponete (Fig. 5).

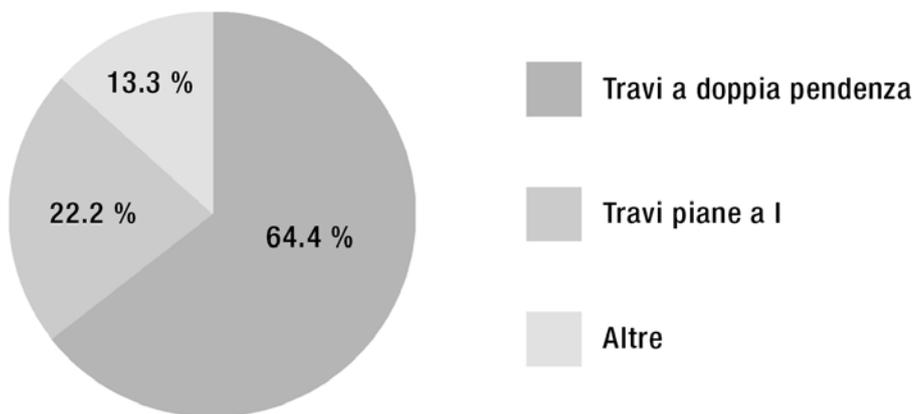


Figura 4 _ Diffusione delle tipologie di travi di copertura

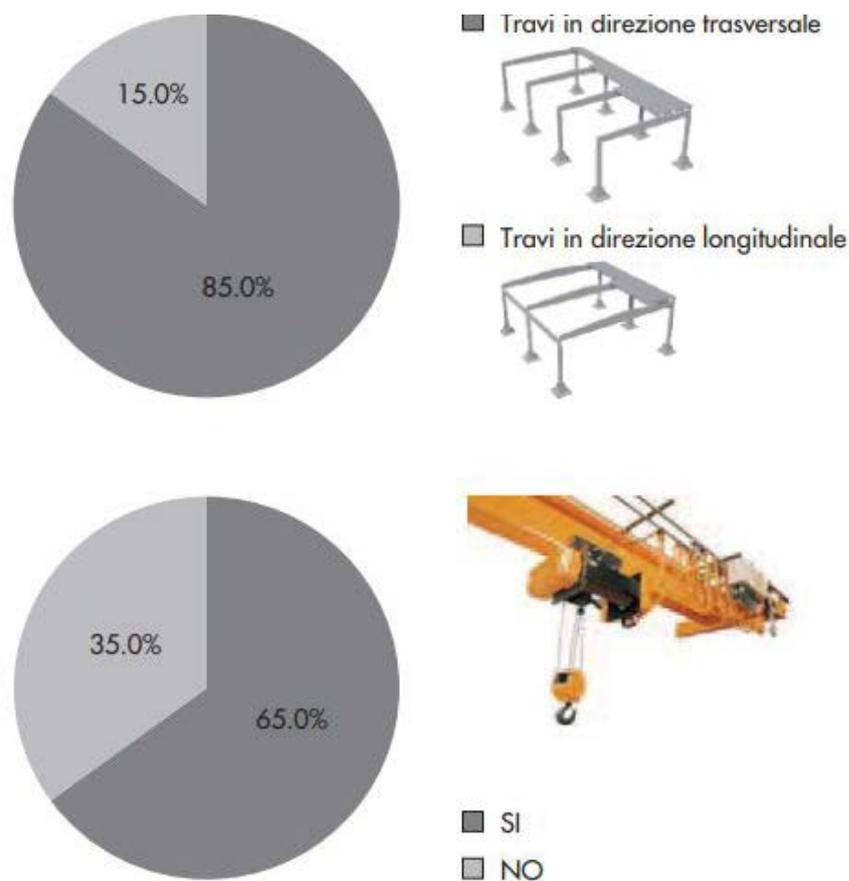


Figura 5 _ Tipologia di sistema resistente per carichi verticali

È interessante notare inoltre che le luci più comuni sono comprese tra i 14 e i 18 metri e che, con il passare degli anni, queste ultime sono aumentate fino a raggiungere i 30 metri (Fig. 6), per venire incontro alle esigenze di spazi sempre più ampi per macchinari e componenti. Inoltre i rapporti lato/altezza pilastro (L_c/h_c) sono, per la maggior parte, compresi tra 10 e 17.5, valori che dimostrano che i pilastri utilizzati sono solitamente snelli (Fig. 7). Queste caratteristiche determinano un peggioramento del comportamento strutturale sotto azione dinamica e possono essere considerate in larga parte responsabili dei crolli e dei danneggiamenti.

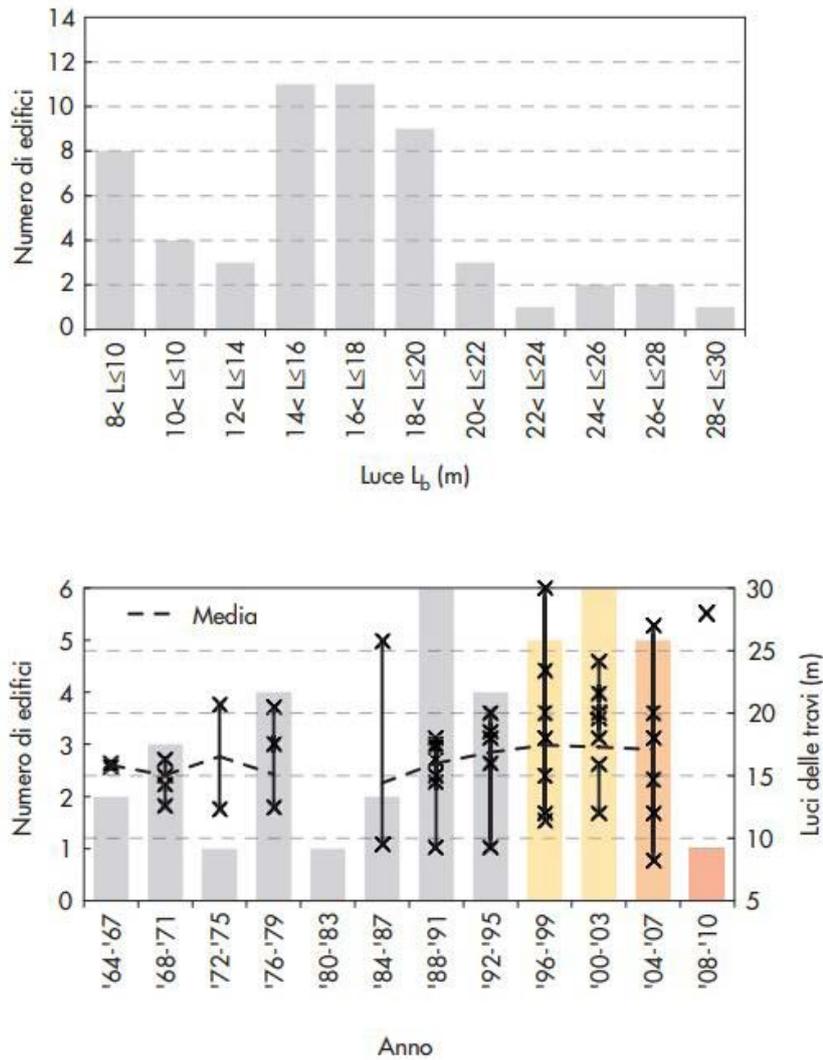


Figura 6 _ Luci delle travi principali e applicazione delle medesime nel corso degli anni

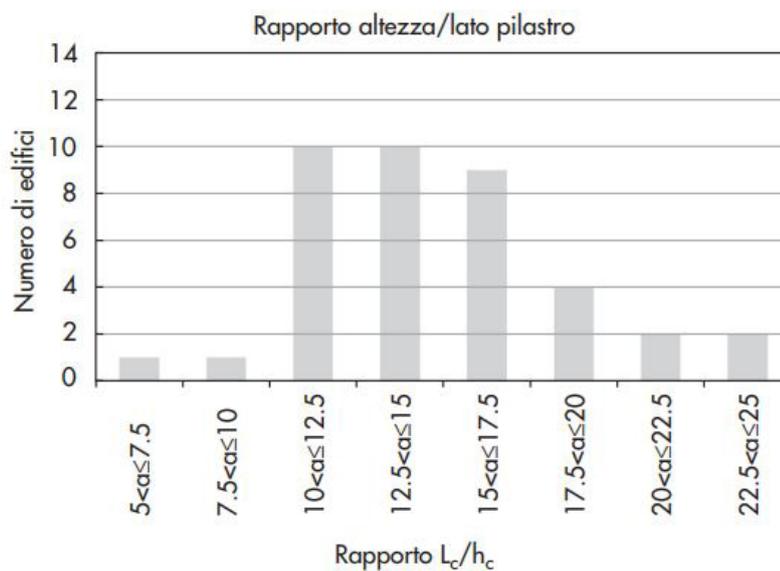


Figura 7 _ Rapporto altezza/ lato pilastro

Per quanto riguarda le connessioni tra elementi strutturali la più frequente, con un valore pari al 45.2%, è quella in cui il pilastro è caratterizzato da una forcella su cui poggia la trave in appoggio, sorretta quindi solo dall'attrito. Questa tipologia, ampiamente diffusa anche nel territorio marchigiano, non garantisce la giusta trasmissione degli sforzi e risulta inadeguata ai carichi dinamici. Altamente diffusa (26.2%) è inoltre la connessione in semplice appoggio su pilastro, per cui valgono le stesse considerazioni fatte per la prima categoria di connessioni, anche in questo caso non sono presenti dispositivi meccanici di trasferimento degli sforzi.

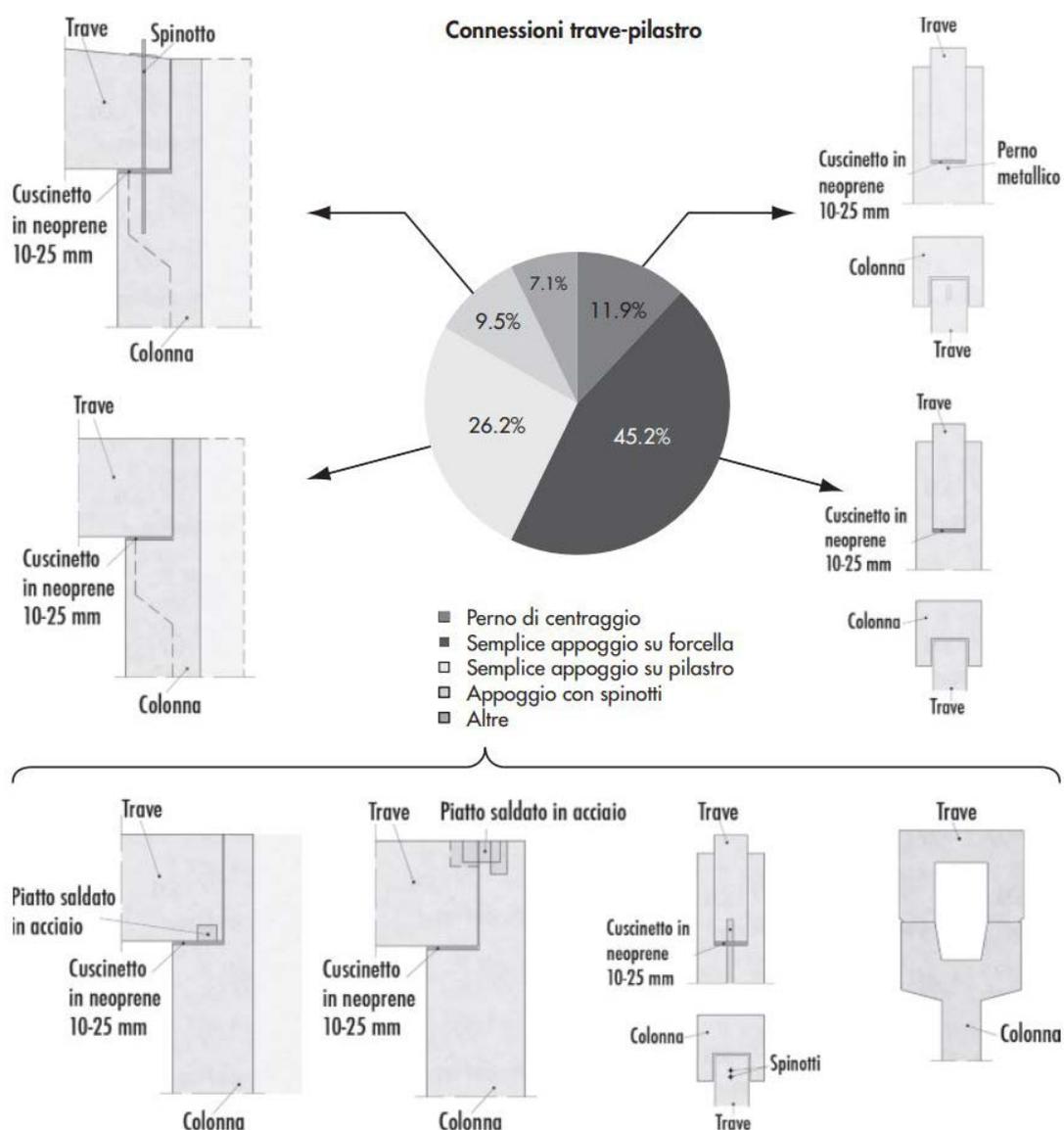


Figura 8 _ Tipologie di connessioni trave-pilastro

Le connessioni con spinotto, barre filettate passanti l'elemento orizzontale, costituiscono solamente il 9.5%, mentre le restanti connessioni presentano collegamenti meccanici come ad esempio piastre saldate in acciaio, angolari metallici, etc (Fig. 8). Tali connessioni però non sono risultate sufficienti, determinando il collasso della struttura per espulsione dello spinotto e rottura del copriferro.

Particolare attenzione inoltre va dedicata allo schema statico dei capannoni prefabbricati in quanto è determinante nella definizione del comportamento strutturale sia sotto l'azione dei carichi statici, sia per le forze generate dall'evento sismico.

Si possono annoverare due principali schemi statici:

- Sistemi a telaio: i vincoli tra i singoli elementi strutturali sono degli incastri quindi in termini di connessioni questa categoria presenta numerosi vantaggi dal punto di vista della distribuzione degli sforzi, grazie alla sua iperstaticità. Tuttavia è necessaria un'accurata progettazione delle connessioni in modo da ottenere un comportamento simile alle strutture in cemento armato gettato in opera.
- Schema a pilastri isostatici: questo modello è molto in uso, anche attualmente, nella realizzazione di edifici ad uso industriale ed è costituito da pilastri con vicolo a mensola ed elementi orizzontali semplicemente appoggiati. Ne risulta uno schema pendolare altamente vulnerabile alle forze orizzontali del sisma e che, quindi, ha come risultato notevoli spostamenti.

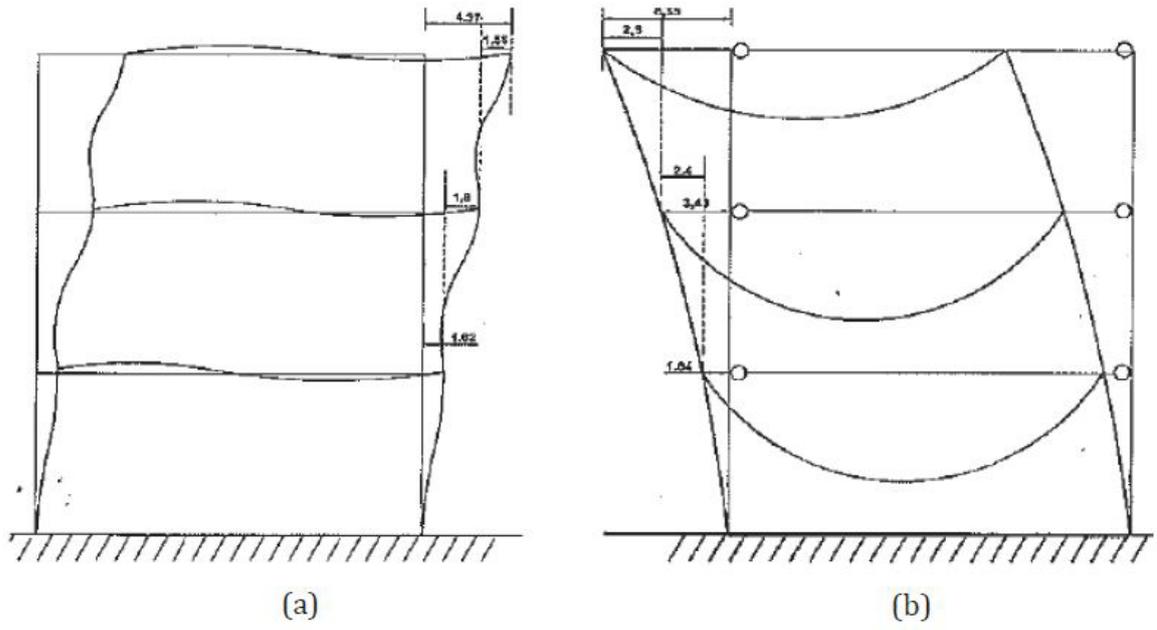


Figura 9 _ (a) schema statico a telaio, (b) schema statico a pilastri isostatici

1.2. Tipologie strutturali

Una efficace valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio industriale nazionale passa necessariamente da una classificazione, la più accurata possibile, delle varie tipologie strutturali utilizzate nel corso del tempo, in relazione alla data di realizzazione e relativo quadro normativo di riferimento e del loro grado di diffusione territoriale.

Come ampiamente descritto precedentemente, la maggior parte degli impianti industriali prefabbricati presentano delle similitudini peculiari quali una elevata flessibilità strutturale, generata dalla presenza di pilastri a tutta altezza con vincoli ad incastro alla base, interpiani molto alti e nodi trave-pilastro praticamente paragonabili a cerniere e quindi incapaci di trasmettere i momenti flettenti alle colonne.

Avvalendosi del “Progetto triennale di ricerca DPC/RELUIS 2006/2008”, sviluppato da RELUIS in collaborazione con Assobeton, che raccoglie una lista delle principali tipologie di strutture prefabbricate, che sono state o sono in produzione nei principali stabilimenti nazionali, fornendo una raccolta quantomeno esaustiva del panorama industriale italiano di nuova costruzione e non, di seguito vengono illustrate alcune delle tipologie più diffuse al fine di stabilirne il grado di vulnerabilità, le principali lacune strutturali e le relazioni con la tecnologia oggetto della tesi.

Tutte le tipologie sono differenziate in base a macro-categorie, specificate dal periodo di produzione delle stesse e dal grado di diffusione nazionale.

TRAVI A DOPPIA PENDENZA

Tipologia molto diffusa in tutte le epoche e regioni, in particolare fino agli anni '90 (Fig. 10).

Adatta per edifici monopiano di luce compresa tra i 10 ed i 40 metri ed interassi da 6 a 12 metri. La copertura viene completata con diaframmi impermeabilizzanti di vario genere (come ondulate in fibrocemento o lamiere grecate, voltine, pannelli alveolari o pannelli in laterocemento) e l'inclinazione delle falde varia dal 10 al 15%. Se correttamente progettata questa tipologia non ha carenze rilevanti sotto l'azione sismica.

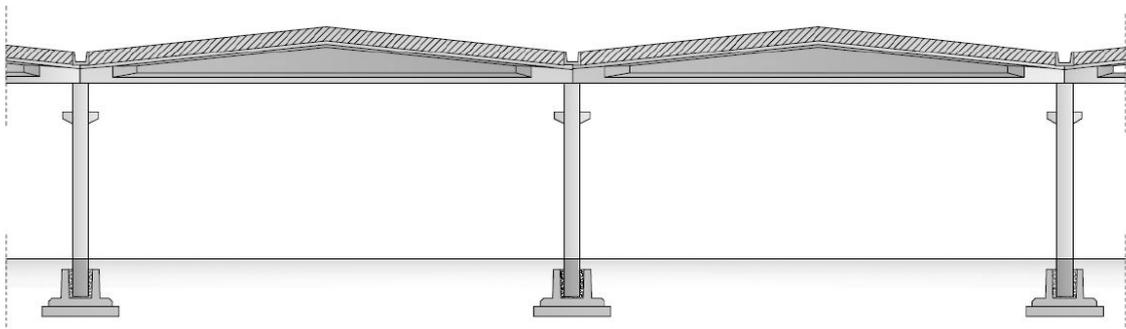


Figura 10 _ Travi a doppia pendenza

Una tra le più tipiche soluzioni adottate per questa tipologia è quella che utilizza pannelli in c.a. o c.a.p., generalmente binervati, come elementi di copertura, con la presenza o meno di lucernai o aperture a shed (Fig. 11 - 12).

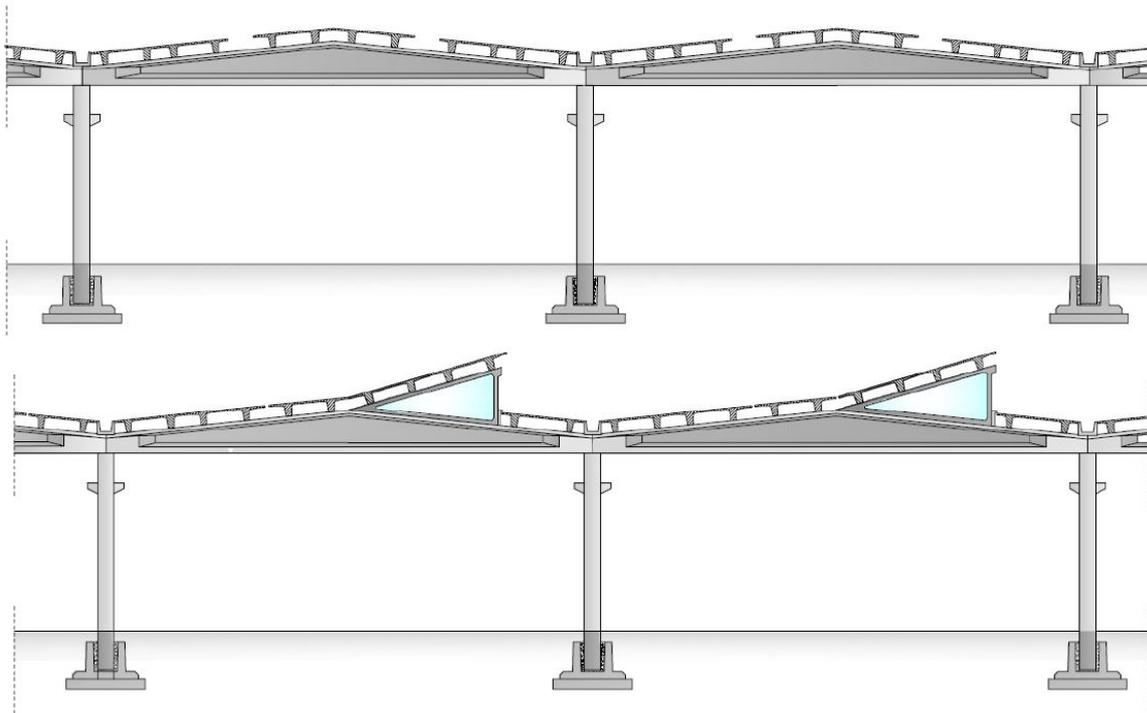


Figura 11 - 12 _ Travi a doppia pendenza con pannelli binervati, con o senza lucernai o aperture a shed.

TRAVI A DOPPIA PENDENZA A CONCI (GRANDI LUCI)

Tipologia maggiormente diffusa tra gli anni '70 e '90 per particolari ambiti dove si necessita di grandi luci (Fig. 13).

La trave viene realizzata suddivisa in due o tre conchi per soddisfare i requisiti di trasportabilità dell'elemento, viene poi assemblata in cantiere tramite post tensione di cavi.

La soluzione è indicata per luci comprese tra i 30 ed i 40 metri e presenta, a completamento della copertura, pannelli alveolari, nervati o voltine.

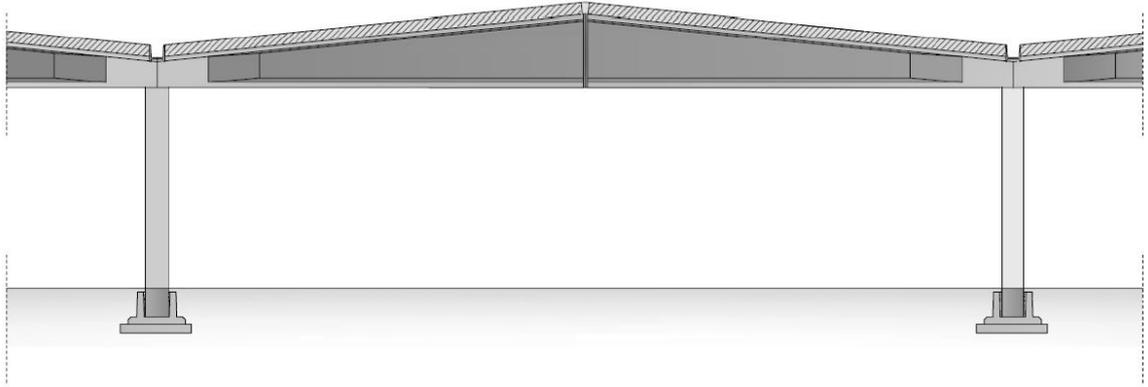


Figura 13 _ Travi a doppia pendenza a conci

COPERTURA PIANA (TRAVI A I)

Tipologia molto diffusa in tutte le epoche e regioni. Particolarmente adatta per capannoni monopiano con luci comprese tra i 10 ed i 30 metri ed interassi tra i 6 ed i 30 metri (Fig. 14).

La copertura viene completata con diaframmi impermeabilizzanti di vario genere e, se correttamente progettata, questa tipologia non ha carenze rilevanti sotto l'azione sismica.

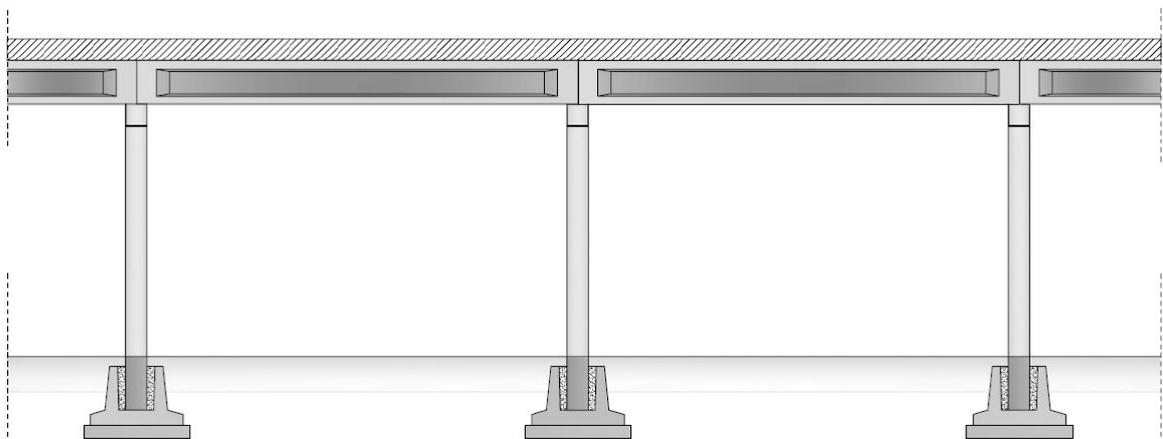


Figura 14 _ copertura piana con travi a I

Sono abbastanza diffuse anche versioni che presentano pannelli alveolari o nervati all'estradosso delle travi con piccole variazioni di luce ed interasse (Fig. 15-16).

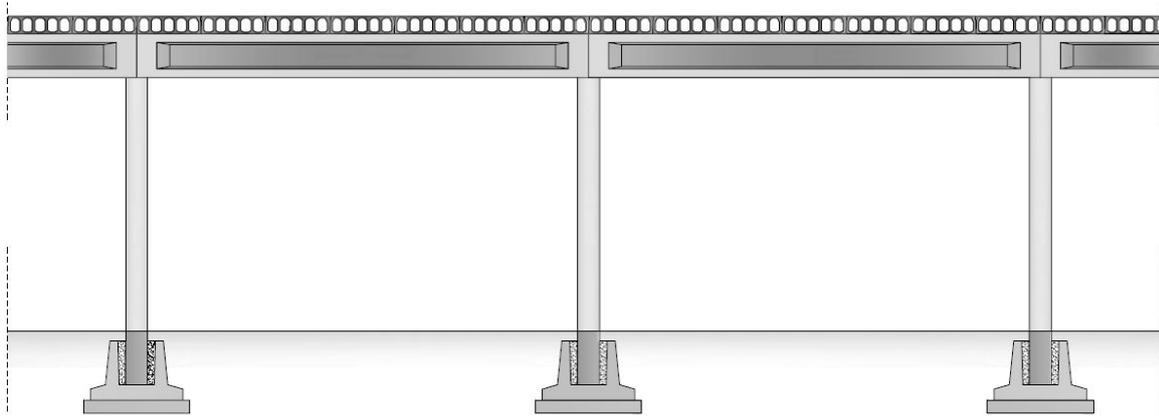


Figura 15 _ copertura piana con pannelli alveolari

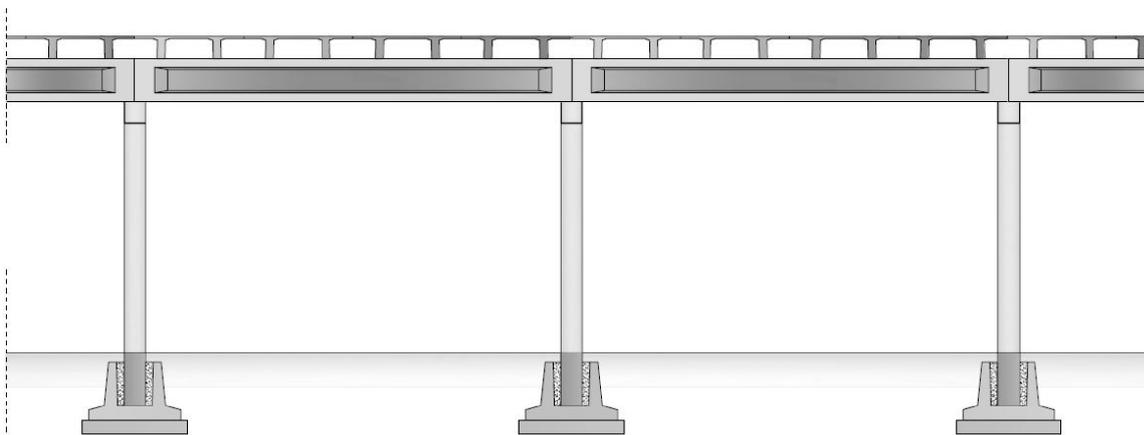


Figura 16 _ copertura piana con pannelli nervati

Molto diffuse ed in costante aumento sono le soluzioni che adottano voltine o shed all'estradosso delle travi ad I (Fig. 17 - 18).

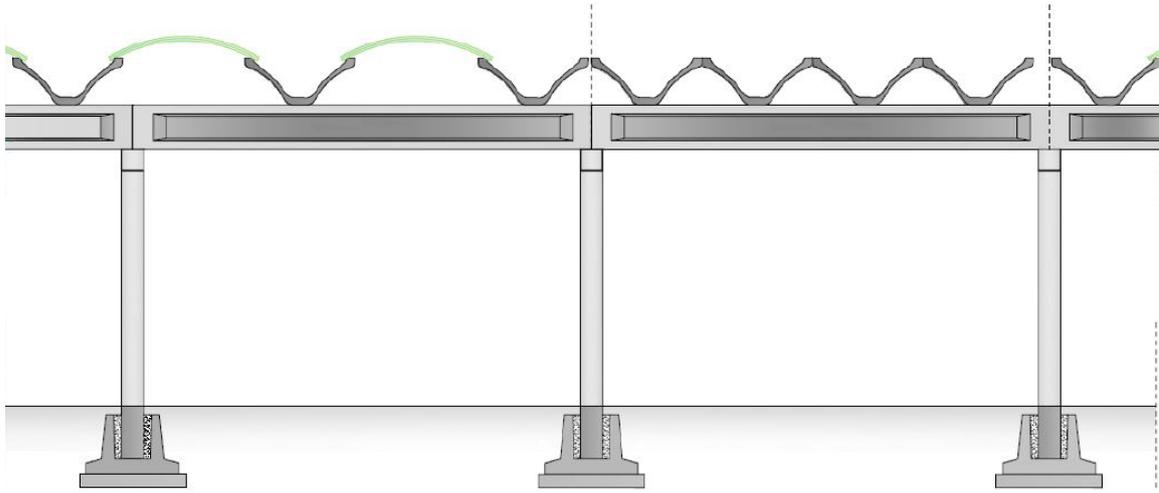


Figura 17 _ copertura piana con voltini

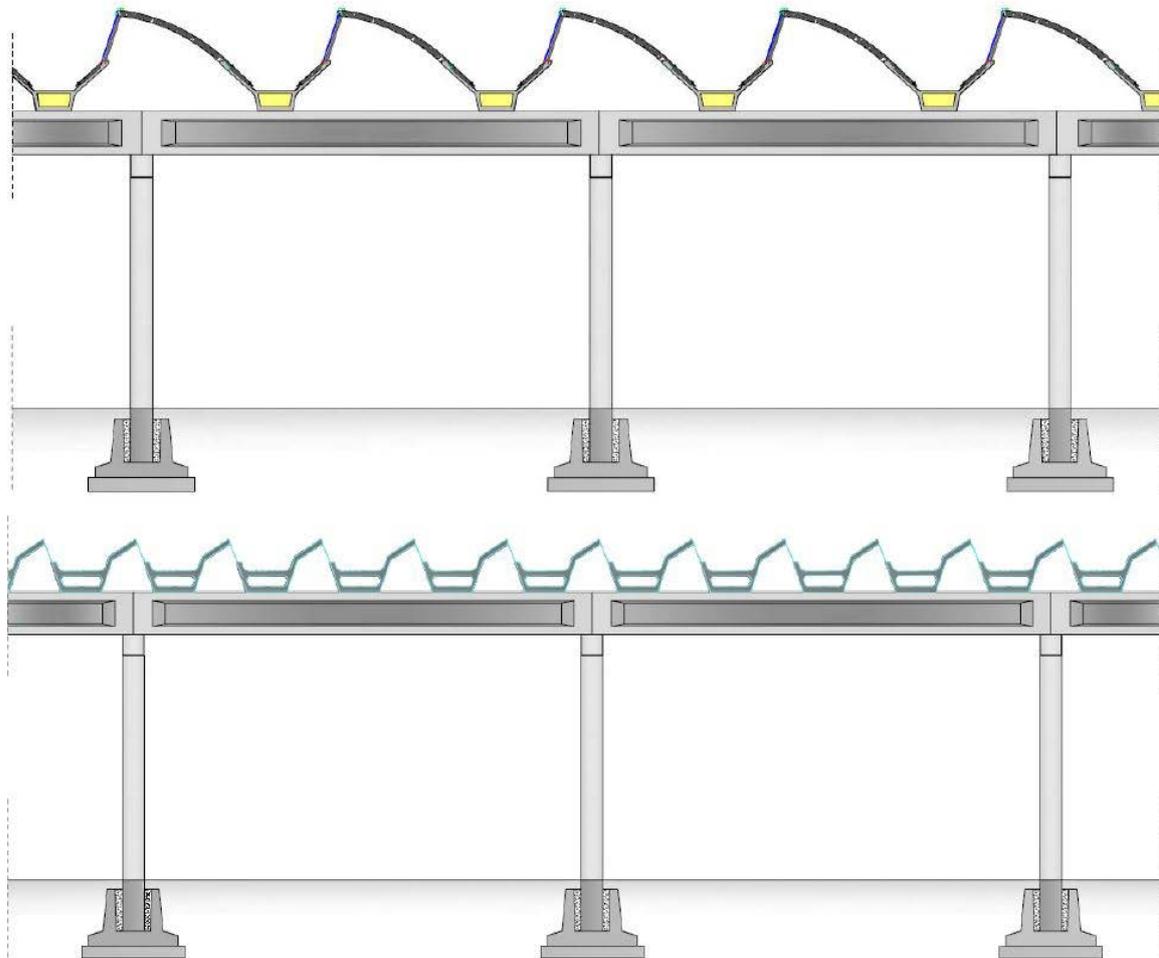


Figura 18 _ copertura piana con shed

COPERTURA PAIANA (TRAVI ROVESCE)

Tipologia molto diffusa in tutte le epoche e regioni. Particolarmente adatta per capannoni monopiano di luci comprese tra i 10 ed i 20 metri ed interassi tra gli 8 ed i 25 metri (Fig. 19).

La copertura viene completata con diaframmi impermeabilizzanti di vario genere e, se correttamente progettata, questa tipologia non ha carenze rilevanti sotto l'azione sismica.

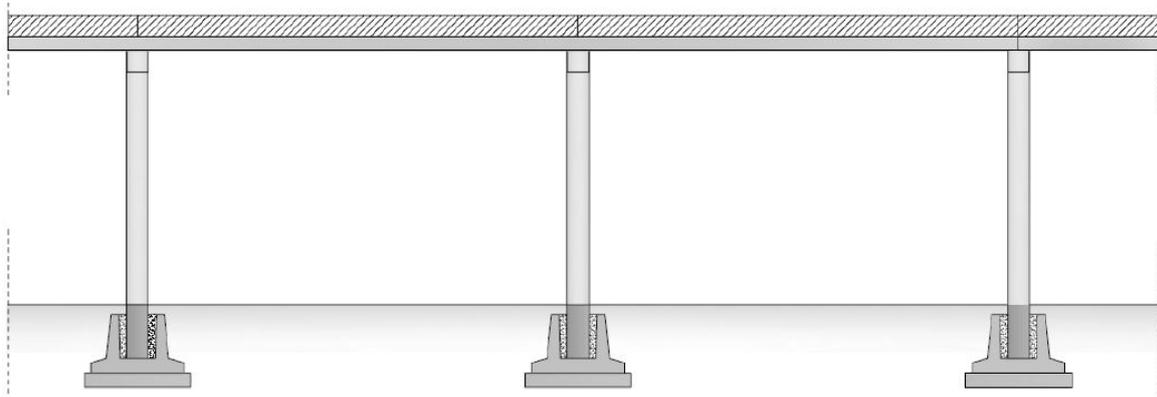


Figura 19 _ copertura piana con travi rovesce

Le travi rovesce vengono in genere utilizzate dove esiste la necessità di ridurre lo spessore del solaio.

Nelle campate centrali vengono posizionate indifferentemente travi a T rovescia o travi a L accoppiate, mentre nelle campate laterali vengono impiegate esclusivamente travi a L (Fig. 20).

Come per le travi a I anche la produzione delle travi a L e a T rovescia prevede la possibilità di avere diverse sezioni e geometrie che variano in altezza da 80 a 160 centimetri e nella base maggiore da 70 a 120 centimetri.



Figura 20 _ disposizione ed utilizzo delle travi rovesce a T e a L

Sono abbastanza diffuse anche versioni che presentano pannelli alveolari o nervati posati sulla mensola inferiore delle travi (Fig. 21 - 22) con piccole variazioni di luce ed interasse.

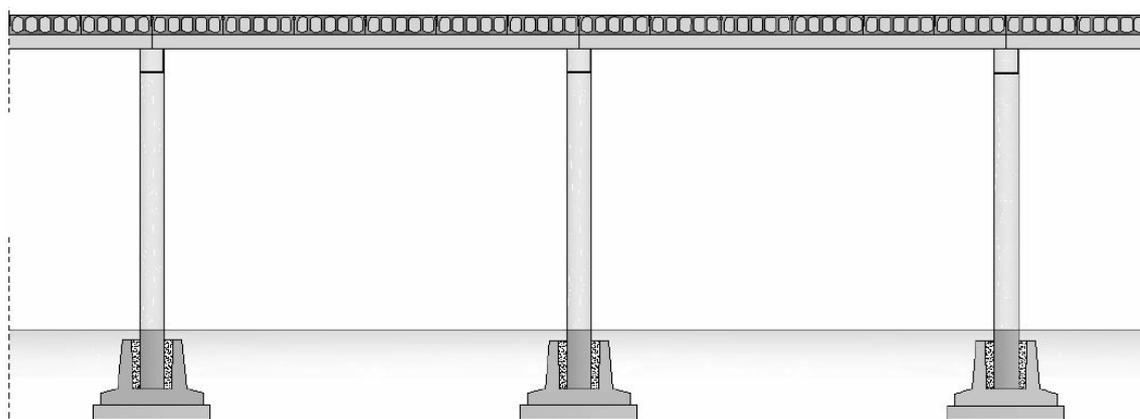


Figura 21 _ copertura piana con travi rovesce e pannelli alveolari

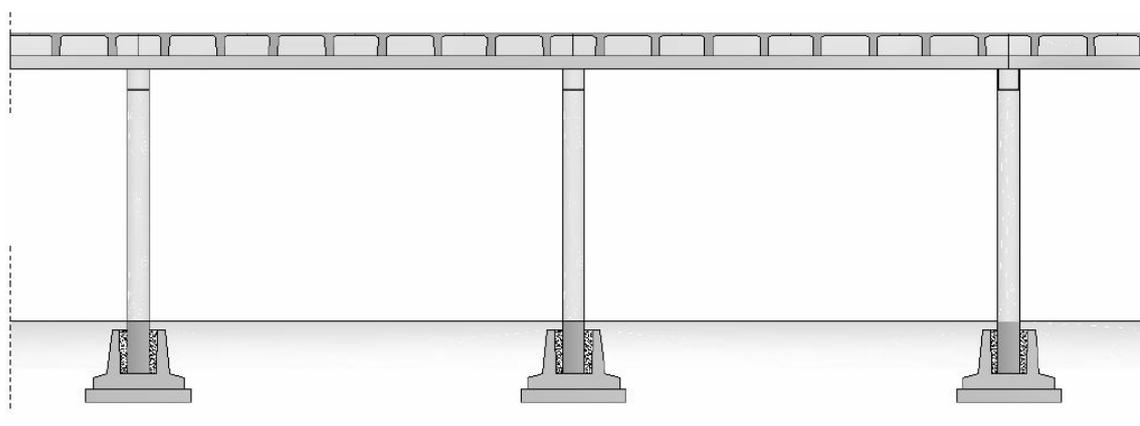


Figura 22 _ copertura piana con travi rovesce e pannelli nervati

COPERTURE RETICOLARI

Tipologia utilizzata pressoché ovunque in Italia dagli anni '60 al 2000. Si utilizzano elementi reticolari prefabbricati per coperture in c.a. e c.a.p. generalmente suddivisi in conci e assemblati tramite precompressione o bullonature filettate (Fig. 23 - 24 - 25).

Le travi sono utilizzate per luci che vanno dai 12 ai 30 metri ed interassi da 4 a 10 metri.

Se correttamente progettata questa tipologia non ha carenze rilevanti sotto l'azione sismica.

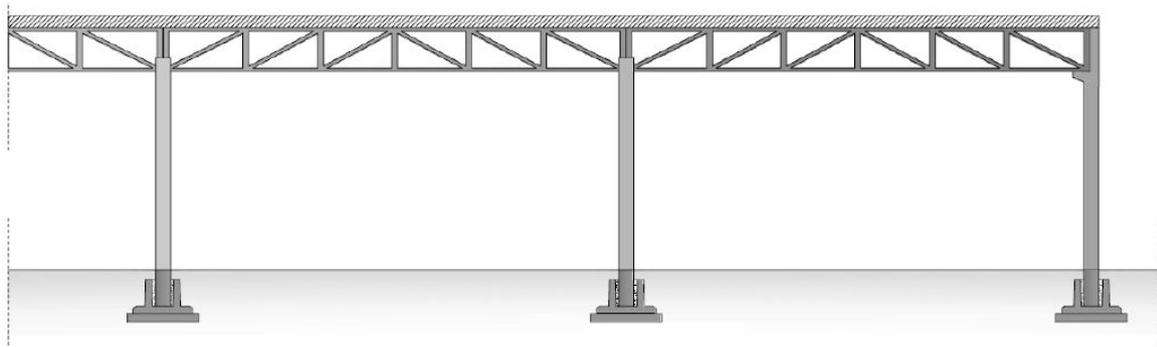


Figura 23 _ reticolare piana

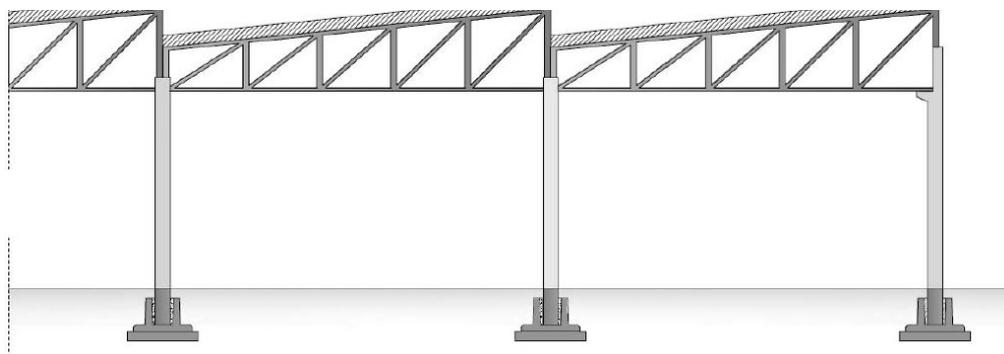


Figura 24 _ reticolare a shed

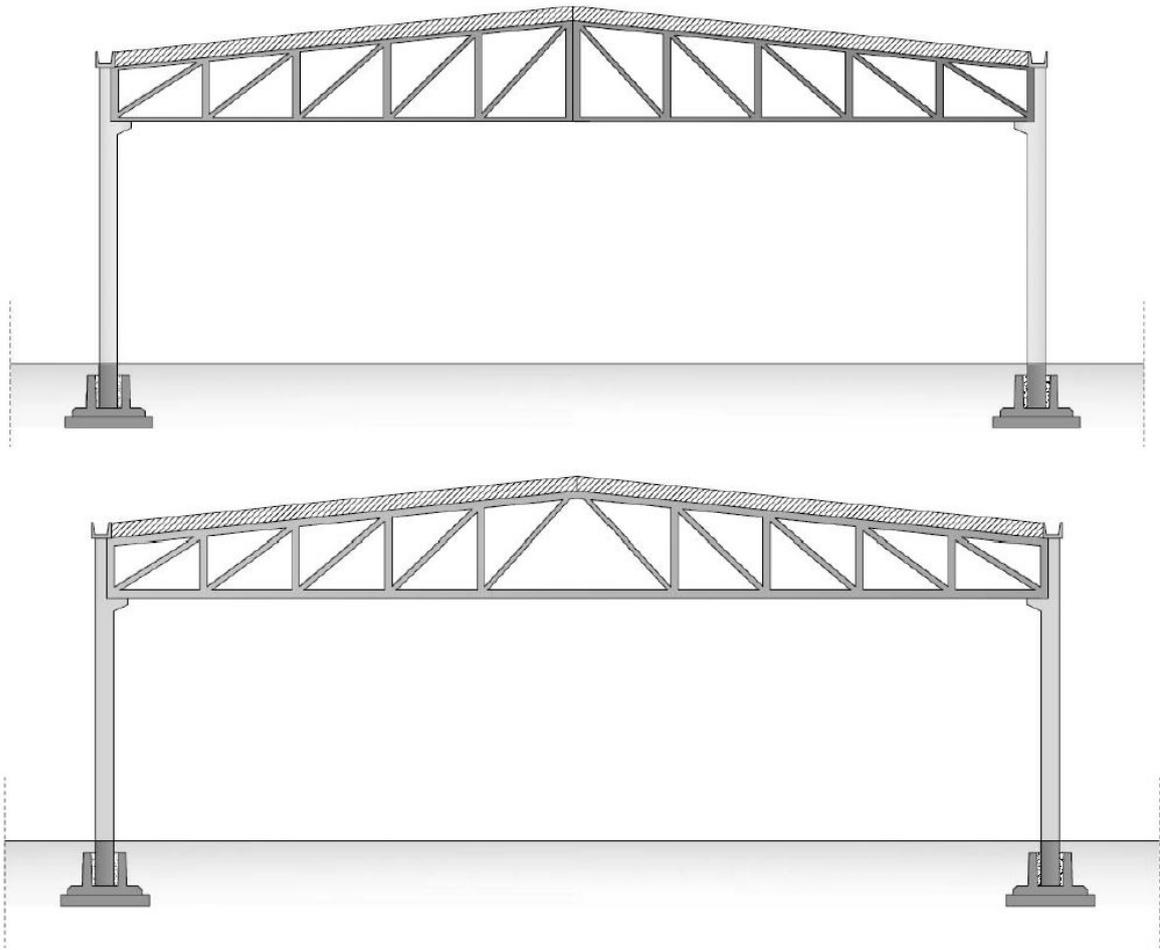


Figura 25 _ reticolari a doppia pendenza

PILASTRI A Y

Tipologia principalmente diffusa al Centro e al Nord fino agli anni '80.

La copertura è realizzata con travature piane o a doppia pendenza con pannelli alveolari, nervati o arcarecci, il tutto fissato su pilastri ad Y che garantiscono una generosa illuminazione degli spazi interni (Fig. 26).

Generalmente le travi hanno un interasse fino a 10 metri, mentre i pilastri arrivano fino a 20 metri.

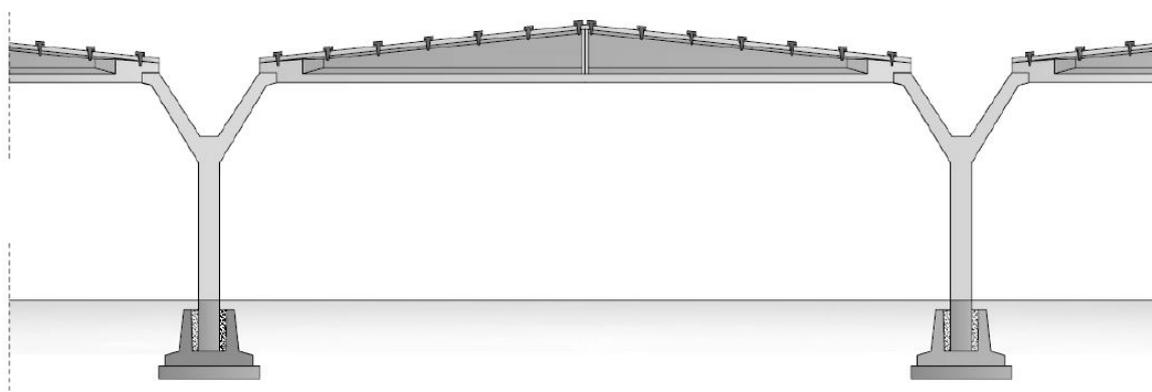


Figura 26 _ pilastri a Y

TRAVI A GINOCCHIO

Tipologia diffusa al Centro e al Nord soprattutto per stabili agricoli o zootecnici.

