POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Civile

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile Geotecnica

Tesi di Laurea Magistrale

BIM e interoperabilità con il programma di calcolo strutturale Midas Gen



Relatore

Prof. Anna Osello

Correlatore

Ing. Francesca Maria Ugliotti Ing. Francesco Tondolo

CandidatoLaura Muratore

Ottobre 2018

Abstract

La metodologia BIM è ancora poca sviluppata nell'ambito strutturale.

L'obiettivo della tesi è definire una metodologia di lavoro, che parte dal rilievo strutturale ed arriva alle verifiche degli elementi strutturali, attraverso un modello BIM completo di una struttura esistente che deve essere esportato e valutato in un software di calcolo strutturale.

Per quanto riguarda il rilievo strutturale, le informazioni raccolte sono associate direttamente agli elementi indagati; per quanto riguarda l'interoperabilità vengono studiati alcuni punti di attenzione, valutandone l'efficienza e la convenienza di svolgerli utilizzando questa metodologia.

Indice

Lo studio si inserisce nell'ambito del progetto TOBIM di digitalizzazione degli edifici pubblici della Città di Torino ed è finalizzato ad indagare l'interoperabilità tra software di modellazione e di calcolo per le verifiche di tipo strutturale.

A partire dal caso studio del complesso scolastico di Via Cecchi è stato testato un metodo di lavoro atto a massimizzare il trasferimento delle informazioni verso software di calcolo strutturale diversi.

La presente tesi sviluppa le analisi di interoperabilità con il software Advance Design mentre la tesi di Laura Muratore "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Midas" approfondisce l'utilizzo del software Midas Gen.

L'approccio di ricerca adottato è sinergico, pertanto sono presentate valutazioni comparative tra i due software.

Capitolo 1 –	- Introduzione	19
Capitolo 2 –	Modellazione BIM per il calcolo strutturale	21
Capitolo 3 -	Metodologia applicata al caso studio	24
Capitolo 4 -	Rilievo architettonico e modellazione	27
4.1. Me	etodologia rilievo	27
4.2. Do	cumentazione di partenza	29
4.3. Cro	eazione modello architettonico pre – rilievo	31
4.4. Ril	ievo in situ	33
4.4.1.	Rilievo geometrico	33
4.4.2.	Rilievo fotografico	35
4.4.3.	Indagine conoscitiva schema strutturale	39
4.4.4.	Terminali d'impianto termico e dispositivi d'illuminazione	40
4.4.5.	Rilievo di dettaglio infissi	40
4.4.6.	Codifica locali	40
4.5. Ela	aborazione dati raccolti e modellazione	42
4.5.1.	Inserimento dei locali	42
4.5.2.	Modellazione infissi e terminali d'impianto termico	44

4.5.3.	Implementazione modello	45
Capitolo 5	- Rilievo strutturale e modellazione	47
5.1. C	enni teorici	47
5.1.1.	Normativa di riferimento	47
5.1.2.	Prove strutturali	52
5.2. P	rocedura utilizzata e obiettivi	57
5.3. A	nalisi storico – critica	59
5.4. In	ntegrazione strutturale modello BIM	62
5.4.1.	Modello strutturale	62
5.4.2.	Criticità carpenterie – rilievo architettonico	71
5.4.3.	Valutazione livelli di dettaglio tramite BIM	74
5.5. P	rogettazione BIM rilievo strutturale	79
5.5.1.	Criticità e soluzione individuata	80
5.5.2.	5.5.2. Descrizione soluzione adottata	80
5.6. P	rova Pacometrica	88
5.7. P	rova Sclerometrica	90
5.7.1.	Piano delle indagini	90
5.7.2.	Rilievo in situ	93
5.7.3.	Analisi dei dati	94
5.8. V	alutazione del livello di conoscenza raggiunto	99
Capitolo 6	– Interoperabilità dei software	102
6.1. R	icerca software di calcolo strutturale	102
6.1.1.	Advance Design 2018	103
6.1.2.	Midas Gen 2018	103
6.2. In	ndividuazione punti di attenzione per l'interoperabilità	109
6.3. E	ccentricità	110
6.3.1.	Advance Design	114
6.3.2.	Midas Gen	114
6.3.3.	Incidenza eccentricità	118
6.4. Z	ona rigida nodo trave – pilastro	120
6.4.1.	Individuazione criticità di modellazione	120

6.4.2.	Ricerca soluzioni	.121
6.5. Sol	laio	144
6.5.1.	Individuazione punti di attenzione legati all'esportazione	144
6.5.2.	Sovrapposizione carichi trave – solaio	150
6.5.3.	Ricerca soluzioni al problema sovrapposizione	155
6.5.4.	Implementazione soluzione adottata	162
6.5.5.	Verifica incidenza soluzione adottata	162
6.6. Ap	plicazione dei carichi	163
6.6.1.	Advance Design	165
6.6.2.	Midas Gen	165
Capitolo 7 -	Modellazione e analisi strutturale su software di calcolo	167
7.1. Ch	eck modello ed esportazione su software di calcolo	167
7.1.1.	Controllo analitico	169
7.1.2.	Controllo peso degli elementi strutturali	171
7.2. Op	erazioni post – esportazione	174
7.2.1.	Advance Design	174
7.2.2.	Midas Gen	174
7.3. Ap	plicazione carichi e calcolo sollecitazioni	181
7.3.1.	Cenni teorici	181
7.3.2.	Calcolo carichi agenti	187
7.3.3.	Advance Design	191
7.3.4.	Midas Gen	. 192
7.4. Ve	rifica di alcuni elementi strutturali	. 197
7.4.1.	Cenni teorici	. 197
7.4.2.	Advance Design	. 199
7.4.3.	Midas Gen	199
Capitolo 8 -	Risultati	. 212
8.1. Mo	odellazione strutturale BIM	212
8.2. Pro	ove strutturali in situ	213
8.3. Into	eroperabilità con il software di calcolo	214
8.4. De	finizione tempi operativi	216

8.5. Valutazione vantaggi metodologia BIM	222
8.5.1. Advance Design	223
8.5.2. Midas Gen	223
Capitolo 9 – Conclusioni	225
Allegato A – Relazione specialistica rilievo strutturale	
Bibliografia	
Sitografia	
Sitografia	231

Indice delle tabelle

Tabella 1. Codifica locali	40
Tabella 2. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza per edifici in c.a. o in acciaio	50
Tabella 3. Livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.	51
Tabella 4. Materiale di archivio	60
Tabella 5. Schema pilastri edifici 1-2-3	64
Tabella 6. Definizione livelli di posizionamento elementi strutturali	65
Tabella 7. Estratto abaco pilastri strutturali	67
Tabella 8. Rappresentazione analitica elementi in Revit	68
Tabella 9. Risultati prova pacometrica, edificio 1	88
Tabella 10. Risultati prova pacometrica, edificio 2	89
Tabella 11. Risultati prova pacometrica, edificio 3	89
Tabella 12. Contrassegno posizione massa generica	91
Tabella 13. Risultati prova sclerometrica	95
Tabella 14. Calcolo indice rimbalzo medio	95
Tabella 15. Calcolo delle caratteristiche meccaniche medie	96
Tabella 16. Percentuale degli elementi indagati e verificati per prova pacometrica	99
Tabella 17. Percentuale degli elementi indagati e verificati per prova sclerometrica	99
Tabella 18. Calcolo delle caratteristiche meccaniche divise per i fattori di confidenza	100
Tabella 19. Ricerca software di calcolo strutturale	103
Tabella 20. Elementi esportabili in Midas	106
Tabella 21. Percentuale di errore – Momento dell'estremo finale del pilastro	118
Tabella 22. Percentuale di errore – Momento dell'estremo finale del pilastro	119
Tabella 23. Percentuale di errore – Momento della trave in direzione x	119
Tabella 24. Tabella riassuntiva caso 1	127
Tabella 25. Risultati complessivi caso 2-Panel Zone	134
Tabella 26. Risultato caso 3	138
Tabella 27. Riassunto caso 0, telaio 1	142
Tabella 28. Riassunto caso 0, telaio 2	142
Tabella 29. Verifica sovrapposizione trave-solaio	150
Tabella 30. Sintesi momento massimo casi analizzati per la verifica della sovrappos	sizione
trave-solaio	152
Tabella 31. Verifica sovrapposizione trave-solaio	154

Tabella 32. Tabella conclusiva casi indagati – confronto software	154
Tabella 33. Errore sovrapposizione trave-solaio in Advance Design	161
Tabella 34. Errore sovrapposizione trave-solaio in Midas Gen	162
Tabella 35. Muri controterra edificio 2 in Revit	172
Tabella 36. Tabella conclusiva del peso dei singoli elementi strutturali	173
Tabella 37. Confronto peso elementi Revit – Midas Gen	173
Tabella 38. Confronto peso elementi Revit – Advance Design	173
Tabella 39. Carichi noti dalle carpenterie	187
Tabella 40. Tabella carichi noti da carpenteria	188
Tabella 41. Tabella carichi da normativa	188
Tabella 42. Tabella riassuntiva caratteristiche del vento	189
Tabella 43. Definizione coefficienti delle tre combinazioni	190
Tabella 44. Dati ottenuti dal rilievo strutturale in situ per il pilastro 22 PT	200
Tabella 45. Dati ottenuti dal rilievo strutturale in situ per il pilastro 23 PT	201
Tabella 46. Linea guida modellazione punti di attenzione interoperabilità	214
Tabella 47. Elementi analitici edificio 2	217
Tabella 48. Operazioni pre - esportazione Advance Design	218
Tabella 49. Operazioni pre - esportazione	218
Tabella 50. Operazioni post - esportazione	219
Tabella 51. Tempo impiegato per operazioni post - esportazione	219
Tabella 52. Tempo impiegato per operazioni post - esportazione	220
Tabella 53. Confronto software tempi impiegati	221
Tabella 54. Incidenza percentuale operazioni	222
Tabella 55. Percentuale vantaggio utilizzo metodologia BIM	223
Tabella 56. Percentuale vantaggio utilizzo metodologia BIM	223
Tabella 57. Allegato A – Livelli di conoscenza per edifici in c.a. o in acciaio	228
Tabella 58. Allegato A - Livelli di rilievo e prove per edifici in c.a	228
Tabella 59. Allegato A - Pilastri indagati edificio 1 prova pacometrica	230
Tabella 60. Allegato A - Pilastri indagati edificio 2 prova pacometrica	230
Tabella 61. Allegato A – Pilastri indagati edificio 3 prova pacometrica	231
Tabella 62. Allegato A – Pilastri indagati edificio 3 prova sclerometrica	231
Tabella 63. Allegato A – Caratteristiche meccaniche da analisi dei dati prova sc	lerometrica
	232
Tabella 64. Allegato A – Tolleranza per l'analisi dei dati prova pacometrica	232

Tabella 65. Allegato A – Risultati prova pacometrica edificio 1	233
Tabella 66. Allegato A – Risultati prova pacometrica edificio 2	234
Tabella 67. Allegato A – Risultati prova pacometrica edificio 3	234
Tabella 68. Allegato A – Elementi indagati e verificati in percentuale per la	a prova
pacometrica	235
Tabella 69. Allegato A – Elementi indagati e verificati in percentuale per la	a prova
sclerometrica	235
Tabella 70. Allegato A - Caratteristiche meccaniche ottenute dalla prova sclerometrica	236
Tabella 71. Allegato A - Calcolo delle caratteristiche meccaniche medie divise per i f	attori di
confidenza	236

Indice delle figure

Figura 1. Interoperabilità tra i diversi attori del processo edilizio	21
Figura 2. Confronto tra pianificazione in CAD e pianificazione in BIM	22
Figura 3. Localizzazione del complesso scolastico utilizzato come caso studio	24
Figura 4. Diagramma di flusso metodologia applicata al caso studio	26
Figura 5. Diagramma di flusso metodologia rilievo architettonico	28
Figura 6. Individuazione edifici del complesso scolastico	29
Figura 7. Esempio di pianta PT e sezione (da documentazione fornita)	30
Figura 8. Livelli di quota degli edifici del complesso scolastico	31
Figura 9. Dettaglio - Criticità dei muri perimetrali	32
Figura 10. Dettaglio – Collegamenti tra edifici e presenza giunto sismico	32
Figura 11. Dispositivi per il rilievo geometrico: distanziometro e metro a nastro	33
Figura 12. Esempio – Pianta piano primo, edificio 2	34
Figura 13. Esempio - Rilievo geometrico interno. Pianta piano terreno, edificio 2	34
Figura 14. Esempio - Rilievo geometrico esterno. Pianta piano terreno, edificio 1	35
Figura 15. Dislivello tra edifici e uniformità muri esterni della facciata	35
Figura 16. Giunto sismico tra edificio 3 e ingresso 3 dall'esterno e dall'interno	36
Figura 17. Vista dal retro dei tre edifici	36
Figura 18. Vista frontale edificio 1, edificio 2 ed ingresso 1	37
Figura 19. Giunto sismico dall'interno	37
Figura 20. Corridoio piano terra edificio 2	38
Figura 21. Corridoio piano tipo aule	38
Figura 22. Maglia strutturale – Pianta primo piano, edificio 1	39
Figura 23. Maglia strutturale – Pianta secondo piano, edificio 2	39
Figura 24. Schematizzazione locali – Pianta piano primo, edificio 1	41
Figura 25. Proprietà abaco	43
Figura 26. Stralcio Abaco locali	43
Figura 27. Abaco dei locali in pianta	44
Figura 28. Strumentazione utilizzata per la prova pacometrica	53
Figura 29. Strumentazione per la prova sclerometrica	54
Figura 30. Angolazioni di utilizzo dello sclerometro	56
Figura 31. Diagramma di flusso procedura rilievo strutturale e modellazione	58
Figura 32. Tavola di carpenteria PT ED2	61

Figura 33. Stralcio carpenteria – Tabella pilastri ED2	63
Figura 34. Creazione famiglia pilastro in Revit	65
Figura 35. Prospetto edifico 1 – individuazione livelli di riferimento	66
Figura 36. Pianta strutturale 01 ED1 – visualizzazione griglie	66
Figura 37. Contrassegno di posizione pilastro 38-47	67
Figura 38. Stralcio modello fisico edificio 1	68
Figura 39. Confronto visualizzazione modello fisico e analitico	69
Figura 40. Carpenteria piano terra, edificio 1	71
Figura 41. Carpenteria piano primo, edificio 1	71
Figura 42. Carpenteria originaria, edificio 3	72
Figura 43. Architettonico e strutturale sovrapposto, edificio 3	72
Figura 44. A sinistra modello architettonico nuovo, a destra modello strutturale da carpent	teria
	73
Figura 45. Trave ribassata riscontrata da rilievo in situ	73
Figura 46. Creazione parametri condivisi – livelli di conoscenza	75
Figura 47. Inserimento parametri condivisi nel progetto	76
Figura 48. Regole di filtraggio	76
Figura 49. Diagramma di flusso del progetto del rilievo strutturale	79
Figura 50. Definizione parametri inseriti nella massa generica	81
Figura 51. Inserimento parametri nel progetto nelle categorie di elementi selezionate	81
Figura 52. Famiglia Sclerometro – parametri inseriti	82
Figura 53. Proprietà abaco – Pacometro e sclerometro	83
Figura 54. Step 1 – Pilastri indagati - Sclerometro	84
Figura 55. Filtro masse fittizie con sclerometro	85
Figura 56. Script di Python della funzione All intersecting element of category	by
boundingbox	85
Figura 57. Intersezione elementi prova sclerometrica	86
Figura 58. Esempio - Contrassegno pilastro	86
Figura 59. Combinazione parametri sclerometro	87
Figura 60. Stralcio da abachi per individuazione del pilastro associato alla massa gene	rica
creata	87
Figura 61- Legenda risultati prova pacometrica	88
Figura 62. Individuazione elementi da indagare per prova sclerometrica	91
Figura 63. Parametri prova sclerometrica	92

Figura 64. Inserimento parametri nell'abaco	93
Figura 65. Dati acquisiti durante l'esecuzione della prova sclerometrica	94
Figura 66. Diagramma (R-R _{ck})	96
Figura 67. Risultati prove effettuate nel 2012	96
Figura 68. Caratteristiche dei materiali da carpenteria	97
Figura 69. Plug-in esportazione file in Midas	. 106
Figura 70. Diagramma di flusso esportazione/importazione del modello Revit-Midas Gen	. 107
Figura 71. Associazione materiale in Revit e in Midas	. 107
Figura 72. Sezioni mappate	. 108
Figura 73. Importazione file sul software Midas	. 108
Figura 74. Criticità: eccentricità elementi (sx), definizione nodo rigido trave-pilastro (dx)	. 109
Figura 75. Criticità: modellazione solaio	. 109
Figura 76. Individuazione elementi eccentrici – Pilastri 22 e 23 PT ED2	. 110
Figura 77. Telaio tridimensionale	. 110
Figura 78. Dettaglio collegamento analitico errato	. 111
Figura 79. Correzione collegamento analitico per travi e pilastri	. 111
Figura 80. Modello analitico generato automaticamente – errore collegamento anal	litico
automatico	. 112
Figura 81. Dettaglio collegamento analitico corretto manualmente	. 112
Figura 82. Proprietà dei collegamenti analitici	. 113
Figura 83. Telaio spaziale	. 114
Figura 84. Diagramma di momento con link elastico	. 115
Figura 85. Dettaglio nodo travi- pilastro del diagramma di momento Figura 127	. 115
Figura 86. Telaio spaziale con ingombri e analitico	. 116
Figura 87. Pilastro corretto con offset architettonico	. 116
Figura 88. Diagramma momento	. 117
Figura 89. Diagramma momento con ingombro pilastro eccentrico	. 119
Figura 90. Impostazioni modello analitico trave	. 120
Figura 91. Impostazioni modello analitico pilastro	. 121
Figura 92. Inserimento collegamento analitico in Revit	. 123
Figura 93. Esportazione modello analitico in Midas Gen	. 123
Figura 94. Diagramma di momento del telaio esportato	. 124
Figura 95. Diagramma di momento singoli elementi trave e pilastri)	. 124
Figura 96. Reazioni vincolari	. 125

Figura 97. Diagramma momento flettente calcolato manualmente	125
Figura 98. Diagramma di momento flettente	126
Figura 99. Diagramma momento flettente calcolato manualmente	127
Figura 100. Telaio analitico in Revit	128
Figura 101. Inserimento Panel Zone Effect	128
Figura 102. Cenno teorico da manuale	129
Figura 103. Cenno teorico da manuale	129
Figura 104. Visualizzazione con ingombri e analitica - Caso 2	130
Figura 105. Diagramma momento flettente	131
Figura 106. Diagramma di momento singoli elementi (trave e pilastri)	131
Figura 107. Reazioni vincolari caso 2	132
Figura 108. Diagramma momento flettente calcolato manualmente	132
Figura 109. Diagramma di momento flettente	133
Figura 110. Diagramma momento flettente calcolato manualmente	134
Figura 111. Modello sul software dopo applicazione comando Beam End Offse	t 135
Figura 112. Diagramma di momento flettente caso 3	136
Figura 113. Reazione vincolari caso 3	136
Figura 114. Diagramma di momento flettente calcolato manualmente	137
Figura 115. Diagramma momento flettente	137
Figura 116. Diagramma di mometo flettente calcolato manualmente	138
Figura 117. Diagramma di momento flettente caso 0, telaio 1	139
Figura 118. Diagramma di momento flettente caso 0, telaio 1 – Travi e pilastri	140
Figura 119. Reazioni vincolari caso 0, telaio 1	140
Figura 120. Diagramma di momento flettente caso 0, telaio 2	140
Figura 121. Diagramma momento flettente caso 0, telaio 2 – travi e pilastri	141
Figura 122. Reazioni vincolai caso 0, telaio 2	141
Figura 123. Confronto diagrammi soluzione adottata per i due telai	143
Figura 124. Stratigrafia solaio: Latero cementizio - 40 cm.	144
Figura 125. Orditura solaio strutturale in Revit	145
Figura 126. Visualizzazione analitica telaio spaziale in Revit	145
Figura 127. Solaio esportato sul software di calcolo Midas	146
Figura 128. Diagramma di momento telaio	146
Figura 129. Inserimento peso proprio elementi	147
Figura 130. Inserimento "Floor load" bidirezionale	148

Figura 131. Diagramma di momento con "Floor load" bidirezionale	148
Figura 132. "Floar load" applicato secondo orditura monodirezionale	149
Figura 133. Diagramma momento flettente "Floar load" applicato secondo	orditura
monodirezionale	149
Figura 134. Diagramma di momento Caso A	151
Figura 135. Diagramma di momento Caso B	151
Figura 136. Diagramma di momento Caso A'	152
Figura 137. Diagramma di momento Caso (A'/2) + B	153
Figura 138. Diagramma di momento Caso A + B.	153
Figura 139. Modellazione solaio in Revit da filo trave	155
Figura 140. Visualizzazione analitica solaio modellato da filo trave	156
Figura 141. Inserimento collegamento analitco	156
Figura 142. Esportazione Caso 1	157
Figura 143. Diagramma di momento flettente Caso 1	157
Figura 144. Inserimento solaio ridotto direttamente sul software di calcolo	158
Figura 145. Diagramma momento flettente caso 2	159
Figura 146. Individuazione area di carico reale	160
Figura 147. Diagramma di momento telaio con carico totale	161
Figura 148. Diagramma di momento telaio con carico equivalente reale	162
Figura 149. Definizione carichi in Revit	163
Figura 150.Definizione combinazione dei carichi in Revit	164
Figura 151. Applicazione dei carichi e visualizzazione tramite abaco carichi	164
Figura 152. Carichi ospitati in Revit	165
Figura 153. Applicazione dei carichi in Revit.	165
Figura 154. Esportazione modello	166
Figura 155. Diagramma di flusso check del modello.	168
Figura 156. Individuazione criticità in Revit	169
Figura 157. Individuazione criticità in Midas Gen	170
Figura 158. Verifica soluzione adottata	170
Figura 159. Inserimento parametro edificio 2	171
Figura 160. Filtraggio rispetto al parametro edificio 2	172
Figura 161. Operazioni post- esportazione	174
Figura 162. Edificio 2 – Midas	174
Figura 163. Operazioni post-esportazione	175

Figura 164.	Verifica collegamenti analitici	175
Figura 165.	Verifica livelli	176
Figura 166.	Inserimento vincoli	176
Figura 167.	Assegnazione materiale	177
Figura 168.	Verifica centroide elemento	177
Figura 169.	Criticità riscontrate	178
Figura 170.	Modifica mesh muri controterra	179
Figura 171.	Verifica soluzione adottata	179
Figura 172.	Elementi oggetto del comando in vista 3D	179
Figura 173.	Elementi oggetto del comando in vista dall'alto	180
Figura 174.	Tabella 3.1.II al Capitolo 3.1.4 del D.M. 14 gennaio 2008	182
Figura 175.	Tabella 3.3.I al Capitolo 3.1.4 del D.M. 14 gennaio 2008	183
Figura 176.	Tabella 3.3.II al Capitolo 3.1.4 del D.M. 14 gennaio 2008	184
Figura 177.	Tabella 3.3.III al Capitolo 3.1.4 del D.M. 14 gennaio 2008	184
Figura 178.	Definizione classe di rugosità del terreno da D.M. 14 gennaio 2008	184
Figura 179.	Coefficiente di pressione da "Circolare Allegata n. 617 del 2 Febbraio 2009	185
Figura 180.	Zona di carico da neve da D.M. 14 gennaio 2008	185
Figura 181.	Coefficiente di forma - Tabella 3.4.II da D.M. 14 gennaio 2008	186
Figura 182.	Coefficiente di esposizione - Tabella 3.4.I da D.M. 14 gennaio 2008	186
Figura 183.	Coefficienti parziali per le azioni - Tabella 2.6.I da D.M. 14 gennaio 2008	186
Figura 184	Valori dei coefficienti di combinazione- Tabella 2.5.I da D.M. 14 gennaio 2	2008
		187
Figura 185.	Diagramma My riferita alla combinazione di carico utilizzata	191
Figura 186.	Deformata riferita alla combinazione di carico utilizzata	191
Figura 187.	Definizione casi di carico	192
Figura 188.	Inserimento peso proprio	192
Figura 189.	Definizione carichi nei Floor load	193
Figura 190.	Inserimento Floor load	194
Figura 191.	Inserimento elementi fittizzi	194
Figura 192.	Divisione travi per definire l'area di carico rettangolare	195
Figura 193.	Applicazione del carico vento direzione Y+	195
Figura 194.	Combinazioni dei carichi in Midas Gen	196
Figura 195.	Diagramma di My per la combinazione dei carichi utilizzata	196
Figura 196.	Deformata per la combinazione dei carichi utilizzata	196

Figura 197.	Combinazione di carico utilizzata	. 199
Figura 198.	Armatura pilastro 22 PT da carpenteria	. 200
Figura 199.	Armatura pilastro 23 PT da carpenteria	. 201
Figura 200.	Individuazione posizione trave 110 piano primo	. 201
Figura 201.	Armatura longitudinale da carpenteria trave 110 piano primo	. 202
Figura 202.	Armatura trasversale da carpenteria trave 110 piano primo	. 202
Figura 203.	Posizione trave 111 piano primo	. 202
Figura 204.	Armatura longitudinale da carpenteria trave 111 piano primo	. 203
Figura 205.	Armatura longitudinale da carpenteria trave 111 piano primo	. 203
Figura 206.	Caratteristiche materiali utilizzati	. 204
Figura 207.	Inserimento armatura pilastro 22 PT	. 205
Figura 208.	Curve di interazione pilastro 22 PT	. 205
Figura 209.	Report verifiche su Midas Gen del pilastro 22 PT	. 206
Figura 210.	Inserimento armatura pilastro 23 PT	. 207
Figura 211.	Curve di interazione pilastro 23 PT	. 207
Figura 212.	Report verifiche su Midas Gen pilastro 23 PT	. 208
Figura 213.	Inserimento armatura trave 110 piano primo	. 209
Figura 214.	Report verifiche a flessione su Midas Gen trave 110 piano primo	. 209
Figura 215.	Report verifiche a taglio su Midas Gen trave 110 piano primo	. 210
Figura 216.	Inserimento armatura trave 111 piano primo	. 210
Figura 217.	Report verifica a flessione sul software MIdas Gen trave 111 piano primo	. 211
Figura 218.	Report verifica a taglio sul software Midas Gen trave 111 piano primo	. 211
Figura 219.	Modello strutturale sul software di modellazione	. 212
Figura 220.	Elementi analitici edificio 2	. 217
Figura 221.	Tempo impiegato operazioni post-esportazione in Midas Gen	. 220
Figura 222.	Diagramma incidenza percentuale operazioni sul software di calcolo	. 222
Figura 223.	Allegato A – Legenda risultati prova pacometrica	. 232

Capitolo 1 – Introduzione

L'obiettivo della tesi è valutare il potenziale di un modello strutturale realizzato attraverso la metodologia BIM, organizzando in un modello tutte le informazioni relative alla componente architettonica e strutturale, e l'interoperabilità del modello con software di calcolo strutturale.

L'utilizzo del BIM in campo strutturale potrebbe essere sviluppato maggiormente, è un tema sono ancora in fase di esplorazione da parte dei professionisti del settore. Un punto di attenzione su cui concentrarsi è la diversa visione nella modellazione tra architettonico e strutturale: la prima punta ad ottenere un modello più verosimile possibile, la seconda a schematizzare la struttura in aste e nodi per la successiva analisi ad elementi finiti.

Con il presente elaborato si vuole cercare di avvicinare le due visioni ad un punto d'incontro che possa rendere il modello BIM sempre più efficiente.

L'edificio utilizzato come caso studio fa parte del patrimonio esistente ed è un complesso scolastico situato in Via Cecchi a Torino. Esso rientra nel progetto TOBIM, promosso dal Comune di Torino e il Politecnico di Torino, finalizzato alla digitalizzazione del portafoglio immobiliare pubblico.

Dalla documentazione di partenza fornita dal Comune di Torino, è stato possibile realizzare un modello architettonico tramite il software BIM *Revit 2018*, che si basa sulle piante CAD del complesso aggiornate agli anni 2000. Da questa prima modellazione vengono evidenziate delle criticità, che sono state risolte in situ con un rilievo architettonico.

Il rilievo architettonico è stato svolto per valutare la situazione attuale della struttura e segue le impostazioni comuni elaborate nell'ambito del progetto TOBIM, per gli aspetti riguardanti il Facility Management (FM) che comprendono: locali, infissi, terminali d'impianto termico e dispositivi d'illuminazione. È stato successivamente implementato il modello di partenza con tutte le informazioni raccolte.

Dalla modellazione architettonica si passa a quella strutturale. Essa necessita di una ricerca più approfondita all'archivio della scolastica comunale di materiale originario dell'epoca della costruzione (carpenterie, dettagli costruttivi, certificazioni sui materiali, ecc.). Per verificare e completare le informazioni, è stato eseguito un rilievo strutturale.

Il rilievo strutturale è stato studiato in chiave BIM. Si valuta per prima cosa il livello di dettaglio con cui sono definiti i singoli elementi strutturali, per poi valutare un piano di

indagini ottimale. Il rilievo è stato incentrato sulla caratterizzazione meccanica dei materiali e sull'individuazione degli schemi di armatura presenti.

Le informazioni raccolte con il rilievo in situ sono state associate ai singoli elementi indagati, sfruttando anche le potenzialità del software integrato *Dynamo*. È stato così completato il modello BIM strutturale.

E' stato affrontato quindi il tema principale della tesi: l'interoperabilità con programmi di calcolo strutturale. Primo passaggio è la scelta dei software, basata su aspetti ritenuti fondamentali, quali la presenza di plug-in e la possibilità di utilizzare formati di scambio interno.

Lo studio dell'interoperabilità è stato incentrato su alcuni aspetti della modellazione strutturale: valutazione dell'eccentricità e della zona rigida all'intersezione trave – pilastro, modellazione dei solai e l'applicazione dei carichi.

Per ogni aspetto sono state valutate le possibilità di modellazione, le criticità rilevate e le possibili soluzioni. È stata scelta quella reputata migliore dal punto di vista dell'interoperabilità e dell'efficienza.

Il modello strutturale è stato allora implementato con le soluzioni adottate per i vari aspetti dell'interoperabilità affrontati ed esportato sui software di calcolo.

Prima dell'avvio dell'analisi vengono svolte alcune operazioni di controllo e di completamento al modello, per superare le criticità legate all'interoperabilità. Vengono a questo punto calcolate le sollecitazioni ed impostate le verifiche strutturali su alcuni elementi.

In conclusione all'elaborato, sono stati studiati i tempi operativi di modellazione e i vantaggi della metodologia BIM per i vari temi dell'interoperabilità affrontati.

Capitolo 2 – Modellazione BIM per il calcolo strutturale

Ad oggi la diffusione del BIM in Italia si è concentrata prevalentemente nel settore della progettazione architettonica: in questo campo le soluzioni sono sempre più avanzate e quindi ora sufficientemente mature per essere utilizzate in modo altamente professionale.

Sono partite solo in tempi più recenti proposte per soluzioni BIM legate ad aspetti strutturali ed impiantistici. Una delle potenzialità che il BIM offre è la possibilità di interazione tra le diverse figure professionali che intervengono nella realizzazione della totalità del progetto, in tutte le sue fasi, facendo risparmiare tempo e soldi.

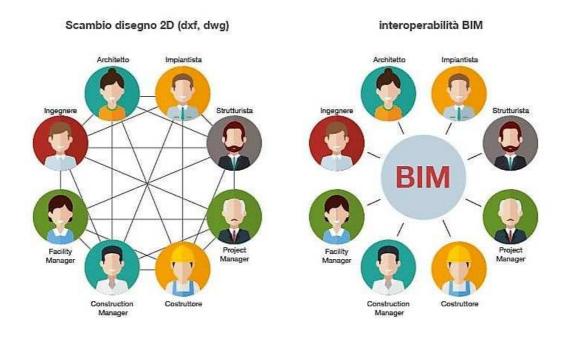


Figura 1. Interoperabilità tra i diversi attori del processo edilizio

Fonte: http://bim.acca.it/legame-bim-ifc/grafico_ifc-en/

La metodologia BIM (Building Information Modelling) porta ad una vera e propria rivoluzione digitale. Prima di questa metodologia si pensava che la rivoluzione fosse l'introduzione di sistemi grafici computerizzati (CAD): in realtà non è stato fatto altro che trasferire sul computer quanto prima veniva fatto manualmente, velocizzando le operazioni di disegno ed offrendo strumenti per aumentare la produttività, senza però modificare l'impostazione del sistema. Non vengono infatti identificati gli elementi grafici introdotti: una linea che indica una porta ha la stessa valenza di una che indica un muro o una finestra.

Nel software di modellazione BIM la rappresentazione grafica non è più bidimensionale ma è costituita da oggetti tridimensionali, costituendo un modello virtuale formato da oggetti elementari come muri, solai, pilastri, scale, fino ad arrivare agli elementi di arredo. Il software BIM, da questo modello tridimensionale, ha la possibilità di estrapolare automaticamente piante, prospetti e sezioni, facendo risparmiare molto tempo al progettista.



Figura 2. Confronto tra pianificazione in CAD e pianificazione in BIM

Fonte: http://cadbimservices.com/en/cual-es-el-mejor-programa-bim/

Rivoluzione ancora più importante del modello BIM è che esso può contenere al suo interno tutte le informazioni necessarie per la costruzione: il progetto architettonico può essere quindi integrato con il progetto strutturale e quello degli impianti.

Altri vantaggi evidenti e molto importanti sono:

- Riduzione della duplicazione dei dati: ad esempio i dati nel progetto architettonico (geometrie, materiali, ecc.) sono utilizzati automaticamente dalle componenti strutturali e impiantistiche del progetto, evitando errori e ripetizioni.
- Controllo delle incongruenze tra i diversi modelli: sovrapponendo i tre progetti (architettonico, strutture ed impianti) nello stesso modello 3D vengono evidenziati subito eventuali errori progettuali che si riscontrerebbero solo in fase esecutiva. Prevenendo queste problematiche future si riducono tempi e costi.
- Aggiornamento automatico del modello complessivo: operando direttamente su una vista, anche il modello complessivo è aggiornato. Sono aggiornati anche tutti gli abachi riferiti al modello complessivo, compreso il computo metrico.
- Interoperabilità: questo termine indica la collaborazione che avviene tra i diversi progettisti e tra i diversi software di calcolo (strutturale, impiantistico, energetico, ecc.) con il modello BIM centrale.

L'interoperabilità è quindi il passaggio di informazioni dal software del modello BIM centrale a quello specifico ad un ambito, nel caso in esame all'ambito strutturale.

Operativamente questo passaggio di informazioni avviene tramite formati di scambio. Il formato standard più diffuso è l'IFC (Industry Foundation Classes data model): è molto completo perché include tutti i dati che possono essere presenti in un progetto, ma questo lo rende anche molto complesso. Questa complessità ha portato ogni produttore di software a valutare il formato IFC secondo una propria visione.

Il file di scambio viene letto dal software per il calcolo strutturale ed è il punto di partenza per eseguire le analisi strutturali. Terminata questa operazione è possibile esportare un file (IFC o formati di scambio interno) ed integrarlo nel modello di partenza.

Le operazioni di esportazione e importazione all'interno del modello BIM presentano una serie di criticità, legate ai diversi tipi di approccio della struttura nella modellazione architettonica e strutturale. Il progetto architettonico ha l'esigenza di avere un modello che sia più verosimile possibile, affinché gli elaborati grafici come piante, sezioni e prospetti siano il più vicino possibile alla realtà. La progettazione strutturale da un lato conserva questo criterio, per la produzione dei dettagli costruttivi dei vari elementi strutturali. Tuttavia, il modello sul software di calcolo deve rispondere anche ad esigenze legate all'analisi agli elementi finiti che alle volte entrano in contrasto con la verosimiglianza del modello.

La modellazione strutturale deve ridurre la struttura in un modello analitico che sia il più semplice possibile, schematizzando ad esempio gli elementi lineari (travi e pilastri) tramite aste legate a due nodi di estremità. In quest'ottica per garantire la continuità ed una corretta interazione tra gli elementi deve esserci sempre un nodo comune tra gli elementi convergenti.

Al momento attuale deve essere quindi trovata una strada che possa accontentare le esigenze di entrambi per perfezionare e rendere sempre più efficiente il modello BIM di partenza.

Capitolo 3 - Metodologia applicata al caso studio

Il caso studio è un complesso scolastico appartenente progetto TOBIM promosso dal Comune di Torino ed il Politecnico di Torino.

Il complesso scolastico si trova in Via Cecchi n. 16-18 ed è composto dalla scuola elementare "Aurora", scuola media "E. Morelli" e complesso sportivo comunale. All'interno del complesso sportivo è presente la palestra e la piscina comunale. Viene riportata in *Figura 3* del complesso visto dall'alto.



Figura 3. Localizzazione del complesso scolastico utilizzato come caso studio

Fonte: Google Maps

L'oggetto della tesi è l'interoperabilità del software di modellazione BIM con programmi di calcolo strutturale. E' necessario creare un modello BIM che rifletta lo stato dell'arte (as-is) dell'edificio esistente oggetto di analisi.

Il modello BIM è composto da una parte architettonica ed una strutturale. Per quanto riguarda la modellazione architettonica sono state reperite le informazioni di base e verificate attraverso un situ attraverso un rilievo architettonico. Esso ha seguito la metodologia del progetto TOBIM per quanto riguarda il Facility Management, cercando di valutare al meglio alcuni aspetti di maggiore interesse.

Il rilievo strutturale è stato pianificato e progettato ex novo in chiave BIM, sfruttando le potenzialità insite in questa metodologia. In particolare il BIM in questa fase ci ha permesso di:

- Identificare con maggiore chiarezza gli elementi da indagare e quali prove eseguire su di essi;
- Associare le informazioni raccolte direttamente sull'elemento strutturale indagato.

L'inserimento dei i dati raccolti direttamente negli elementi del modello BIM presenta dei limiti, che sono stati superati attraverso un algoritmo sviluppato utilizzando il software integrato *Dynamo*.

Una volta completata la modellazione strutturale in *Revit* si è indagata l'interoperabilità tra il software di modellazione e quelli di calcolo. Per lo studio di questa tematica si è ritenuto opportuno utilizzare strutture elementari, più semplici di quella in esame, per governare in modo più preciso e dettagliato le varie criticità. Per i vari punti di interesse identificati si sono ricercate soluzioni, privilegiando quelle che seguano la direzione dell'interoperabilità, avendo come obiettivo quello di massimizzare le potenzialità del modello BIM e fare in modo che nel software di calcolo vengano esportate quante più informazioni possibili nel miglior modo. Le soluzioni individuate sono state adottate per la struttura oggetto di analisi.

Il passaggio al software di calcolo strutturale con il modello strutturale implementato ha portato alla valutazione delle sollecitazioni e la successiva verifica di alcuni elementi strutturali. Infine di particolare interesse è stata la valutazione del processo utilizzato in termini quantitativi, eseguendo un analisi tempi operazioni/benefici complessiva riferita a tutta la trattazione del caso studio dal modello architettonico alle verifiche strutturali tramite la metodologia BIM.

I vari passaggi della metodologia utilizzata sono riassunti nel seguente diagramma di flusso.

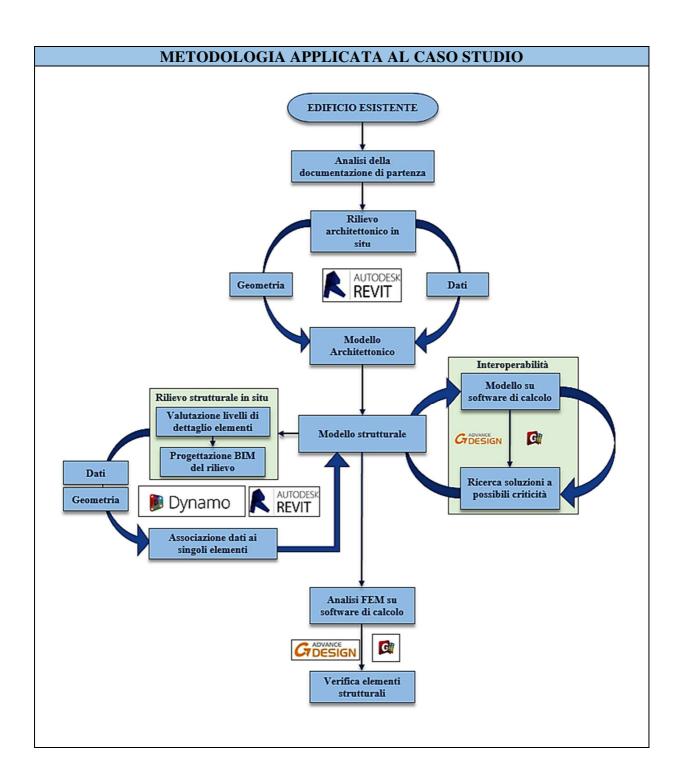


Figura 4. Diagramma di flusso metodologia applicata al caso studio

Capitolo 4 - Rilievo architettonico e modellazione

L'intera parte architettonica del modello BIM viene definita a partire dalle impostazioni standard di modellazione definite nel progetto TOBIM (da "BIM verso il catasto del futuro" di Osello A. e Ugliotti F.).

Queste impostazioni comprendono la modellazione ed il rilievo non solo della geometria, ma anche degli infissi, dei terminali di impianto termico, dei dispositivi di illuminazione e delle informazioni riguardanti i singoli locali.

L'obiettivo del seguente capitolo è quindi la definizione del modello architettonico, a partire dalle informazioni contenute nella documentazione di partenza e verificate con quelle ottenute durante il rilievo.

4.1. Metodologia rilievo

La metodologia illustrata al presente Paragrafo ha lo scopo di portare alla definizione del modello architettonico.

Viene raccolta la documentazione di partenza. Essa è fornita dal Comune di Torino ed è aggiornata agli anni 2000. Con questo materiale viene creato il modello architettonico prerilievo, a partire dal Template di Progetto in cui sono contenute tutte le impostazioni comuni agli edifici che fanno parte del progetto TOBIM (da "BIM verso il catasto del futuro" di Osello A. e Ugliotti F.).

Per definire un modello aggiornato allo stato attuale del complesso (modello as-is) viene svolto un rilievo in sito, in cui vengono raccolte le informazioni relative alla geometria e ai dati relativi agli elementi secondari (infissi, dispositivi di illuminazione, terminali d'impianto termico e locali).

I dati raccolti vengono elaborati ed il modello architettonico di partenza implementato. In questo modo si ottiene il modello BIM architettonico dell'edificio esistente studiato.

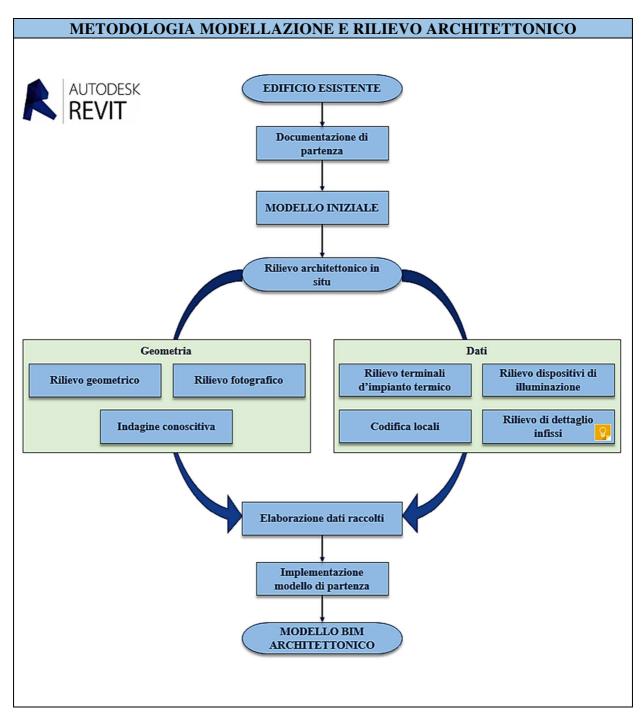


Figura 5. Diagramma di flusso metodologia rilievo architettonico

4.2. Documentazione di partenza

La documentazione di partenza riferita alla scuola media "E. Morelli", scuola elementare "Aurora" e complesso sportivo comunale collegato è stata fornita dal Comune di Torino.

- Situazione esistente aggiornata a Maggio 2000:
 - o Piana piano interrato;
 - o Pianta piano terra;
 - o Piano primo piano;
 - o Pianta secondo piano;
 - o Prospetto laterale generale;
 - Prospetto laterale su Via Cecchi;
 - Prospetto laterale palestra;
 - o Prospetto retro.
- Progetto prevenzione incendi complesso scolastico (con sopralluogo Dicembre 2010):
 - o Inquadramento generale;
 - o Pianta piano interrato;
 - Pianta piano terra;
 - Pianta primo piano;
 - Pianta secondo piano.

La particolarità del complesso è che i vari blocchi sono divisi da giunti sismici, che dividono in modo netto le varie parti. Si può valutare quindi il complesso come l'unione di blocchi.



Figura 6. Individuazione edifici del complesso scolastico

Nella Figura 6 sono riportati i nomi assegnati agli edifici.

- Edificio 1: corrispondente alla scuola media "E. Morelli";

- Ingresso 1: entrata collegata all'edificio 1 e 2;
- Edificio 2: all'interno al piano terra sono presenti i locali di servizio (aula magna, segreteria, presidenza) della scuola media "E. Morelli" mentre ai piani superiori sono presenti le aule della scuola elementare "Aurora";
- Ingresso 2: entrata collegata all'edificio 2 e 3;
- Edificio 3: edificio di competenza della scuola elementare "Aurora";
- Ingresso 3: entrata collegata all'edificio 3 e 4;
- Edificio 4: complesso sportivo composto dalla piscina comunale al piano seminterrato e dalla palestra comunale al piano primo.

All'esterno nel lato opposto alla strada comunale Cecchi è presente un cortile collegato ai primi tre edifici e i due ingressi ed un parcheggio collegato all'ingresso 3 e all'edificio 4. Viene riportata in *Figura 4* una pianta di esempio e una sezione esemplificative della documentazione fortuna.



Figura 7. Esempio di pianta PT e sezione (da documentazione fornita)

4.3. Creazione modello architettonico pre – rilievo

Partendo dalla documentazione di partenza vista al *Paragrafo 4.2* viene impostato un primo modello architettonico sul software *Revit 2018*.

Il modello BIM architettonico viene costruito a partire dal Template di Progetto in cui sono contenute tutte le impostazioni comuni agli edifici che fanno parte del Progetto Pilota (da "BIM verso il catasto del futuro" di Osello A. e Ugliotti F.).

Primo passaggio importante è la definizione dei livelli di ogni piano dei diversi edifici. Nel caso in esame bisogna considerare che tra il piano terra dell'edificio 1 e l'ingresso 1 si ha un dislivello di 16 cm; stesso dislivello si presenta anche tra l'ingresso 1 e l'edificio 2. I successivi edifici (edificio 3, edificio 4 e ingresso tre) avranno il livello del piano terra coincidente con quello dell'edificio 2.

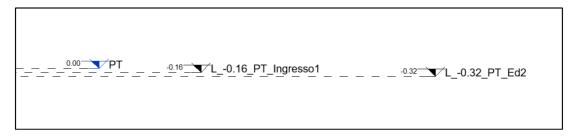


Figura 8. Livelli di quota degli edifici del complesso scolastico

Per quanto riguarda i piani superiori, per ogni edificio e ingresso il piano terra ha un'altezza di 3,60 m, il piano primo e secondo 3,10 m. Altezze da verificare durante il rilievo in sito.

Per ogni livello definito viene creata automaticamente una nuova pianta di pavimento. Su queste piante vengono riportate le piante disponibili dalla documentazione di partenza definendo i muri esterni ed interni.

In *Revit* i muri rappresentano una "famiglia" e per ogni spessore e tipologia di muro vengono creati nuovi "tipi". In questa fase non è possibile valutare nel dettaglio la struttura interna dei muri, ma vengono differenziati in base allo spessore, unica informazione disponibile al momento.

A partire dell'ausilio della documentazione è merso che per i livelli superiori al piano terra sono presenti delle criticità per quanto riguarda la definizione del filo esterno, dovute a spessore dei muri esterni maggiori rispetto al piano sottostante. Criticità che sono state risolte durante il rilievo, valutando il reale spessore dei muri ed eventuali "scalini" esterni che confermerebbero o meno le differenze sopradette. Nel dettaglio, queste problematiche sono presenti per i muri perimetrali laterali di ogni edificio come evidenziato nella seguente figura.

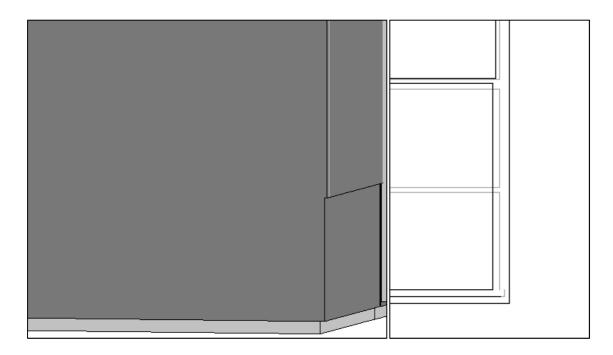


Figura 9. Dettaglio - Criticità dei muri perimetrali

Il collegamento tra i vari edifici ed ingressi avviene tramite dei giunti

sismici, la cui presenza è da verificare durante il

rilievo.

Si nota infatti che nelle piante CAD nella seguente figura fornite il giunto è presente in tutti i collegamenti tra gli edifici, tranne che tra l'edificio 3 e l'ingresso 3, dove pare ci sia metà struttura collegata direttamente e metà struttura collegata attraverso il giunto (meglio definito nell'immagine accanto).

Si ipotizza un errore grafico ma è stato verificato durante il rilievo.

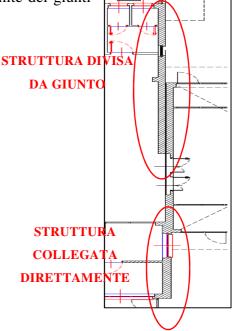


Figura 10. Dettaglio - Collegamenti tra edifici e presenza giunto sismico

Per quanto riguarda i muri di tamponamento interni vengono create le varie famiglie in base allo spessore rilevato sulle piante fornite.

4.4. Rilievo in situ

Il rilievo architettonico viene impostato secondo la metodologia definita al Capitolo 4.1.

Viene svolto in maniera speditiva, svolgendo tutte le varie operazioni, dal rilievo geometrico generale a quello di dettaglio, locale per locale. La durata del rilievo è stata complessivamente di quattro giorni, con la partecipazione di tre persone.

4.4.1. Rilievo geometrico

Il rilievo geometrico è stato effettuato tramite l'utilizzo di due strumenti: un distanziometro e un metro a nastro.





Figura 11. Dispositivi per il rilievo geometrico: distanziometro e metro a nastro

In preparazione a questo rilievo, a partire dal materiale fornito dal Comune di Torino, sono state create delle tavole. Le accortezze nella preparazione di queste tavole sono state le seguenti:

- Eliminazione di tutte le linee superflue o troppo spesse che potrebbero sottrarre spazio di scrittura;
- Eliminazione scritte e quote;
- Eliminazione eventuali retini e vegetazione.

Viene riportata una tavola di esempio.

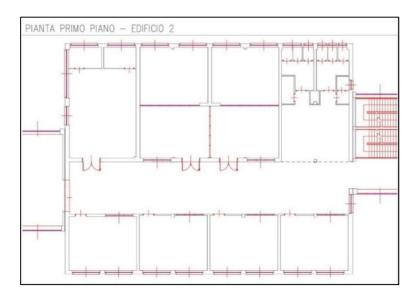


Figura 12. Esempio – Pianta piano primo, edificio 2

Il rilievo è stato effettuato sia della parte interna, sia della parte esterna. Per quanto riguarda l'interno degli edifici, sono state rilevate le seguenti informazioni:

- Distanze complessive e distanze di dettaglio per il posizionamento degli infissi;
- Altezza dei vani;
- Altezza da terra delle travi ribassate se presenti, le uniche visibili.

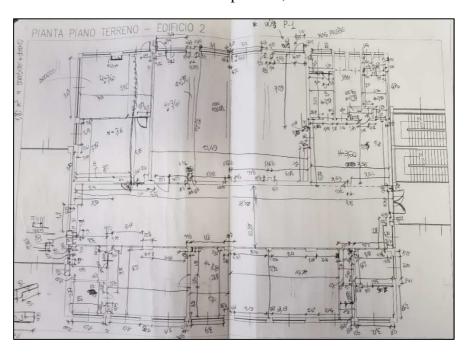


Figura 13. Esempio - Rilievo geometrico interno. Pianta piano terreno, edificio 2

Per quanto riguarda l'esterno, sono stati rilevate:

- Dimensioni di massima dei cortili interni;

- Distanze della parete esterna di muri ed infissi: verranno confrontate le somme di misure esterne ed interne per verificare la congruenza delle misure.

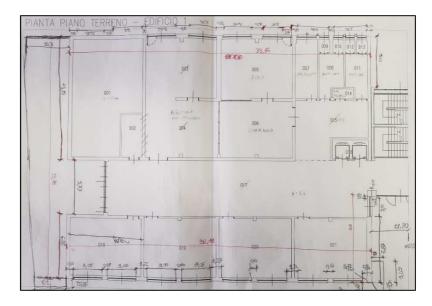


Figura 14. Esempio - Rilievo geometrico esterno. Pianta piano terreno, edificio 1

4.4.2. Rilievo fotografico

E' stata svolto un preciso rilievo fotografico. Sono state scattate foto in ogni locale di ogni edificio e successivamente sono state raggruppate in sottocartelle per edificio e per piano in modo da avere sempre un riscontro visivo documentato.

Vengono riportate alcune foto per verificare le criticità definite al Capitolo 4.3.



Figura 15. Dislivello tra edifici e uniformità muri esterni della facciata



Figura 16. Giunto sismico tra edificio 3 e ingresso 3 dall'esterno e dall'interno

Vengono riportate inoltre alcune foto per inquadrare in modo generale il complesso analizzato.



Figura 17. Vista dal retro dei tre edifici



Figura 18. Vista frontale edificio 1, edificio 2 ed ingresso 1



Figura 19. Giunto sismico dall'interno



Figura 20. Corridoio piano terra edificio 2



Figura 21. Corridoio piano tipo aule

4.4.3. Indagine conoscitiva schema strutturale

Per scopi propedeutici al successivo rilievo e modellazione strutturale, viene ipotizzata per i vari piani dei diversi edifici una maglia pilastri.

L'ipotetica maglia strutturale viene definita a partire dai pilastri e dalle travi effettivamente visibili. Per quanto riguarda le travi, saranno identificate le travi ribassate visibili, mentre per quanto riguarda i pilastri viene effettuata una prova pratica che si basa sul distinguere il suono ottenuto bussando prima su una parete di tamponamento e poi sul pilastro ipotizzato.

Nelle figure seguenti vengono riportate due tavole di esempio.

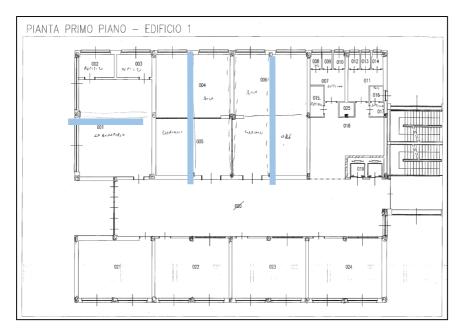


Figura 22. Maglia strutturale - Pianta primo piano, edificio 1

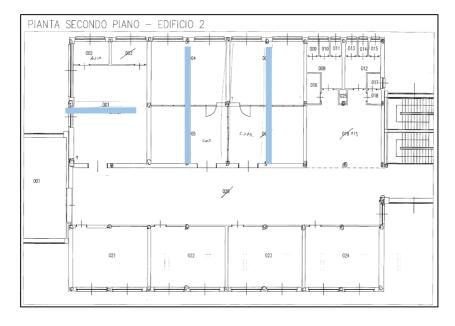


Figura 23. Maglia strutturale - Pianta secondo piano, edificio 2

4.4.4. Terminali d'impianto termico e dispositivi d'illuminazione

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design".

Sono stati rilevati i terminali d'impianto termico e i dispositivi di illuminazione per scopi riguardanti analisi energetiche.

4.4.5. Rilievo di dettaglio infissi

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design", in cui viene spiegato nel dettaglio la modalità di rilievo di tali elementi.

4.4.6. Codifica locali

Questa operazione rientra in una metodologia più ampia, che fa riferimento al progetto TOBIM del Comune di Torino per gli aspetti riguardanti il Facility Management.

Nel presente rilievo è stata svolta solo la parte riguardante i dati generali dell'edificio e i dati dei singoli locali. Per quanto riguarda l'attrezzattura presente è stato fatto uno studio limitato ai dispositivi di illuminazione, di illuminazione antincendio e i terminali d'impianto termico, come visto al *Paragrafo 4.4.4*.

I dati dei locali sono organizzati in una tabella, che comprende:

- Codice edificio: il complesso viene suddiviso nei vari edifici ed ingressi (es. ED1, ING1, ecc.);
- Edificio: indirizzo, nel caso in esame sarà sempre Via Cecchi 16-18;
- Piano: riferimento al piano dell'edificio;
- Codice locale: i locali vengono suddivisi in base alla seguente tabella, viene definita la lettera a cui associare il tipo di locale seguita dal piano dell'edificio a cui corrisponde;

CODIFICA LOCALI					
Denominazione	Codifica	Esempio			
Locale	0	0001			
Spazio di distribuzione	X	XS01			
Servizi igenici	W	W001			
Ascensore	A	APTE			
Cavedio	C	C002			
Scala	S	S001			
Esterno	Е	E001			

Tabella 1. Codifica locali

- Codice locale Facility: codice alfanumerico che comprende il piano di riferimento e il numero cronologico del locale all'interno della tabella;
- Denominazione: inserita se il locale ha una denominazione particolare;
- Utilizzo, categoria e tipologia: informazioni riguardanti la destinazione d'uso nel locale;
- Direzione: definisce chi si occupa del singolo locale. In generale tutti i locali sono gestiti dai Servizi tecnici per l'edilizia pubblica, tranne per i locali utilizzati ad uso residenziale del custode;
- Servizio: i locali sono tutti a servizio dell'edilizia scolastica;
- Accessibile: il locale risulta accessibile se non sono presenti barriere architettoniche;
- Pubblico: se il locale è aperto a tutti;
- Altezza media, volta, controsoffitto, falda, pavimento flottante, estensione, area e volume: caratteristiche architettoniche del locale;
- Capacità: massima capienza del locale;
- Occupanti: persone effettivamente all'interno del locale;
- Aria primaria, riscaldato, condizionato: caratteristiche energetiche del locale;
- Compartimentazione: se il locale è compartimentato secondo le norme antincendio.

A partire dalla documentazione di partenza, viene valutata una prima schematizzazione dei locali. Indicativamente vengono numerati i locali per ogni piano e per ogni edificio a partire da sinistra verso destra.

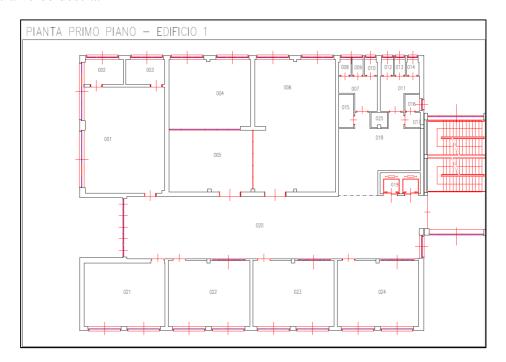


Figura 24. Schematizzazione locali - Pianta piano primo, edificio 1

I locali così definiti sulle tavole vengono inseriti all'interno della tabella Excel, precompliando i dati di cui si è già a conoscenza. In fase di rilievo verranno compilati i dati mancanti e verrano segnalati eventuali cambiamenti di destinazioni d'uso o aggiunta e/o eliminazione di locali.

4.5. Elaborazione dati raccolti e modellazione

A seguito del rilievo architettonico è stata affrontata la modellazione degli elementi che completano la parte architettonica del modello: i dispositivi di illuminazione, i terminali d'impianto termico e gli infissi.

In particolare, gli infissi e i terminali d'impianto termico sono stati collegati in un'unica famiglia nidificata.

È stato inoltre verificato il modello creato inizialmente al *Paragrafo 4.3*. In questo modo è stata ricostruita pienamente la geometria attuale.

La modellazione interna è stata completata con la parte esterna del complesso analizzato.

4.5.1. Inserimento dei locali

La disposizione e la numerazione ipotizzata al *Paragrafo 4.4.6* ha subito delle modifiche. Sono stati rilevati infatti cambiamenti architettonici interni che hanno portato alla creazione di nuovi locali, ridimensionamento o eliminazione di altri.

Sono state allora aggiornate le tabelle Excel di partenza. I campi definiti al *Paragrafo 4.4.6* si possono completare quasi totalmente: l'area e il volume verranno lasciati momentaneamente in sospeso. Possono essere a questo punto creati i locali sul modello in Revit Architecture utilizzando il comando "Locale".

I locali creati possono essere tabellati tramite un abaco. Un abaco è una raccolta di informazioni estratte dalle proprietà degli elementi di un progetto e visualizzate in una tabella. Esso può essere creato per la categoria locali. I campi all'interno dell'abaco sono dei parametri.

Questi parametri verranno creati prima come parametri condivisi e poi come parametri di progetto, per consentire l'utilizzo di questi parametri anche in altri progetti.

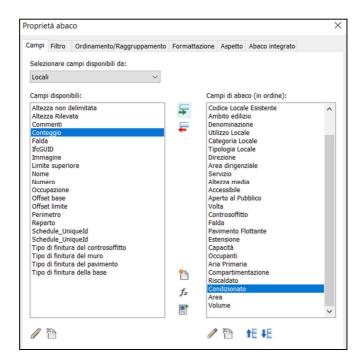


Figura 25. Proprietà abaco

Visualizzando l'abaco, i locali inseriti saranno presenti (ogni riga rappresenta un locale) ma i parametri saranno logicamente vuoti. Solo due parametri saranno già completati: il livello, l'area e il volume.

Per la compilazione una soluzione è quella di esportare l'abaco su Excel attraverso il modulo aggiuntivo BIM One. I campi vuoti verranno completati copiando la tabella compilata e sistemata dopo il rilevo architettonico.

Infine, la tabella compilata verrà importata nuovamente su Revit Architecture. In questo modo tutte le informazioni riferite ai locali saranno inserite all'interno del modello BIM.



Controsoffitto	Falda	Pavimento Flotta	Estensione	Capacità	Occupanti	Aria Primaria	Compartimentazio	Riscaldato	Condizionato	Area	Volume
NO	NO	NO	PIANA	0	0	SI	NO	SI	NO	81.46 m²	198.63 m²
NO	NO	NO	PIANA	0	0	SI	NO	SI	NO	127.13 m²	309.99 m ^a
NO	NO	NO	PIANA	0	0	SI	NO	SI	NO	43.58 m²	106.27 m ⁸
NO	NO	NO	PIANA	0	0	SI	NO	NO	NO	14.34 m²	34.96 m ⁸
NO	NO	NO	PIANA	0	0	SI	NO	SI	NO	10.83 m²	26.41 m ⁸
SI	NO	NO	PIANA	0	0	SI	NO	SI	NO	1.49 m²	3.63 m ^a
SI	NO	NO	PIANA	0	0	NO	NO	SI	NO	1.49 m²	3.63 m ^a
SI	NO	NO	PIANA	0	0	SI	NO	SI	NO	1.33 m²	3.25 m ^s
SI	NO	NO	PIANA	0	0	SI	NO	SI	NO	1.35 m²	3.28 m ⁸
SI	NO	NO	PIANA	0	0	NO	NO	SI	NO	9.49 m²	23.15 m²
SI	NO	NO	PIANA	0	0	NO	NO	SI	NO	2.80 m²	6.84 m ^a
SI	NO	NO	PIANA	0	0	NO	NO	NO	NO	207.84 m²	506.80 m ^a

Figura 26. Stralcio Abaco locali

I locali creati sulle piante di ogni piano verranno aggiornati con le informazioni inserite nell'abaco e possono essere impostati tematizzazioni grafiche per le diverse destinazioni d'uso.

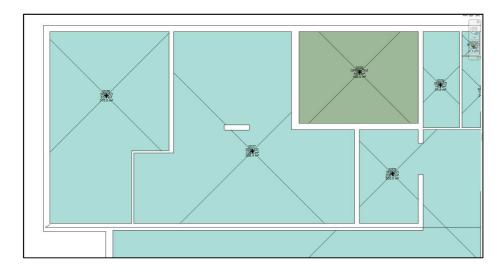


Figura 27. Abaco dei locali in pianta

4.5.2. Modellazione infissi e terminali d'impianto termico

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Viene illustrata la modellazione parametrica per gli elementi rilevati sul software di modellazione *Revit*.

4.5.3. Implementazione modello

Il modello architettonico di partenza, definito al *Paragrafo 4.3*, era composto dai soli muri perimetrali e di tamponamento interno.

Dopo il rilievo architettonico, sono state confrontate le misure generali degli edifici e nel dettaglio dei singoli locali, privilegiando le informazioni valutate in situ.

La criticità principale era la discontinuità che si formava per i muri perimetrali laterali dovuta allo spessore dei muri maggiore del piano rispetto a quello sottostante.

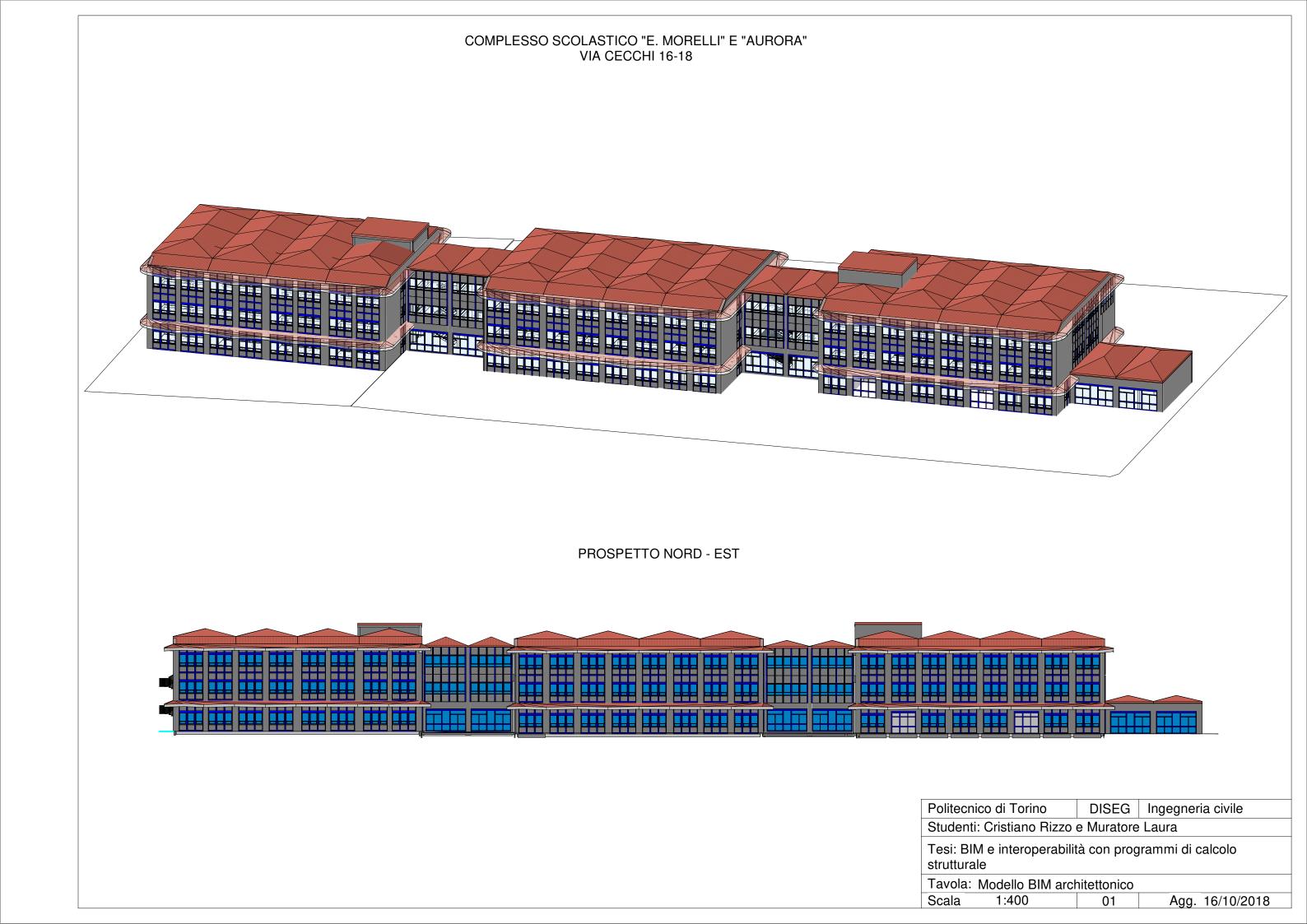
Durante il rilievo è stato verificato che i muri perimetrali non presentano tale discontinuità; è stato quindi definito lo spessore reale dei muri perimetrali in base alla misura diretta del parametro, oppure se non disponibile, è stato cambiato lo spessore dei muri in base alle misure interne ed esterne raccolte, in quanto non sempre si è potuto ottenere la misura diretta dello spessore del muro.

Ulteriore differenze sono state notate nei tamponamenti interni, che hanno subito diverse modifiche.

Conclusa questa prima fase, sono stati modellati i solai come pavimenti architettonici con spessore rilevato in situ e controllato con la documentazione di partenza.

A questo punto sono stati modellati gli infissi, i terminali d'impianto termico e i dispositivi d'illuminazione, come definito ai *Paragrafi 4.5.2*. Sono stati inoltre inseriti i locali, come da *Paragrafo 4.5.1*.

Il modello così completato è riportato nella pagina seguente.



Capitolo 5 - Rilievo strutturale e modellazione

5.1. Cenni teorici

5.1.1. Normativa di riferimento

La normativa di riferimento è il D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni" e la "Circolare Allegata n. 617 del 02 Febbraio 2009".

Il caso studio è una struttura esistente, è stato fatto quindi particolare riferimento al Capitolo 8 delle NTC e al Capitolo C8 della Circolare Allegata.

Come indicato al Capitolo 8.1. delle "Norme tecniche per le costruzioni", "è definita costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, la struttura completamente realizzata."

La procedura di valutazione della conoscenza della struttura viene indicata al Capitolo 8.5. delle "Norme tecniche per le costruzioni" e si compone dei seguenti passaggi:

- Analisi storico-critica: consiste nella ricerca di tutte le informazioni relative alla struttura in esame, dalla progettazione ad oggi;
- Rilievo geometrico-strutturale: consiste nella progettazione del piano delle indagini e della successiva attuazione;
- Caratterizzazione meccanica dei materiali: consiste nell'estrapolare i valori delle resistenze meccaniche dalle prove eseguite nel rilievo strutturale;
- Livelli di conoscenza e fattori di confidenza: consiste nel valutare le informazioni raccolte in archivio e dalle prove strutturali e definire il livello di conoscenza raggiunto;
- Azioni e analisi strutturale: i valori delle azioni e le loro combinazioni da considerare nel calcolo sono quelle definite per le nuove costruzioni. Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando valori di γ_G adeguatamente motivati. L'analisi potrà essere eseguita con riferimento ai soli Stati limite ultimi (SLU).

Al Capitolo C8 della "Circolare Allegata n. 617" viene introdotto nel dettaglio il problema della sicurezza nelle costruzioni esistenti in Italia, sia per l'elevata vulnerabilità rispetto alle azioni sismiche, sia per il valore storico, artistico e architettonico di gran parte del patrimonio

edilizio esistente. Le problematiche legate a queste strutture, soprattutto per quelle in muratura, sono molteplici, a causa della notevole varietà di tipologie strutturali possibili.

Si trascura la parte normativa riferita alla valutazione della sicurezza in presenza di azioni sismiche, non considerate nella presente tesi.

La "Circolare Allegata n. 617" stabilisce inoltre che la valutazione della sicurezza dovrà essere eseguita:

- ogni volta che verranno eseguiti interventi strutturali: dovrà essere determinato il livello di sicurezza della costruzione prima e dopo l'intervento;
- ogni volta che possono crearsi situazioni di potenziale pericolosità per il comportamento strutturale per carichi verticali e sismici agenti sulla struttura.

La verifica e la progettazione di interventi presentano un grado di incertezza diverso, non necessariamente maggiore, da quello di nuove costruzioni.

Per una costruzione esistente è possibile valutare le effettive caratteristiche meccaniche dei materiali e delle diverse parti strutturali, che possono avere anche notevole variabilità nell'ambito della stessa struttura, mentre in una nuova costruzione vengono imposti dati progettuali da conseguire in fase costruttiva.

Per questo motivo vengono introdotti i "fattori di confidenza", strettamente legati al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, che vanno preliminarmente a ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente da adottare nella verifica. Questi valori sono stati ulteriormente ridotti, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza.

All'Appendice C8A.1.B.1 della "Circolare Allegata n. 617" vengono definiti i dati richiesti per la valutazione di costruzioni esistenti in calcestruzzo armato e le fonti a cui appoggiarsi per ottenerli.

Le fonti da considerare per l'acquisizione dei dati necessari sono:

- Documenti di progetto con particolare riferimento a relazioni geologiche, geotecniche e strutturali ed elaborati grafici strutturali;
- Eventuale documentazione acquisita in tempi successivi alla costruzione;
- Rilievo strutturale geometrico e dei dettagli esecutivi;
- Prove in-situ e in laboratorio.

Importante è acquisire dati sugli aspetti seguenti (si trascurano gli aspetti legati alla valutazione in presenza di azioni sismiche):

- Identificazione dell'organismo strutturale, sulla base dei disegni originali di progetto verificati con indagini in-situ;
- Informazione sulle dimensioni geometriche degli elementi strutturali, dei quantitativi delle armature e delle proprietà meccaniche dei materiali;
- Informazioni su possibili difetti locali dei materiali;
- Informazioni su possibili difetti nei particolari costruttivi (dettagli delle armature, eccentricità travi-pilastro, eccentricità pilastro-pilastro, etc.);
- Rivalutazione dei carichi variabili, in funzione della destinazione d'uso;
- Informazione sulla natura e l'entità di eventuali danni subiti in precedenza e sulle riparazioni effettuate.

La quantità e qualità dei dati acquisiti determina il metodo di analisi e i valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali da utilizzare nelle verifiche di sicurezza.

La "Circolare n. 617 del 2 Febbraio 2009" distingue tre livelli di conoscenza:

- LC1: Conoscenza Limitata;
- LC2: Conoscenza Adeguata;
- LC3: Conoscenza Accurata.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- Geometria: caratteristiche geometriche degli elementi strutturali;
- Dettagli strutturali: quantità e disposizione delle armature;
- Materiali: proprietà meccaniche dei materiali.

Nella seguente tabella, "Tabella C8A.1.2." all'interno dell'Appendice al Capitolo 8 (C8A) della "Circolare n. 617 del 02 Febbraio 2009", vengono schematizzati i livelli di confidenza e il relativo fattore di confidenza in base alle informazioni disponibili.

Tabella C8A.1.2 - Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di
analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in- situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo	Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3	completo	Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

Tabella 2. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza per edifici in c.a. o in acciaio

Fonte: Estratto dall'Appendice al Capitolo 8 (C8A) della Circolare n. 617 del 02 Febbraio 2009

I materiali su cui vengono svolte le prove sono il calcestruzzo e l'acciaio. La misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazioni di campioni ed esecuzione di prove in laboratorio. Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che non possono essere impiegati in completa sostituzione a quelli distruttivi, ma sono consigliati a loro integrazione. Nel caso del calcestruzzo, è importante adottare metodi di prova che limitino l'influenza della carbonatazione degli strati superficiali sui valori di resistenza.

Le verifiche in-situ, per quanto riguarda i dettagli costruttivi, sono effettuate su un'opportuna percentuale degli elementi strutturali primari per ciascun tipologia di elemento (travi, pilastri, pareti), privilegiando gli elementi che svolgono un ruolo più critico nella struttura, generalmente i pilastri. Per quanto riguarda i materiali vengono indicati i campioni e i provini necessari ai diversi livelli di prove.

Nella seguente tabella, "Tabella C8A.1.3a." all'interno della "Circolare n. 617 del 02 Febbraio 2009", vengono definiti i livelli di rilievo e delle prove per le tipologie di verifiche definite nella tabella precedente come: verifiche limitate, estese ed esaustive.

Tabella C8A.1.3a - Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a)	Prove (sui materiali) (b)(c)		
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pilastro)			
Verifiche limitate	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio		
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio		
Verifiche esaustive	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio		

NOTE ESPLICATIVE ALLA TABELLA C8A.1.3 (a, b)

Le percentuali di elementi da verificare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nella Tabella C8A.1.3 hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- (a) Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per uguale geometria e ruolo nello schema strutturale.
- (b) Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione. Ai fini del raggiungimento del numero di prove sull'acciaio necessario per il livello di conoscenza è opportuno tener conto dei diametri (nelle strutture in c.a.) o dei profili (nelle strutture in acciaio) di più diffuso impiego negli elementi principali con esclusione delle staffe.
- (c) Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.
- (d) Il numero di provini riportato nelle tabelle 8A.3a e 8A.3b può esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale. Nel caso del calcestruzzo in opera tali caratteristiche sono spesso legate alle modalità costruttive tipiche dell'epoca di costruzione e del tipo di manufatto, di cui occorrerà tener conto nel pianificare l'indagine. Sarà opportuno, in tal senso, prevedere l'effettuazione di una seconda campagna di prove integrative, nel caso in cui i risultati della prima risultino fortemente disomogenei.

Tabella 3. Livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

Fonte: Estratto da Circolare n. 617 del 02 Febbraio 2009

I Fattori di Confidenza indicati nella "Tabella C8A.2" possono essere utilizzati, in assenza di valutazioni più approfondite, per definire le resistenze dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi. Le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i Fattori di Confidenza.

Ulteriori indicazioni supplementari per edifici in calcestruzzo armato sono:

- Per l'identificazione della geometria, i dati raccolti includono i seguenti:
 - Identificazione del sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni;

- o Tessitura dei solai;
- O Dimensioni geometriche di travi, pilastri e pareti. Comprende inoltre la larghezza delle ali di travi a T;
- o Possibili eccentricità fra travi e pilastri ai nodi.
- Per l'identificazione dei dettagli costruttivi, i dati raccolti devono includere i seguenti:
 - O Quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri e pareti;
 - Quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi travepilastro;
 - Quantità di armatura longitudinale nei solai che contribuisce al momento negativo di travi a T;
 - o Lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
 - o Spessore del copriferro;
 - o Lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre.
- Per l'identificazione dei materiali, i dati raccolti includono i seguenti:
 - o Resistenza del calcestruzzo:
 - o Resistenza a snervamento, di rottura e deformazione ultima dell'acciaio.

5.1.2. Prove strutturali

Il rilievo strutturale è realizzato mediante delle prove sugli elementi strutturali.

Le prove possono essere distruttive o non distruttive. La differenza sostanziale è che con le prove distruttive si valutano le caratteristiche degli elementi indagati in modo diretto, mentre con quelle non distruttive si valutano in modo indiretto, interpretando i parametri ottenuti trasformandoli nelle caratteristiche cercate.

Le prove distruttive possono essere:

- Prova di compressione su carote di calcestruzzo: viene realizzata la prova a compressione su campioni di calcestruzzo ("carote") estratti dalla struttura mediante carotaggio. In questo modo si ricavano valori di resistenza del materiale. L'esecuzione dei carotaggi è regolata dalla norma UNI 12504-1 (UNI 2009), mentre la prova di compressione è regolata dalla norma UNI EN 12390;
- Valutazione del diametro della barra di armatura previa rimozione del calcestruzzo: viene valutato in modo diretto il diametro delle barre;

- Prova di trazione su barre di armatura d'acciaio estratte dalla struttura: la barra da prelevare deve avere una lunghezza pari a circa 450 mm, per poter essere sottoposta alla prova di rottura per trazione in conformità alla norma UNI EN 10002/1.

Le prove non distruttive possono essere:

Prova pacometrica:

Lo scopo della prova è quello di determinare la posizione delle barre d'armatura, lo spessore del copriferro e, in alcuni tipi di strumento, il diametro dei ferri.

L'utilizzo del pacometro è regolato dalla norma BS 1881:204.

La prova consiste nel far scorrere sulla superficie del manufatto una sonda emettitrice di campo magnetico, collegata ad un'unità di acquisizione ed elaborazione digitale, munita di display grafico ed emettitore sonoro. Si riporta la strumentazione utilizzata nella seguente figura..



Figura 28. Strumentazione utilizzata per la prova pacometrica

È una prova utile, se non indispensabile, per l'esecuzione di tutta un'altra serie di indagini in cui la presenza delle barre d'armatura deve essere ben definita e tracciata come, ad esempio, la prova sclerometrica.

Prova sclerometrica:

La prova di durezza superficiale o prova sclerometrica è regolamentata dalla normativa UNI EN 12504-2 "Prove sul calcestruzzo nelle strutture – Prove non distruttive – Determinazione dell'indice sclerometrico" ed ha come scopo la stima della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera (su strutture già realizzate).

Deve essere usato uno sclerometro di tipo N, che è adatto a prove su calcestruzzo con spessore >10 cm e rocce lapidee. Si riporta la strumentazione utilizzata nella seguente figura...



Figura 29. Strumentazione per la prova sclerometrica

La superficie viene colpita nel punto da verificare da una forza nota applicata con un cilindro metallico spinto da una molla; il valore che si legge su una scala lineare alloggiata nella cassa dello sclerometro è detto "Indice di rimbalzo", che è un valore adimensionale. Esso viene quindi riportato su un grafico specifico per ogni sclerometro e, attraverso le relative curve di correlazione definite in funzione dell'angolo di battuta, si ricava la resistenza cubica del calcestruzzo.

È necessario verificare la taratura dello strumento prima di iniziare le battute. Viene verificato su un'incudine di taratura che ha un suo indice di rimbalzo conosciuto. L'indice deve essere 80 ± 2 . Se sono fuori da questo range significa che lo strumento non deve più essere usato.

La zona di indagine deve avere una dimensione minima di circa 30 x 30 cm, tale da consentire l'esecuzione di almeno 12 battute in punti opportunamente distribuiti e distanziati tra loro di

circa 2÷5 cm, al fine di evitare l'interazione reciproca tra le varie battute. Nell'elaborazione dei dati vengono scartati i due valori d'ala e viene calcolata il valore dell'indice di rimbalzo medio, valore utilizzato poi nelle curve di correlazione.

Per ottenere dei risultati il più possibile affidabili e con una precisione stimata dell'ordine del 15-20%, è opportuno valutare anche la deviazione standard: se i valori sono troppo dispersi, la prova è poco affidabile e il valore è da scartare.

Tra i parametri che possono falsare la prova i più comuni sono:

- o Umidità del materiale;
- Snellezza dell'elemento strutturale: per elementi monodimensionali lo spessore deve essere almeno di 12 cm, per quellI bidimensionali almeno di 10 cm;
- Carbonatazione del calcestruzzo: il fenomeno della carbonatazione provoca l'indurimento dello strato superficiale provocando così un'alterazione del fenomeno di rimbalzo. Lo sclerometro è indicato quindi per verifiche su calcestruzzi giovani, esenti dal problema;
- Presenza di armature o di inerti grossolani affioranti in corrispondenza dei punti di battitura: la battuta effettuata in corrispondenza di sottostanti armature o inerti grossolani affioranti falsa i valori di rimbalzo innalzando l'indice di rimbalzo;
- o Imperfetta taratura dello strumento;
- O Zone con difetti superficiali come nidi di ghiaia, porosità eccessiva, giunti tecnici, ecc.: la presenza di vuoti penalizza il valore degli indici di rimbalzo minori. Infatti lo sclerometro va usato soltanto su calcestruzzi a struttura chiusa e pertanto si debbono escludere quelli leggeri, cellulari o porosi (calcestruzzi a struttura aperta);
- La prova deve essere utilizzati in presenza di calcestruzzi con classe di resistenza superiore a 15 N/mm².

È necessario quindi, secondo il tipo di struttura da saggiare, prestare molta attenzione al corretto uso dello strumento in modo da ottenere risultati soddisfacenti.

Fattore importante, da tenere presente durante la prova, è che l'asse dello sclerometro deve essere sempre perpendicolare alla superficie della struttura in quanto una eventuale inclinazione ne influenzerebbe i risultati in modo negativo, in quanto il rimbalzo della massa battente può essere più o meno disturbato dalla forza di gravità.

Le inclinazioni previste dai diagrammi di correlazione allegati allo strumento sono relativi ai seguenti angoli come mostrato nella seguente figura.

- \circ $\alpha = 0^{\circ}$ (pilastri, travi ecc.);
- $\alpha = +90^{\circ}$ (solette orizzontali, intradosso di travi ed impalcati);
- $\alpha = -90^{\circ}$ (plinti di fondazione, solette stradali ecc.).

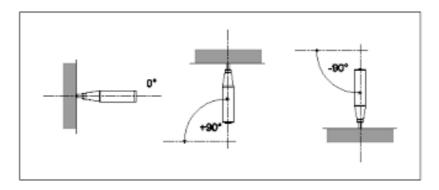


Figura 30. Angolazioni di utilizzo dello sclerometro

<u>Prova ultrasonica</u>: consiste nel valutare la velocità di propagazione delle onde ultrasoniche nel calcestruzzo secondo la norma UNI EN 12504-4:2005. Tale velocità è strettamente correlata con il modulo elastico del calcestruzzo, a sua volta correlato con la resistenza a compressione.

Le prove distruttive danneggiano gli elementi indagati, ed è necessaria quindi la presenza di personale specializzato sia per la loro realizzazione sia per il successivo ripristino. Anche le prove non distruttive provocano disturbo negli ambienti in cui si svolgono le indagini, in quanto è necessario ad esempio rimuovere l'intonaco nella zona degli elementi indagati nello svolgimento della prova sclerometrica.

5.2. Procedura utilizzata e obiettivi

L'obiettivo è definire il livello di conoscenza della costruzione, valutando tutte le informazioni che possono essere raccolte attraverso documenti di archivio e prove strutturali, seguendo l'iter imposto dal D.M. 14 Gennaio 2008.

Si parte con l'analisi storico-critica della costruzione in esame, cercando tutta la documentazione disponibile nell'archivio del Comune di Torino.

Con la documentazione raccolta viene modellata la parte strutturale del complesso, integrando il modello sviluppato nel *Capitolo 4*. Completato questo modello può essere data un'idea della bontà delle informazioni disponibili grazie ad una vista tridimensionale in cui vengono visualizzati con colori differenti il livello di dettaglio dei singoli elementi.

A questo punto è quindi possibile pianificare e progettare il rilievo strutturale in chiave BIM, valutato nel dettaglio al Paragrafo 5.5. Con il rilievo strutturale sono stati raccolti dati relativi alla geometria degli elementi strutturali e dati relativi alla disposizione delle armature e delle caratteristiche meccaniche dei materiali.

Grazie alla progettazione BIM del rilievo, sono state pianificate le indagini definendo gli elementi da indagare e i dati da raccogliere. Una volta preparato tutto il materiale necessario, è stato svolto il rilievo in situ.

I dati raccolti devono essere poi elaborati: sono stati analizzati e confrontati con la documentazione disponibile per poi essere introdotti all'interno del modello, associando i dati ai singoli elementi analizzati.

Con tutte le informazioni raccolte è stato quindi possibile capire il livello di conoscenza raggiunto e i Fattori di Confidenza da applicare. Nella seguente figura si riporta il diagramma di flusso della procedura utilizza.

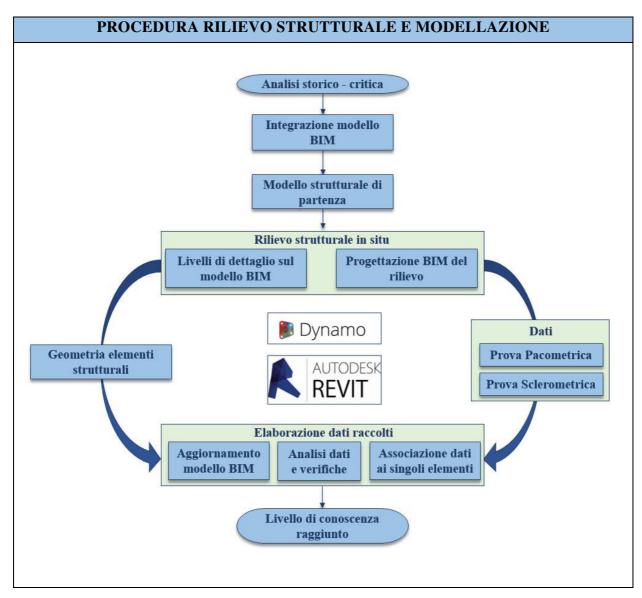


Figura 31. Diagramma di flusso procedura rilievo strutturale e modellazione

5.3. Analisi storico – critica

E' stata eseguita una ricerca nell'archivio della scolastica del Comune di Torino. La documentazione trovata anche se non del tutto completa era sufficientemente esaustiva per gli scopi della presente tesi.

Nel dettaglio la documentazione trovata è la seguente, divisa per i vari blocchi in cui è stato suddiviso l'intero complesso:

- Edificio 1:

- o Pianta solaio quota +0.25 (corrispondente al piano terra dell'edificio);
- o Pianta solaio quota +4.23 (corrispondente al piano primo dell'edificio);
- o Pianta solaio copertura.

- Edificio 2:

- o Tabella fondazioni, pilastri e muri;
- o Pianta fondazioni;
- o Pianta solaio quota -0.05 (corrispondente al piano terra dell'edificio);
- o Pianta solaio quota +3.93 (corrispondente al piano primo dell'edificio);
- Pianta solaio sottotetto;
- o Pianta solaio copertura.

- Edificio 3:

- o Tabella fondazioni, pilastri e muri;
- o Pianta fondazioni;
- Pianta solaio quota -0.07-0.57 (corrispondente al piano terra dell'edificio);
- Pianta solaio sottotetto;
- o Pianta solaio copertura.

- Ingresso 1:

- o Pianta solaio quota +4.08 (corrispondente al piano primo dell'ingresso);
- o Particolare scala.

- Ingresso 2:

- o Tabella fondazioni, pilastri e muri;
- Pianta fondazioni;
- o Pianta solaio quota -0.07 (corrispondente al piano terra dell'ingresso);
- o Pianta solaio quota +3.93 (corrispondente al piano primo dell'ingresso);
- o Particolare scala.

- Ingresso 3:

- o Tabella fondazioni, pilastri e muri;
- o Pianta fondazioni;
- o Pianta solaio quota -0.07 (corrispondente al piano terra dell'ingresso);
- o Armature solai e travi;
- Tipologia serramenti;
- o Sezioni, prospetti e planimetrie;
- o Particolare scale anti-incendio;
- o Rapporto di prova: prove di compressione su saggi cilindrici di calcestruzzo.

- Edificio 4:

- o Pianta della copertura;
- Pianta del solaio intermedio.

Per quanto riguarda le tavole di carpenterie, indispensabili per definire gli elementi strutturali di cui è composta la struttura, possiamo riassumere il materiale trovato nella seguente tabella.

	MATERIALE DI ARCHIVIO						
Tavole di carpenteria	Pianta fondazioni	Piano terra	Piano primo	Piano secondo	Piano sottotetto	Piano copertura	
Edificio 1	X	✓	✓	X	X	✓	
Edificio 2	✓	✓	✓	X	✓	✓	
Edificio 3	✓	/	X	X	✓	✓	
Edificio 4	X	✓	✓	-	X	✓	
Ingresso 1	X	X	✓	X	X	X	
Ingresso 2	✓	✓	✓	X	X	X	
Ingresso 3	✓	✓	-	-	X	X	

Tabella 4. Materiale di archivio

Con la dicitura "-" si intende che il piano fisicamente non esiste.

L'edificio 1, 2, e 3 sono simili tra loro e si caratterizzano per una maglia strutturale che segue la stessa numerazione e dimensione di pilastri e travi; per questo dove manca la carpenteria si è ipotizzata uguale a quella dell'edificio dove è presente. Valgono le stesse considerazioni per i primi due ingressi.

Nei primi tre edifici e i primi due ingressi, manca la carpenteria del piano secondo, perciò si ipotizza uguale a quella del piano primo.