La copertura è caratterizzata da elementi in c.a. con il caratteristico profilo detto anche "Boomerang", e da elementi di copertura a completamento che possono essere tegoli nervati oppure lastre ad intradosso piano sia in c.a.p. (alveolari) che in laterocemento (Fig. 27).

La luce tipica varia tra i 12 ed i 20 metri, mentre l'interasse tra 6 e 10 metri.

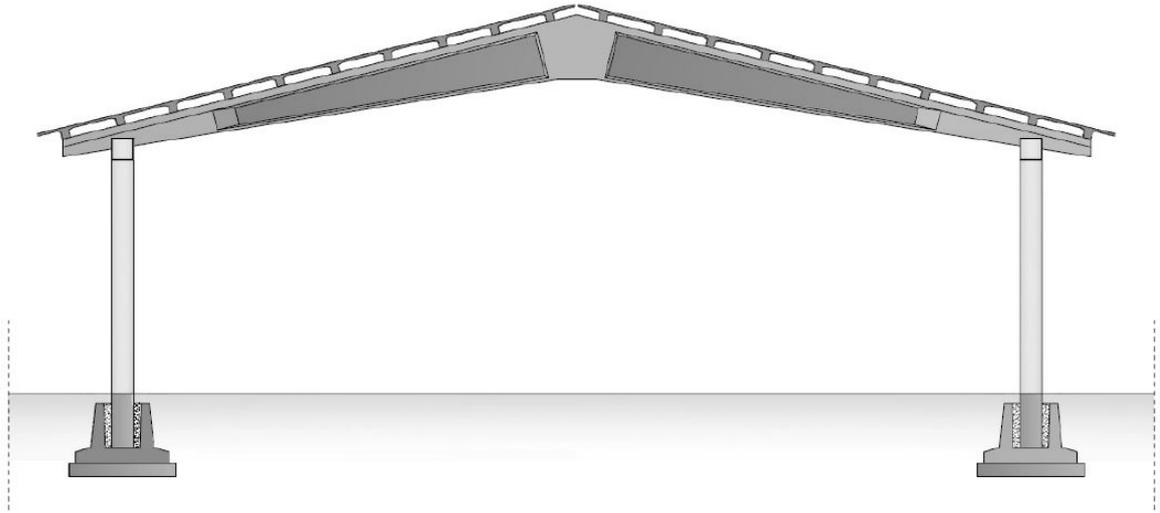


Figura 27 _ travi a ginocchio

SOLAI

Generalmente i solai di copertura si dividono in parzialmente o totalmente prefabbricati (Fig. 28). I secondi a loro volta possono essere dotati o meno di un getto in opera di completamento collaborante.

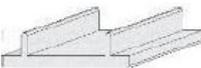
Tipologia elemento	Sezioni tipiche	Dimensioni sagoma standard (m)		Peso totale (kN/m)	
		base	altezza		
Solai totalmente prefabbricati (in c.a.p)	lastra alveolare		1.20	0.12 ÷ 0.80*	2.00 ÷ 8.50
	tegolo binervato		2.50	0.30 ÷ 1.20*	2.00 ÷ 5.00
	tegolo omega		2.25	0.40 ÷ 1.00*	2.50 ÷ 6.00
Solai parzialmente prefabbricati	tegolo binervato ad intradosso piano		1.20	0.50 ÷ 1.00*	3.5 ÷ 8.5
	lastra nervata		1.20	0.20 ÷ 0.30	1.50 ÷ 2.50
	a travetti in c.a.p.		0.12 ÷ 2.50**	0.16 ÷ 0.24***	3.00 ÷ 15.00
	tralicciato (predalles)		1.20 ÷ 2.50	0.15 ÷ 0.60	-

Figura 28 _ caratteristiche degli elementi di solaio di uso corrente (modificato da Calvi et al., 2006)

TEGOLI ALARI

I tegoli alari rappresentano una categoria con una svariata quantità di tipologie diverse. Pur avendo una miriade di diverse soluzioni i tegoli alari rispettano a grandi linee una serie di parametri dimensionali:

sagoma di larghezza massima 2.50 metri e altezza al bordo compresa fra 0.80 e 1.20 metri; spessore minimo dei setti non minore di 5 centimetri; luce massima raggiungibile intorno ai 32 metri; interasse

trasversale fino a 6 metri.

Generalmente vengono usati in combinazione con travi di bordo ad “I” o ad “H” e le loro forme caratteristiche sono a “V” ad “Y” a “P” o a “W” (Fig. 29).

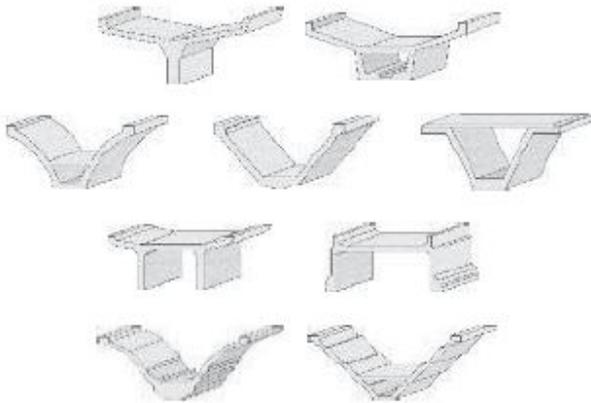
Tipologia elemento	Sezioni tipiche	Dimensioni sagoma standard (m)	
		base	altezza
Tegoli di copertura		2.50	1.00 ÷ 1.10

Figura 29 _ caratteristiche dei principali tegoli alari di grande luce di uso corrente (Modificata da Dassori, 2001)

PILASTRI

I pilastri prefabbricati sono costituiti da un solo elemento monolitico in calcestruzzo armato semplice, generalmente incastrato alla base.

Le sezioni sono solitamente quadrate tra i 40 ed i 50 centimetri di lato in funzione dei carichi e dell'altezza del componente, sono diffuse anche tipologie rettangolari con lato maggiore fino ad un metro o tipologie ad “H” con guide per l'alloggiamento dei pannelli di tamponamento.

Tutte le tipologie sono adeguatamente conformate alla base in modo da essere alloggiati all'interno di plinti a bicchiere, mentre la con-

nessione con i diaframmi orizzontali è curata attraverso la sagomatura del terminale o attraverso l'istallazione di mensole d'appoggio di travi, carriponte o pannelli di tamponamento, gettate in fase di prefabbricazione in continuità materica con il pilastro o successivamente tassellate.

SISTEMI DI FONDAZIONE

Il sistema di fondazione prevalentemente usato è costituito da plinti a bicchiere (Fig. 30) che poggiano su magroni debolmente armati, queste ultime realizzate con un calcestruzzo con prestazioni inferiori rispetto agli elementi di elevazione.

Le possibili alternative possono essere l'impiego di pali prefabbricati o di fondazioni superficiali a nastro, diffuse nel caso in cui la capacità portante del terreno sia scarsa o di problemi nella verifica strutturale dei plinti a bicchiere.

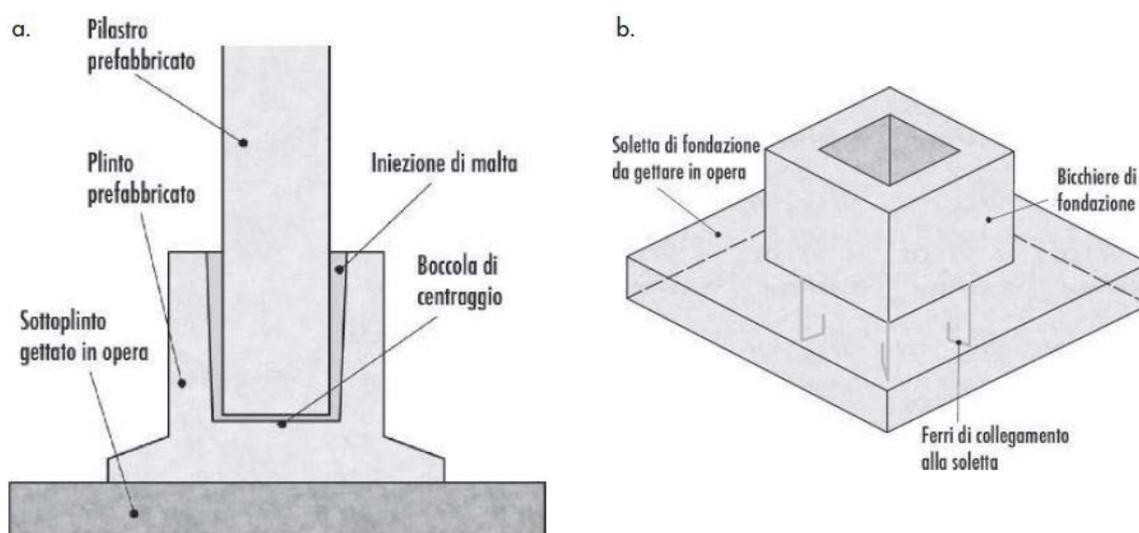


Figura 30 _ nodo fondazione-pilastro: a) plinto prefabbricato; b) bicchiere prefabbricato con soletta gettata in opera.

PANNELLI DI TAMPONAMENTO

I pannelli di tamponamento possono essere principalmente classificati in due categorie in base al loro orientamento:

- pannelli verticali (Fig. 31 b), poggiano direttamente sul cordolo di fondazione, grazie a delle connessioni meccaniche, ed in parte sui plinti di fondazione, mentre nella parte superiore vengono ancorati per evitare la sola traslazione orizzontale. Essi sono posizionati necessariamente sulla faccia esterna dei pilastri e sono particolarmente adatti per ampie luci, quando non si vogliono utilizzare pilastri reggipannello;

- pannelli orizzontali (Fig. 31 a), possono essere fissati sulla faccia esterna dei pilastri tramite inserti metallici o fatti scorrere al loro interno, nel caso di pilastri con sezione trasversale ad "H", con o senza collegamenti meccanici alle colonne.

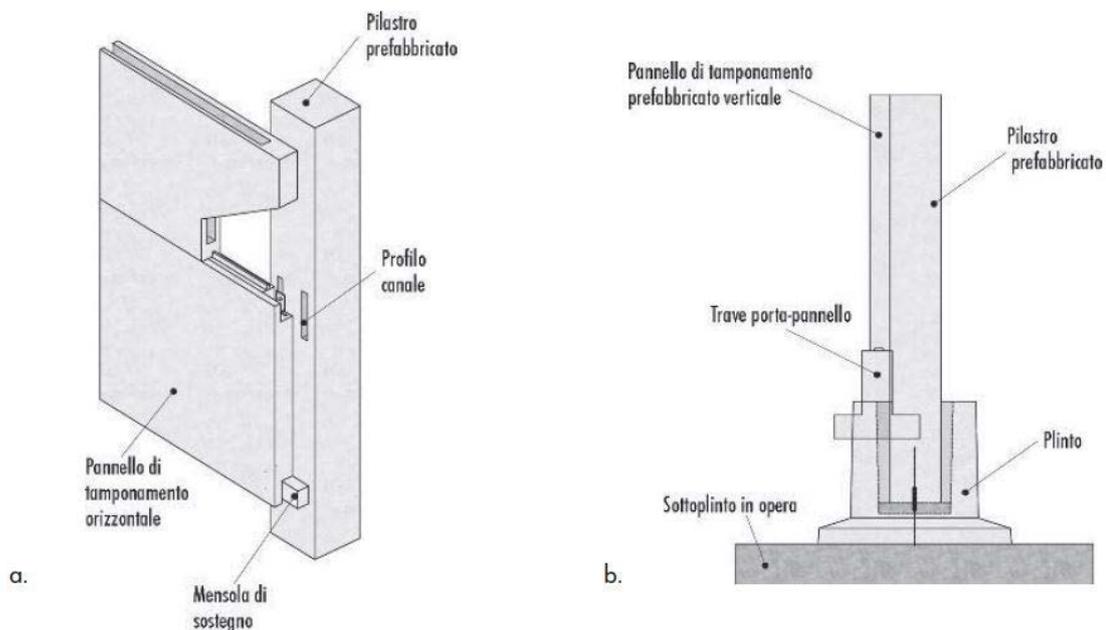


Figura 31 _ collegamenti pannello – struttura: a) pannelli orizzontali appesi ai pilastri mediante mensole, profili metallici e bulloni; b) esempio di appoggio di un pannello verticale su di un cordolo di fondazione.

CONNESSIONI

Nelle strutture prefabbricate è fondamentale uno studio accurato delle connessioni tra i vari elementi le quali, a seconda della loro natura, generano staticamente diverse configurazioni vincolari e quindi influenzano la progettazione degli elementi stessi.

Genericamente le connessioni tra elementi strutturali prefabbricati sono di due tipi:

- unioni a secco; ottenute per contatto tra gli elementi ed aggiunta di inserti metallici di connessione tra gli stessi (tipologia largamente più diffusa per la rapidità di esecuzione ed i costi contenuti);

- unioni gettate in opera; realizzate mediante getti di calcestruzzo in opera ed armature di richiamo (da sempre meno diffuse a causa dei lunghi periodi di realizzazione).

Nello specifico del nodo di collegamento tra elementi le tipologie di connessione variano a seconda delle componenti da unire:

- connessione trave-pilastro; nel caso dell'appoggio di travi ad "I", "L" o "T" rovescio il nodo viene generalmente risolto lasciando il pilastro a testa piatta (Fig. 32 a).

In presenza di travi a doppia pendenza, generalmente snelle, il nodo viene risolto con un attacco a forcella più o meno allargato (Fig. 32 b - c). Le travi ad "H" vengono invece ancorate al pilastro grazie ad un tenone centrale (Fig. 32 d).

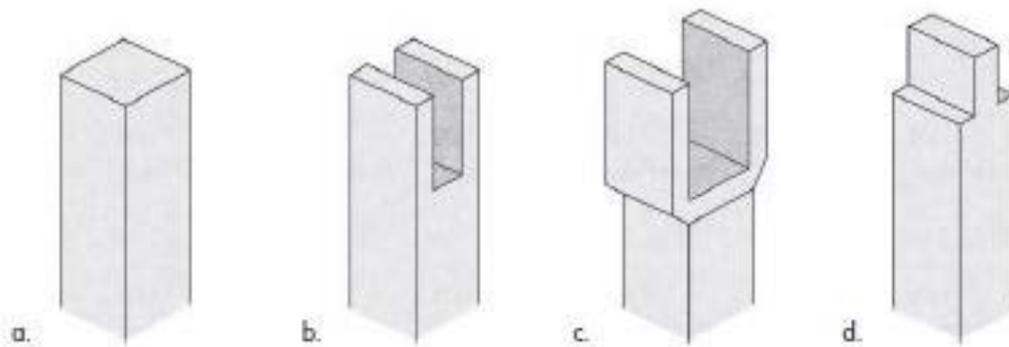


Figura 32 _ Morfologia delle teste dei pilastri: a) a testa piatta; b) e c) a forcella e a forcella allargata; d) a tenone.

La trasmissione al pilastro delle azioni sismiche orizzontali e verticali, quando non affidata al semplice attrito, viene risolta installando connessioni meccaniche di vario tipo sulla testa del pilastro: come tirafondi verticali (Figura 22 a), scatolari metallici zancati annegati all'estremo della trave e sulla testa del pilastro con spinotto verticale iniettato (Figura 22 b) o barre metalliche trasversali colleganti la testata della trave alle forcelle o alla baionetta del pilastro (Fig. 33 c – d).

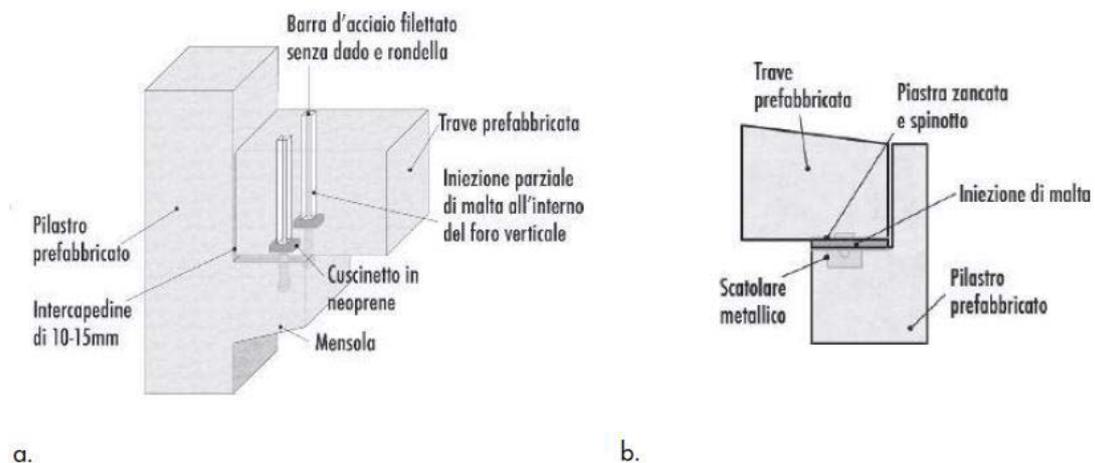


Figura 33 _ Tipiche connessioni trave-pilastro: a) tirafondo verticale; b) spinotto verticale e scatolari metallici zancati

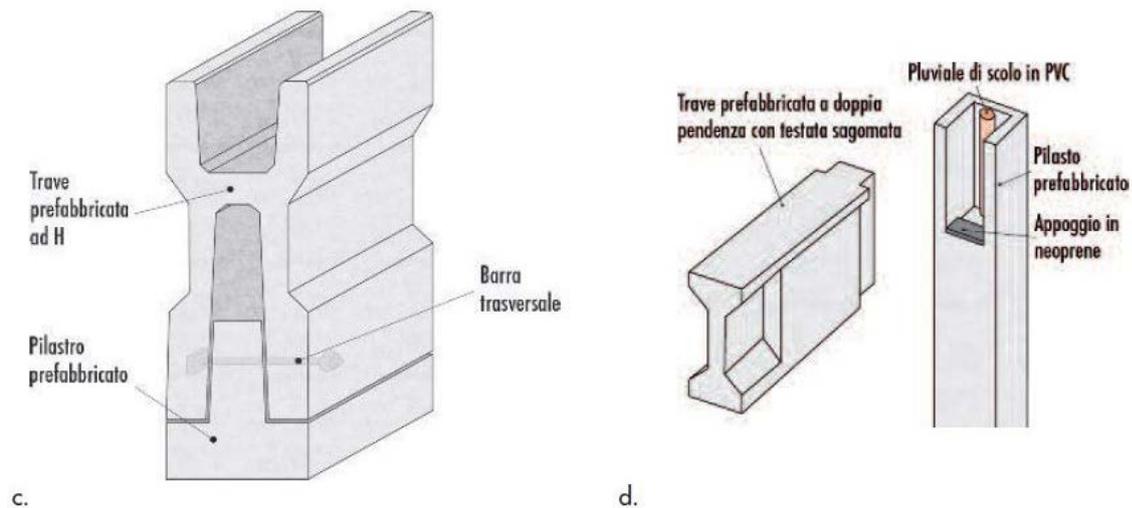


Figura 33 _ Tipiche connessioni trave-pilastro: c) e d) barra metallica orizzontale.

- connessione trave – tegolo; i tegoli di copertura vengono solitamente vincolati alle travi attraverso il semplice attrito, oppure vengono inserite delle connessioni meccaniche quali squadrette metalliche imbullonate (Fig. 34 a), chiodi battuti per tegoli piani, barre metalliche longitudinali di collegamento nel getto in opera (Fig. 34 b).

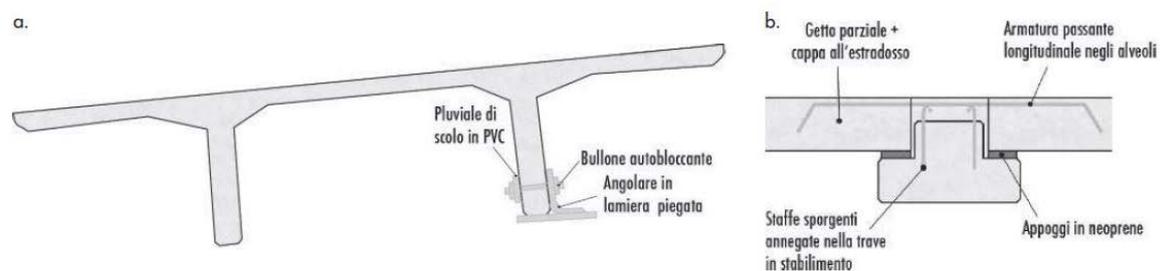


Figura 34 _ Possibili soluzioni di collegamento trave-tegolo: a) collegamento mediante bulloni e squadretta metallica.; b) collegamento mediante getto parziale in opera e barre metalliche annegate.

- connessione pannello – struttura; solitamente è valutata solo in campo statico per sorreggere il peso proprio del pannello. Solitamente i pannelli orizzontali vengono bloccati mediante mensole metalliche annegate nei pilastri, mentre quelli verticali poggiano direttamente sui cordoli di fondazione. Gli inserti metallici all'estremo superiore non hanno alcuna funzione di tenuta ai carichi gravitazionali, mentre sono

pensati per evitare il ribaltamento fuori piano del pannello e assorbire le sollecitazioni di trazione dovute al vento (Fig. 35). A fine di una buona risposta sismica queste connessioni dovrebbero essere in grado di sopportare anche le sollecitazioni derivanti dall'interazione tra il comportamento dinamico del pannello e quello della struttura stessa.

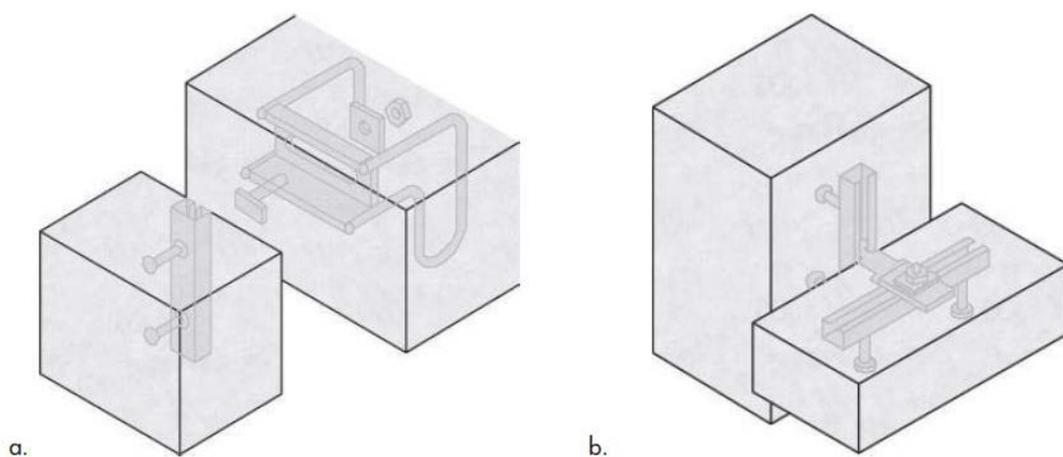


Figura 35 _ Collegamenti pannello –struttura: a) vincolo per evitare il ribaltamento fuori piano sia di pannelli orizzontali che verticali; b) dettaglio di un collegamento trave – pannello verticale dotato di veletta

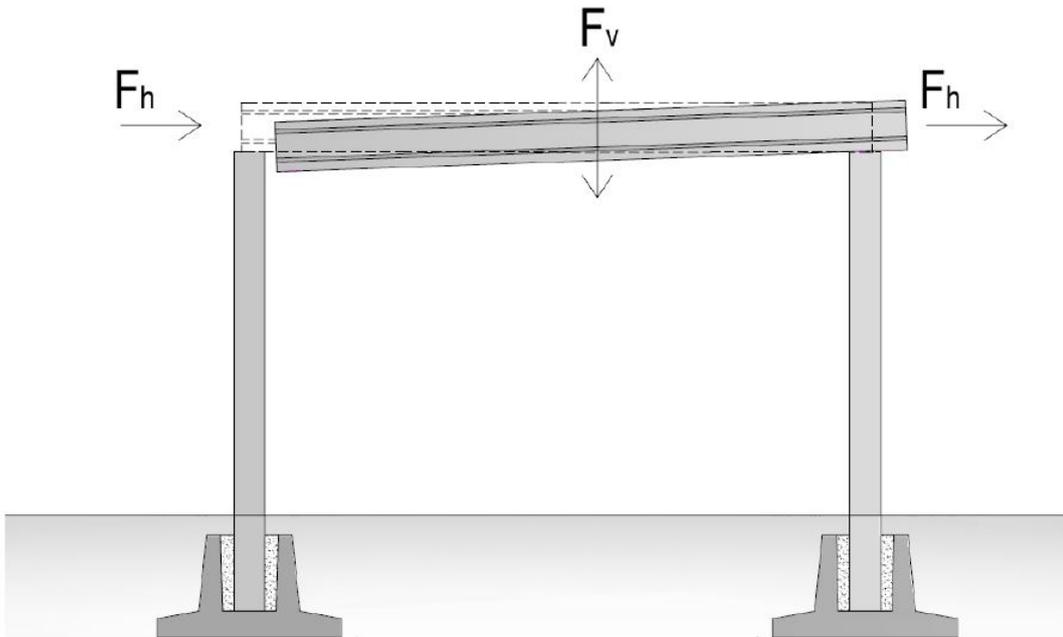
1.3. Il peso di un'instabilità incontrollata

Durante la vita di un edificio sono notevoli le proprietà strutturali che entrano in gioco, che risultano poco rilevanti sotto l'effetto delle ordinarie azioni di esercizio, ma che diventano problematiche nel corso dell'azione dinamica. La maturazione di un'esperienza nazionale, a seguito di numerosi eventi sismici passati, ha evidenziato e quantificato le principali criticità progettuali al fine di intervenire in fase di adeguamento e di cambiare i criteri costruttivi per edifici ex-novo. Inoltre, nel corso del tempo, c'è stato un perfezionamento della zonizzazione sismica, sulla base del progresso scientifico, che ha avuto come risultato un aggiornamento delle zone sismiche e quindi dei criteri di progetto da utilizzare. I capannoni industriali, realizzati a partire dal secondo dopoguerra, risultano quindi inadeguati sulla base delle conoscenze oggi acquisite e vanno tutelati al fine di salvaguardare persone e beni. (Catalogo tipologie strutture prefabbricate)

Le principali cause di danno negli edifici prefabbricati esistenti sono state individuate dall' art. 3 del D.L n°74 del 2012, emanato a seguito del sisma emiliano, che ha messo in luce le procedure necessarie per rendere nuovamente agibili le strutture dopo il sisma. In primo luogo vi è da risolvere l'assenza/carenza delle connessioni tra elementi orizzontali e verticali e delle tamponature alle strutture portanti. In secondo luogo vi è il controventamento delle scaffalature, spesso eccessivamente caricate, che una volta collassate possono andare a coinvolgere altri elementi strutturali.

L'articolo inoltre mette in evidenza le principali cause di danno dei

capannoni partendo dalla perdita d'appoggio (Fig. 36).



La combinazione congiunta di scosse sussultorie e ondulatorie porta all'uscita dell'elemento dal supporto d'appoggio, sia per quanto riguarda gli appoggi delle travi sui pilastri, sia quelli degli elementi di sovraincasso o copertura sulle travi (Fig. 37). Per evitare tale fenomeno molti sono stati i casi in cui venivano applicati dei connettori, progettati sulla base della gerarchia delle resistenze, atti ad evitare il disassamento tra trave e pilastro, questi ultimi però a causa della loro rigidità tendono a diventare gli elementi più vulnerabili della struttura in quanto sono quelli che assorbono maggiormente la forza sismica, risultando di conseguenza inefficienti.



Figura 37 _ caduta degli elementi di copertura e delle travi per perdita di appoggio

La presenza di connettori però favorisce la formazione di un diaframma rigido di copertura, il quale ha il vantaggio di distribuire gli sforzi in maniera uniforme tra i vari componenti, evitando quindi la nascita di sollecitazioni non regolari nella struttura. Particolarmente efficienti, sono, ad esempio, le connessioni tra i tegoli in cemento, molto diffusi nei fabbricati industriali di metà secolo, in quanto il collegamento gli consente di assumere un comportamento scatolare e quindi di evitare fenomeni di spostamento differenziali molto pericolosi poiché possono condurre al collasso di parti della copertura.

Altro punto chiave nella definizione delle principali cause di danno sono gli elementi di tamponatura. Essi sono solitamente elementi prefabbricati in cemento armato e sono molto comuni nei capannoni industriali monopiano. La principale causa del danneggiamento è dovuta al martellamento tra i pannelli stessi con gli elementi strutturali. Anche in questo caso la corretta progettazione delle giunzioni è fondamentale in quanto un collegamento eccessivamente rigido, che va a modificare lo schema statico, porta a comportamenti diversi, durante l'azione sismica, rispetto a quelli previsti in fase di progetto (Fig. 38).



Figura 38 _ collasso dei pannelli di tamponatura di un capannone per rottura dei sistemi di ancoraggio

Infine, numerose problematiche sono state riscontrate a livello dei pilastri che sono progettati come incastrati alla base (seguendo lo schema statico a telaio), il che li rende staticamente delle mensole alla cui estremità sono presenti vincoli di semplice appoggio o carrello, lasciando quindi libere le rotazioni e gli spostamenti. Alla base è presente un bicchiere, posto al di sopra della fondazione, in cui viene alloggiato il pilastro prefabbricato. Il problema principale riscontrato, sotto effetto del terremoto, è a livello del plinto in quanto la formazione di una cerniera plastica conduce alla rotazione dell'elemento il quale perde la sua capacità portante (Fig. 39).

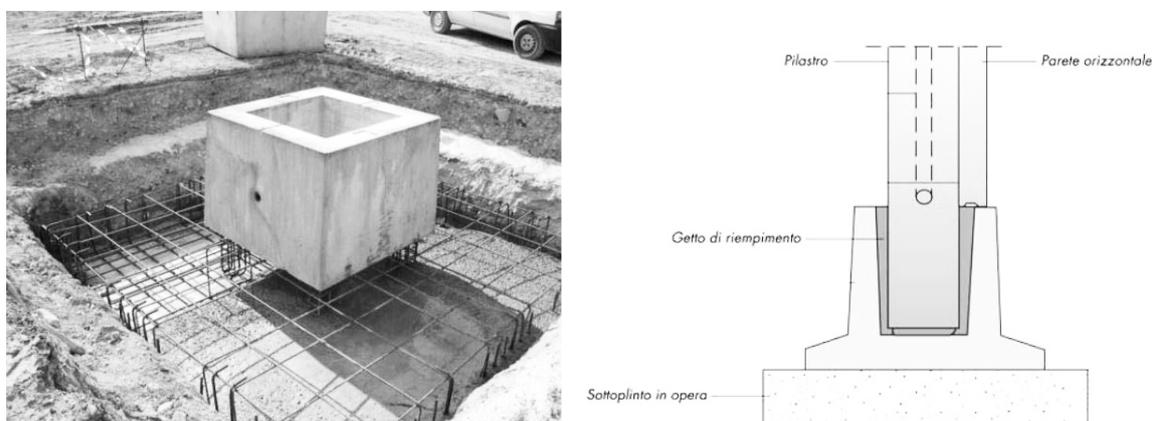


Figura 39 _ Bicchieri prefabbricati per alloggiamento del pilastro

L'analisi di tutti gli effetti causati dal sisma forniscono una panoramica dei mutamenti che hanno profondamente afflitto l'economia locale delle regioni colpite. Dal punto di vista economico è necessario porre una suddivisione tra le perdite dirette e indirette. Le prime nascono dall'effettiva distruzione delle risorse economiche come imprese, abitazioni private, intere strutture industriali e risorse pubbliche (strade, ponti, scuole, ospedali etc.); le seconde possono essere viste come il risultato di quelle dirette in quanto prendono in considerazione l'interruzione della produzione e, in generale, la riduzione della domanda di beni di consumo che ha come conseguenza una diminuzione del fatturato delle aziende, piccole o grandi che siano. Nello sviluppo della tesi verrà posto particolare accento ad entrambe le categorie di perdite in quanto determinanti nell'evidenziare la necessità dell'adeguamento sismico come tutela di un patrimonio fragile e purtroppo relazionato ancora a tecniche costruttive che premiano l'economia più che la sicurezza. La sintesi di un processo efficace sta nell'equilibrio tra la sfera economica, la tutela del patrimonio e la sicurezza degli occupanti al fine di evitare errori progettuali e, grazie all'intervento, di dare nuovo valore economico e funzionale al capannone industriale.

Il problema si aggrava ulteriormente dal momento che l'Italia è un territorio fortemente sismico, come attesta la mappa sviluppata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), che mostra gli eventi sismici nel territorio italiano tra il 1985 e il 2014 suddivisi sulla base della magnitudo registrata (Fig. 40).

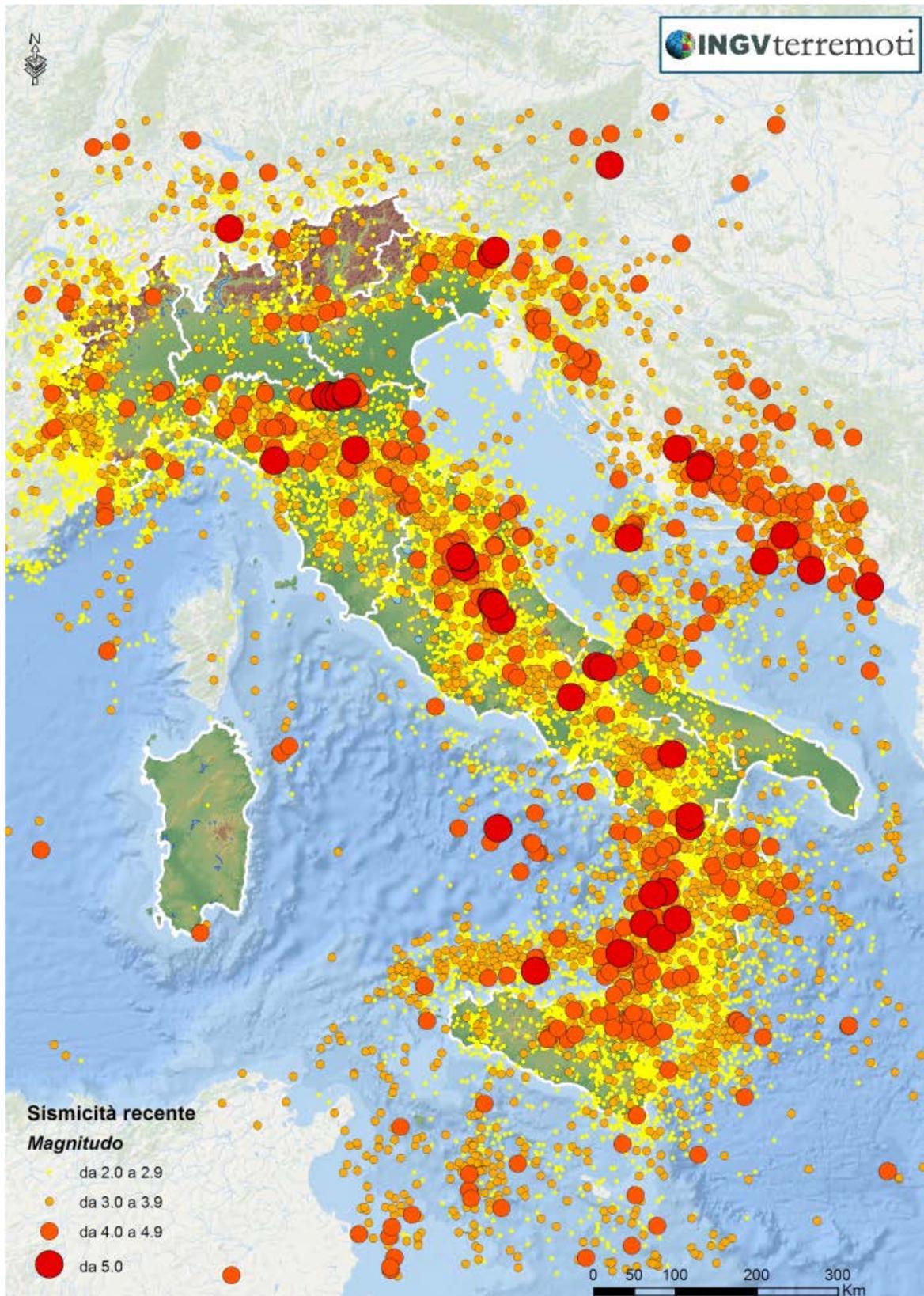


Figura 40 _ La sismicità tra il 1985 al 2014. Sono mostrati i terremoti di magnitudo ML>2.0 registrati dalla Rete Sismica Nazionale

Sulla base dei dati raccolti, negli ultimi 30 anni, sono stati registrati 190.000 eventi sismici in Italia e nei Paesi confinanti, di cui solo 45 hanno avuto una magnitudo Richter pari o superiore a 5.0. Tra i più forti ci sono sicuramente quelli avvenuti in Abruzzo nel 2009 di magnitudo 6.1 e quello in Emilia Romagna del 2012 di magnitudo 5.8.

La moltitudine di eventi sismici in Italia è dovuta all'attrito tra due placche continentali, quella africana e quella euroasiatica, che cambieranno l'assetto morfologico nell'arco dei prossimi mille anni. Un esempio è fornito dal caso di Amatrice che ha fatto registrare uno spostamento di circa venti centimetri verso ovest del versante occidentale degli Appennini.

Tra i dieci terremoti più forti negli ultimi cinquant'anni va ricordato quello nel Belice, del 1968, la cui scossa più forte, del X grado nella Scala Mercalli, portò alla distruzione totale di Gibellina Vecchia, Montevago e Salaparuta Vecchia. Le vittime di questo evento catastrofico furono centinaia, oggi a testimonianza di questa catastrofe vi è un monumento, il Cretto di Burri di eccezionale suggestione ed enfasi (Fig. 41).



Figura 41 _ Il Grande Cretto, Alberto Burri, 1984-2015

Dal punto di vista della prevenzione sismica gli eventi che maggiormente hanno influenzato lo sviluppo nel campo dello studio della pericolosità sismica sono stati sicuramente quello del Friuli e della zona del Belice, che hanno portato all'acquisizione di maggiore consapevolezza in materia di terremoti. Infatti in un patrimonio edilizio costituito da un numero sorprendente di edifici in muratura, per quanto riguarda il reparto abitativo, e capannoni industriali, con i problemi precedentemente citati, è necessario mettere in atto un'opera di prevenzione ed adeguamento al fine di evitare le catastrofi avvenute in passato.

2. IL QUADRO NORMATIVO

2.1 Conoscenza dei fenomeni, precarietà della classificazione

In Italia la classificazione sismica del territorio è frutto di un aggiornamento continuo che nel corso del '900 ha portato ad una conoscenza più o meno approfondita dei fenomeni e della pericolosità delle varie zone grazie alla raccolta dei dati relativi a terremoti, più o meno intensi, storicamente registrati nelle stesse. Insomma la classificazione è avvenuta aggiungendo zone su zone alla mappa di pericolosità sismica del territorio mano a mano che i fenomeni si verificavano.

Questo è avvenuto a causa della difficile prevedibilità degli eventi sismici, che solo recentemente sono diventati per lo meno contestualizzabili.

Per comprendere i fattori che hanno portato alla classificazione sismica odierna, che passa dall'ordinanza n. 3274 del 2003 e dal successivo DM del 14 gennaio 2008, è necessario effettuare una digressione storica su come la classificazione sia evoluta fino ai nostri giorni e su come gli impatti di una scarsa conoscenza dei fenomeni abbiano influito sulle successive legislazioni.

La prima classificazione delle aree a forte rischio sismico in Italia è avvenuta a seguito dei terremoti distruttivi dei primi anni del '900 (che interessano gran parte dei territori del sud della Calabria e la Sicilia nei pressi dello Stretto) e in particolare gli eventi sismici del 28 dicembre 1908, che hanno praticamente raso al suolo Reggio Calabria e Messina con scosse che raggiunsero magnitudo 7.1 e violenti maremoti. Il più violento terremoto degli ultimi 200 anni per intensità, danni registrati e numero di morti, stimato tra i 60 e gli 80mila.



Figura 42 _ Prima classificazione italiana - RD 542 del 1909

Grazie allo strumento del Regio Decreto, n.542 del 15/07/1909, vengono applicate le nuove norme tecniche ed igieniche, contenute nel R.D. n.193 del 18/04/1909, a tutti i comuni del circondario di Reggio Calabria e Messina interessati dal recente sisma (Fig. 42).

A partire dal 1927 i suddetti territori vengono divisi in due classi di pericolosità in relazione al loro grado di sismicità e alle loro caratteristiche geologiche (Fig. 43). La carta della pericolosità sismica italiana consisteva dunque nei territori colpiti dal terremoto del 1908 senza curarsi degli eventi precedenti (che interessavano la maggior parte della Nazione), con la semplice aggiunta dei fenomeni avvenuti di lì in poi. Nella maggior parte del territorio italiano, seppur fortemente sismico, non vi



Figura 43 _ Introduzione della seconda zona sismica - RD 431 del 1927

era pertanto l'obbligo di applicare criteri di progettazione antisismica alle costruzioni.

L'odierna normativa antisismica è basata essenzialmente sull'apparato legislativo capeggiato dalla legge n.64 del 02/02/1974, recante "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche". Questo documento sostituisce completamente o amplia la legislazione precedente.

Soltanto in questa data infatti viene per la prima volta approvato un sistema di leggi che normino la classificazione sismica a livello nazionale e forniscano un quadro di riferimento per la redazione delle successive norme tecniche.

Questa legge introduce per prima la possibilità di aggiornare il quadro normativo ogni volta che l'intervento sia giustificato dall'implementazione delle conoscenze scientifiche e dei fenomeni a riguardo, mentre invece la classificazione sismica, come per il passato, è basata sulla semplice aggiunta di nuovi territori colpiti da nuovi fenomeni, con tutte le precedenti problematiche legate alla non sufficiente copertura territoriale delle norme antisismiche.

Le successive esperienze sismiche del Friuli Venezia Giulia nel 1976 e dell'Irpinia nel 1980 hanno portato allo sviluppo di diversi studi scientifici sulla conoscenza e la prevedibilità dei fenomeni, sviluppati dal CNR all'interno del Progetto "Geodinamica".

Il gruppo di ricerca ha presentato al Governo una proposta di classificazione sismica che sarà successivamente tradotta in una serie di decreti del Ministero dei Lavori Pubblici approvati tra il 1980 ed il 1984 (Fig. 44) che hanno costituito la classificazione vigente fino all'emanazione dell'ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 e ne hanno gettato le basi. La vera svolta introdotta dal CNR negli strumenti di classificazione è un'analisi di tipo probabilistico della sismicità italiana basata sulla conoscenza storica dei fenomeni e l'introduzione di una terza zona di classificazione, la meno pericolosa, varata con il D.M. n.515 del 3 giugno 1981, non garantendo ancora però un soddisfacente livello di conoscenza.

Per quanto riguarda la definizione delle norme tecniche, le prime disposizioni erano già state emanate nel D.M. del 3 marzo 1975, successivamente integrate dal D.M. del 16 gennaio 1996.

In questo quadro normativo si inserisce inoltre il nuovo processo di distribuzione delle competenze tra Stato, regioni ed enti locali sviluppato con la "legge Bassanini" n.59 del 15 marzo 1997.

La competenza per l'individuazione delle zone sismiche, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse (finora responsabilità

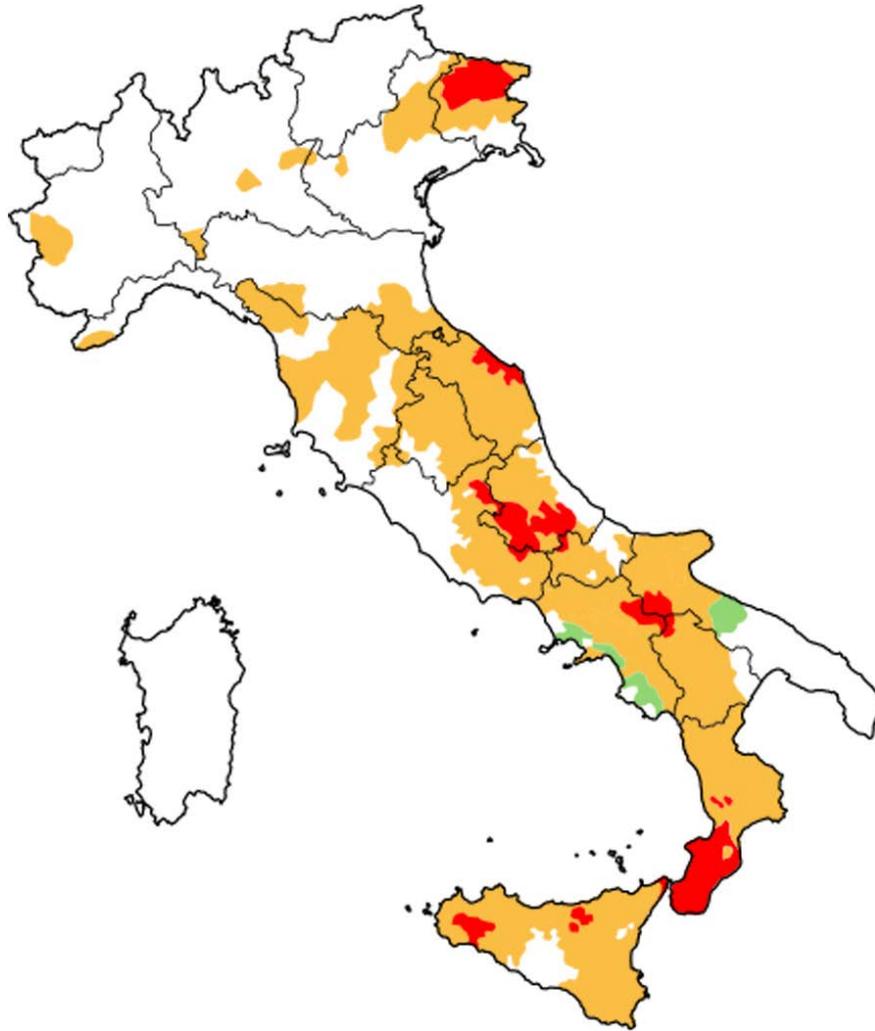


Figura 44 _ Introduzione della terza zona sismica - DM 35 del 1984

del Ministero dei Lavori Pubblici) viene trasferita alle Regioni con il decreto legislativo n. 112 del 1998 – art.94, comma 2, lett. a, spetta allo Stato invece la competenza nella definizione delle linee guida per la classificazione e la stesura delle norme tecniche (art.93, comma 1, lett. g del medesimo decreto). Tale responsabilità viene poi trasferita, con decreto legge n. 343 del 2001, dallo Stato al Dipartimento di Protezione Civile.

Dopo il terremoto distruttivo tra Molise e Puglia dell'ottobre 2002, che ha riacceso fortemente l'opinione pubblica nazionale sul tema, a causa delle ingenti perdite economiche e soprattutto umane subite, la Protezione Civile ha promulgato l'ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, con lo scopo di fornire una risposta rapida all'adeguamento del quadro

normativo tecnico e della classificazione sismica nazionale per cercare di migliorare il sempre peggiore stato del patrimonio edilizio che, soprattutto nell'ambito degli edifici strategici, presenta numerose lacune e dovrebbe invece garantire l'assoluta sicurezza e funzionalità soprattutto nei momenti di maggiore necessità (a San Giuliano di Puglia fu addirittura una scuola elementare a crollare, provocando la morte di 27 studenti e della loro insegnante).

Nella premessa all'Ordinanza è specificato che essa si tratta di una "prima e transitoria disciplina della materia" in attesa dell'emanazione di specifiche norme tecniche, già previste dall'articolo 83 del DPR n.380 del 2001 e ribadita nell'articolo 5 del decreto legge n.136 del 28 maggio 2004.

La vera svolta "storica" apportata dall'OPCM 3274 è la classificazione dell'intero territorio nazionale come sismico. Esso viene suddiviso in 4 zone di pericolosità sismica decrescente stabilite in base a 4 diverse accelerazioni massime del suolo con una probabilità del 10% che l'evento si verifichi in 50 anni. Le zone 1,2 e 3 (già previste dalla legge n.64 del 1974) corrispondono ad una alta media e bassa pericolosità, mentre nella zona 4, di nuova introduzione, viene lasciata alle Regioni la facoltà di imporre o meno i criteri di progettazione antisismica. Per la prima volta normativa tecnica e classificazione vengono strette da un forte legame e nelle varie zone vengono imposti i criteri antisismici con vari livelli di severità in base alla pericolosità.

Oltre ai principi per la zonizzazione sismica e la redazione e l'aggiornamento delle liste dei territori classificati, con l'ordinanza sono state varate per la prima volta norme tecniche riguardanti la totalità delle tipologie del patrimonio edilizio ed infrastrutturale, per interventi di nuova costruzione e non, con imposizioni di carattere non retroattivo, richiamando alle precedenti norme per interventi in corso o con pro-

getti già approvati alla data di emanazione dell'ordinanza. Viene inoltre previsto l'obbligo di verifica ai sensi delle norme tecniche descritte negli allegati, a carico dei proprietari, per gli edifici strategici e le infrastrutture, con priorità specifiche legate alla pericolosità sismica del sito in particolare.

È inoltre importante segnalare le profonde affinità della nuova normativa tecnica con il sistema legislativo dell'Eurocodice 8, allora in corso di approvazione nelle sedi UE, che abbandona il carattere convenzionale e puramente prescrittivo delle norme precedenti in favore di una valutazione attenta e accurata dei casi specifici.

Avendo un carattere di tipo transitorio, come precedentemente accennato, l'OPCM n.3274 (Fig. 45) introduce alla redazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni, approvate con il D.M. del 14 settembre 2005 con lo scopo di riunire in un unico testo il complesso sistema delle tecniche per la progettazione degli interventi edilizi ed infrastrutturali, omogeneizzandole e razionalizzandole. Il decreto entra definitivamente in vigore il 23 ottobre 2005 e prevede un periodo transitorio di 18 mesi (23 aprile 2007) durante il quale vengono svolte le procedure di sperimentazione sulla conformità della norma e viene data la possibilità di avvalersi ancora delle norme precedenti (legge n.1086 del 1971 e n.64 del 1974).

Va poi ulteriormente specificato che l'entrata in vigore del D.M. del 14 settembre 2005 ha portato alla piena operatività della classificazione sismica comportando le restrizioni e gli obblighi precedentemente citati.