L'edificio 4 ha una struttura completamente diversa, e il materiale risulta insufficiente; sono presenti le carpenterie ma non una tabella di numerazione e dimensione di travi e pilastri, ed inoltre manca la carpenteria del piano fondazioni. Data quindi la mancanza di dati completi e la difficoltà nell'ipotizzarli si esclude la modellazione della parte strutturale dell'edificio.

L'ingresso 3 viene escluso dalla modellazione in quanto ritenuto a livello architettonico direttamente collegato all'edificio 4.

Nell'immagine seguente viene riportata una tavola di carpenteria di esempio.

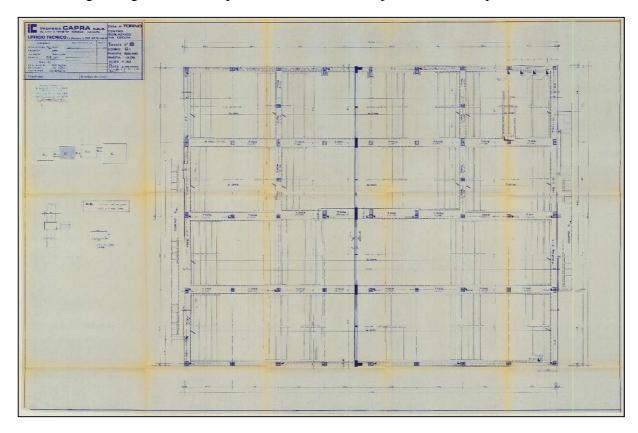


Figura 32. Tavola di carpenteria PT ED2

5.4. Integrazione strutturale modello BIM

Con la documentazione raccolta viene modellata la parte strutturale del complesso, integrando il modello sviluppato nel *Capitolo 4*.

Completato questo modello può essere data un'idea della bontà delle informazioni disponibili grazie ad una vista tridimensionale in cui vengono visualizzati con colori differenti il livello di dettaglio dei singoli elementi.

5.4.1. Modello strutturale

Per implementare il modello architettonico con le informazioni riguardanti aspetti strutturali sono state utilizzate le tavole di carpenteria. A partire da tale documentazione sono stati modellati e inseriti gli elementi strutturali. Vengono evidenziate inoltre le potenzialità del software BIM in termini di modellazione strutturale e possibili applicazioni.

Per arrivare alla realizzazione del modello strutturale sono stati necessari alcuni step:

- Individuazione elementi strutturali da inserire a partire dalle tavole di carpenteria;
- Creazione famiglie caricabili degli elementi strutturali da inserire;
- Inserimento elementi struttura.

Le informazioni inserite all'interno del modello possono essere visualizzate in differenti modi:

- Modello fisico: rappresentazione tridimensionale degli elementi fisici strutturali;
- Abachi: informazioni raccolte in tabella.

Inoltre durante la creazione del modello fisico, viene contemporaneamente generato il modello analitico, una rappresentazione tridimensionale semplificata.

Individuazione elementi da inserire a partire dalle tavole di carpenteria.

Il modello strutturale in Revit è stato definito utilizzando le informazioni ottenute dalle tavole di carpenteria. Di seguito si riporta uno stralcio della tavola di carpenteria dove vengono riportate le informazioni relative ai pilastri dell'edifico 2.

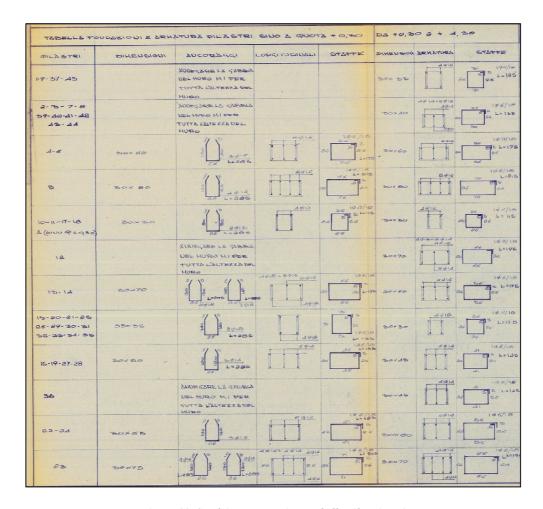


Figura 33. Stralcio carpenteria – Tabella pilastri ED2

Tutte le informazioni vengono riassunte in tabelle; di seguito viene riportato lo schema pilastri degli edifici 1-2-3.

	SCHEMA PILASTRI EDIFICI 1-2-3						
Cadiaa							
Codice numerico	Pianta fondazioni	Piano terra	Piano primo	Piano secondo	Piano sottotetto	Piano locale tecnico	
1	35x25	30x35	30x30	30x30	30x30	-	
2	35x25	40x30	30x30	30x30	30x30	-	
3	35x25	40x30	30x30	30x30	30x30	-	
4	35x25	30x60	30x40	30x40	30x30	-	
5	30x80	30x80	30x55	30x55	30x45	-	
6	30x60	30x60	30x40	30x40	30x30	-	
7	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-	
8	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-	
9	35x25	30x35	30x30	30x30	30x30	-	
10	30x30	30x30	30x30	30x30	30x30	-	
11	30x30	30x30	30x30	30x30	30x30	-	
12	35x25	30x70	30x45	30x45	30x30	-	
13	30x70	30x60	30x45	30x45	30x30	-	

14	30x70	30x60	30x45	30x45	30x30	30x30
15	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	30x30
16	30x50	30x45	30x30	30x30	30x30	30x30
17	30x30	30x30	30x30	30x30	30x30	-
18	30x30	30x30	30x30	30x30	30x30	-
19	30x50	30x45	30x30	30x30	30x30	-
20	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
21	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
22	30x65	30x60	30x40	30x30	30x30	-
23	30x75	30x70*	30x55	30x45	30x45	-
24	30x65	30x60	30x40	30x30	30x30	-
25	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	30x30
26	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	30x40
27	30x50	30x45	30x30	30x30	30x30	-
28	30x50	30x45	30x30	30x30	30x30	-
29	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
30	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
31	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
32	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
33	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
34	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
35	35x35	30x30	30x30	30x30	30x30	-
36	35x25	30x45	30x30	30x30	30x30	-
37	35x25	30x35	30x30	30x30	30x30	-
38	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-
39	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-
40	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-
41	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-
42	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-
43	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-
44	35x25	30x40	30x30	30x30	30x30	-
45	35x25	30x35	30x30	30x30	30x30	-

*P.23 - Piano terra: nell'edificio 1 la dimensione del pilastro è di 30x60 cm.

Tabella 5. Schema pilastri edifici 1-2-3

Per quanto riguarda le travi non è presente uno schema preciso, vengono disegnate sul modello direttamente riferendosi alle carpenterie.

Per quanto riguarda i muri controterra, il loro spessore è per tutti gli edifici ed ingressi di 25 cm, mentre i cordoli al di sotto sono di 45x25cm negli edifici e 45x30 cm negli ingressi.

Creazione famiglie caricabili degli elementi strutturali da inserire

All'interno del software Revit i vari elementi strutturali sono considerati come famiglie caricabili.

Ad ogni famiglia verranno associati i vari tipi, cioè tutte le diverse dimensioni che potranno avere gli elementi strutturali.

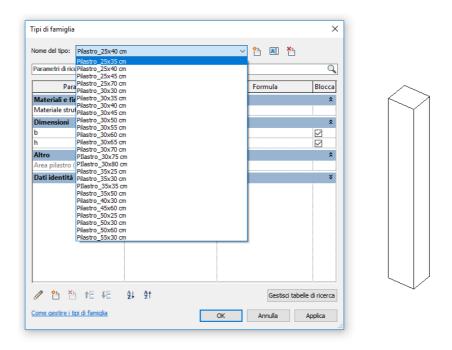


Figura 34. Creazione famiglia pilastro in Revit

Inserimento elementi struttura

Gli elementi creati vengono inseriti nel modello BIM tramite l'ausilio di livelli e griglie di riferimento.

Ogni elemento strutturale in Revit è vincolato a livelli di riferimento. Il vantaggio è che a qualsiasi cambiamento di tali livelli segue l'aggiornamento dell'intero modello e quindi tutti gli elementi ad esso associati. Nel dettaglio, ogni famiglia necessita di vincoli differenti riassunti nella tabella seguente.

Oggetto	Livelli di posizionamento
Pilastri	Livello di base – Livello superiore
Travi	Livello di riferimento
Muri controterra e setti	Vincolo di base – Vincolo parte superiore
Plinti	Livello

Tabella 6. Definizione livelli di posizionamento elementi strutturali

Viene riportata nella figura seguente un prospetto dove si evidenziano i livelli di riferimento.

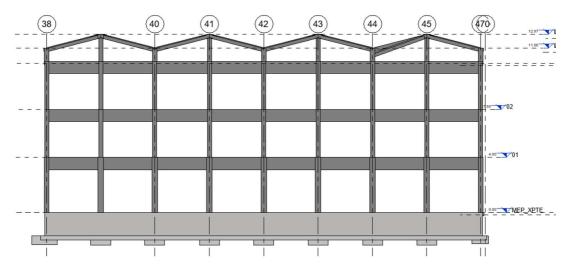


Figura 35. Prospetto edifico 1 – individuazione livelli di riferimento

Per quanto riguarda il posizionamento dei pilastri vengono utilizzate delle griglie di riferimento a supporto dell'operazione. Queste hanno due funzioni operative:

- Allineare correttamente le pilastrate e fare in modo che, qualora venga spostata una griglia, tutta la pilastrata ad essa associata cambi posizione insieme ad essa.
- Identificare la posizione di un pilastro come intersezione di due griglie.

I vari elementi sono stati modellati sulle piante strutturali dei vari livelli. Vengono riportate nelle figure seguenti un esempio di pianta strutturale in *Revit* e nel dettaglio il contrassegno di posizione del pilastro 38-47.

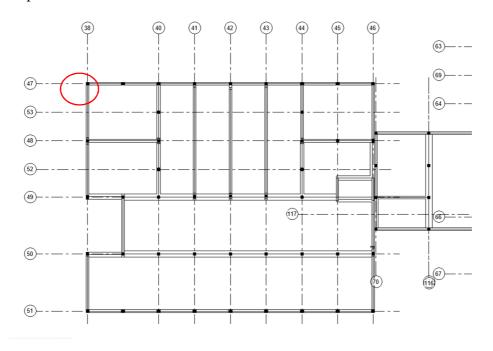


Figura 36. Pianta strutturale 01 ED1 – visualizzazione griglie



Figura 37. Contrassegno di posizione pilastro 38-47

Il modello strutturale creato può essere visualizzato in modi differenti.

<u>Abachi</u>: raccolta di informazioni estratte dalle proprietà degli elementi di un progetto e visualizzate in una tabella. Viene riportato un estratto della tabella dei pilastri strutturali inseriti.

<abaco pilastri="" strutturali=""></abaco>						
Α	В	С	D			
Famiglia e tipo	Lunghezza	Livello di base	Livello superiore			
Dit	4.00	1 0 22 DT E-12	1 2 00 04 5 12			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x35 cm		L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_40x30 cm		L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_40x30 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x60 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pllastro_30x80 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x60 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_40x30 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_40x30 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x35 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x70 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x60 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x60 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x30 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x45 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x45 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x30 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x30 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x60 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			
Pilastro in calcestruzzo - Rettangolare: Pilastro_30x70 cm	4.00	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2			

Tabella 7. Estratto abaco pilastri strutturali

<u>Modello fisico</u>: viene riportata in figura una visualizzazione dell'edificio 1 tramite una vista tridimensionale.

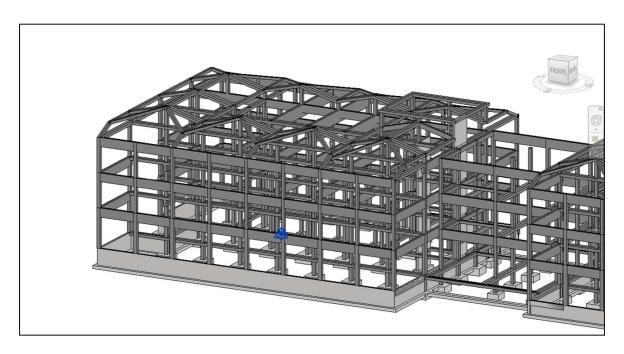


Figura 38. Stralcio modello fisico edificio 1

Durante la creazione del modello fisico, viene contemporaneamente generato il modello analitico, una rappresentazione tridimensionale semplificata. Il modello analitico di una struttura include una serie di modelli analitici, legata ai seguenti elementi strutturali: pilastri strutturali, elementi del telaio strutturale quali travi e controventi, pavimenti strutturali, muri strutturali ed elementi della fondazione strutturale. Le rappresentazioni utilizzate sono riassunte nella seguente tabella.

Oggetto	Rappresentazione analitica
Pilastri analitici	Linea
Travi analitiche	Linea
Muri struttuali	Superficie bidimensionale
Plinti	Punto

Tabella 8. Rappresentazione analitica elementi in Revit

Viene riportato un esempio di modello fisico e analitico a confronto.

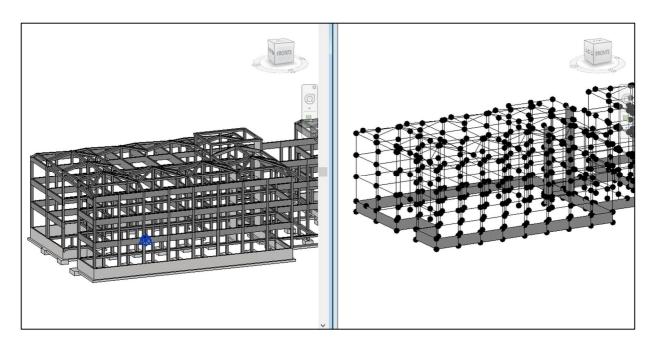
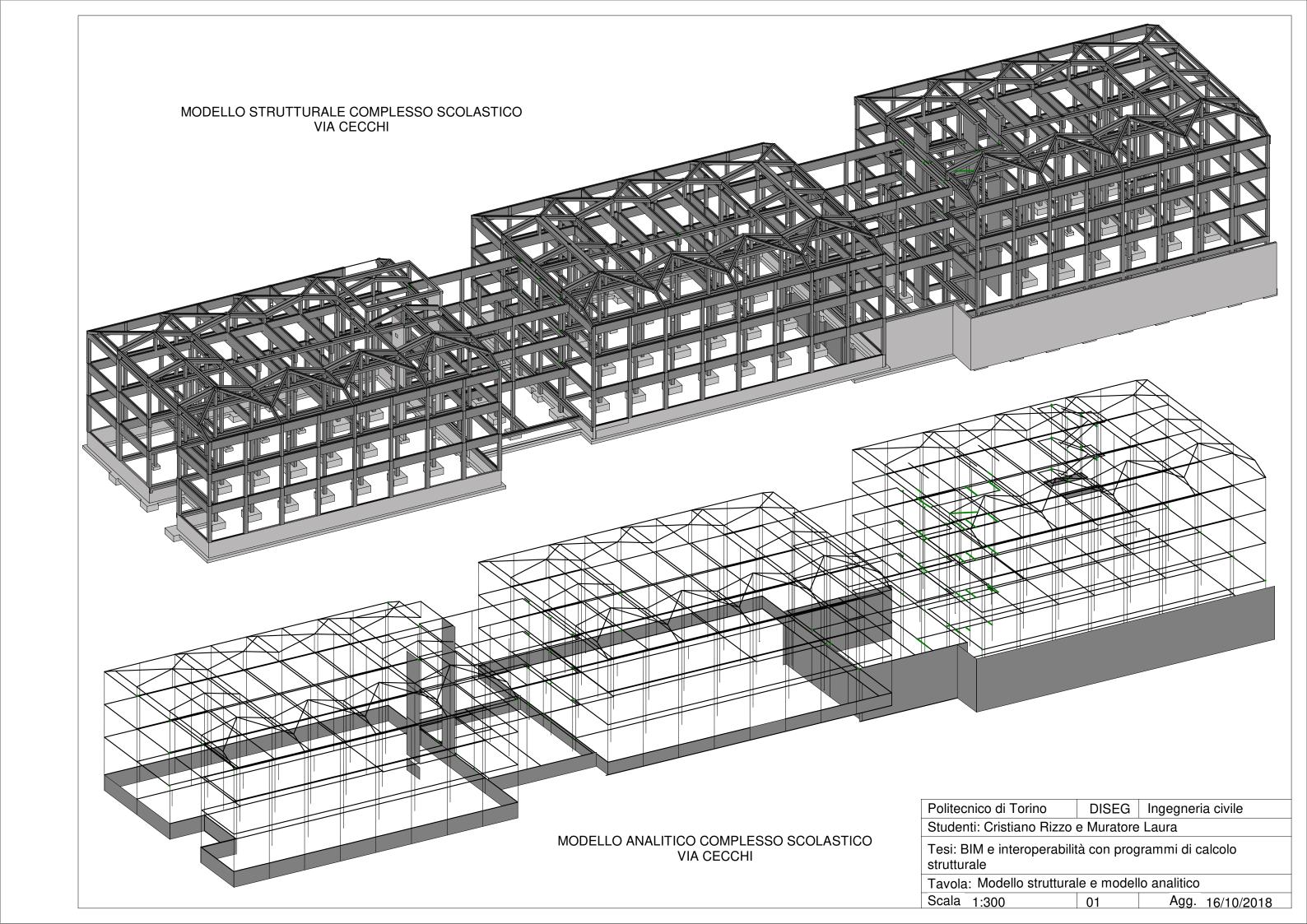


Figura 39. Confronto visualizzazione modello fisico e analitico

Viene infine riportata una tavola di sintesi del modello strutturale.



5.4.2. Criticità carpenterie – rilievo architettonico

Confrontando le carpenterie con il rilievo architettonico eseguito, sono state riscontrate delle differenze macroscopiche.

- Edificio 1:

Nel progetto originario non era prevista la scala anti- incendio ma una pensilina, questo crea delle differenze ai piani primo e secondo, come si vede nelle figure seguenti.

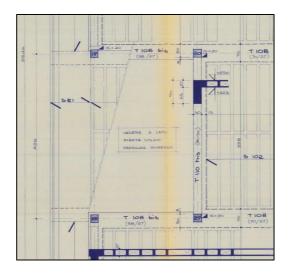


Figura 40. Carpenteria piano terra, edificio 1

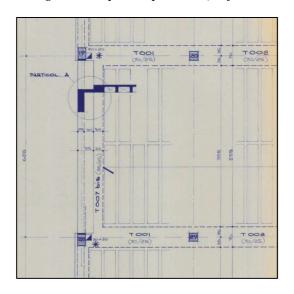


Figura 41. Carpenteria piano primo, edificio 1

Si ipotizza allora di utilizzare la stessa disposizione delle travi del piano terra anche ai piani superiori. Nel piano fondazioni è stato cambiato l'andamento del muro controterra in modo da non intralciare le fondazioni della scala anti-incendio.

- Edificio 3

Il piano terra dell'edificio è stato cambiato molto rispetto alle carpenterie originarie. Questo piano originariamente presentava un livello costante di -0.32 m, tranne nella zona dell'aula magna dove scendeva a -0.69 m.

Ad oggi l'aula magna è sempre ad un livello inferiore, ma è stata ridimensioanta la stanza per definire un nuovo corridoio. Il nuovo corridoio è però realizzato al livello -0.32 m come mostrato nelle figure seguenti.

È quindi necessario ipotizzare una serie di travi su cui appoggi il solaio del nuovo corridoio. Nel seguito l'edificio tre non viene analizzato nel dettaglio.

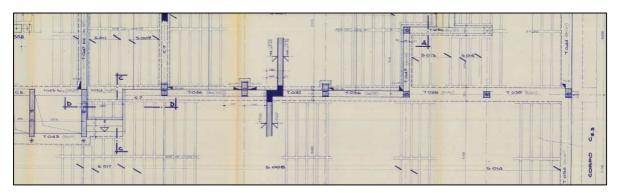


Figura 42. Carpenteria originaria, edificio 3

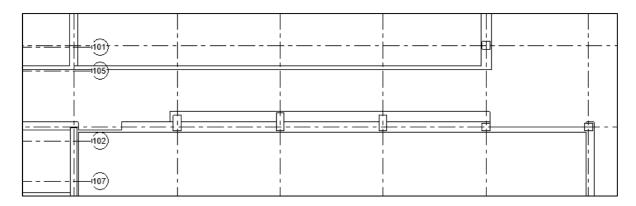


Figura 43. Architettonico e strutturale sovrapposto, edificio 3

Al secondo piano un pilastro presente in carpenteria non è stato rilevato durante il rilievo architettonico. La carpenteria del piano secondo non è disponibile quindi il confronto è stato fatto con la carpenteria del piano primo.

Si suppone però che la differenza non sia legata alla mancanza della tavola di carpenteria, bensì ad un cambiamento dovuto alla costruzione della scala anti- incendio. È stato definito un nuovo corridoio ridimensionando la stanza; si ipotizza che da questo cambiamento sia stato eliminato il pilastro ed inserita una trave ribassata.

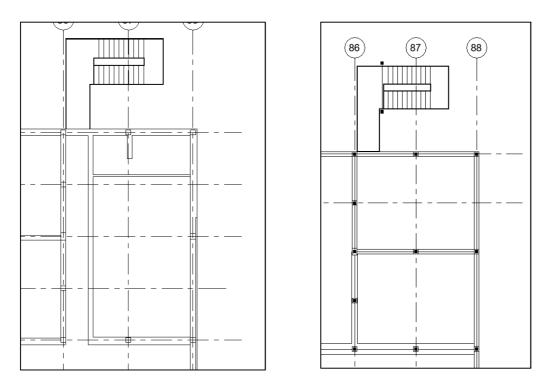


Figura 44. A sinistra modello architettonico nuovo, a destra modello strutturale da carpenteria



Figura 45. Trave ribassata riscontrata da rilievo in situ

Capitolo 5 – Rilievo strutturale e modellazione

5.4.3. Valutazione livelli di dettaglio tramite BIM

L'obiettivo è trovare un rappresentazione che ci indichi in maniera visiva e diretta il livello di

conoscenza del complesso scolastico analizzato, dato che le tavole di carpenteria trovate non

sono complete. Per far ciò è stata definita una metodologia BIM per arrivare ad ottenere tale

visualizzazione. Il metodo si basa sull'attribuzione ad ogni elemento del suo livello di

dettaglio e, tramite delle regole di filtraggio, visualizzare la struttura con un colore diverso per

ogni livello di conoscenza raggiunto.

Di seguito si riporta nel dettaglio il procedimento utilizzato, che comprende:

Creazione parametri per identificare il livello di conoscenza;

Regole di filtraggio applicate alla vista tridimensionale.

Creazione parametri per identificare livelli di conoscenza

I parametri possono essere inseriti come parametri di progetto o come parametri condivisi. I

parametri di progetto sono limitati al progetto stesso, mentre i parametri condivisi possono

essere utilizzati in più modelli. È sempre meglio quindi creare dei parametri condivisi, nel

caso servissero in altre occasioni.

Viene creato un file di parametri condivisi relativi all'ambito strutturale. Il file viene salvato

come file di testo denominato "Rilievo strutturale parametri" (.txt).

All'interno del file i parametri possono essere divisi in gruppi. È stato creato allora un gruppo

di parametri chiamato "Livello di conoscenza" con al suo interno un parametro definito

"Livello di dettaglio" con le seguenti proprietà:

Disciplina: Comune;

Tipo di parametro: Testo.

74

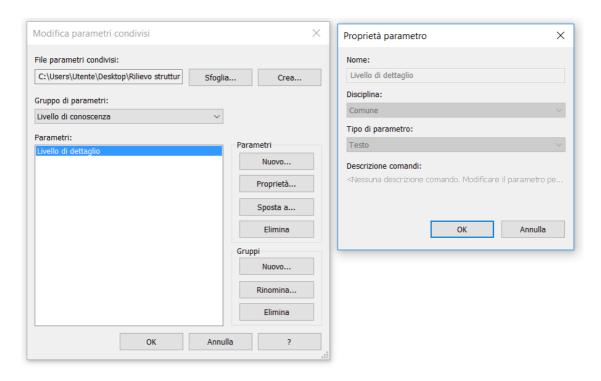


Figura 46. Creazione parametri condivisi – livelli di conoscenza

La disciplina può essere scelta tra: comune, strutturale, HVAC, elettricità, tubazioni ed energia. Il tipo di parametro può invece essere scelto tra testo, intero, numero, lunghezza, area, volume, angolo, inclinazione, valuta, densità, URL, materiale, immagine, si/no, testo multilinea, oppure scegliere un tipo di famiglia Revit.

In questo caso non è un parametro con una disciplina o un tipo specifico quindi viene scelta la disciplina comune e parametro testo.

Una volta creato il parametro condiviso, si passa alla creazione del parametro di progetto importando il parametro condiviso appena creato nella seguente figura. È necessario settare le seguenti proprietà:

- Scegliere una tipologia di informazioni in cui raggruppare il parametro. Viene scelta la categoria Testo;
- Scegliere le categorie di elementi in cui verrà visualizzato il parametro: vengono selezionati tutti gli elementi strutturali;

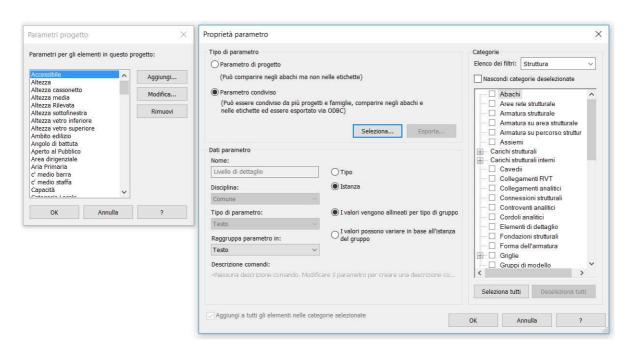


Figura 47. Inserimento parametri condivisi nel progetto

Regole di filtraggio applicate alla vista tridimensionale

A questo punto si vuole realizzare una vista 3D dove si possano vedere immediatamente i diversi livelli di conoscenza della struttura con colori differenti.

Per fare ciò si applicano dei filtri alla vista 3D con regole di filtraggio che stabiliscono colori diversi per i diversi valori del parametro "Livelli di dettaglio" come mostrato nella seguente figura.

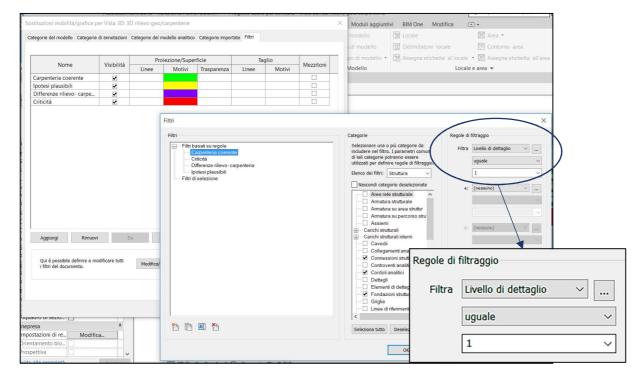


Figura 48. Regole di filtraggio

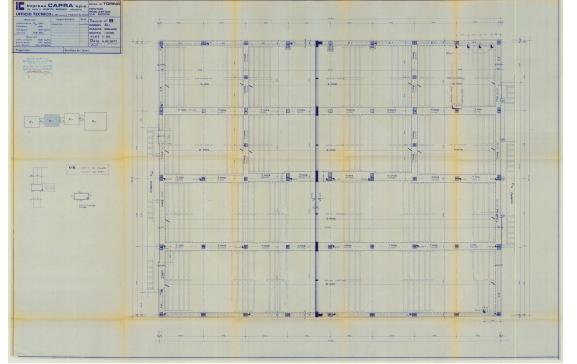
Vengono definite quattro condizioni:

- 1. Carpenteria coerente: elemento definito nelle tavole di carpenteria e confermato dal rilievo architettonico (solo geometricamente), filtro di colore verde;
- 2. Ipotesi plausibili: elemento non definito nelle tavole di carpenteria ma ipotizzato e confermato dal rilievo architettonico, filtro di colore giallo;
- 3. Differenza rilievo- carpenteria: elemento definito nelle tavole di carpenteria ma difforme rispetto al rilievo geometrico, filtro di colore viola;
- 4. Criticità: elemento non definito nelle tavole di carpenteria, ipotizzato con un certo livello di incertezza, filtro di colore rosso.

I filtri possono essere visibili o meno, quindi posso visualizzare tutta la struttura per avere un'idea globale ma anche visualizzare solo gli elementi con una specifica condizione.

Nel seguito viene riportata la tavola dei livelli di dettaglio globale.

LIVELLI DI CONOSCENZA COMPLESSO SCOLASTICO VIA CECCHI <u>Legenda</u> Carpenteria coerente Ipotesi plausibile Carpenteria piano terra edificio 2 Differenza tra carpenteria e rilievo architettonico Totale mancanza di dati



Politecnico di Torino	DISEG	Ingegneria	a civile						
Studenti: Cristiano Rizzo e Muratore Laura									
Tesi: BIM e interoperabilit	Tesi: BIM e interoperabilità con programmi di calcolo								
Strutturale									
Tavola: Livelli di conoscenza									
Scala 1:300	01	Agg.	16/10/2018						

5.5. Progettazione BIM rilievo strutturale

L'intento è quello di preparare e inserire nel modello BIM i dati che verranno rilevati in situ, permettendo quindi di leggere informazioni di tipo strutturale all'interno di elementi travi e pilastri definiti in Revit.

Un secondo obiettivo è legato alla visualizzazione grafica del piano di indagini da effettuare. È stato trovato un modo per avere una rappresentazione che ci indichi in maniera visiva e diretta gli elementi indagati e specificare quale prova è stata eseguita su ogni singolo elemento. Per far ciò è stata definita una metodologia BIM per arrivare ad ottenere tale visualizzazione. Il metodo si basa sull'attribuzione ad ogni elemento indagato della tipologia di prova eseguita su di esso e, tramite delle regole di filtraggio, visualizzare gli elementi con un colore diverso per ogni prova effettuata.

In Figura si riporta il diagramma di flusso del progetto del rilievo strutturale eseguito.

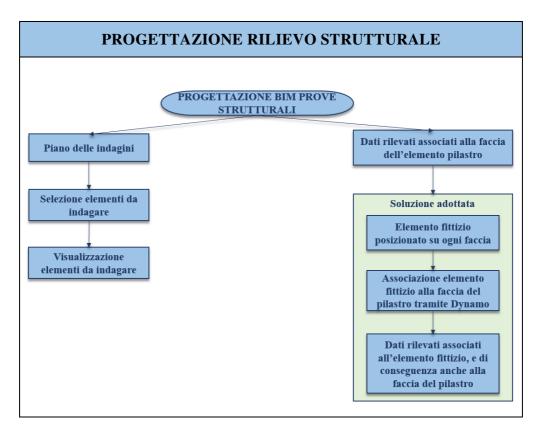


Figura 49. Diagramma di flusso del progetto del rilievo strutturale

79

5.5.1. Criticità e soluzione individuata

L'inserimento di queste informazioni avviene tramite dei parametri che al loro interno contengono i dati rilevati. Inizialmente si è cercato di inserire queste informazioni direttamente all'interno degli elementi strutturali che dovevano contenerle ma, facendo ciò, ci si scontrava con un grosso problema, l'impossibilità di definire a quale faccia del pilastro o della trave corrispondesse una prova effettuata o un particolare dato.

Questo succede perché il software BIM in questione, *Revit 2018*, legge ogni elemento come un unico blocco, e non contiene dentro di sé un'informazione riferita alle facce del solido 3D.

La soluzione al problema adottata è stata l'utilizzo di una massa fittizia che possa essere associata alla faccia dell'elemento strutturale analizzato, e di conseguenza associare anche le informazioni rilevate. È stato possibile associare la massa al pilastro di riferimento tramite l'ausilio di Dynamo.

5.5.2. Descrizione soluzione adottata

Si descrive nel dettaglio il processo a partire dalla creazione della massa fittizia da associare al pilastro fino ad arrivare all'inserimento dei risultati delle prove in situ direttamente nel pilastro e in particolare sulla faccia dell'elemento rilevata.

Il processo si compone di 3 step:

- Creazione della massa fittizia;
- Attribuzione all'elemento della tipologia di prova effettuata;
- Associazione della massa fittizia all'elemento di riferimento tramite Dynamo.

1 - Creazione massa fittizia - Sclerometro

Viene creata una nuova famiglia partendo dal file modello "Massa Metrica- massa concettuale".

Estrudendo una geometria semplice si ottiene la massa sclerometro, definita come un cubo di dimensione 50x50 mm.

Questo perché la prova sclerometrica viene effettuata su un'area di 300x300 mm ma i risultati si riferiscono al baricentro di tale area. La massa avrà allora una dimensione sufficientemente piccola da simulare l'associazione dei dati rilevati ad un punto.

I parametri relativi alle dimensioni della massa (altezza, larghezza e lunghezza) sono stati creati come parametri condivisi all'interno dello stesso file "Rilievo strutturale parametri.txt"

definito nel *Capitolo 5.4.3* introducendo il gruppo "Prove non invasive". Sono stati associati alla disciplina "Comune" e tipo di parametro "Lunghezza": in questo modo il software assocerà al parametro l'unità di misura corrispondente, come mostrato nella seguente figura..

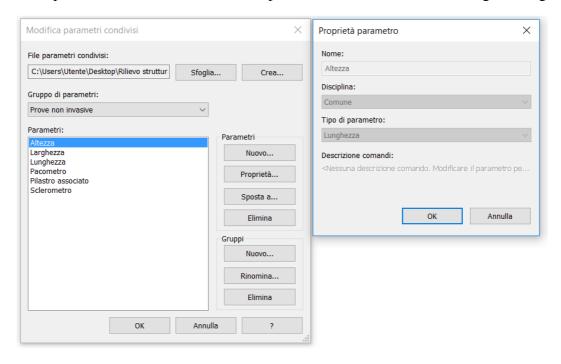


Figura 50. Definizione parametri inseriti nella massa generica

Sono stati poi aggiunti come parametri di progetto "Istanza", associati alle categorie di pilastri strutturali, masse e abachi e raggruppati in "Dimensioni", come mostrato nella seguente figura.

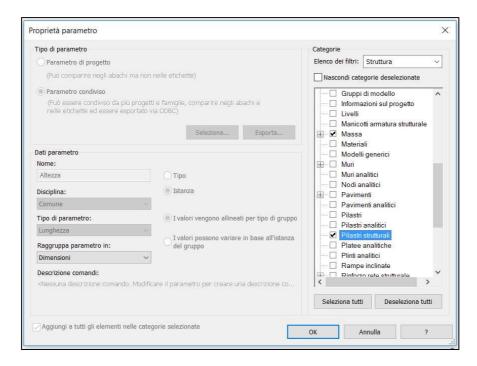


Figura 51. Inserimento parametri nel progetto nelle categorie di elementi selezionate

I parametri "Altezza", "Lunghezza" e "Larghezza" sono stati utilizzati come nuovi parametri all'interno delle proprietà della famiglia, senza bloccare il valore in modo tale da definire a piacere la dimensione anche per i singoli elementi del modello, come mostrato nella seguente figura,.

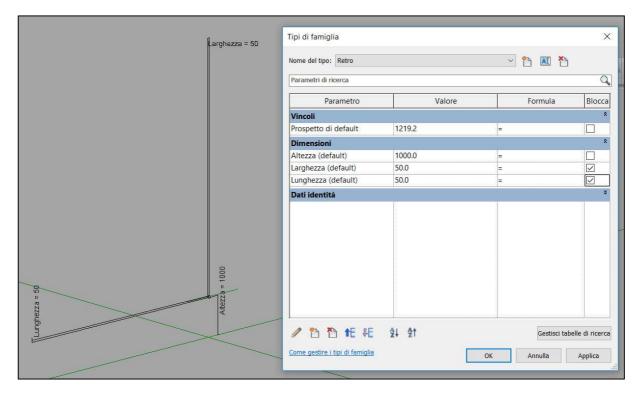


Figura 52. Famiglia Sclerometro – parametri inseriti

Vengono creati quattro tipi all'interno della famiglia, coincidenti con le quattro facce del pilastro:

- Famiglia Sclerometro:
 - Tipo Fronte;
 - Tipo Retro;
 - Tipo Destra;
 - o Tipo Sinistra.

Viene a questo punto caricata nel progetto la famiglia e si passa all'inserimento delle masse.

2 - Individuazione della tipologia di prova effettuata

Per le famiglie masse create è possibile definire degli abachi. Un abaco è una raccolta di informazioni estratte dalle proprietà degli elementi di un progetto e visualizzate in una tabella. Esso può essere creato per una categoria (o famiglia) specifica.

In questo caso viene scelto di creare un abaco della categoria massa, in cui possono essere inserite le informazioni volute sotto forma di parametri.

La criticità riscontrata è che tutte e due le prove effettuate sono definite tramite elementi della famiglia massa, quindi nell'abaco verranno visualizzate tutte le masse presenti nel progetto.

La problematica viene risolta inserendo nel progetto parametri che possano differenziare le due prove:

- Pacometro: con questo parametro verranno raggruppati tutti gli elementi strutturali e le masse su cui viene effettuata la prova pacometrica;
- Sclerometro: con questo parametro verranno raggruppati tutti gli elementi strutturali e le masse su cui viene effettuata la prova sclerometrica.

A questo punto si applica un filtro ai due abachi definiti, come mostrato in nella figure seguenti.

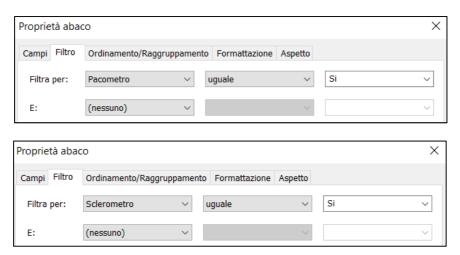


Figura 53. Proprietà abaco – Pacometro e sclerometro

Questi parametri sono aggiunti come parametri condivisi all'interno dello stesso file "Rilievo strutturale parametri.txt" definito nel *Paragrafo 5.4.3* introducendo il gruppo "Prove non invasive". Tutti i parametri sono aggiunti come parametri di progetto "Istanza" ed associati alle categorie di pilastri strutturali, masse e abachi

3 - Associazione della massa fittizia all'elemento di riferimento

All'interno dell'abaco deve essere inserito un dato che mi permetta di capire a che elemento strutturale sono associate quelle informazioni. Viene definito allora il parametro "Pilastro associato".

Lo scopo del parametro è associare la massa fittizia all'elemento di riferimento, trasferendone così anche le informazioni. All'interno di *Revit* non è stato trovato nessun modo per raggiungere l'obbiettivo.

Per risolvere questo problema è stato necessario l'ausilio del software *Dynamo*, un'interfaccia di programmazione grafica che consente di personalizzare il flusso di lavoro relativo alle informazioni edilizie attraverso degli algoritmi.

L'algoritmo che è stato creato si basa sostanzialmente sull'intersezione della massa con l'elemento strutturale ad esso associata e si compone dei seguenti passaggi:

- <u>Step 1: Definizione dei dati dei pilastri indagati:</u>

Inizialmente sono stati individuati i pilastri indagati, filtrando l'intera lista dei pilastri solo con quelli contenenti il parametro "Sclerometro" e solo con quelli contenenti il parametro "Pacometro", come mostrato nella figure seguenti.

Le funzioni utilizzate in questo primo step sono:

- o Categories: viene selezionata la categoria Pilastri strutturali;
- All elements of Category: sono selezionati tutti gli elementi della categoria impostata;
- Element.GetParameterValueByName: sono ottenuti i valori di uno dei parametri dell'elemento;
- Equals: determina se due istanze di oggetto sono uguali, nel caso in esame se il parametro Sclerometro o Pacometro contenga al suo interno "Si";
- List.FilterByBoolMask: applica un filtro ad una sequenza sulla base di indici corrispondenti ad un elenco di valori booleani separato;
- Watch: viene stampato a video il risultato ottenuto.

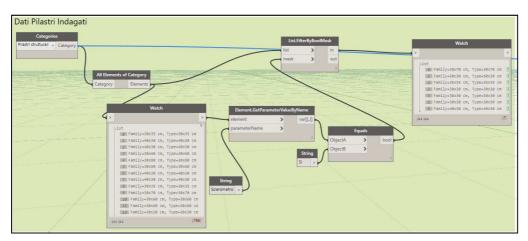


Figura 54. Step 1 – Pilastri indagati - Sclerometro

- Step 2: Definizione dei dati delle masse:

È stato svolto lo stesso procedimento con le masse, filtrando le masse che coincidono con la prova sclerometrica e con la prova pacometrica, come mostrato in nelle figure seguenti.

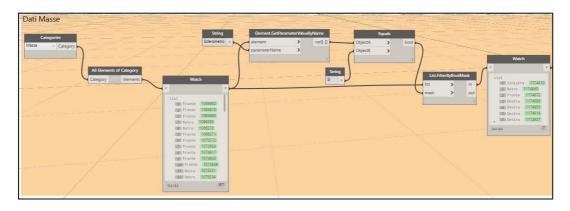


Figura 55. Filtro masse fittizie con sclerometro

- <u>Step 3: Intersezione elementi:</u>

Viene utilizzata una funzione che permette di trovare una lista di tutti quegli elementi che intersecano le masse selezionate, successivamente trasformata in variabile per motivi di scrittura del codice, come mostrato nelle figure seguenti

Le funzioni utilizzate in questa fase sono le seguenti:

- All intersecting element of category by boundingbox: trova tutti gli elementi che intersecano una bounding box di un elemento dato.
 - Questa funzione si può trovare nel pacchetto Clockwork scaricabile in Dynamo. Essa contiene al suo interno un altro piccolo algoritmo e si basa sostanzialmente su uno script scritto nel linguaggio di programmazione Python.

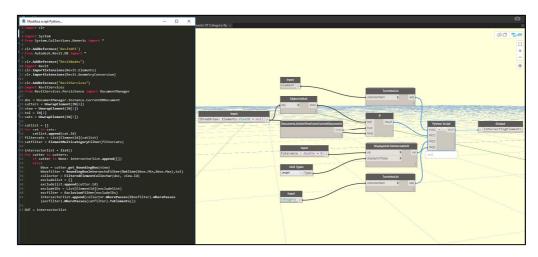


Figura 56. Script di Python della funzione All intersecting element of category by boundingbox

Flatten: restituisce la versione 1D dell'elenco di input multidimensionale. Se
 l'input è un valore singolo, restituisce tale valore.

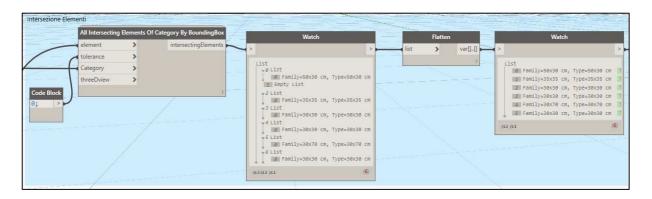


Figura 57. Intersezione elementi prova sclerometrica

- <u>Step 4: Combinazione parametri elementi:</u>

Lo step finale è quello di associare ad ogni massa il contrassegno del pilastro corrispondente che interseca, tramite il parametro "Pilastro associato".

Tutti i pilastri hanno un contrassegno dato dall'intersezione delle due griglie dove è posizionato, come mostrato nella figura seguente.

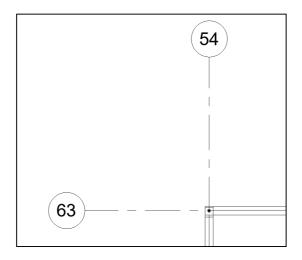


Figura 58. Esempio - Contrassegno pilastro

In questa ultima fase viene utilizzata la funzione "Element.SetParameterByName", che setta uno dei parametri dell'elemento: viene inserito il nome del parametro da modificare, "Pilastro associato", e viene assegnato il valore del contrassegno del pilastro intersecato di riferimento, come mostrato nelle figure seguenti.

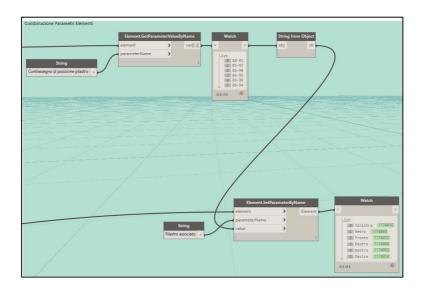


Figura 59. Combinazione parametri sclerometro

In questo modo è stato popolato il parametro Pilastro associato riferito ad ogni massa per ognuna delle due prove, come si vede nell'estratto di abaco delle due prove, come mostrato nella seguente figura.

Livello di riferimento	Pilastro associato	Sclerometro	Famiglia	Tipo	
\$1 FD3	88.91	le:	Sclerometro	Sinistra	
S1 ED3	85-93	Si	Sclerometro	Retro	
S1 ED3	85-92	Si	Sclerometro	Fronte	
S1 ED3	86-90	Si	Sclerometro	Destra	
S1 ED3	86-95	Si	Sclerometro	Destra	
S1 ED3	86-90	Si	Sclerometro	Destra	
S1 ED3	86-94	Si	Sclerometro	Destra	

Figura 60. Stralcio da abachi per individuazione del pilastro associato alla massa generica creata

5.6. Prova Pacometrica

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Si riportano i risultati da lui conseguiti in merito a questa prova nella seguenti tabelle.