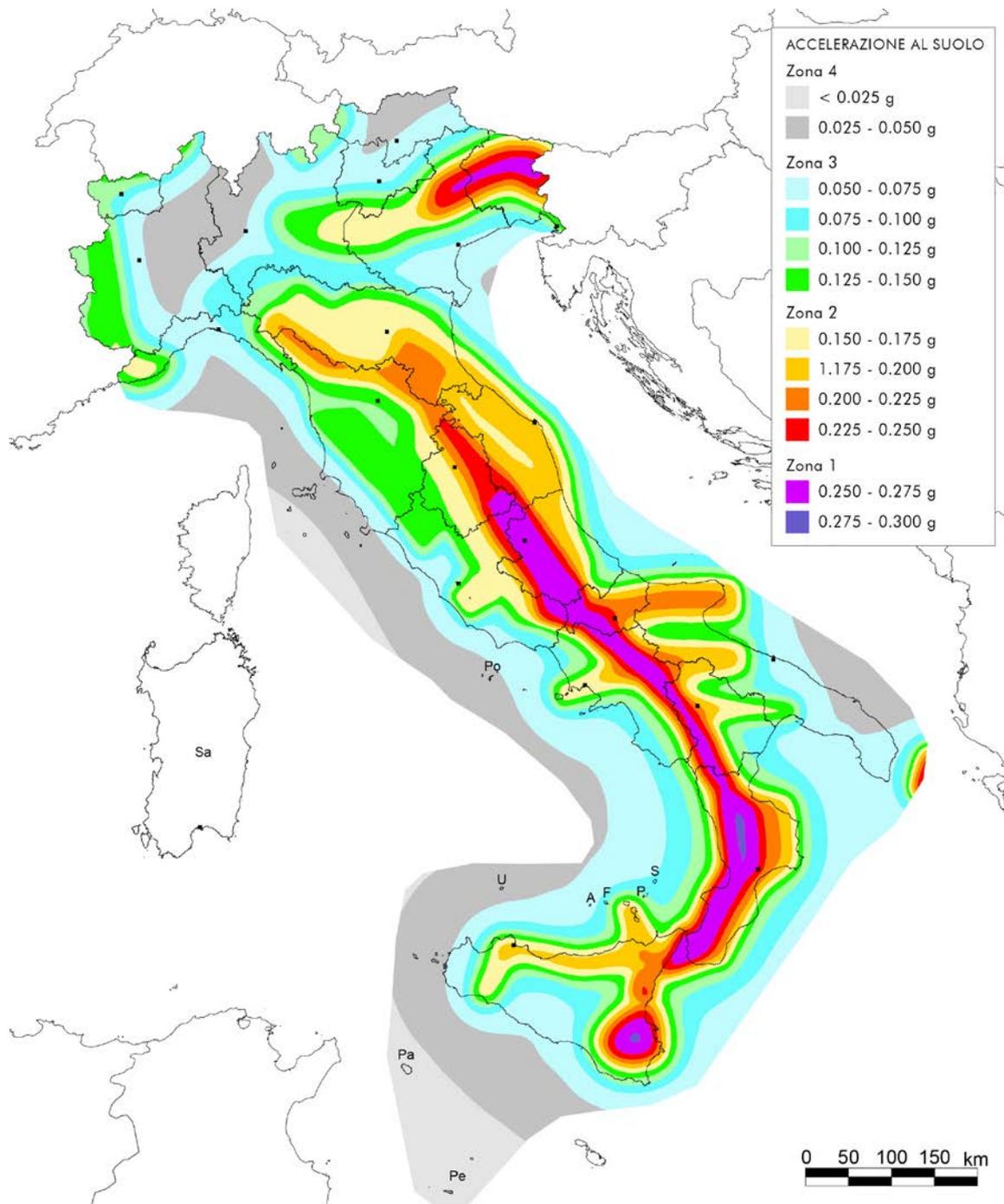


Figura 45 _ Mappa della pericolosità sismica nazionale - OPCM 3519 del 2006

Il primo luglio 2009, a causa del terremoto che colpì duramente l'Aquila ed i paesi limitrofi, entra rapidamente in vigore il decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 14 gennaio 2008, anche chiamato NTC 2008 (Norme Tecniche delle Costruzioni 2008), accompagnato dalla Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n.617 del 2 febbraio 2009 recante indicazioni per l'applicazione delle NTC 2008.

Queste norme, in vigore fino all'approvazione delle nuove norme 2018, vanno a colmare le mancanze del Testo Unico del 2005, allineandosi ai vari Eurocodice e ponendosi come una delle più complete al mondo. Tali nuove norme, che confermano il carattere prestazionale sviluppato nel T.U. 2005, hanno implementato fortemente le tecniche di verifica ed adeguamento sismico introducendo il concetto di "pericolosità sismica locale", che amplia quello di "pericolosità sismica di base" permettendo di valutare (sempre in maniera probabilistica) le amplificazioni locali e la possibilità di cedimenti del terreno in base alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e geofisiche di un sito specifico. Il prodotto più importante di questi studi è la mappa di microzonazione sismica che prevede una classificazione, a piccola scala, delle zone a pericolosità sismica locale omogenea.

L'ultimo aggiornamento in materia di normativa tecnica arriva dal recentissimo D.M. del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018 recante "aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (NTC 2018). Esso nasce dai recenti avvenimenti sismici che hanno coinvolto l'Emilia Romagna nel 2012 e il Centro Italia nel 2016, aumentando esponenzialmente le perplessità soprattutto sul patrimonio industriale italiano, che sempre di più risente di una progettazione quasi mai consona alla zona sismica di appartenenza.

Molte infatti sono le novità apportate dal Decreto proprio in que-

sta direzione, ossia nel miglioramento delle tecniche di analisi dei casi specifici, soprattutto per quanto riguarda le strutture non dissipative o prefabbricate, prediligendo un approccio al miglioramento piuttosto che all'adeguamento. Pur lasciando invariato l'approccio di tipo specifico, non obbligando i professionisti a rivedere totalmente i meccanismi della progettazione (come era accaduto con l'introduzione delle NTC 2008), la nuova normativa si pone l'obiettivo di ampliare il quadro delle tecniche e delle analisi in modo da ridurre ulteriormente i margini di incertezza propri di questo campo applicativo.

2.2. Adeguamento sismico dei capannoni monopiano

Il capitolo 8 delle Norme tecniche per le costruzioni prende in esame gli interventi sul patrimonio esistente e, in particolar modo, l'adeguamento sismico che richiede necessariamente la valutazione della sicurezza della costruzione in esame.

Con lo sviluppo delle conoscenze acquisite nel corso del tempo, sono state emanate nuove leggi che considerano l'adeguamento per azioni inferiori rispetto a quelle previste dalle norme passate e questo rende la maggior parte dei fabbricati esistenti inadeguati in termini di risposta all'azione sismica.

Al fine di descrivere in maniera ottimale un edificio esistente, la norma pone enfasi sul rilievo geometrico-strutturale, la natura dei materiali utilizzati e la determinazione delle azioni di progetto. Per quanto riguarda il rilievo è necessario svolgere numerosi sopralluoghi in-situ al fine di accertare la veridicità delle tavole di progetto e segnalare le possibili variazioni subite dall'edificio nel corso del tempo. La fase più delicata del rilievo avviene in assenza di tavole di progetto in quanto saranno necessarie indagini più approfondite come ad esempio la messa a nudo dell'elemento strutturale.

Per quanto concerne la caratterizzazione meccanica dei materiali, oltre alle indicazioni riportate negli elaborati grafici, sarà necessario svolgere indagini sperimentali. Le resistenze meccaniche saranno quindi definite sulla base di prove in-situ utilizzando fattori di confidenza sulla base del grado di conoscenza della struttura ottenuto.

Infine, per la valutazione delle azioni di progetto e relativa com-

binazione, si farà riferimento a quelle stabilite per gli edifici costruiti ex-novo, con una riduzione del periodo di ritorno delle azione sismiche al fine di garantire la condizione di sicurezza nella definizione dello spettro di risposta.

Mediante un accurato rilievo strutturale, viene definita l'entità dei carichi permanenti, aggiustati con appositi coefficienti di sicurezza γ_g che tengono conto di un margine di incertezza nella definizione del loro contributo.

Sulla base del paragrafo 8.7.5 delle Norme Tecniche, il progetto di adeguamento deve considerare:

- Verifica della struttura prima dell'intervento con identificazione delle carenze e del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo stato limite ultimo;
- Scelta motivata del tipo di intervento;
- Scelta delle tecniche e dei materiali;
- Dimensionamento preliminare dei rinforzi e degli eventuali elementi strutturali aggiuntivi;
- Analisi strutturale considerando le caratteristiche post-intervento.

La definizione di tali punti è stata rielaborata dallo sforzo congiunto della Protezione Civile, ReLuis, il Consiglio Nazionale degli Ingegneri e Assobeton che hanno redatto il documento dal titolo "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici".

Il documento, inoltre, analizza due diversi tipi di meccanismi responsabili del collasso strutturale, quelli di tipo "duttile" e quelli di tipo "fragile" e, riprendendone la definizione: "i primi possono essere tenuti sotto controllo assicurandosi che la domanda non superi mai la capacità

massima di deformazione della struttura, i secondi si verificano controllando che la domanda non superi, in nessun caso, la capacità in termini di resistenza”.

Dal momento che è necessario verificare la struttura rispetto ai due diversi tipi di meccanismi si procede solitamente all'utilizzo di metodi di calcolo non lineare, atti a valutare sia la resistenza che la duttilità della struttura.

Facendo riferimento al documento, vengono riportati, inoltre, i criteri generali di intervento per l'adeguamento sismico dei capannoni industriali:

- Incremento della resistenza degli elementi strutturali;
- Incremento della duttilità degli elementi strutturali;
- Riduzione dell'azione sismica sulla struttura.

Come in precedenza analizzato le parti più vulnerabili della struttura da tenere sotto controllo sono le connessioni tra le membrature portanti e il collegamento tra elementi non strutturali (scaffalature e tamponature). A tal fine esistono due principali strategie di adeguamento che consistono nel rinforzo dei singoli elementi e delle connessioni e la modifica controllata dello schema statico di base con l'aggiunta di nuovi elementi come controventi, il che porta dietro di sé una serie di accortezze che il progettista deve avere in fase esecutiva. Infatti, cambiando profondamente lo schema statico, devono essere riverificati tutti gli elementi strutturali ed i collegamenti, in quanto vengono considerati nuovi tipi di sollecitazioni.

Infine particolare attenzione va dedicata alle fondazioni per le quali “deve essere verificato il criterio di gerarchia delle resistenze rispetto agli sforzi di flessione trasmessi dalla struttura, come ad esempio nel caso di rinforzo dei singoli pilastri”.

Analisi degli interventi di adeguamento sismico per i capannoni industriali

Dopo una breve descrizione delle azioni che possono essere messe in atto a seconda delle carenze strutturali riscontrate, vengono ora analizzati in dettaglio, con disegni, illustrazioni e descrizioni, le schede tecniche associate ai diversi tipi di interventi di adeguamento. È interessante notare come ad ognuno di essi siano associati dei vantaggi e degli svantaggi, determinanti nella scelta dell'opzione di intervento più vantaggiosa in funzione delle effettive esigenze riscontrate dal progettista in situ.

Lo scopo, contrariamente a quello proposto dal documento, è quello di mettere in evidenza le lacune che hanno portato a ripensare i criteri di adeguamento tradizionali, in favore di sistemi di intervento innovativi. Questa tematica, che per spessore e importanza verrà approfondita in un capitolo a parte, verrà mostrata in seguito nei suoi caratteri generali al fine di comprendere l'entità di benefici, e non, legati a particolari tipi di sistemi.

L'elaborazione di disegni e descrizioni è desunta tal quale dal documento "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", sviluppato da Protezione Civile, CNI, RELUIS e Assobeton. (da p. 88 a p. 189).

1- Collegamento trave-pilastro mediante perno in acciaio

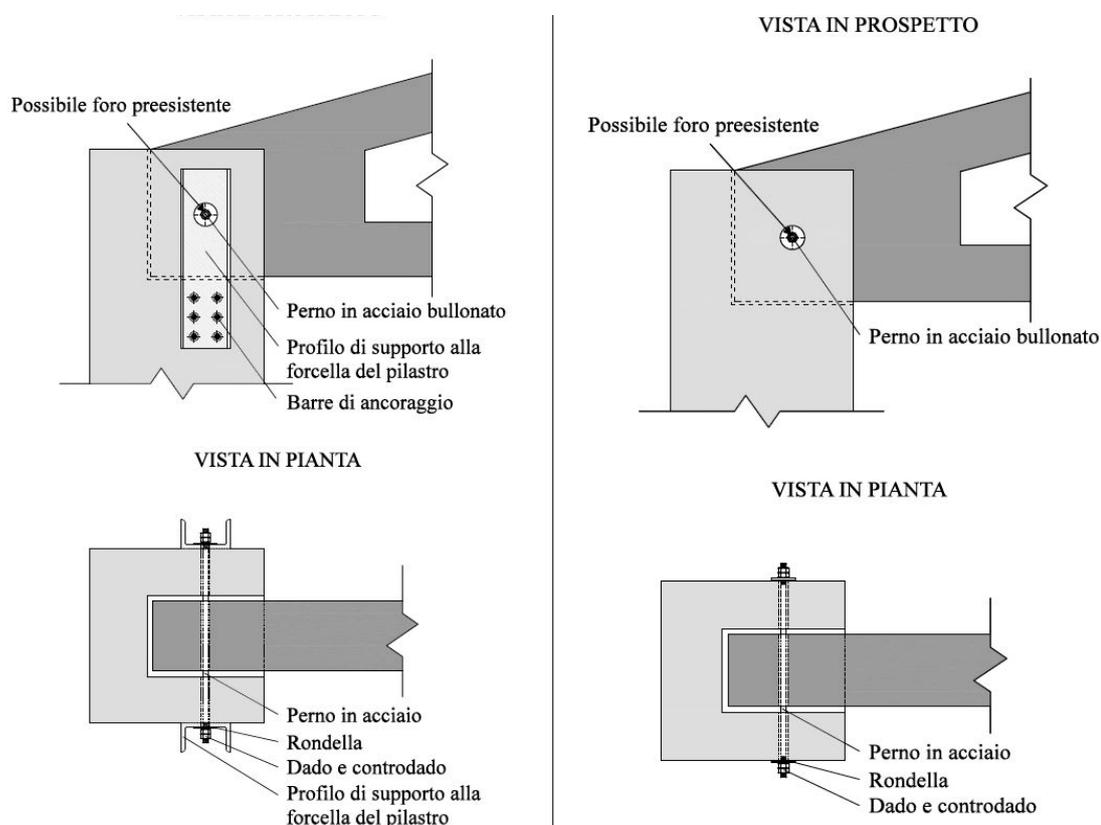


Figura 46 _ Collegamento trave-pilastro mediante perno in acciaio

Obbiettivi:

- Miglioramento del vincolo tra pilastro e trave, impedendo la caduta della trave dal pilastro;
- Mantenimento dello schema statico preesistente.

Casi di applicazione:

- La trave è semplicemente appoggiata alla testa del pilastro, senza alcun dispositivo meccanico che ne impedisca la caduta;
- Qualora fosse già presente un perno, esso non è in grado di trasferire le azioni derivanti dal sisma di progetto.

Vantaggi:

- Semplicità esecutiva;
- Velocità di messa in opera;
- Mantenimento dello schema statico originale;
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi:

- Deve essere valutata ed adeguata la resistenza della forcella entro la quale è inserita la trave

2- Collegamento trave-pilastro mediante perni e piastre in acciaio

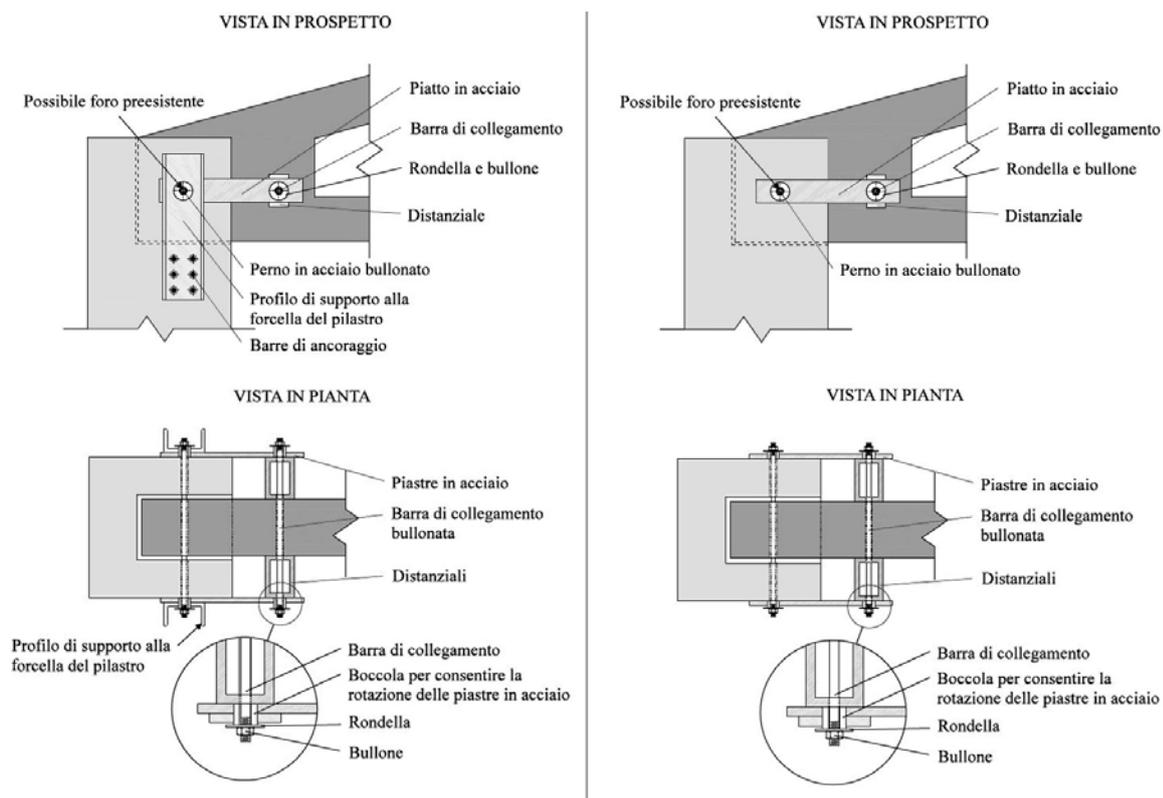


Figura 47 _ Collegamento trave-pilastro mediante perni e piastre in acciaio

Valgono le stesse considerazioni del collegamento mediante perno, l'unica aggiunta è presente nei casi di applicazione in quanto questa tecnica viene applicata anche qualora la testa della trave risultasse danneggiata e non consentisse la connessione nella zona di intersezione

trave-pilastro.

3- Collegamento trave-pilastro mediante cavetti in acciaio

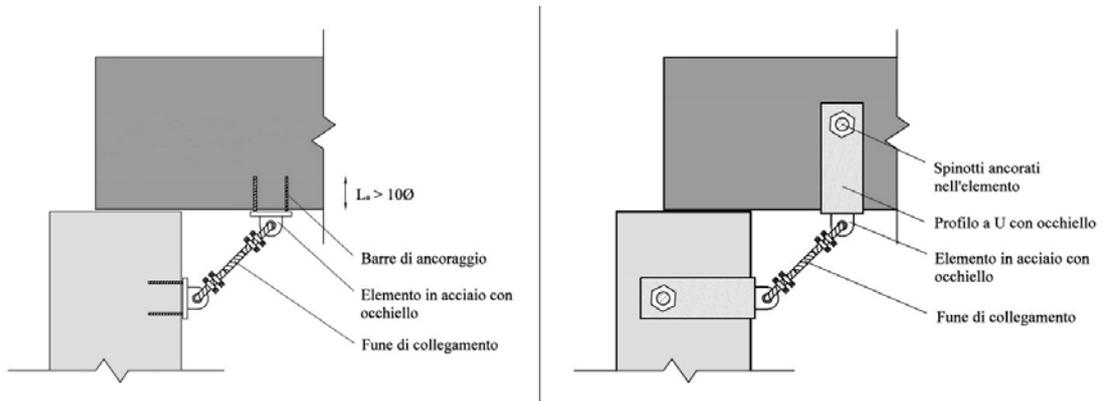


Figura 48 _ Collegamento trave-pilastro mediante cavetti in acciaio

Anche in questo caso gli obiettivi e i vantaggi dell'intervento sono i medesimi della prima soluzione, a differire infatti sono i casi di applicazione e gli svantaggi legati a questa soluzione che, come vedremo, sono numerosi.

Casi di applicazione:

- La trave è semplicemente appoggiata alla testa del pilastro, senza alcun dispositivo meccanico che ne impedisca la caduta;
- Qualora fosse già presenta una connessione, essa non è in grado di trasferire le azioni derivanti dal sisma di progetto.

Svantaggi:

- I cavetti di acciaio rappresentano un vincolo unilatero, per cui la forza dovuta all'intera massa della trave viene applicata alternativamente solo ad uno o all'altro pilastro sovrasollecitandolo;
- Possono esserci difficoltà di accesso al nodo. L'operatività va valutata con attenzione. Prima dell'installazione, va eseguito un accu-

rato rilievo degli elementi;

- Bassa efficacia nel contenimento degli spostamenti trasversali della trave;
- Necessità di combinazione con interventi mirati al contrasto delle rotazioni torsionali della trave;
- La sollecitazione nei cavetti di acciaio può avere carattere impulsivo il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.

4- Inserimento di connettori di acciaio bullonati a trave e pilastro con eventuale confinamento

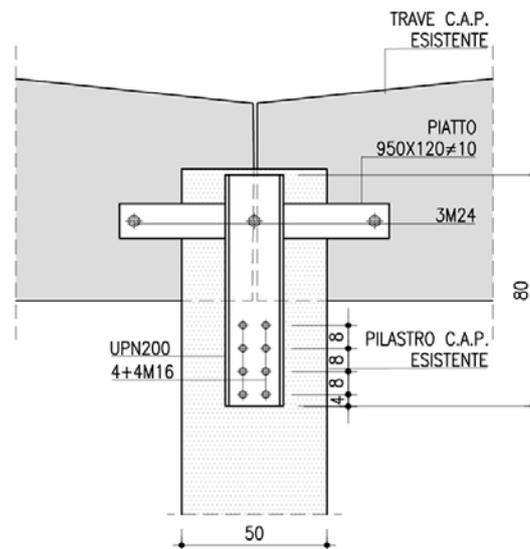


Figura 49 _ Inserimento di connettori in acciaio bullonati

Obbiettivi:

- L'intervento mira a collegare tra loro travi e pilastri evitando lo scalzamento e quindi la perdita di appoggio delle strutture orizzontali

Casi di applicazione:

- La trave è semplicemente appoggiata alla testa del pilastro, senza alcun dispositivo meccanico che ne impedisca la caduta;

- Qualora fosse già presente un perno, esso non è in grado di trasferire le azioni derivanti dal sisma di progetto;

Vantaggi:

- La connessione proposta mira a garantire un appoggio bilatero tra le estremità delle travi e la sommità dei pilastri;
- La connessione contrasta anche il fenomeno di rocking della trave rispetto alla superficie superiore del pilastro. Eventuali asolature verticali sui profili UPN evitano l'insorgere di coazioni in presenza di rotazioni alle estremità, seppure consentendo parzialmente moti di rocking;
- L'assenza di giochi nella direzione orizzontale consente di evitare fenomeni di martellamento delle testate;

Svantaggi:

- La dilatazione termica assiale per travi di lunghezza rilevante può comportare variazioni lungo l'asse di oltre 10 mm e pertanto ci si attende uno schiacciamento localizzato in corrispondenza della barra passante;
- Le estremità delle travi presenteranno inevitabilmente un piccolo momento il cui valore massimo sarà fissato dalla capacità portante delle basse soggette in uno schema di doppio incastro a flessione e taglio all'interno degli scatolari o della capacità portante degli UPN a flessione e taglio;

5- Collegamento tra pilastro e pilastro mediante profili metallici in asse al pilastro

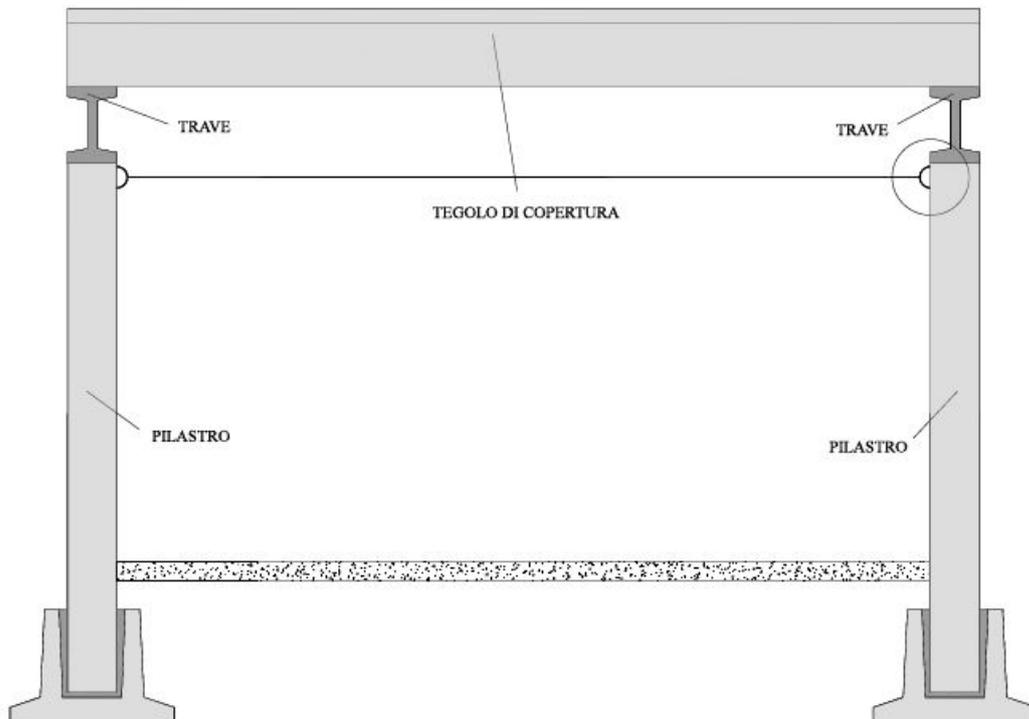


Figura 50 _ collegamento tra pilastro e pilastro mediante profili metallici in asse

Obbiettivi:

- Vincolo agli spostamenti orizzontali fra le teste del pilastro (a trazione);
- Impedimento di spostamenti in controfase fra i pilastri, che potrebbero comportare la perdita di appoggio degli elementi posti superiormente.

Casi di applicazione:

- Perpendicolarmente all'orditura delle travi non è presente un collegamento efficace fra i pilastri.

Vantaggi:

- Mantenimento dello schema statico originale
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento

Svantaggi:

- Tale intervento non elimina la perdita di appoggio dovuta allo scorrimento della trave rispetto al pilastro quando soggetta alla forza di inerzia legata alla sua massa né il suo ribaltamento. Per questo motivo è opportuno accompagnare questo intervento ad un collegamento meccanico tra elementi verticali e orizzontali;
- L'intervento prevede l'utilizzo di profili in acciaio per coprire luci importanti e, quindi, si prospetta come un intervento costoso;
- L'intervento prevede l'utilizzo di vincoli monolateri, è quindi da limitare solo ed esclusivamente ai casi in cui l'avvicinamento tra i due elementi strutturali è già inibito da altri dispositivi o dalla geometria stessa degli elementi strutturali.

6- Collegamento tra pilastro e pilastro mediante piatti metallici alle estremità dei pilastri

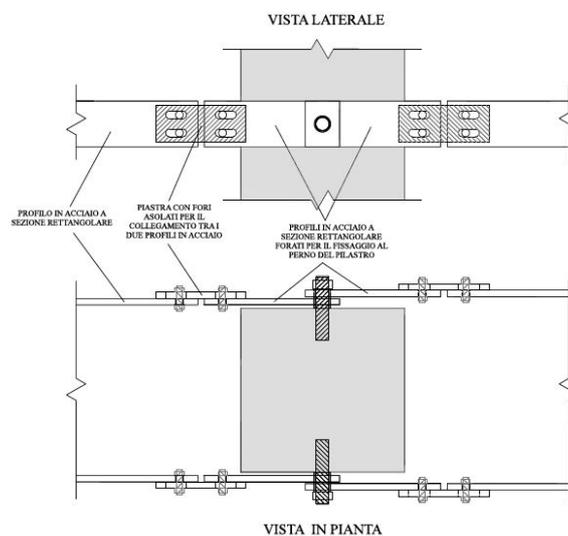


Figura 51 _ collegamento tra pilastro e pilastro mediante piatti metallici alle estremità

Anche se a variare è il tipo di connessione, valgono le stesse considerazioni fatte per i collegamenti tramite profili metallici.

7- Collegamento trave-tegolo mediante cavetti in acciaio ancorati sui lati delle gambe dei tegoli

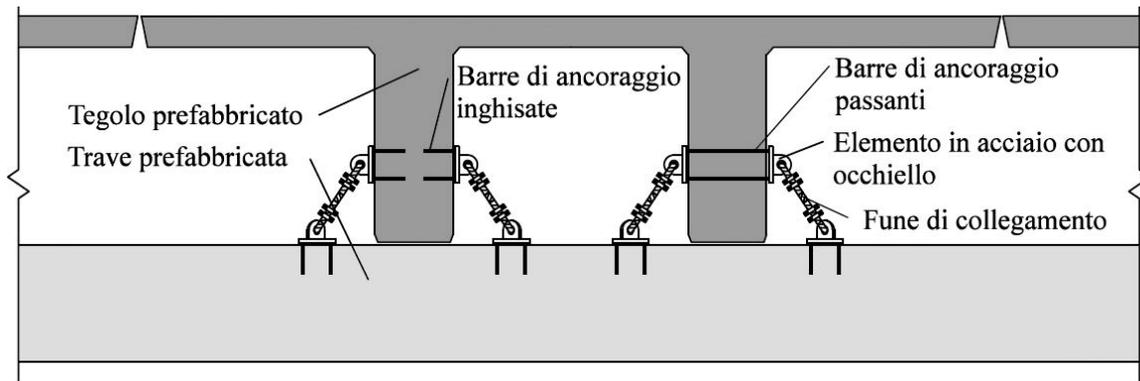


Figura 52 _ collegamento trave-tegolo mediante cavetti in acciaio

Obiettivi:

- Miglioramento del vincolo tra trave e tegolo, evitando la caduta del tegolo dalla trave;
- Mantenimento dello schema statico preesistente.

Casi di applicazione:

- Il tegolo è semplicemente appoggiato alla trave, senza alcun dispositivo meccanico che ne impedisca la caduta;
- Qualora fosse già presente una connessione, essa non è in grado di trasferire le azioni derivanti dal sisma di progetto.

Vantaggi:

- Semplicità esecutiva;
- Velocità di messa in opera;
- Mantenimento dello schema statico originale;

- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi:

- Le funi rappresentano un vincolo unilatero, per cui la forza dovuta all'intera massa del tegolo viene applicata alternativamente solo ad una o all'altra trave, sovrasollecitando, rispetto ad una condizione a vincoli bilateri, la trave e i pilastri ad essa collegati;
- Possono esserci difficoltà di accesso al nodo. L'operatività va valutata con attenzione. Prima dell'installazione, va eseguito un accurato rilievo degli elementi;
- Bisogna assicurare un opportuno copriferro rispetto al lato della trave, onde evitare la rottura del calcestruzzo;
- La sollecitazione nelle funi può avere carattere impulsivo il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.

8- Realizzazione di controventi di falda con funi d'acciaio

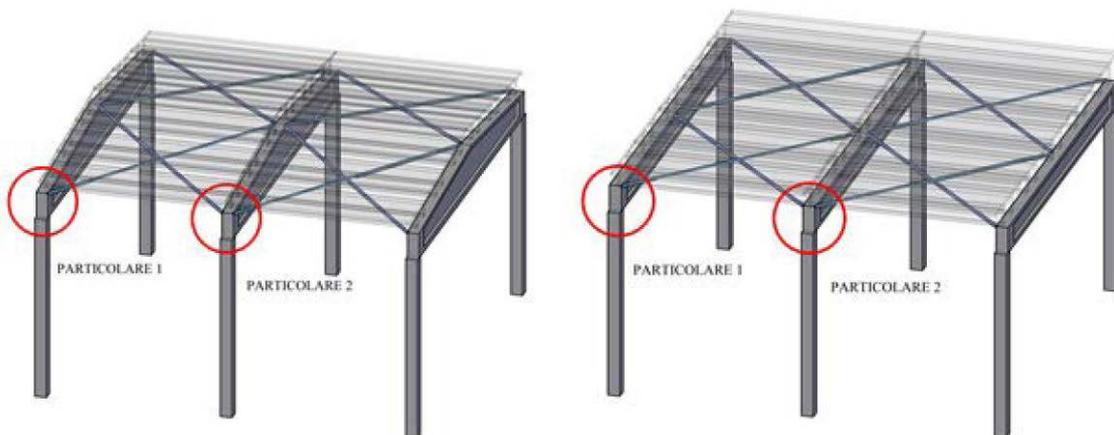


Figura 53 _ Controventi di falda con funi in acciaio

Obiettivi:

- Vincolo agli spostamenti orizzontali fra le travi di copertura (a trazione). Il vincolo è assicurato sia in direzione parallela sia in direzione perpendicolare all'orditura delle travi;

- Mantenimento dello schema statico preesistente.

Casi di applicazione:

- Non è presente un collegamento bilaterale efficace fra le travi di copertura.

Vantaggi:

- Mantenimento dello schema statico originale;
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi:

- Intervento di non rapida esecuzione;
- E' necessaria la presenza di elementi in grado di reagire a compressione in direzione perpendicolare all'orditura delle travi perché il sistema possa essere considerato equilibrato.

9- Collegamento di pannelli orizzontali mediante cavetti in acciaio

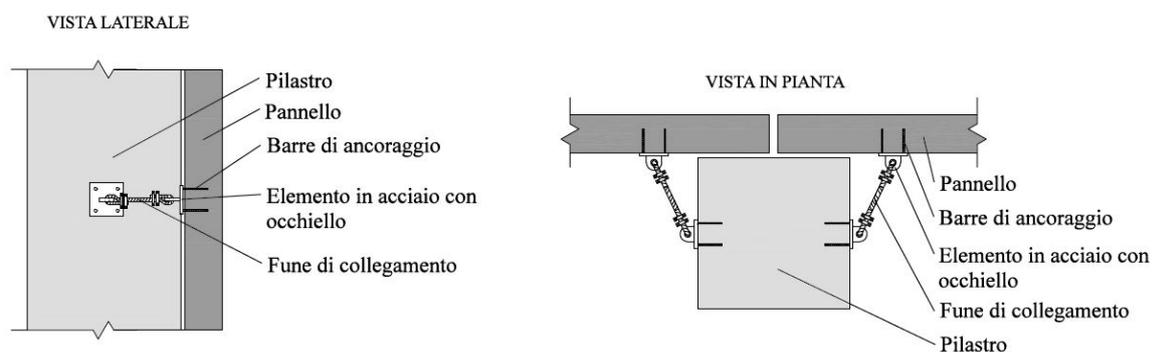


Figura 54 _ Collegamento di pannelli orizzontali mediante cavetti in acciaio

Obiettivi:

- Evitare il ribaltamento e la caduta dei pannelli di tamponamento.
- Il sistema funziona in parallelo al sistema di ritenuta esistente;
- Capacità di sopportare le deformazioni della struttura portante

senza irrigidire il sistema;

- Mantenimento dello schema statico preesistente.

Casi di applicazione:

- Intervento da eseguire nel caso in cui il supporto dei pannelli risulti integro. In caso contrario, il pannello deve essere rimosso.

Vantaggi:

- Semplicità esecutiva;

- Velocità di messa in opera;

- Mantenimento dello schema statico originale;

- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi:

- Può essere effettuato solo se il supporto del pannello risulta integro. L'integrità del supporto può essere verificata controllando che le distanze verticali tra pannelli si siano mantenute invariate;

- Si deve prestare attenzione al posizionamento delle funi, per non introdurre un vincolo agli spostamenti nel piano del pannello;

- Può causare martellamenti fra il pannello e gli altri pannelli, e fra il pannello e le strutture retrostanti;

- La sollecitazione nei cavetti in acciaio può avere carattere impulsivo il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.

10 - Inserimento di cavi anti-caduta per pannelli verticali

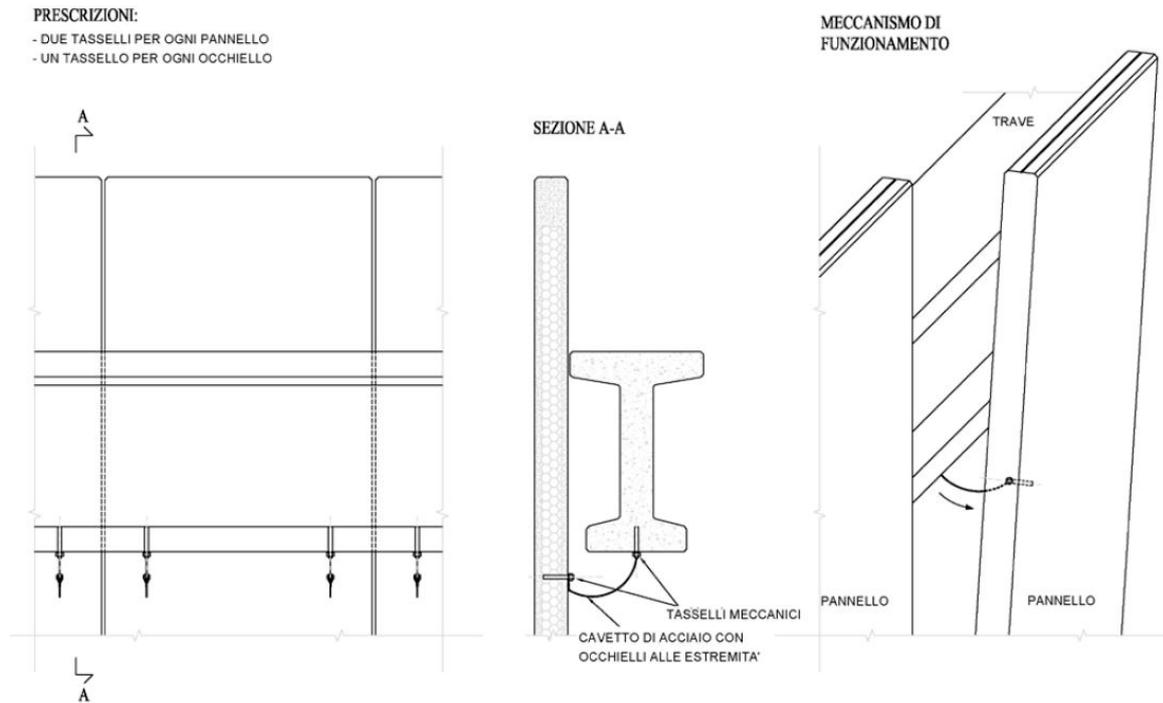


Figura 55 _ Cavi anti-caduta per pannelli verticali

Obiettivi:

- L'intervento crea un collegamento di sicurezza nel caso in cui il collegamento esistente venga meno, si evita così l'eventuale caduta del pannello di tamponamento.

Casi di applicazione:

- Il collegamento del pannello alla struttura è danneggiato o collassato;
- Il collegamento del pannello alla struttura non è adeguato.

Vantaggi:

- Semplicità esecutiva;
- Velocità di messa in opera;
- Mantenimento dello schema statico originale;
- Utilizzabile come soluzione di pronto intervento.

Svantaggi:

- È necessario prestare attenzione alla disposizione dei cavi anti-caduta per evitare di forare la sezione trasversale del pannello in corrispondenza dello strato di materiale isolante (generalmente polistirolo);
- Introduce momenti torcenti impulsivi sulle travi; vanno attentamente valutati gli effetti sui vincoli torsionali di estremità e sulle prestazioni in termini di stabilità flessotorsionale;
- Può causare martellamenti fra il pannello e gli altri pannelli, e fra il pannello e le strutture retrostanti;
- La sollecitazione nei cavi può avere carattere impulsivo il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.

11 - Inserimento di due cavi anti-caduta per pannelli d'angolo

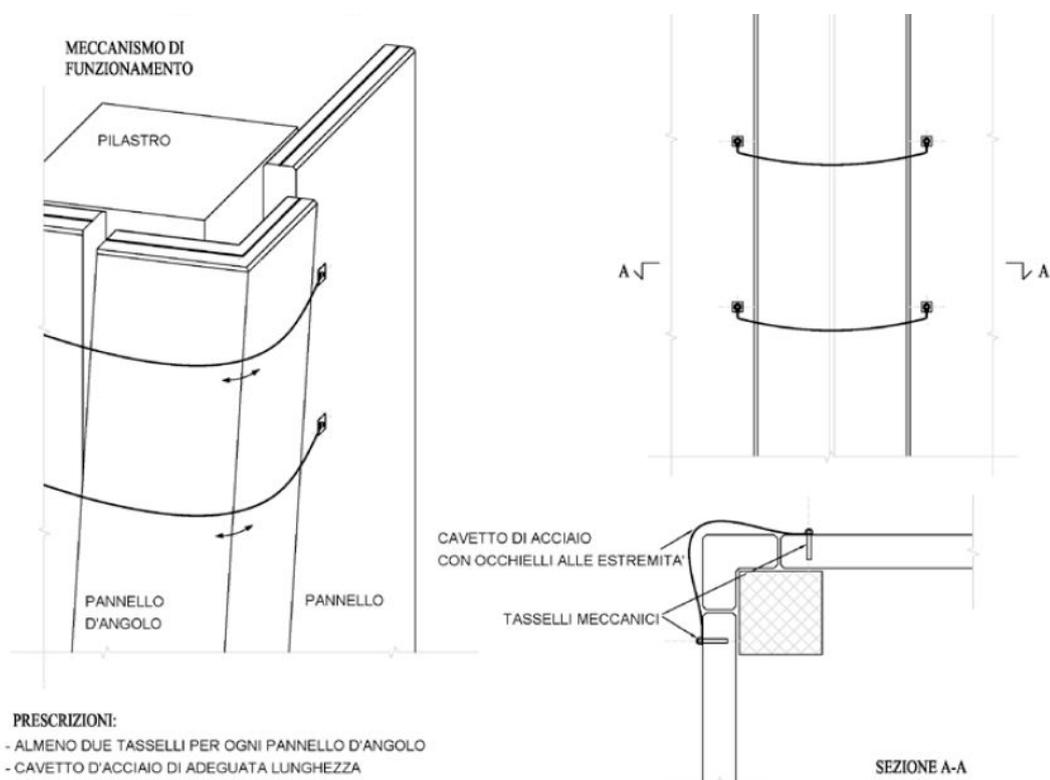


Figura 56 _ Cavi anti-caduta per pannelli d'angolo

Obiettivi:

- L'intervento crea un collegamento di sicurezza nel caso in cui il collegamento esistente venga meno, si evita così l'eventuale caduta del pannello di tamponamento angolare. Il pannello viene fissato in sommità ai lati del pilastro adiacente, se questo è accessibile dall'interno, altrimenti il fissaggio sarà assicurato dai due pannelli contigui passando il cavo all'esterno.

Casi di applicazione:

- Il collegamento del pannello alla struttura è danneggiato o collassato;
- Il collegamento del pannello alla struttura non è adeguato.

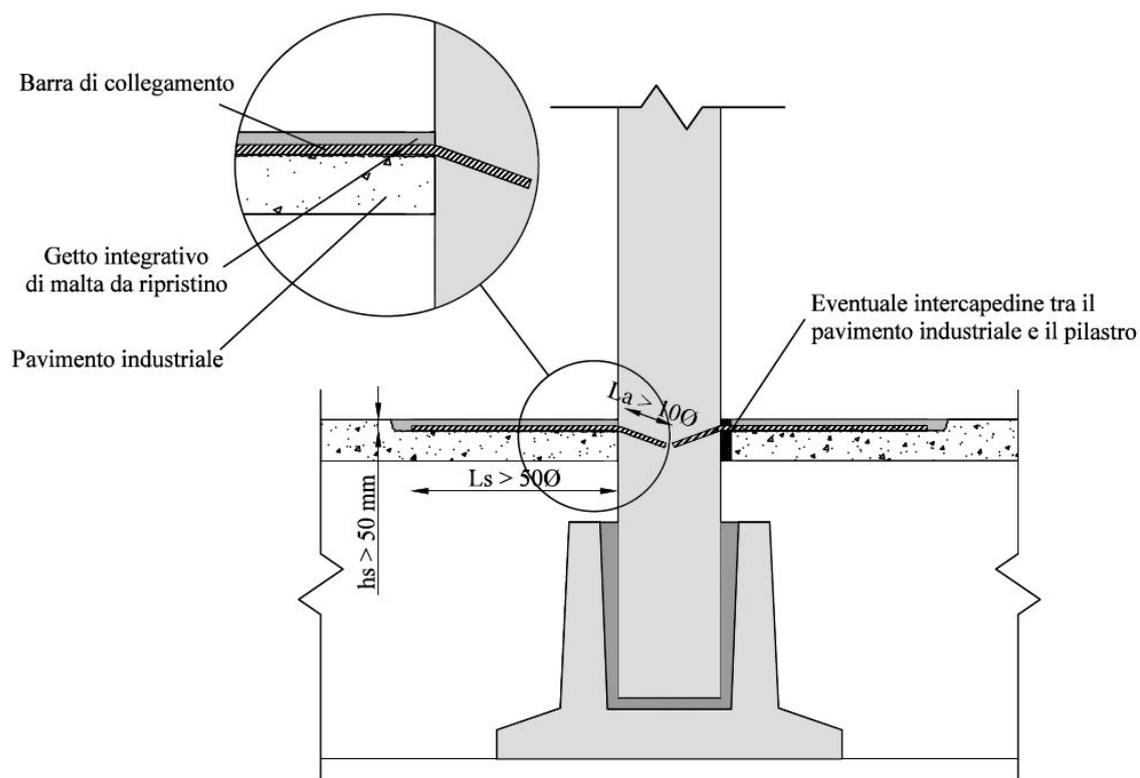
Vantaggi:

Sono gli stessi del caso precedente

Svantaggi:

- Può causare martellamenti fra il pannello e gli altri pannelli, e fra il pannello e le strutture retrostanti;
- La sollecitazione nelle funi può avere carattere impulsivo il cui valore, molto alto, è di complessa determinazione.

12 - Collegamento tra pilastro e pavimento industriale



Obiettivi:

- Miglioramento vincolo a terra del pilastro: l'intervento permette di ovviare alla cedevolezza rotazionale tipica del plinto a bicchiere isolato fornendo un grado di vincolo aggiuntivo;
- Collegamento orizzontale tra i pilastri a livello di fondazione.

Casi di applicazione:

- Rotazione rigida del pilastro senza evidente danneggiamento alla base per formazione di cerniera plastica;
- La porzione di pavimentazione a contatto con il pilastro è gravemente danneggiata;
- La pavimentazione non è in battuta contro il pilastro per la presenza di un giunto;
- Inadeguatezza della fondazione e/o sensibile ruolo degli sposta-

menti relativi del suolo tra le basi delle colonne.

Vantaggi:

- Semplicità esecutiva;
- Utilizzabile per la sistemazione definitiva della struttura.

Svantaggi:

- Discreta invasività;
- Non realizzabile in presenza di pavimenti con finiture di pregio;
- Bisogna verificare che nella sottopavimentazione sia presente il misto stabilizzato compattato, il quale garantisca un confinamento passivo al pilastro ed eviti concentrazioni di sollecitazioni di taglio e momento nella zona della sottopavimentazione e in fondazione.

13 - Consolidamento del terreno circostante la fondazione mediante iniezioni con miscele cementizie a bassa pressione

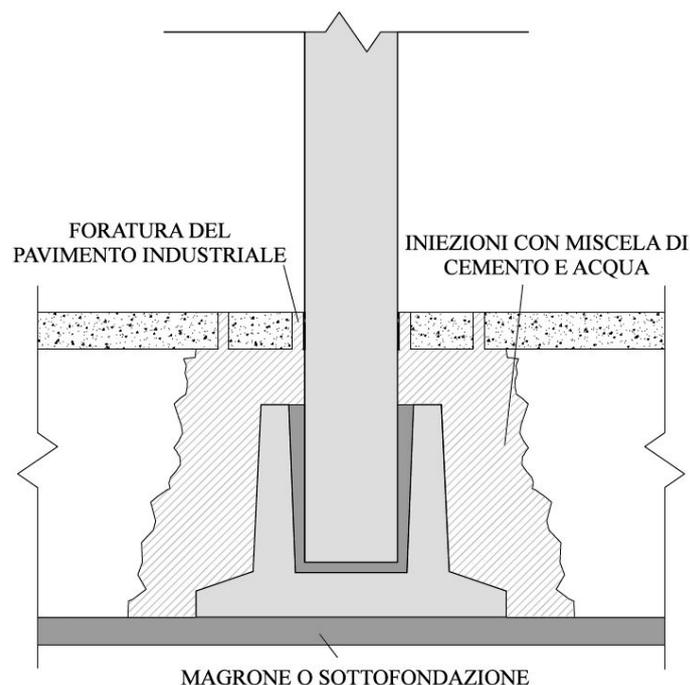


Figura 58 _ Consolidamento del terreno circostante la fondazione

Obiettivi:

- Consolidamento del terreno nei pressi del plinto a bicchiere per ovviare alla cedevolezza rotazionale tipica di questa tipologia di fondazione e per migliorare la resistenza a taglio del pilastro al di sotto del massetto;
- Irrigidimento del collegamento pilastro-fondazione.

Casi di applicazione:

- Rotazione rigida del pilastro senza evidente danneggiamento alla base per formazione di cerniera plastica;
- Inadeguatezza della fondazione e/o sensibile ruolo degli spostamenti relativi del suolo tra le basi delle colonne.

Vantaggi:

- Utilizzabile per la sistemazione definitiva della struttura;
- Consente un incremento sensibile della resistenza del sistema di fondazione alle azioni orizzontali.

Svantaggi:

- Costo elevato ed esecuzione complessa;
- Macchinari utilizzati generalmente ingombranti. Tale procedura risulta applicabile solo in zone ampie prive di ostacoli;
- Non realizzabile in presenza di pavimenti con finiture di pregio. Possibili problemi di intasamento (rete fognaria, pluviali etc.);
- Rischio di fuoriuscita della miscela di iniezione per la presenza di lesioni nella pavimentazione;
- Il bicchiere di fondazione non risulta efficacemente legato al volume iniettato;
- Se in sede di miglioramento/adequamento si prevede un rinforzo

della colonna, può essere difficoltoso realizzare un efficace collegamento con la miscela iniettata, tuttavia va valutata la reale efficacia di tale collegamento.