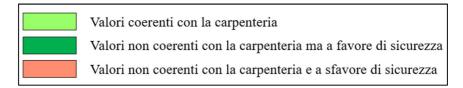


Figura 61- Legenda risultati prova pacometrica

			EDIFICIO	1		
Contrassegno	Livello di riferimento	Numero barre		c' medio staffa	s medio barra	s medio staffa
35	PT ED1	4	40.0 mm	40.0 mm	200.0 mm	145.0 mm
4	PT ED1	4	27.0 mm	26.0 mm	200.0 mm	170.0 mm
17	PT ED1	4	33.0 mm	32.0 mm	200.0 mm	145.0 mm
22	PT ED1	4	34.0 mm	26.5 mm	180.0 mm	190.0 mm
23	PT ED1	4	28.0 mm	29.0 mm	210.0 mm	165.0 mm
6	PT ED1	4	30.0 mm	24.0 mm	230.0 mm	165.0 mm
6	01 ED1	4	48.0 mm	38.0 mm	210.0 mm	155.0 mm
4	01 ED1	4	39.0 mm	35.0 mm	190.0 mm	140.0 mm
35	01 ED1	4	46.5 mm	41.0 mm	200.0 mm	175.0 mm
33	01 ED1	4	31.0 mm	24.5 mm	230.0 mm	190.0 mm
31	01 ED1	4	46.5 mm	37.0 mm	200.0 mm	155.0 mm
26	01 ED1	1/125mm	53.0 mm	50.0 mm	125.0 mm	180.0 mm
4	02 ED1	4	36.0 mm	29.0 mm	210.0 mm	170.0 mm
6	02 ED1	4	36.0 mm	29.0 mm	210.0 mm	140.0 mm
31	02 ED1	4	38.0 mm	42.0 mm	200.0 mm	150.0 mm
35	02 ED1	4	29.5 mm	21.5 mm	200.0 mm	150.0 mm
26	02 ED1	1/185mm	37.0 mm	41.0 mm	185.0 mm	175.0 mm
22	01 ED1	6	31.0 mm	29.0 mm	105.0 mm	140.0 mm
24	01 ED1	4	35.0 mm	34.0 mm	200.0 mm	135.0 mm
TOTA	LE VALUTA	TI E VERI	FICATI CON	CARPENTERI	A [%]	9

Tabella~9.~Risultati~prova~pacometrica,~edificio~1

			EDIFICIO	2		
Contrassegno	Livello di riferimento	Numero barre	c' medio barra	c' medio staffa	s medio barra	s medio staffa
4	PT ED2	6	35.0 mm	38.0 mm	110.0 mm	94.0 mm
5	PT ED2	9	30.0 mm	33.0 mm	115.0 mm	143.0 mm
6	PT ED2	6	26.8 mm	34.5 mm	110.0 mm	155.0 mm
26	PT ED2	4	34.0 mm	39.0 mm	220.0 mm	150.0 mm
24	PT ED2	6	37.0 mm	35.0 mm	240.0 mm	117.0 mm
23	PT ED2	9	39.0 mm	32.0 mm	120.0 mm	127.0 mm

22	PT ED2	6	28.0 mm	22.0 mm	155.0 mm	170.0 mm
26	01 ED2	4	39.0 mm	48.0 mm	210.0 mm	150.0 mm
33	01 ED2	4	45.5 mm	47.0 mm	190.0 mm	120.0 mm
31	01 ED2	4	48.0 mm	48.0 mm	190.0 mm	155.0 mm
29	01 ED2	4	42.0 mm	41.0 mm	175.0 mm	127.0 mm
24	01 ED2	4	40.0 mm	41.0 mm	190.0 mm	150.0 mm
23	01 ED2	4	43.0 mm	40.0 mm	190.0 mm	160.0 mm
22	01 ED2	4	48.5 mm	53.5 mm	200.0 mm	160.0 mm
33	02 ED2	4	40.0 mm	40.0 mm	220.0 mm	150.0 mm
31	02 ED2	4	40.0 mm	46.0 mm	200.0 mm	150.0 mm
23	02 ED2	4	41.0 mm	38.0 mm	200.0 mm	160.0 mm
26	02 ED2	4	40.0 mm	40.0 mm	210.0 mm	150.0 mm
TOTA	LE VALUTA	ΓΙ E VERI	FICATI CON	CARPENTERI	A [%]	9

Tabella 10. Risultati prova pacometrica, edificio 2

			EDIFICIO	3		
Contrassegno	Livello di riferimento	Numero barre	c' medio barra	c' medio staffa	s medio barra	s medio staffa
60	PT ED3	1/200mm	45.0 mm	39.0 mm	200.0 mm	170.0 mm
4	PT ED3	4	34.4 mm	42.0 mm	160.0 mm	80.0 mm
5	PT ED3	4	29.0 mm	32.0 mm	225.0 mm	140.0 mm
6	PT ED3	4	50.5 mm	47.0 mm	220.0 mm	160.0 mm
26	PT ED3	4	46.0 mm	52.0 mm	190.0 mm	190.0 mm
33	01 ED3	8	35.0 mm	42.0 mm	116.0 mm	80.0 mm
31	01 ED3	16	39.0 mm	32.0 mm	58.0 mm	30.0 mm
22	01 ED3	12	43.0 mm	42.0 mm	42.0 mm	80.0 mm
23	01 ED3	8	45.0 mm	37.0 mm	45.0 mm	35.0 mm
24	01 ED3	4	42.0 mm	56.0 mm	200.0 mm	40.0 mm
60	01 ED3	1/200mm	49.0 mm	33.0 mm	200.0 mm	200.0 mm
35	02 ED3	4	24.0 mm	18.0 mm	160.0 mm	140.0 mm
22	02 ED3	8	41.0 mm	40.0 mm	80.0 mm	97.0 mm
23	02 ED3	8	25.0 mm	31.0 mm	70.0 mm	80.0 mm
24	02 ED3	8	39.0 mm	42.0 mm	60.0 mm	60.0 mm
60	02 ED3	1/100mm	39.0 mm	30.0 mm	100.0 mm	150.0 mm
27	S1 ED3	6	44.0 mm	41.0 mm	160.0 mm	150.0 mm
18	S1 ED3	9	44.0 mm	39.0 mm	110.0 mm	180.0 mm
14	S1 ED3	15	43.0 mm	38.0 mm	124.0 mm	150.0 mm
11	S1 ED3	9	40.0 mm	54.0 mm	105.0 mm	130.0 mm
Α	S1 ED3	9	38.0 mm	38.0 mm	106.0 mm	160.0 mm
33	S1 ED3	4	37.0 mm	29.0 mm	260.0 mm	170.0 mm
42	S1 ED3	6	37.0 mm	24.0 mm	165.0 mm	150.0 mm
TOTAL	E VALUTATI	E VERIFIC	CATI CON (CARPENTE	RIA [%]	9

Tabella 11. Risultati prova pacometrica, edificio 3

5.7. Prova Sclerometrica

Con la prova sclerometrica viene stimata la resistenza a compressione del calcestruzzo in opera, come definito nei *Cenni teorici* al *Paragrafo 5.1.2*.

Prima dello svolgimento della prova in situ viene preparato il piano delle indagini, in cui si definiscono gli elementi indagabili e i dati da rilevare. Dopo il rilievo sarà necessario analizzare i dati raccolti.

5.7.1. Piano delle indagini

5.7.1.1. Individuazione elementi indagabili

Nel caso in esame verranno svolte prove solo sui pilastri strutturali accessibili. Essi devono essere definiti prima dello svolgimento delle prove, preparando delle tavole per identificarli.

Per evitare la rimozione dell'intonaco, si svolge la prova sclerometrica solo nei pilastri accessibili del piano seminterrato dell'edificio 3.

Per identificare gli elementi su cui effettuare le prove vengono sovrapposte le piante architettoniche con quelle strutturali.

Si vuole a questo punto riassumere gli elementi indagabili attraverso delle tabelle. Si utilizza allora lo strumento abaco fornito da Revit.

Per ogni elemento scelto si compila il parametro sclerometro con la dicitura "Si", definito al *Paragrafo 5.5*.

Viene definito l'abaco dei pilastri strutturali. In esso saranno presenti tutti gli elementi presenti nella costruzione. Viene allora applicato un filtro, come definito al *Paragrafo 5.5*, per visualizzare solo gli elementi su cui viene effettuata la prova sclerometrica. L'abaco ottenuto può a questo punto essere esportato su Excel tramite il modulo aggiuntivo BIM One scaricabile gratuitamente dall'Autodesk App Store.

Le tabelle ottenute sono le seguenti, in cui viene calcolata la percentuale di elementi indagati.

	EDI	IFICIO 3		
Num.	Contrassegno di posizione pilastro	Livello di base	Livello superiore	Sclerometro
1	85-90	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
2	85-92	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
3	85-93	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
4	86-90	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
5	86-94	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
6	86-95	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
7	88-91	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
	TOTALE VALU	ΓΑΤΙ [%]		3

Tabella 12. Contrassegno posizione massa generica

Ulteriore possibilità per visualizzare al meglio gli elementi indagati è definire una vista 3D ed applicare dei filtri sul colore degli elementi che presentano il parametro sclerometro.

Si decide di visualizzare in blu gli elementi indagati e le masse collegate.

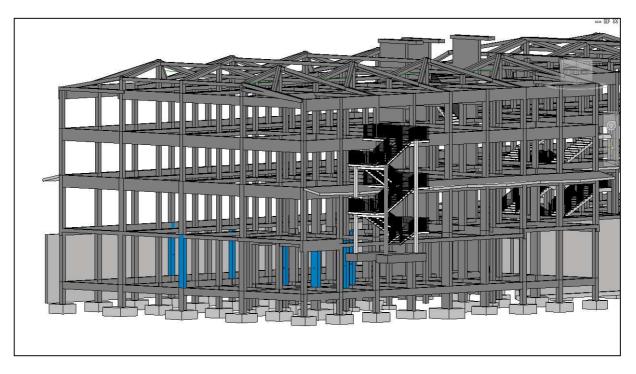


Figura 62. Individuazione elementi da indagare per prova sclerometrica

5.7.1.2. Individuazione dati da rilevare

I risultati della prova sclerometrica possono essere riassunti tramite i seguenti parametri:

- f_{cm}: resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo media;
- R_{cm}: resistenza a compressione cubica del calcestruzzo media;
- E_{cm}: modulo elastico del calcestruzzo;
- $R_1 \div R_{12}$: risultati delle 12 prove effettuate;
- R_{medio}: valore medio delle prove effettuate escludendo il valore massimo e minimo;
- Valore massimo: valore massimo delle 12 prove effettuate;
- Valore minimo: valore minimo delle 12 prove effettuate;
- σ : scarto quadratico medio;
- Angolo di battuta: inclinazione dello strumento.

I parametri sono stati creati come parametri condivisi, definendo un nuovo gruppo "Misurazioni Sclerometro" all'interno del file "Rilievo strutturale parametri.txt" definito al *Paragrafo 5.4.3*.

Le proprietà dei nuovi parametri condivisi sono le seguenti:

- E_{cm}, R_{cm}, f_{cm}: disciplina "Strutturale" e tipo di parametro "Resistenza". In questo modo il software assocerà al parametro l'unità di misura corrispondente, in questo caso i MPa;

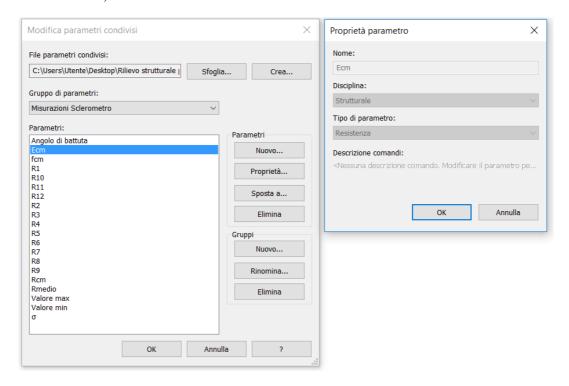


Figura 63. Parametri prova sclerometrica

- Per tutti gli altri parametri, non trovando un tipo di parametro che li contraddistingua, viene impostata come disciplina "Comune" e tipo di parametro "Testo".

Tutti i parametri sono aggiunti come parametri di progetto "Istanza", associati alle categorie di pilastri strutturali, masse ed abachi e raggruppati come "Risultati analisi".

All'abaco già creato al *Paragrafo 5.5* vengono aggiunti i parametri appena definiti.

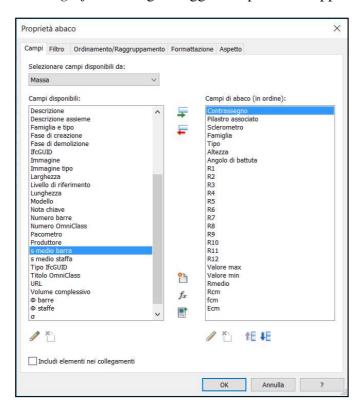


Figura 64. Inserimento parametri nell'abaco

L'abaco è così pronto per essere esportato in un file Excel, utile per l'analisi dei dati successiva.

5.7.2. Rilievo in situ

La prova sclerometrica viene effettuata solo nel piano seminterrato dell'edificio 3, dove non è presente l'intonaco.

La prova viene eseguita seguendo questi passaggi:

- Pulire e rettificare la superficie dalle asperità superficiali con l'apposita pietra pomice con movimenti circolari;
- Procedere preventivamente all'esecuzione di una prova pacometrica che individui la posizione delle barre d'armatura in modo da eseguire le battute lontano da queste;
- Definire di conseguenza la zona d'indagine e le 12 sottozone in cui effettuare la prova;

- Azionare lo strumento almeno tre volte prima di cominciare le battute;
- Procedere alle 12 battute compilando la scheda di prova, indicando inoltre il codice dell'elemento e le coordinate del baricentro della zona d'indagine.

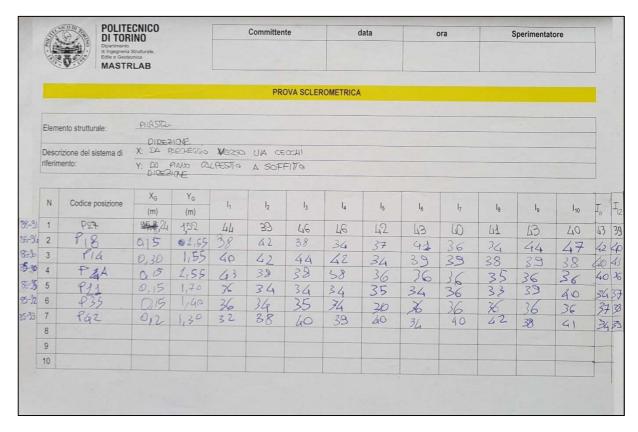


Figura 65. Dati acquisiti durante l'esecuzione della prova sclerometrica

È necessario indicare il codice del pilastro indagato, la posizione del baricentro dell'area indagata e i valori dell'indice di rimbalzo rilevati.

5.7.3. Analisi dei dati

I risultati ottenuti dal rilievo strutturale devono essere elaborati per ottenere la resistenza meccanica del calcestruzzo.

I valori degli indici di rimbalzo rilevati sono 12 per ogni elemento.

		F	PROV	VA S	CLE	ROM	1ETI	RICA						
Num.	Pilastro associato	Angolo di battuta	R ₁ [-]	R ₂ [-]	R ₃ [-]	R ₄ [-]	R ₅ [-]	R ₆ [-]	R ₇ [-]	R ₈ [-]	R ₉	R ₁₀ [-]	R ₁₁ [-]	R ₁₂ [-]
27	88-91	0	44	39	46	46	42	43	40	41	43	40	43	39
42	86-94	0	38	42	38	34	37	41	36	34	44	47	42	40
33	86-90	0	40	42	44	42	34	39	39	38	39	38	40	43
A	85-90	0	43	38	38	38	36	36	36	35	36	36	40	36
11	86-95	0	36	34	34	34	35	34	36	33	39	40	34	37
14	85-92	0	36	34	35	34	30	36	36	36	36	36	37	38
18	85-93	0	32	38	40	39	40	34	40	42	38	41	34	39

Tabella 13. Risultati prova sclerometrica

A questi vengono tolti il valore massimo ed il valore minimo e con i 10 indici rimasti viene calcolato l'indice di rimbalzo medio.

IN	NDICE DI RIN	MBALZO ME	DIO
Num.	Valore max [-]	Valore min [-]	R _{medio} [-]
27	46	39	42.1
42	47	34	39.2
33	44	34	40
A	43	35	37
11	40	33	35.3
14	38	30	35.7
18	42	32	38.3

Tabella 14. Calcolo indice rimbalzo medio

Viene a questo punto utilizzato il diagramma di correlazione con angolo di battuta pari a 0 per definire i valori della resistenza cubica a compressione del calcestruzzo media.

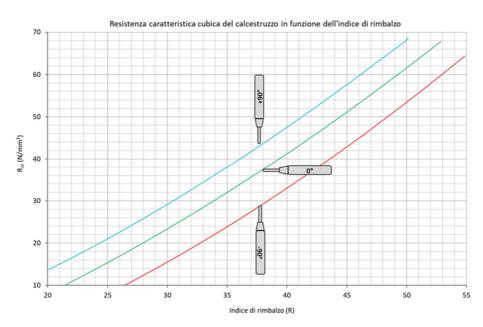


Figura 66. Diagramma (R-R_{ck})

Utile per confrontare i valori di resistenza con le carpenterie e con la campagna di indagini svolta nel 2012 è la definizione della resistenza cilindrica a compressione media, applicando le formule riportate al capitolo 11 delle NTC 2008 (formulazioni identiche all'NTC 2018):

$$f_{cm} = R_{cm} * 0.83$$

Per completezza, viene calcolato anche il modulo elastico del materiale, applicando le formule riportate al Capitolo 11 delle NTC 2008 (formulazioni identiche all'NTC 2018):

$$E_{cm} = 22000 * \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0.3}$$

CAR	RATTERIST:	ICHE MEC	CANICHE	
Num.	R _{cm} [N/mm ²]	f _{cm} [N/mm ²]	E _{cm} [N/mm ²]	
27	45.3	37.6	32735	
42	39.7	33.0	31468	
33	41.2	34.2	31825	
A	35.6	29.6	30455	
11	32.5	27.0	29638	
14	33.1	27.5	29785	
18	38.0	31.6	31060	

Tabella 15. Calcolo delle caratteristiche meccaniche medie

L'unico pilastro in comune indagato rispetto alla campagna di indagini del 2012 è il numero 27.

Saggio	Contrassegno	Dimen	sioni	Peso	Resistenza	Data di
n°		Diametro	Altezza	gr	f _e N/mm²	prova
1	C1	65	65	373	16,3	14/09/12
2	C2	65	65	377	25,9	14/09/12
3	C3	65	65	390	24,1	14/09/12
4	C5	65	65	391	32,9	14/09/12
5	C6	65	65	374	25,0	14/09/12
6	C8	65	65	405	28,3	14/09/12
7	C9	65	65	385	23,5	14/09/12
8	C11	65	65	490	36,5	14/09/12
9	C12	65	65	460	16,0	14/09/12
10	C13	65	65	497	58,8	14/09/12

Figura 67. Risultati prove effettuate nel 2012

Si verifica che: $25.9 \text{ N/mm}^2 < 37.6 \text{ N/mm}^2$

Il confronto è ritenuto soddisfacente in quanto nel tempo la resistenza del calcestruzzo tende ad aumentare ed è proprio quello che è accaduto alla struttura in esame.

Dalle tavole di carpenteria risulta che la resistenza del materiale sia 250 kgf/cm², che equivale a 25 N/mm². Anche in questo caso da tutte le prove viene rilevata una resistenza maggiore, si ritiene quindi che tutte le prove hanno verificato le caratteristiche del materiale.



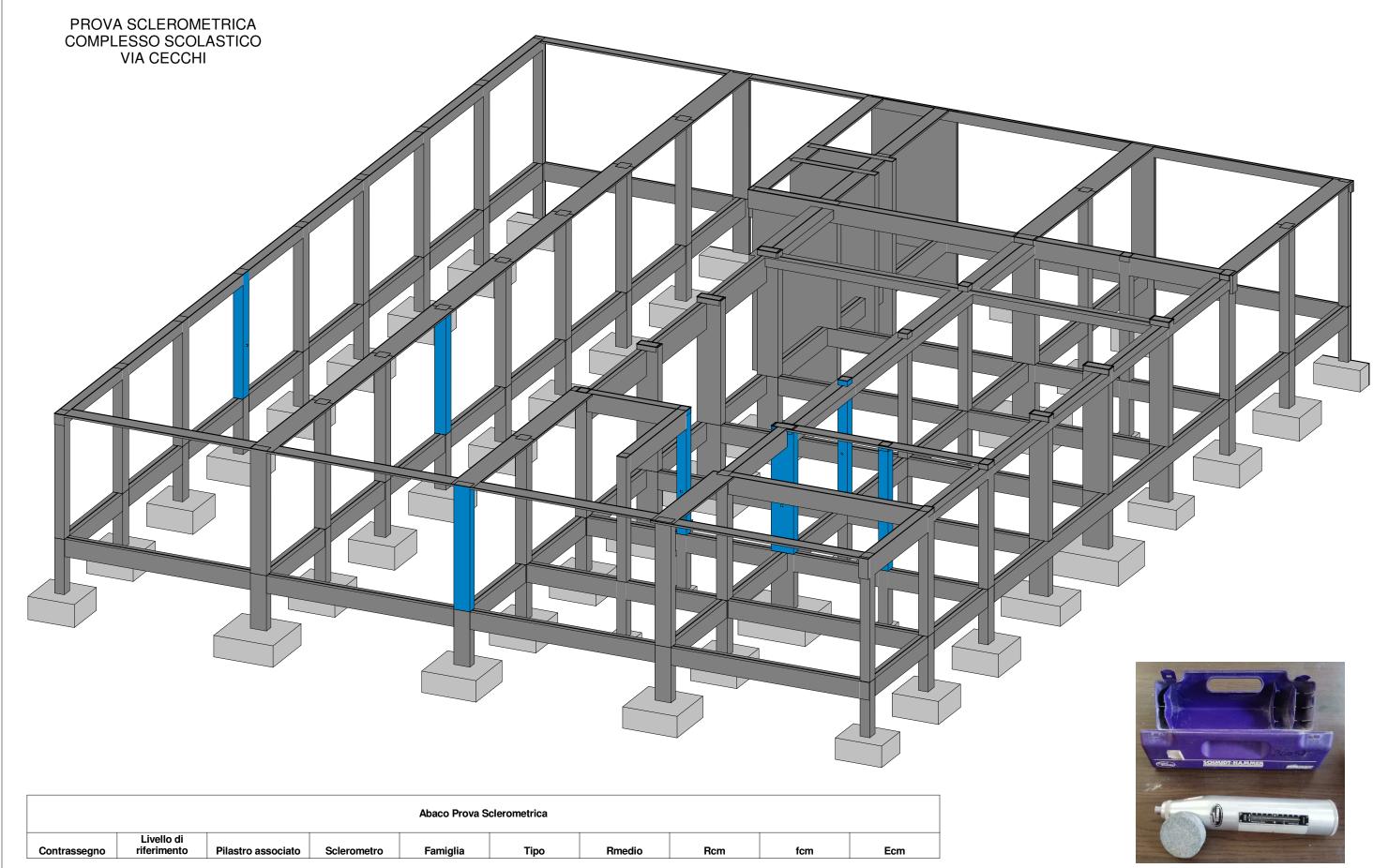
Figura 68. Caratteristiche dei materiali da carpenteria

R'_{bk} è una diversa dicitura della classe di resistenza del calcestruzzo a compressione.

Nelle vecchie normative R'_{bk} è la resistenza caratteristica su provini di forma cubica espressa in Kg/cm^2 (dove "b" significa beton), mentre nella nuova normativa R_{ck} è la resistenza caratteristica su provini cubici espressa in N/mm^2 ovvero MPa (dove "c" significa concrete).

I valori dei parametri definiti al *Paragrafo 5.7.1.2* verranno inseriti nel file Excel estratto dal modello, facendo attenzione a compilare le colonne vuote senza modificare altro. Per importare la tabella completata verrà utilizzato il modulo aggiuntivo BIM One.

Viene riportata nella pagina seguente la tavola di sintesi relativa alla prova sclerometrica.



Abaco Prova Sclerometrica										
Contrassegno	Livello di riferimento	Pilastro associato	Sclerometro	Famiglia	Tipo	Rmedio	Rcm	fcm	Ecm	
27	S1 ED3	88-91	Si	Sclerometro	Sinistra	42.1	45.3 MPa	37.6 MPa	32735 MPa	
42	S1 ED3	85-93	Si	Sclerometro	Retro	39.2	39.7 MPa	33.0 MPa	31468 MPa	
33	S1 ED3	85-92	Si	Sclerometro	Fronte	40	41.2 MPa	34.2 MPa	31825 MPa	
A	S1 ED3	86-90	Si	Sclerometro	Destra	37	35.6 MPa	29.6 MPa	30455 MPa	
11	S1 ED3	86-95	Si	Sclerometro	Destra	35.3	32.5 MPa	27.0 MPa	29638 MPa	
14	S1 ED3	86-90	Si	Sclerometro	Destra	35.7	33.1 MPa	27.5 MPa	29785 MPa	
18	S1 ED3	86-94	Si	Sclerometro	Destra	38.3	38.0 MPa	31.6 MPa	31059 MPa	

Politecnico di Torino	DISEG	Ingegneria civile	
Studente: Muratore Laura			
Tesi: BIM e interoperabilità con il software Midas Gen			
Tavola: Prova sclerometrica			
Scala 1:100	01	Agg. 16/10/2018	

5.8. Valutazione del livello di conoscenza raggiunto

A seguito delle attività di indagine sopra descritte sono state raccolte tutte le informazioni utili per poter inserire la costruzione in esame in uno dei livelli di conoscenza definiti nel *Paragrafo 5.1.1*.

Si fa rifermenti alla "Tabella C8A.1.2." presente nel *Paragrafo 5.1.1*.

Le informazioni a disposizione sono le seguenti:

- Geometria: le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali sono note dai disegni originali e dal rilievo geometrico effettuato;
- Dettagli strutturali: sono presenti i disegni costruttivi strutturali originali e i risultati delle prove pacometriche effettuate;
- Materiali: le proprietà meccaniche dei materiali sono riportate sui disegni costruttivi, definite in una campagna di indagini realizzata nel settembre 2012 e confermate dalle prove sclerometriche eseguite.

Si fa riferimento alla "Tabella C8A.1.3a." presente nel *Paragrafo 5.1.1*.

Nel caso in esame possono essere svolte solo prove strutturali sui pilastri. Le percentuali di elementi indagati e verificati sono riportate nelle seguenti tabelle:

PROVA PACOMETRICA			
EDIFICI	Elementi indagati e verificati [%]	Elementi da indagare per normativa [%]	
Edificio 1	9	15	
Edificio 2	9	15	
Edificio 3	9	15	

Tabella 16. Percentuale degli elementi indagati e verificati per prova pacometrica

PROVA SCLEROMETRICA			
EDIFICI	Elementi indagati e verificati [%]	Elementi da indagare per normativa [%]	
Edificio 1	0	15	
Edificio 2	0	15	
Edificio 3	3	15	

Tabella 17. Percentuale degli elementi indagati e verificati per prova sclerometrica

Non viene raggiunta la percentuale di elementi indagati, ma comunque tutti gli elementi che è stato possibile indagare risultano verificati. Si ipotizza quindi di rientrare nel Livello di Conoscenza Adeguata (LC2) effettuando limitate verifiche in situ.

Il Livello di conoscenza Adeguata presenta le seguenti caratteristiche (citate direttamente dalla "Circolare n. 617 del 02 Febbraio 2009"):

"Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

Dettagli costruttivi: i dettagli sono noti da un'estesa verifica in-situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti. In quest'ultimo caso viene effettuata una limitata verifica in situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Proprietà dei materiali: informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in-situ. Nel primo caso sono anche eseguite limitate prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite estese prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

La valutazione della sicurezza nel caso di conoscenza adeguata è eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici."

Il Fattore di Confidenza legato al livello di conoscenza raggiunto è 1,20. Come definito al *Paragrafo 5.1.1* le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i Fattori di Confidenza.

CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Num.	R _{cm} [N/mm ²]	$f_{cm} [N/mm^2]$	E_{cm} [N/mm ²]
27	37.8	31.3	30993
42	33.1	27.5	29793
33	34.4	28.5	30131
A	29.7	24.6	28834
11	27.1	22.5	28060
14	27.6	22.9	28199
18	31.7	26.3	29406

Tabella 18. Calcolo delle caratteristiche meccaniche divise per i fattori di confidenza

Riducendo i valori delle resistenze medie si ottengono dei valori comunque superiori a quelli del progetto originale, come riportato in tabella.

I valori non risultano rappresentativi dell'intera struttura, si ipotizza quindi di utilizzare i valori di progetto (25 MPa) come caratteristiche meccaniche dei materiali.

Capitolo 6 – Interoperabilità dei software

In questo capitolo è stato trattato il tema principale della tesi stessa: l'interoperabilità.

Il punto di partenza è il software di *Autodesk Revit 2018*. L'obiettivo è cercare un software di calcolo strutturale che si interfacci al meglio con esso. Il primo passo è stato eseguire una ricerca per la scelta dei programmi da utilizzare e, una volta individuati i due software, successivamente sono stati valutati alcuni aspetti ritenuti importanti per l'interoperabilità.

6.1. Ricerca software di calcolo strutturale

I software di calcolo strutturale sono molteplici, ognuno con i propri vantaggi e svantaggi. Nella presente tesi ci si è soffermati su alcuni aspetti, ritenuti indispensabili in questa fase iniziale:

- Presenza di plug-in in Revit: questo strumento rende più agevole e veloce il passaggio tra un software e l'altro;
- Possibilità di utilizzare un formato di scambio interno oltre l'IFC (Industry Foundation Classes), che è un formato dati aperto nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori che partecipano all'intero ciclo di vita della struttura: l'utilizzo di tale formato richiede uno studio approfondito della materia, ed esula dagli scopi della presente tesi;
- Utilizzo di normative nazionali e internazionali: nell'ottica di poter lavorare sia in Italia sia all'estero, è importante trovare un software versatile;
- Affidabilità del software di calcolo agli elementi finiti: la complessità della struttura può essere più o meno elevata, è importante trovare un software preparato ad entrambi i casi.

Sono stati confrontati diversi software di calcolo strutturale privilegiando gli aspetti riguardanti la presenza di plug–in in *Revit* e la possibilità di utilizzare un formato di scambio interno che non sia IFC.

Nella seguente tabella viene riscontrato che l'unico software di calcolo strutturale, tra quelli analizzati, che presenta un plug-in interno a *Revit* è *Advance Design*. Per quanto riguarda i formati di scambio interno invece presentano formati diversi da IFC i programmi *Advance Design*, *Sap 2000* e *Midas Gen*.

Software di calcolo	Plug-in in Revit	Formato di scambio interno
Travilog	X	IFC
Axis VM	X	IFC
Advance Design	✓	IFCgtcx
Sap2000	X	IFCexr
Midas Gen	X	IFCmgt

Tabella 19. Ricerca software di calcolo strutturale

I software presi in considerazione sono i seguenti:

- Advance Design 2018;
- Midas Gen 2018.

6.1.1. Advance Design 2018

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Vengono descritte le caratteristiche principali del software.

6.1.2. Midas Gen 2018

I software MIDAS per la progettazione ed il calcolo agli elementi finiti sono orientati alle diverse necessità dell'ingegneria civile, meccanica e industriale.

MIDAS Gen FX risolve integralmente tutte le problematiche di analisi e progettazione di qualsiasi tipologia strutturale, dalle più complesse alle più semplici, in zona sismica e non, con qualsiasi materiale. Il software è sviluppato nel linguaggio di programmazione orientato agli oggetti Visual C ++.

Principali applicazioni del programma sono:

- Strutture di ingegneria civile: ponti, strutture sotterranee, serbatoi d'acqua, dighe, ecc.
- Strutture architettoniche: edifici, impianti, strutture marittime / offshore, ecc.
- Strutture speciali: stadi, hangar (o aviorimessa), centrali elettriche, ecc.
- Altre strutture: navi, aeroplani, torri elettriche, gru, serbatoi pressurizzati, ecc

TIPOLOGIE DI ELEMENTI:

Il software permette di elaborare e gestire modelli con un grandissimo numero di elementi finiti. La libreria di elementi finiti è molto vasta e comprende "beam" a sezione variabile, "truss" resistenti a sola trazione e/o sola compressione, elementi "wall" per pareti antisismiche, "plate", "solid", "plane stress", "plane strain". Ha un database di profili e

materiali che comprende tutte le principali normative mondiali ed è possibile anche definirle manualmente.

È presente inoltre un potente modellatore e generatore di mesh solido tridimensionale parametrico, che permette di modellare qualsiasi forma geometrica.

Si ha una gestione completa della precompressione, anche in 3D, con la possibilità di inserire cavi di precompressione in un qualsiasi modello strutturale, tramite l'inserimento di tracciati di cavi pretesi o post-tesi.

TIPOLOGIE DI CARICHI E SUCCESSIVE ANALISI:

Il software ha a disposizione un'ampia casistica di carichi tipici di travi e piastre, che possono essere statici, dinamici e mobili. Sono possibili infinite condizioni di carico, gestendo in modo automatico o manuale le combinazioni di carico. I carichi possono inoltre essere convertiti in masse automaticamente.

Molteplici le condizioni al contorno disponibili, che lavorano a sola trazione e/o sola compressione, diversi tipologie di isolatori e smorzatori sismici, lineari e non lineari.

Le analisi che possono essere effettuate sono:

- Analisi sismica statica equivalente;
- Analisi dinamica lineare: applicazione di qualsiasi spettro sismico di progetto definito anche manualmente, e di molteplici accelerogrammi diversi e in diversi punti della struttura;
- Analisi dinamica non-lineare per smorzatori e dissipatori;
- Analisi dinamica completamente non-lineare con integrazione al passo (considerando isteresi dei materiali);
- Analisi non lineari statiche di pushover: per la modellazione a telaio equivalente sono
 presenti svariate tipologie di cerniere plastiche con comportamento di materiali per
 simulare acciaio, c.a. e muratura;
- Analisi di pushover di strutture murarie non assimilabili a telai: effettuabile sia in controllo di forza che di spostamento; in questo secondo caso è possibile cogliere il comportamento softening della struttura

VERIFICHE STRUTTURALI:

Midas Gen FX offre la possibilità di progettare e verificare edifici nuovi in base alle principali normative internazionali tra cui gli Eurocodici, normative inglesi, americane, asiatiche e italiane, NTC.

Oltre ad elementi trave e colonna, sono verificabili piastre orizzontali o inclinate, pareti definibili setti o anche di forma completamente irregolare. È possibile fare la verifica di sezioni con forma e materiale qualsiasi, con diversi legami costitutivi lineari e non lineari.

Per gli edifici esistenti si possono analizzare agevolmente strutture realizzate in materiali variegati e disomogenei. Il software permette una valutazione molto dettagliata per gli edifici in muratura, ad esempio permette di ricevere in input le caratteristiche dei mattoni e dei giunti in malta (con la possibilità di distinguere tra giunti verticali e orizzontali) ottenute da rilievi in situ.

Il software può essere utilizzato anche per progettare e verificare edifici misti, fornendo in output il quadro fessurativo della struttura.

BIM E INTEROPERABILITA'

Midas Gen FX è perfettamente orientato al mondo del BIM (Building Information Modeling) avendo un link automatico con i software Revit e Tekla, sia in andata che in ritorno.

Importa da MSC Nastran, Midas GTS, Midas FEA, Sap2000, Staad e formati dxf. ed esporta in Midas DShop, Midas GTS, Midas FEA e formati dxf e IFC.

Nel caso in esame verrà valutata l'interoperabilità con il software Revit. Gli elementi che è possibile esportare e importare sono riassunti nella tabella sottostante.

- > Possibilità di esportazione solo da Revit a Midas Gen
- <> Possibilità di esportazione sia da Revit a Midas Gen, sia da Midas Gen a Revit

ELEMENTI MAPPATI	Funzioni	Revit <> Gen
	Structural Column	< >
	Beam	< >
Linear Elements	Curved Beam	>
Linear Elements	Beam System	>
	Truss	>
	Brace	< >
Planar Elements	Foundation Slab	< >
	Structural Floor	< >
	Structural Wall	< >
	Wall Opening & Window	>
	Door	>
	Vertical or Shaft Opening	>
Boundary	Offset	>
	Rigid Link	>
	Cross - Section Rotation	>
	End Release	>

Ĭ.		
	Isolated Foundation Support	
	Point Boundary Condition	>
	Line Boundary Condition	>
	Wall Foundation	>
	Area Boundary Condition	>
Load	Load Nature	>
	Load Case	>
	Load Combination	>
	Hosted Point Load	>
	Hosted Line Load	>
	Hosted Area Load	>
Other Parameters	Material	< >
Other Parameters	Level	>

Tabella 20. Elementi esportabili in Midas

LINK REVIT - MIDAS GEN

Il programma fornisce un modulo aggiuntivo (plug- in) in Revit Structure chiamato "Midas Link per Revit Structure".

Esso consente di trasferire direttamente i dati degli elementi strutturali da un modello Revit a modelli Midas e successivamente, dopo aver apportato eventuali modifiche, di restituirli a Revit aggiornando così il modello originale.

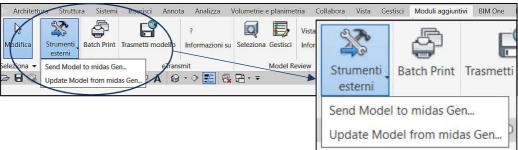


Figura 69. Plug-in esportazione file in Midas

Come file di interscambio in andata e in ritorno (round trip), viene utilizzato il file di testo di Midas Gen (.mgt). Il file .mgt è un file testuale in formato ASCII nel quale sono presenti tutti i dati di input necessari per definire il modello in Midas Gen. Oltre alle coordinate dei nodi, sono presenti in questo file tutte le informazioni necessarie per definire la tipologia di elementi finiti, le sezioni, i materiali, i vincoli, i carichi, ecc.

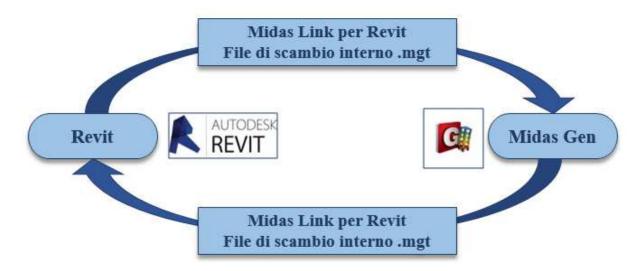


Figura 70. Diagramma di flusso esportazione/importazione del modello Revit-Midas Gen

Nel momento in cui viene mandato il modello in Midas Gen viene scelto il percorso in cui salvare il file mgt, il livello di dettaglio con cui esportare gli elementi (compresa la quantità di mesh), se esportare l'intero modello o solo alcune viste, le unità di misura di riferimento e il mappaggio delle sezioni e dei materiali.

Alcune tipologie di materiali e di sezioni, che appartengono a entrambi i database dei due software, sono riconosciuti in automatico; per tutti gli altri viene richiesta un'associazione manuale dei parametri. Questo perché di una stessa tipologia di sezione, possono essere usate simbologie diverse.

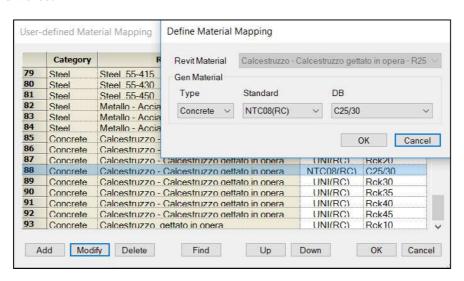


Figura 71. Associazione materiale in Revit e in Midas

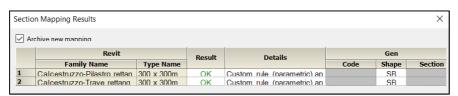


Figura 72. Sezioni mappate

A questo punto il modello può essere importato sul software di calcolo strutturale, tramite il file mgt creato. Il modello salvato in Midas Gen avrà poi il formato classico mgb.

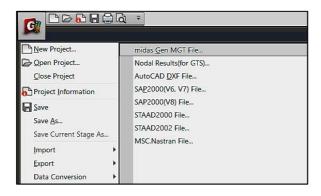


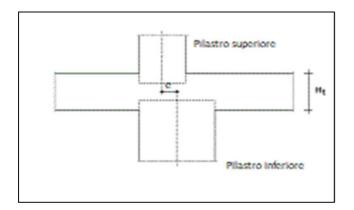
Figura 73. Importazione file sul software Midas

6.2. Individuazione punti di attenzione per l'interoperabilità

Nello studio dell'interoperabilità sono state individuate alcune tematiche ritenute rilevanti. Per studiarle al meglio si è scelto di non utilizzare l'edificio del caso studio, che non avrebbe permesso di governare a pieno il problema perché troppo complesso, ma delle strutture semplici.

Con i due software di calcolo scelti sono stati portati avanti in parallelo lo studio dei seguenti temi:

- Valutazione dell'eccentricità tra gli elementi del modello;
- Individuazione di una zona rigida che simuli il nodo di intersezione trave pilastro;
- Modellazione dell'elemento solaio;
- Definizione dei carichi agenti sulla struttura.



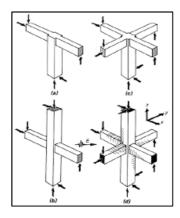


Figura 74. Criticità: eccentricità elementi (sx), definizione nodo rigido trave-pilastro (dx)



Figura 75. Criticità: modellazione solaio

Sono stati confrontati per ogni argomento i livelli di interoperabilità raggiungibili con entrambi i software utilizzati al *Paragrafo* 8.5.

6.3. Eccentricità

All'interno della struttura in esame si presentano molti casi di eccentricità, dovuti principalmente a due fattori:

- Rastremazione della sezione del pilastro: si passa da una sezione del pilastro maggiore ad una minore ed il centro dell'elemento non corrisponde;
- Eccentricità dovute ad esigenze architettoniche: il centro degli elementi pilastri è sfalsato rispetto a quello delle travi ad esso collegate, per evitare a livello architettonico delle sporgenze non desiderate.

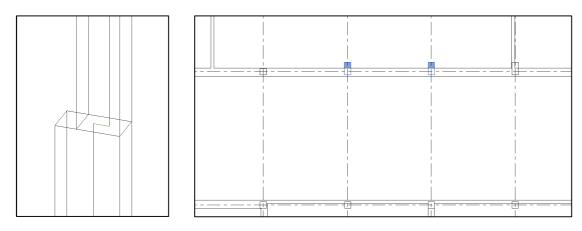


Figura 76. Individuazione elementi eccentrici – Pilastri 22 e 23 PT ED2

Autodesk Revit 2018 gestisce in modo automatico il problema, definendo la creazione di collegamenti analitici nelle impostazioni del modello analitico degli elementi.

L'argomento viene approfondito tramite un esempio di telaio semplice tridimensionale ad una campata ed un piano. Le travi vengono definite tutte con sezione (30x30 cm) mentre i pilastri vengono creati con sezione (30x30 cm) tranne un elemento, che sarà di sezione (60x75 cm) per simulare l'eccentricità, come mostrato nella seguente figura.

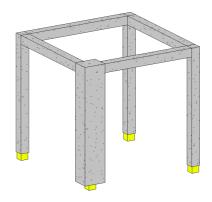


Figura 77. Telaio tridimensionale

Di default il modello analitico che si ottiene presenta collegamenti diretti tra le linee analitiche delle travi e il centro del pilastro, come mostrato nella seguente figura.

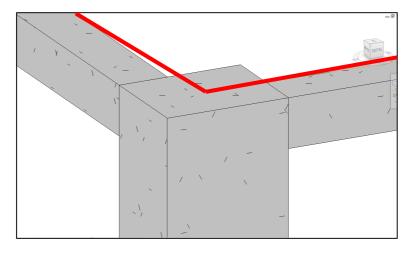


Figura 78. Dettaglio collegamento analitico errato

È evidente che la trave analitica non è corretta, in quanto schematizzata con una linea obliqua per collegarsi con il centro del pilastro. Per evitare ciò, è necessario cambiare le impostazioni del modello analitico della trave e del pilastro: per le travi analitiche si passa all'impostazione "collegamenti analitici = Si", per il pilastro si spunta la casella dei collegamenti analitici, come mostrato nella seguente figura.

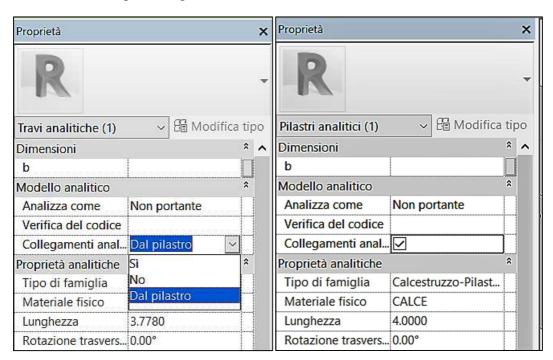


Figura 79. Correzione collegamento analitico per travi e pilastri

Il modello analitico ottenuto è riportato nella seguente figura.

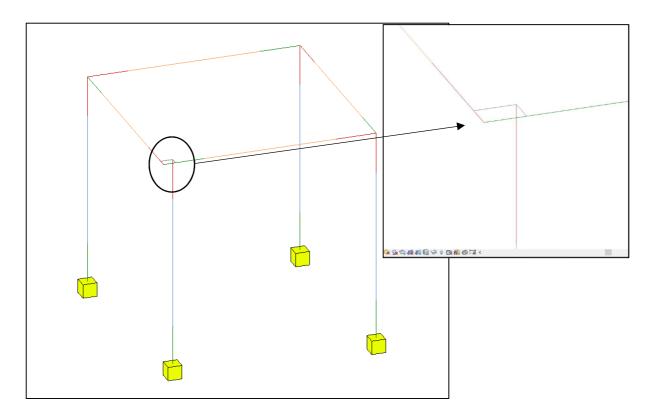


Figura 80. Modello analitico generato automaticamente – errore collegamento analitico automatico

Il risultato presenta delle criticità: quello che si vuole ottenere è che gli estremi delle travi siano collegate rigidamente al pilastro sottostante, dove di fatto vanno a scaricare i carichi. Il software non è in grado di fare una valutazione di questo genere quindi si è proceduto a controllare manualmente.

In questo caso è necessario cancellare i collegamenti analitici creati e definirne uno nuovo che colleghi gli estremi delle due travi al centro del pilastro del livello inferiore, come mostrato nella seguente figura.

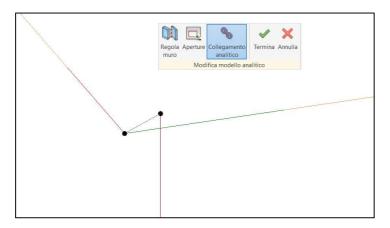


Figura 81. Dettaglio collegamento analitico corretto manualmente

Possono essere impostate delle proprietà ai collegamenti analitici in termini di rigidezza nei confronti della traslazione e della rotazione nelle tre direzioni. Impostando tutti i parametri come fissi, il collegamento analitico viene modellato come se fosse un elemento infinitamente rigido, come mostrato nella seguente figura.