14 - Confinamento alla base dei pilastri mediante fasciatura o incamiciatura

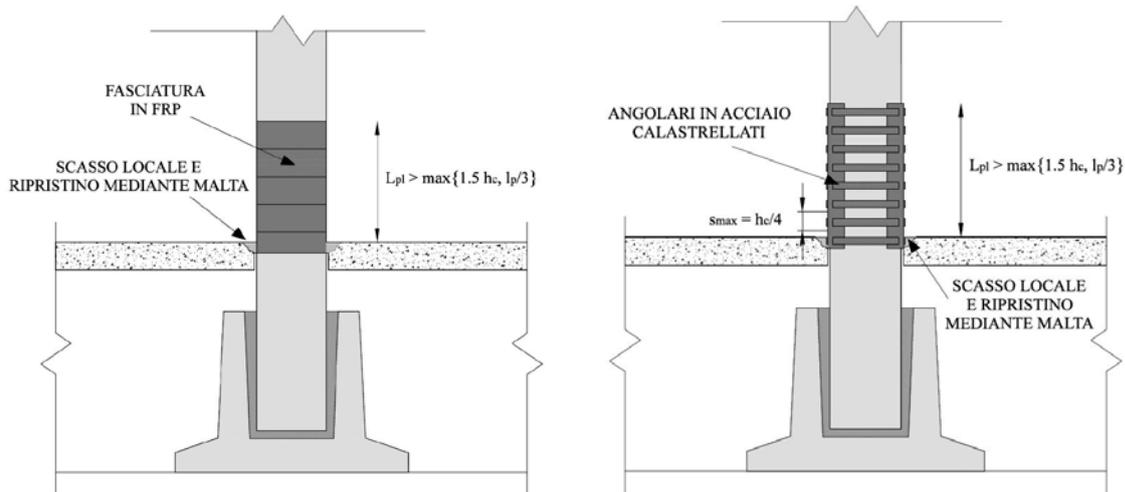


Figura 59 a-b _ Confinamento alla base dei pilastri: a- mediante fasciatura in FRP, b- mediante angolari calastrellati

Obiettivi:

- Incremento del confinamento del calcestruzzo nella zona critica alla base del pilastro con conseguente aumento della duttilità della sezione di base;
- Incremento della resistenza a taglio.

Casi di applicazione:

- Il pilastro presenta danneggiamenti alla base e la sezione potrebbe non essere in grado di assorbire ulteriori deformazioni imposte dal sisma;
- La struttura, pur non essendo danneggiata in modo evidente, necessita di un incremento di prestazioni in termini di capacità di spostamento;

- Il passo delle staffe presenti all'interno del pilastro potrebbe non essere considerato sufficiente a scongiurare l'instabilità delle barre longitudinali.

Vantaggi:

- Semplicità esecutiva;
- Velocità di messa in opera (nel caso in cui non sia necessaria una preliminare riparazione del pilastro);
- Effetto benefico nei riguardi della potenziale instabilità delle barre longitudinali nel caso in cui il passo delle staffe sia molto rado;
- Aumento della resistenza a taglio della sezione originaria della colonna in c.a. ;
- Utilizzabile sia come soluzione di pronto intervento sia come soluzione per il definitivo adeguamento della struttura;
- Possibilità di rinforzare anche pilastri perimetrali intermedi e di angolo utilizzando FRP con "sistema ad umido" o, in alternativa, il tessuto metallico SFRP con solo stucco epossidico (per la capacità di passare in questi casi le fasce anche in ridottissimi spazi tra lato della colonna occluso e pannello di facciata senza rimuovere il pannello);
- Possibilità di saltare con la fasciatura anche le parti localmente interessate dalla presenza di squadrette di bloccaggio delle pannellature ai pilastri;
- Possibilità di continuare (se necessario in sede di intervento definitivo) il rinforzo lungo l'intera colonna senza armature di attesa o problemi legati alla ripresa dei getti.

Svantaggi:

- Non dà luogo a sensibili aumenti di resistenza né nei confronti

dell'azione assiale, né del momento flettente;

- Introduce una discontinuità delle caratteristiche deformative in campo anelastico lungo il fusto del pilastro, tenendo conto della zona inferiore alla pavimentazione.

Dall'approfondimento sulle varie metodologie di intervento, risulta subito chiaro come queste presentino una serie di numerosi svantaggi applicativi e prestazionali.

Un'analisi più accurata delle carenze delle suddette metodologie verrà effettuata al capitolo successivo.

2.3. Analisi sulla Norma

L'adeguamento sismico, secondo normativa, delle strutture prefabbricate, come ampiamente descritto nel capitolo precedente, passa da azioni di riconsolidamento locale delle varie connessioni attraverso l'installazione di collegamenti meccanici di tipo duttile, in modo da evitare, quanto più possibile, la modifica dello schema statico originale e risolvere le carenze sotto l'azione dinamica.

Sono misure molto adatte alla rapida messa in sicurezza di capannoni colpiti dal sisma, inquanto permettono di ristabilirne l'agibilità in maniera rapida e semplice, ma presentano delle carenze non trascurabili, che ne fanno degli interventi non molto convenienti ad un adeguamento definitivo per varie motivazioni.

La prima di queste è legata ai criteri di riconsolidamento delle fondazioni ed irrigidimento dei pilastri. Queste tecniche, infatti, pur garantendo, in linea di massima, un'efficace performance degli elementi, portano con sé tutta una serie di problematiche legate alla effettiva praticità dell'operazione: l'iter infatti prevede una verifica delle prestazioni degli elementi tramite prelievo di campioni di materiale da analizzare per il dimensionamento dell'intervento, lo sgombero delle aree immediatamente vicine alle zone da trattare (potenzialmente occupate da macchinari e scaffalature), la distruzione localizzata di parti di pavimentazione per procedere alle iniezioni di consolidamento del suolo, le procedure di fissaggio ed incamiciatura dei pilastri e la ricostituzione delle parti di pavimentazione sezionate; il tutto reiterato per ogni elemento verticale.

Risulta chiaro quindi che si tratta di interventi invasivi che bloccano l'operatività del capannone (almeno per parti) per un tempo assolutamente non trascurabile. Il costo unitario dell'intervento è relativamente basso, ma le ripercussioni in termini economici del prolungato fermo della produzione non possono non essere considerate.

La costituzione di un vincolo dissipativo a cerniera tra trave e pilastro, lasciando invariate le considerazioni sul fermo della produzione, porta alla luce problematiche ancora più gravi di inadempienza degli obiettivi preposti.

Per capire questo concetto è utile analizzare il comportamento e le problematiche che caratterizzano le connessioni spinottate, già largamente utilizzate nel settore della prefabbricazione.

L'obiettivo delle connessioni meccaniche tra elementi verticali ed orizzontali è quello di simulare il comportamento di una cerniera, garantendo la corretta trasmissione delle forze orizzontali del sisma tra trave e pilastro, lasciandone libera la rotazione.

Questa schematizzazione, che risulta molto consona nei modelli di calcolo, presenta molte problematiche nell'applicazione reale: la libera rotazione della trave è infatti impedita, nella maggior parte dei casi, dalla condizione di aderenza tra gli elementi orizzontali e verticali, siano essi semplicemente appoggiati in successione sulla testa dei pilastri, appoggiati su mensole mediane, raccolti da un terminale a forcella, o inseriti su tenoni di testa.

Avvenuto il contatto, a causa degli spostamenti causati dal sisma, la libera rotazione della trave si blocca, con conseguente irrigidimento del nodo e sovraccarico dell'elemento meccanico di connessione, provocando il collasso prematuro del connettore o del terminale degli elementi strutturali. (Fig. 60-61)

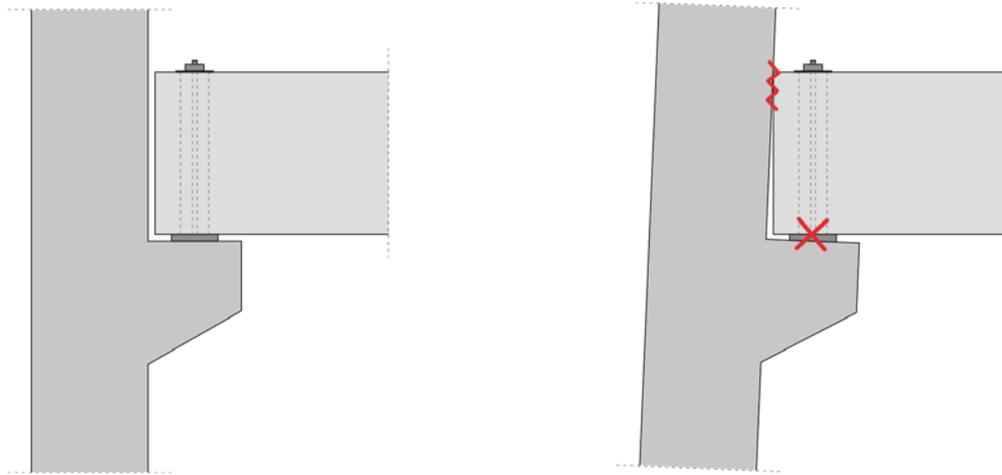


Figura 60 _ Problematichè legate ai collegamenti spinottati trave-pilastro

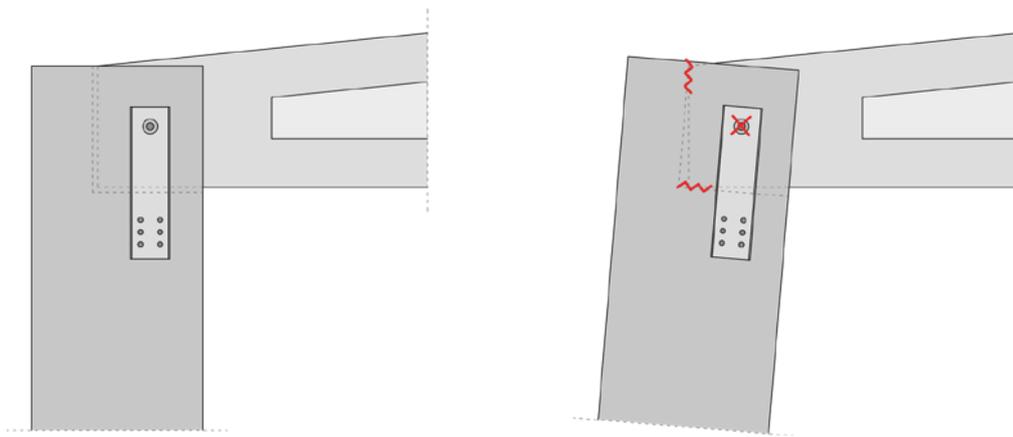


Figura 61 _ Problematichè legate alle connessioni meccaniche per l'adeguamento

Anche nel caso di collegamenti trave-pilastro mediante cavi di acciaio per il bloccaggio della caduta, o mediante elementi dissipativi lineari, viscosi o a taglio, questo fenomeno non è del tutto scongiurabile. Per lo meno riescono ad evitare il collasso dell'elemento, ma non ad evitare danni seri a struttura e nodi.

Questo fenomeno fa sì che molti degli stratagemmi di adeguamento citati nelle norme siano efficaci solo alla tutela della sicurezza degli occupanti, di macchinari e merci stoccate, ma non riescano a garantire l'incolumità globale del bene che, dopo un fenomeno sismico considerevole, riporterà sicuramente danni irreversibili ai connettori, che dovranno essere sostituiti di volta in volta, senza addirittura scongiurare

gravi danni al sistema strutturale, con conseguenti ingenti investimenti per la ricostituzione.

Alcuni di questi interventi, per le problematiche descritte precedentemente, fanno sorgere seri dubbi anche sulla garanzia della sicurezza.

Insomma non si può parlare di investimento rivolto alla completa messa in sicurezza del bene, dato che si deve reinvestire somme simili ogni volta che si verifica un evento dannoso, non considerando i costi legati al blocco della produttività ovviamente.

Lo stesso discorso vale per le connessioni trave-tegolo e pilastro-pannello che, essendo interessati allo stesso modo da spostamenti differenziali, a causa della deformabilità del piano su cui giacciono, subiscono le stesse considerazioni fatte per le connessioni trave-pilastro e per quelle palliative con cavi o dissipatori.

Si potrebbe però rendere funzionali queste ultime tecniche garantendo la formazione di un piano rigido di copertura, che renda impercettibili gli spostamenti differenziali e permetta l'adeguato funzionamento di questi ultimi sistemi.

Gli interventi di connessione trave-tegolo e pilastro-pannello verranno infatti utilizzati in aggiunta alla tecnologia della tesi, unendo tutte le travi di copertura attraverso putrelle che garantiscano la formazione del piano rigido, così da lasciare ai pilastri il solo compito di sorreggere i pannelli di tamponamento.

2.4. Incentivare la sicurezza, il Sismabonus

Il Sismabonus 2018 è una detrazione fiscale introdotta dallo scorso governo Gentiloni nella legge di bilancio di fine anno ed in vigore dal primo Gennaio 2018.

Prevede una serie di agevolazioni che consentono ai contribuenti di accedere a delle detrazioni fiscali IRPEF, di una percentuale variabile sul costo delle opere, per interventi di miglioramento sismico delle strutture residenziali e produttive.

Con questo strumento è infatti attualmente possibile avere accesso alle agevolazioni su case private, edifici produttivi e uffici e parti comuni dei condomini, purchè il miglioramento delle caratteristiche sismiche sia regolarmente certificato.

Rispetto alle versioni precedenti, come il Bonus Terremoto del 2015/2016, il nuovo Sismabonus prevede l'ampliamento delle detrazioni fino agli stabili produttivi e l'estensione delle zone sismiche comprese fino alla 3.

Nel Bonus Terremoto la quota detraibile sul totale delle spese era del 50% per un massimo di 96.000 euro, da ricevere in 5 rate annuali, di pari importo, calcolate dalla data di inizio dei lavori.

Il Sismabonus prevede che a famiglie ed imprese che si accingono ad interventi di miglioramento del rischio sismico in zona 1,2 e 3, dall'1 gennaio 2018 al 31 dicembre 2021, di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, pubblicata nel supplemento ordinario n. 72 della Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8 maggio 2003, spettino:

Sismabonus con detrazione spese del 70%, se avviene il passaggio di una sola classe inferiore di rischio sismico;

Sismabonus con detrazione spese dell'80%, se si riducono almeno due classi di rischio;

Detrazione del 100% sulle spese di diagnosi sismica dell'edificio;

Il massimo detraibile è, però, sempre lo stesso: 96.000 euro ottenibili in cinque rate da 19.200 euro all'anno.

Purtroppo, per interventi che richiedono grandi investimenti, come quello oggetto della tesi, la detrazione non è tale da generare un risparmio considerevole in termini di percentuale sul costo totale.

Risulta comunque un ottimo strumento di incentivazione dell'adeguamento e comunque lo sgravio fiscale non risulta trascurabile.

3. CINTURE DI SICUREZZA SISMICHE

3.1. Intervenire dall'esterno, sistemi di isolamento strutturale della copertura

Il lavoro di indagine e di progetto, oggetto di questa tesi, partono da una tecnologia messa a punto all'interno di un progetto di ricerca, sviluppato dal Professor Giuseppe Andrea Ferro del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Geotecnica ed Edilizia (DISEG) del Politecnico di Torino, attraverso alcune tesi Magistrali, svolte su casi ideali, al fine di testarne le potenzialità in termini strutturali ed economici.

La ricerca intende fornire una visione alternativa sul tema dell'adeguamento sismico, a partire dai temi fondamentali di critica ai sistemi tradizionali di mitigazione del rischio sismico.

Partendo dal presupposto fondamentale che la fabbrica debba poter essere adeguata senza, in alcun modo, cessare la sua produzione a causa di cantieri interni prolungati, senza dover nuovamente intervenire in modo massiccio al verificarsi di nuovi fenomeni sismici e garantendo la performance e l'incolumità di elementi strutturali, connessioni, macchinari, merci e personale impiegato nella produzione, la tecnologia sviluppata dalla ricerca, con il nome di "Cinture di sicurezza sismiche" prevede una serie di portali reticolari in acciaio, posti a cavallo del capannone ed in corrispondenza delle campate strutturali dello stesso, i quali isolano strutturalmente la copertura del fabbricato attraverso un'ordine di stralli che la vanno ad assicurare alla sovrastruttura metallica.

L'obiettivo è quello di eliminare le carenze strutturali dei capannoni industriali monopiano, in cemento armato prefabbricato, con

connessioni ad attrito o spinottate verificate ai soli carichi statici, senza modificare in alcun modo lo schema statico originale del fabbricato (l'edificio è stato, infatti, progettato con l'utilizzo di determinati carichi che sono strettamente relazionati alle condizioni vincolari, una mutazione di queste potrebbe variare notevolmente il comportamento strutturale del sistema).

Prevedendo un piccolo lavoro interno di connessione degli elementi orizzontali e di copertura, atto a generare un piano rigido, il sistema agisce con un principio simile a quello delle cinture di sicurezza di un'automobile, attivandosi quando la trave perde il suo appoggio sull'elemento verticale ed evitando il collasso della copertura su se stessa.

(Fig. 62-63)

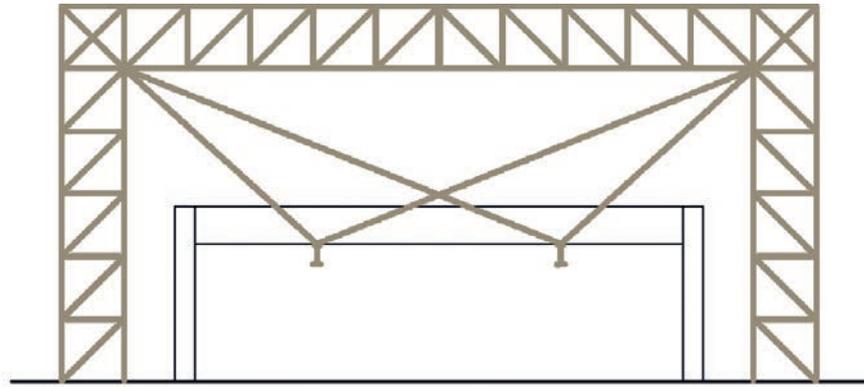


Figura 62 _ Installazione delle putrelle e isolamento strutturale della copertura

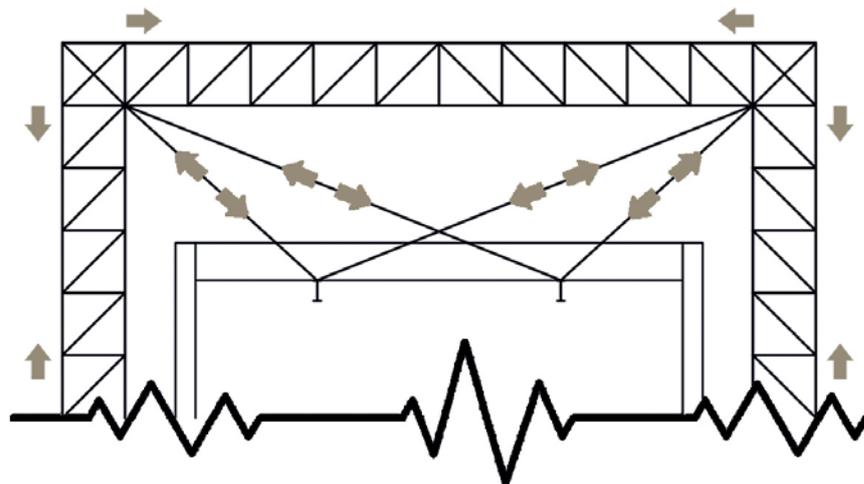


Figura 63 _ Effetto "cinture di sicurezza", distribuzione degli sforzi

3.2. Output della ricerca e considerazioni sui costi

Per descrivere gli output della ricerca, ad oggi raggiunti, ci avvarremo di una tesi del corso di laurea Magistrale in Ingegneria Civile, con il nome di “Cinture di sicurezza sismiche per capannoni industriali – Studio distribuzione delle forze sui sistemi di appensione della copertura”, con relatore il professor Giuseppe Andrea Ferro, elaborata e discussa dall’allora laureando Marcello Ragona, lo scorso Dicembre 2017.

La tesi in questione analizza varie tipologie di strutture di appensione della copertura di edifici monopiano prefabbricati in calcestruzzo armato, analizzandone le potenzialità strutturali, le lacune ed i costi, ottimizzandone una in specifico su un caso studio ideale.

Il telaio prefabbricato ipotetico su cui è stata svolta la ricerca prevede una serie di 11 campate con dimensioni in pianta di 125x27 m ed interasse di 12.5 m. Le campate in questione sono costituite da pilastri 60x60 cm, incastrati su plinti a bicchiere, a sorreggere una trave a doppia pendenza con 27 m di luce. (Fig. 64-65)

Lo studio elaborato su questa struttura prevede lo sviluppo di quattro tipologie diverse di sistemi di appensione, sulle quali vengono effettuate le verifiche strutturali e le analisi sui costi.

Le tipologie adottate sono:

- sistema a “Stendino”;
- sistema con pendini;
- sistema strallato con cavi inclinati fuori dal piano trasversale;
- sistema strallato con cavi contenuti dal piano trasversale.

Per la progettazione della struttura sono state usate travi reticolari a

base quadrata di 3x3 m ed altezze variabili a seconda della tipologia in analisi.

Le conclusioni tratte sullo studio, effettuate da Ragona, sono legate principalmente al comportamento strutturale, che incide fortemente poi sul costo totale della struttura.

Per quanto riguarda la soluzione a “stendino” si fa notare che i profili utilizzati per sostenere i carichi generati dai lunghi tiri dei cavi, rendono il costo troppo elevato e, quindi, la soluzione non adatta allo scopo.

Per la stessa ragione è stata dichiarata sconveniente anche la soluzione con pendini, infatti le grandi sollecitazioni dovute al carico distribuito agente sulla trave reticolare, portano la struttura ad essere troppo costosa.

Diverse sono le considerazioni fatte sulle ultime due soluzioni, infatti concentrando le sollecitazioni sugli spigoli del portale si ottiene uno sforzo di sola compressione suddiviso in maniera proporzionale all'inclinazione dei cavi, e quindi all'altezza della struttura, tra trave e pilastro reticolari. Nella tesi si fa notare infatti come all'aumentare dell'altezza della struttura, fino a raggiungere una proporzione ottimale tra percentuale di sforzo dato alla trave e al pilastro, si ottiene una riduzione dell'area minima necessaria dei profili e, quindi, una riduzione nei costi.

È stato raggiunto, comunque, attraverso l'ottimizzazione delle dimensioni geometriche, un costo parametrico sull'ordine dei 100 €/m².

Sono proprio queste le basi da cui trae spunto la nostra ricerca nell'elaborazione di questa tesi: il sistema strallato viene rielaborato in ottica di possibilità alternative generate da una struttura così imponente ed invasiva.

Partendo dal lavoro svolto nel caso citato, il nostro ha come obiettivo quello di ampliare le considerazioni fatte sinora e di fornire delle soluzioni che rendano la tecnologia più performante non solo dal punto

di vista strutturale ma anche, soprattutto, da quello architettonico ed economico, non tanto in ottica di costo parametrico al metro quadro, ma di investimento aperto ad una miriade di possibilità future, flessibile nel tempo e negli spazi che riesca davvero a competere e sovrastare sia le tecniche di adeguamento tradizionale, sia, a maggior ragione, la costruzione da zero di nuovi capannoni industriali prefabbricati.

4. L'ENNESIMO AVVERTIMENTO, LE MARCHE TREMANO

4.1. Il panorama industriale marchigiano, territori in bilico.

Le Marche sono un territorio atipico per lo standard italiano.

Sembrerebbe fatto solo di paesini arroccati, placidi, immersi nel verde del paesaggio collinare, dove il tempo si è fermato; di agricoltura e allevamento; di piccole realtà manifatturiere, le poche rimaste a tramandare le tradizioni secolari della nostra terra.

Eppure troviamo al suo interno ben 28 distretti industriali, come in Lombardia.

Sembra impossibile paragonare queste due regioni, i colori del mare e del paesaggio ondulato ed il torbido grigiore delle industrie.

Ma all'interno delle vallate e lungo la costa marchigiana fioriscono alcune delle più importanti aziende del nostro Paese, atipiche anch'esse, perché partendo da quelle secolari tradizioni sopracitate gli imprenditori marchigiani hanno costruito le loro storie, rendendo l'artigianato di bottega un processo industriale specializatissimo e di altissima qualità.

È il cosiddetto "modello marchigiano", così come lo definì Giorgio Fuà (noto economista e fondatore dell'ISTAO di Ancona, in cui si sono formate alcune delle eccellenze dell'imprenditoria regionale, dai fratelli Merloni, ai Guzzini, ai Della Valle), ossia una miriade di industrie disperse nel territorio, organizzate in distretti costieri e vallivi, che costituiscono un'economia a sé, frutto della tenacia di una popolazione che solo nel secondo dopoguerra era rimasta devastata e condannata ad uno spopolamento annunciato.

Questi distretti rappresentano la linfa vitale del territorio, l'unica

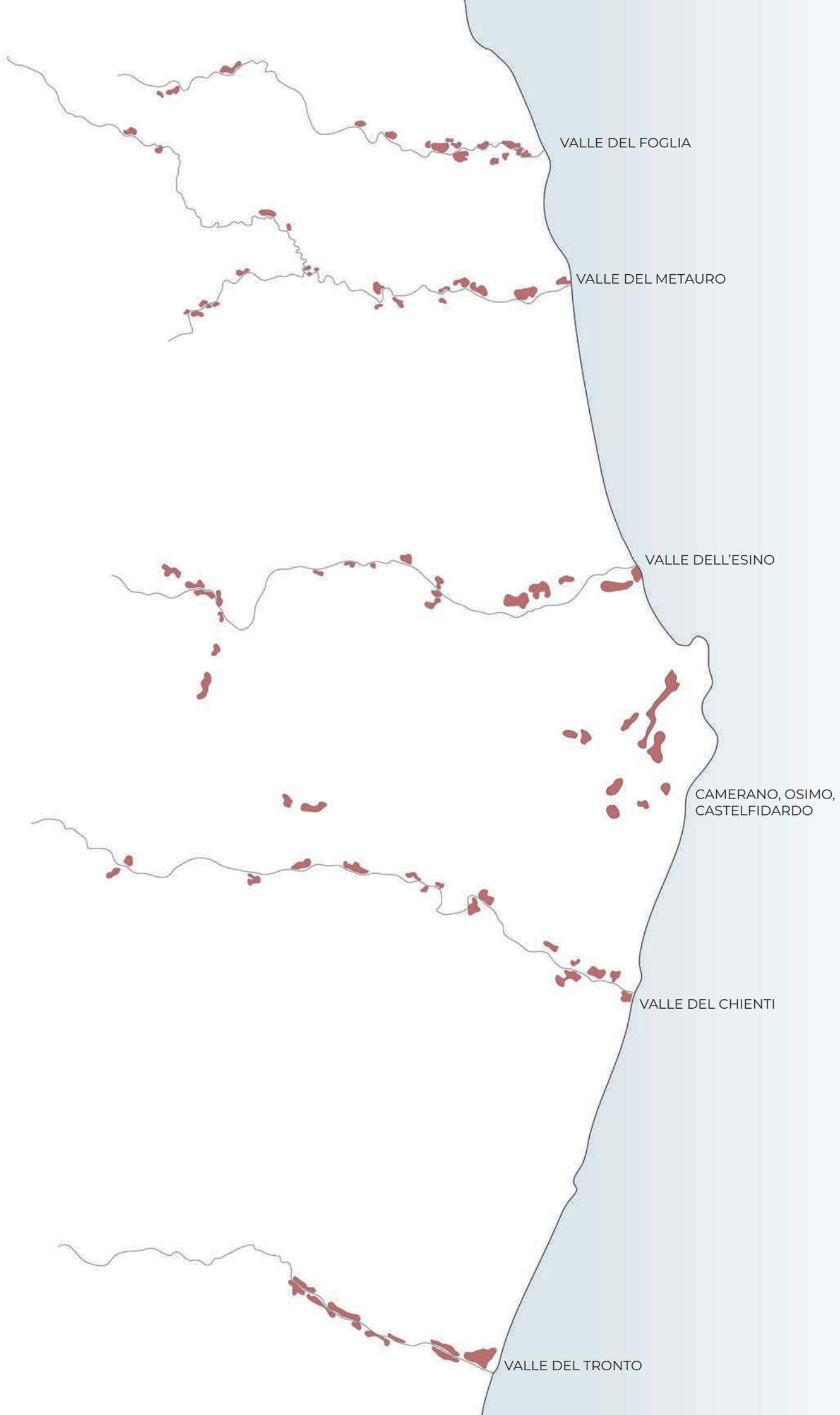
alternativa per alcuni ambiti che risentono di un isolamento potenzialmente assassino.

Le aree dell'entroterra sono, infatti, appigliate a queste uniche fonti di ricchezza e, non potendo più vivere di piccola agricoltura autonoma e non potendo competere con le attrazioni turistiche costiere, risulterebbero private della ragione di esistere, di essere vive.

Ne sono un esempio i distretti del tessile, lungo la valle del Metauro; le celebri cartiere, nonché i distretti degli elettrodomestici di Fabriano; le industrie della pelletteria di Tolentino e della calzatura del fermano-maceratese; le produzioni agro-industriali di prodotti tipici vinicoli ed alimentari, diffusissime in tutto il territorio regionale.

Le Marche però, come la maggior parte dei territori a ridosso dell'Appennino devono fare i conti con una temibile pericolosità sismica che, manifestatasi in molte forme durante la storia e lentamente compresa e lentamente cartografata nel corso di decenni, mette a dura prova la tenacia di questi territori in bilico, costretti ad operare attraverso un sistema edilizio-industriale carente sotto molti aspetti.

Una rapida ed incontrollata crescita industriale, partita nel periodo del "boom" economico degli anni '60, ed una consapevolezza, legata agli eventi sismici, praticamente pari a zero fino a periodi recentissimi, hanno portato la regione a possedere un'enorme quantità di edifici industriali ormai fatiscenti, non in linea con le recenti considerazioni sulla pericolosità e, soprattutto, con uno sguardo all'Emilia Romagna, dove nel 2012, un patrimonio industriale molto simile a quello marchigiano, per tipologia e carenze, è stato raso al suolo dalle scosse sismiche.



VALLE DEL FOGLIA









VALLE DEL METAURO









VALLE DELL'ESINO









DISTRETTO DI CAMERANO, OSIMO E CASTELFIDARDO









VALLE DEL CHIANTI









VALLE DEL TRONTO









4.2. Il terremoto del Centro Italia riapre la questione

le scosse del 24 agosto e del 26 e 30 ottobre 2016, che hanno colpito con violenza le zone appenniniche e pre-montane di Marche, Abruzzo, Lazio e Umbria, a soli quattro anni dal terremoto emiliano, riaprono la questione sull'adeguatezza delle aree costruite in zona sismica.

Soprattutto per quanto riguarda le Marche, il territorio più colpito per numero di comuni coinvolti nel cratere sismico, ben 87 sui 140 totali, il terremoto lascia una ferita ancora oggi aperta e sanguinante, a causa di una ricostruzione che, come succede troppo spesso in Italia, tarda ad arrivare.

Questi eventi però, seppur radendo al suolo interi centri abitati con centinaia di morti, feriti e sfollati, non hanno danneggiato il settore produttivo con la stessa violenza del terremoto del 2012.

In Emilia Romagna infatti il sisma non viene tanto ricordato per le vittime, relativamente poche in confronto ai danni, ma per gli effetti disastrosi sul sistema propulsivo locale dell'industria, assolutamente non pronto a fronteggiare un evento del genere.

Le ragioni che hanno portato a questo sono diverse e partono tutte da un presupposto comune: l'Italia non era considerata sismica, tranne che per i territori colpiti dai più celebri terremoti del '900, fino all'introduzione dell'OPCM 3274 del 2003.

Se andassimo ad analizzare, infatti, la storia sismica dell'Emilia Romagna, confrontando la classificazione del 2003 con quella immediatamente precedente del 1984, ci rendiamo conto che la maggior parte del territorio era inclassificato, quindi le Norme tecniche per le costruzioni

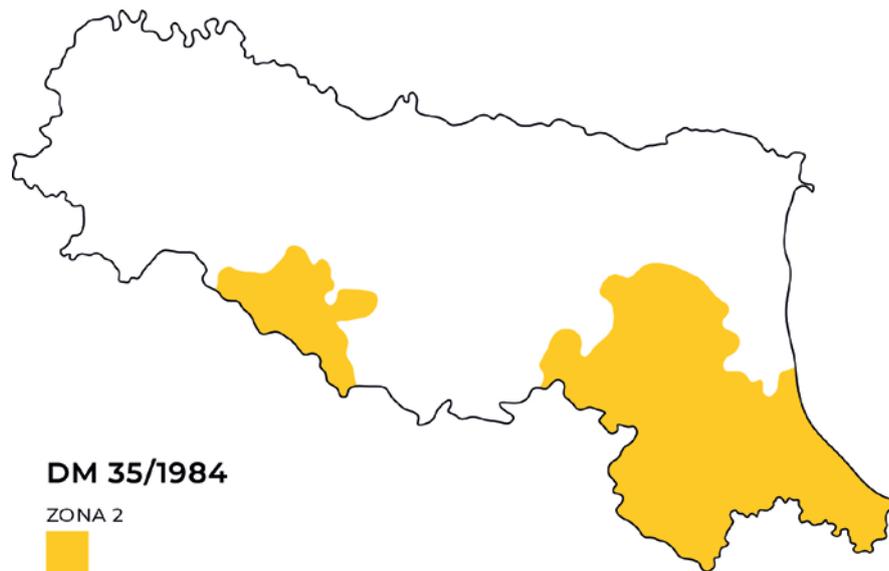


Figura 64 _ Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna dal DM 35 del 1984

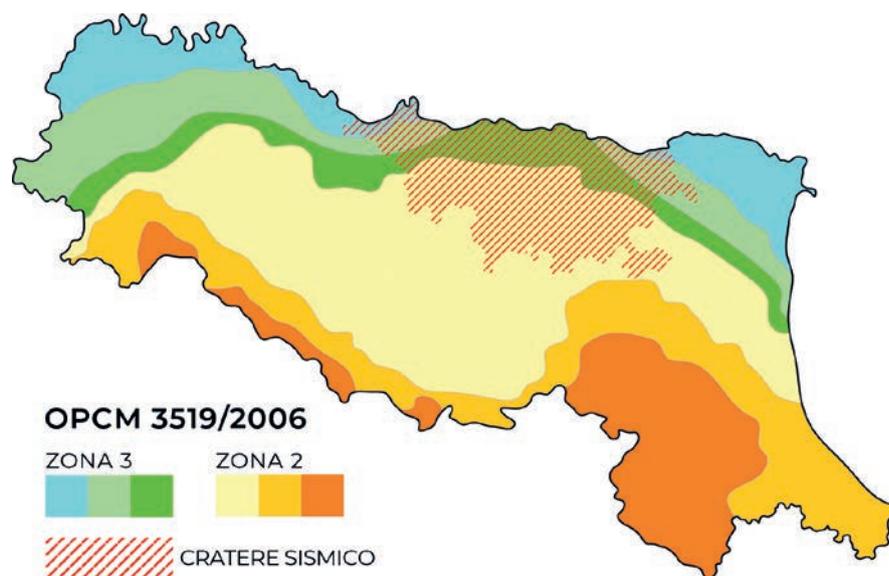


Figura 65 _ Classificazione sismica dell'Emilia-Romagna dall'OPCM 3519 del 2006

in zona sismica non coprivano sufficientemente il territorio, di conseguenza gli edifici costruiti fino al 2003 in quelle zone, la maggior parte, risultano non concepiti per resistere al sisma. (Fig. 64-65).

A questo si aggiunge il fatto che il cratere sismico si colloca nelle zone a più bassa pericolosità e, ironia della sorte, sono proprio queste le aree più industrializzate della regione, altamente specializzate nell'industria biomedica, meccanica, automotive e agro-industriale, che da sole producono circa il 2% del PIL nazionale. (Fig. 66)

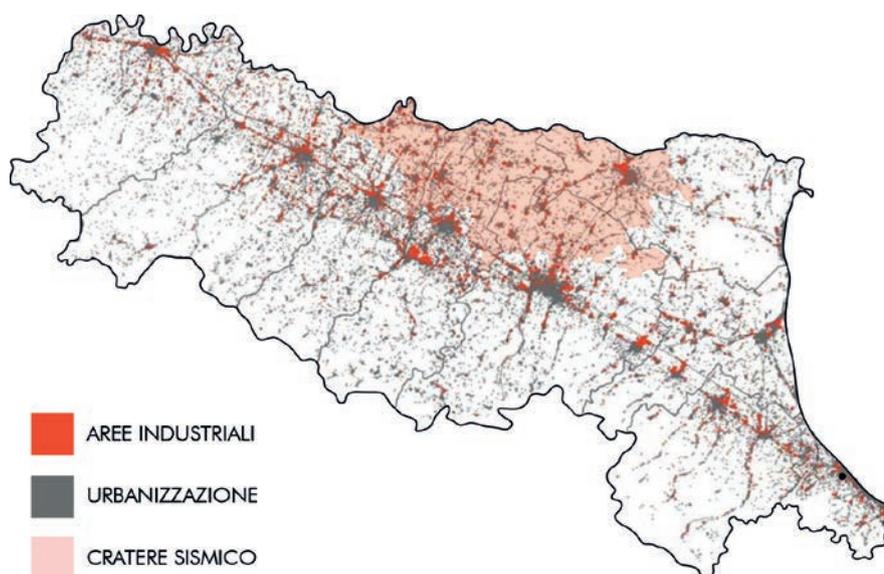


Figura 66 _ Rapporto tra il cratere sismico 2012 e le aree urbanizzate, industriali e non

Il risultato è la devastazione di queste aziende che, da un giorno all'altro, si ritrovano senza un luogo per la produzione, e con la maggior parte delle merci stoccate distrutte (Fig. 67 e 68).



Figura 67 _ Vigili del fuoco nella ricerca dei dispersi sotto le macerie dei capannoni



Figura 68 _ Crollo delle scalere di stagionatura del Parmigiano Reggiano

È infatti l'11,3% delle aziende totali della regione ad essere bloccato, il 18,7% di quelle agro-industriali, con un cratere sismico che copre soltanto circa il 14% del territorio.¹

Questo dato è estremamente significativo, poiché ci fa rendere perfettamente conto che quasi la totalità delle aziende nell'area colpita risultano vittime del sisma.

Sono infatti poche le industrie in grado di risollevarsi da quella condizione e il sistema produttivo di quelle aree ha arrancato per un periodo molto lungo.

¹ I dati riguardanti le aziende danneggiate dal sisma in Emilia-Romagna sono stati estrapolati dal sito della Regione all'indirizzo: <https://www.regione.emilia-romagna.it/terremoto/archivio/nove-mesi-dal-sisma/i-danni>.

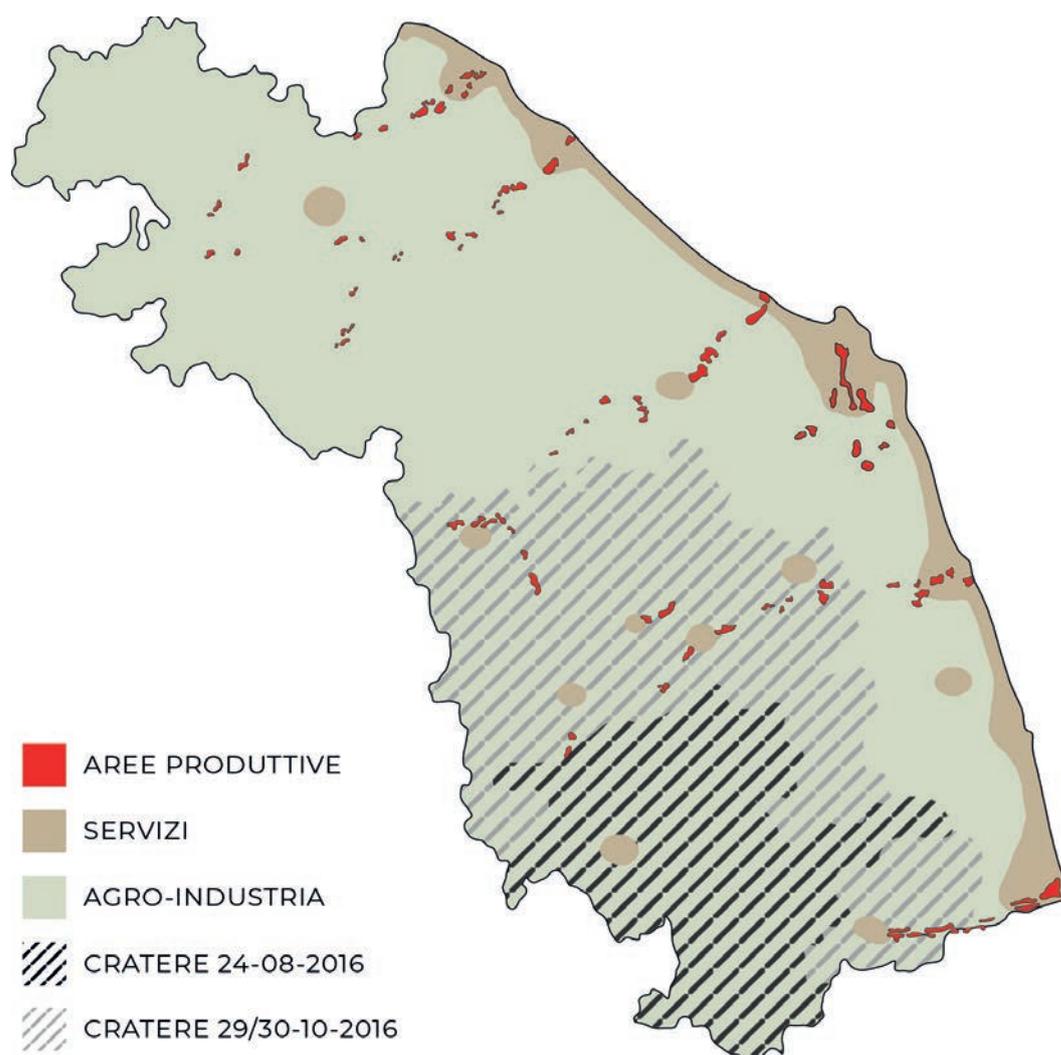


Figura 69 _ Confronto tra i principali settori economici ed il carattere sismico 2016

Le Marche hanno subito una sorte differente, il cratere sismico interessa, come già detto, le zone montane e pre-montane dei territori a sud-ovest. Queste aree sono caratterizzate da una miriade di piccolissimi centri abitati che basano la loro economia prevalentemente sul settore agro-industriale (Fig. 69), con l'eccezione di poche industrie che hanno comunque subito gravi danni, con conseguente ed ulteriore indebolimento della capacità vitale di quelle zone che, come detto, sono già molto isolate dai contesti attivi della regione e subiscono una condizione molto più amplificata.

Fortunatamente sono stati molti i processi virtuosi attivati da imprenditori locali e non, che si sono impegnati a ristabilire parte dei collegamenti viari distrutti, hanno contribuito a ridare un tetto alle migliaia di persone sfollate e hanno avviato una serie di campagne pubblicitarie di sensibilizzazione e promozione sui territori colpiti. Ne sono un esempio le unità abitative prefabbricate, donate dalle aziende costruttrici venete e non solo; “il Polo del Gusto” di Amatrice, realizzato da Stefano Boeri Architetti grazie ai fondi raccolti in tutta Italia dal comitato “ Un aiuto subito. Terremoto Centro Italia 6.0”; il nuovo stabilimento industriale “Tod’s”, costruito dai Della Valle a Pescara del Tronto, con lo scopo di dare un motivo alle popolazioni locali per ripartire proprio dalla loro terra.

I distretti produttivi più importanti delle province colpite, fortunatamente, sono fuori o marginali al cratere e quindi non hanno riportato molti guai, sebbene ci siano stati fenomeni di crollo di capannoni industriali prefabbricati, soprattutto nelle zone di San Severino Marche, Tolentino e Ascoli Piceno (Fig. 70).



Figura 70 _ Crollo di un capannone prefabbricato monopiano ad Ascoli Piceno

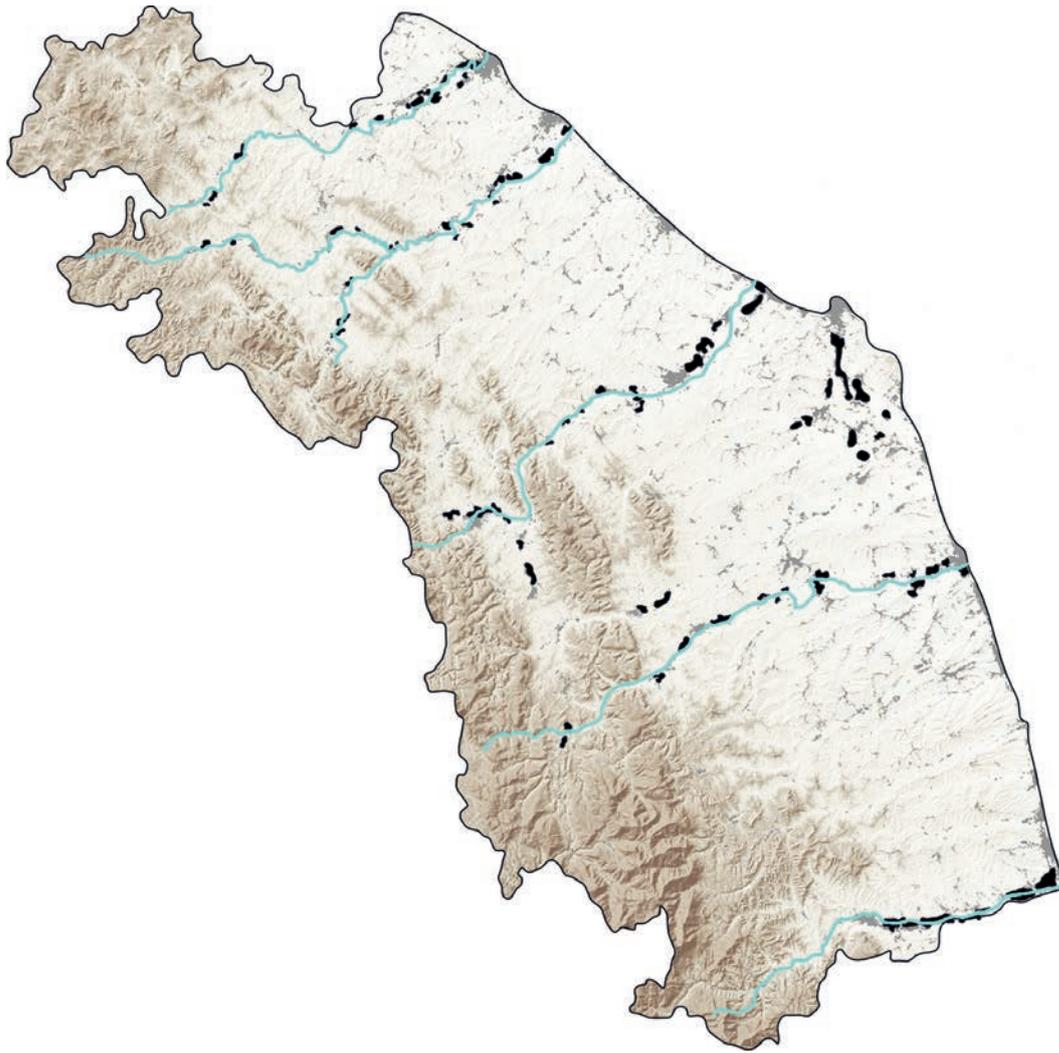
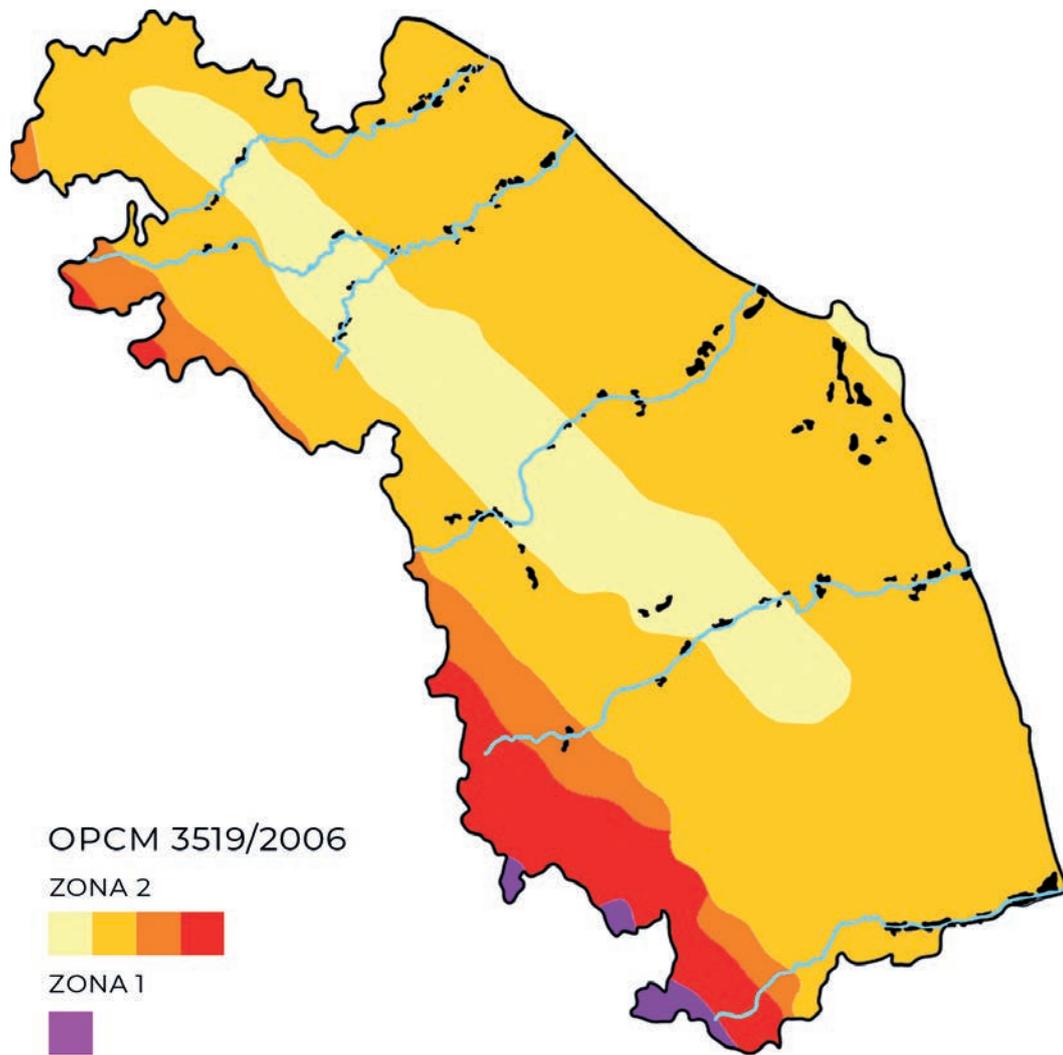


Figura 71 _ Diffusione dei distretti industriali lungo le valli fluviali

Analizzando però il rapporto tra la distribuzione dei distretti industriali marchigiani e la pericolosità sismica regionale ci appare chiaro che le Marche non sono esenti dal disastro emiliano (Fig. 71-72).

I sistemi industriali vallivi infatti, soprattutto più a nord rispetto al cratere 2016, hanno uno sviluppo trasversale alla pericolosità, che va dalle aree più attive, ma meno pericolose, della costa, alle zone più interne pre-appenniniche, caratterizzate da una preoccupante vulnerabilità e con tutte le problematiche già citate.



Essendo ormai palese il monito lanciato alle industrie dal sisma emiliano, è dunque necessaria una presa di coscienza degli imprenditori marchigiani, volta ad un adeguamento sistematico di un patrimonio che rischia seriamente di collassare su se stesso alla mercé delle scosse sismiche, compromettendo la sopravvivenza di intere comunità e delle aziende stesse. Il sisma può avvenire ovunque, non è controllabile né prevedibile, l'unico strumento che abbiamo per fronteggiarlo è la classificazione della pericolosità ed i moniti degli eventi passati, che invocano fortemente la mitigazione delle carenze del patrimonio.

5. IL LANIFICIO CARIAGGI DI CAGLI (PU), MARCHE

5.1. Consistenza dei luoghi

Il contesto in cui opera il Lanificio Cariaggi è quello di Cagli, stupendo borgo antico ai piedi del monte Catria, nella valle pre-montana del fiume Burano, affluente del Metauro, all'interno della provincia di Pesaro e Urbino. Più precisamente a Smirra, uno dei tanti centri abitati che punteggiano la vallata a ridosso dei poli produttivi e che traggono da questi la loro fonte di sostentamento.

La valle del Metauro, come del resto tutte le più importanti valli fluviali marchigiane, è un contesto ricco di insediamenti industriali, nello specifico specializzati nella produzione tessile di alta qualità, che si relazionano ad un contesto molto fragile e rappresentano uno dei pochi fattori che riescono a tenere in vita il territorio, sopperendo alla discesa del settore agricolo e alla mancanza di un settore turistico solido, che riesca a confrontarsi alla pari con le attrazioni costiere.

Tutto il bacino fluviale è infatti disseminato di piccoli e grandi ambiti produttivi che si innestano nella morfologia del territorio e ne modellano le forme, gli assetti viari ed insediativi; ne scandiscono le dinamiche, ne determinano i suoni e le percezioni.

Percorrendo la vallata, da Fano verso l'interno, ci si rende conto dello sviluppo differenziale di questo sistema: dalla densità produttiva della città diffusa adriatica, che ostenta duramente la sua operosità, le fabbriche si rarefanno ed il territorio rurale prende il posto dell'invasione antropica; gli opifici assumono così il ruolo di "landmarks", roccaforti dell'artigianato specializzato che un tempo ogni maestro praticava nella sua bottega del borgo.

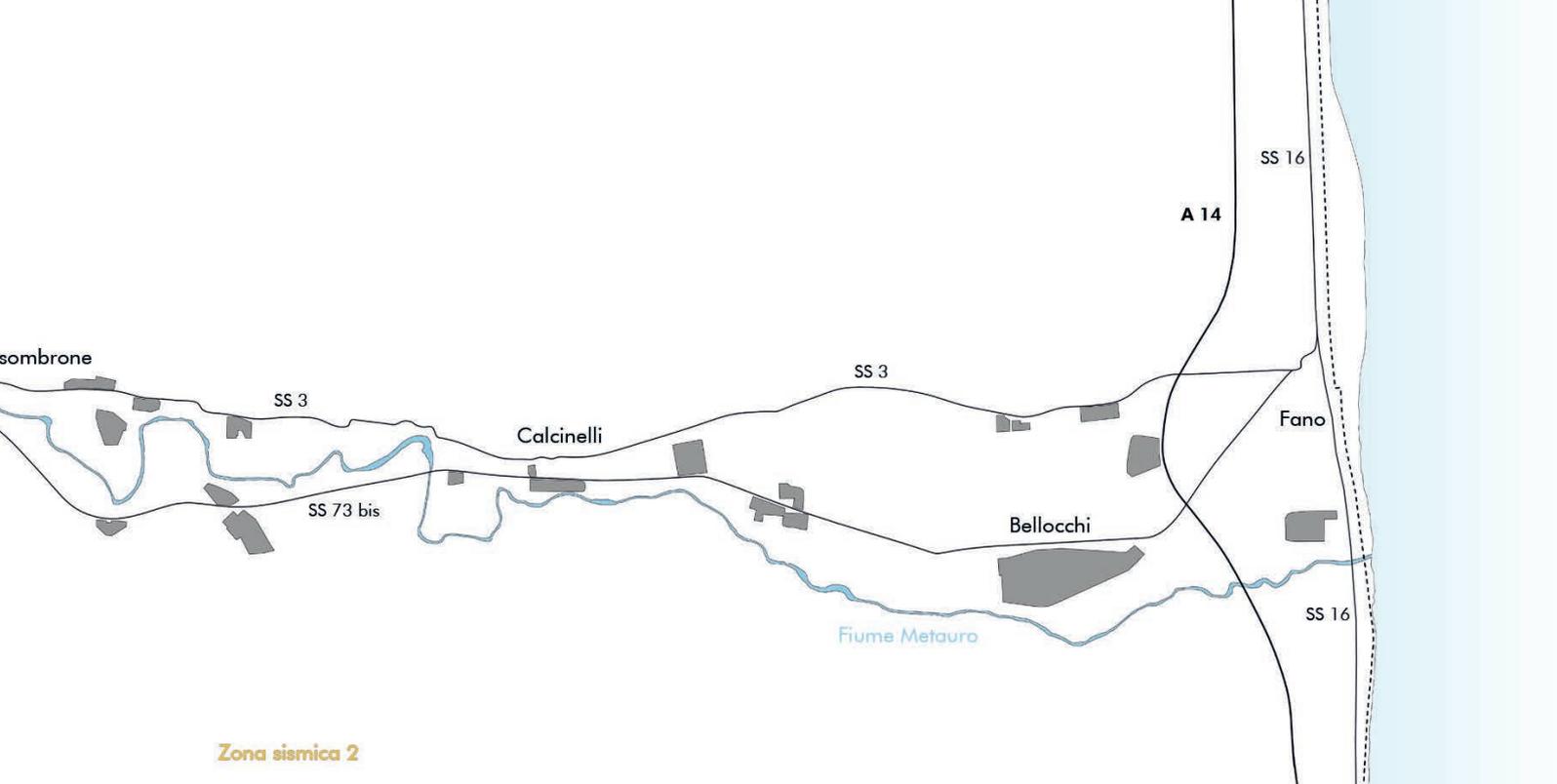


VALLE DEL METAURO

In questi luoghi la fabbrica assume un ruolo diverso che sulla costa, non si tratta più di un ambito aggregato, una tra le tante possibilità di ricchezza per gli abitanti che vi orbitano attorno, ma si trasforma in occasione di rilancio, di eccellenza, di orgoglio condiviso tra imprenditore e lavoratore, che si trovano insieme a condividere l'obiettivo di tener viva quella terra che gli è tanto cara, di lottare per la sopravvivenza di un'arte che altrimenti andrebbe persa e di luoghi che altrimenti scomparirebbero dalla mappa.

Contesti come quelli dell' "artigianato industriale" dell'interno marchigiano non rappresentano solo ambiti centripeti, ma attivano intorno a loro tutta una serie di meccanismi virtuosi, di attività correlate che partono dalle risorse del territorio in cui la fabbrica si innesta.

Non è solo l'imprenditore a beneficiare dell'attività che ha creato e neanche solo gli operai che ivi lavorano, ma è tutta la filiera a benefi-



ciarne: da l'agricoltura e allevamento, che producono le materie prime, necessarie ad un artigianato tipico, agli edifici ricettivi che gli orbitano attorno, alla notorietà, che permette di far conoscere quei luoghi in contesti dove altrimenti rimarrebbero ignoti.

Nasce da ciò l'esigenza di tutelare queste realtà con un occhio di riguardo in più ed è stata questa ragione che ci ha spinto a scegliere un contesto del genere per l'applicazione della ricerca. Un luogo che risentirebbe più di altri degli effetti di un sisma distruttivo e che beneficerebbe più di altri della certezza di un futuro meno precario.

5.2. L'Azienda



Il Lanificio Cariaggi nasce nel 1958 dall'impegno imprenditoriale di una famiglia, decisa ad affermare il proprio brand nel settore della produzione dei filati naturali.

La sua storia parte, come molte in Italia, da un piccolo stabilimento addossato ai collegamenti viari principali, in questo caso la via Flaminia, che lo collega direttamente alla dorsale adriatica da un lato e ai centri umbri dall'altro, fino a Roma; e da una manciata di collaboratori, per poi implementarsi nel tempo e diventare uno dei marchi leader a livello nazionale e mondiale.

Il complesso che vediamo oggi è il risultato di una espansione stratificata nei decenni, nata dalla necessità di implementare la produzione, processo che inevitabilmente porta con sé tutte le funzioni correlate: come uffici, laboratori, depositi, spazi direzionali; andando a saturare tutte le aree circostanti. (Fig. 73-74)

Il Lanificio Cariaggi oggi lavora, infatti, con processi di cardatura e pettinatura, quasi il 40% del fiocco di cashmere mondiale, con una produzione distribuita in 25.000 metri quadri di stabilimenti e circa 3.000 metri quadri di spazi a deposito, dando lavoro a circa 250 persone del luogo e attivando 200 macchinari appositamente customizzati per la lavorazione di questo pregiato materiale con la qualità che li contraddistingue.¹

Un altro marchio distintivo, che li rende unici nel loro settore, è un'attenzione costante alla sostenibilità della filiera, dei processi e delle finiture.

Oltre alla materia prima importata dai centri di produzione storici di questo materiale (Cina, Mongolia), gli allevamenti da cui ricavano la maggior parte del materiale sono autoctoni, inseriti nel contesto marchigiano del Montefeltro, con grande attenzione al rispetto per gli

¹ Informazioni desunte dal documento: E. Rullani, "Industria in transizione - Sfide e possibilità per la provincia di Pesaro-Urbino", Confindustria Pesaro-Urbino

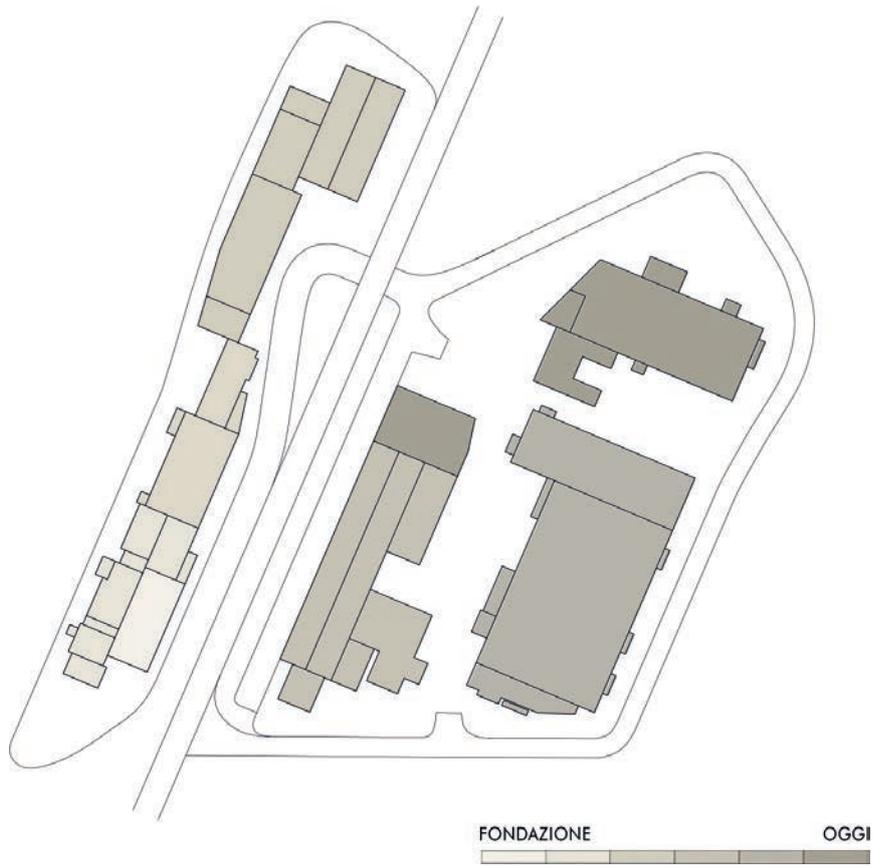


Figura 73 _ Espansione stratificata nel corso del tempo

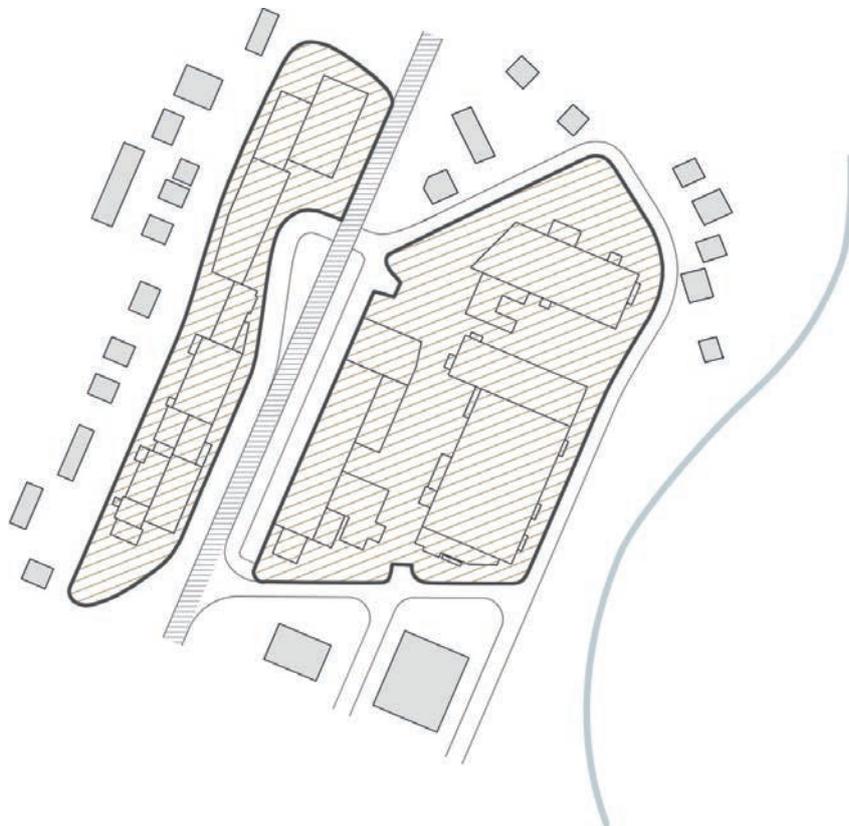
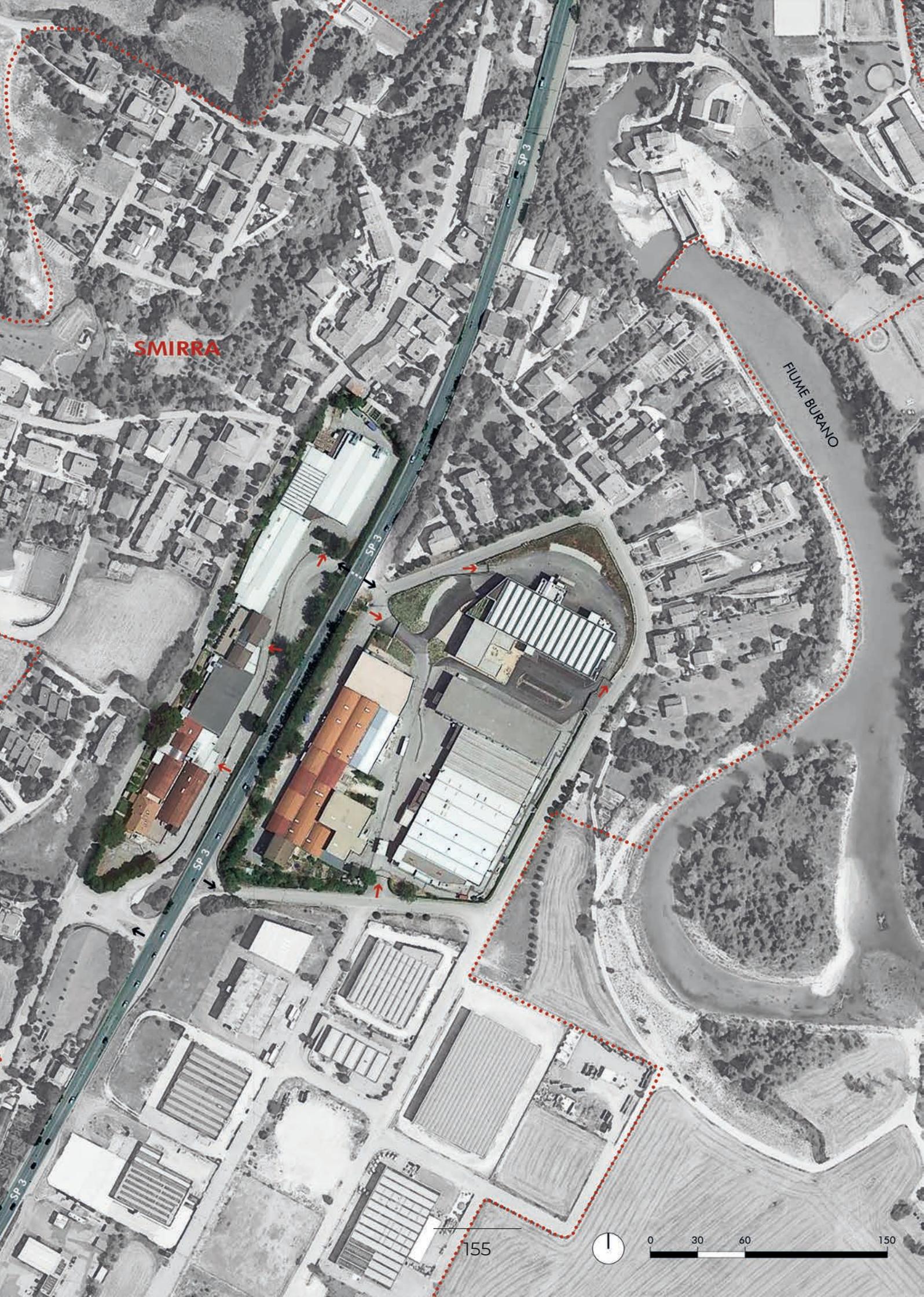


Figura 74 _ Completa saturazione degli spazi

INQUADRAMENTO CARIAGGI





SMIRRA

FIUME BURANO

SP 3

SP 3

155



animali impiegati e per la filiera totale, allargando i benefici, generati dall'attività, a diversi settori, da quello agricolo a quello dell'allevamento.

Il Brand infatti non utilizza solo il cashmere, ma anche filati di seta e lino di produzione locale.

L'attenzione all'aspetto energetico ambientale degli stabili è un altro elemento distintivo: la produzione infatti necessita di livelli di temperatura e umidità specifici, ottenuti con l'impiego di impianti sostenibili e di un adeguato assetto dei luoghi della produzione.

Non è solo questo a rendere Cariaggi un gioiello all'interno dell'imprenditoria regionale e nazionale, ma anche la cura del dettaglio e la scelta delle tecnologie di finitura dei filati: gran parte delle colorazioni utilizzate nei processi, infatti, deriva da sorgenti naturali, minerali e vegetali.

Ne è un esempio il guado, pianta erbacea autoctona dai caratteristici fiori gialli, utilizzata per l'estrazione del colore blu, che è diventato un simbolo della loro produzione.

Anche in questo caso la filiera attivata è completamente locale, con convenzioni stipulate con i produttori della zona che forniscono questa materia prima per la produzione di coloranti organici impiegati nei processi.



Il fattore caratteristico della storia del Lanificio, è proprio questa attenzione, quasi maniacale, nel preservare un carattere artigianale, seppur competendo a livello mondiale con produzioni tessili dal carattere totalmente industriale.

È proprio questa attenzione al dettaglio e alla raffinatezza dei prodotti proposti, che rende questo marchio uno dei preferiti del nostro artigianato. I suoi prodotti sono, infatti, usati dai più grandi marchi di moda del mondo e, quando indossiamo un maglione di cashmere, la probabilità che il filato arrivi proprio da Cagli è altissima.

I processi virtuosi attivati e l'utilizzo delle piante per la produzione di colore, sono state le suggestioni che ci hanno guidato nel concepimento funzionale del progetto, che muove proprio da questi aspetti, caratteristiche predominanti e caratterizzanti di un marchio pioniere dell'industria tessile artigianale di alto livello, fiore all'occhiello del Made in Italy nel mondo.

Anche analizzando la composizione strutturale dei fabbricati: dal calcestruzzo armato gettato in opera con tamponature in muratura dei primi stabili degli anni '50 alle strutture in acciaio reticolare di quelli degli anni '70 e '80, al calcestruzzo armato prefabbricato dei capannoni più recenti, emerge un pezzo della storia italiana sulla progettazione degli opifici industriali.

È significativo notare come, a partire dai sopralluoghi effettuati nel sito, le strutture più antiche siano perfettamente conservate nella loro integrità, pur con tutti gli stravolgimenti apportati dalla necessità di rinnovamento delle tecniche produttive; mentre quelli più recenti riportino delle carenze strutturali critiche e dei danni rilevanti ad alcuni nodi, aggravate dal fatto che non hanno mai subito eventi compromettenti degni di nota.

Soprattutto all'interno dell'edificio "Cariaggi 4", capannone mo-

nopiano prefabbricato costruito intorno al 2003 per contenere spazi a deposito e parte della produzione, sono state rilevate fessurazioni delle travi in corrispondenza dell'appoggio spinottato al pilastro. (Fig. 75)

Ciò fa emergere la vulnerabilità di queste strutture costruite senza criteri di progettazione antisismica e neanche capaci di rispondere efficacemente alle sollecitazioni statiche di esercizio.

Per questo motivo e per le caratteristiche geometriche, che lo rendono compatibile alla tecnologia oggetto della tesi, abbiamo scelto tra tutti lo stabile "Cariaggi 4" per esaudire gli obiettivi posti dal progetto ed analizzare le potenzialità alternative generate dalla progettazione di questa struttura.



Figura 75 _ Fessurazione della trave prefabbricata in corrispondenza del nodo

5.3. Rilievo del capannone “Cariaggi 4”

L'attenzione si sposta dunque sullo stabile “Cariaggi 4”.

Si tratta di un edificio monopiano prefabbricato in calcestruzzo armato della tipologia “travi a I, a telai paralleli” 50x135 cm, tassellate sulla testa di pilastri prefabbricati a forcina 50x50 cm, innestati su fondazioni monolitiche a plinto.

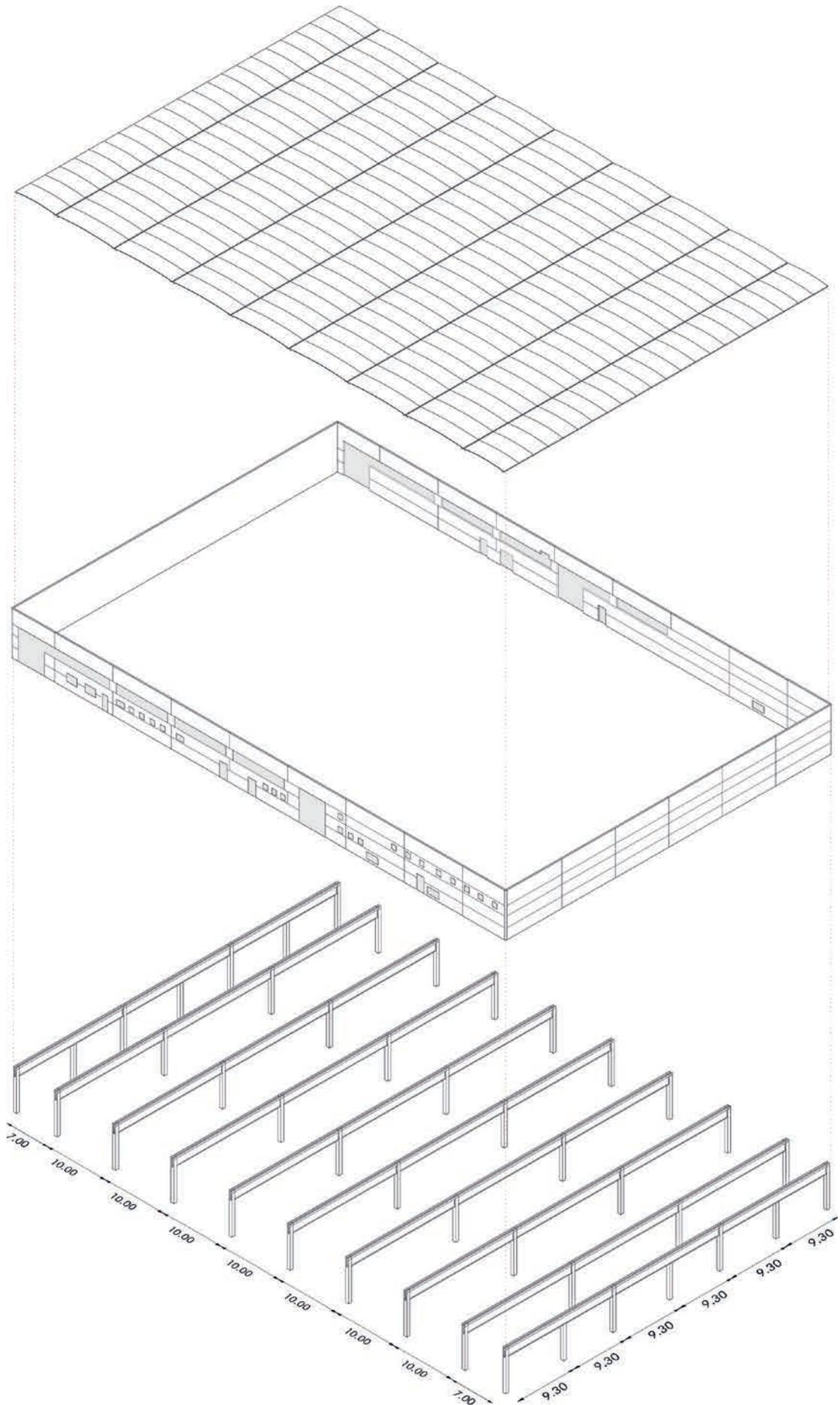
La copertura consiste in tegoli voltati, anch'essi tassellati alle travi, mentre i pannelli di rivestimento sono ancorati a travi e pilastri, strutturali o reggipannello, mediante connessioni meccaniche.

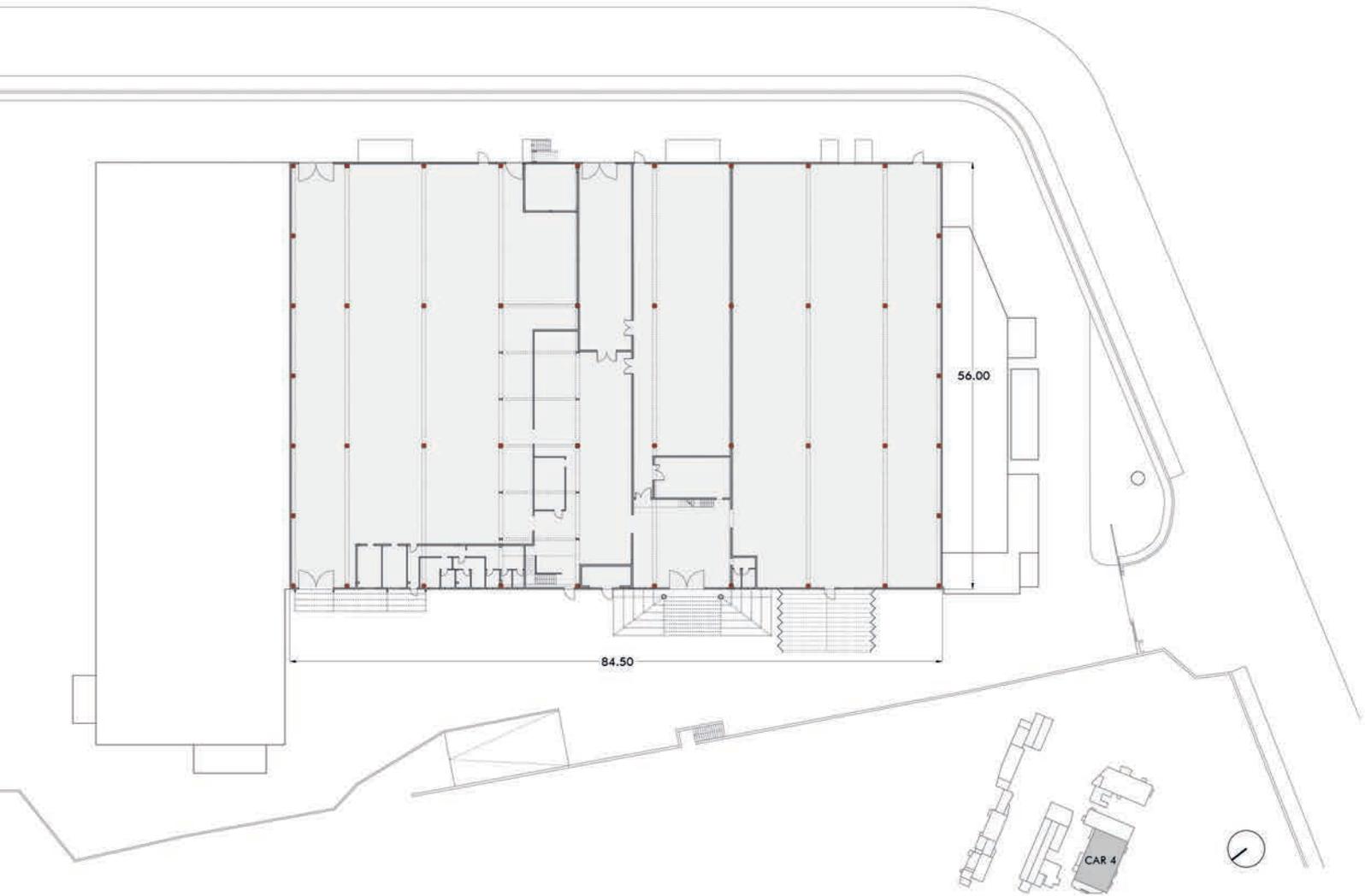
La struttura è costituita di nove campate, di cui le sette centrali, più ampie, hanno un interasse di 10 m, mentre le due finali, da una parte e dall'altra, sono più strette ed hanno un interasse di 7 m.

Le dimensioni complessive in pianta sono di 56x85 m; l'altezza complessiva è di 7,5 m, mentre quella strutturale è di 6.5 m.

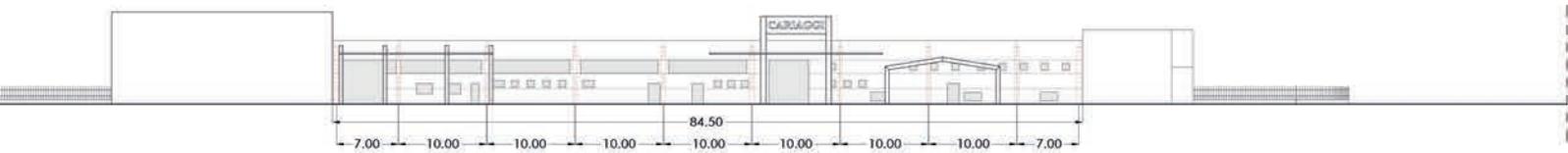
Al suo interno è diviso in 2 ambiti principali: quello a sud ospita una parte della produzione, mentre a nord sono presenti scaffalature a tutta altezza per lo stoccaggio delle merci.

Al centro è diviso da una stanza, che copre tutta la larghezza, pensata per un servizio di mensa, ma poi adibita a deposito per mancanza di spazi necessari.





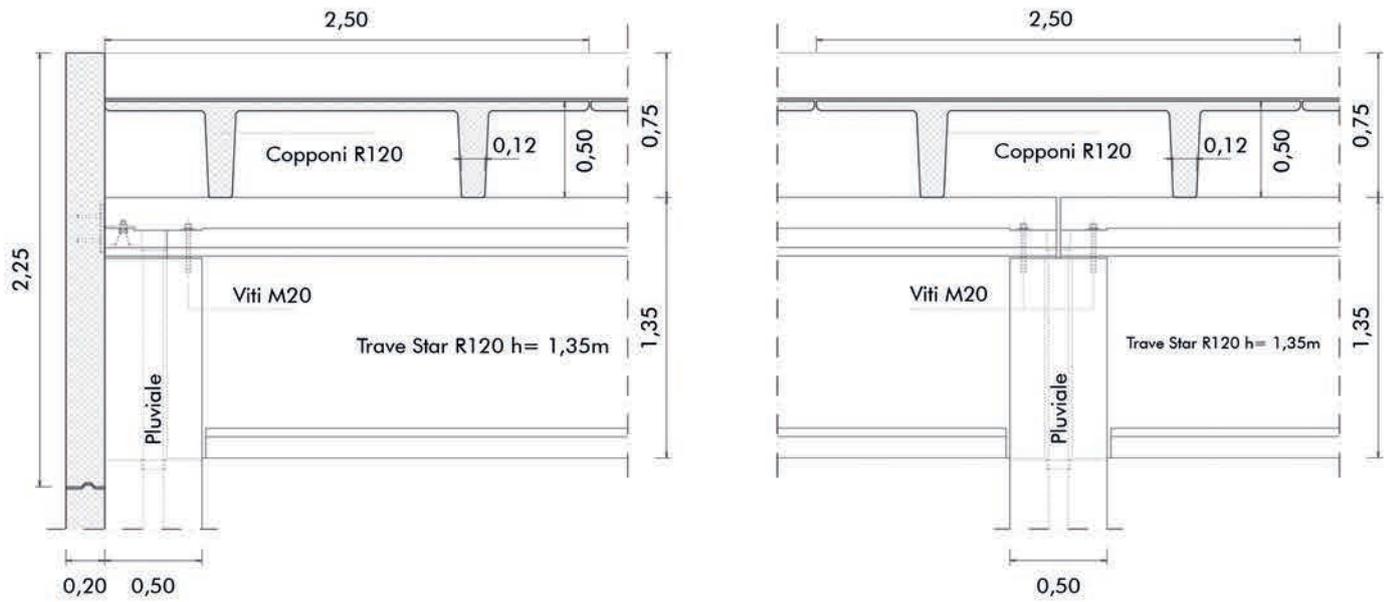
PROSPETTO OVES



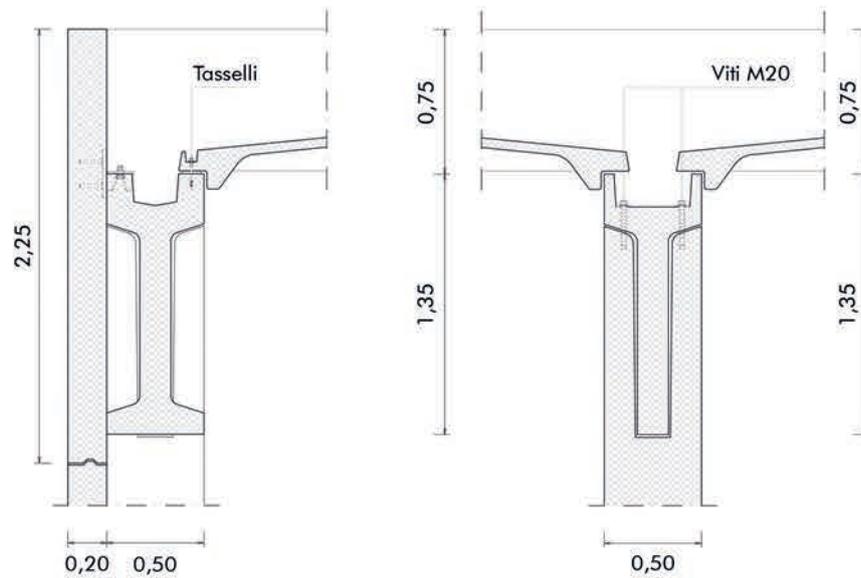
PROSPETTO EST



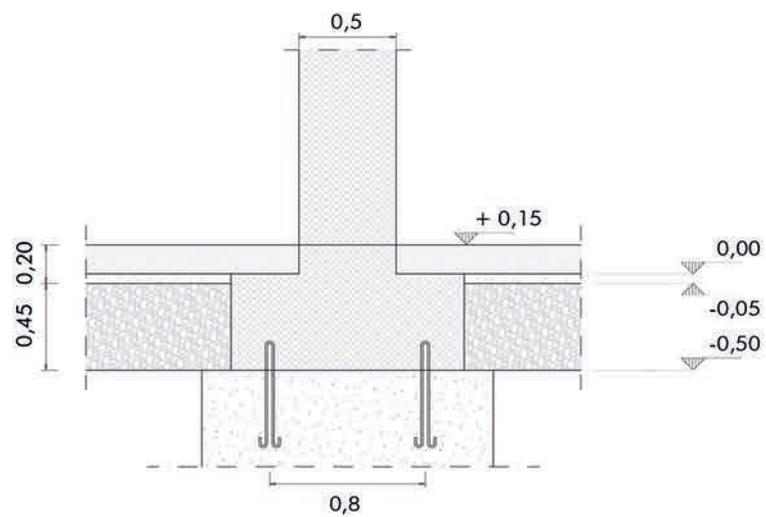
DETTAGLIO DEL SISTEMA DI COPERTURA_PILASTRO DI BORDO E PILASTRO CENTRALE



DETTAGLIO DEL SISTEMA TRAVE-PILASTRO_IN MEZZERIA E AL NODO

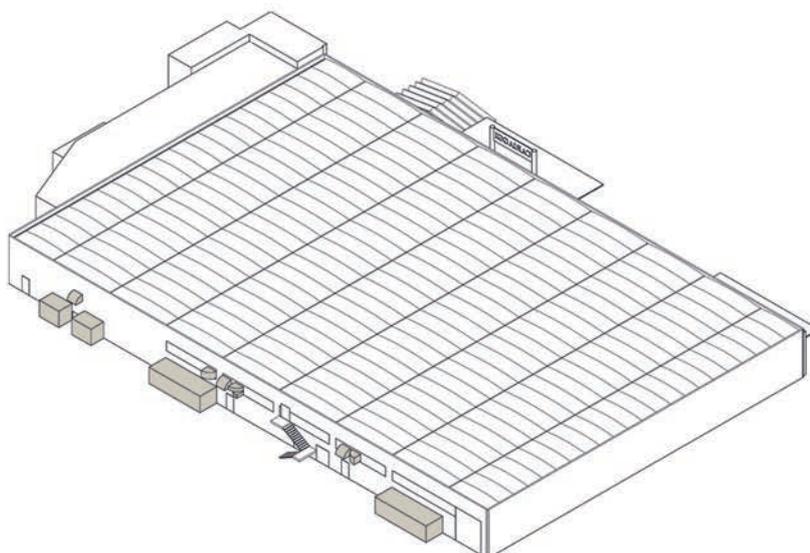
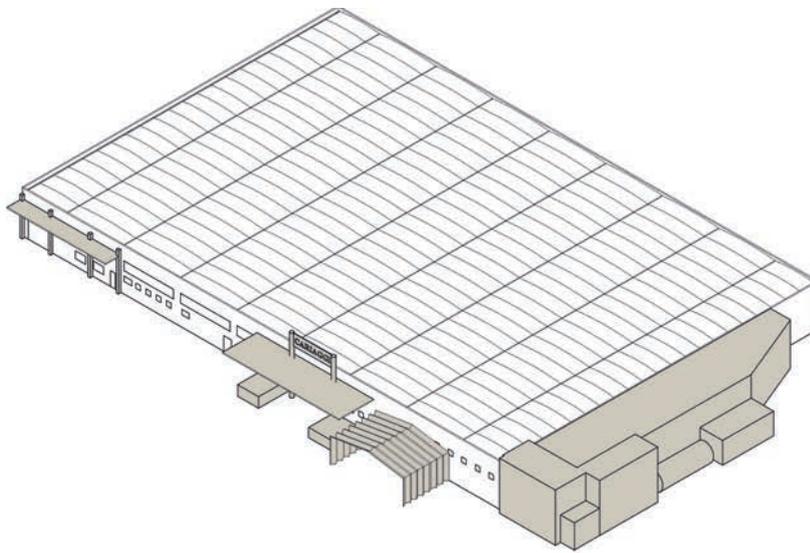


DETTAGLIO DEL SISTEMA A PLINTO GETTATO IN OPERA



L'esterno rispecchia un po' quello che caratterizza l'intero complesso Cariaggi: infatti, come l'azienda è frutto di un'implementazione continua lungo il corso del tempo di edifici che si aggregano l'un l'altro, anche il Cariaggi 4 presenta tutta una serie di volumi addossati che sono sorti anno dopo anno ogni volta che servissero dei nuovi spazi: un deposito, un vano impianti, una tettoia...

Esprimendo un carattere di temporalità ed aggregazione, cifre dell'intero stabilimento.





6. È TUTTA QUESTIONE DI “EQUILIBRIO” TRA INGEGNERIA E ARCHITETTURA

“Il Progetto”

6.1. Non solo un adeguamento sismico

Una volta descritte le condizioni di carenza strutturale dello stabile, valutata la pericolosità sismica del luogo, dichiarato lo stato di vulnerabilità del capannone in questione e ammessa la necessità di un intervento di adeguamento sismico, all'imprenditore si pongono davanti tre principali scenari di intervento:

- investire sul nuovo;
- adeguare secondo i parametri delle NTC 2008;
- adeguare installando "Cinture di sicurezza sismiche".

Investighiamo ora i suddetti scenari rapportandoli al capannone Cariaggi 4 in esame.

Nel primo caso le possibilità a disposizione sono essenzialmente due:

- decidere di abbattere lo stabile vulnerabile per ricostruire nello stesso luogo.

Basandosi su stime di mercato e sul prezzario regionale della Regione Marche il costo di una demolizione vuoto per pieno di uno stabile come quello in esame si aggira attorno ai 20 €/m³, che moltiplicati per il volume lordo ricavato dai valori dimensionali sopracitati e nuovamente diviso per la superficie del fabbricato, restituiscono un costo di circa 150 €/m², al netto del prezzo di trasporto dei materiali di scarto in discarica.

A questi costi vanno poi aggiunti quelli relativi alla ricostruzione del nuovo capannone.

Basandoci sull'investimento affrontato dall'azienda nel 2003 per la realizzazione del Cariaggi 4, compresa di progettazione, impiantistica,

sistemazioni esterne come strade e spiazzi e aree a verde, pari a circa 800 €/m², da aggiornare e aumentare per una progettazione antisismica ; si arriva ad un investimento totale comunque sicuramente maggiore dei 950 €/m² calcolati in maniera forfettaria.

Va da sé che il costo dell'investimento sulla demolizione-ricostruzione risulta molto elevato e, anche se presenta un vantaggio fondamentale (un controllo pressoché totale del progetto da tutti i punti di vista: tecnologico, energetico-ambientale, prestazionale ed architettonico-funzionale) ci sono comunque molti svantaggi di fondo, sia legati a questioni morali di sostenibilità ambientale, come la formazione di elevate quantità di rifiuti da demolizione; sia più tangibili, legati ai costi, come il blocco di quella parte di produzione e la logistica di macchinari e merci stoccate.

- Dismettere il capannone e ricostruirlo altrove.

Nel caso del Lanificio Cariaggi è l'ipotesi meno plausibile, dato che il capannone è stato concepito per essere in stretto collegamento con gli altri, ma comunque il costo sarebbe addirittura superiore a quello precedente, dato che l'acquisto di un nuovo terreno da edificare risulterebbe sicuramente superiore ai 150 €/m² valutati per la demolizione.

La soluzione in questione prevede anche alcuni svantaggi in più, come il consumo di ulteriore suolo e la dismissione del vecchio stabile, che rimarrebbe un inutile peso per il territorio in cui si trova.

L'ipotesi dell'adeguamento secondo le NTC 2008 viene valutata a partire da un'altra tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, con il nome di "Adeguamento sismico di capannoni industriali monopiano", con relatore il Professor Alessandro Pasquale Fantilli, discussa al Politecnico di Torino lo scorso Marzo 2018 dall'allora laureanda Paola Gabriele.

Nella ricerca svolta all'interno di quel lavoro, il costo parametrico al metro quadro per l'intervento di adeguamento, che prevede il consoli-

damento delle fondazioni e la connessione trave-pilastro e trave-tegolo attraverso dissipatori lineari metallici, è di circa 80 €/m², variabili a seconda dello stato del fabbricato, della condizione dei carichi e della praticità nel raggiungimento dei nodi; al netto dei costi di valutazione delle performance dell'edificio e della progettazione, quindi potenzialmente incrementabili.

Sembrerebbe un prezzo imbattibile, ma questa soluzione porta con sé una notevole quantità di svantaggi:

primo tra tutti un prolungato cantiere interno che renderebbe impossibile il normale proseguimento delle attività operative;

spesso i nodi sono difficilmente raggiungibili a causa di macchinari e scaffalature, che vanno rimossi e ripristinati;

il comportamento strutturale complessivo, in campo dinamico, risente fortemente dell'irrigidimento dei nodi (capitolo 2, paragrafo 2.3, "Analisi sulla Norma", pag. 97), non è dunque certa l'effettiva validità dell'intervento perché, seppure correttamente progettato, alcuni elementi potrebbero comunque collassare a seguito di eventi particolarmente distruttivi;

ammettendo che si riesca a garantire la sicurezza di macchinari, merci e operai, non si può in nessun modo garantire l'incolumità totale degli elementi strutturali, quindi è molto probabile che debbano essere ricostituite alcune parti a seguito di un importante evento sismico e comunque i connettori vanno sostituiti ogni volta;

non lascia nessuna possibilità di miglioramento del valore architettonico del fabbricato;

non è possibile sfruttare l'adeguamento per implementare tecnologie diverse.

L'investimento, seppur contenuto, risulta dunque un sistema chiuso e limitato al solo adeguamento sismico, mentre la sua logica econo-

mica impone una struttura aperta, flessibile nel tempo, in grado di generare ricchezza, qualità e processi virtuosi di beneficio per l'immagine e l'operatività dell'azienda.

Visti in quest'ottica, i vantaggi del basso costo dell'investimento vengono dunque annullati.

È per questo che decidere di investire su un sistema come "Cinture di sicurezza sismiche" risulterebbe la scelta più lungimirante possibile.

Una stima dei costi effettuata, prendendo 5 €/kg come prezzo parametrico dell'acciaio da carpenteria, sul progetto studiato per il Lanificio Cariaggi, che verrà analizzato nello specifico nel capitolo successivo, fissa il prezzo del solo adeguamento intorno ai 250 €/m².

Il costo risulta dunque un quarto circa dello scenario sulla nuova costruzione e, anche se supera di più del doppio quello sull'adeguamento tradizionale NTC 2008, ha in sé una serie di vantaggi che lo posizionano al primo posto per convenienza rispetto alle altre ipotesi.

Innanzitutto si tratta di una tecnologia in grado di garantire la totale certezza di sicurezza per i valori esposti, per la salvaguardia delle vite umane e per l'integrità degli elementi strutturali; a parte un piccolissimo lavoro interno per la realizzazione di un diaframma rigido di copertura, il cantiere viene totalmente sviluppato all'esterno del fabbricato, assicurando il corretto svolgimento delle attività operative dell'azienda e annullando i costi derivanti dal fermo della produzione.

Il vantaggio più importante della tecnologia in questione è il fatto che non si tratta solo di un adeguamento sismico.

Il progetto di una tale struttura non può infatti solo garantire un efficace comportamento strutturale della preesistenza, ma deve al contempo esplorare tutte le possibilità generate in termini di nuovi spazi e quindi funzioni a disposizione dell'azienda, della possibilità di innestare tecnologie e sistemi che possano favorire la performance e l'utilizzo

dell'esistente e, in ultimo, restituire una qualità architettonica troppo spesso lasciata ai margini nei progetti in questo settore.

Effettuando un investimento mediamente contenuto, comunque assolutamente non paragonabile con lo sforzo economico per costruire da zero, il risultato ottenuto unisce sia i vantaggi del miglioramento del rischio sismico, sia i vantaggi della costruzione ex-novo, in un'unica soluzione che non consuma ulteriore suolo, non genera detriti, non interferisce con le attività aziendali; una volta dismesso, la quasi totalità del materiale utilizzato è completamente riciclabile, riutilizzabile o rivendibile.

Si tratta dunque di un sistema di investimento aperto, flessibile ed implementabile nel corso del tempo, in linea con le necessità dell'azienda, attento alle tematiche di sostenibilità ambientale; nel quale si possono implementare funzioni atte a migliorare le performance del sistema azienda, io ottica di welfare aziendale, di qualità architettonica, di qualità paesaggistica, di qualità del lavoro e di immagine.

6.2. Progetto strutturale

Come già accennato al paragrafo 3.2, la progettazione della struttura per l'adeguamento sismico parte dal considerare i sistemi strallati con cavi inclinati fuori dal piano trasversale, o che giacciono sul piano, come i più performanti, soprattutto per relazionarsi ad una luce così grande come quella del Cariaggi 4 , ben 56 metri.

Il progetto della struttura parte dunque dalla definizione di un diaframma rigido di copertura, realizzato connettendo i vari elementi (le travature a I ed i tegoli voltati) tra di loro attraverso opportune tassellature e con un ordine di putrelle, due per campata trasversale, mediante piastre con bulloni passanti e spessori in acciaio che riempiano gli scanzi delle travature prefabbricate. Il peso totale della copertura del capannone risulterà dunque pari a $2,22 \text{ KN/m}^2$.