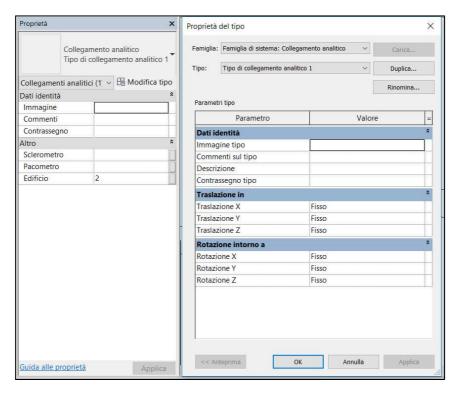


Figura 82. Proprietà dei collegamenti analitici

A questo punto il modello è pronto per essere esportato sui due software per valutarne l'interoperabilità.

6.3.1. Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". La soluzione adottata per questa tematica è stata spostare l'elemento fisico ed imporre un software architettonico.

6.3.2. Midas Gen



Attraverso il modulo aggiuntivo caricato viene trasferito il modello da Revit a Midas attraverso un file con formato di scambio interno mgt (tramite Midas Link per Revit).

In Midas è necessario aprire un nuovo modello e importare il file di scambio. A questo punto viene salvato il modello con il formato classico del programma mgb.

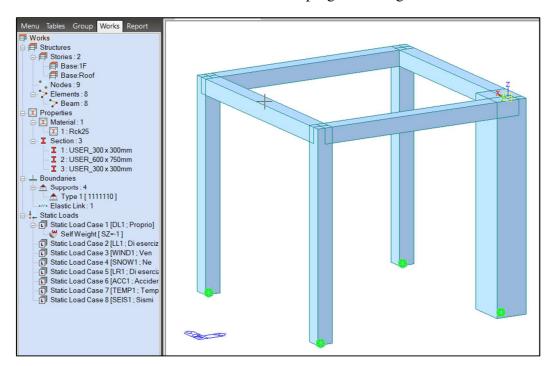


Figura 83. Telaio spaziale

Nella tendina a sinistra vengono definiti tutti gli elementi presenti nel modello, dai livelli ai carichi. Nell'esempio in esame, sono esportati gli 8 elementi creati, con la loro sezione, il materiale e livelli. Altri elementi esportati sono i vincoli esterni e gli elastic link (collegamenti analitici di Revit).

I collegamenti analitici sono esportati come elastic link, e vengono resi rigidi cambiando un'impostazione da "Generale" a "Rigido". Questo per renderli effettivamente rigidi nel software di calcolo strutturale.

Il diagramma di momento ottenuto è riportato nell'immagine seguente.

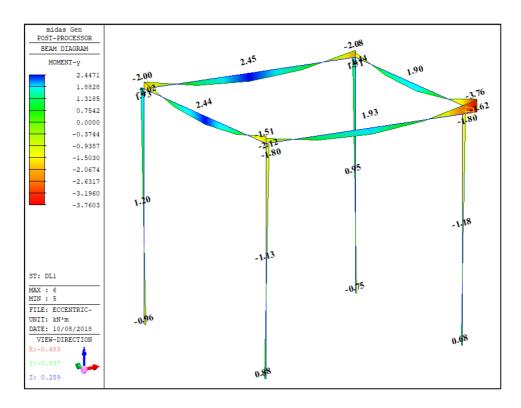


Figura 84. Diagramma di momento con link elastico

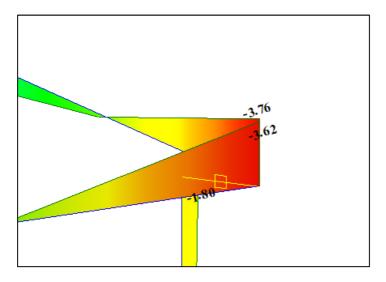


Figura 85. Dettaglio nodo travi- pilastro del diagramma di momento Figura 127

- Soluzione alternativa:

Una soluzione alternativa, anche se non interoperabile, è la valutazione dell'eccentricità attraverso il controllo degli offset degli elementi.

Ogni elemento è definito tramite un'asta che collega i due nodi di estremità. A questa asta sono collegate le informazioni relative all'ingombro riscontrabili nelle proprietà della sezione. Queste proprietà possono essere utilizzate per spostare l'elemento fisico facendo rimanere

inalterato il modello analitico secondo le necessità. In questo modo è possibile simulare l'eccentricità.

Nel caso citato in precedenza, questa funzione può essere utilizzata per superare le problematiche di esportazione, che, nel caso di pilastro eccentrico, presentano un vuoto tra le geometrie.

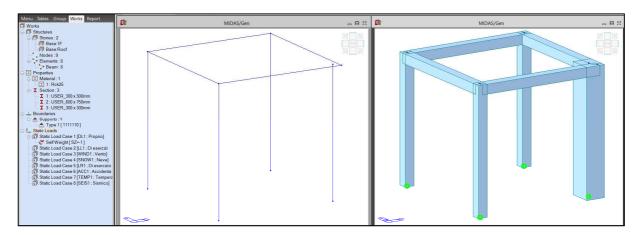


Figura 86. Telaio spaziale con ingombri e analitico

Per impostare la soluzione alternativa, deve essere spostato l'elemento in modo che coincida con l'intersezione delle travi superiori e poi deve essere impostato l'offset sulle proprietà di sezione del pilastro.

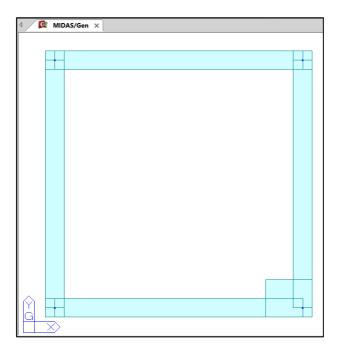


Figura 87. Pilastro corretto con offset architettonico

Il risultato ottenuto in termini di momento flettente, applicando il solo peso proprio, viene riportato nell'immagine seguente.

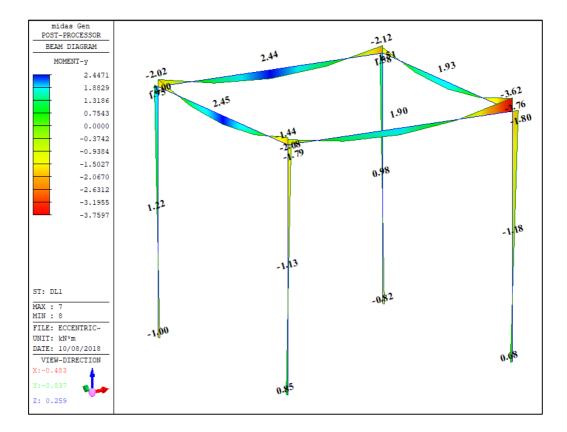


Figura 88. Diagramma momento

I risultati sono equivalenti a quelli della prima soluzione. Viene scelto di considerare la prima soluzione in quanto risulta maggiormente interoperabile, intervenendo solo sulle impostazioni dei link elastici.

Attraverso la seconda soluzione si riscontra un dispendio maggiore di tempo dovendo modificare la posizione e cambiare le proprietà della sezione di ogni singolo pilastro.

6.3.3. Incidenza eccentricità

Il caso dell'eccentricità viene quindi analizzato in *Midas Gen* utilizzando una soluzione interoperabile (rendendo i link effettivamente rigidi) mentre in *Advance Design* viene trovata una soluzione alternativa.

È interessante valutare la percentuale di errore nel caso in cui non considerassi l'eccentricità. Viene allora valutato lo stesso portale con il pilastro di sezione maggiore posizionato centrale rispetto all'asse.

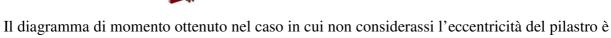
➤ In Advance Design

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". I risultati da lui ottenuti sono i riportati nella seguente tabella, dove emerge che l'eccentricità incide notevolmente sul valore di momento all'estremità del pilastro.

	PERCENTUALE DI ERRORE [%]									
Casi	M _{pilastro} [kN*m]	Differenze M _{pilastro} [kN*m]	Differenze M _{pilastro} [%]							
Con eccentricità	-1.75	2.00	116 20							
Senza eccentricità	-3.72	2.00	116.28							

Tabella 21. Percentuale di errore - Momento dell'estremo finale del pilastro

In Midas Gen



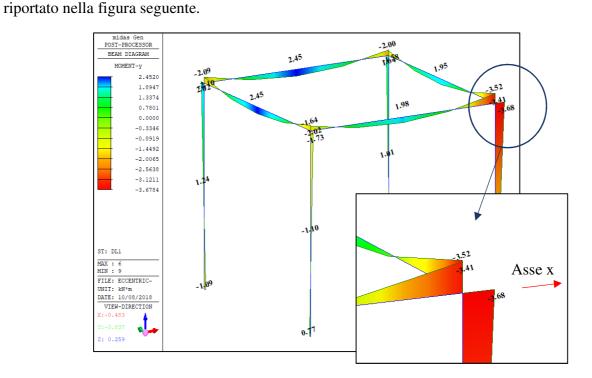


Figura 89. Diagramma momento con ingombro pilastro eccentrico

Come è possibile vedere nella tabella seguente, il valore di momento dell'estremo finale del pilastro risulta aumentato notevolmente e di conseguenza l'errore sarebbe molto elevato

PERCENTUALE DI ERRORE [%]									
Casi	M _{pilastro} [kN*m]	Differenze M _{pilastro} [kN*m]	Differenze M _{pilastro} [%]						
Con eccentricità	-1.80	1 00	104.44						
Senza eccentricità	-3.68	1.88	104.44						

Tabella 22. Percentuale di errore – Momento dell'estremo finale del pilastro

Il valore di momento della trave in direzione x non risulta cambiato in maniera significativa, come evidenziato nella seguente tabella.

PERCENTUALE DI ERRORE TRAVE [%]									
Casi	M _{trave dir.x} [kN*m]	Differenze M _{trave dir.x} [kN*m]	Differenze M _{trave dir.x} [%]						
Con eccentricità	-3.62	0.21	5.00						
Senza eccentricità	-3.41	0.21	5.80						

Tabella 23. Percentuale di errore – Momento della trave in direzione x

6.4. Zona rigida nodo trave – pilastro

Le zone di intersezione tra travi e pilastri sono definite nodi; il nodo si comporterà come un unico elemento, soggetto ad uguali sollecitazioni e deformazioni. In questo Paragrafo sono state analizzate le possibili modalità di esportazione di questi nodi a partire da *Revit* e successivamente esplorando le potenzialità dei software di calcolo scelti al fine di adottare una soluzione ottimale al problema.

6.4.1. Individuazione criticità di modellazione

In *Revit* pare non essere contemplato l'inserimento dell'elemento nodo e l'unico tema che si è riusciti ad approfondire in questo senso è quello dei collegamenti analitici. Per gli elementi travi è possibile variare le impostazioni del modello analitico per cercare di ottenere parte della zona rigida.

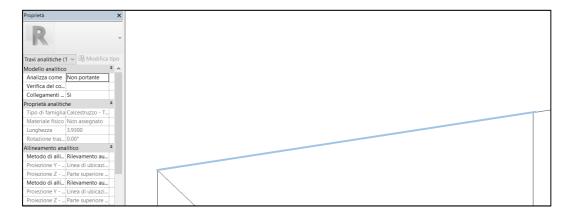


Figura 90. Impostazioni modello analitico trave

Si riscontra una grossa limitazione invece per gli elementi pilastri: il modello analitico nella direzione verticale (asse z) non può essere modificato in modo utile. Segue sempre la parte fisica superiore del pilastro, quindi per ottenere la parte di zona rigida verticale sarebbe necessario diminuire l'altezza fisica del pilastro.

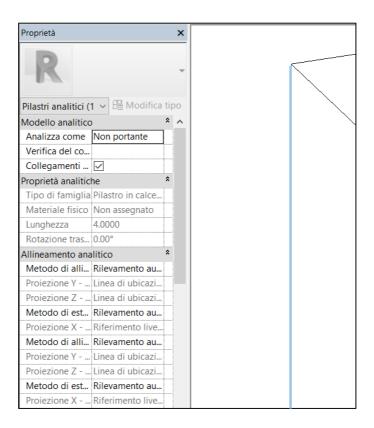


Figura 91. Impostazioni modello analitico pilastro

Questa soluzione si scontra con il fatto che comunque non sarà possibile ottenere un punto centrale del nodo a cui collegare, per mezzo di collegamenti analitici, tutti gli elementi verticali e orizzontali che vi convergono.

6.4.2. Ricerca soluzioni

L'unica soluzione trovata alle criticità definite è quella di limitare lo studio della zona rigida solo sul piano delle travi (piano assi x e y). La modellazione può essere impostata in due modi:

- Modellazione delle travi da centro a centro pilastro e impostazione del modello analitico in modo tale che tenga conto dei collegamenti analitici (e non converga nel centro del pilastro sempre), come per lo studio dell'eccentricità nel *Capitolo 6.3*;
- Modellazione delle travi da filo a filo pilastro, con le stesse impostazioni definite nel punto precedente sul modello analitico. Viene creato così un collegamento analitico che simula nelle direzioni x e y la zona rigida.

La prima impostazione non è in grado di simulare sempre in entrambe le direzioni l'effetto della zona rigida, quindi viene tenuta in conto la seconda.

È stata rilevata la soluzione maggiormente interoperabile, anche se esistono altre che richiedono l'applicazione di funzioni presenti direttamente sul software di calcolo strutturale.

➤ In Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". La soluzione adottata per questa tematica è sfruttare la potenzialità del software, che interrompe il diagramma delle sollecitazioni della trave a filo pilastro automaticamente.

➣ In Midas Gen



Sul software di calcolo sono stati trovati due comandi utili allo scopo:

- "Panel Zone Effect": considera in automatico della zona rigida ogni volta che incontra un'intersezione trave-pilastro, settabile solamente per l'intero modello e non per singoli nodi;
- "Beam End Offset": definisce in modo puntuale la lunghezza della zona rigida ai due estremi dell'elemento selezionato.

In sintesi, sono state prese in considerazione tre soluzioni per simulare l'effetto della zona rigida:

- Caso 1: definizione dei collegamenti analitici in Revit esportati come link rigidi;
- Caso 2: utilizzo del comando "Panel Zone Effect" direttamente sul software;
- Caso 3: utilizzo del comando "Beam End Offset" direttamente sul software.

I tre casi sono stati confrontati inoltre con i risultati trovati senza considerare in alcun modo la zona rigida, per capire che imprecisione viene commessa.

Sono stati affrontati i tre casi per due tipologie di telai:

- Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione 30x30 cm che sostengono una trave di sezione 30x30 cm;
- Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione 30x30 cm che sostengono una trave di sezione 60x30 cm.

Caso 1: Link rigidi

Le operazioni che vengono effettuate sul software Midas Gen prima di procedere con l'analisi sono:

- Link elastici: è necessario renderli rigidi, come visto nel *Paragrafo* 6.2;
- Peso proprio: applicazione del peso proprio degli elementi indicando la direzione (-z).

Per quanto riguarda il modello analitico, la trave è modellata da filo a filo pilastro e nelle impostazioni vengono attivati i collegamenti analitici. Vengono inseriti inoltre i vincoli esterni incastri.

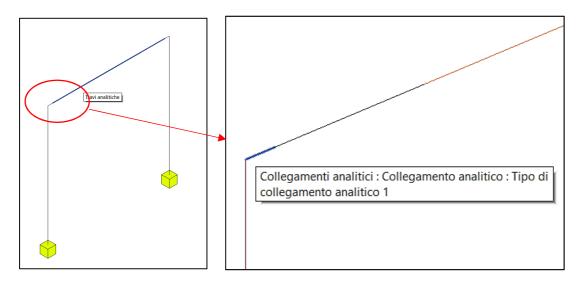


Figura 92. Inserimento collegamento analitico in Revit

• <u>Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione (30x30) cm che sostengono</u> una trave di sezione 30x30 cm:

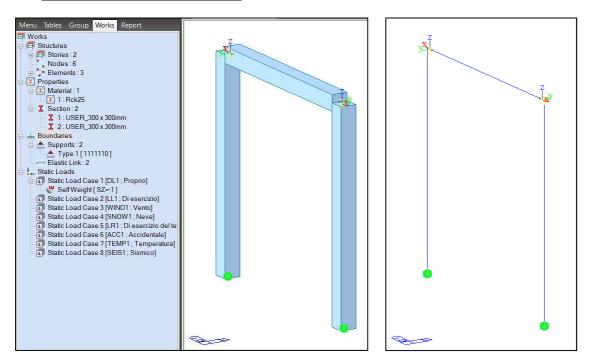


Figura 93. Esportazione modello analitico in Midas Gen

Il diagramma di momento flettente ottenuto è riportato nella figura seguente.

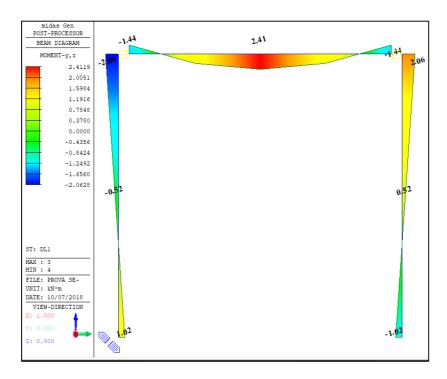


Figura 94. Diagramma di momento del telaio esportato

Si osserva che il momento viene calcolato per una trave di lunghezza 3,70 m. Questo valore ottenutosi riferisce alla lunghezza totale della trave di 4,00 m escludend0 i due link rigidi di 0,15 m ciascuno. Il software distribuisce quindi il momento reale su una lunghezza minore.

Sono stati visualizzati nel dettaglio i diagrammi di sollecitazione degli elementi. Questo è utile per valutare il momento del pilastro all'intersezione trave – pilastro (tenendo conto del reale ingombro dell'elemento): il momento del pilastro a 3,70 m dal nodo i (nodo alla base del pilastro) risulta pari a -1,83 kN*m.

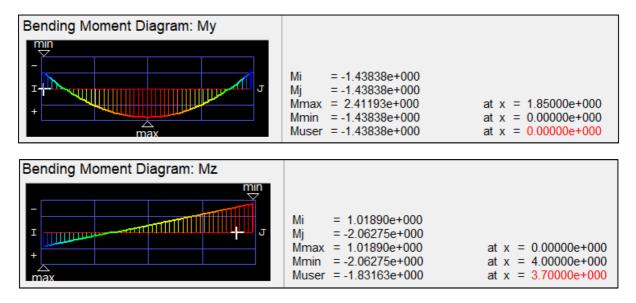


Figura 95. Diagramma di momento singoli elementi trave e pilastri)

Interessante è valutare le reazioni vincolari che portano a questi valori di momento.

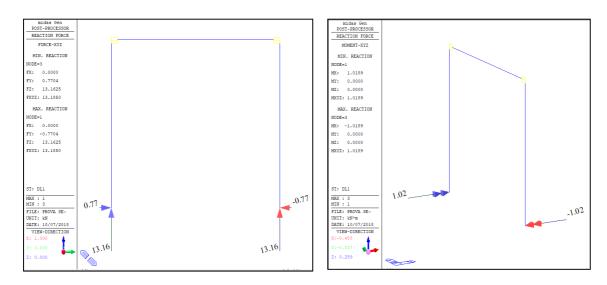


Figura 96. Reazioni vincolari

Viene fatta una verifica del diagramma di momento ottenuto, attraverso un calcolo manuale per verificare se l'uguaglianza del momento nel nodo viene rispettata.

Per il pilastro: $M_i = M_0 - T_0 * z_i$

A 3,70 m:
$$M = 1,02 \text{ kN*m} - 0,77 \text{ kN * 3,70 m} = -1,83 \text{ kN*m}$$

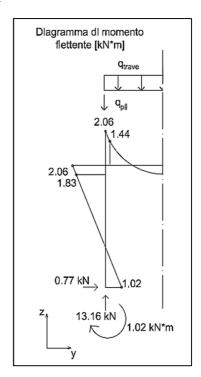
A 4,00 m:
$$M = 1,02 \text{ kN*m} - 0,77 \text{ kN * 4,00 m} = -2,06 \text{ kN*m}$$

Per la trave: $M_i = M_0 - T_0 * y_i$

$$q_{pilastro} = 25 \text{ kN/m}^3 * (0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m} * 4.00 \text{ m}) = 9.00 \text{ kN}$$

$$T_0 = q_{tot} - q_{pilastro} = 13,16 \text{ kN} - 9 \text{ kN} = 4,16 \text{ kN}$$

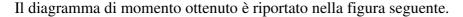
A 0.15 m:
$$M = -2.06 \text{ kN*m} + 4.16 \text{ kN} * 0.15 \text{ m} = -1.44 \text{ kN*m}$$



Figura~97.~Diagramma~momento~flettente~calcolato~manual mente

I valori di momento risultano coincidenti a quelli calcolati dal programma, per cui la soluzione si ritiene valida.

• Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione (30x30) cm che sostengono una trave di sezione 60x30 cm:



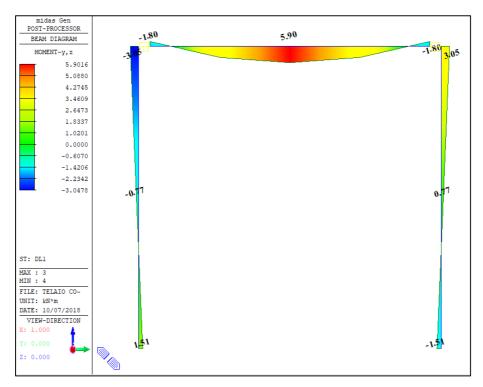


Figura 98. Diagramma di momento flettente

Il momento viene calcolato per una trave di lunghezza 3,70 m, valore ottenuto escludendo dalla lunghezza totale della trave di 4,00 m i due link rigidi di 0,15 m ciascuno. Il programma distribuisce quindi il momento reale su una lunghezza minore.

Sono stati visualizzati nel dettaglio i diagrammi di sollecitazione degli elementi. Questo è utile per valutare il momento del pilastro all'intersezione trave – pilastro (tenendo conto del reale ingombro dell'elemento). Il momento del pilastro a 3,70 m dal nodo i (nodo alla base del pilastro) risulta pari a -2,71 kN*m.

Le reazioni vincolari che portano a questi valori di momento sono tabellate successivamente.

Viene fatta una verifica del diagramma di momento ottenuto, attraverso un calcolo manuale per verificare se l'uguaglianza del momento nel nodo viene rispettata.

Per il pilastro: $M_i = M_0 - T_0 * z_i$

A 3,70 m:
$$M = 1,51 \text{ kN*m} - 1,14 \text{ kN * 3,70 m} = -2,06 \text{ kN*m}$$

A 4,00 m:
$$M = 1,51 \text{ kN*m} - 1,14 \text{ kN * 4,00 m} = -3,05 \text{ kN*m}$$

Per la trave: $M_i = M_0 - T_0 * y_i$

$$q_{\text{pilastro}} = 25 \text{ kN/m}^3 * (0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m} * 4.00 \text{ m}) = 9.00 \text{ kN}$$

$$T_0 = q_{tot} - q_{pilastro} = 17,32 \text{ kN} - 9 \text{ kN} = 8,32 \text{ kN}$$

A 0,15 m:
$$M = -3,05 \text{ kN*m} + 8,32 \text{ kN} * 0,15 \text{ m} = -1,80 \text{ kN*m}$$

I valori di momento risultano coincidenti a quelli calcolati dal programma, per cui la soluzione si ritiene valida.

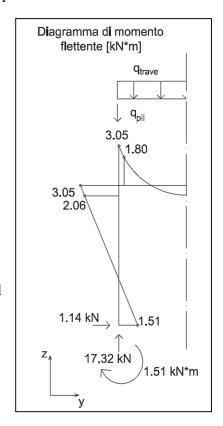


Figura 99. Diagramma momento flettente calcolato manualmente

Vengono a questo punto riassunti i risultati relativi ai valori significativi del momento flettente di trave e pilastro e le reazioni vincolari valutate alla base del pilastro.

	TRAVE			PILAS	STRO	REAZIONI VINCOLARI			
CASO 1 LINK RIGIDI	$M_{appoggio}$ trave in centro pilastro $[kN*m]$	$M_{appoggio}$ trave a filo pilastro $[kN*m]$	M _{campata} [kN*m]	Mappoggio pilastro in centro trave [kN*m]	Mappoggio pilastro a filo trave [kN*m]	Sforzo normale [kN]	Taglio [kN]	Momento [kN*m]	
Telaio 1: Trave 30x30cm	-2.06	-1.44	2.41	-2.06	-1.83	13.16	0.77	1.02	
Telaio 2: Trave 30x60cm	-3.05	-1.80	5.90	-3.05	-2.71	17.32	1.14	1.51	

Tabella 24. Tabella riassuntiva caso 1

Caso 2: Panel Zone Effect

Il modello in Revit di partenza viene definito con linee analitiche di travi e colonne collegate direttamente in un nodo (impostazioni di default) ottenendo il seguente modello analitico. Il modello sarà lo stesso per entrambi i telai considerati.

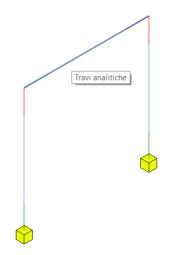


Figura 100. Telaio analitico in Revit

Viene esportato il modello sul software e viene utilizzato il comando "Panel Zone Effect" per simulare l'effetto della zona rigida sull'intero modello.

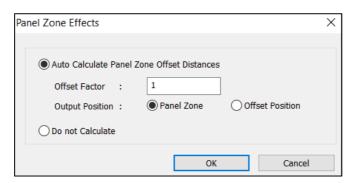


Figura 101. Inserimento Panel Zone Effect

Il comando può essere controllato attraverso due parametri:

- "Offset factor": parametro che varia da 0 a 1. Con il valore 1 si considera la connessione tra trave e pilastro completamente rigida;
- "Output position": definendo la connessione completamente rigida selezionare uno dei due parametri è indifferente.

La relazione su cui si base la funzione è: $L_1 = L - Z_F * (R_i + R_j)$

Dove: Z_F è l'offset factor per la distanza di offset rigido.

Nel sviluppare i calcoli per la trave, il comando segue la legge definita nell'immagine seguente.

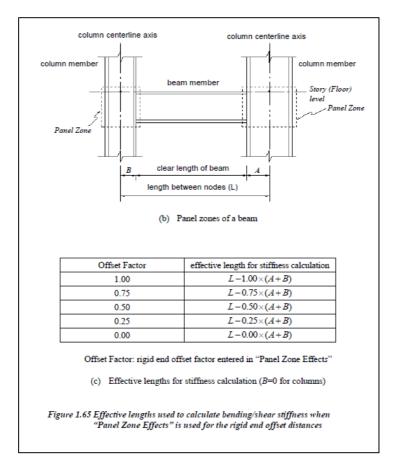


Figura 102. Cenno teorico da manuale

La lunghezza della trave per entrambi i telai studiati è 4,00 m, tenendo conto della zona rigida si avrà 4,00 m - 0,15 m - 0,15 m = 3,70 m, con A=0,15 m B=0,15 m.

Per quanto riguarda i pilastri la legge seguita è diversa.

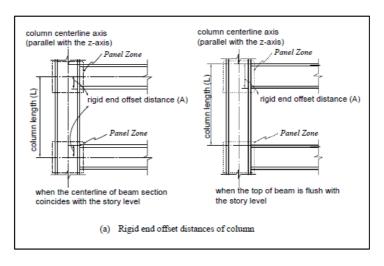


Figura 103. Cenno teorico da manuale

La lunghezza completa di una colonna è definita come altezza tra piani adiacenti. Nel calcolo della lunghezza, sono state fatte due assunzioni:

- Il centro della sezione della trave coincide con la linea del livello;
- La parte superiore della sezione della trave è a filo con la linea del livello.

La distanza di offset rigido varia con queste due assunzioni. Con la prima assunzione, gli offset agli estremi sono calcolati alle estremità superiore ed inferiore delle colonne. Con la seconda assunzione, gli offset alle estremità sono considerati solo nella parte superiore del pilastro. In corrispondenza del punto di connessione dei pilastri e delle travi, la distanza di offset rigido è calcolata sulla base delle profondità e delle direzioni delle travi connesse.

Tra i valore dell'offset calcolati, il più grande è scelto come distanza di offset rigido del pilastro in ogni direzione.

• Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione (30x30) cm che sostengono una trave di sezione 30x30 cm:

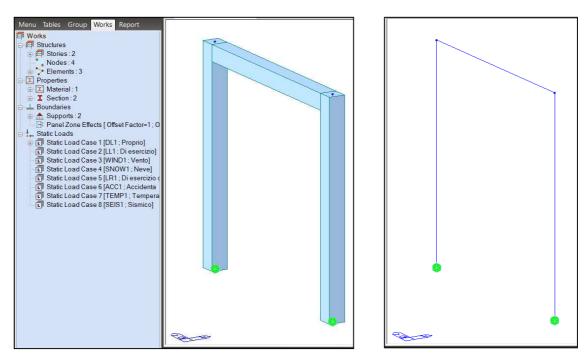


Figura 104. Visualizzazione con ingombri e analitica - Caso 2

L'ingombro della trave si interrompe all'intersezione con il pilastro. Il risultato in termini di diagramma di momento flettente, con l'applicazione del peso proprio, è riportato nella figura seguente.

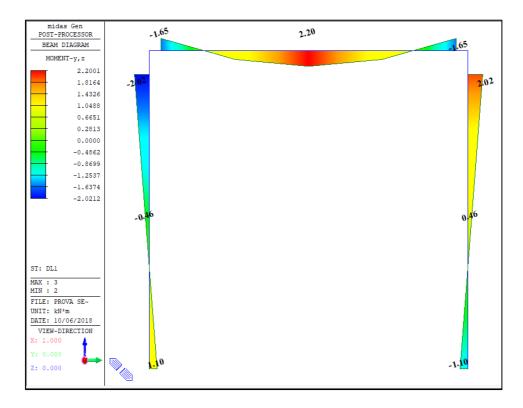


Figura 105. Diagramma momento flettente

In automatico il momento viene calcolato tenendo conto della zona rigida. È possibile visualizzare il diagramma di momento degli elementi nel dettaglio; è utile per capire l'effettiva lunghezza della zona rigida considerata.

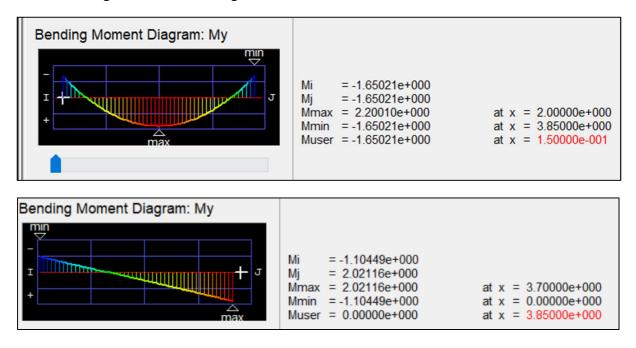
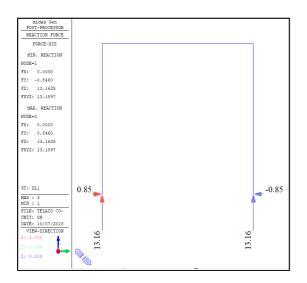


Figura 106. Diagramma di momento singoli elementi (trave e pilastri)

Interessante è valutare le reazioni vincolari che portano a questi valori di momento.



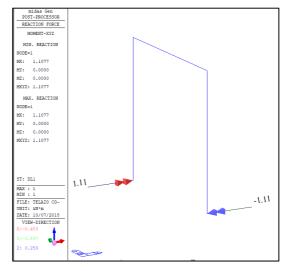


Figura 107. Reazioni vincolari caso 2

Viene fatta una verifica del diagramma di momento ottenuto, attraverso un calcolo manuale per verificare se l'uguaglianza del momento nel nodo viene

rispettata.

Per il pilastro: $M_i = M_0 - T_0 * z_i$

A 3,70 m: M = 1,11 kN*m - 0.85 kN * 3,70 m = -2.02 kN*m

A 4,00 m: M = 1,11 kN*m - 0.85 kN * 4,00 m = -2.28 kN*m

Per la trave: $M_i = M_0 - T_0 * y_i$

$$q_{pilastro} = 25 \text{ kN/m}^3 * (0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m} * 4.00 \text{ m}) = 9.00 \text{ kN}$$

$$T_0 = q_{tot} - q_{pilastro} = 13,16 \text{ kN} - 9 \text{ kN} = 4,16 \text{ kN}$$

A 0,15 m: M = -2,28 kN*m + 4,16 kN * 0,15 m = -1,65 kN*m

I valori di momento risultano coincidenti a quelli calcolati dal software.

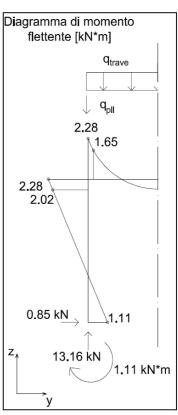


Figura 108. Diagramma momento flettente calcolato manualmente

• Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione (30x30) cm che sostengono una trave di sezione 60x30 cm:

L'ingombro della trave si interrompe all'intersezione con il pilastro. Il risultato in termini di diagramma di momento flettente, con l'applicazione del peso proprio, è riportato nella figura seguente.

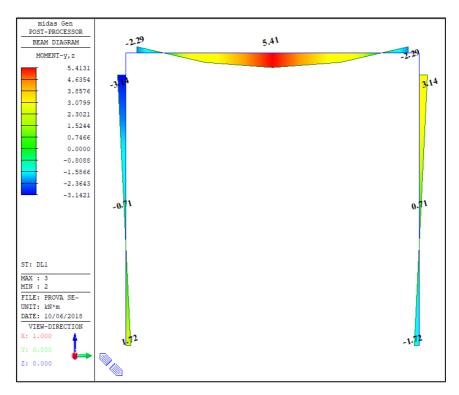


Figura 109. Diagramma di momento flettente

Il momento in automatico viene calcolato tenendo conto della zona rigida. È possibile visualizzare il diagramma di momento degli elementi nel dettaglio; in questo caso è utile per

capire l'effettiva zona rigida considerata.

Viene fatta una verifica del diagramma di momento ottenuto, attraverso un calcolo manuale per verificare se l'uguaglianza del momento nel nodo viene rispettata.

Per il pilastro:
$$M_i = M_0 - T_0 * z_i$$

A 3,70 m:
$$M = 1,72 \text{ kN*m} - 1,32 \text{ kN * 3,70 m} = -3,14 \text{ kN*m}$$

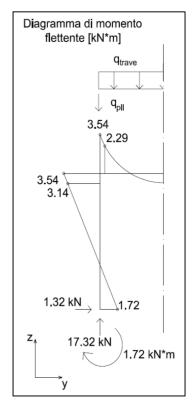
A 4,00 m:
$$M = 1,72 \text{ kN*m} - 1,32 \text{ kN * 4,00 m} = -3,54 \text{ kN*m}$$

Per la trave:
$$M_i = M_0 - T_0 * y_i$$

$$q_{pilastro} = 25 \text{ kN/m}^3 * (0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m} * 4.00 \text{ m}) = 9.00 \text{ kN}$$

$$T_0 = q_{tot} - q_{pilastro} = 17,32 \text{ kN} - 9 \text{ kN} = 8,32 \text{ kN}$$

A 0,15 m:
$$M = -3,54 \text{ kN*m} + 8,32 \text{ kN} * 0,15 \text{ m} = -2,29 \text{ kN*m}$$



I valori di momento risultano coincidenti a quelli calcolati dal software.

Figura 110. Diagramma momento flettente calcolato manualmente

Vengono a questo punto riassunti i risultati relativi ai valori significativi del momento flettente di trave e pilastro e le reazioni vincolari valutate alla base del pilastro.

		TRAVE			STRO	REAZIONI VINCOLARI			
CASO 2 PANEL ZONE	$M_{appoggio}$ trave in centro pilastro $[kN*m]$	$M_{appoggio}$ trave a filo pilastro $[kN^*m]$	M _{campata} [kN*m]	Mappoggio pilastro in centro trave [kN*m]	Mappoggio pilastro a filo trave [kN*m]	Sforzo normale [kN]	Taglio [kN]	Momento [kN*m]	
Telaio 1: Trave 30x30cm	-2.29	-1.65	2.20	-2.29	-2.02	13.16	0.85	1.11	
Telaio 2: Trave 30x60cm	-3.56	-2.29	5.41	-3.56	-3.14	17.32	1.32	1.72	

Tabella 25. Risultati complessivi caso 2-Panel Zone

Caso 3: Beam End Offset

Direttamente dal software è possibile considerare la zona rigida con il comando "Beam End Offset", che definisce la lunghezza della zona rigida all'inizio e alla fine dell'elemento.

Anche in questo caso l'unica operazione da svolgere prima di avviare l'analisi è l'applicazione del peso proprio.

Si riportano i diagrammi ottenuti per i tre telai oggetto di studio.

• Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione (30x30) cm che sostengono una trave di sezione 30x30 cm:

È necessario impostare il comando "Beam End Offset" per i singoli elementi. Il modello che si ottiene è riportato nella figura seguente.

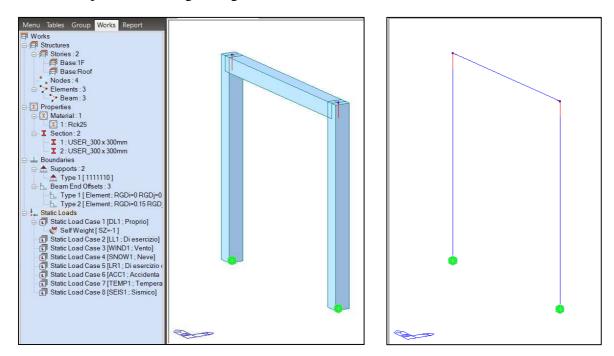


Figura 111. Modello sul software dopo applicazione comando Beam End Offset

Il diagramma di momento flettente, con l'applicazione del peso proprio, è riportato nella figura seguente.

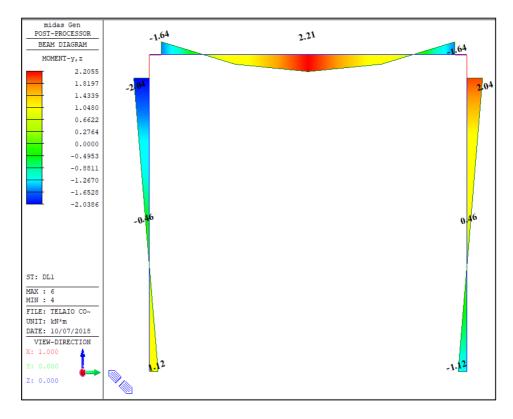


Figura 112. Diagramma di momento flettente caso 3

Interessante è valutare le reazioni vincolari che portano a questo diagramma di momento flettente.

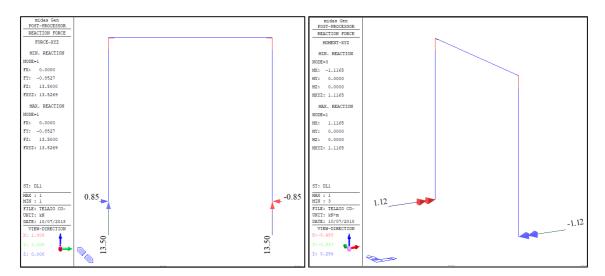


Figura 113. Reazione vincolari caso 3

Viene fatta una verifica del diagramma di momento ottenuto, attraverso un calcolo manuale per verificare se l'uguaglianza del momento nel nodo viene rispettata.

Per il pilastro: $M_i = M_0 - T_0 * z_i$

A 3,70 m: M = 1,12 kN*m - 0.85 kN * 3,70 m = -2.04 kN*m

A 4,00 m: M = 1,12 kN*m - 0.85 kN * 4,00 m = -2.29 kN*m

Per la trave: $M_i = M_0 - T_0 * y_i$

$$q_{pilastro} = 25 \text{ kN/m}^3 * (0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m} * 4.00 \text{ m}) = 9.00 \text{ kN}$$

$$T_0 = q_{tot} - q_{pilastro} = 13,50 \text{ kN} - 9 \text{ kN} = 4,50 \text{ kN}$$

A 0,15 m:
$$M = -2,29 \text{ kN*m} + 4,50 \text{ kN} * 0,15 \text{ m} = -1,62 \text{ kN*m}$$

I valori di momento risultano coincidenti a quelli calcolati dal programma. Differenza dovuta alle cifre decimali considerate.

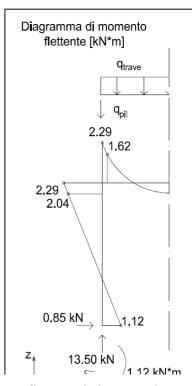


Figura 114. Diagramma di momento flettente calcolato manualmente

• Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione (30x30) cm che sostengono una trave di sezione 60x30 cm:

È necessario impostare il comando "Beam End Offset" per i singoli elementi. Il modello che si ottiene è similare al modello precedente.

Viene applicato il peso proprio ed avviata l'analisi. Il diagramma di momento ottenuto è il seguente.

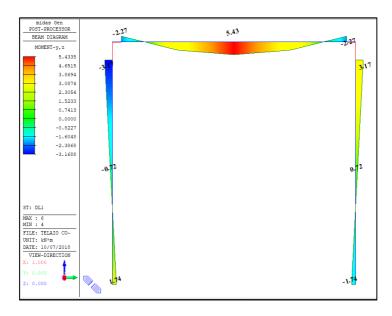


Figura 115. Diagramma momento flettente

Viene fatta una verifica del diagramma di momento ottenuto, attraverso un calcolo manuale per verificare se l'uguaglianza del momento nel nodo viene rispettata.

Per il pilastro: $M_i = M_0 - T_0 * z_i$

A 3,70 m: M = 1,72 kN*m - 1,32 kN * 3,70 m = -3,14 kN*m

A 4,00 m: M = 1,72 kN*m - 1,32 kN * 4,00 m = -3,57 kN*m

Per la trave: $M_i = M_0 - T_0 * y_i$

$$q_{\text{pilastro}} = 25 \text{ kN/m}^3 * (0.30 \text{ m} * 0.30 \text{ m} * 4.00 \text{ m}) = 9.00 \text{ kN}$$

$$T_0 = q_{tot} - q_{pilastro} = 17,32 \text{ kN} - 9 \text{ kN} = 8,32 \text{ kN}$$

A 0,15 m:
$$M = -3.57 \text{ kN*m} + 8.32 \text{ kN} * 0.15 \text{ m} = -2.22 \text{ kN*m}$$

I valori di momento risultano coincidenti a quelli calcolati dal programma. Differenza dovuta all'approssimazione dellee cifre decimali considerate.

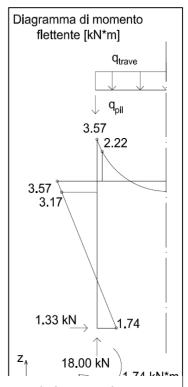


Figura 116. Diagramma di mometo flettente calcolato manualmente

Vengono a questo punto riassunti i risultati relativi ai valori significativi del momento flettente di trave e pilastro e le reazioni vincolari valutate alla base del pilastro.

CASO 3		TRAVE		PILAS	STRO	REAZIONI VINCOLARI			
BEAM END OFFSET	Mappoggio trave in centro pilastro [kN*m]	Mappoggio trave a filo pilastro [kN*m]	M _{campata} [kN*m]	Mappoggio pilastro in centro trave [kN*m]	$M_{appoggio}$ pilastro a filo trave $[kN^*m]$	Sforzo normale [kN]	Taglio [kN]	Momento [kN*m]	
Telaio 1: Trave 30x30cm	-2.29	-1.64	2.21	-2.29	-2.04	13.50	0.85	1.12	
Telaio 2: Trave 30x60cm	-3.57	-2.27	5.41	-3.57	-3.17	18.00	1.33	1.74	

Tabella 26. Risultato caso 3

Confronto casi

Le tre soluzioni sono confrontate attraverso la comparazione dei diagrammi di momento che si otterrebbe senza considerare in alcun modo la zona rigida che viene definita Caso 0.

Per i telai considerati vengono ottenuti i seguenti diagrammi di momento. Si riportano inoltre i diagrammi di momento nel dettaglio, per valutare il valore preciso all'intersezione trave – pilastro e le reazioni vincolari.

• Caso 0: Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione (30x30) cm che sostengono una trave di sezione 30x30 cm.

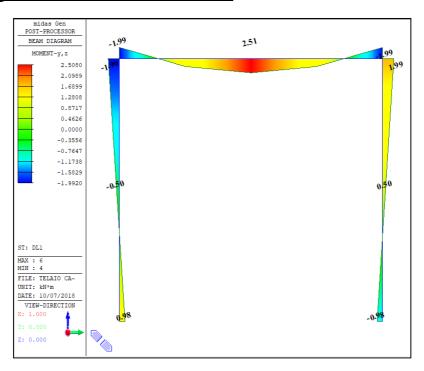
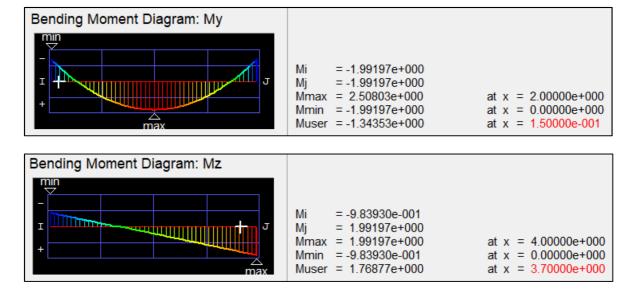


Figura 117. Diagramma di momento flettente caso 0, telaio 1



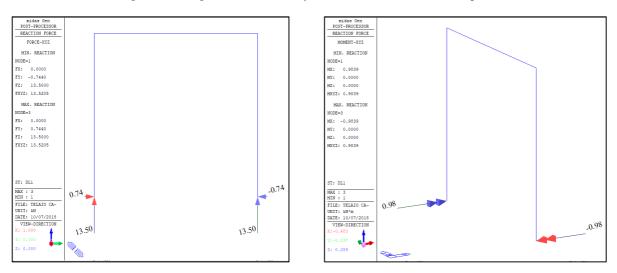


Figura 118. Diagramma di momento flettente caso 0, telaio 1 – Travi e pilastri

Figura 119. Reazioni vincolari caso 0, telaio 1

• Caso 0: Telaio semplice bidimensionale con due pilastri di sezione (30x30) cm che sostengono una trave di sezione 60x30 cm.

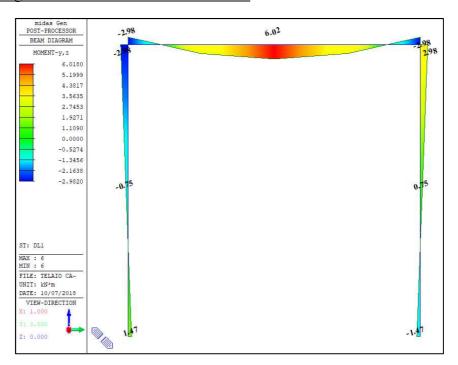
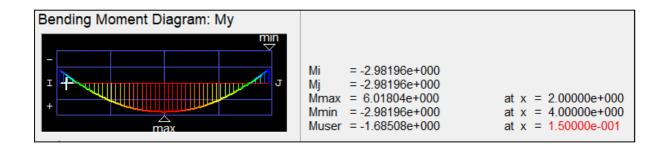


Figura 120. Diagramma di momento flettente caso 0, telaio 2



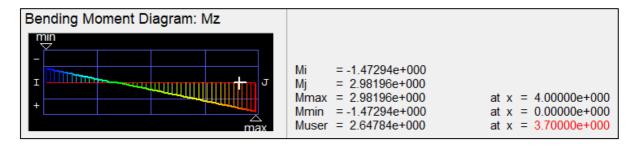


Figura 121. Diagramma momento flettente caso 0, telaio 2 - travi e pilastri

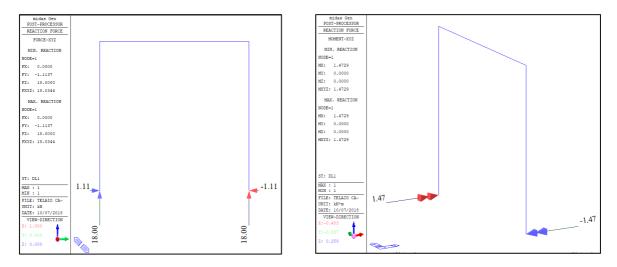


Figura 122. Reazioni vincolai caso 0, telaio 2

Vengono diagrammati i risultati di tutti i casi affrontati per quanto riguarda i valori di momento di trave e pilastro e reazioni vincolari alla base del pilastro.

CONFRONTO		TRAVE	PILASTRO			REAZIONI VINCOLARI			
RISULTATI TELAIO CON TRAVE 30x30 cm	$\begin{aligned} M_{app.\ trave} \\ & \text{in centro} \\ & \text{pilastro} \\ & \left[kN^*m\right] \end{aligned}$	Mapp. trave a filo pilastro [kN*m]	M _{campata} [kN*m]	$M_{app.}$ pilastro in centro trave $[kN*m]$	$M_{app.}$ pilastro a filo trave $[kN*m]$	Sforzo normale [kN]	Taglio [kN]	Momento [kN*m]	
Caso 0: non considero la zona rigida	-1.99	-1.34	2.51	-1.99	-1.77	13.50	0.74	0.98	
Caso 1: Link rigidi	-	-1.44	2.41	-	-1.83	13.16	0.77	1.02	
Caso 2: Panel Zone	-	-1.65	2.20	-	-2.02	13.16	0.85	1.11	
Caso 3: Beam End Offset	-	-1.64	2.21	-	-2.04	13.50	0.85	1.12	

Tabella 27. Riassunto caso 0, telaio 1

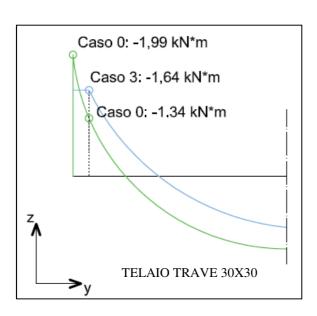
CONFRONTO	TRAVE			PILASTRO		REAZIONI VINCOLARI		
RISULTATI TELAIO CON TRAVE 60x30 cm	$M_{app.\ trave}$ in centro pilastro $[kN*m]$	Mapp. trave a filo pilastro [kN*m]	M _{campata} [kN*m]	$M_{app.}$ pilastro in centro trave $[kN*m]$	$M_{app.}$ pilastro a filo trave $[kN*m]$	Sforzo normale [kN]	Taglio [kN]	Momento [kN*m]
Caso 0: non considero la zona rigida	-2.98	-1.68	6.02	-2.98	-2.65	18.00	1.11	1.47
Caso 1: Link rigidi	-	-1.80	5.90	-	-2.71	17.32	1.14	1.51
Caso 2: Panel Zone	-	-2.29	5.41	-	-3.14	17.32	1.32	1.72
Caso 3: Beam End Offset	-	-2.27	5.41	-	-3.17	18.00	1.33	1.74

Tabella 28. Riassunto caso 0, telaio 2

Si osserva che i casi 1 e 2 non considerano la parte di peso degli elementi nella zona di sovrapposizione trave – pilastro per cui si assume valida la soluzione 3.

Nel caso 3 il momento viene calcolato considerando il peso totale del telaio ma viene distribuito in maniera differente rispetto al caso in cui la zona rigida non viene considerata. Il momento in campata delle trave diminuisce e aumenta il momento sugli appoggi a filo pilastro. L'effetto riscontrato aumenta tanto più è larga la trave.

La distribuzione del momento della soluzione adottata rispetto al diagramma di momento riferito al Caso 0 è riportata nelle immagini seguenti per i due telai analizzati.



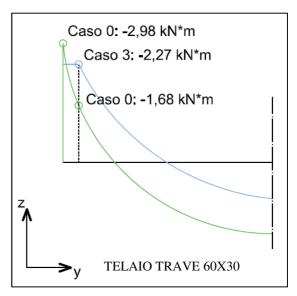


Figura 123. Confronto diagrammi soluzione adottata per i due telai

6.5. Solaio

Il solaio in Revit è un elemento che può essere creato come pavimento architettonico o come pavimento strutturale. A seconda della soluzione adottata si valutano le possibili criticità legate all'esportazione. In particolare si affrontano considerazioni riguardanti le criticità della zona di sovrapposizione trave-solaio arrivando a definire un algoritmo per automatizzare la soluzione sfruttando il BIM.

6.5.1. Individuazione punti di attenzione legati all'esportazione

Sono stati valutati i punti di attenzione legati all'esportazione dei solai, in modo tale da implementare il modello strutturale in modo adeguato.

I punti di attenzione legati all'interoperabilità di questo elemento sono le seguenti:

- Esportazione dell'elemento solaio;
- Definizione orditura solaio e verifica ripartizione carichi su travi principali;
- Verifica zona sovrapposizione trave-solaio

Questi temi sono stati affrontati in entrambi in software.

Esportazione dell'elemento solaio

Il pavimento architettonico non viene esportato nel software di calcolo mentre sono state riscontrate limitazioni per quanto riguarda il pavimento strutturale. All'interno della stratigrafia del solaio è possibile settare un solo materiale come strutturale e nel caso in esame viene scelto il calcestruzzo, come mostrato nella seguente figura.

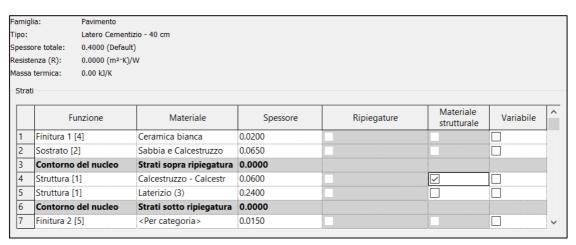


Figura 124. Stratigrafia solaio: Latero cementizio - 40 cm

Al pavimento strutturale è collegato il modello analitico a cui è associata l'informazione relativa all'orditura del solaio, come elemento monodirezionale o bidimensionale, come mostrato nella seguente figura.

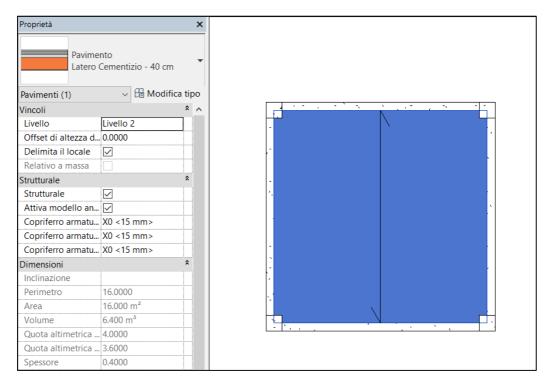


Figura 125. Orditura solaio strutturale in Revit

Nella seguente figura si riporta il modello analitico ottenuto in Revit.

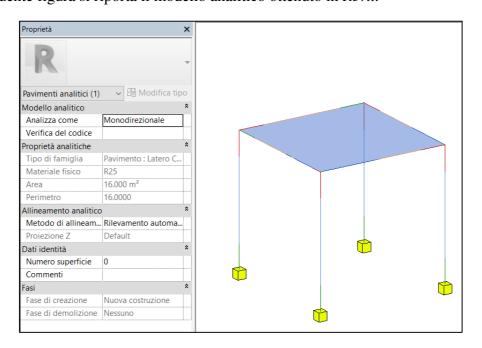


Figura 126. Visualizzazione analitica telaio spaziale in Revit

➤ In Advance Design

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design".

> In Midas Gen

Esportando il modello sul software, il solaio viene trattato come elemento piastra di spessore pari a quello del materiale strutturale selezionato in Revit e viene creata in automatico la mesh.

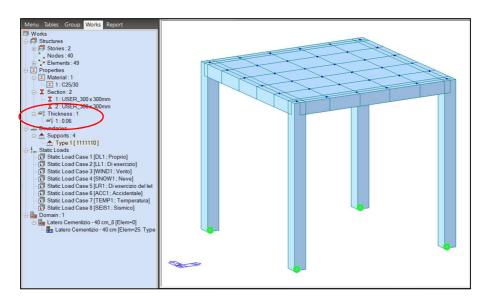


Figura 127. Solaio esportato sul software di calcolo Midas

Il diagramma di momento flettente, con l'applicazione del peso proprio, è riportato nella figura seguente.

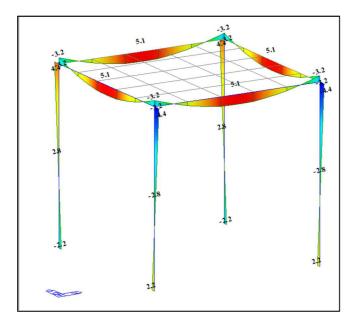


Figura 128. Diagramma di momento telaio

Si osserva che il momento viene ripartito in modo uniforme nelle 4 direzioni, quindi l'orditura non viene in nessun modo esportata e non è possibile inserirla.

- CONCLUSIONE:

A seguito dei test condotti, si valuta di modellare il solaio direttamente nei software di calcolo come area di carico, per avere un risultato più preciso e con maggiore controllo.

Definizione orditura solaio e verifica ripartizione carichi su travi principali

L'obiettivo è impostare un'orditura al solaio e verificare la distribuzione del carico sulle travi principali.

➤ In Advance Design GADVANCE CONTROL PROPERTY OF THE PROPERTY

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Viene verificata la possibilità di definire l'orditura del solaio direttamente sul software Advance Design.

➤ In Midas Gen 🔀

In questo software è possibile inserire i carichi relativi al solaio tramite aree di carico, definite "floor load". È possibile specificare il tipo di orditura, in questo caso si valuta la distribuzione monodirezionale o bidirezionale.

È necessario definire il valore del carico e il caso di carico a cui deve essere associato.

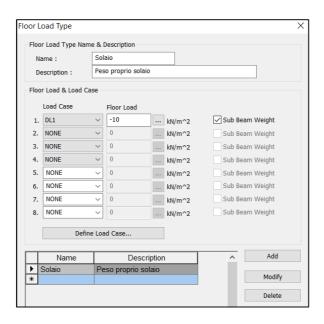


Figura 129. Inserimento peso proprio elementi

Nella fase di applicazione del carico sull'area selezionata, si può scegliere la sua distribuzione.

- "Floor load bidirezionale": distribuisce in maniera uniforme il carico su tutte le travi associate all'area, come si può vedere nell'immagine del momento ottenuto.

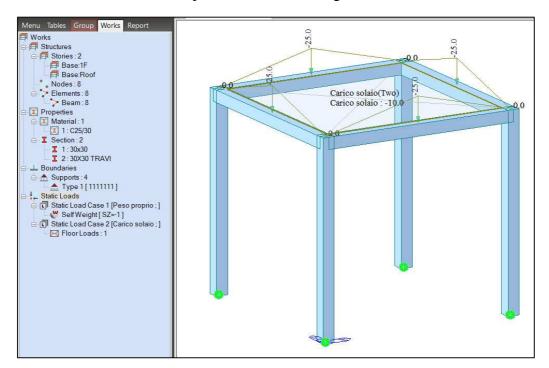


Figura 130. Inserimento "Floor load" bidirezionale

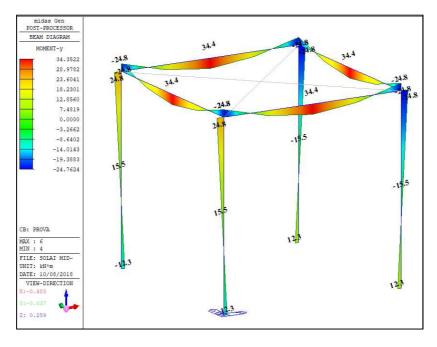


Figura 131. Diagramma di momento con "Floor load" bidirezionale

"Floor load monodirezionale": distribuisce sulle travi principali il carico, come si può vedere nell'immagine del momento ottenuto. In particolare viene distribuito per circa il 45% sulle travi principali e circa il 5% sulle travi secondarie.

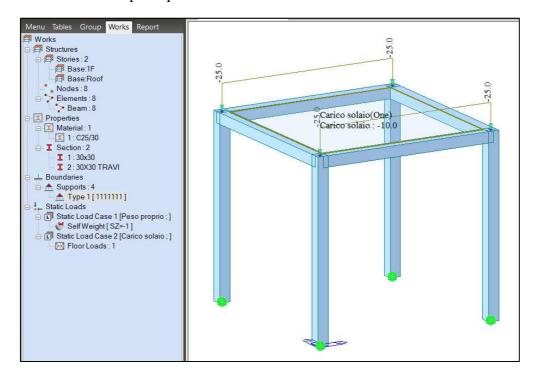


Figura 132. "Floar load" applicato secondo orditura monodirezionale

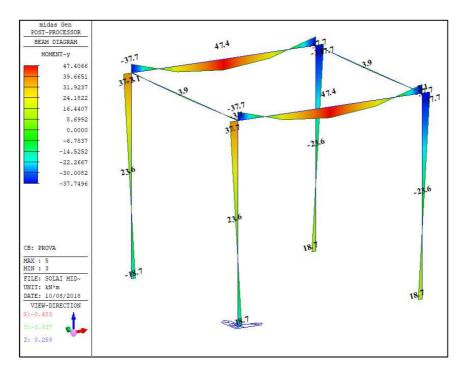


Figura 133. Diagramma momento flettente "Floar load" applicato secondo orditura monodirezionale

6.5.2. Sovrapposizione carichi trave – solaio

Nel momento in cui definiamo l'area di carico del solaio questa viene inserita seguendo la linea analitica della trave. Il problema di questa schematizzazione è che l'area di carico del solaio si potrebbe sovrapporre a metà trave.

Per verificare l'effettiva sovrapposizione si opera ipotizzando di sottrarre la parte del peso proprio della trave. Si prende in esame un portale semplice considerando tre casi di carico singolarmente e in seguito sovrapposti.

I casi singoli sono tre:

- Caso A: solo peso proprio travi;

- Caso B: solo area di carico;

- Caso A': carico lineare equivalente al peso proprio travi.

> In Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Viene verificata l'effettiva sovrapposizione trave-solaio.

CONFRONTO COMBINAZIONE	M_{max}	Differenze M _{max}	Differenze M _{max}
CASI	[kN*m]	[kN*m]	[%]
A'/2 + B	32.40	2.12	6.51
A+B	34.28	2.12	6.54

Tabella 29. Verifica sovrapposizione trave-solaio

➤ In Midas Gen



CASO A: SOLO PESO PROPRIO

Si procede con l'analisi FEM considerando il solo peso proprio degli elementi e si ottiene il diagramma di momento flettente riportato nella figura seguente. Si rileva che il momento massimo in campata di: -3,91 kN*m.

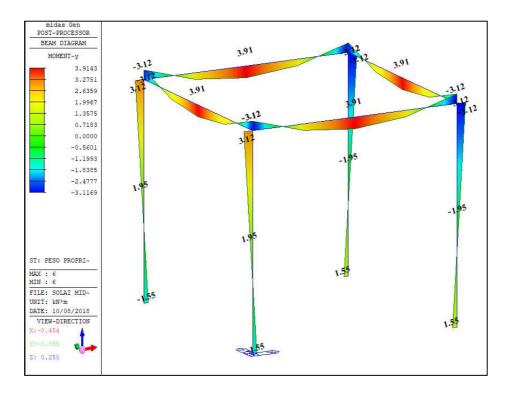


Figura 134. Diagramma di momento Caso A

CASO B: SOLO AREA DI CARICO

Viene inserita l'area di carico tramite "Floor Load" con un valore di $10~\rm kN/m^2$ con distribuzione bidirezionale. Il diagramma di momento corrispondente è rappresentato nella figura seguente.

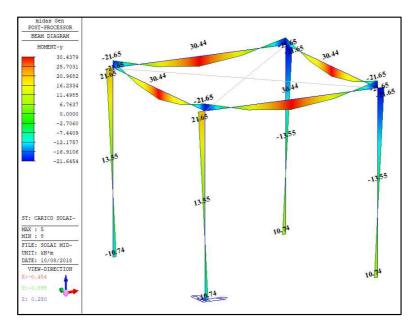


Figura 135. Diagramma di momento Caso B

CASO A': CARICO LINEARE EQUIVALENTE AL PESO PROPRIO

Si determina un carico lineare equivalente al peso proprio da applicare sull'asse della trave, questo valore è pari a -2,25 kN.

I valori di momento corrispondente sono quasi uguali a quelli dove viene calcolato in automatico il solo peso proprio.

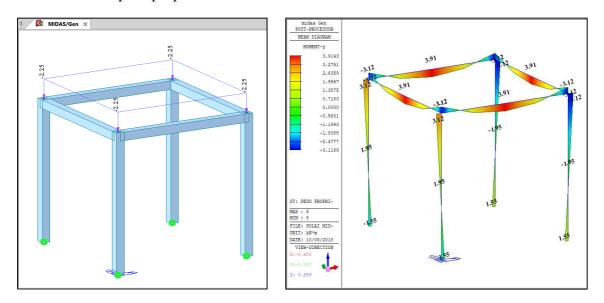


Figura 136. Diagramma di momento Caso A'

Si riassumono i risultati nella seguente tabella.

CONFRONTO CASI	Descrizione	M _{max} [kN*m]
A	Solo peso proprio trave	3.91
В	Solo area di carico	30.44
A'	Solo peso proprio equivalente su trave	3.91
A'/2	Solo peso proprio equivalente su metà trave	1.96

Tabella 30. Sintesi momento massimo casi analizzati per la verifica della sovrapposizione trave-solaio

I casi che ci permettono di valutare l'effettiva sovrapposizione trave-solaio sono i seguenti:

- Caso (A'/2) + B
- Caso A+B

CASO (A'/2) + B: caso in cui viene tolto il peso di metà trave.

Il diagramma di momento flettente è riportato nella figura seguente.

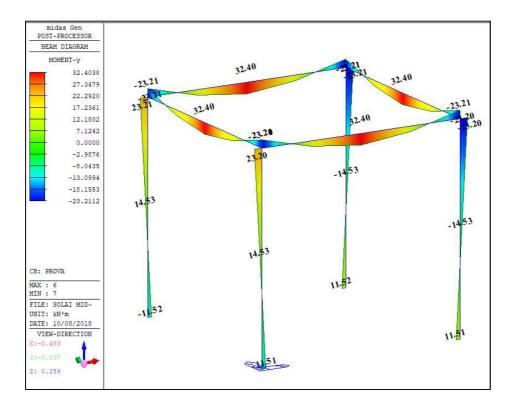


Figura 137. Diagramma di momento Caso (A'/2) + B

CASO A+B: caso calcolato automaticamente dal software.

Il diagramma di momento flettente è riportato nella figura seguente.

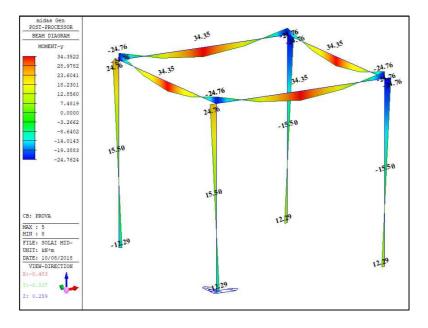


Figura 138. Diagramma di momento Caso A + B

Come si può notare vi è una differenza tra i valori, questo implica che nella zona di sovrapposizione trave-solaio il peso viene conteggiato, erroneamente, sia per la trave che per il solaio. Si riassumono i risultati nella seguente tabella.

CONFRONTO COMBINAZIONE CASI	M _{max} [kN*m]	Differenze M _{max} [kN*m]	Differenze M _{max} [%]
A'/2 + B	32.40	2.05	6.33
A+B	34.35	2.05	0.55

Tabella 31. Verifica sovrapposizione trave-solaio

> Confronto software

Nella tabella seguente si riassumono i risultati ottenuti in *Midas* e *Advance Design*.

CONFRONTO SOFTWARE	Combinazione casi	M _{max} [kN*m]	Differenze M _{max} [kN*m]	Differenze M _{max} [%]	
Advance Design	A'/2 + B	32.4			
GOESIGN	A+B	34.28	2.12	6.54	
Midas Gen	A'/2 + B	32.4			
G	A+B	34.35	2.05	6.33	

Tabella 32. Tabella conclusiva casi indagati – confronto software

Si conclude che il peso della trave viene conteggiato per intero nel caso di un'area di carico che parte dall'asse della trave, quindi è presente nella zona di sovrapposizione trave-solaio il peso di entrambi gli elementi.

La differenza è dell'ordine del 6% e non è trascurabile. Per la verifica della zona di sovrapposizione è stato eliminato il peso della trave, ma fisicamente andrebbe eliminato il peso del solaio.

6.5.3. Ricerca soluzioni al problema sovrapposizione

Sono state elaborate quattro possibili soluzioni:

- Caso 1: disegnare solaio in Revit con le sue dimensioni reali, ridotte rispetto al solaio di default;
- Caso 2: disegnare solaio come area di carico ridotta direttamente sul software;
- Caso 3: disegnare solaio come area di carico direttamente sul software applicando il carico equivalente.

CASO 1: SOLAIO IN REVIT CON DIMENSIONI RIDOTTE

L'obiettivo è riuscire ad analizzare il solaio senza la sovrapposizione con le travi su cui appoggia. Il primo caso consiste nel modificare la larghezza del solaio in modo che arrivi a filo trave e non sull'asse della trave, come mostrato nella seguente figura.

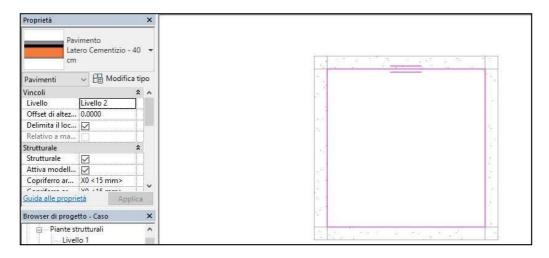


Figura 139. Modellazione solaio in Revit da filo trave

Il modello analitico è stato definito con linee analitiche delle travi al centro delle travi stesse e linee analitiche del solaio corrispondenti al contorno impostato (allineamento con proiezione), come mostrato nella seguente figura.

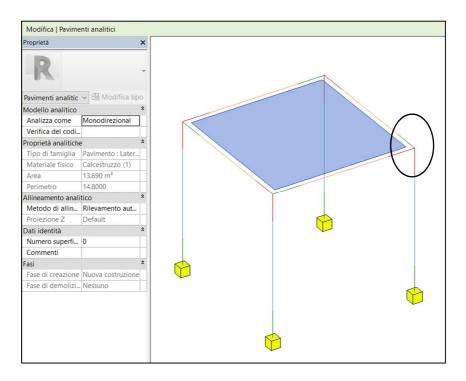


Figura 140. Visualizzazione analitica solaio modellato da filo trave

È necessario creare dei collegamenti analitici tra il solaio e la trave, altrimenti il solaio non risulta appoggiato alle travi, come evidenziato nella seguente figura..

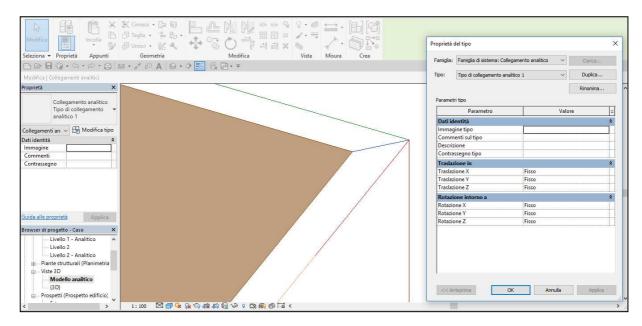


Figura 141. Inserimento collegamento analitco

Il collegamento è reso completamente rigido definendo fissi tutti i movimenti, sia di traslazione che di rotazione.

➤ In Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design".

> In Midas Gen



I collegamenti analitici vengono esportati come collegamenti rigidi tra struttura e solaio, come mostrato in *Figura 200*. È necessario renderli rigidi direttamente dal programma, come visto al *Paragrafo 6.3*.

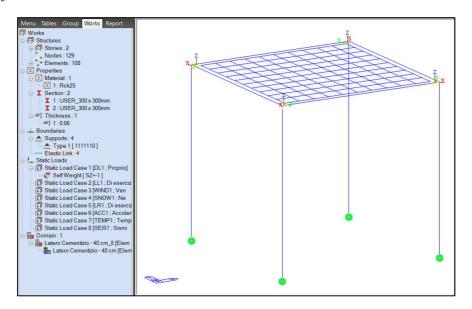


Figura 142. Esportazione Caso 1

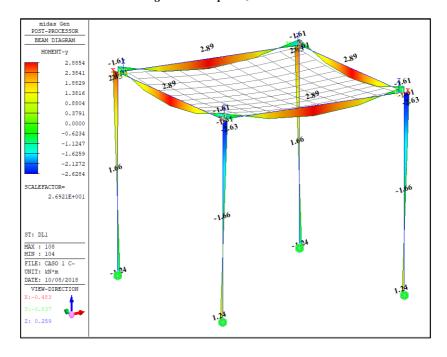


Figura 143. Diagramma di momento flettente Caso 1

La criticità di questa soluzione è che non è possibile impostare l'orditura del solaio.

CASO 2: SOLAIO DEFINITO COME AREA DI CARICO RIDOTTA SUL SOFTWARE

Il secondo caso prevede di considerare il solaio come area di carico ridotta (quella reale modellata da filo trave) direttamente sul software, partendo dal telaio semplice visto nel caso 1 (larghezze di 4,00m e sezioni 30x30 cm sia per le travi sia per i pilastri).

È stata inserita un'area di carico pari a quella reale del solaio, ovvero non con un'area di 16,00 m² bensì di 13,69 m² (considerando le travi 30x30 cm).

➤ In Advance Desing



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". La criticità di questa soluzione è che non è possibile impostare l'orditura del solaio.

> In Midas Gen



Viene esportato il modello del telaio semplice definito nel caso 1 in Revit.

Per definire un'area di carico con il comando "Floor Load" è necessario avere un'area chiusa da elementi "Beam". Vengono allora creati quattro nodi che rappresentano i vertici dell'area di carico e quattro travi con sezione qualsiasi e con un materiale fittizio (in modo tale che non influenzino in alcun modo nei calcoli). I nodi creati sono stati collegati con dei link rigidi ai vertici delle travi reali. È possibile applicare il carico di 10,00 kN sull'area ridotta, come mostrato in *Figura 204*.

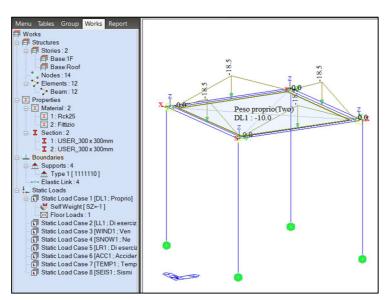
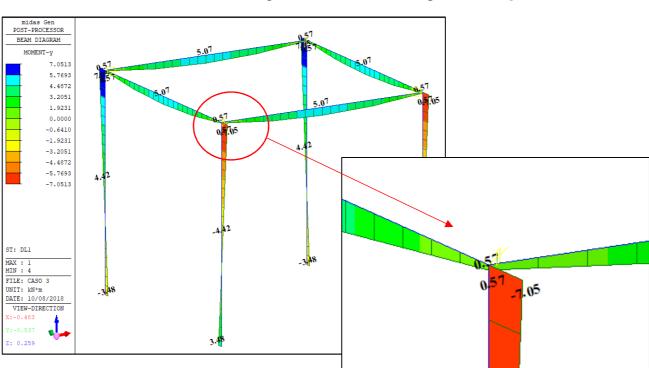


Figura 144. Inserimento solaio ridotto direttamente sul software di calcolo



Il risultato che si ottiene, in termini di diagramma di momento, è riportato in *Figura 107*.

Figura 145. Diagramma momento flettente caso 2

La distribuzione del diagramma di momento negli appoggi non risulta attendibile.

CASO 3: SOLAIO DEFINITO COME AREA DI CARICO EQUIVALENTE SUL SOFTWARE

Si è verificato che modellare il peso del solaio con la giusta area di carico risulta avere delle criticità, quindi si procede ad una soluzione che utilizza le dimensioni di default seguendo le linee analitiche delle travi e inserire un carico equivalente che tenga conto del fatto che il carico applicato è distribuito su un'area più grande. Viene applicata la soluzione ad un telaio semplice con travi e pilastri di sezione 30x30 cm.

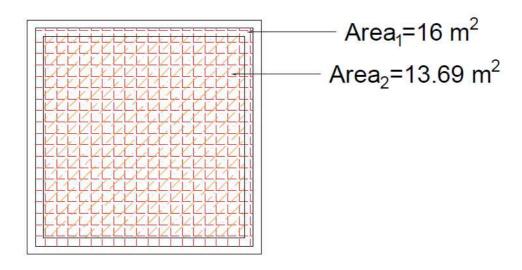


Figura 146. Individuazione area di carico reale

Attraverso una proporzione si ridistribuisce il carico del solaio:

$$A_1 = 16 \text{ m}^2 \rightarrow q_1 = x$$

$$A_2 = 13,69 \text{ m}^2 \rightarrow q_2 = 10 \frac{KN}{m^2}$$

Il carico equivalente sarà:

$$q_1 = 13,69 * \frac{10}{16} = 8,56 \frac{KN}{m^2}$$

Si confrontano i due casi

- Telaio spaziale con applicazione del carico totale;
- Telaio spaziale con applicazione di un carico equivalente.

> In Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Dai calcoli emerge che il fatto di non aver considerato il carico equivalente porta ad un errore di circa il 15%.

VALORI DI CARICO [kN/m²]	Area [m ²]	M _{max} campata [kN*m]	Differenza M _{max} campata [kN*m]	Errore [%]
8.56	16.00	-22.22	2.21	14.00
10.00	16.00	-25.53	3.31	14.90

Tabella 33. Errore sovrapposizione trave-solaio in Advance Design

> In Midas Gen



Viene applicato al modello prima il carico totale e poi il carico ridotto calcolato per confrontarne i risultati.

I risultati in termini di diagramma di momento sono riportati nelle figure seguenti.

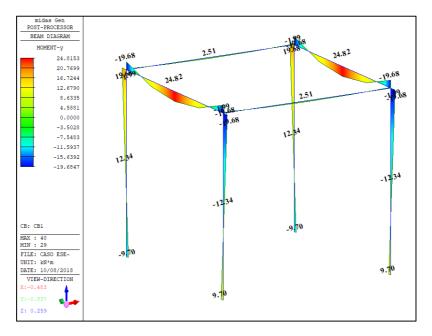


Figura 147. Diagramma di momento telaio con carico totale

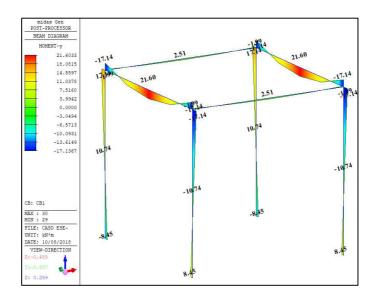


Figura 148. Diagramma di momento telaio con carico equivalente reale

Dai calcoli emerge che l'errore commesso per non aver considerato il carico equivalente è di circa il 15%.

VALORI DI CARICO [kN/m²]	Area [m ²]	M _{max} campata [kN*m]	Differenza M _{max} campata [kN*m]	Errore [%]
8.56	16.00	-21.60	2 22	14.00
10.00	16.00	-24.82	3.22	14.90

Tabella 34. Errore sovrapposizione trave-solaio in Midas Gen

6.5.4. Implementazione soluzione adottata

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". L'implementazione della soluzione è ottenuta sfruttando il BIM tramite l'utilizzo di Dynamo, Excel e Visual Basic.

6.5.5. Verifica incidenza soluzione adottata

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". L'incidenza della criticità individuata varia dal 12% al 30%.

6.6. Applicazione dei carichi

I carichi e le combinazioni di carico possono essere inseriti direttamente in *Revit*. Si vuole valutare se queste informazioni vengono esportate in modo corretto.

La finestra dalla quale è possibile inserire sia i carichi che le combinazioni di carico è riportata in figura. Si può notare come siano presenti tutte le tipologie di carichi da inserire. Per semplicità verranno esportati solo 3 condizioni di carico, come mostrato nella seguente figura.

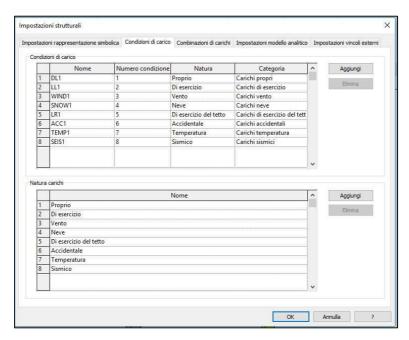


Figura 149. Definizione carichi in Revit

È possibile inserire anche le combinazioni di carico. Questa operazione deve essere eseguita manualmente in quanto non ci sono dei generatori automatici. Ne consegue che è più agevole inserire queste informazioni direttamente in un qualsiasi software di calcolo.

Per valutare l'interoperabilità si fa riferimento ad una sola combinazione di carico, mostrata nella seguente figura.

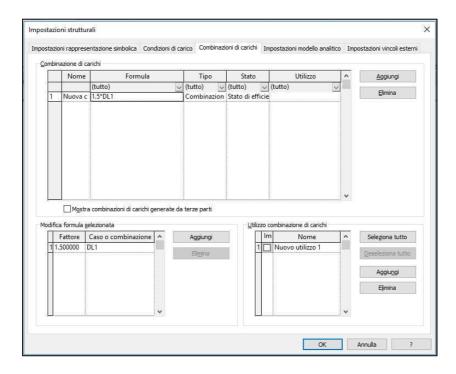


Figura 150.Definizione combinazione dei carichi in Revit

Si inseriscono i carichi direttamente su un telaio tridimensionale e si visualizzano sia graficamente che nell'abaco corrispondente, dove possiamo visualizzare in forma tabellare tutte le informazioni inserite.

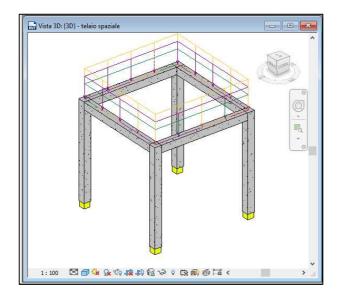




Figura 151. Applicazione dei carichi e visualizzazione tramite abaco carichi

6.6.1. Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Si ottiene un'esportazione completa.

6.6.2. Midas Gen



Nel modello esportato in *Revit* i carichi applicati non risultano visibili. Controllando la tabella riferita agli elementi esportabili nel software si nota come vengono esportati solo i carichi ospitati su un elemento specifico.



Figura 152. Carichi ospitati in Revit

Per applicare il "carico area ospitato" è necessario selezionare un pavimento strutturale.

Viene allora creato un telaio simile al precedente in Revit, posizionato un pavimento strutturale ed applicato gli stessi carichi.

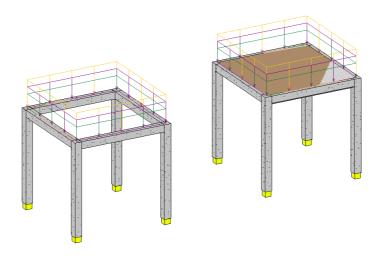


Figura 153. Applicazione dei carichi in Revit

Viene esportato il solaio come elemento "plate", con mesh creata in automatico. I carichi sono distribuiti su questo elemento come "Pressure Load".

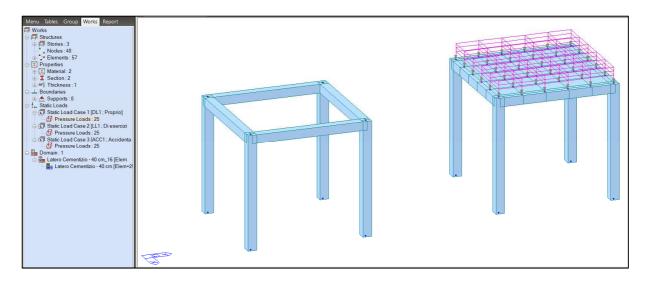


Figura 154. Esportazione modello

Ai carichi esportati non può essere associata alcuna distribuzione manuale, sono distribuiti in modo uniforme su tutto l'elemento "plate".

La soluzione trovata è quindi interoperabile ma non funzionale all'applicazione di carichi su solai con distribuzione monodirezionale.

Capitolo 7 - Modellazione e analisi strutturale su software di calcolo

Nel presente capitolo sono state affrontate le operazioni che portano all'analisi e alle verifiche strutturali.

Il modello esportato da Revit deve essere controllato nel dettaglio per ottenere un'adeguata esportazione, con particolare riguardo a nodi e collegamenti analitici. Una volta esportato come controllo preliminare viene calcolato il peso degli elementi esportati per poi proseguire con le operazioni necessarie ad avviare l'analisi e il calcolo delle sollecitazioni.

Sono state eseguite delle verifiche strutturali su alcuni elementi, per dare un'idea globale di tutto il percorso necessario alla valutazione della sicurezza di un edificio esistente.

7.1. Check modello ed esportazione su software di calcolo

Il modello realizzato in Revit deve essere controllato nel dettaglio prima di procedere con l'esportazione, per evitare errori grossolani.

Il controllo è stato concentrato sul modello analitico e sul peso degli elementi strutturali.

Per verificare che il modello analitico sia corretto, viene lanciata una prima analisi sui software di calcolo con il solo peso proprio degli elementi. Tramite l'analisi della deformata sono individuate le possibili criticità.

Il controllo sul peso degli elementi viene svolto sul software di modellazione e su quello di calcolo: in questo modo si verifica che il peso totale considerato sia lo stesso. Nella seguente figura si riporta il diagramma di flusso del check eseguito sul modello.

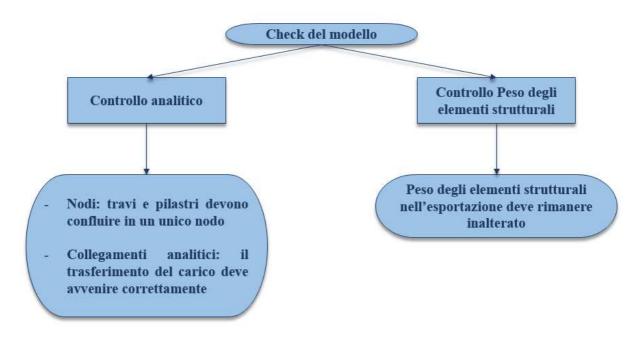


Figura 155. Diagramma di flusso check del modello

7.1.1. Controllo analitico

Prima di procedere all'esportazione del modello nei software di calcolo si effettua un check analitico controllando i seguenti aspetti:

- Le travi devono confluire in un solo nodo;
- Correzione di errori macroscopici di modellazione;
- Controllo dei collegamenti analitici creati da Revit automaticamente in modo che i carichi vengano trasferiti in modo adeguato.

Le operazioni di controllo sono state applicate al solo edificio 2.

Dopo una prima revisione, è stato fatto un primo tentativo di esportazione ai due software di calcolo ed è stata avviata l'analisi tenendo conto del solo peso proprio degli elementi per controllare che non ci fossero errori macroscopici di modellazione.

Una criticità ricorrente si presenta quando una trave appoggia su due pilastri alle estremità ed un pilastro centrale, come il caso delle travi su cui appoggia la copertura, come mostrato nella seguente figura.

<u>Criticità in Revit:</u> la trave del tetto si appoggia sul pilastro centrale ma l'intersezione non è perfetta, sembra che essa non si appoggi perfettamente al pilastro centrale.

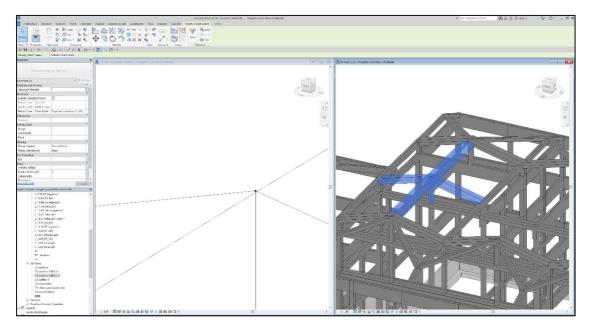


Figura 156. Individuazione criticità in Revit

> In Midas Gen



A seguito dell'esportazione del modello su Midas si è riscontrato il risultato nella figura seguente.

<u>Criticità:</u> la trave del tetto si appoggia sul pilastro centrale ma l'intersezione non è perfetta, di conseguenza dalla deformazione della trave risulta che essa non si appoggia al pilastro.

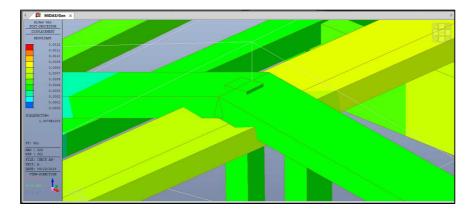


Figura 157. Individuazione criticità in Midas Gen

<u>Soluzione</u>: Si divide la trave in due parti per creare una perfetta intersezione, come evidenziato nella figura seguente.

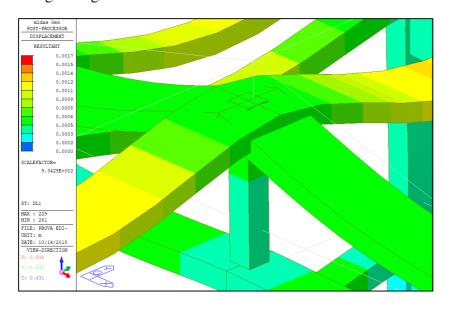


Figura 158. Verifica soluzione adottata

> In Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design".

7.1.2. Controllo peso degli elementi strutturali

Un ulteriore controllo per verificare che l'esportazione sia andata effettivamente a buon fine è quello del peso degli elementi considerati. Partendo dal modello in *Revit*, definiamo il peso totale come somma del peso dei vari tipi di elementi strutturali presenti: muri controterra, travi e pilastri.

Per differenziare gli elementi strutturali dell'edificio 2 rispetto a quelli degli altri edifici, è necessario introdurre un parametro. Viene creato il parametro condiviso "Edificio" in un nuovo gruppo "Check peso elementi" all'interno del file denominato "Check.txt".

Questo parametro viene creato con le caratteristiche di Disciplina Comune e tipo di parametro Testo ed è inserito all'interno del modello come parametro di progetto collegato alle categorie di pilastri strutturali, telaio strutturale, e muri, come mostrato nella seguente figura.

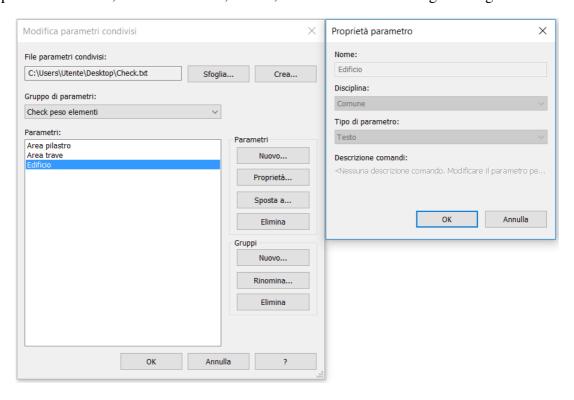


Figura 159. Inserimento parametro edificio 2

Si compila il parametro "Edificio" con il valore "2". In questo modo possiamo differenziare nell'abaco di ogni tipologia di elemento strutturale solo gli elementi di interesse, impostando un filtro sul parametro, come mostrato nella seguente figura.

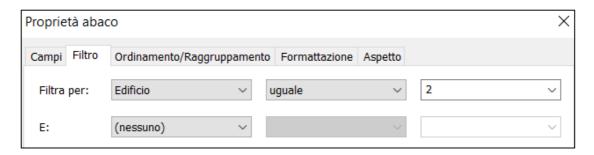


Figura 160. Filtraggio rispetto al parametro edificio 2

Vengono a questo punto esportati i tre abachi di interesse (muri, pilastri strutturali e telaio strutturale) in un unico file Excel (un foglio Excel per ogni abaco) attraverso il modulo aggiuntivo *BIM One*.

Per i vari elementi sono stati valutati parametri diversi: il volume per i muri controterra, l'area per i pilastri e le travi. Questo passaggio è stato necessario a causa di una criticità riscontrata con il parametro "Volume" nel momento in cui pilastri e travi si intersecano con i muri controterra.

Per quanto riguarda i muri controterra, dopo l'esportazione del file viene moltiplicato il valore del volume per il peso unitario (25 kN/m³) per ogni riga e viene calcolata infine la somma ottenendo il peso totale.

MURI CONTROTERRA EDIFICIO 2 IN REVIT									
Famiglia e tipo	Edificio	Lunghezza [m]	Volume [m ³]	Peso [kN]					
Muro di base: EXT_25 cm fondazione	2	31.52	10.72	268.06					
Muro di base: EXT_25 cm fondazione	2	25.16	8.49	212.29					
Muro di base: EXT_25 cm fondazione	2	31.52	10.64	265.95					
Muro di base: EXT_25 cm fondazione 2 25.16 8.41									
TOT	TALE			956.48					

Tabella 35. Muri controterra edificio 2 in Revit

Per quanto riguarda il peso delle travi e dei pilastri, sono stati definiti due nuovi parametri "Area pilastro" e "Area trave" come parametri condivisi nel gruppo "Check peso elementi" all'interno del file denominato "Check.txt".