Questa azione è rivolta ad evitare la formazione di spostamenti differenziali tra i vari elementi sotto l'azione dinamica. (Fig. 75)

Alle putrelle verranno poi agganciati i trefoli in acciaio i quali, fatti convergere agli spigoli del portale reticolare, andranno ad isolare la copertura dal sistema strutturale inferiore. (Figura 76)

Il progetto dimensionale di pilastri e trave del portale reticolare, pari a 2,5 m in direzione normale al prospetto e 65 cm nell'altro senso, si muove dalla disposizione in facciata degli accessi allo stabile: tre delle quattro porte di ingresso merci del capannone, infatti, che devono essere lasciate sgombre da ogni impedimento frontale, sono molto vicine alle pilastrate corrispondenti, rendendo la geometria in pianta del modulo reticolare rettangolare. (Fig. 77)



Figura 75 _ Creazione del piano rigido

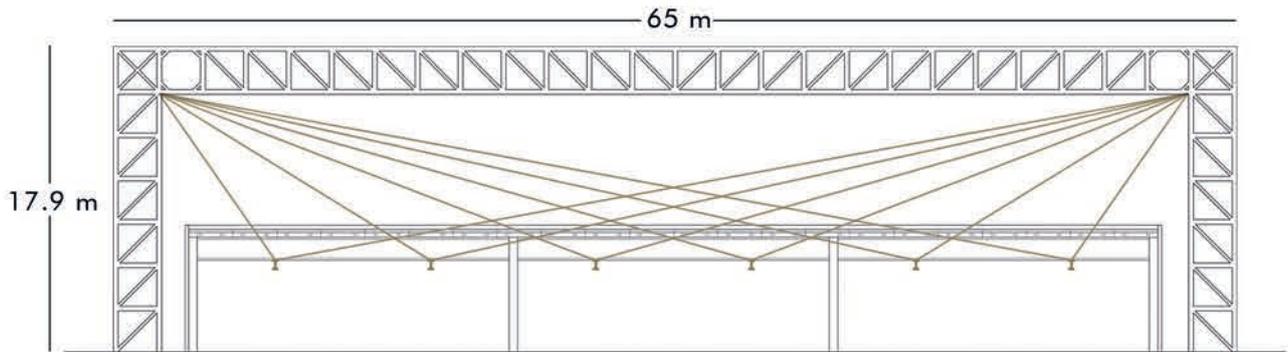


Figura 76 _ Isolamento strutturale della copertura del capannone

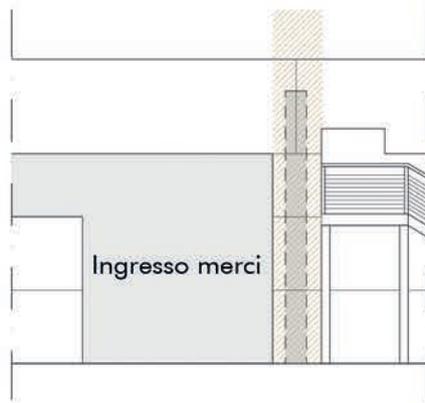


Figura 77 _ Dimensionamento del portale reticolare

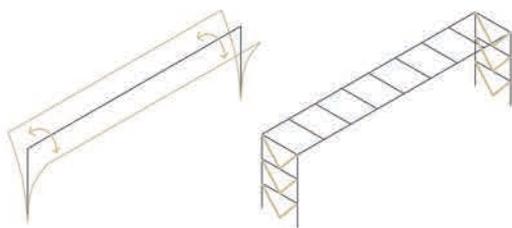


Figura 78 _ Controventi

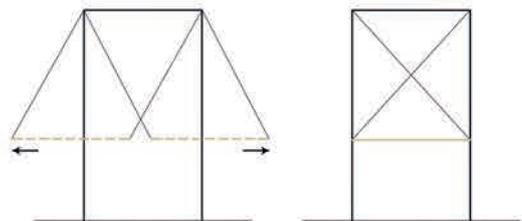


Figura 79 _ Stralli fuori dal piano

Questo aspetto determina una variazione degli assi di inerzia, rendendo il sistema instabile. Sarà dunque necessario controventare adeguatamente la struttura, in modo da generare un comportamento scatolare stabile. (Fig. 78)

L'utilizzo di un ordine di stralli agenti soltanto nel piano trasversale, determina degli spostamenti importanti del piano rigido ed innesca di un meccanismo ad "altalena" molto significativo. Diventa dunque necessario utilizzare anche un altro sistema di stralli fuori piano che riescano a contrastare questo fenomeno. (Fig. 79)

In questo sistema la distribuzione degli sforzi segue la regola di scomposizione del vettore forza, risultante delle sollecitazioni di trazione agenti sulle funi.

Agendo sui nodi del portale reticolare, infatti, i cavi trasferiscono le sollecitazioni, sotto forma di sforzo normale, suddivise tra il pilastro e la trave in maniera proporzionale all'inclinazione del vettore risultante dei cavi stessi. (Fig. 80)

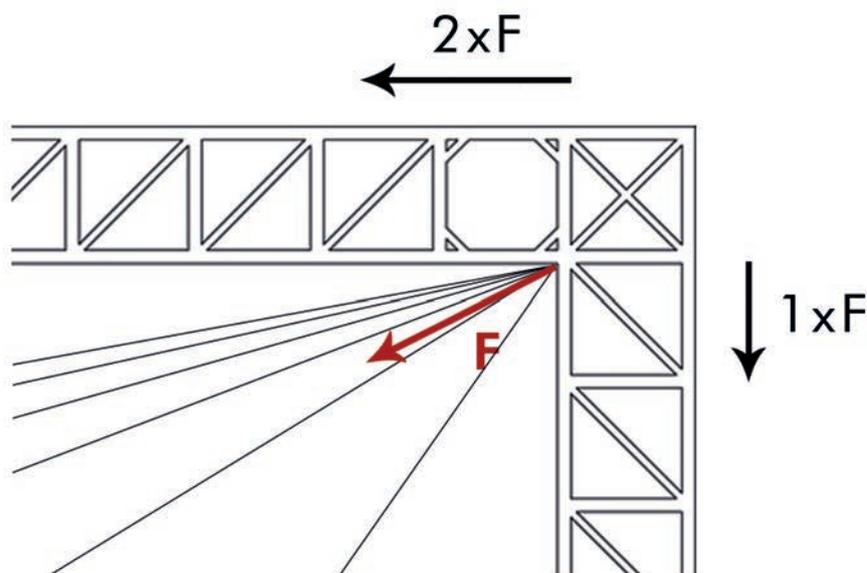


Figura 80 _ Scomposizione delle forze agenti sul portale

6.2.1. Modellazione

La modellazione è stata fatta con la modalità spaziale del software di calcolo strutturale CDSWin di STS Web.

La copertura del capannone esistente è stata estrapolata dal contesto e definita come un piano sospeso libero, ancorato al portale tramite semplici tondini in acciaio (CDS non dà la possibilità di modellare i trefoli, le verifiche che li riguardano sono pertanto non veritiere).

Per la definizione dei carichi sono state utilizzate travi a sezione rettangolare aventi lo stesso peso lineare di quelle reali, caricate poi in modo opportuno con sovraccarichi permanenti, accidentali e carico neve.

I carichi considerati, ottenuti dagli esecutivi strutturali del capannone, sono i seguenti:

	f
Peso proprio	222 Kg/mq
Permanenti	15 Kg/mq
Accidentali	133 Kg/mq
Neve	150 Kg/mq
	tot 520 Kg/mq

Si è passati poi alla definizione dei parametri sismici in base alle caratteristiche del fabbricato e alla zona in cui è contestualizzato:

Vita nominale	>= 50 anni	Opere ordinarie di importanza
Classe d'uso	II	Industrie con attività non pericolose per l'ambiente e con normali affollamenti

CARATTERISTICHE DEL SITO

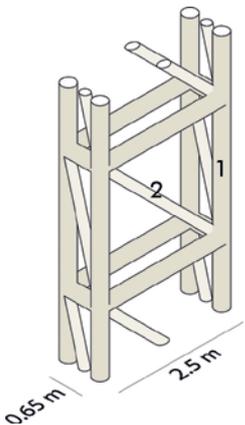
Longitudine	12,67192	
Latitudine	43,58264	
Categ. Suolo	B	Suolo di fondazione: rocce tenere

Procedendo alla modellazione sono state utilizzate le seguenti condizioni vincolari:

- **vincoli interni** (dei correnti della reticolare, dei cavi e dei controventi): CERNIERE FLESSIONALI;
- **vincoli esterni** (fondazioni): INCASTRI

Le sezioni sono state definite in base alle verifiche effettuate su un pre-dimensionamento, svolto considerando i carichi sopracitati e la distribuzione degli sforzi secondo i principi suddetti.

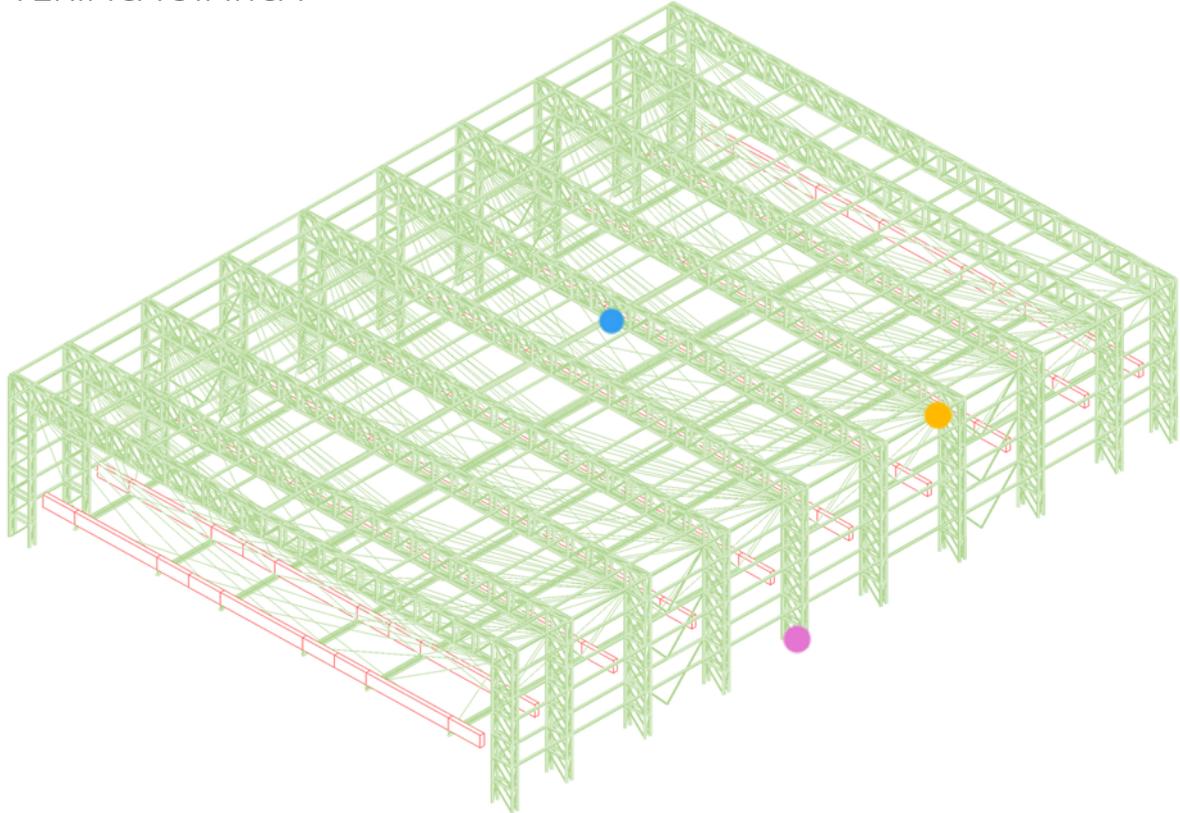
I profili utilizzati sono dunque i seguenti, considerando un acciaio del tipo S355:



	dimensioni (mm)	peso (Kg/m)	area (cm ²)
○ 1-Correnti principali	273x4	26,70	33,80
○ 2-Correnti secondari e	168,3x4	16,30	20,60
I 3-Putrelle_IPE 600	220X600	122	156

Materiale utilizzato: **Acciaio 355**

VERIFICA STATICA



COMBINAZIONI DI CARICHI STATICI

	1	2
1. PESO PROPRIO	1.30	1.30
2. SOVRACCARICO PERMAN.	1.50	1.50
3. Var.Neve h<=1000	.75	1.50
4. Var.Coperture	1.50	0.00
5. COEFF. SIGMA PROFILI	1.00	1.00

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Sez. N. 1077	533	15,00		2	-109594	0	0	0	0	0	197765	7468	7468	72694	72694	14807	3381	55
sez. 273x4	qn=	-46		2	-109594	0	0	0	0	0	197765	7468	7468	72694	72694	14807	3381	55
Asta: 3739	544	15,00		2	-109594	0	0	0	0	0	197765	7468	7468	72694	72694	14807	3381	55
Instab. l=	242,9				-109594	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=25	Rpf=57	Rft=0	Wmax/rel/lim=14,6		0,0		9,7	mm

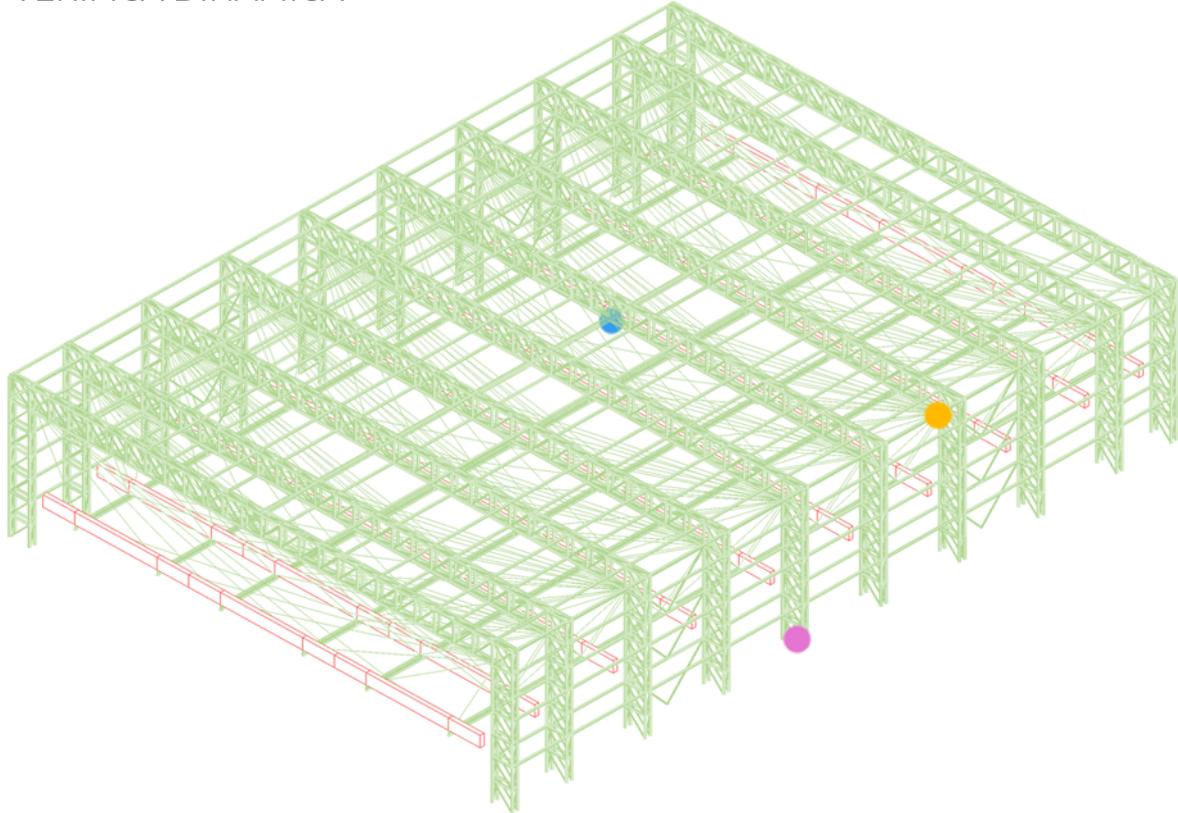
● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Sez. N. 1077	310	2,50		2	-71369	0	0	0	0	0	197765	10705	10705	72694	72694	14807	3381	36
sez. 273x4	qn=	0		2	-71443	0	0	0	0	0	197765	10699	10699	72694	72694	14807	3381	36
Asta: 2110	310	0,00		2	-71518	0	0	0	0	0	197765	10692	10692	72694	72694	14807	3381	36
Instab. l=	250,0				-71518	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=26	Rpf=37	Rft=0	Wmax/rel/lim= 3,7		0,0		10	mm

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Sez. N. 1077	412	15,00		2	-88628	0	0	0	0	0	197765	9243	9243	72694	72694	14807	3381	45
sez. 273x4	qn=	-46		2	-88628	0	0	0	0	0	197765	9243	9243	72694	72694	14807	3381	45
Asta: 2711	414	15,00		2	-88628	0	0	0	0	0	197765	9243	9243	72694	72694	14807	3381	45
Instab. l=	242,9				-88628	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=25	Rpf=47	Rft=0	Wmax/rel/lim= 92,9		0,0		9,7	mm

VERIFICA DINAMICA



COMBINAZIONI DI CARICHI DINAMICI

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
1. PESO PROPRIO	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2. SOVRACCARICO FREMAN.	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3. Var. Nave h=1000	.75	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4. Var. Copertura	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5. Corr. Tors. dir. 0	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6. Corr. Tors. dir. 90	0.00	0.00	.30	.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30
7. Sisma direz. grd 0	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8. Sisma direz. grd 90	0.00	0.00	.30	.30	.30	.30	-.30	-.30	-.30	-.30	.30	.30	.30	.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30	-.30
9. COEFF. SIGMA PROFILI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Sez. N. 1077	533	15,00		2	-189192	0	0	0	0	0	197765	726	726	72694	72694	14807	3381	96
sez. 273x4	qn=	-46		2	-189192	0	0	0	0	0	197765	726	726	72694	72694	14807	3381	96
Asta: 3739	544	15,00		2	-189192	0	0	0	0	0	197765	726	726	72694	72694	14807	3381	96
Instab. l=	242,9	Bxl=242,9			-189192	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=25	Rpf=99	Rft=0		Wmax/rel/lim= 13,7	0,0		9,7	mm

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Sez. N. 1077	310	2,50		34	-126013	0	0	0	0	0	197765	6077	6077	72694	72694	14807	3381	64
sez. 273x4	qn=	0		34	-126013	0	0	0	0	0	197765	6077	6077	72694	72694	14807	3381	64
Asta: 2110	310	0,00		34	-126013	0	0	0	0	0	197765	6077	6077	72694	72694	14807	3381	64
Instab. l=	250	Bxl=250			-126013	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=26	Rpf=66	Rft=0		Wmax/rel/lim= 3,7	0,0		10,0	mm

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Sez. N. 1077	412	15,00		2	-88628	0	0	0	0	0	197765	9243	9243	72694	72694	14807	3381	45
sez. 273x4	qn=	-46		2	-88628	0	0	0	0	0	197765	9243	9243	72694	72694	14807	3381	45
Asta: 2711	414	15,00		2	-88628	0	0	0	0	0	197765	9243	9243	72694	72694	14807	3381	45
Instab. l=	242,9	Bxl=242,9			-88628	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=25	Rpf=47	Rft=0		Wmax/rel/lim= 92,9	0,0		9,7	mm

6.2.2. Analisi sui costi

Una stima approssimativa dei costi per la realizzazione della sola struttura di adeguamento sismico risulta ora di semplice definizione.

Note le dimensioni geometriche delle sezioni e la lunghezza dei vari elementi, si procede moltiplicando la lunghezza totale dei correnti, suddivisi per tipologia, per il peso unitario al metro (ricavato dal database "Oppo", noto produttore di articoli per la carpenteria, al sito <https://www.oppo.it/tabelle/profilati-tubi-circ.htm>).

Una volta ottenuto il peso totale della struttura, si procede moltiplicandolo per il costo dell'acciaio al Kg, preso pari a 5 €/Kg (prezzo che comprende il trasporto del materiale in cantiere, la preparazione dello stesso, la manodopera per il montaggio della struttura, e il noleggio di eventuali macchinari necessari al montaggio).

La stima dei costi risulta dunque la seguente:

	Kg/m	m TOT.	Kg
273.0 x 4 mm	26.7	6900.85	184252.7
168.3 x 4 mm	16.3	3801.77	61968.85
Peso TOT.			246221.55

$$246221.55 \text{ Kg} \times 5 \text{ €/kg} = 1231107.75 \text{ €} \quad _ \quad 1231107.75 \text{ €} / 4735 \text{ m}^2 = \mathbf{260 \text{ €/m}^2}$$

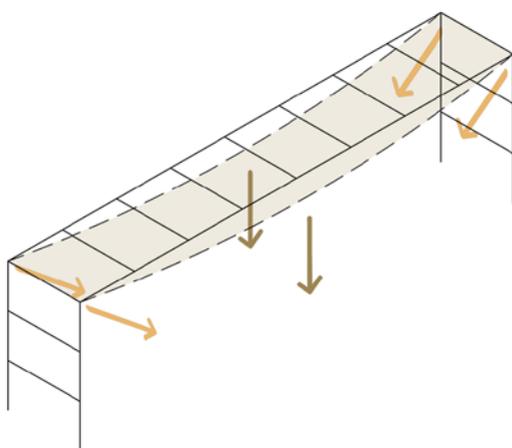
Verranno poi trattati i costi parametrici relativi alle funzioni al termine del progetto architettonico, al paragrafo 7.3.3 "Analisi sui costi"

6.2.3. Implementazione delle funzioni

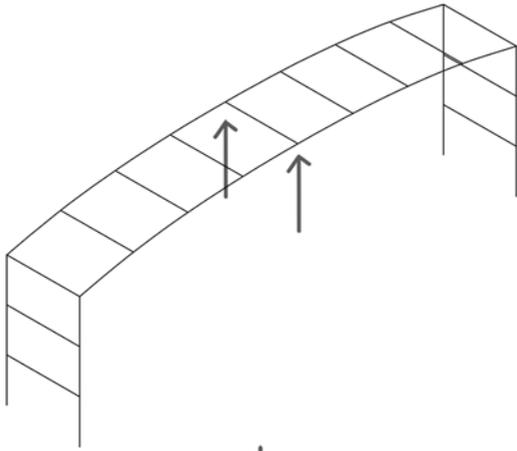
Dalle verifiche risulta chiaro che il comportamento della struttura, così come progettata, in relazione ai vincoli contestuali allo stabile, risulta soddisfacente.

La configurazione degli sforzi sembra però non adatta ad implementare la struttura con ulteriori carichi, i valori di sforzo degli elementi più carichi (in mezzeria della trave, in corrispondenza dei nodi di raccolta dei cavi e alla base dei pilastri) risultano infatti adatti alle condizioni di carico utilizzate, ma non ulteriormente incrementabili.

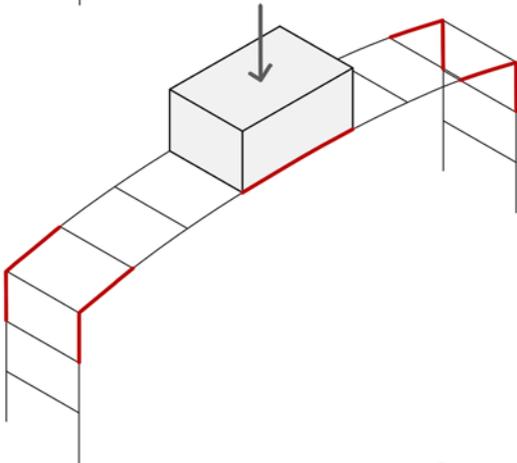
Come si può agire dunque per permettere l'aggiunta di carichi derivanti da nuove funzioni sulla struttura, senza dover concepirne una ad hoc, aumentando le sezioni e quindi il peso, di conseguenza il costo?



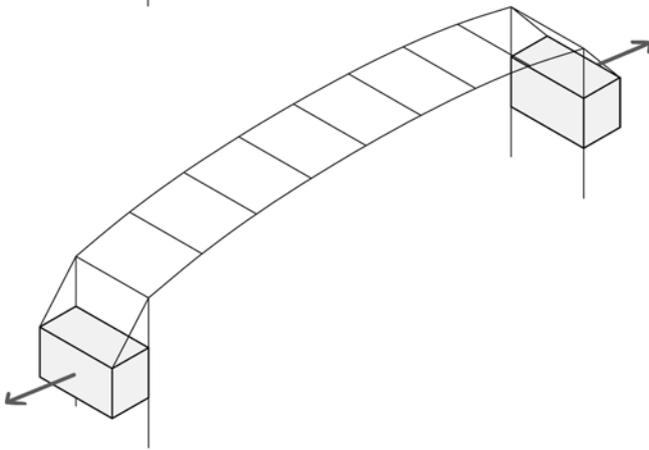
1_FORZE AGENTI E
DEFORMATA STATICA



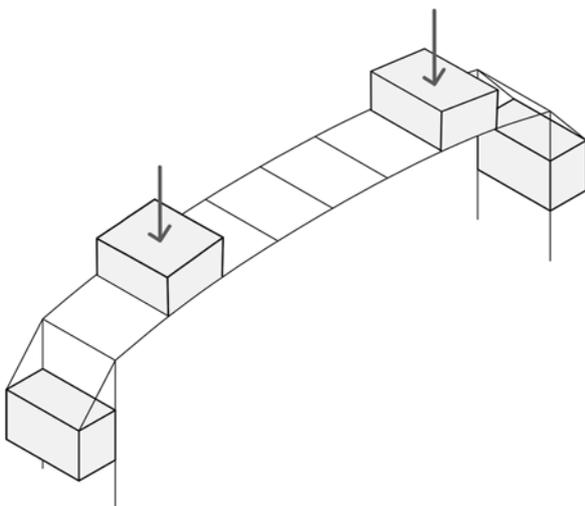
2_ INFLESSIONE DELLA TRAVE



3_ IMPOSSIBILITA' DI INSERIRE PESI SIGNIFICATIVI IN MEZZERIA



4_ INSERIMENTO DI SISTEMI DI CONTRAPPESO



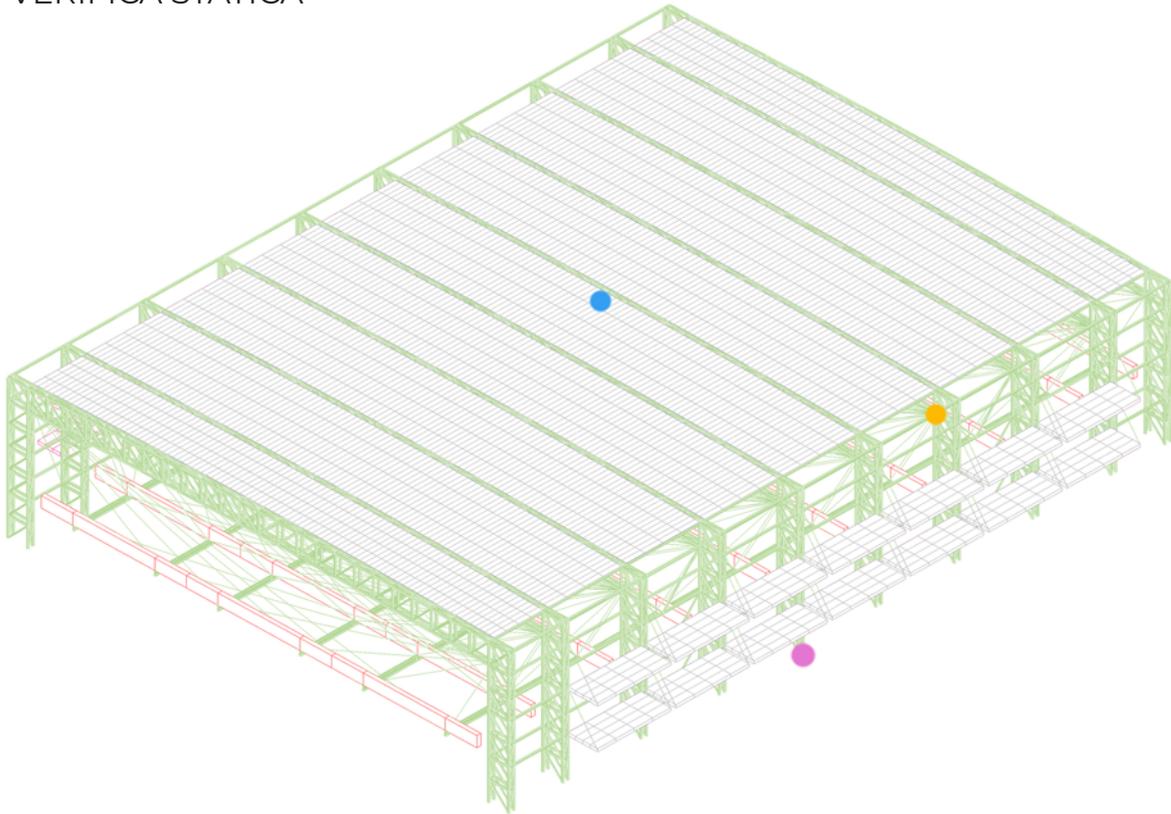
5_ SISTEMA DI PESI DELOCALIZZATI

Per garantire un'elevata flessibilità nella progettazione architettonica delle funzioni e considerare la possibile implementazione delle stesse nel corso del tempo, si è proceduto definendo delle aree all'interno della struttura in cui vengono dati dei valori massimi di possibile aggiunta di carichi ulteriori.

Sulla base di prove effettuate sul modello risultano pari ad un massimo 10 KN/m^2 i carichi aggiuntivi accettabili per le fasce esterne della copertura (fino ad un limite di due campate, oltre il quale lo sforzo risulta deleterio per la mezzeria) considerando identico il carico che agisce sulle mensole di tiro laterali. E di un massimo di 4 KN/m^2 per le quattro campate centrali, che risentono già fortemente stressate delle grandi sollecitazioni del sistema.

Le verifiche che confermano queste indicazioni sono le seguenti:

VERIFICA STATICA



COMBINAZIONI DI CARICHI STATICI

	1	2
1. PESO PROPRIO	1.30	1.30
2. SOVRACCARICO PERMAN.	1.50	1.50
3. Var.Neve h<=1000	.75	1.50
4. Var.Coperture	1.50	0.00
5. COEFF. SIGMA PROFILI	1.00	1.00

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Nover. sez. 273x4	533	15,00		2	-187562	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	203
Asta: 3739	544	15,07		2	-187562	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	203
Instab. l= 243,0		Bxl=243,0			-187562	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=25	Rpf=210	Rft=0	Wmax/rel/lim=53,4		0,0		9,7mm	

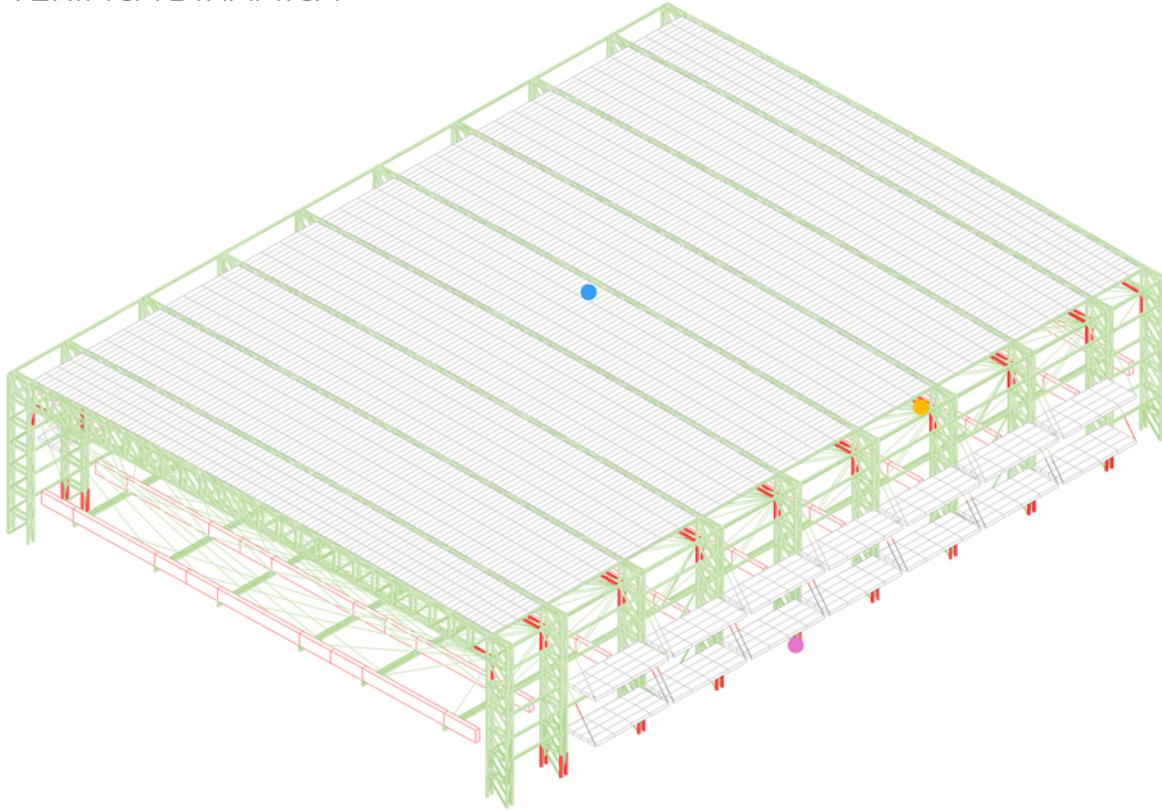
● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Nover. sez. 273x4	310	2,50		2	-195365	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	125
Asta: 2110	310	0,00		2	-195365	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	125
Instab. l= 250,0		Bxl=250,0			-195365	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=26	Rpf=129	Rft=0	Wmax/rel/lim=10,9		0,0		10,0mm	

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxpl Rd (Kg)	Vypl Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cm ²)	Rap %
Nover. sez. 273x4	412	15,45		2	-192230	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	129
Asta: 2711	414	15,45		2	-192230	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	129
Instab. l= 242,9		Bxl=242,9			-192230	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=0	Rpf=0	Rft=0	Wmax/rel/lim= 311,2		0,0		9,7 mm	

VERIFICA DINAMICA



COMBINAZIONI DI CARICHI DINAMICI

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
1. PESO PROPRIO	1,30	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
2. SOVRACCARICO FREMMA	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
3. Var. Neve h<=1000	0,75	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4. Var. Coperture	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5. Corr. Tors. dir. 0	0,00	0,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00	-1,00	1,00
6. Corr. Tors. dir. 90	0,00	0,00	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30
7. Sigma diraz. grad 0	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
8. Sigma diraz. grad 90	0,00	0,00	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30
9. CORFF. SIGMA PROFILI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxp Rd (Kg)	Vyp Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cmq)	Rap %
Nover.	533	15,00		2	-265892	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	79
sez. 273x4	qn=	-52		2	-265892	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	79
Asta: 3739	544	15,07		2	-265892	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	79
Instab. l= 243	Bxl=243				-265892	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=25	Rpf=81	Rft=0	Wmax/rel/lim= 128,7		0,0		9,7	

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxp Rd (Kg)	Vyp Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cmq)	Rap %
Nover.	310	2,50		2	-269853	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	56
sez. 273x4	qn=	0		2	-269853	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	56
Asta: 2110	310	0,00		2	-269853	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	56
Instab. l= 250,0	Bxl=250,0				-269853	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=26	Rpf=47	Rft=0	Wmax/rel/lim= 2,8		0,0	10,0 mm		

● STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (Kg)	Mx Sd (Kgxm)	My Sd (Kgxm)	Vx Sd (Kg)	Vy Sd (Kg)	T Sd (Kgxm)	N Rd (Kg)	MxV. Rd (Kgxm)	MyV. Rd (Kgxm)	Vxp Rd (Kg)	Vyp Rd (Kg)	T Rd (Kgxm)	fy rid (Kg/cmq)	Rap %
Nover.	412	15,45		2	-221563	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	99
sez. 273x4	qn=	-52		2	-221563	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	99
Asta: 2711	414	15,45		2	-221563	0	0	0	0	0	225168	4072	4072	82767	82767	16736	3381	99
Instab. l= 242,9	Bxl=242,9				-221563	0	0	c1=2	e=0,81	lmd=0	Rpf=0	Rft=0	Wmax/rel/lim= 290,4		0,0	9,7 mm		

In conclusione il comportamento della struttura, attraverso gli stratagemmi adottati per aumentarne i carichi, risulta comunque accettabile senza modificare la sua costituzione in maniera significativa, saranno soltanto necessari dei piccoli interventi di rinforzo locale di alcuni correnti, per garantire il soddisfacimento delle verifiche.

6.3. Progetto architettonico

Sulla base di ciò che risulta dalle verifiche strutturali sul sistema, il criterio che ci si è posti per la definizione degli spazi generati, parte proprio dalle considerazioni sulle possibili distribuzioni dei carichi che agiranno sui lati e sulla copertura dell'impianto reticolare.

Questi vanno a definire degli ambiti precisi di sviluppo delle sovrastrutture e le funzioni verranno dunque poste principalmente sulle mensole di tiro agenti sui lati del sistema e sulle due fasce esterne della copertura.

L'approccio che è stato considerato per la definizione di queste funzioni, sia dal punto di vista tecnologico-formale, sia dal lato compositivo globale, è stato quello della temporalità e del possibile incremento/decremento, nel corso del tempo, traendo spunto dai caratteri distintivi dell'espansione dell'azienda che, con un'ottica per parti, ha sviluppato le sue appendici un maniera stratificata e funzionale, anche senza una precisa progettazione.

La composizione della pianta delle coperture, infatti, segue un principio modulare che, partendo dalle dimensioni geometriche del parallelepipedo reticolare di base, scandisce lo spazio e ne determina le dinamiche di giustapposizione dei vari elementi. Questa modularità è stata realizzata con una serie di travi di solaio, trasversali allo sviluppo dei portali reticolari, su cui andranno a connettersi tutti gli elementi al di sopra.

Nelle facciate, invece, i caratteri compositivi ed il concetto di temporalità, vengono determinati dai moduli strutturali in altezza, agendo

in continuità con il profilo lineare del portale.

Anche per quanto riguarda gli aspetti funzionali, le suggestioni sono arrivate direttamente dall'azienda stessa.

A partire dall'attenzione sullo sviluppo di processi sostenibili e il più possibile naturali, come la colorazione dei tessuti con estratti delle piante; alla collaborazione con le università del territorio, per la ricerca sulle nuove tecnologie; al welfare aziendale; all'incremento di sapazi amministrativi, d'ufficio, e di lavoro condiviso; al miglioramento della percezione del luogo di lavoro e della sua qualità sensibile ed ambientale; al rapporto con clienti e fornitori, che arrivano da tutte le parti del mondo.

Gran parte degli spazi, infatti sono occupati dalla ricerca scientifica sulle tecniche di colorazione naturale dei prodotti, prevedendo vasche di piantumazione sperimentale delle specie vegetali da cui estrarre i pigmenti e relativi laboratori chimici e tintoriali, con rispettivi spazi di essiccazione dei prodotti indoor e outdoor e di deposito, nonché spazi per per la gestione delle vasche e dell'irrigazione.

Sono state previste anche funzioni di ristoro e svago dei dipendenti, spazi ad ufficio (disposti sulle mensole della facciata interna alla proprietà), una showroom dei prodotti, sale riunione e sale conferenze, per incentivare la collaborazione con le università e gli enti di ricerca.

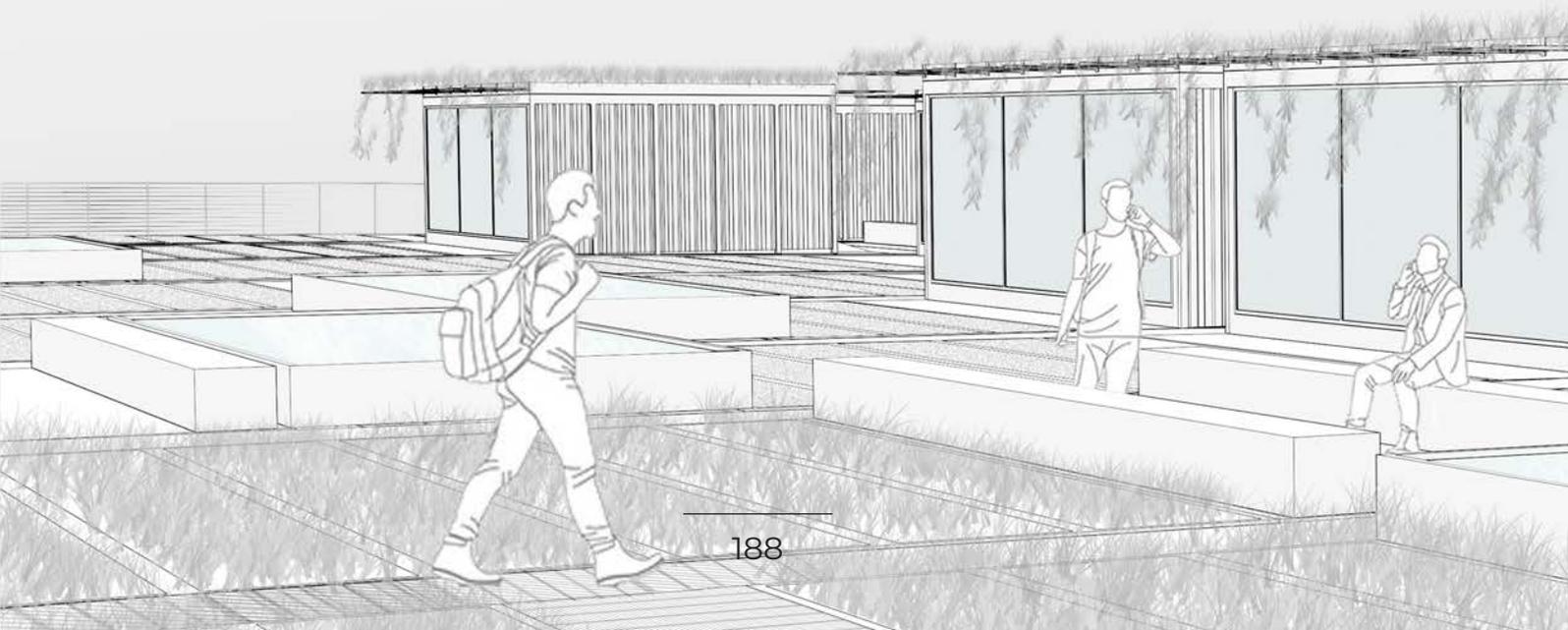
Le funzioni seguono anche un principio tecnico di ottimizzazione delle prestazioni sia dei nuovi spazi che del capannone preesistente, raccogliendo gran parte delle appendici, prima brutalmente addossate allo stabile, all'interno di ambiti precisi e riconoscibili, concepiti come volumi virtuali al livello terra della struttura e sulle mensole del lato fiume, ottimizzando gli spazi esteni, già fortemente ridotti dalla realizzazione dell'intervento.

Lo spessore strutturale della copertura, avendo un'altezza utile considerevole, è stato, infine, concepito come spazio tecnico di servizio

alle funzioni sovrastanti, prevedendo l'alloggiamento degli impianti di riscaldamento/raffrescamento, trattamento aria, idraulici e di pompaggio delle acque per l'irrigazione delle vasche a verde.

Gli organismi di distribuzione, verticale ed orizzontale, altro nodo cruciale nella definizione del progetto, sono stati organizzati negli spazi di risulta della struttura e tra struttura e capannone: la distribuzione verticale è stata pensata all'interno dello spessore delle campate tra i pilasti, in modo da non ostacolare gli accessi al capannone e di avere una giusta distribuzione delle vie di fuga in copertura; quella orizzontale invece sfrutta le intercapedini tra la struttura ed il capannone e si dilunga lungo tutti gli elementi strutturali laterali e di copertura, in modo da renderli tutti raggiungibili ed ispezionabili, garantendo la semplice accessibilità a tutte le funzioni.

Il criterio utilizzato per la definizione di tutta la tecnologia dell'intervento è stato rivolto alla semplicità, privilegiando il più possibile un montaggio agile e senza l'utilizzo di macchinari troppo ingombranti e costosi per la realizzazione, sia per quanto riguarda la struttura principale (privilegiando l'unione bullonata di elementi preformati, piuttosto che la saldatura), sia per quanto riguarda i moduli funzionali, le vasche di verde e di irrigazione e le varie superfici pavimentate che determinano la distribuzione totale.



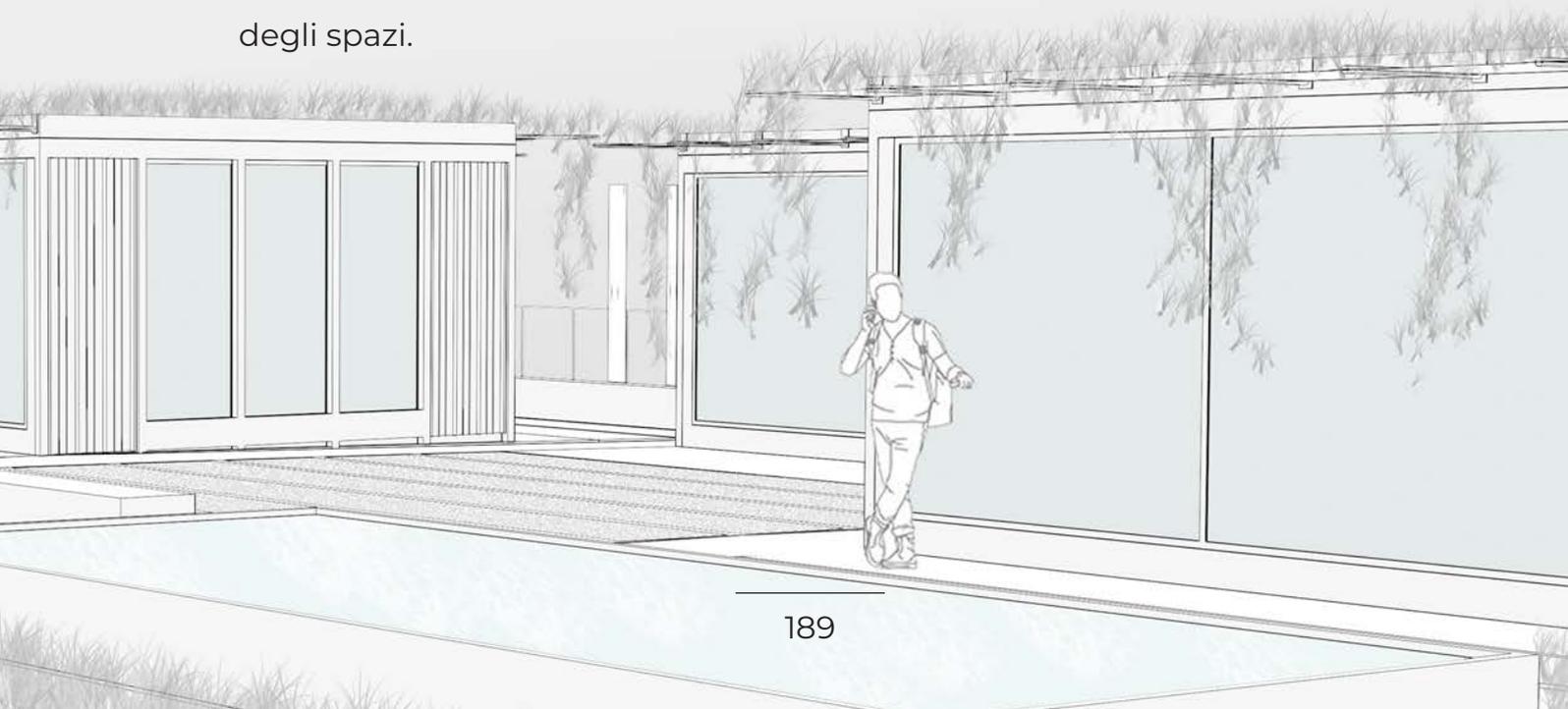
La tecnologia utilizzata per i moduli funzionali è quella del portale metallico wireframe, in continuità con l'aspetto compositivo di base della struttura principale. Essi infatti, come la struttura nei confronti del capannone, vanno a posizionarsi sui nodi generati dal solaio e possono essere reiterati in ordine con le esigenze di spazio, presenti e future, dell'azienda.

Per quanto riguarda la tecnologia dei moduli di facciata invece, vengono realizzati dei solai a mensola, tirati alla struttura attraverso cavi di acciaio, su cui poi vengono giustapposti i portali come per la copertura.

Gli stessi aspetti di flessibilità, assemblabilità e temporalità, sono stati assegnati anche alle vasche di piantumazione e di ritenzione idrica, concepite in materiale leggero (vetroresina termoformata), con moduli facilmente trasportabili ed assemblabili direttamente in copertura.

Tutti gli elementi di implementazione della struttura sono stati infatti pensati per essere trasportati sul luogo dell'assemblaggio finale attraverso i montacarichi che compongono parte della distribuzione verticale, rendendo la costruzione molto più rapida ed economica.

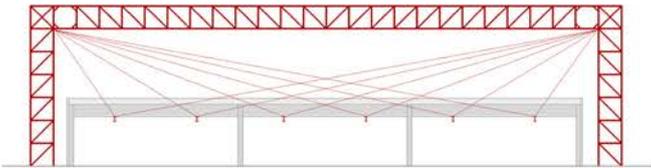
Ne risulta un progetto che fa del low-tech una cifra stilistica distintiva a vantaggio della fattibilità dell'intervento e della sua flessibilità, sia dal punto di vista temporale, che da quello funzionale e compositivo degli spazi.