Questi parametri vengono creati con le caratteristiche di Disciplina Comune e tipo di parametro "Area" e sono inseriti all'interno del modello come parametri di progetto collegati alle categorie di pilastri strutturali per il parametro "Area pilastro", e di telaio strutturale per il parametro "Area trave".

Devono essere associati direttamente alle proprietà della famiglia corrispondente, per farlo si entra all'interno della famiglia trave e della famiglia pilastro strutturale e si inseriscono i

parametri "Area trave" e "Area pilastro", impostando che dovranno essere calcolati come prodotto di base ed altezza della sezione. Vengono aggiunti ai due abachi i parametri e possono essere esportati per il calcolo del peso.

Nella tabella seguente viene riportato il valore del peso totale per ogni tipologia di elemento.

TOTALE PESO ELEMENTI REVIT						
Elementi	Peso [kN]					
Pilastri	1564.92					
Travi	6381.83					
Muri	956.48					
Totale	8903.23					

Tabella 36. Tabella conclusiva del peso dei singoli elementi strutturali

> In Midas Gen G



Il software permette di visualizzare il peso considerato per i singoli elementi. I risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella.

CONFRONT	CONFRONTO PESO ELEMENTI [kN]										
Elementi	Revit	Midas Gen									
Pilastri	1564.92	1564.92									
Travi	6381.83	6381.79									
Muri	956.48	956.48									
Totale	8903.23	8903.18									

Tabella 37. Confronto peso elementi Revit - Midas Gen

L'unico valore differente è quello relativo al peso delle travi, ma considerando la differenza, si assume che sia un errore dovuto a diversi arrotondamenti decimali.

➤ In Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". I risultati ottenuti per questa tematica sono riportati nella seguente tabella.

CONFRONTO PESO ELEMENTI [kN]								
Elementi	Revit	Advance Design						
Pilastri	1564.92	1564.50						
Travi	6381.83	6392.75						
Muri	956.48	956.50						
Totale	8903.23	8913.80						

Tabella 38. Confronto peso elementi Revit - Advance Design

7.2. Operazioni post – esportazione

Concluso il controllo preliminare si può procedere all'esportazione nei software di calcolo. Come detto precedentemente le analisi sono state fatte per l'edificio 2 su entrambi i software di calcolo strutturale.

7.2.1. Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Le operazioni sono riassunte nell'immagine seguente.

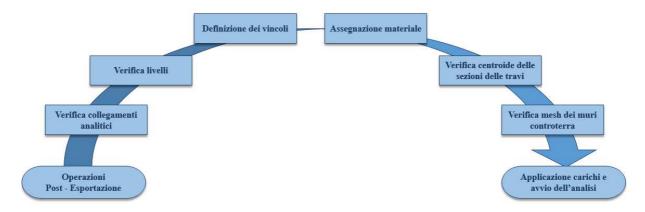


Figura 161. Operazioni post- esportazione

7.2.2. Midas Gen



Di seguito si riporta nella seguente figura il modello analitico dopo l'esportazione da Revit dell'edificio 2.

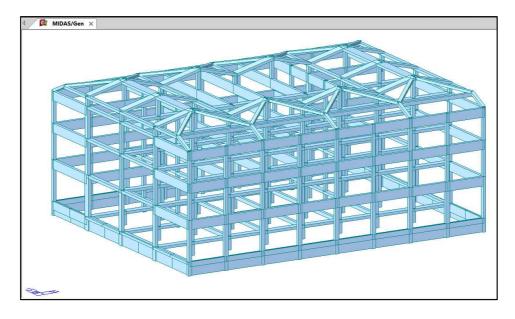


Figura 162. Edificio 2 – Midas

Operazioni da eseguire, prima di passare all'applicazione dei carichi ed all'avvio delle analisi, sono le seguenti.

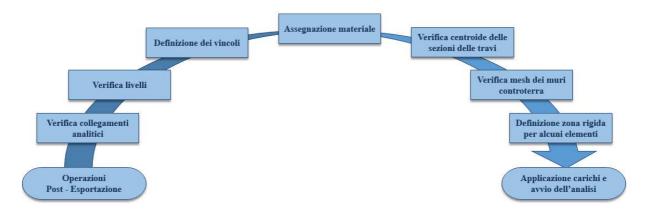


Figura 163. Operazioni post-esportazione

A. Verifica collegamenti analitici:

I collegamenti analitici vengono esportati, ma è necessario cambiare le impostazioni di ciascuno da "Generale" a "Rigido".

4 /	Q I	/IDAS/G	en 🖸	Elastic	Link ×										
	No	Node 1	Node 2	Туре	B Angle ([dea])	SDx (kN/m)	SDy (kN/m)	SDz (kN/m)	SRx (kN*m/[rad])	SRy (kN*m/[rad])	SRz (kN*m/[rad])	Shear Spring Loc		Distance Ratio SD	Group
	1	353	395	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	2	313	394	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	3	355	393	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	4	382	398	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	5	322	397	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	6	384	396	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	7	386	401	RIGI	180.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	8	321	400	RIGI	180.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	9	388	399	RIGI	180.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	15	186	33	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	16	187	41	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	17	189	37	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
П	18	188	39	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	19	190	35	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	20	197	40	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	21	198	38	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
╗	22	199	36	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
П	23	210	112	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	24	211	110	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	25	212	111	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	26	219	162	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	27	220	157	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
	28	221	158	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
7	89	190	264	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default
╗	90	35	264	RIGI	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	Г	0.50	0.50	Default

Figura 164. Verifica collegamenti analitici

B. Verifica livelli:

Vengono verificati eseguendo l'autogenerazione dei livelli.

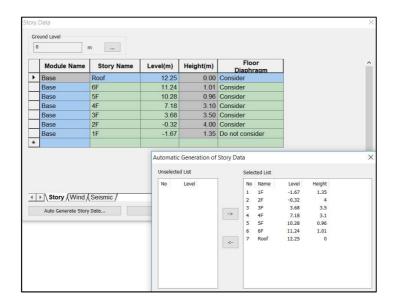


Figura 165. Verifica livelli

<u>C.</u> <u>Definizione dei vincoli</u>:

I vincoli esterni devono essere inseriti manualmente in quanto le fondazioni, quali plinti e cordoli, non vengono esportate in alcun modo.

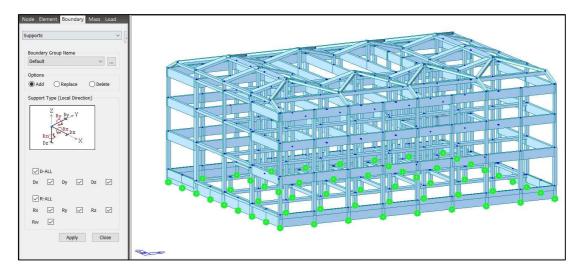


Figura 166. Inserimento vincoli

D. Assegnare il materiale

Nell'esportazione, il materiale viene mappato indicando la normativa di riferimento e la classe del calcestruzzo utilizzata.

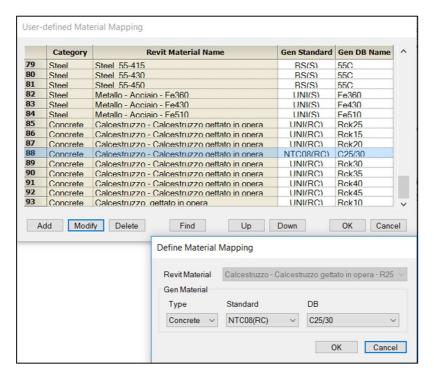


Figura 167. Assegnazione materiale

E. Verificare centroide sezione:

Le travi in Revit sono disegnate di default con la sommità della trave che coincide con il livello di riferimento.

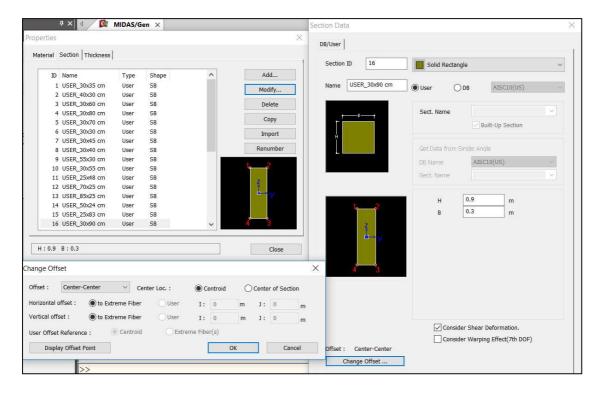


Figura 168. Verifica centroide elemento

Sono state modificate le proprietà delle sezioni relative alle travi, in modo tale che nei calcoli venga considerato l'ingombro al centro.

F. Controllare mesh muri controterra

Viene avviata l'analisi con il solo peso proprio degli elementi per capire dalla deformazione della struttura se la mesh creata automaticamente dei muri controterra sia ottimale.

<u>Criticità</u>: La trave non risulta appoggiata ai muri controterra e quindi si deforma considerando solo il punto iniziale e finale della trave stessa. Le travi cerchiate nell'immagine sottostante presentano un ulteriore criticità: l'asse della trave è sfalsato rispetto all'asse del muro.

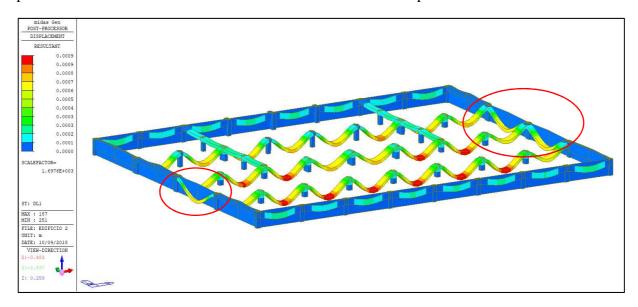


Figura 169. Criticità riscontrate

La soluzione adottata è rifare la mesh infittendola. Per le travi cerchiate oltre ad infittire la mesh del muro devono essere creati ulteriori link rigidi per far scaricare in modo corretto il peso della trave sul muro controterra.

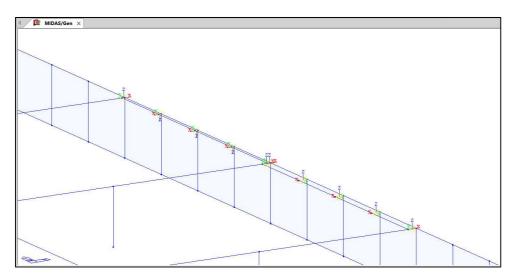


Figura 170. Modifica mesh muri controterra

La deformazione della struttura dopo queste operazioni è la seguente.

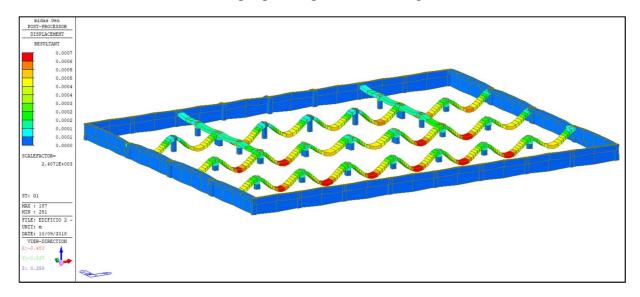


Figura 171. Verifica soluzione adottata

G. Definizione zona rigida di alcuni elementi:

Come definito al *Paragrafo 6.4*, la soluzione trovata per simulare l'effetto della zona rigida consiste nell'applicare il comando "Beam End Offset" direttamente sul software di calcolo. È un comando che definisce puntualmente la lunghezza del tratto rigido ai due estremi dell'elemento.

Nella struttura in esame sono stati individuati alcuni elementi pilastro più critici al piano primo e al piano secondo, identificati nelle immagini seguenti.

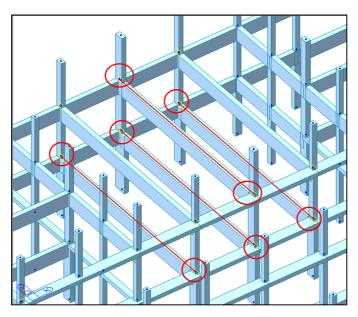


Figura 172. Elementi oggetto del comando in vista 3D

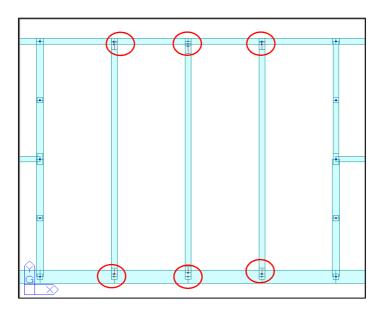


Figura 173. Elementi oggetto del comando in vista dall'alto

7.3. Applicazione carichi e calcolo sollecitazioni

All'interno del capitolo vengono definiti i carichi agenti sulla struttura e la loro intensità in base alla normativa di riferimento ed ai dati raccolti. Queste azioni vengono poi combinate allo Stato Limite Ultimo (SLU): si potranno allora valutare i risultati ottenuti in termini di deformata e momento flettente.

La procedura viene fatta per il solo edificio 2 su entrambi i software.

7.3.1. Cenni teorici

La classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo è definita al *Capitolo 2.5* del D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni" ed individua:

- Azioni permanenti (G): agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta. In questa categoria sono presenti:
 - Peso proprio di tutti gli elementi strutturali (G₁): le azioni permanenti gravitazionali associate ai pesi propri dei materiali strutturali sono derivate dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali con cui sono realizzate le parti strutturali della costruzione;
 - o Peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G₂).
- Azioni variabili (Q): agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura. Possono essere:
 - o Sovraccarichi;
 - Azione del vento;
 - Azione della neve;
 - o Azione della temperatura.
- Azioni eccezionali (A): si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura. Possono essere:
 - o Incendi;
 - o Urti ed impatti.
- Azioni sismiche (E): derivanti dai terremoti.

Nel dettaglio, le azioni variabili devono essere definite seguendo il *Capitolo 3* del D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

Azioni variabili (Q)

<u>Sovraccarichi</u>: comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera e possono essere:

- Carichi verticali uniformemente distribuiti (q_k);
- Carichi verticali concentrati (Q_k);
- Carichi orizzontali lineari (H_k).

I valori nominali e/o caratteristici sono riportati nella *Tab. 3.1.II* al *Capitolo 3.1.4* del D.M. 14 gennaio 2008 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni". Ne viene riportata una parte nella figura seguente.

Cat.	Ambienti	$\frac{\mathbf{q_k}}{[\mathbf{kN/m}^2]}$	Q _k [kN]	H _k [kN/n
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
В	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
С	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	e relative tribune Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00	1,00°
F-G	Rimesse e parcheggi Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50	2 x 10,00	1,00*
Н	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50	1,20 ategoria di ap	1,00 partenen

Figura 174. Tabella 3.1.II al Capitolo 3.1.4 del D.M. 14 gennaio 2008

Azione del vento: esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti.

Parametri utili alla definizione della pressione cinetica di riferimento sono i seguenti:

- *Velocità base di riferimento:* in mancanza di adeguate indagini statistiche, questo parametro si ricava dalla seguente espressione:

$$v_b = v_{b,0} \qquad per \ a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a * (a_s - a_0) \qquad per \ a_0 < a_s \leq 1500 \ m$$

Dove:

 v_{b0} , a_0 e k_a sono parametri legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame; a_s è l'altitudine della costruzione in esame.

Tabella	$\textbf{3.3.I} - \textit{Valori dei parametri } v_{b,0}, a_0, k_a$			
Zona	Descrizione	v _{b,0} [m/s]	a ₀ [m]	k _a [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Figura 175. Tabella 3.3.I al Capitolo 3.1.4 del D.M. 14 gennaio 2008

In mancanza di analisi statistiche specifiche la velocità base di riferimento può essere considerata uguale alla velocità di riferimento v_r .

- Pressione cinetica di riferimento:

$$q_r = \frac{1}{2} * \rho * v_r^2 \text{ [kN/m}^2]$$

 ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³ mentre v_r rappresenta la velocità di riferimento.

- Pressione del vento:

$$p = q_r * c_e * c_p * c_d$$

Dove: q_r = pressione cinetica di riferimento calcolata;

c_e = coefficiente di esposizione;

c_p= coefficiente di pressione;

c_d= coefficiente dinamico: non avendo dati specifici, si considera unitario.

- Coefficiente di esposizione:

$$c_e(z) = k_r^2 * c_t * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) * \left[7 + c_t * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \quad per \ z \ge z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad per \ z < z_{min}$$

Con c_t = coefficiente di topografia

Questi parametri sono definiti in base alla categoria di esposizione del sito, che dipende dalla classe di rugosità del terreno e dall'altitudine.

Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione							
	Categoria di esposizione del sito	\mathbf{k}_{r}	Z ₀ [m]	z _{min} [m]			
	I	0,17	0,01	2			
	II	0,19	0,05	4			
	Ш	0,20	0,10	5			
	IV	0,22	0,30	8			
	V	0,23	0,70	12			

Figura 176. Tabella 3.3.II al Capitolo 3.1.4 del D.M. 14 gennaio 2008

Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui
altezza media superi i 15m
Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,); aree con rugosità nor riconducibile alle classi A, B, D
Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,)
1

Figura 177. Tabella 3.3.III al Capitolo 3.1.4 del D.M. 14 gennaio 2008

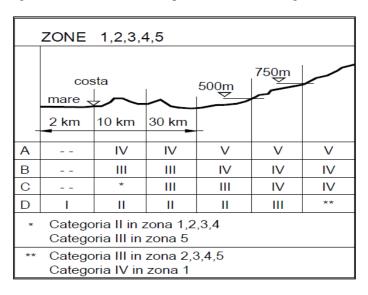


Figura 178. Definizione classe di rugosità del terreno da D.M. 14 gennaio 2008

- *Coefficiente di pressione*: si seguono le indicazioni presenti nella "Circolare Allegata n. 617 del 2 Febbraio 2009". Le indicazioni sono riassunte nell'immagine seguente.

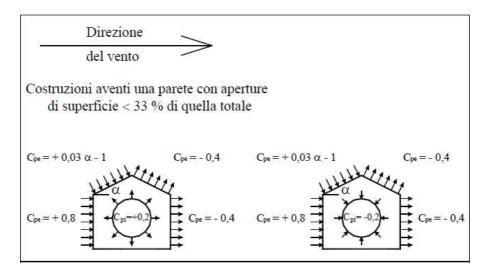


Figura 179. Coefficiente di pressione da "Circolare Allegata n. 617 del 2 Febbraio 2009

<u>Azione della neve</u>: il carico provocato dalla neve sulle coperture è calcolato dalla seguente espressione:

$$q_s = q_{sk} * \mu_i * C_E * C_t$$

Dove:

- q_{sk}: valore di riferimento del carico di neve al suolo;

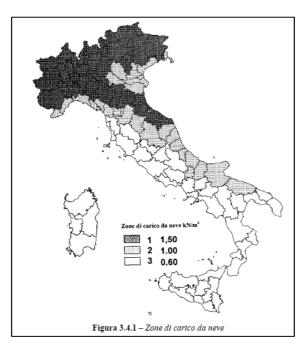


Figura 180. Zona di carico da neve da D.M. 14 gennaio 2008

- μ_i: coefficiente di forma della copertura, dipendente dalla pendenza della copertura.

Tabella 3.4.II – Valori del coefficiente di forma							
Coefficiente di forma	0° ≤ α ≤ 30°	30° < α < 60°	α ≥ 60°				
μ_1	0,8	$0.8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0				

Figura 181. Coefficiente di forma - Tabella 3.4.II da D.M. 14 gennaio 2008

- C_E: coefficiente di esposizione, definito da tabella.

Topografia	Descrizione	CE
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Figura 182. Coefficiente di esposizione - Tabella 3.4.I da D.M. 14 gennaio 2008

- C_t: coefficiente termico, in assenza di studi specifici si assume valore unitario.

Definite le azioni, esse devono essere combinate utilizzando la Combinazione fondamentale agli SLU, fornita al *Capitolo* 2.5.3 del D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni":

$$\gamma_{G1}*G_1+\gamma_{G2}*G_2+\gamma_P*P+\gamma_{Q1}*Q_{k1}+\gamma_{Q2}*\Psi_{02}*Q_{k2}+\gamma_{Q3}*\Psi_{03}*Q_{k3}+ \dots$$

I coefficienti parziali di sicurezza γ sono riassunti nella tabella seguente.

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_{\rm F}$			
Contract Co	Favorevoli	2/	0,9	1,0	1,0
Carichi permanenti G1	Sfavorevoli	γ _{G1}	1,1	1,3	1,0
Contribution of the contri	Favorevoli	γ _{G2}	0,8	0,8	0,8
Carichi permanenti non strutturali G ₂ (1)	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
A :	Favorevoli	21	0,0	0,0	0,0
Azioni variabili Q	Sfavorevoli	γ_{Qi}	1,5	1,5	1,3
(1) Nel caso in cui l'intensità dei carichi permane manenti portati) sia ben definita in fase di prog adottare gli stessi coefficienti parziali validi per	getto, per detti ca	richi o per la par			•

Figura 183. Coefficienti parziali per le azioni - Tabella 2.6.I da D.M. 14 gennaio 2008

I coefficienti di combinazione sono invece riassunti nella tabella seguente: per la combinazione agli SLU è necessario tenere conto dei valori definiti nella prima colonna, valore di combinazione tale che la probabilità di superamento degli effetti causati dalla concomitanza con altre azioni sia circa la stessa di quella associata al valore caratteristico di una singola azione.

Categoria/Azione variabile	Ψ 0i	Ψıi	Ψ 2i
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.1.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.1.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figura 184. Valori dei coefficienti di combinazione- Tabella 2.5.I da D.M. 14 gennaio 2008

7.3.2. Calcolo carichi agenti

I carichi agenti sulla struttura vengono calcolati seguendo le indicazioni riportate al *Capitolo* 7.3.1.

Azioni permanenti (G)

Questi carichi sono noti dalle tavole di carpenteria provenienti dalla documentazione reperita in archivio. Non è presente la carpenteria del piano secondo di tutti gli edifici e quindi i carichi vengono ipotizzati uguali a quelli del piano primo.

EDIFICIO 2									
Analisi dei carichi	Piano terra	Piano primo	Piano secondo	Piano sottotetto	Piano copertura				
Peso proprio elementi strutturali G ₁ [kN/m ²]	2.65	3.10	3.10	2.50	2.50				
Peso proprio elementi non strutturali G ₂ [kN/m ²]	1.50	1.50	1.50	3.00 - 0.80	0.80				

Tabella 39. Carichi noti dalle carpenterie

Azioni variabili (Q)

Sovraccarichi: comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera.

La struttura in esame è classificata nella categoria C1, il valore di sovraccarico da normativa è 3,00 kN/m². Nella documentazione reperita in archivio è però presente il valore specifico 3,5 kN/m².

L'aula magna è invece classificata nella categoria C2, con valore di sovraccarico 4,00 kN/m². Da carpenteria si nota invece che questo valore, presente al piano terra, sia impostato a 5,00 kN/m².

Il piano sottotetto e il piano copertura rientrano nella categoria H, con valore di sovraccarico di 0,50 kN/m². Sulle carpenterie questo valore è più alto, come si vede nella tabella soprastante. Nella pratica questo valore non viene considerato in quanto è difficile che si verifichi la contemporaneità delle azioni massime di vento e neve con la presenza di personale per la manutenzione sulla copertura.

Sono state introdotte allora due configurazioni di carico: una con i carichi da carpenteria, una con i valori minimi dati da normativa.

Si utilizza la sola configurazione di carichi data da normativa come riportato nelle seguenti tabelle.

CARICHI DA CARPENTERIA									
Analisi dei carichi	Piano terra	Piano primo	Piano secondo	Piano sottotetto	Piano copertura				
Accidentali [kN/m²]	3.50 - 5.00	3.5	3.5	1.50 - 1.00	1.5				

Tabella 40. Tabella carichi noti da carpenteria

CARICHI DA NORMATIVA – CONFIGURAZIONE UTILIZZATA								
Analisi dei carichi	Piano terra	Piano primo	Piano secondo	Piano sottotetto	Piano copertura			
Accidentali [kN/m²]	3.00 - 4.00	3.0	3.0	0.50	-			

Tabella 41. Tabella carichi da normativa

Azione del vento: si considera la direzione y, in cui la struttura non presenta edifici adiacenti.

Parametri utili alla definizione della pressione cinetica di riferimento sono i seguenti:

- *Velocità base di riferimento:* in mancanza di adeguate indagini statistiche, questo parametro si ricava dalla seguente espressione:

$$v_b = 25 \, m/s$$

Il sito rientra nella classe 1: viene utilizzata la prima espressione definita nei *Cenni teorici*, in quanto l'altitudine di Torino è sotto al valore di a₀ (1000 m).

La velocità base di riferimento viene considerata uguale alla velocità di riferimento v_r.

- Coefficiente di esposizione:

La classe di rugosità del sito in esame è la A, e tenendo conto che l'altitudine della zona è circa 200 m, la classe di esposizione è la V.

È necessario applicare la relazione relativa alla condizione $z \ge z_{min}$ indicata nei *Cenni teorici*, dato che l'altezza dell'edificio è maggiore di 12 m:

$$c_e(z) = 0.23^2 * 1 * \ln\left(\frac{12,57}{0.70}\right) * \left[7 + 1 * \ln\left(\frac{12,57}{0.70}\right)\right] = 1.511$$

- *Coefficiente di pressione*: si assume $c_{pe}=0.8$ e $c_{pi}=0.2$; il coefficiente di pressione sarà la differenza tra i due: $c_p=0.8-0.2=0.6$ [-]

Da queste informazione viene calcolata la pressione cinetica di riferimento e successivamente la pressione del vento.

Le caratteristiche del vento vengono riassunte nella seguente tabella.

Caratteristiche vento					
Direzione	dir. Y				
Velocità di riferimento del vento	25,00 m/s				
Pressione cinetica di riferimento	0,39 kN/m²				
Coefficiente di pressione	0,60				
Coefficiente di esposizione	1,51				
Pressione del vento	0,35 kN/m ²				

Tabella 42. Tabella riassuntiva caratteristiche del vento

<u>Azione della neve</u>: il carico provocato dalla neve sulle coperture è calcolato dalla seguente espressione:

$$q_s = 1,50 \frac{kN}{m^2} * 0,80 * 1 * 1 = 1,20 \frac{kN}{m^2}$$

Dove:

- Il sito si trova all'interno della zona I (Alpina) con altitudine minore o uguale a 200 m: $q_{sk} = 1,50 \; kN/m^2.$
- μ_i : coefficiente di forma della copertura, con una pendenza della copertura fino a 30° si assume uguale a 0,8;
- C_E: coefficiente di esposizione, si assume valore unitario;
- C_t: coefficiente termico, in assenza di studi specifici si assume valore unitario.

Definite le azioni, esse devono essere combinate utilizzando la Combinazione fondamentale agli SLU, definita nei *Cenni teorici*.

I coefficienti parziali da utilizzare sono:

- γ_{G1} =1,3 coefficiente parziale dei carichi permanenti;
- γ_{G2} =1,5 coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali;

- γ_{Qi} =1,5 coefficiente parziale delle azioni variabili.

I coefficienti di combinazione da utilizzare sono:

- $\Psi_{0i, \text{ sovraccarico}} = 0.7$ coefficiente di combinazione in caso di sovraccarico;
- $\Psi_{0i, \text{ neve}}$ = 0,5 coefficiente di combinazione in caso di neve;
- $\Psi_{0i, \text{ vento}}$ = 0,6 coefficiente di combinazione in caso di vento;

Possono essere definite tre combinazioni fondamentali, variando l'azione principale variabile tra le tre presenti (sovraccarico, vento, neve):

- Combinazione 1: applicazione del carico variabile principale sovraccarico e come altri carichi in contemporanea neve e vento;
- Combinazione 2: applicazione del carico variabile principale neve e come altri carichi in contemporanea vento e sovraccarico;
- Combinazione 3: applicazione del carico variabile principale vento e come altri carichi in contemporanea neve e sovraccarico.

Nella seguente tabella si definiscono nel dettaglio le tre combinazioni.

	Combinazione azioni fondamentale per gli SLU							
Combinazione Coefficienti di combinazio		Coefficienti di combinazione	Azioni					
		Coefficienti di combinazione	G	G_1	Q_1	Q_2	Q_3	
		$\gamma_{ m G1}$	1.30	-	-	-	1	
	Variabile	$\gamma_{ m G2}$	-	1.50				
1	principale Sovraccarico	γQ1 Sovraccarico	-	ı	1.50	1	-	
		$\gamma_{\mathrm{Q2}} * \Psi_{\mathrm{02\ Neve}}$	-	ı	-	0.75	-	
		$\gamma_{Q3} * \Psi_{03 \text{ Vento}}$	-	-	-	-	0.90	
	Variabile principale Neve	$\gamma_{ m G1}$	1.30	-	-	-	-	
		$\gamma_{ m G2}$	-	1.50				
2		γQ1 Neve	-	1	1.50	ı	-	
		$\gamma_{\mathrm{Q2}} * \Psi_{\mathrm{02\ Sovraccarico}}$	-	-	-	1.05	-	
		$\gamma_{\mathrm{Q3}} * \Psi_{\mathrm{03\ Vento}}$	-	-	-	-	0.90	
		γ _{G1}	1.30	-	-	-	-	
3	Variabile principale Vento	γ _{G2}	-	1.50				
		γQ1 Vento	-	-	1.50	-	-	
		γ _{Q2} * Ψ ₀₂ Sovraccarico	-	-	-	1.05	-	
		γ _{Q3} * Ψ _{03 Neve}	_	-	-	-	0.75	

Tabella 43. Definizione coefficienti delle tre combinazioni

7.3.3. Advance Design

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Vengono riportati i diagrammi di sollecitazione della struttura ottenuti con il software Advance Design per la combinazione di carico che ha portato alle massime sollecitazioni.

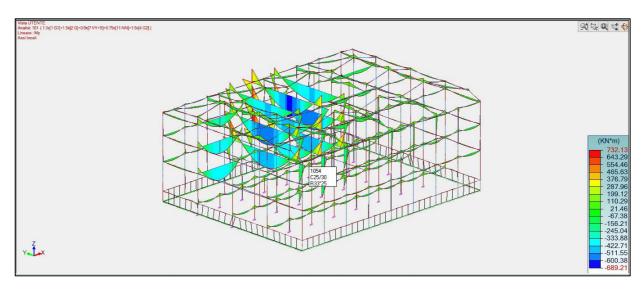


Figura 185. Diagramma My riferita alla combinazione di carico utilizzata

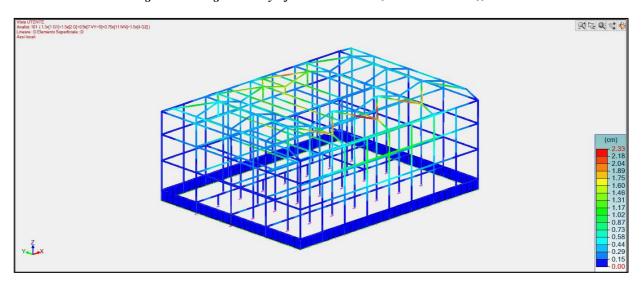


Figura 186. Deformata riferita alla combinazione di carico utilizzata

7.3.4. Midas Gen



1. Casi di carico:

Sul software deve essere definito il nome del caso di carico e il tipo; sulla base delle considerazioni fatte ai *Paragrafi 7.3.1* e *7.3.2* vengono definiti i seguenti casi di carico.

I carichi permanenti vengono suddivisi in peso proprio degli elementi strutturali e in peso proprio degli elementi non strutturali al fine di definire due coefficienti di sicurezza diversi nella successiva combinazione dei carichi.

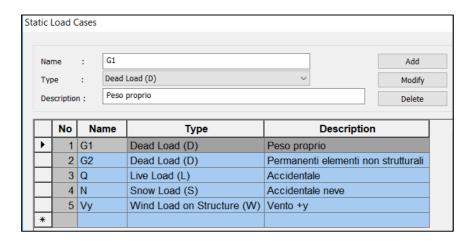


Figura 187. Definizione casi di carico

2. Peso proprio <u>elementi strutturali travi, pilastri e muri controterra:</u>

Il peso proprio viene applicato per tutti gli elementi, impostando solo la direzione della forza di gravità. Viene assegnato al caso di carico G_1 , corrispondente al peso proprio degli elementi strutturali.

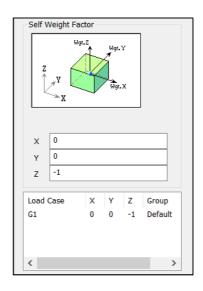


Figura 188. Inserimento peso proprio

3. Azioni permanenti (G₁ e G₂) e azioni variabili (Q e N) sui solai:

I solai, come definito al *Capitolo 6.5*, non possono essere esportati come elementi direttamente da Revit. Deve essere utilizzata una soluzione totalmente non interoperabile, le aree di carico. Esse sul software sono definite "Floor Load".

Prima operazione da svolgere è la definizione di tutti i tipi di carico utili. Per ogni tipo di carico possono essere impostati diversi valori collegati a diversi casi di carico. Nel caso in esame verrà creato un tipo per ogni piano dell'edificio specificando i valori per i vari casi di carico calcolati al *Capitolo 7.3.2*.

Per il piano terra dovranno essere creati due tipi, uno generale per il piano ed uno per i locali dell'aula magna che presentano un valore di carico accidentale maggiore.

Per il solaio di copertura dovranno essere applicati due tipi di carico:

- Carichi permanenti e accidentali legati al sovraccarico;
- Carichi accidentali legati all'azione della neve.

Questo perché il carico della neve deve essere applicato con direzione normale rispetto al solaio e non nella direzione verticale (-z).

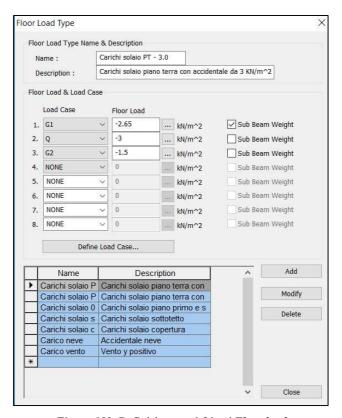


Figura 189. Definizione carichi nei Floor load

L'applicazione dei carichi avviene selezionando una delle tipologie impostate precedentemente e definendo i vertici (nodi) dell'area di carico da creare.

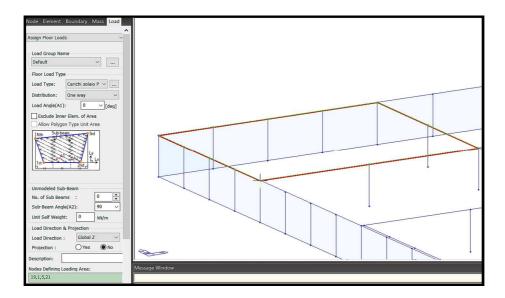


Figura 190. Inserimento Floor load

La definizione del "Floor Load" ha una limitazione: necessita di un'area chiusa triangolare o rettangolare formata da elementi "beam", "wall" o "plate" verticali che poggiano su uno stesso piano e non comprende i link elastici. Questo nel caso in esame crea delle criticità per i numerosi link presenti nel modello per considerare le eccentricità e diverse aree di carico di forma non rettangolare.

Questa criticità viene risolta attraverso due operazioni:

- Creare degli elementi beam fittizi (privi di peso e rigidezza) per chiudere l'area, ovvero dove sono presenti i collegamenti analitici esportati da Revit e dove sono presenti geometrie particolari.

Non è possibile inserire dei valori nulli, vengono quindi inseriti dei valori talmente piccoli che non influenzano in alcun modo i calcoli.

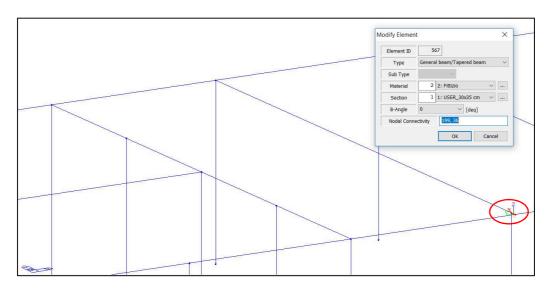


Figura 191. Inserimento elementi fittizzi

Spezzare gli elementi "beam" per creare un rettangolo.

Nelle zone evidenziate la trave è stata dovuta spezzare per completare un rettangolo.

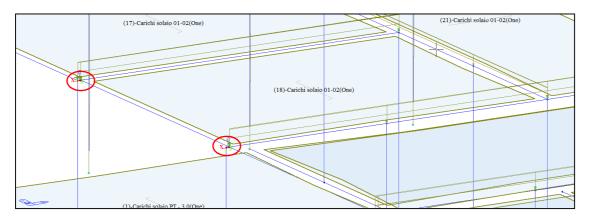


Figura 192. Divisione travi per definire l'area di carico rettangolare

4. Azione del vento (V_y) :

L'azione del vento viene applicata sempre tramite l'area di carico "Floor Load" ma definendo come direzione locale l'asse y.

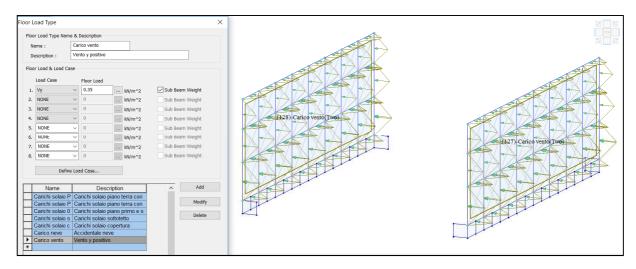


Figura 193. Applicazione del carico vento direzione Y+

5. Combinazione delle azioni:

Le combinazioni delle azioni vengono definite dopo il calcolo delle sollecitazioni. L'operazione può essere fatta manualmente, inserendo per la combinazione da creare i vari casi di carico e il coefficiente parziale di sicurezza collegato, oppure in modo automatico.

In modo automatico vengono create molteplici combinazioni di carico, non solo quelle relative agli Stati Limite Ultimi, quindi vengono inserite manualmente le combinazioni di carico definite al *Capitolo 7.3.1*.

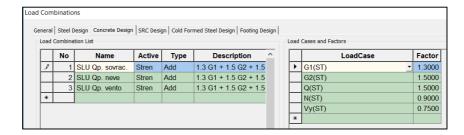


Figura 194. Combinazioni dei carichi in Midas Gen

6. Sollecitazioni ottenute per la struttura:

Vengono visualizzati diagrammi di sollecitazione relativi alla combinazione di carico che porta alle massime sollecitazioni.

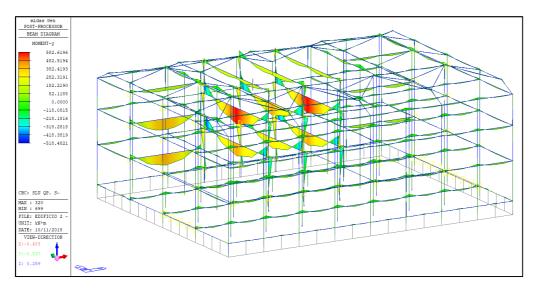


Figura 195. Diagramma di My per la combinazione dei carichi utilizzata

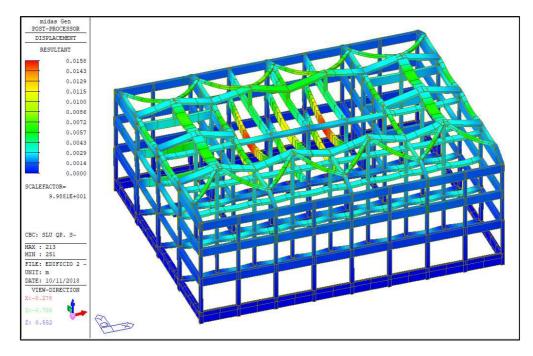


Figura 196. Deformata per la combinazione dei carichi utilizzata

7.4. Verifica di alcuni elementi strutturali

Prima di eseguire le verifiche strutturali è necessario fare una premessa. Durante le verifiche strutturali e la realizzazione del modello nel software di calcolo sono state fatte delle assunzioni a scopo didattico e quindi le verifiche non possono avere valenza ufficiale.

Per la verifica degli elementi sono state utilizzate le informazioni provenienti dal rilievo strutturale e quelle relative alle carpenterie. Sono stati analizzati due travi e due pilastri eseguendo una verifica allo SLU.

7.4.1. Cenni teorici

Per la verifica allo stato limite ultimo si fa riferimento alla normativa NTC 2008 *Capitolo* 4.1.2 relativo alla verifica agli stati limite.

La verifica di resistenza allo Stato limite ultimo su una sezione pressoinflessa si esegue controllando che: $M_{Rd} = M_{Rd} (N_{Ed}) \ge M_{Ed}$

Dove:

MRd è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a NEd;

Ned è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

Med è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

Nel caso di pilastri soggetti a pressoflessione deviata la verifica della sezione può essere posta tramite la seguente formula:

$$\left(\frac{M_{E_{yd}}}{M_{R_{vd}}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{E_{zd}}}{M_{R_{zd}}}\right)^{\alpha} \le 1$$

Dove

 M_{Eyd} e M_{Ezd} : sono i valori di calcolo delle componenti di flessione retta dell'azione intorno gli assi z e y;

 M_{Ryd} e M_{Rzd} : sono valori di calcolo dei momenti resistenti di pressoflessione retta corrispondenti a N_{Ed} valutati separatamente intorno gli assi z e y.

L'esponente α può dipende dalla geometria della sezione e dei parametri ma in mancanza di informazioni si può porre in maniera cautelativa $\alpha = 1$.

Per ogni posizione notevole dell'asse neutro, il luogo dei punti di coordinate (Nrd, Mrd) formerà, sul piano N-M, una curva chiusa che prende il nome di dominio di resistenza della sezione.

La frontiera di rottura dipende da:

- Caratteristiche geometriche della sezione di calcestruzzo;
- Quantitativo di armature presenti;
- Caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio.

La verifica a pressoflessione risulta graficamente soddisfatta se il punto di coordinate (Nsd,Msd) è interno al dominio di resistenza.

Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti di elementi con armature trasversali resistenti al taglio

La resistenza a taglio V_{Rd} di elementi strutturali dotati di armatura a taglio deve essere valutata facendo riferimento ad una schematizzazione a traliccio.

Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i seguenti limiti:

$$1 \leq ctg \vartheta \leq 2.5$$

L'elemento risulta verificato allo SLU nel momento in cui si verifica:

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

dove Ved è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

La resistenza di calcolo a "taglio trazione" con riferimento all'armatura trasversale si calcola con la seguente formula:

$$V_{Rds} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{SW}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg \ \alpha + ctg \ \vartheta) \cdot sin\alpha$$

La resistenza di calcolo a "taglio compressione" con riferimento al calcestruzzo d'anima si calcola con la seguente formula:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(ctg \, \alpha + ctg \, \vartheta)}{(1 + ctg^2 \vartheta)}$$

La resistenza al taglio della trave è la minore tra le due precedentemente definite:

$$V_{Rd} = min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Si è posto:

- dè l'altezza utile della sezione (in mm);
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \text{ fcd}$);
- bw è la larghezza minima della sezione (in mm).
- Asw: area dell'armatura trasversale;
- s: interasse tra due armature trasversali consecutive;
- α : angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;
- f'cd: resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f'cd = 0.5 \cdot fcd$);
- α_c: coefficiente maggiorativo pari a:
 - o 1 per membrature non compresse

$$0 \quad 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} per \quad 0 \le \sigma_{cp} < 0.25 f_{cd}$$

- $\circ \quad 1,25 \ per \ 0,25 \ fcd \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 \ fcd$
- \circ 2,5(1 $\frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}}$) per 0,5 fcd < σ_{cp} < fcd

7.4.2. Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Vengono verificati a flessione e a taglio i seguenti elementi:

- 1. Pilastro 24 Piano terra;
- 2. Pilastro 5 PT Piano terra;
- 3. Trave 102 Piano primo;
- 4. Trave 118 Piano primo.

Vengono effettuate delle verifiche strutturali su alcuni elementi tenendo conto della combinazione che ha portato alle massime sollecitazioni.

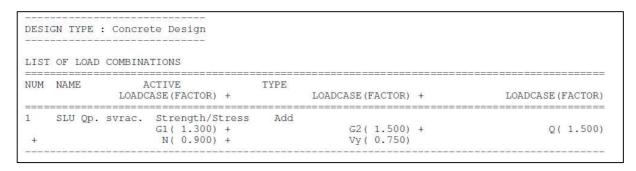


Figura 197. Combinazione di carico utilizzata

ELEMENTI INDAGATI

Sono stati verificati i seguenti elementi:

- 1. Pilastro 22 Piano terra:
- 2. Pilastro 23 Piano terra;
- 3. Trave 110 Piano primo;
- 4. Trave 111 Piano primo.

Si utilizzano i dati ricavati dal rilievo strutturale e dalle carpenterie nel dettaglio.

1) Pilastro 22 Piano terra

Per verificare questo pilastro sono state utilizzate le informazioni proveniente dal rilevo strutturale e quelle relative alle carpenterie.

- Informazioni dal rilievo strutturale:

	EDIFICIO 2						
Num.	Livello di riferimento	Numero barre	c' medio barra	c' medio staffa	s medio barra	s medio staffa	
22	PT ED2	8	28.0 mm	22.0 mm	155.0 mm	170.0 mm	

Tabella 44. Dati ottenuti dal rilievo strutturale in situ per il pilastro 22 PT

Per quanto riguarda il c' medio, poiché sui software si andrà a inserire un unico valore, è stata fatta una media. Per cui il c' medio è uguale a 25 mm.

- Informazioni dalle carpenterie

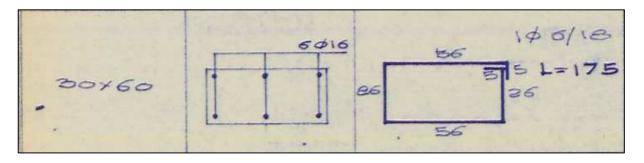


Figura 198. Armatura pilastro 22 PT da carpenteria

In sito sono state rilevate un numero di barre maggiore, e viene adottata quella configurazione. Le informazioni che non sono state ottenute dal rilievo strutturale sono state completate dai dati nelle carpenterie. Si sceglie quindi di utilizzare barre longitudinali $\phi 16$ e staffe $\phi 6$.