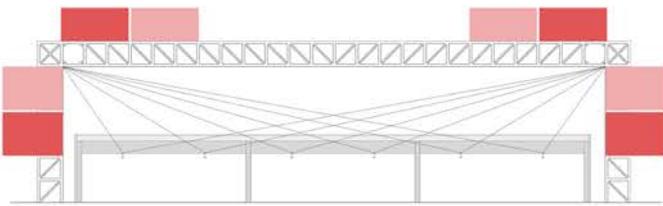
CARIAGGI 4



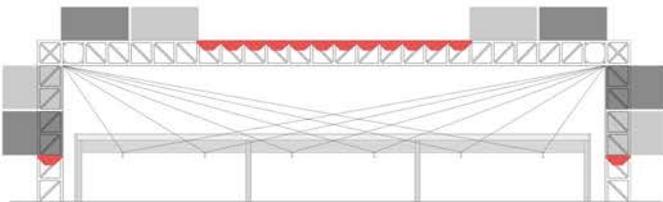
ADEGUAMENTO SISMICO



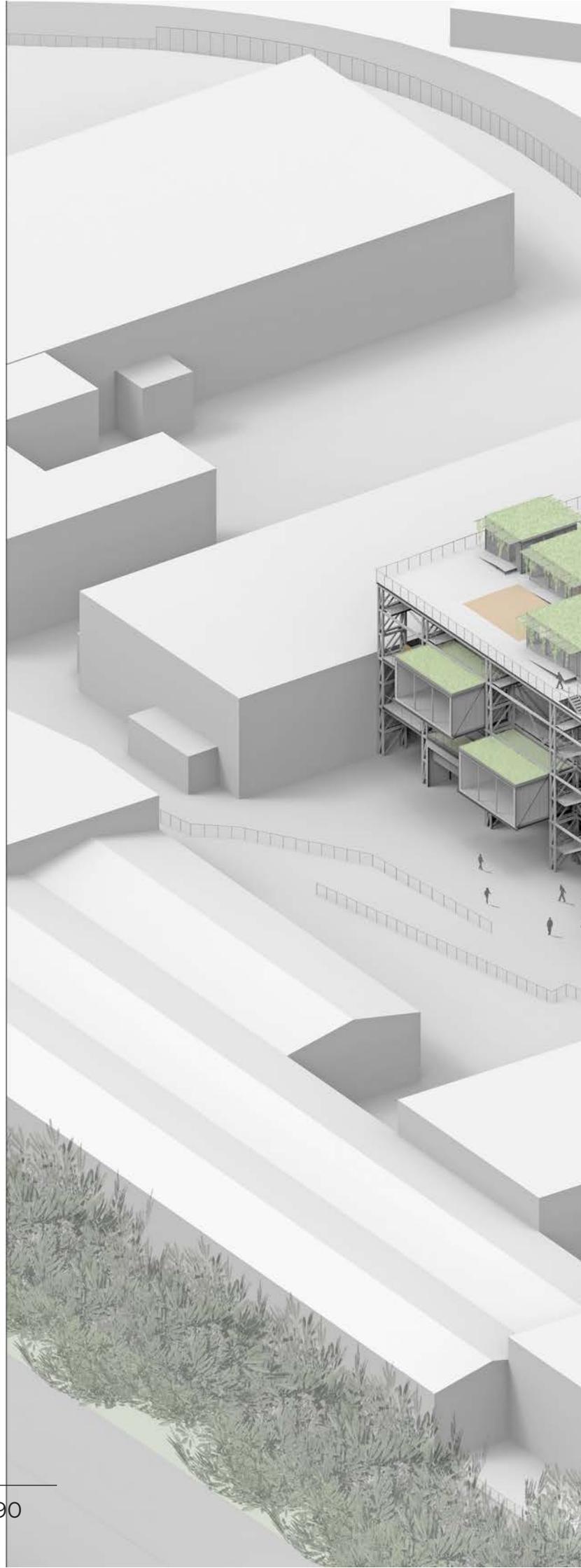
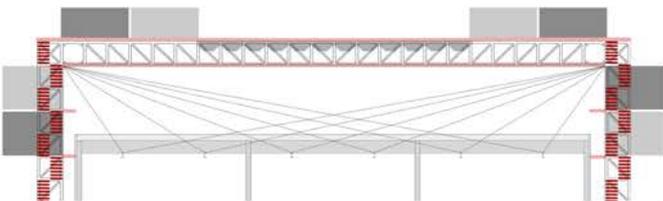
MODULI FUNZIONALI



VASCHE PER LA PIANTUMAZIONE

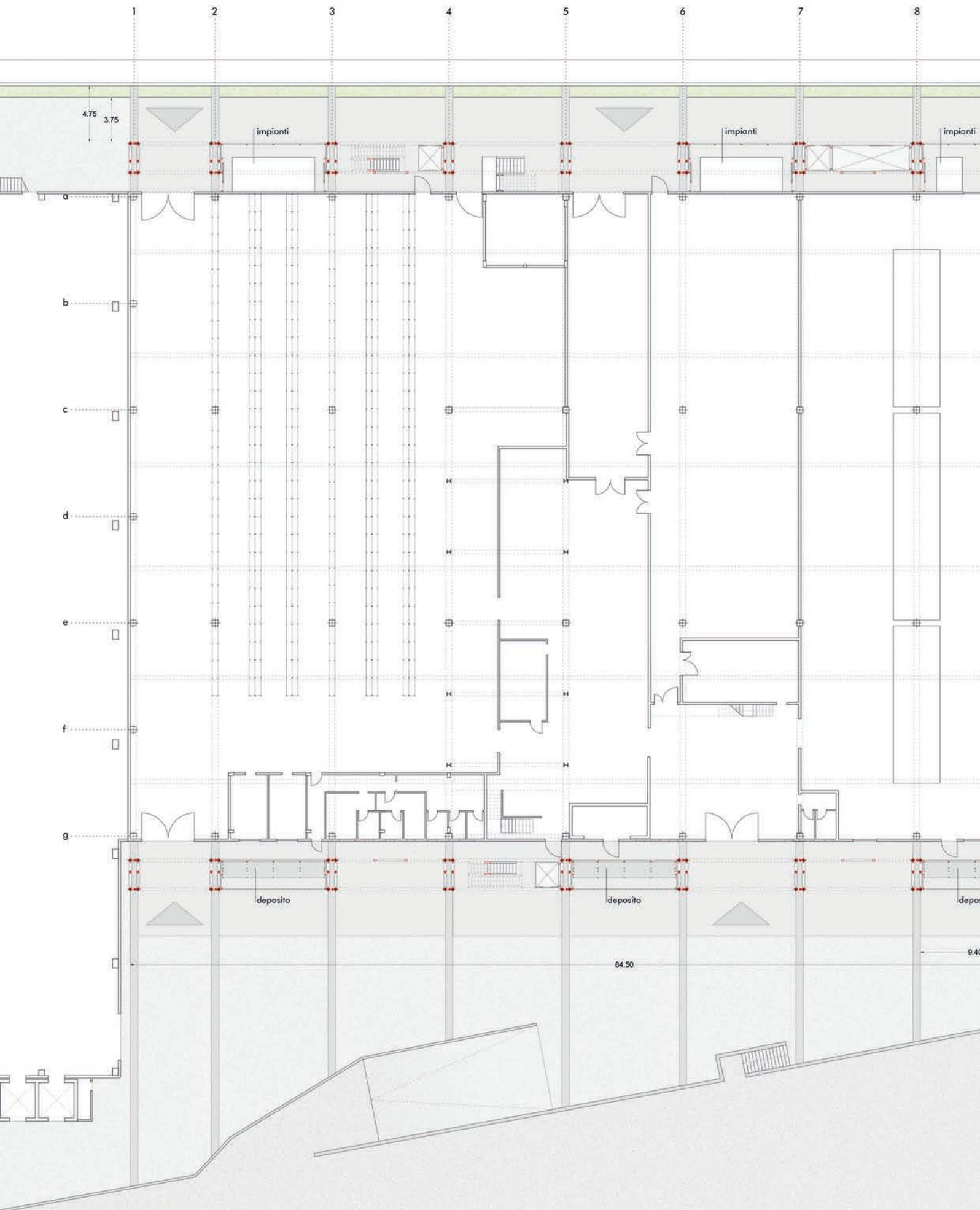


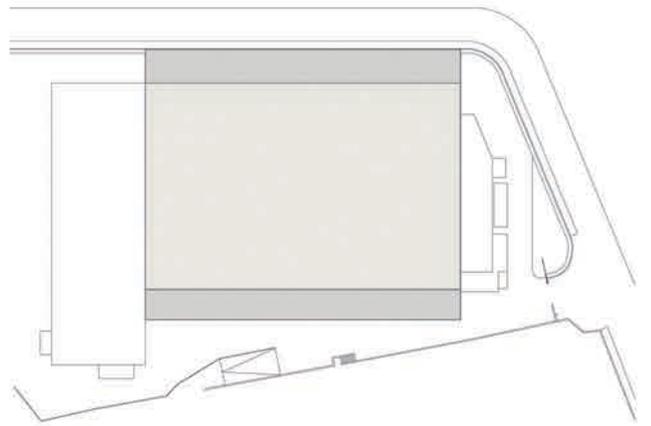
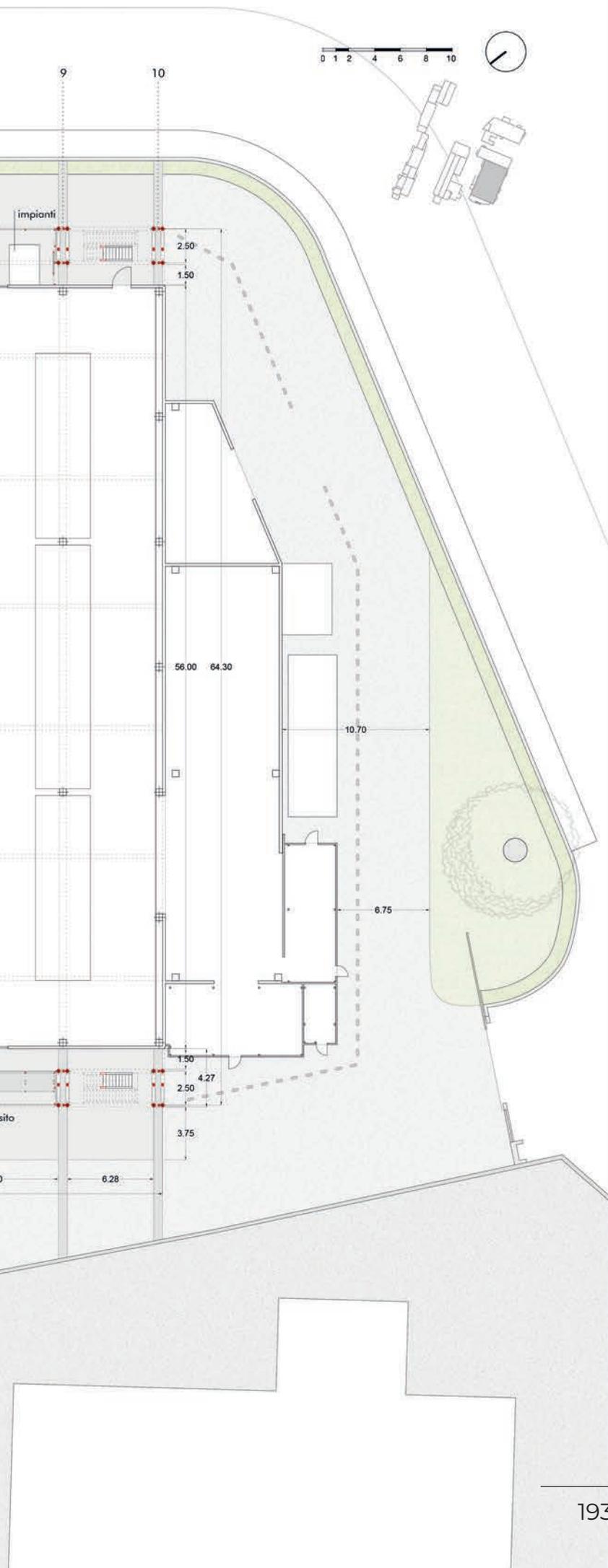
SISTEMI DI DISTRIBUZIONE



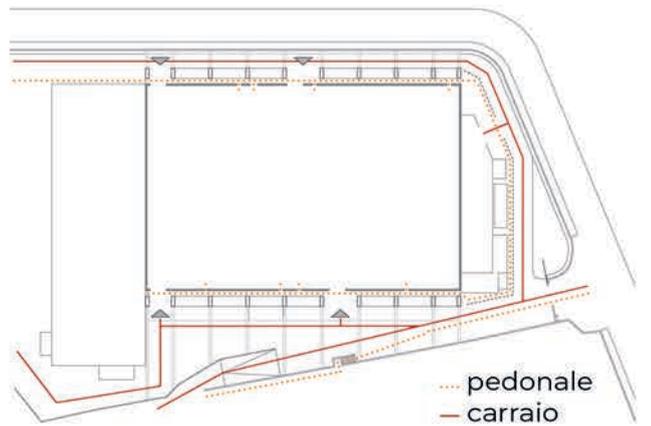


PIANTA_LIVELLO 0

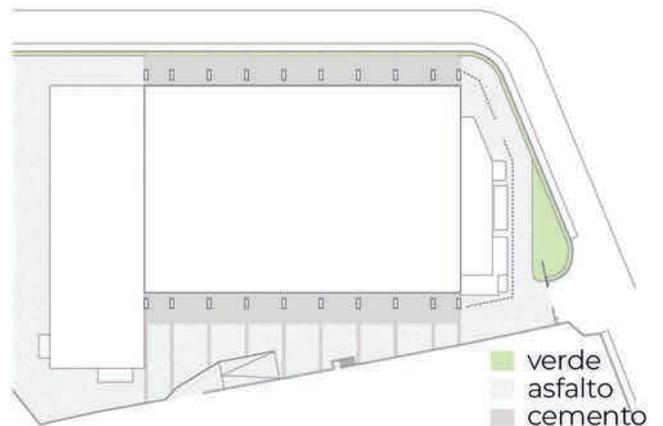




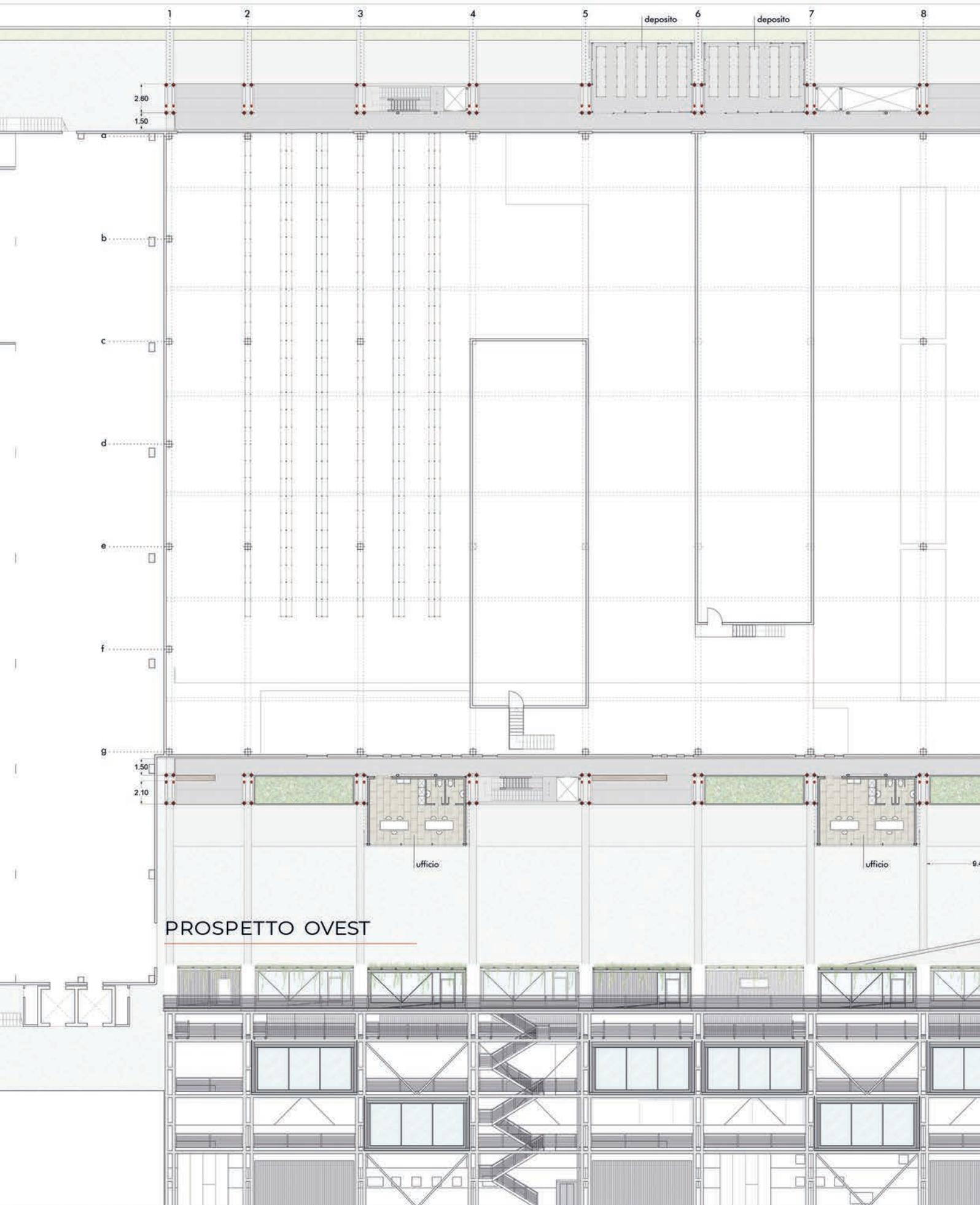
AMPLIARE L'ESISTENTE



PERCORRERE LO SPAZIO

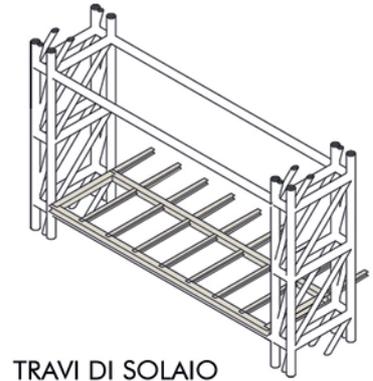
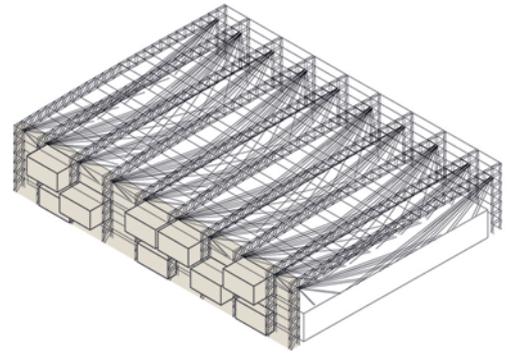
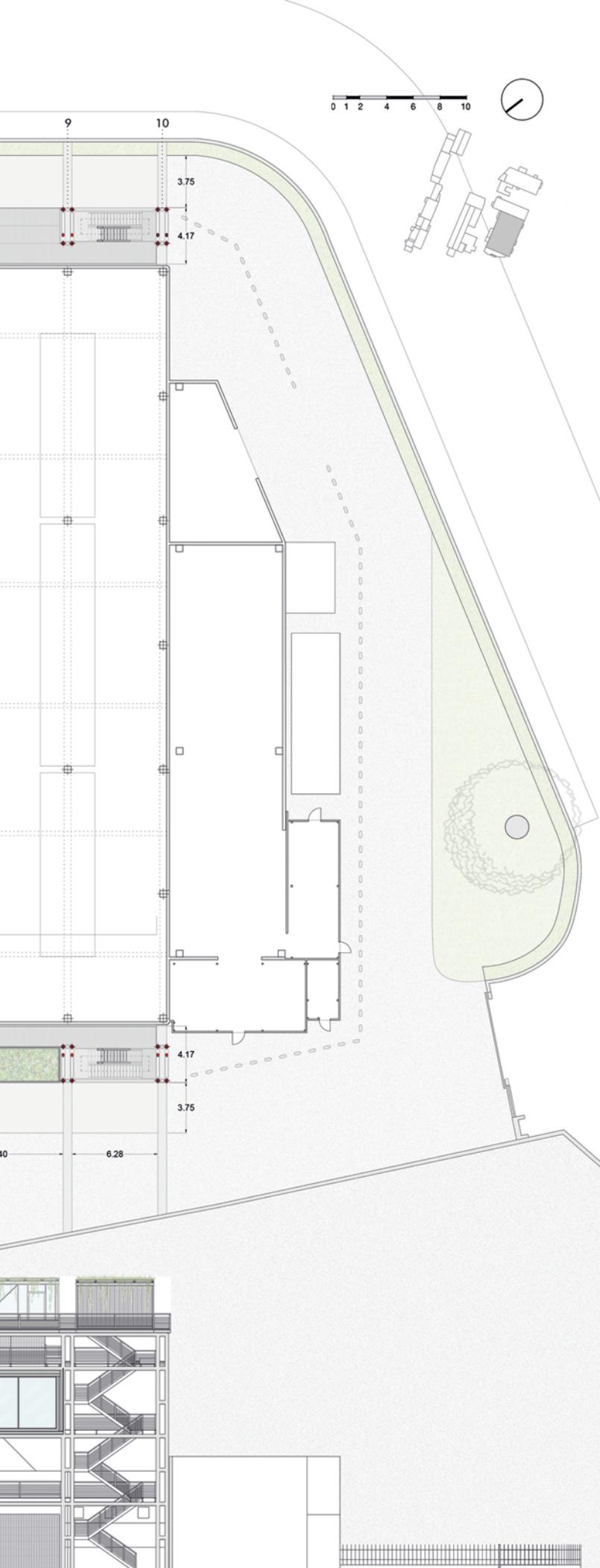


COMPORRE IL SUOLO



PROSPETTO OVEST

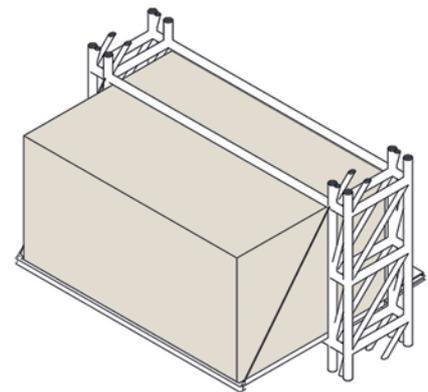
COMPOSIZIONE DELLA FACCIATA



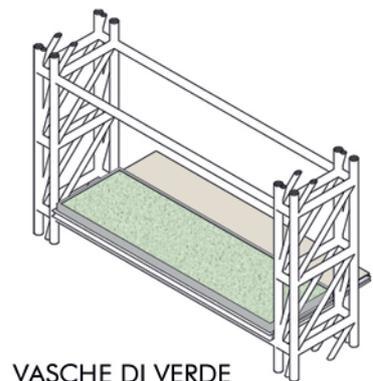
TRAVI DI SOLAIO



PAVIMENTAZIONE

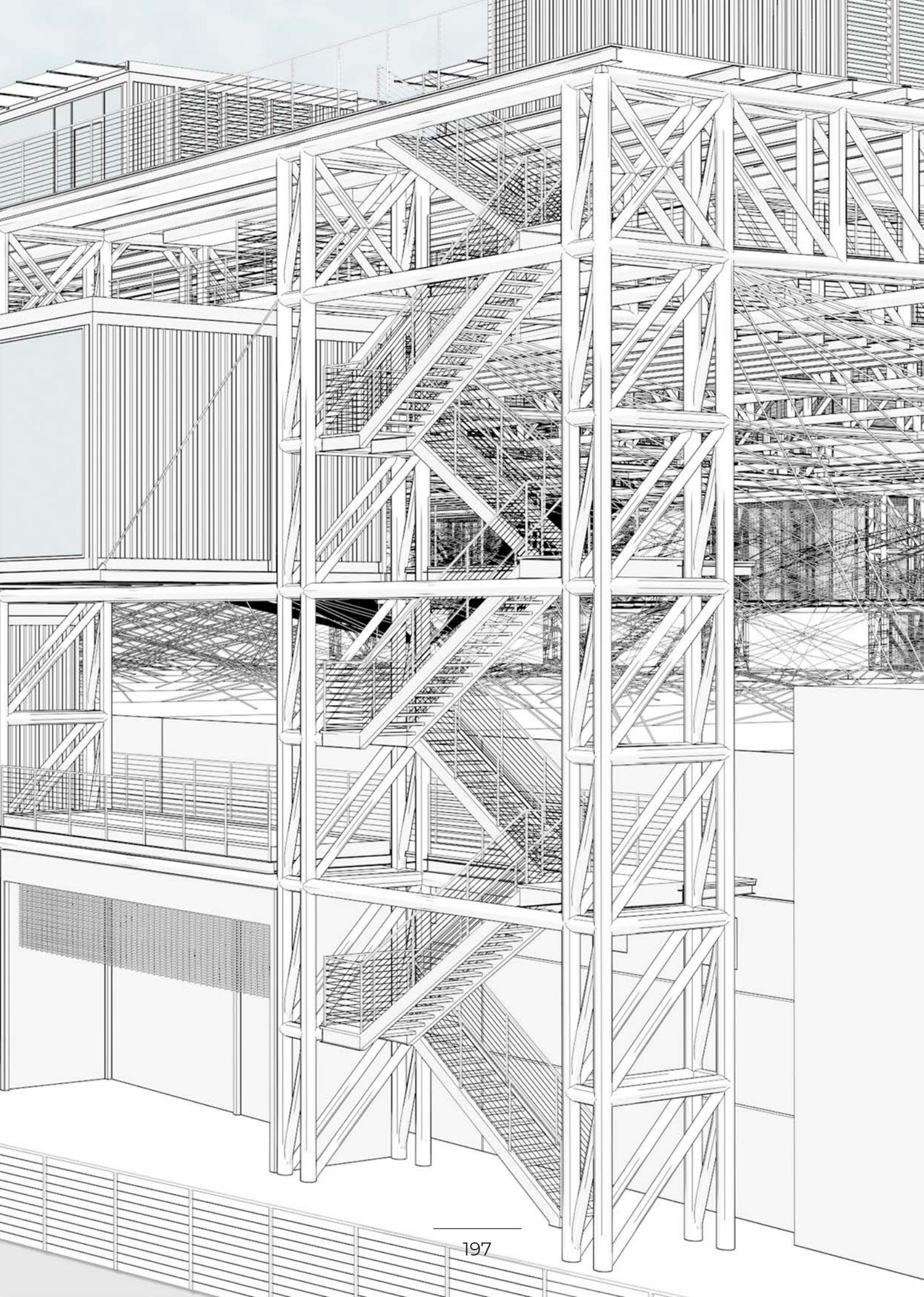


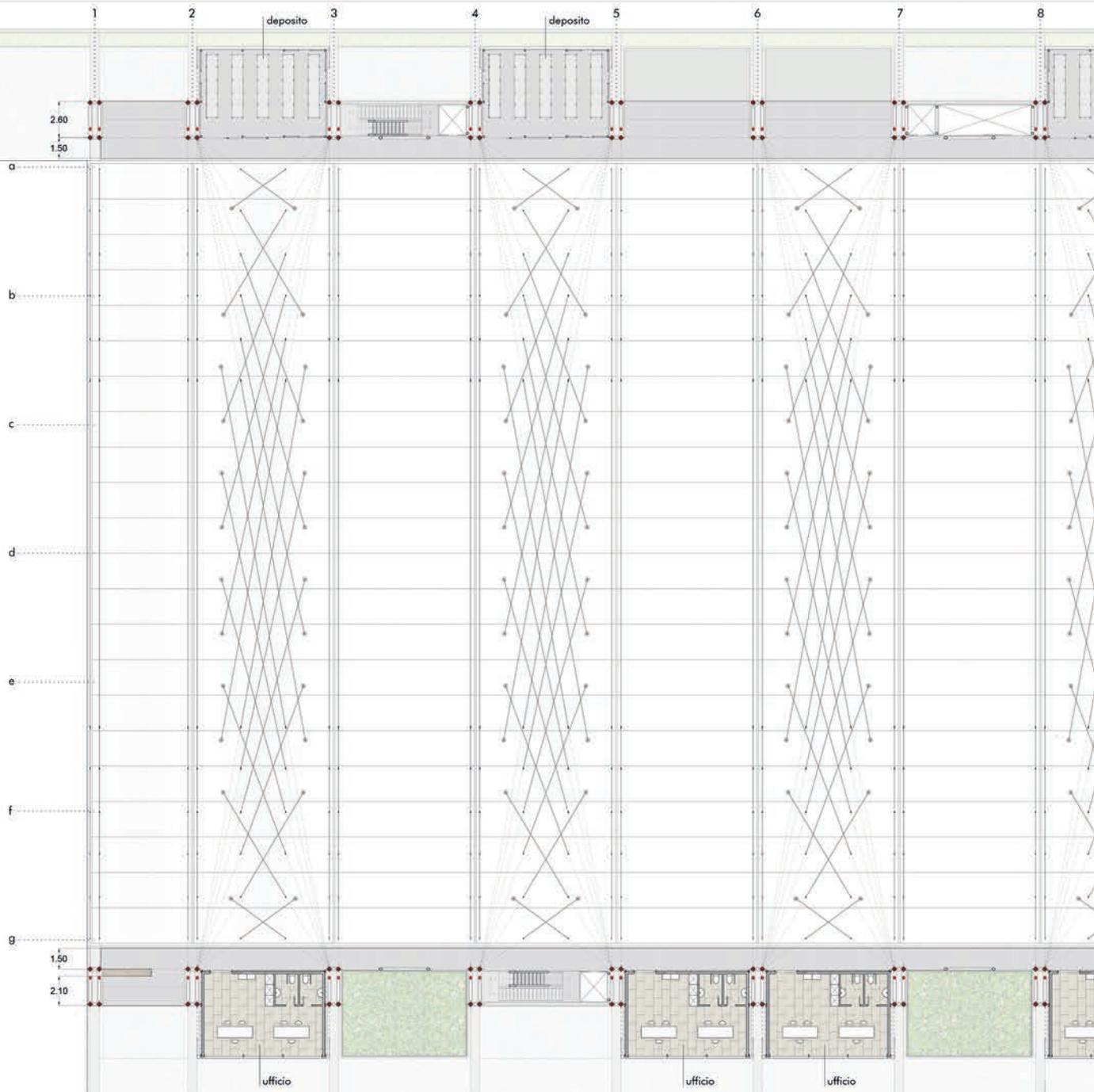
MODULO FUNZIONALE



VASCHE DI VERDE

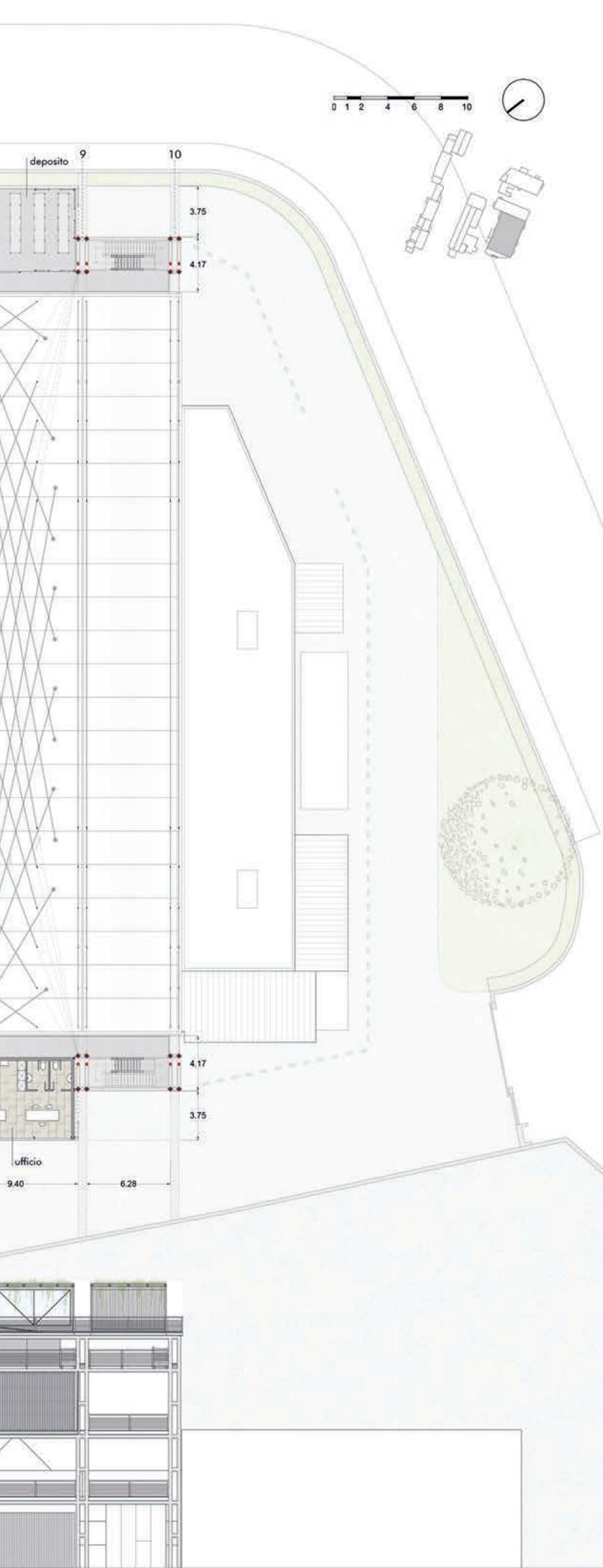




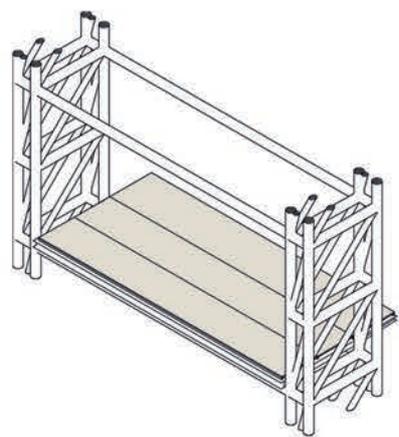
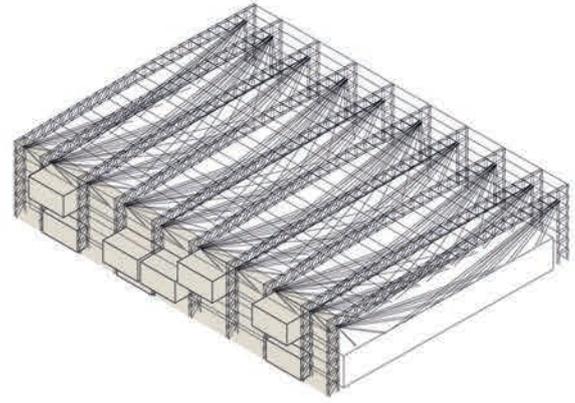


PROSPETTO EST

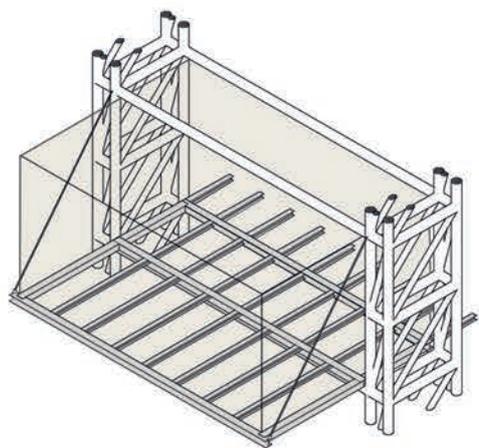




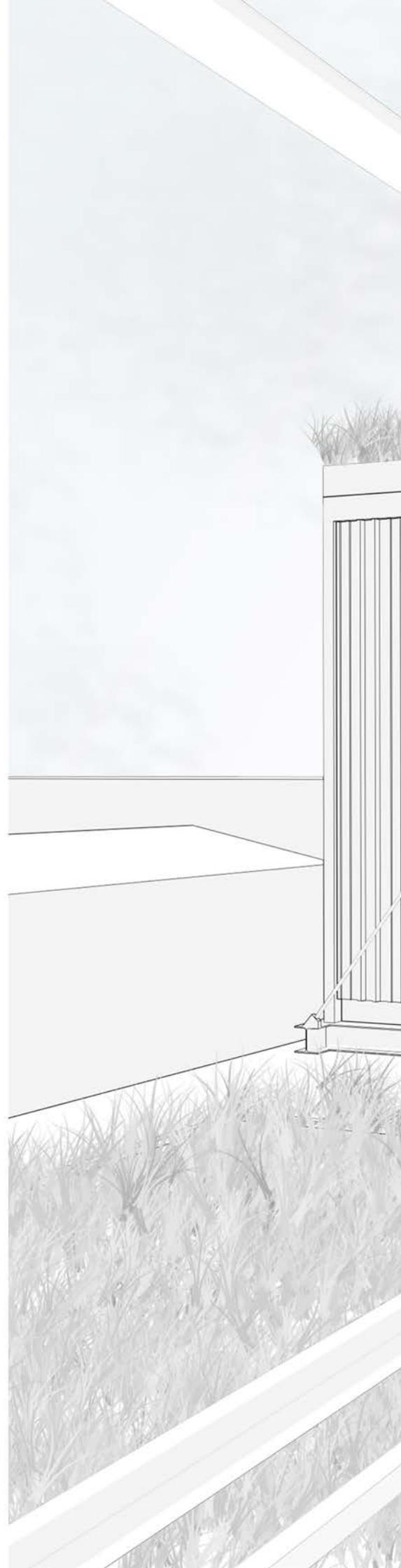
COMPOSIZIONE DELLA FACCIATA



PAVIMENTAZIONE



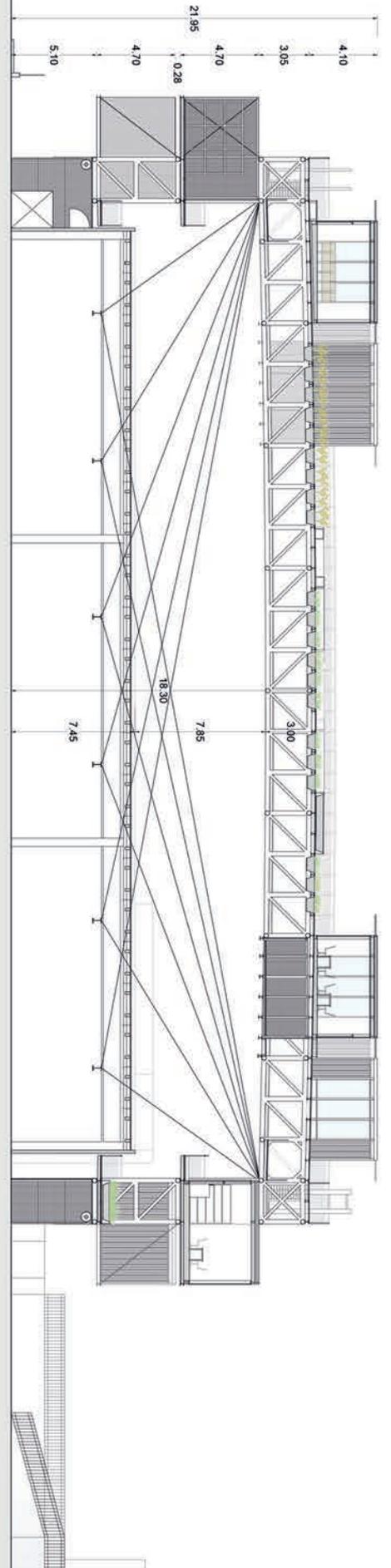
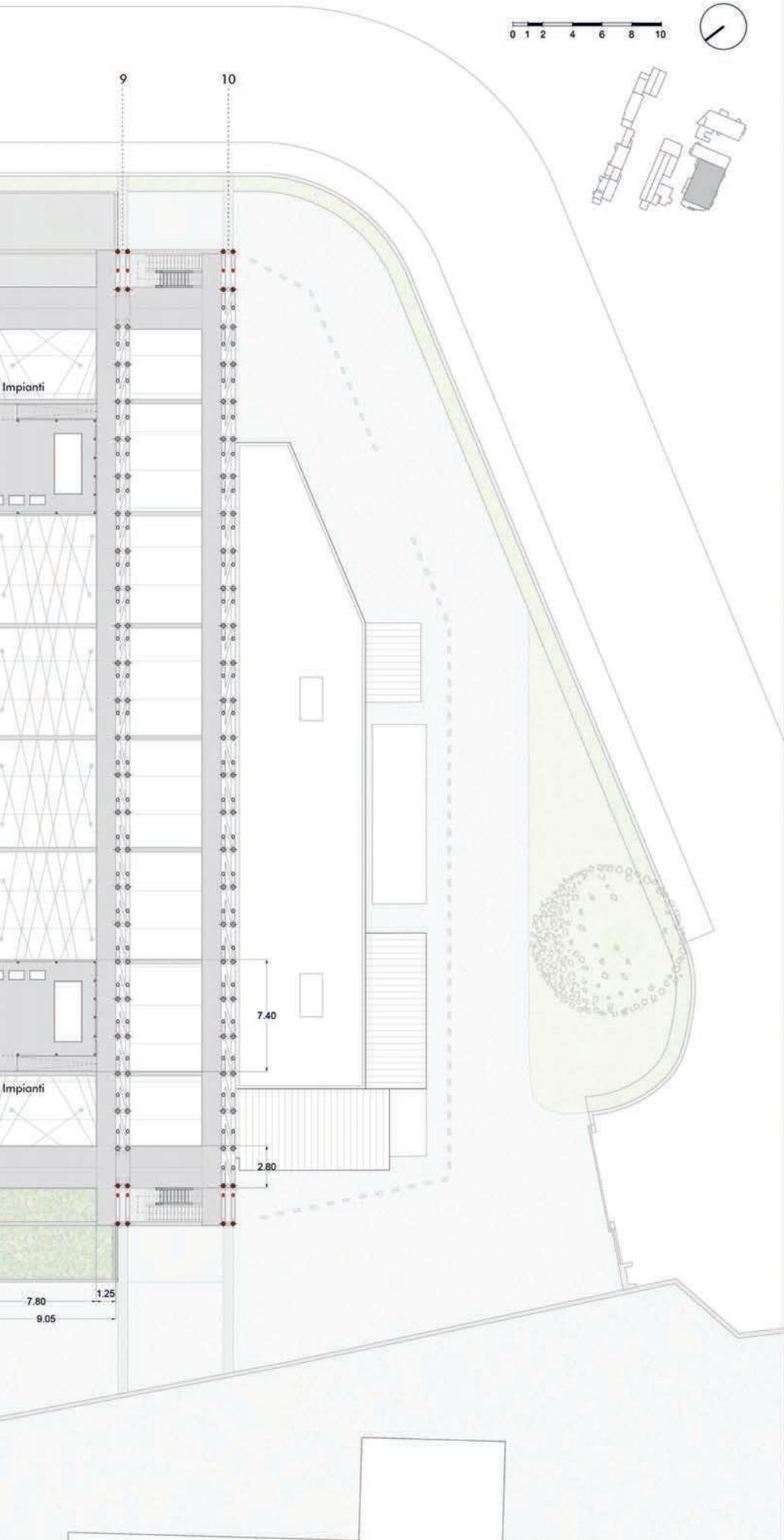
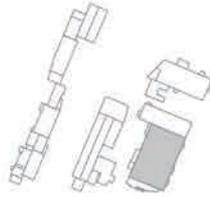
MODULO FUNZIONALE VIRTUALE





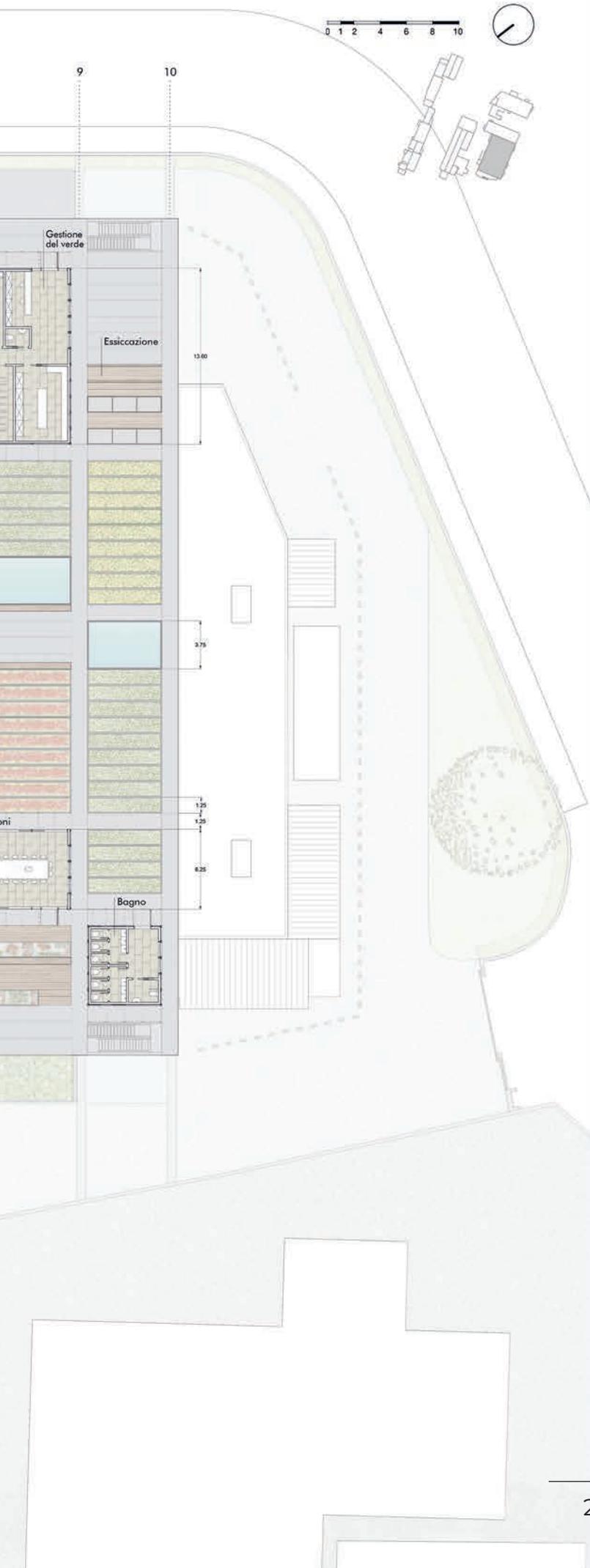
PIANTA_LIVELLO 3



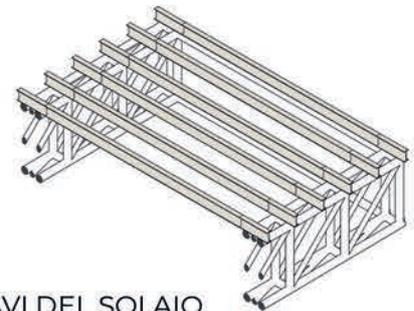
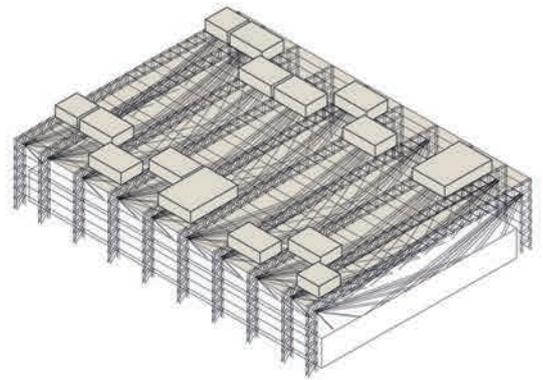


PIANTA_LIVELLO 4

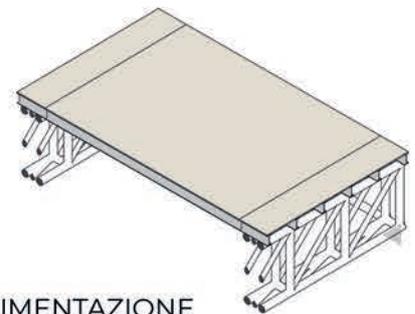




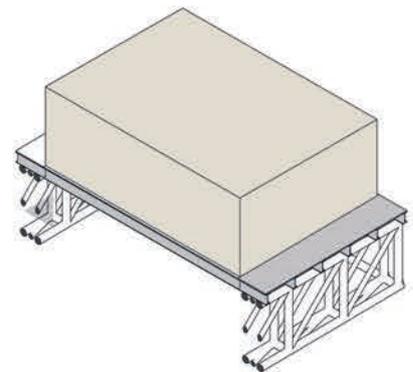
COMPOSIZIONE DELLA COPERTURA



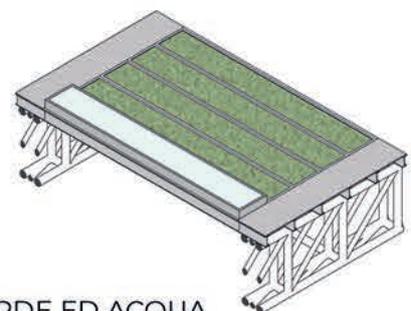
TRAVI DEL SOLAIO



PAVIMENTAZIONE



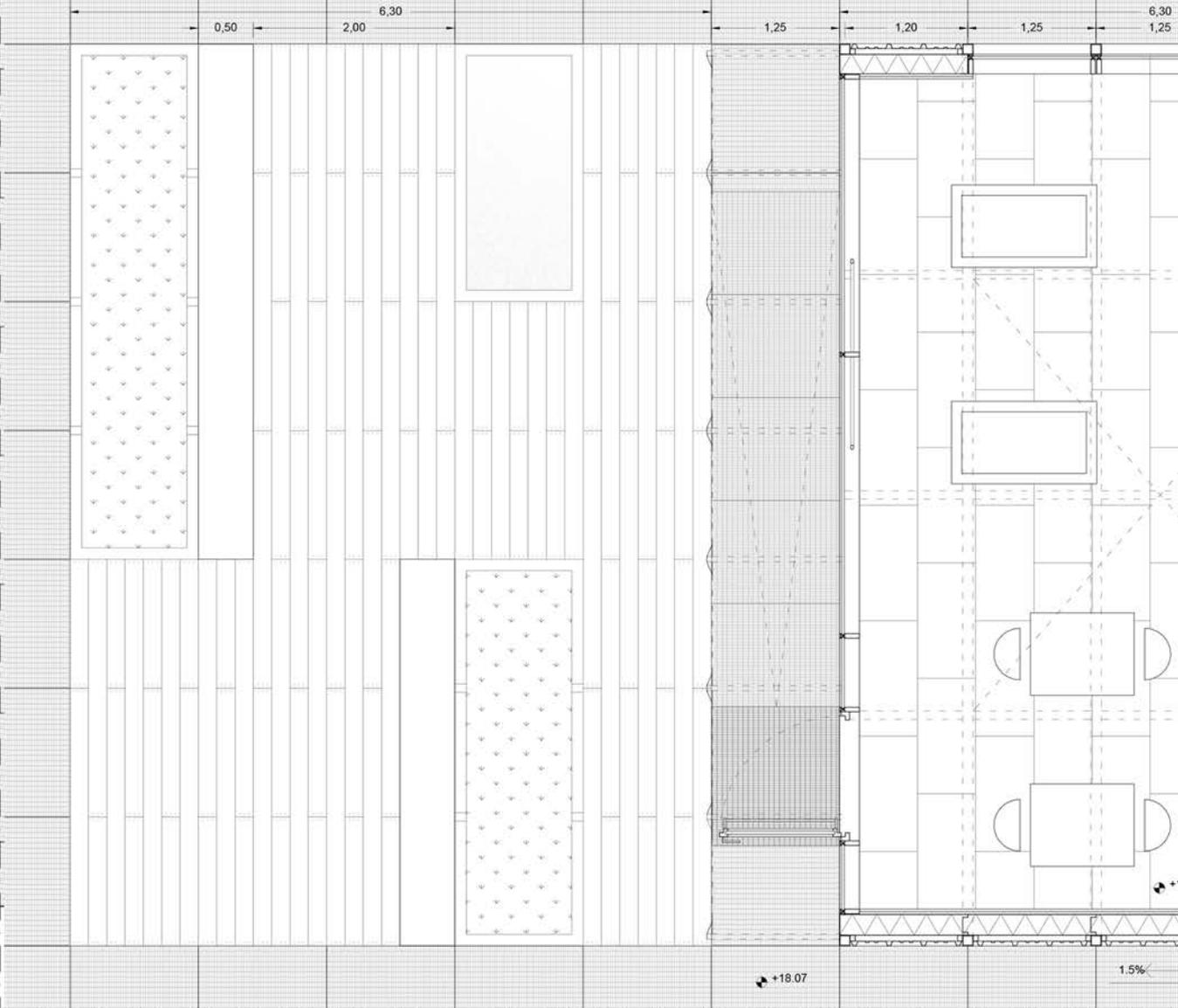
MODULO FUNZIONALE



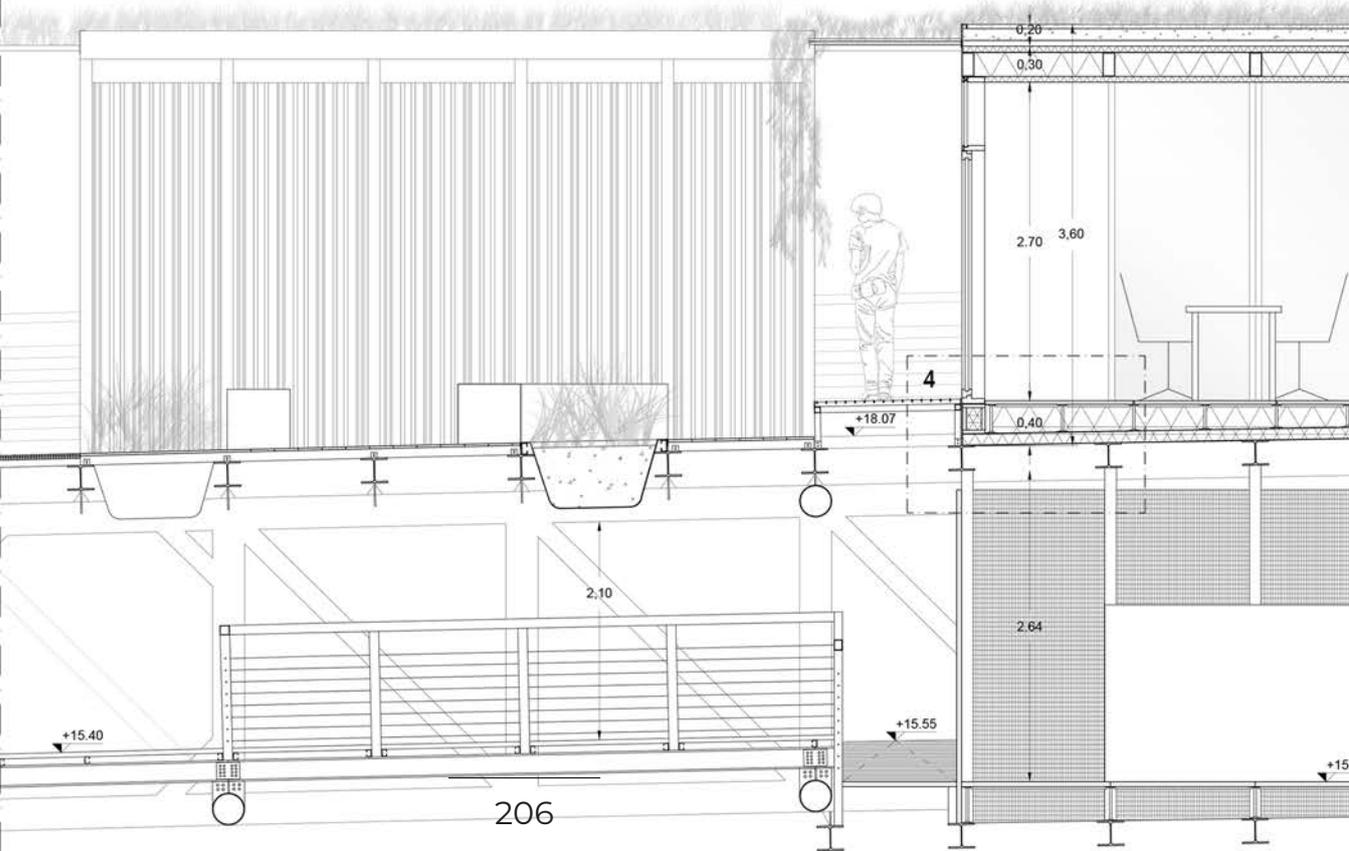
VERDE ED ACQUA

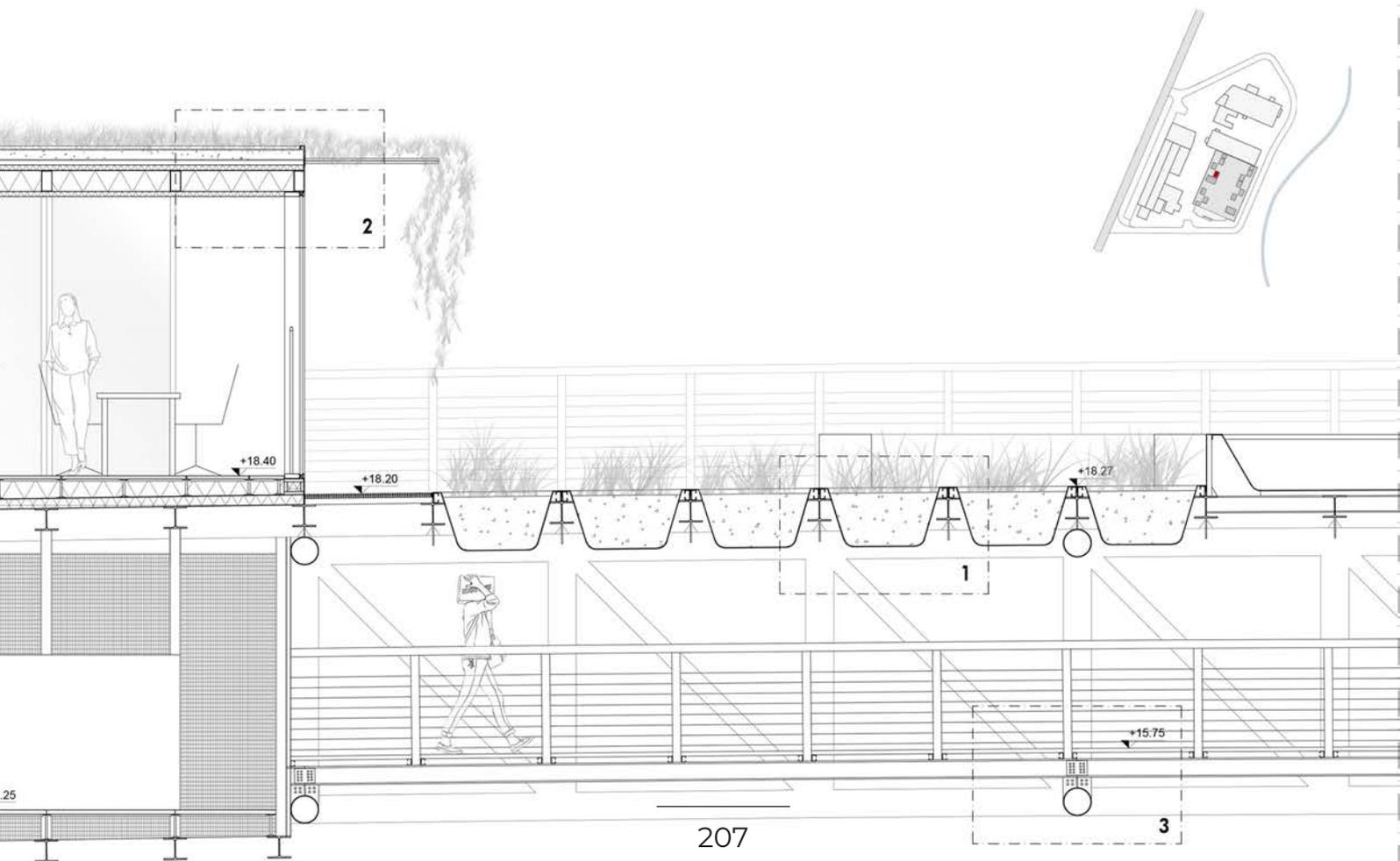
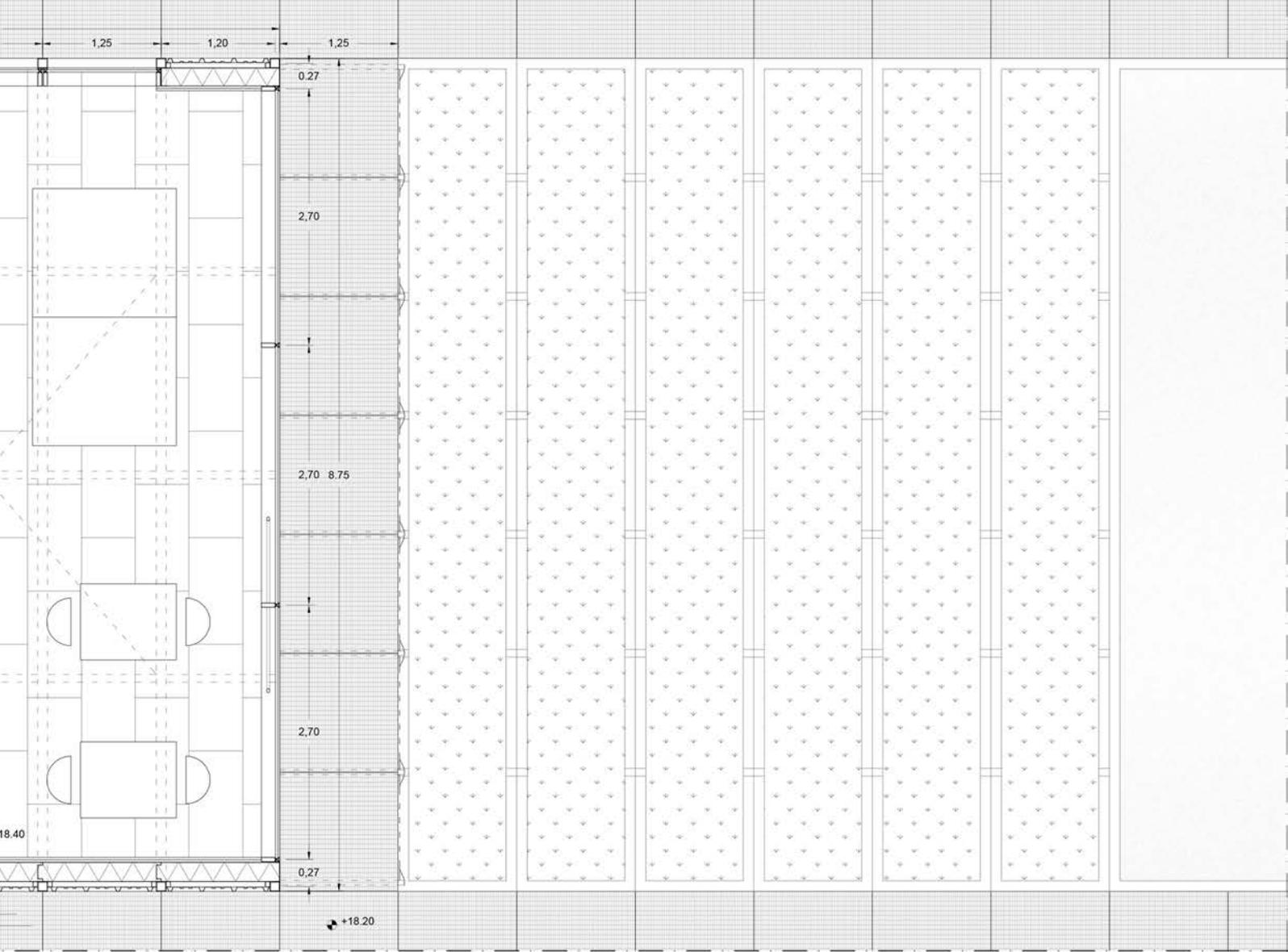


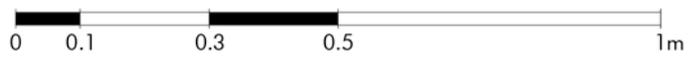
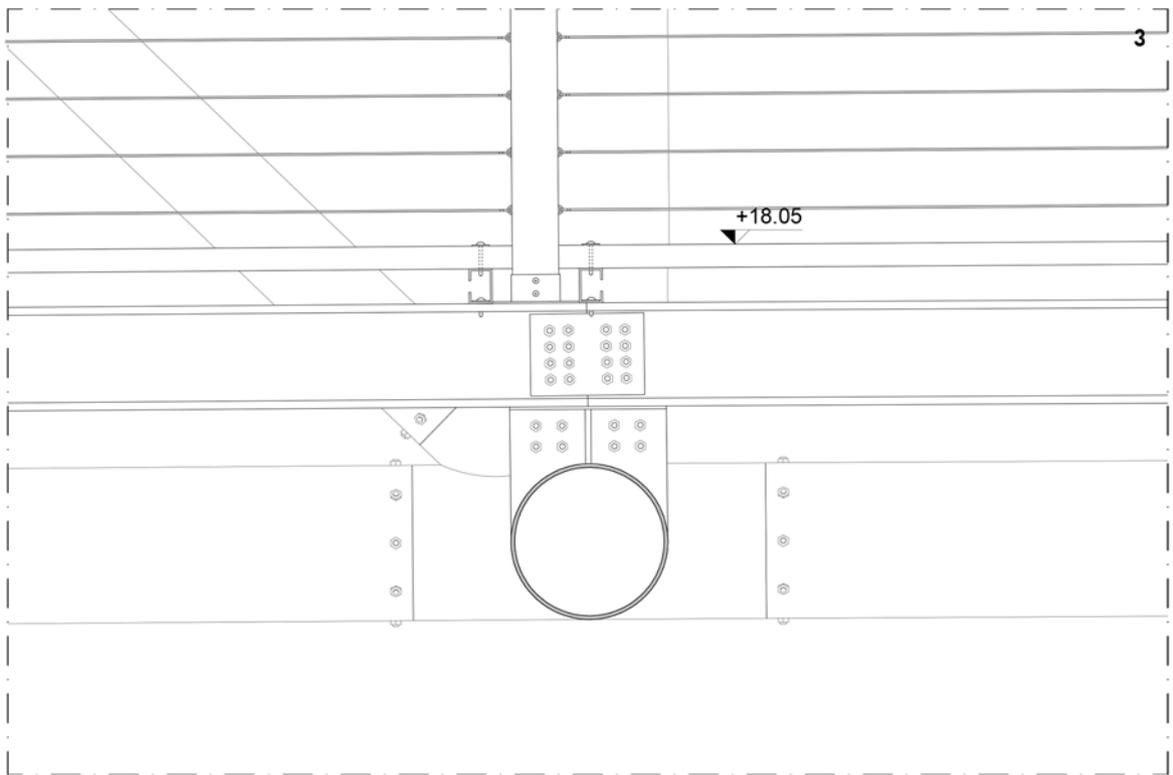
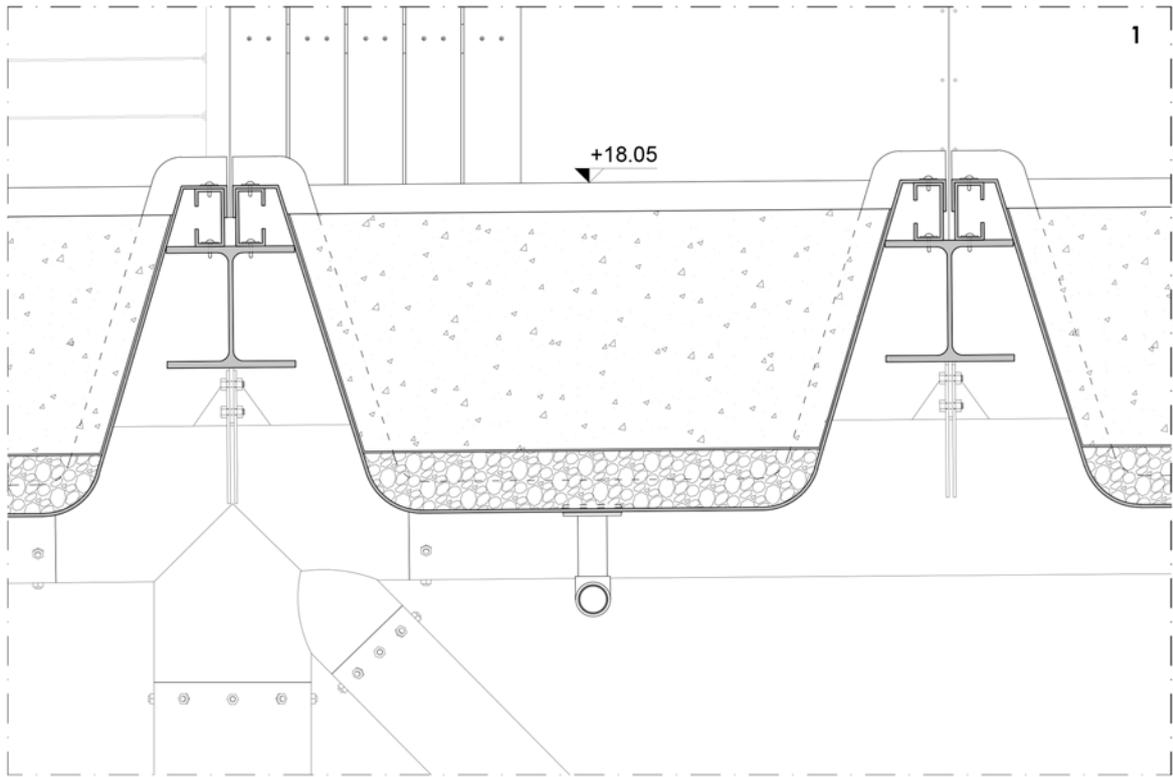
PIANTA SCALA 1:50

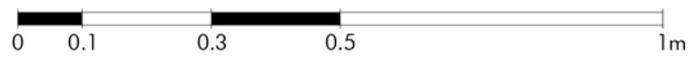
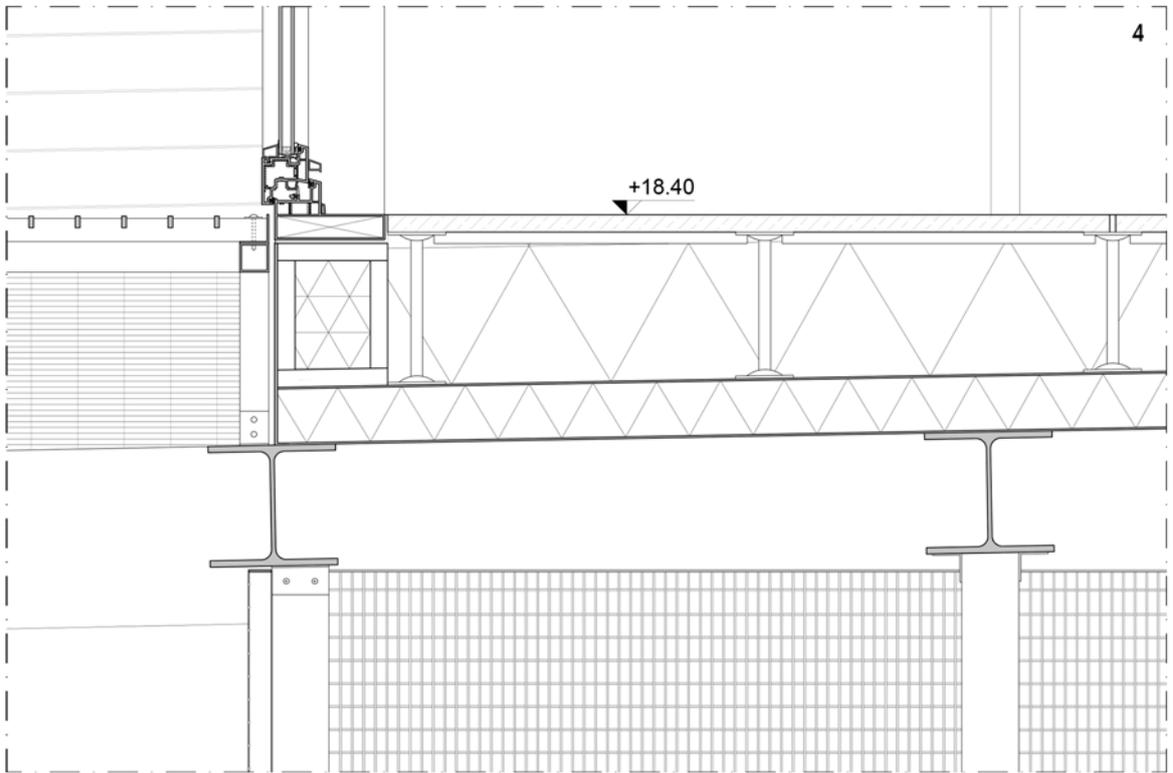
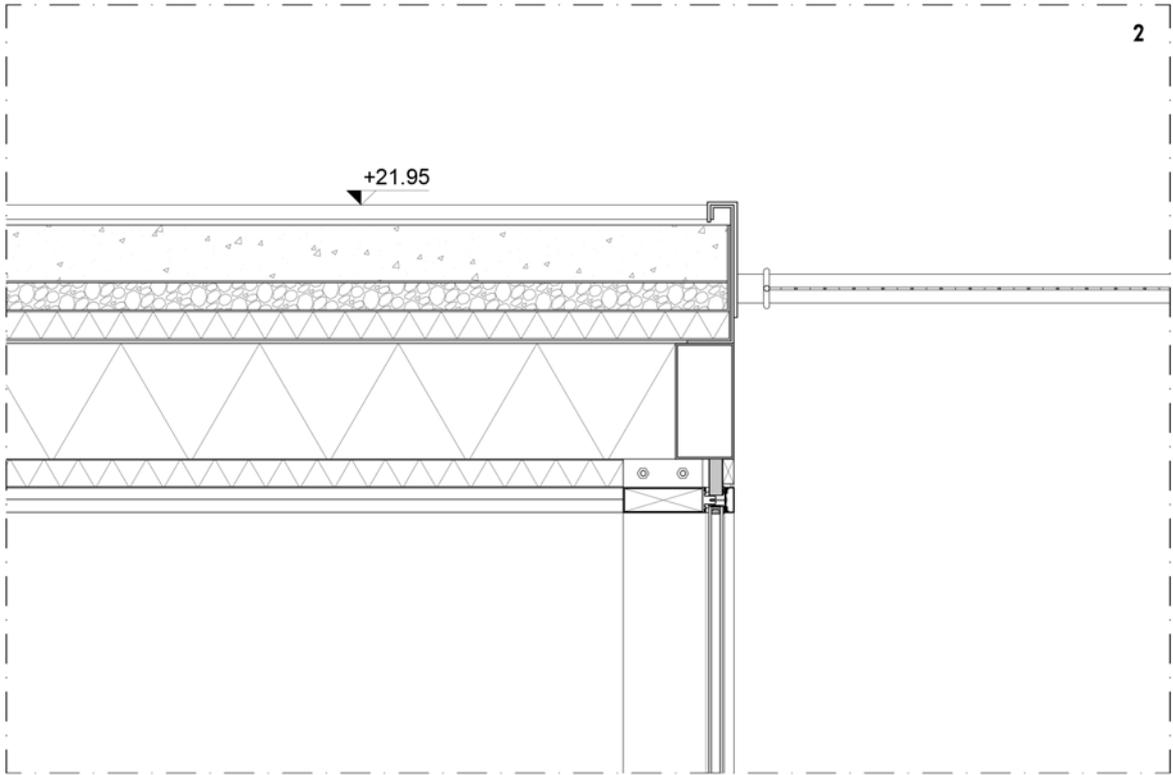


SEZIONE SCALA 1:50

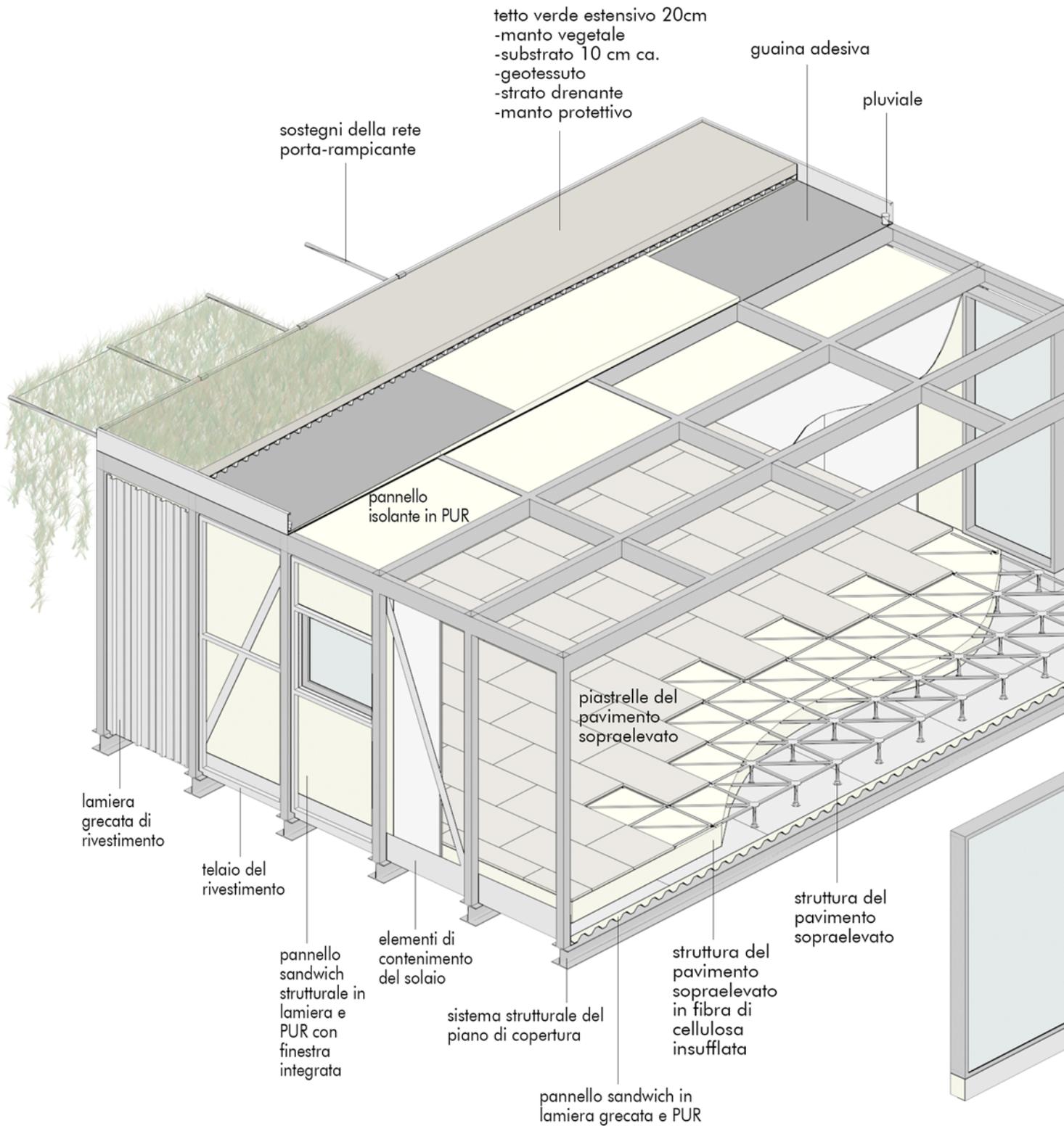


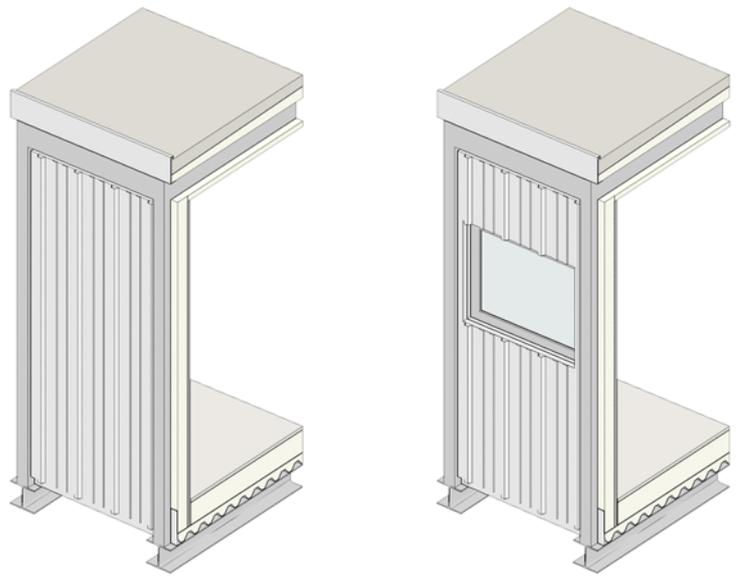




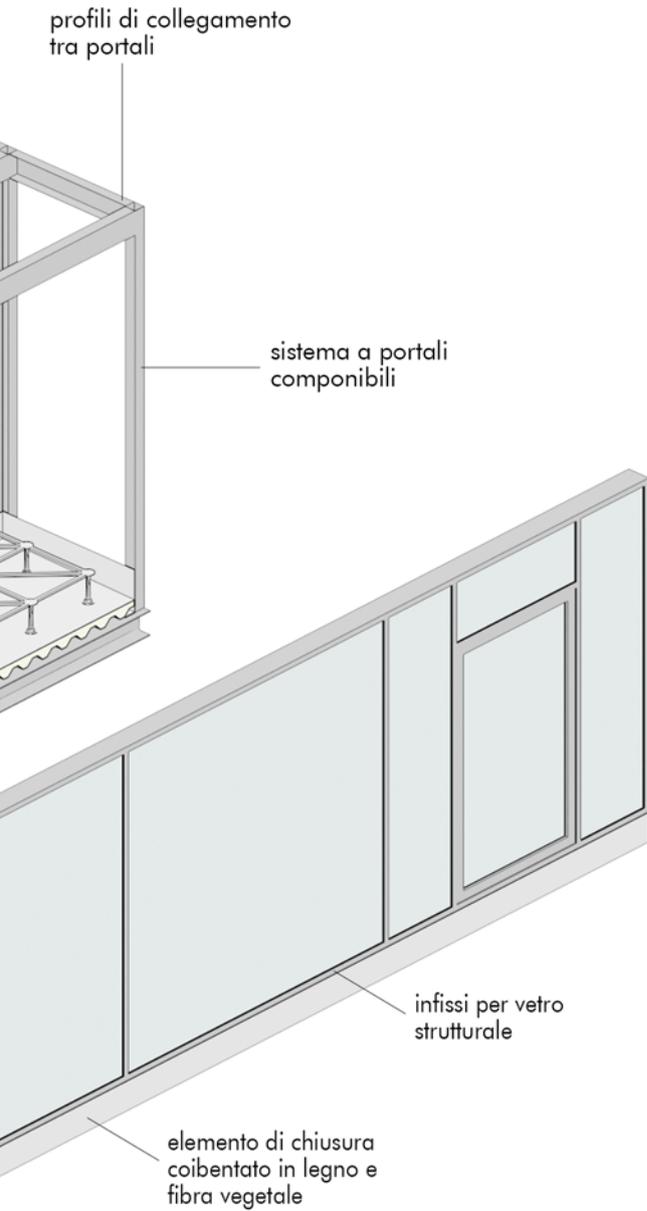


ESPLOSO COSTRUTTIVO

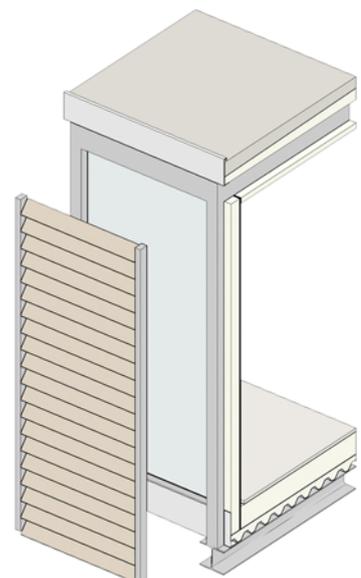




CONFIGURAZIONI CHIUSA E CON FINESTRA



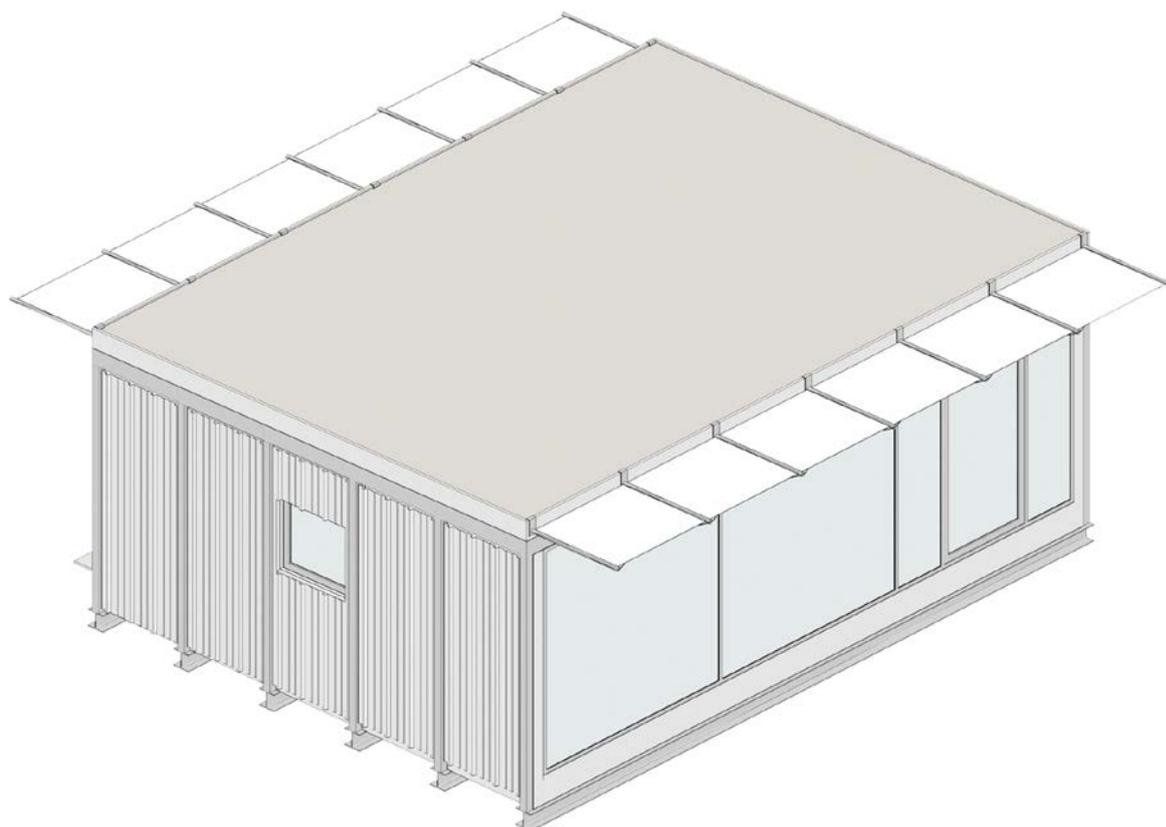
CONFIGURAZIONE VETRATA



CONFIGURAZIONE CON FRANGISOLE

6.3.3. Analisi sui costi

L'analisi sui costi, riguardante il completo reloading dello stabile originario, comprendendo il potenziamento dell'aspetto architettonico-funzionale, è stato svolto mettendo in relazione i due aspetti che maggiormente incidono nella realizzazione del sistema, ossia la carpenteria metallica per la struttura reticolare e l'implementazione funzionale attraverso moduli chiusi concepiti per raggiungere un adeguato comfort interno. Si procede dunque alla stima dei costi per un' unità funzionale di base, sviluppata con l'ausilio del Prezziario Regionale del Piemonte:



		unità	euro	quantità	euro
	Carpenteria metallica	Kg	5	2072	10359
01.P10.H50	Fornitura di guaina autoadesiva e autosigillante in rotoli, a base di gomma e bitume con supporto in doppio strato incrociato di polietilene, per impermeabilizzazioni				
01.P10.H50.005	Spessore mm 2	m ²	17.27	110	1900
01.P12.F52	Pannello metallico precoibentato con lamiera superiore grecata di acciaio preverniciato dello spessore di 0,5 mm, lamiera inferiore microgrecata di acciaio preverniciato dello spessore di 0,5 mm ed interposto coibente in poliuretato espanso.				
01.P12.F52.040	spessore mm 140 con trasmittanza termica di 0,15 W/m ² K	m ²	36.32	143.2	5201
01.P23.R00.040	Polpa di cellulosa	Kg	4.21	376.2	1584
01.P11.A92	Struttura portante per pavimentazioni sopraelevate costituita da supporti regolabili in verticale in acciaio zincato, con campo di regolazione di mm +0 -25, composti da una testa nervata idonea a ricevere le estremità dei traversi, colonna filettata munita di dado di regolazione, atta a compensare differenze di planarità del pavimento di appoggio, completa di elementi orizzontali zincati di irrigidimento e guarnizione coibente antirombo				
01.P11.A92.005	m ²	17.39	55	956
01.P07.B45	Provvista di piastrelle per pavimenti e rivestimenti in gres ceramico fine porcellanato, ottenuto da impasto di argille nobili, di tipo omogeneo a tutto spessore, privo di trattamento superficiale, inassorbente, antigelivo, altamente resistente agli attacchi fisici e chimici, con superficie a vista tipo naturale o tipo antisdrucchiolo				
01.P07.B45.005	Nei formati 20X20 - 30X30 - 40X40	m ²	24.28	55	1335

01.A18.B90	Opere in lamiera metallica liscia, ondulata, striata ed operata, anche montata su telaio, per sportelli, portine, rivestimenti, foderature, pannelli e simili, comprese eventuali cerniere ed accessori di assicurazione e chiusura					
01.A18.B90.010	In lega leggera al cromo-alluminio	Kg	7.76	113.4	880	
01.P20.B00	Vetrate isolanti termoacustiche tipo vetrocamera formate da due lastre di vetro, normale o antisfondamento, e interposta intercapedine di mm 6-9-12 complete di profilati distanziatori, giunti elastici, sali disidratanti etc. i vetri antisfondamento sono costituiti da due lastre con interposta pellicola di polivinibutirrale					
01.P20.B00.035	vetro mm 5 + vetro antisf. mm 3+0.38+3; Ug= da 3,3 a 2,8 w/m2k e Rw= c.a 34dB	m ²	67.20	51.34	3450	
01.P13.R80	Frangisole fisso o orientabile in alluminio, con pale in legno massello grezzo, per schermature su facciata o pensilina,. Completi di accessori, montanti, eventuali mensole per il fissaggio e predisposizione per l'orientamento da 0° a 90°. La rotazione delle pale mediante comando manuale o motorizzato. Escluso il comando manuale o motorizzato. (Per eventuali integrazioni vedere 01.P13.R90)					
01.P13.R80.005	per schermature con pale di forma ellissoidale in Cedro rosso o similari superiore a 10 e fino a 20cm di larghezza, lunghezza massima pala 2,50 m.	m ²	389.11	8.2	3191	
Costo totale					28856	
Costo al m²					525	

Alla luce del progetto sviluppato e dell'organizzazione delle funzioni descritte precedentemente, è possibile dunque fare delle considerazioni approssimate di incidenza dei due fattori di costo principali: la struttura e le funzioni.

Ciò che ne risulta è un costo molto competitivo, che tiene in sè i vantaggi di dell'adeguamento sismico, con quelli di un potenziamento funzionale che, anche se non di carattere produttivo, permette di evitare ulteriori investimenti per ampliamenti funzionali futuri.

L'adeguamento, ovviamente, è poi sviluppabile in altre forme e contesti, per cui è possibile pensare che sia un efficace metodo per ripensare e rilanciare il patrimonio industriale vulnerabile.

m² totali: 5000

COSTO TOTALE

ADEGUAMENTO SISMICO

1 300 000 euro



260 euro/m²

TUTELA DELLA SICUREZZA

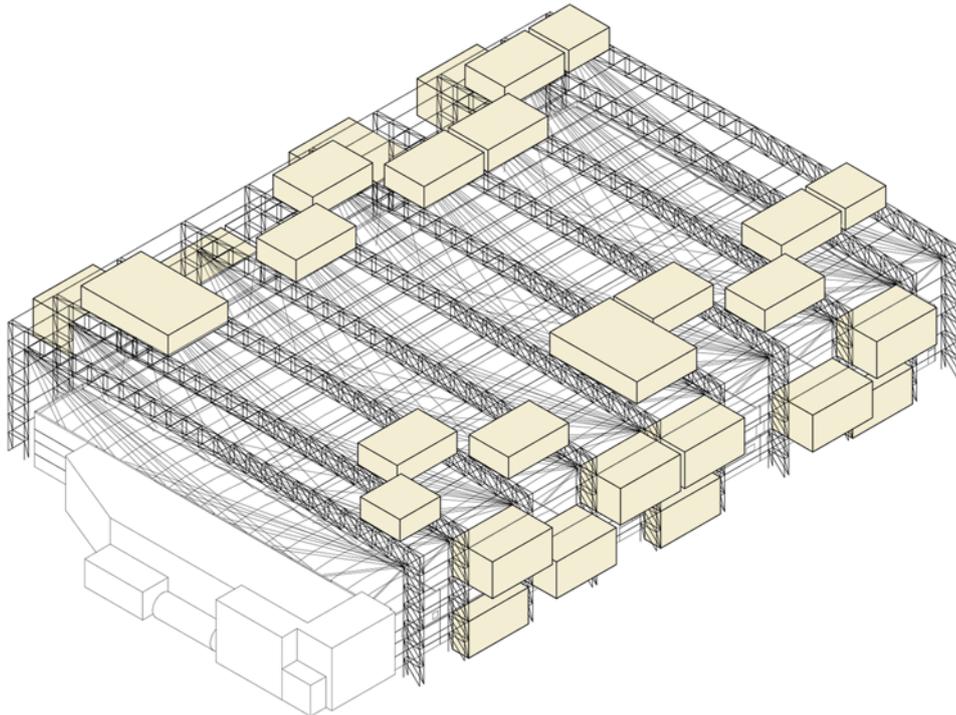
MODULI FUNZIONALI

450 000 euro



140 euro/m²

ESPANSIONE AZIENDALE



CONCLUSIONI

Questa tesi è stata frutto di un lavoro congiunto di diverse competenze e saperi che si mettono in gioco al fine di raggiungere un obiettivo comune, la definizione di un progetto unitario che leghi insieme i saperi della tecnica ingegneristica, la concretezza dei ragionamenti economici sull'investimento ed i principi ordinatori e sintetici dell'architettura.

Come nei grandi progetti del passato si è cercato di far ritornare a convivere pacificamente queste realtà che spesso entrano in conflitto e che invece dovrebbero garantire una sinergia armonica e costruttiva.

Tutti i ragionamenti fatti sono frutto di una accurata ricerca su documenti scientifici, libri e analisi empiriche direttamente sul territorio, che hanno portato alla definizione di una piccola parte di consapevolezza, una goccia nel grande oceano del sapere scientifico, che ci auguriamo possa essere di aiuto a lavori, ricerche e considerazioni future, o a chi, come noi, si accinge a chiudere un percorso di crescita personale e professionale. Su un tema così importante da non poter essere trascurato in nessun modo, soprattutto in un Paese come il nostro, che non può permettersi passi indietro dovuti ad una sciagurata trascuratezza.

I risultati ottenuti dalla ricerca portano a definire corrette e coerenti le considerazioni di partenza, sia sul patrimonio industriale, sia sulla necessità di ragionare diversamente dal solito, evitando i compartimenti separati, esplorando buona parte delle possibili soluzioni ad un problema complesso, che necessita sicuramente di ulteriori considerazioni, nuove menti e competenze per ampliarlo ed ottimizzarlo ulte-

riormente, in ottica di responsabilità morale e salvaguardia del bene comune, che non è circoscrivibile ad un concetto puramente astruso, evanescente, ma ha delle ripercussioni che definire semplicemente tangibili equivarrebbe a svilirle.

Fondendo ricerca strutturale e architettonica si è arrivati a definire un ambito di lavoro chiaro ed efficace, capace di rispondere alle esigenze del patrimonio, a quelle funzionali e precauzionali delle industrie e a quelle tutelative del paesaggio e del territorio; di dialogare perfettamente con ambiti che vanno dalla tutela delle vite umane e dei valori esposti in ambito produttivo, alla convenienza realizzativa dei risultati ottenuti, al soddisfacimento degli obiettivi nell'ambito dell'investimento economico, vero motore della progettualità e della validità di una ricerca che possa dirsi utile ed implementabile in futuro.

Il sistema, oggetto della tesi, non sarebbe approcciabile, infatti, diversamente da come è stato fatto, né soltanto con l'occhio dello schietto "si può o non si può" dell'ingegnere, né con quello visionario del "si potrebbe, sarebbe bello" dell'architetto. È stato fondamentale un lavoro di sintesi estrema tra le due visioni che ha portato a dialogare su punti di vista inesplorati ed a cercare un inquadramento del problema, quanto più possibile eclettico e super partis, in modo da riuscire a raggiungere un risultato allo stesso tempo estremamente pragmatico ma idealista; attento al tecnico, ma con uno sguardo ai racconti, alle sensibilità, alle storie di territori a cui bisogna destinare tutta l'attenzione possibile, perché sono quelli che ci caratterizzano, che alimentano quel senso di appartenenza che ci unisce da sempre.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Autori vari, "Strutture prefabbricate: catalogo delle tipologie esistenti", progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS - Assobeton, 2008.
- G. Metelli, P. Riva, "Behaviour of a beam to column "dry" joint for pre-cast concrete elements", The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- L. Di Sarno, A. S. Elanshai, G. Manfredi, "Assessment of RC columns subjected to horizontal and vertical ground motions recorded during the 2009 L'Aquila (Italy) earthquake", Engineering Structures 33, Elsevier, 2011, pp. 1514-1535
- JRC Scientific and Policy Reports, "Design Guidelines for Connections of Precast Structures under Seismic Actions", Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2012
- A. Marzo, "Capannoni industriali: problematiche e prospettive di intervento alla luce delle recenti Linee guida per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", Convegno "Interventi post sisma: tecniche di prevenzione e sicurezza", Bologna, 2012
- M. Ercolino, G. Magliulo, G. Manfredi, "Failure of a precast RC building due to Emilia - Romagna earthquakes", Engineering Structures 118, Elsevier, 2016, pp. 262-273
- Autori vari, "Capannoni monopiano prefabbricati: distribuzione probabilistica dei sistemi e sottosistemi strutturali dagli anni sessanta ad oggi", Progettazione Sismica – Vol. 5, N.3, Eucentre Press, 2014, pp. 41-60

- Protezione Civile, RELUIS, CNI, Assobeton, “Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici”, 2012
- A. Belleri, M. Torquati, P. Riva, “Miglioramento e adeguamento sismico di edifici industriali: valutazione degli interventi e applicazione a un caso studio”
- Autori vari, “Strutture prefabbricate: schedario dei collegamenti”, progetto triennale 2005/08-DPC/RELUIS – Assobeton, 2007
- B. Dal Lago, P. Negro, A. Dal Lago, “Seismic design and performance of dry-assembled precast structures with adaptable joints, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 106, Elsevier, 2018, pp. 182-195
- L. Di Sarno, G. Manfredi, “Seismic retrofitting with buckling restrained braces: Application to an existing non-ductile RC framed building”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30, Elsevier, 2010, pp. 1279-1297
- F. Tartero, D. Bellotti, R. Nscimbene, “Procedure di modellazione di capannoni industriali prefabbricati esistenti”, Eucentre, 2013
- CGIL Marche, CISL Marche, UIL Marche, “Scheda di analisi dell’area colpita dal sisma della regione Marche”, 2017
- E. Rullani, “Industria in transizione - Sfide e possibilità per la provincia di Pesaro-Urbino”, Confindustria Pesaro-Urbino
- M. Ragona, “Cinture di sicurezza sismiche per capannoni industriali – Studio distribuzione delle forze sui sistemi di appensione della copertura”, tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino, 2017
- P. Gabriele, “Adeguamento sismico di capannoni industriali in cemento armato”, tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, 2018
- Prezziario Regione Marche 2018

- L. Coccia, A. Gabbianelli, “Riciclasì Capannoni”, Aracne Editrice Int.le S.r.l., 2015
- L. Casarin, “Risposta sismica di edifici prefabbricati: interazione tamponamenti struttura”, tesi di Laurea Magistrale, università di Pdoval, 2012

SITOGRAFIA

- http://www.governo.it/sites/governo.it/files/DM_20170228_lineeguida_allA.pdf
- <https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=wbYe-54vmKU.pdf>
- <https://ingvterremoti.wordpress.com/la-pericolosita-sismica/>
- <http://www.regione.marche.it/>
- http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica/Cartografia/Web_Gis
- <https://www.patrimonioculturale-er.it/webgis/>
- <https://www.regione.emilia-romagna.it/>
- <https://www.regione.emilia-romagna.it/terremoto/archivio/nove-mesi-dal-sisma/i-danni>
- http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/life/POR_Emilìa-Romagna_FESR_SFC2007.pdf
- https://www.oppo.it/tabelle/a_elenco_tabelle.html
- <https://pixabay.com/it/kaczeniec-knie%C4%87-guado-fiore-giallo-2234360/>
- <https://www.impresamia.com/terremoto-agricoltura-cia-danni-per-decine-di-mln-edifici-rurali-distrutti-animali-morti-e-distruzione-prodotti-tipici/>
- <https://www.lettera43.it/it/articoli/attualita/2012/05/30/terremoto-in-emilia-inchiesta-sui-capannoni/44870/>

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo tutti i docenti e tutor che ci hanno supportato nella ricerca e nell'elaborazione di questa tesi, a partire dal relatore, professore ingegnere Giuseppe Andrea Ferro, e dalla correlatrice, architetto Luciana Restuccia, che ci hanno supportato nell'elaborare la parte per noi più difficile, quella relativa al progetto strutturale, stimolandoci costantemente e fornendoci tutte le documentazioni utili a poter affrontare il lavoro.

I correlatori, il professore architetto Massimo Crotti e il professore architetto Alessandro Gbbianelli, grazie ai quali abbiamo sviluppato il progetto architettonico. Con grande professionalità, umiltà e collaborazione, sono stati determinanti nei ragionamenti svolti e nei risultati ottenuti.

Ringraziamo il professore architetto Luigi Coccia, docente di Composizione Architettonica e Urbana alla Scuola di Architettura e Design "Eduardo Vittoria" di Ascoli Piceno. Grazie al suo aiuto siamo stati indirizzati nella ricerca del caso studio. Lo ringraziamo particolarmente per averci regalato parte del suo tempo nella ricerca di materiale utile allo sviluppo del progetto architettonico.

Un ringraziamento particolare va all'amministrazione del Lanificio Cariaggi di Cagli, in particolar modo a Cristiana Cariaggi, per essersi interessata con entusiasmo al progetto e per averci dedicato parte del suo prezioso tempo fornendoci materiali e affiancandoci personale per lo svolgimento dei sopralluoghi, come il geometra David Sabbatini, che ringraziamo per essersi dimostrato una persona disponibilissima in ogni

momento in cui avevamo bisogno di informazioni e chiarimenti e per essersi impegnato nella ricerca di materiale strutturale ed architettonico riguardanti lo stabile oggetto della tesi.

Il più sentito e amorevole ringraziamento va alle nostre famiglie, per le quali il nostro traguardo ha rappresentato un notevole sforzo mentale ed economico e che, soprattutto, ci hanno sempre supportato, nei momenti di gioia ed in quelli carichi di pressione, aiutandoci a superare tutte le avversità lungo il percorso che ci ha portato a questo punto. Senza di loro non avremmo potuto neanche immaginare di raggiungere questo obiettivo.

Ringraziamo il nostro caro amico Lucas per averci supportato nei momenti più duri della stesura di questa tesi, con costante appoggio morale e materiale, seppur da molto lontano.

Infine ognuno di noi due desidera ringraziare l'altro per l'impegno e la dedizione serrati dimostrati lungo la realizzazione di questo lavoro, per aver sopportato le insicurezze ed i dubbi, per averli affrontati e risolti assieme, per la passione e l'amore che ci abbiamo messo nel realizzare questo che, ad oggi, è il più grande traguardo della nostra vita.