2) Pilastro 23 Piano terra

Per verificare questo pilastro sono state utilizzate le informazioni proveniente dal rilevo strutturale e quelle relative alle carpenterie.

- Informazioni dal rilievo strutturale:

	EDIFICIO 2							
Num.	Livello di riferimento	Numero barre	c' medio barra	c' medio staffa	s medio barra	s medio staffa		
23	PT ED2	10	39.0 mm	32.0 mm	120.0 mm	127.0 mm		

Tabella 45. Dati ottenuti dal rilievo strutturale in situ per il pilastro 23 PT

Per quanto riguarda il c' medio, poiché sui software si andrà a inserire un unico valore, si è fatta una media. Per cui il c' medio è uguale a 35.5 mm.

- Informazioni dalle carpenterie

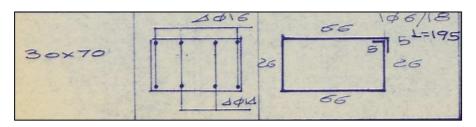


Figura 199. Armatura pilastro 23 PT da carpenteria

In sito sono state rilevate un numero di barre maggiore, e si adotta quella configurazione. Le informazioni che non sono state ottenute dal rilievo strutturale sono state completate dai dati nelle carpenterie. Si sceglie quindi di utilizzare barre longitudinali ϕ 16 e ϕ 14 e staffe ϕ 6.

3) Trave 110 Piano primo

Le travi non sono state rilevate in situ dal rilievo strutturale, pertanto si utilizzeranno solo le informazioni provenienti dalle carpenterie rinvenute in archivio.

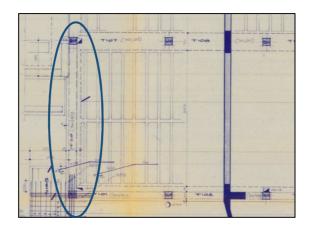


Figura 200. Individuazione posizione trave 110 piano primo

Armatura longitudinale:

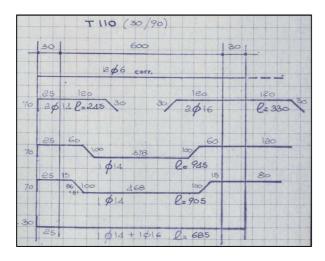


Figura 201. Armatura longitudinale da carpenteria trave 110 piano primo

Staffe:

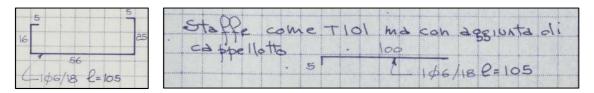


Figura 202. Armatura trasversale da carpenteria trave 110 piano primo

Non avendo informazioni sul copriferro si è utilizzato quello minimo da normativa di 35mm.

4) Trave 111 Piano primo

Le travi non sono state rilevate in situ dal rilievo strutturale, pertanto si utilizzeranno solo le informazioni provenienti dalle carpenterie rinvenute in archivio.

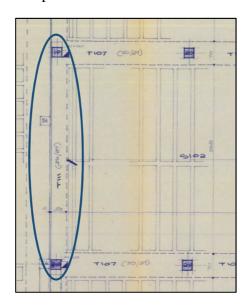


Figura 203. Posizione trave 111 piano primo

Armatura longitudinale:

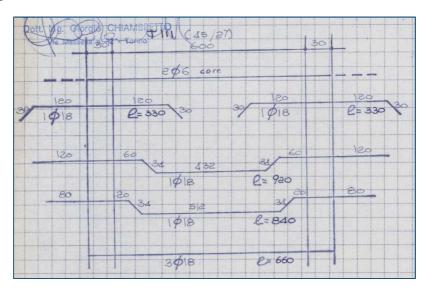


Figura 204. Armatura longitudinale da carpenteria trave 111 piano primo

Staffe:

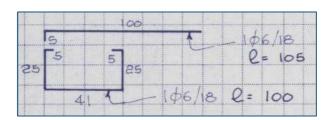


Figura 205. Armatura longitudinale da carpenteria trave 111 piano primo

Non avendo informazioni sul copriferro si è utilizzato quello minimo da normativa di 35 mm.

IPOTESI INIZIALI:

Sul software primo passo è definire le normative da utilizzare nelle verifiche. È possibile includere le NTC 2008 nel progetto delle sezioni in calcestruzzo armato.

Si definiscono poi i coefficienti parziali di sicurezza da applicare e le caratteristiche del calcestruzzo e dell'acciaio.

Le impostazioni iniziali riguardanti i materiali sono le seguenti:

- Calcestruzzo C25/35;
- Acciaio B450C.

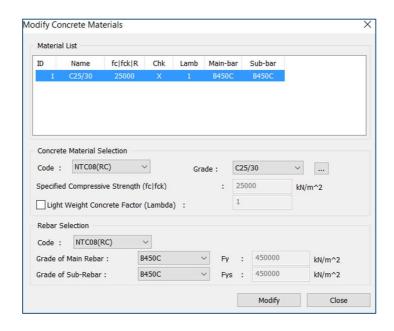


Figura 206. Caratteristiche materiali utilizzati

VERIFICA ELEMENTO:

È stata eseguita una verifica SLU per le travi e pilastri selezionati. Per quanto riguarda i pilastri si riportano le seguenti informazioni:

- La descrizione della geometria;
- Armatura longitudinale;
- Armatura trasversale;
- Curve di interazioni M-N e Mx-My;
- Verifica a taglio.

Mentre per le travi si riportano le seguenti informazioni:

- Descrizione geometria;
- Armatura longitudinale;
- Armatura trasversale;
- Verifica Mrd > Med;
- Verifica a taglio.

1) Pilastro 22 Piano terra

Viene inserita l'armatura attraverso la seguente interfaccia.

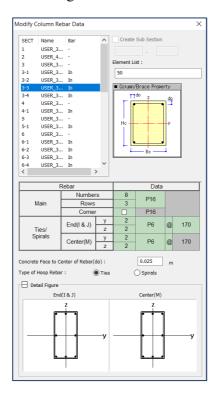


Figura 207. Inserimento armatura pilastro 22 PT

- Curve di interazione:

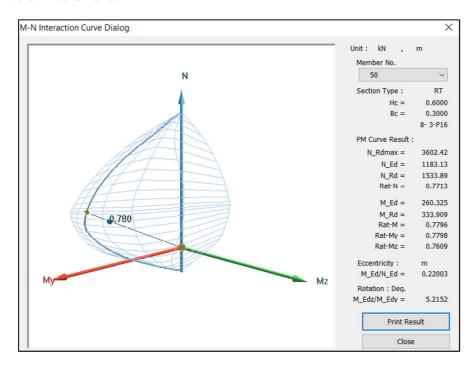


Figura 208. Curve di interazione pilastro 22 PT

= 0.771 < 1.000 O.K

= 0.780 < 1.000 O.K

= 0.780 < 1.000 O.K

= 0.761 < 1.000 O.K

Come possiamo notare il punto cade dentro al dominio e quindi la sezione risulta verificata.

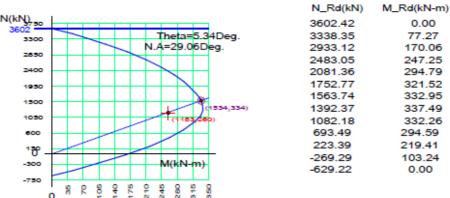
Nel dettaglio le verifiche sono riassunte nella pagina seguente. Sia la verifica a taglio sia quella a flessione risultano soddisfatte.

midas Gen RC Column Checking Result **Project Title** Company MIDAS C:\...ifiche strutturali nuovo.mgb **Author** File Name Design Condition Design Code : Eurocode2:04 & NTC2008 UNIT SYSTEMKN, m Member Number 50 Material Data : fck = 25000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa Column Height: 4 m Section Property: USER_30x60 cm (No : 3) Rebar Pattern : 8 - 3 - P16 Ast = Ast = 0.001608 m^2 (Rhost = 0.009) 2. Applied Loads Load Combination : 1 AT (J) Point N_Ed = 1183.13 kN M_Edy = 259.248 kN-m 0.3 M Edz = 23 6626 kN-m M_Ed = SQRT(M_Edy^2+ M_Ed=280.325 kN-m Axial Forces and Moments Capacity Check Concentric Max. Axial Load N_Rdmax = 3602.42 kN N Ed/N Rd = 1183.13 / 1533.89

4. M-N Interaction Diagram

Axial Load Ratio

Moment Ratio



M_Ed/M_Rd = 260.325 / 333.909

M_Edy/M_Rdy= 259.248 / 332.457

M_Edz/M_Rdz= 23.6626 / 31.0998

```
5. Shear Force Capacity Check (End)
```

```
Applied Shear Strength
                             V_Ed
                                         = 85.7198 kN (Load Combination: 1)
Shear Ratio by Conc
                             V_Ed/V_Rdc = 85.7198 / 160.856 = 0.533
Shear Ratio by (V_Rds; V_Rdmalx)_Ed/V_Rds = 85.7198 / 66.7059 = 1.285
Shear Ratio
                             V_Ed/V_Rd = 0.533 < 1.000 ...
                                                            OK
                                           (Asw-H_use = 0.00033 m^2/m, 2-P6 @170)
```

Shear Force Capacity Check (Middle)

```
Applied Shear Strength
                              V_Ed
                                         = 85.7198 kN (Load Combination: 1)
                             V_Ed/V_Rdc = 85.7198 / 160.856 = 0.533
Shear Ratio by Conc
Shear Ratio by (V_Rds; V_Rdmalx)_Ed/V_Rds = 85.7198 / 66.7059 = 1.285
Shear Ratio
                              V_Ed/V_Rd = 0.533 < 1.000 ...... O.K
                                           (Asw-H_use = 0.00033 m^2/m, 2-P6 @170)
```

Figura 209. Report verifiche su Midas Gen del pilastro 22 PT

2) Pilastro 24 Piano terra

Viene inserita l'armatura attraverso la seguente interfaccia.

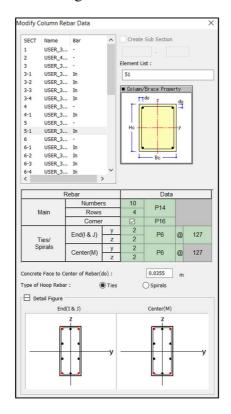


Figura 210. Inserimento armatura pilastro 23 PT

- Curve di interazione:

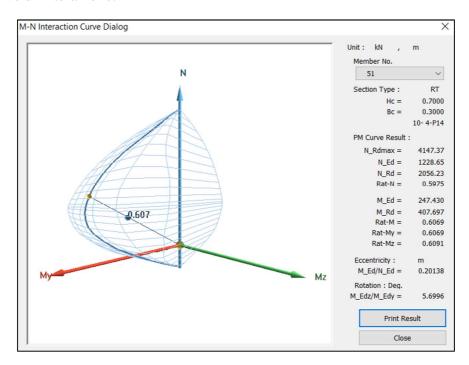


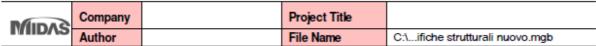
Figura 211. Curve di interazione pilastro 23 PT

Come possiamo notare il punto cade dentro al dominio e quindi la sezione risulta verificata.

Nel dettaglio le verifiche sono riassunte nella pagina seguente. Sia la verifica a taglio sia quella a flessione risultano soddisfatte.

midas Gen

RC Column Checking Result



Design Condition

Design Code : Eurocode2:04 & NTC2008 UNIT SYSTEMkN, m Member Number: 51

Material Data : fck = 25000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa

Column Height: 4 m

Section Property: USER_30x70 cm (No : 5)

Rebar Pattern : 10 - 4 - P14(P16) Ast = 0.001728 m^2 (Rhost = 0.008)

Applied Loads

```
Load Combination : 1 AT (J) Point

N_Ed = 1228.65 kN M_Edy = 246.207 kN-m M_Edz = 24.5729 kN-m

M_Ed = SQRT(M_Edy^2+ M_Edz227.430 kN-m
```

3. Axial Forces and Moments Capacity Check

```
Concentric Max. Axial Load N_Rdmax = 4147.37 kN

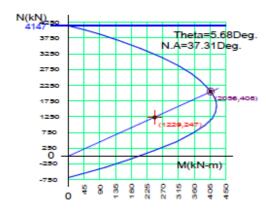
Axial Load Ratio N_Ed/N_Rd = 1228.65 / 2056.23 = 0.598 < 1.000 ...... O.K

Moment Ratio M_Ed/M_Rd = 247.430 / 407.697 = 0.607 < 1.000 ..... O.K

M_Edy/M_Rdy= 246.207 / 405.696 = 0.607 < 1.000 ..... O.K

M_Edz/M_Rdz= 24.5729 / 40.3423 = 0.609 < 1.000 ..... O.K
```

4. M-N Interaction Diagram



N_Rd(kN)	M_Rd(kN-m)
4147.37	0.00
3876.98	90.37
3422.55	207.69
2881.00	315.35
2401.59	378.44
2009.74	410.66
1782.48	422.55
1578.77	424.56
1197.96	412.27
736.73	356.67
173.53	245.48
-352.83	106.12
-676.17	0.00

5. Shear Force Capacity Check (End)

6. Shear Force Capacity Check (Middle)

Figura 212. Report verifiche su Midas Gen pilastro 23 PT

3) Trave 102 Piano primo

Viene inserita l'armatura attraverso la seguente interfaccia.

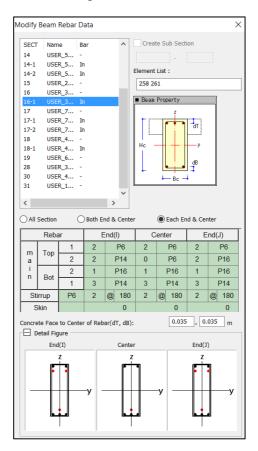


Figura 213. Inserimento armatura trave 110 piano primo

- Verifica Mrd > Med

3. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	1	1	1
Moment (M_Ed)	0.89	0.00	28.18
Factored Strength (M_Rd)	117.35	22.53	145.41
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.0076	0.0000	0.1938
Neutral Axis (x/d)	0.0526	0.0428	0.0557
(+) Load Combination No.	1	1	1
Moment (M_Ed)	24.94	29.00	11.29
Factored Strength (M_Rd)	213.33	214.35	214.48
Check Ratio (M_Ed/M_Rd)	0.1169	0.1353	0.0526
Neutral Axis (x/d)	0.0757	0.0713	0.0771
Using Rebar Top (As_top)	0.0004	0.0001	0.0005
Using Rebar Bot (As_bot)	0.0007	0.0007	0.0007

Figura 214. Report verifiche a flessione su Midas Gen trave 110 piano primo

- Verifica *Vrd* > *Ved*

4. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	1	1	1
Factored Shear Force (V_Ed)	23.31	18.15	31.97
Shear Strength by Conc.(V_Rdc)	84.95	84.95	83.97
Shear Strength by Rebar.(V_Rds)	93.45	93.45	91.31
Shear Strength by Rebar.(V_Rdmax)	959.48	959.48	937.58
Using Shear Reinf. (Asw)	0.0003	0.0003	0.0003
Using Stirrups Spacing	2-P6 @180	2-P6 @180	2-P6 @180
Shear Ratio by Conc	0.2744	0.2137	0.3808
Shear Ratio by (V_Rds ; V_Rdmax)	0.2494	0.1943	0.3502
Check Ratio	0.2744	0.2137	0.3808

Figura 215. Report verifiche a taglio su Midas Gen trave 110 piano primo

4) Trave 118 Piano primo

Viene inserita l'armatura attraverso la seguente interfaccia.

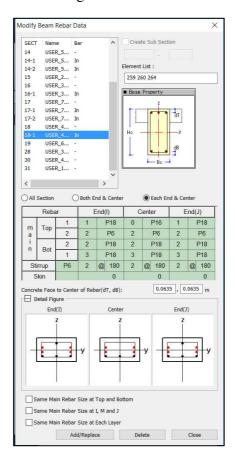


Figura 216. Inserimento armatura trave 111 piano primo

- Verifica *Mrd* > *Med*

3. Bending Moment Capacity

END-I	MID	END-J
1	1	1
12.53	0.00	14.39
35.29	22.14	35.29
0.3549	0.0000	0.4077
0.3137	0.3449	0.3137
1	1	1
1.61	6.01	0.68
76.98	77.48	76.98
0.0209	0.0775	0.0088
0.4141	0.4414	0.4141
0.0003	0.0000	0.0003
0.0013	0.0013	0.0013
	1 12.53 35.29 0.3549 0.3137 1 1.61 76.98 0.0209 0.4141	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

Figura 217. Report verifica a flessione sul software MIdas Gen trave 111 piano primo

- Verifica Vrd > Ved

4. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	1	1	1
Factored Shear Force (V_Ed)	12.10	6.50	12.70
Shear Strength by Conc.(V_Rdc)	70.80	68.29	70.80
Shear Strength by Rebar.(V_Rds)	21.89	20.74	21.89
Shear Strength by Rebar.(V_Rdmax)	337.19	319.44	337.19
Using Shear Reinf. (Asw)	0.0003	0.0003	0.0003
Using Stirrups Spacing	2-P6 @180	2-P6 @180	2-P6 @180
Shear Ratio by Conc	0.1709	0.0951	0.1793
Shear Ratio by (V_Rds ; V_Rdmax)	0.5528	0.3132	0.5799
Check Ratio	0.1709	0.0951	0.1793

Figura 218. Report verifica a taglio sul software Midas Gen trave 111 piano primo

Capitolo 8 - Risultati

8.1. Modellazione strutturale BIM

Il modello BIM è stato realizzato in due fasi successive, partendo dalla modellazione architettonica e proseguendo con quella strutturale. Il modello è stato implementato con informazioni strutturali grazie alle tavole di carpenteria rilevate in archivio e un rilievo in situ.

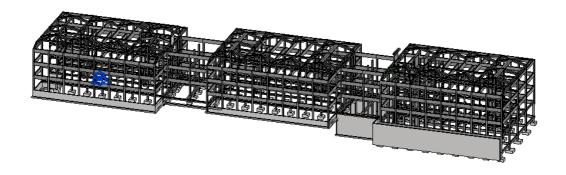


Figura 219. Modello strutturale sul software di modellazione

Il software di modellazione ha permesso di ottimizzare l'inserimento degli elementi strutturali tramite l'ausilio di livelli e griglie. Gli elementi fanno parte di tipologie di famiglie, questo permette di fare modifiche in serie in maniera agevole. La possibilità di gestire la modellazione sulla vista tridimensionale è un ottimo supporto. Infine le informazioni relative agli elementi possono essere gestite tramite abachi.

Alla fine del processo sono state individuate delle accortezze per ridurre i tempi di controllo successivi sul modello analitico in Revit:

- Utilizzare le griglie in maniera scrupolosa per l'inserimento di travi e pilastri. In un edificio esistente, a seguito di un rilievo architettonico e strutturale, è possibile che due pilastri non appartengano alla stessa griglia per pochi centimetri. Dove è presente questa problematica è necessario procedere all'infittimento delle griglie in modo che ogni pilastro sia perfettamente centrato alla propria griglia di riferimento.
- Lavorare in Revit utilizzando una doppia finestra di visualizzazione, in particolare vista del modello tridimensionale analitico e vista della pianta architettonica del piano di riferimento, nel momento in cui si modellano le seguenti zone critiche:
 - o Zone con presenza di elementi eccentrici;
 - O Punti di intersezione di più travi in un solo nodo.

8.2. Prove strutturali in situ

Sono state eseguite due prove strutturali non invasive, la prova sclerometrica e quella pacometrica. A supporto del rilievo strutturale eseguito è stato importante aver adottato una metodologia BIM.

Dall'analisi dei dati raccolti e la documentazione ottenuta dall'analisi storico critica si è potuto assumere un livello di conoscenza adeguata (LC2). Per questo livello di conoscenza è necessario applicare un coefficiente di confidenza pari ad 1,20 sulle caratteristiche meccaniche dei materiali.

Il valore medio di resistenza che si ottiene dalle prove sclerometriche eseguite è 26,2 MPa, ma non può essere considerato rappresentativo dell'intera struttura, quindi nelle analisi successive è utilizzato un calcestruzzo di classe C25/30, come da progetto originario.

Tramite il plug-in *BIM Designers* è stato possibile inserire l'armatura rilevata direttamente in *Revit*. L'inserimento è avvenuto parametricamente in maniera speditiva e precisa.

Questa operazione presenta i seguenti vantaggi:

- Archiviazione informazioni in modo diretto e graficamente facili da leggere;
- Possibilità di estrarre delle tavole in ambiente *Revit*, con tutti i vantaggi che ne conseguono;
- Possibilità di estrarre computi metrici precisi e dettagliati.

8.3. Interoperabilità con il software di calcolo

È riportata nella tabella seguente una linea guida di modellazione dei vari punti di attenzione considerati nello studio dell'interoperabilità.

Punti di attenzione	Advance Design	Midas Gen
Eccentricità	Spostare l'elemento fisico e imporre un offset architettonico	Utilizzare collegamenti analitici esportati come link elastici
Nodi di intersezione travi-pilastro	Interrompere diagrammi di sollecitazione travi a filo pilastro automaticamente	Utilizzare "Beam End Offset" sui singoli elementi
Solaio	Applicazione aree di carico direttamente sul software di calcolo	Applicazione aree di carico direttamente sul software di calcolo
Applicazione carichi	Esportazione completa	Applicazione direttamente sul software

Tabella 46. Linea guida modellazione punti di attenzione interoperabilità

Le conclusioni relative alle singole tematiche sono le seguenti.

- Eccentricità:

In *Revit* l'eccentricità degli elementi viene considerata tramite dei collegamenti analitici. Sono stati eseguiti dei test di esportazione di un pilastro eccentrico su casi semplici. Le situazioni riscontrate sono due:

- Utilizzo dei collegamenti analitici esportati come link rigidi che, in chiave interoperabilità, sembrerebbero funzionare meglio anche se si riscontrano una serie di problematiche successive;
- Spostamento fisico dell'elemento direttamente sul software di calcolo e inserimento di un offset architettonico che tenga conto dell'ingombro reale dell'elemento.

Il software *Midas Gen* contempla entrambe le soluzioni mentre il software *Advance Design* solo la seconda.

Viene utilizzata allora la prima soluzione sul software *Midas Gen*, la seconda soluzione sul software *Advance Design*.

La seconda soluzione può essere resa interoperabile, ad esempio introducendo la possibilità di inserire un offset strutturale in modo da poter distinguere l'ingombro reale con l'elemento analitico che lo schematizza.

- Nodi di intersezione trave-pilastro:

Questa tematica è stata affrontata valutando se la strada interoperabile trovata, tramite collegamenti analitici in Revit, possa simulare in modo funzionale l'effetto della zona rigida all'intersezione trave – pilastro.

Essa risulta poco efficiente, in quanto dalle reazioni vincolari si verifica che il peso nella zona di sovrapposizione non viene considerata, situazione a sfavore di sicurezza.

Sono state ricercate soluzioni differenti direttamente sui software di calcolo.

Sul software Midas Gen viene validato il comando Beam End Offset, con cui si può inserire in modo puntuale la lunghezza del tratto rigido agli estremi degli elementi Beam.

Sul software Advance Design si tiene in conto della zona rigida solo per la trave, considerando automaticamente la lunghezza del tratto rigido, i valori di momento vengono semplicemente interrotti a filo pilastro.

Per quanto riguarda questa tematica, si potrebbe implementare l'utilizzo dei link rigidi in *Revit* per la definizione della zona rigida direttamente sul software BIM in modo tale che venga considerato in qualche modo il peso.

Solaio

Sono stati evidenziati i limiti dell'esportazione di questo elemento strutturale perché nei software di calcolo esso viene riconosciuto semplicemente come una piastra senza la possibilità di definire un'orditura.

Per questo si è adottata la soluzione di inserire il carico del solaio direttamente sui software di calcolo come area di carico.

È stata poi verificata e approfondita la zona di sovrapposizione trave-solaio nella quale viene conteggiato erroneamente anche il peso del solaio. Viene eseguita una ricerca della soluzione ottimale a questo problema e, una volta trovata, è stata implementata sfruttando il BIM tramite l'utilizzo di *Dynamo*, *Excel* e *Visual Basic*.

La soluzione (testata e validata sulle casistiche trattate) prevede di individuare un coefficiente di ripartizione del carico per ogni solaio in maniera automatizzata, inserendo come input il piano di riferimento e ottenendo come output una tabella con il coefficiente di ripartizione del carico associato ad ogni solaio, di seguito si riporta il workflow dell'algoritmo spiegato nel *Capitolo* 6.5.4.

Infine, si valuta l'incidenza di tale problema diagrammando l'errore percentuale commesso al variare delle dimensioni delle travi e del solaio.

Applicazione carichi

In *Revit* possono essere inseriti sia i carichi che le combinazioni di carico.

I carichi vengono esportati perfettamente in *Advance Design* e, inserendo un'area di carico con una precisa orditura, si ripartisce il carico come se fosse applicato su un solaio. Sul software *Midas Gen* non è invece possibile dare un'orditura alle tipologie di carico esportate.

Per quanto riguarda la combinazione dei carichi invece, si può inserire manualmente in *Revit* ma, non potendo essere generata automaticamente è più semplice inserirla direttamente sul software di calcolo. In realtà il fatto che *Revit* non gestisca in maniera ottimizzata le combinazioni di carico non è un fatto negativo.

I software di calcolo hanno un loro pacchetto che gestisce le combinazioni di carico, secondo le varie normative dove pero si possono impostare le modalità di come questi carichi vengono combinati; è in quel momento che entra in gioco l'ingegnere, intervenendo materialmente. Questo intervento è ovviamente essenziale.

8.4. Definizione tempi operativi

La totalità delle operazioni eseguite per arrivare ad avere la struttura esportata correttamente nel software di calcolo porta ad un certo dispendio di tempo. L'obiettivo è determinare, in funzione degli elementi presenti nella struttura, l'ordine di grandezza del tempo necessario per ottenere una buona esportazione, limitando le operazioni.

Si parte dal modello analitico in *Revit* dell'edificio 2, modellato con entrambi i software di calcolo. Selezionando tutto l'edificio è possibile ottenere il numero esatto di tutti gli elementi analitici presenti.

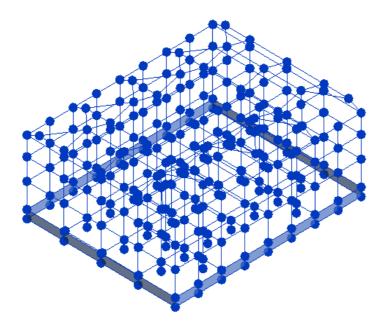


Figura 220. Elementi analitici edificio 2

Questi elementi vengono schematizzati nella seguente tabella.

EDIFICIO 2			
Elementi	Numero		
Nodi analitici	311		
Collegamenti analitici	92		
Travi	291		
Fondazioni strutturali	38		
Plinti analitici	34		
Pilastri	208		
Muri	4		
Cordoli analitici	4		
Piani	3		

Tabella 47. Elementi analitici edificio 2

Pre-esportazione

Prima di esportare il modello sono necessarie alcune operazioni di controllo in *Revit*. Durante questo controllo si stima che sono stati modificati circa il 50% degli elementi.

> In Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". Nella seguente tabella si riportano i risultati ottenuti nel pre-esportazione.

	PRE- ESPORTAZIONE					
Operazioni	Percentuale elementi modificati	Tot elementi	Totale tempo impiegato [minuti]	Minuti/Elemento		
Check analitico	50.00%	155.5	200	0.64		
Verifica collegamenti analitici	0	0	0	-		
	TOTALE		200	-		

Tabella 48. Operazioni pre - esportazione Advance Design





Nella seguente tabella si riportano i risultati ottenuti nel pre-esportazione.

PRE- ESPORTAZIONE					
Operazioni	Percentuale elementi modificati	Tot elementi	Totale tempo impiegato [minuti]	Minuti/Elemento	
Check analitico	50.00%	155.5	240	0.77	
Verifica collegamenti analitici	50.00%	46	30	0.33	
	TOTALE		271	-	

Tabella 49. Operazioni pre - esportazione

In questo modo si ricava un coefficiente minuti/elemento che, al variare degli elementi presenti nel modello, si stima il tempo necessario per eseguire quell'operazione in Revit.

Post-esportazione

Una volta esportato l'edificio corretto nei software di calcolo si mettono a confronto le operazioni eseguite per arrivare ad avere il modello pronto per l'analisi dei carichi e quindi effettuare i calcoli.

Le operazioni che dobbiamo eseguire su ogni software dipendono agli elementi che abbiamo esportato. Di seguito si riporta nella seguente tabella la totalità delle operazioni eseguite e gli elementi che le influenzano.

Operazioni	Elementi riferimento
Spostare elementi eccentrici	Collegamenti analitici
Verifica livelli	Piani
Aggiungere vincoli	Fondazioni strutturali
Aggiungere carichi	Peso proprio

Creare elementi fittizi	Collegamenti analitici
Dividere elementi	Collegamenti analitici
Rimodellare mesh muri contro terra	Muri
Assegnare materiale	Materiali
Verificare centroide sezione elementi	Travi
Applicazione carichi	Solai

Tabella 50. Operazioni post - esportazione

Si riassumono le operazioni eseguite da entrambi i software con i seguenti obiettivi:

- Eseguire un confronto tra il numero di operazione e il tempo necessario per eseguirle;
- Ottenere il coefficiente Minuti/elemento per le operazioni effettuate.
- ➤ In Advance Design GADVANCE DESIGN

Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". I risultati da lui ottenuti sono riportati nella seguente tabella.

	POST ESPORTAZIONE				
Operazioni	Elementi riferimento	Numero elementi modificati	Totale tempo impiegato [minuti]	Minuti/Elemento	
Spostare elementi eccentrici	Collegamenti analitici	92	30	0.33	
Verifica livelli	Piani	3	5	1.67	
Aggiungere vincoli	Fondazioni strutturali	0	0	0.00	
Creare elementi fittizi	Collegamenti analitici	0	0	0.00	
Dividere elementi	Collegamenti analitici	0	0	0.00	
Rimodellare mesh muri controterra	Muri	0	0	0.00	
Assegnare materiale	Materiali	0	0	0.00	
Verificare centroide sezione elementi	Travi	291	5	0.02	
Applicazione carichi	Solai	79	15	0.19	
	TOTALE		55	-	

Tabella 51. Tempo impiegato per operazioni post - esportazione

> In Midas Gen 💢

	POST ESPORTAZIONE				
Operazioni	Elementi riferimento	Numero elementi modificati	Totale tempo impiegato [minuti]	Minuti/Elemento	
Spostare elementi eccentrici	Collegamenti analitici	0	0	0.00	
Verifica livelli	Piani	1	1	1.00	
Aggiungere vincoli	Fondazioni strutturali	38	1	0.03	
Creare elementi fittizi	Collegamenti analitici	92	30	0.33	
Dividere elementi	Collegamenti analitici	92	20	0.22	
Rimodellare mesh muri controterra	Muri	4	10	2.50	
Assegnare materiale	Materiali	1	1	1.00	
Verificare centroide sezione elementi	Travi	291	10	0.03	
Applicazione carichi	Solai	79	20	0.25	
	TOTALE		93	-	

Tabella 52. Tempo impiegato per operazioni post - esportazione

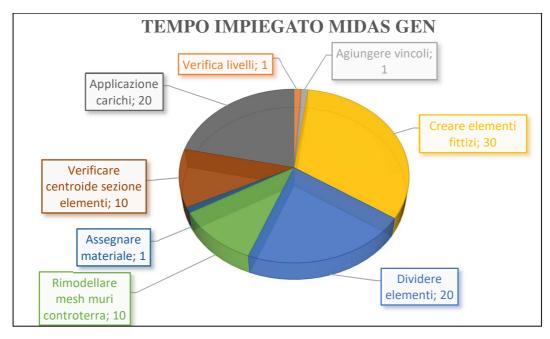


Figura 221. Tempo impiegato operazioni post-esportazione in Midas Gen

Come possiamo notare vengono eseguite un numero maggiore di operazioni ma sono per lo più della durata di appena un minuto. La criticità più rilievante consiste nel dover creare elementi fittizi e dividere ogni elemento intersecato per l'inserimento delle aree di carico.

Confronto software

Si riassume nella seguente tabella ogni elemento modellato analiticamente in *Revit* con il proprio indice a seconda del tempo impiegato per la sua modellazione nei confronti dei due software. Se gli elementi di *Revit* influenzano più operazioni, come nel caso dei collegamenti analitici, gli indici si sommano.

	EDIFICIO 2					
Elementi	Numero elementi	Indice elemento Advance Design	Indice elemento Midas	Tempo impiegato Advance Desig	Tempo impiegato Midas	
Nodi analitici	311	0.77	0.77	240	240	
Collegamenti analitici	92	0.33	0.87	30	80	
Travi	291	0.02	0.03	5	10	
Fondazioni strutturali	38	0	0	0	0	
Plinti analitici	34	0	0	0	0	
Pilastri	208	0	0	0	0	
Muri	4	0	2.50	0	10	
Cordoli analitici	4	0.00	0	0	0	
Piani	3	1.67	0	5	0	
			Totale	280	340	

Tabella 53. Confronto software tempi impiegati

In questo modo tramite il modello *Revit* si ha la percezione del tempo che si impiega per arrivare ad esportare il modello nei due software.

8.5. Valutazione vantaggi metodologia BIM

All'interno della tesi è stata valutata l'interoperabilità per diversi aspetti.

In questo capitolo conclusivo si vuole dare un'idea di quanto sia vantaggioso utilizzare la metodologia BIM, e di conseguenza viene quantificato il lavoro risparmiato. Inizialmente si valuta l'incidenza delle singole operazioni da effettuare direttamente sul software di calcolo per poi standardizzare la percentuale di esportazione pesata per ogni singola operazione, come mostrato nella seguente tabella.

Operazioni	Incidenza percentuale
Modellazione geometrica	50
Definizione sezioni	20
Materiali	1
Livelli	5
Vincoli	1
Eccentricità	5
Solaio	5
Zona rigida	3
Applicazione carichi	10

Tabella 54. Incidenza percentuale operazioni

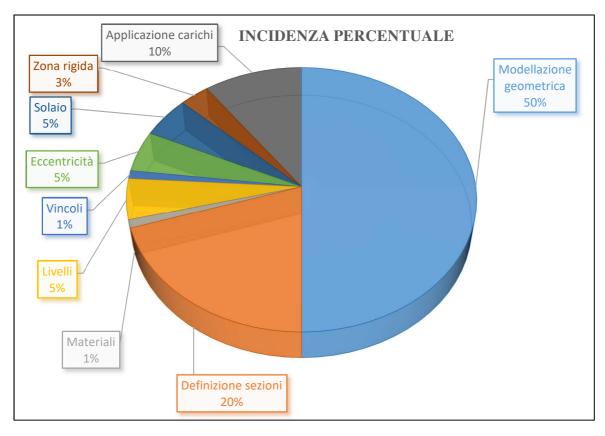


Figura 222. Diagramma incidenza percentuale operazioni sul software di calcolo

8.5.1. Advance Design



Il seguente capitolo è stato svolto da Cristiano Rizzo nella tesi "BIM e interoperabilità con il software di calcolo strutturale Advance Design". I risultati da lei ottenuti sono riportati nella seguente tabella.

Operazioni	Incidenza percentuale operazione	Revit - Software [%]	Revit – Software [% pesata]
Modellazione geometrica	50	80	40
Definizione sezioni	20	100	20
Materiali	1	100	1
Livelli	5	95	4.75
Vincoli	1	100	1
Eccentricità	5	0	0
Solaio	5	0	0
Zona rigida	3	0	0
Applicazione carichi	10	100	10
	TOTALE		76.75

Tabella 55. Percentuale vantaggio utilizzo metodologia BIM

8.5.2. Midas Gen



Vengono riassunti nella seguente tabella le operazioni macroscopiche che riguardano l'interoperabilità. Si valuta una percentuale per quantificare il vantaggio con l'utilizzo della modellazione BIM in riferimento all'operazione considerata.

Operazioni	Incidenza percentuale operazione	Revit - Software [%]	Revit – Software [% pesata]
Modellazione geometrica	50	90	45
Definizione sezioni	20	100	20
Materiali	1	100	1
Livelli	5	100	5
Vincoli	1	0	0
Eccentricità	5	90	4.5
Solaio	5	0	0
Zona rigida	3	0	0
Applicazione carichi	10	0	0
	TOTALE	•	75.50

Tabella 56. Percentuale vantaggio utilizzo metodologia BIM

Nel dettaglio:

- Geometria: tutti gli elementi vengono esportati correttamente, ma per i muri controterra viene creata una mesh in automatico che non è compatibile con la deformazione delle travi. È necessario infittirla manualmente;
- Sezioni: tutte le informazioni collegate vengono esportate perfettamente;
- Materiali: le informazioni relative ai materiali vengono esportate, mappando il materiale di partenza nell'esportazione;
- Livelli: le informazioni relative ai livelli vengono esportate correttamente;
- Vincoli: le fondazioni (plinti, cordoli) non vengono esportate, perciò la percentuale risulta nulla;

- Eccentricità:

Essa può essere affrontata in due modi: attraverso l'introduzione dei link rigidi oppure introducendo degli offset nei singoli elementi. La prima soluzione è interoperabile ma presenta delle limitazioni importanti nell'introduzione dei solai, dovendo creare degli elementi fittizi per creare delle aree chiuse da elementi "Beam". La seconda soluzione non è per nulla interoperabile ma vengono evitati tutti i problemi successivi. Viene scelta la prima soluzione in quanto oggi l'efficienza dell'interoperabilità risulta incompleta, ma in futuro potrebbe essere migliorata con la risoluzione delle problematiche successive;

- Solaio: viene esportato come piastra ma non è possibile definirne un'orditura, perciò si sceglie di inserire l'elemento come area di carico e quindi l'interoperabilità si considera nulla;
- Zona rigida: viene considerata in modo puntuale su alcuni casi particolari attraverso il comando "Beam End Offset", soluzione totalmente non interoperabile;
- Armatura: essa non è interoperabile ed è possibile valutarla solo inserendola direttamente sul software di calcolo.

Capitolo 9 – Conclusioni

L'obiettivo della tesi è stato quello di ispezionare e mappare l'interoperabilità tra il software BIM e i software di calcolo per quanto riguarda aspetti strutturali di un edificio esistente.

Per arrivare ad ottenere un modello BIM da esportare sui software di calcolo sono stati eseguiti tutti i passaggi in chiave BIM, standardizzando al massimo operazioni, dati e rilievi. In questo modo è stata definita una metodologia di lavoro che consente di gestire in maniera più diretta e completa rispetto ad una metodologia tradizionale una grossa mole di informazioni.

Sono stati valutati alcuni aspetti dell'interoperabilità, e per ognuno si valuta la soluzione di modellazione migliore considerando sia la massima interoperabilità possibile sia l'efficienza dell'operazione.

È stata condotta una mappatura di tutto il processo, che ha permesso di trarre delle conclusioni in termini di tempi operativi necessari per l'utilizzo della metodologia BIM anziché quella tradizionale. Dai dati emerge che, nonostante l'interoperabilità sia migliorabile, i benefici superano gli aspetti negativi.

Al momento quindi lo stato dell'interoperabilità nel campo strutturale sembra essere in una fase embrionale, dove si intravedono i presupposti per un'esportazione del modello sul software di calcolo in modo tale da limitare al minimo le operazioni nella fase di post-esportazione. Sono presenti ancora dei limiti, che potrebbero essere risolti con l'implementazione di alcune funzionalità dei software BIM e dei software di calcolo strutturale.

Nonostante le varie criticità riscontrate, le potenzialità del BIM in ambito strutturale sono molteplici, come ad esempio l'utilizzo del modello BIM come archivio di informazioni provenienti da rilievi strutturali. Inoltre, l'efficacia è presente già nella semplice esportazione degli elementi strutturali (geometrie e materiali), che riduce di fatto una grossa parte del lavoro che verrebbe modellato completamente da zero sui software di calcolo.

Non si può pensare infatti che il software BIM possa automatizzare completamente tutte le operazioni, altrimenti verrebbe tolto il controllo delle decisioni prese all'interno del software dall'ingegnere.

Allegato A – Relazione specialistica rilievo strutturale

Progetto della campagna di indagini strutturali in situ Relazione Specialistica

1. INTRODUZIONE

La presente relazione ha lo scopo di definire la progettazione di una campagna di indagini strutturali conoscitive da eseguirsi sulla struttura del fabbricato adibito ad attività scolastiche sito in Via Cecchi n.16-18, a supporto ed integrazione delle informazioni reperite precedentemente all'archivio comunale. Questo al fine di definire il livello di conoscenza del complesso, come previsto dalla procedura di valutazione della sicurezza secondo il D.M. 14/1/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e Circolare esplicativa.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per il progetto delle prove sulla struttura esistente si fa riferimento alle Norme Tecniche delle Costruzioni del 2008 e la circolare allegata (n.617 del 02 febbraio 2009) per quanto riguarda la procedura per la valutazione della sicurezza delle strutture esistenti. Si fa inoltre riferimento alle normative relative alle prove, in particolare a quelle non distruttive, UNI EN 12504-2, UNI EN 12504-3, UNI EN 12504-4.

3. LIVELLI DI CONOSCENZA

Si distinguono tre livelli di conoscenza:

- LC1: Conoscenza Limitata;
- LC2: Conoscenza Adeguata;
- LC3: Conoscenza Accurata.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- Geometria, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali,
- Dettagli strutturali, ossia la quantità e disposizione delle armature, compreso il passo delle staffe e la loro chiusura, per il c.a., i collegamenti per l'acciaio, i collegamenti tra elementi strutturali diversi, la consistenza degli elementi non strutturali collaboranti;
- Materiali, ossia le proprietà meccaniche dei materiali.

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e limitate verifiche in- situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo	Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3	completo	Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

Tabella 57. Allegato A – Livelli di conoscenza per edifici in c.a. o in acciaio

Fonte: Estratto dall'Appendice al Capitolo 8 (C8A) della Circolare n. 617 del 02 Febbraio 2009

Le tipologie di verifiche definite nella tabella soprastante sono dettagliate nella seguente tabella.

Tabella C8A.1.3a – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.						
	Rilievo (dei dettagli costruttivi)(a) Prove (sui materiali) (b)(c)					
	Per ogni tipo di elemento "primario" (trave, pil	astro)				
Verifiche limitate La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi 1 provino di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio						
Verifiche estese	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio				
Verifiche esaustive	3 provini di cls. per 300 m2 di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio					

Tabella 58. Allegato A - Livelli di rilievo e prove per edifici in c.a.

Fonte: Estratto da Circolare n. 617 del 02 Febbraio 2009

Verrà individuato il livello di conoscenza dopo la campagna di indagini.

4. TIPOLOGIE DI PROVE ESEGUITE

Le prove possono essere distruttive o non distruttive, in questo caso si utilizzeranno quelle non distruttive. Le prove non distruttive utilizzate sono le prove sclerometriche e pacometriche.

5. PIANO DELLE INDAGINI

Le verifiche in-situ sono effettuate su un'opportuna percentuale degli elementi strutturali primari per ciascuna tipologia di elemento (travi, pilastri, pareti...) privilegiando comunque gli elementi che svolgono un ruolo più critico nella struttura, quali generalmente i pilastri.

Le prove dovranno essere svolte su un numero di elementi tale da verificare le prescrizioni definite nella tabella precedente. Nella struttura in oggetto saranno indagati solo gli elementi pilastri strutturali.

È possibile indagare, per quanto riguarda la mappatura della posizione delle armature mediante rilievo pacometrico:

- 19 elementi nell'edificio 1 (9% valutati);
- 18 elementi nell'edifico 2 (9% valutati);
- 24 elementi nell'edificio 3 (9% valutati).

	EDIFICIO 1					
Num.	Contrassegno di posizione pilastro	Livello di base	Livello superiore	Pacometro		
1	40-52	PT	01	Si		
2	41-47	PT	01	Si		
3	41-47	01	02	Si		
4	41-47	02	03	Si		
5	41-49	PT	01	Si		
6	41-49	01	02	Si		
7	41-50	01	02	Si		
8	41-50	02	03	Si		
9	42-49	PT	01	Si		
10	43-47	PT	01	Si		
11	43-47	01	02	Si		
12	43-47	02	03	Si		
13	43-49	01	02	Si		
14	43-50	01	02	Si		
15	45-49	01	02	Si		
16	45-49	02	03	Si		
17	45-50	PT	01	Si		

18	45-50	01	02	Si
19	45-50	02	03	Si
	9			

Tabella 59. Allegato A - Pilastri indagati edificio 1 prova pacometrica

	EDIFICIO 2					
Num.	Contrassegno di posizione pilastro	Livello di base	Livello superiore	Pacometro		
1	55-66	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si		
2	57-63	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si		
3	57-65	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si		
4	57-65	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si		
5	57-66	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si		
6	57-66	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si		
7	58-63	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si		
8	58-65	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si		
9	58-65	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si		
10	58-65	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si		
11	59-63	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si		
12	59-65	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si		
13	59-65	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si		
14	59-66	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si		
15	59-66	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si		
16	61-65	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si		
17	61-65	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si		
18	61-65	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si		
	TOTA	LE VALUTATI [%]	9		

Tabella 60. Allegato A - Pilastri indagati edificio 2 prova pacometrica

	EDIFICIO 3						
Num.	Contrassegno di posizione pilastro	Livello di base Livello superiore		Pacometro			
1	82-91	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si			
2	82-91	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si			
3	82-91	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si			
4	83-89	L0.69_PT_Ed3	L_3.68_01_Ed2	Si			
5	83-91	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si			
6	83-91	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si			
7	83-92	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si			
8	83-92	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si			
9	84-89	L0.69_PT_Ed3	L_3.68_01_Ed2	Si			

	ТОТА	LE VALUTATI [%]	9
24	88-91	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
23	87-92	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si
22	87-91	L0.32_PT_Ed2	L_3.68_01_Ed2	Si
21	86-95	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
20	86-94	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
19	86-90	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
18	85-93	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
17	85-92	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
16	85-92	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si
15	85-91	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si
14	85-91	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si
13	85-90	S1	L0.32_PT_Ed2	Si
12	85-89	L0.69_PT_Ed3	L_3.68_01_Ed2	Si
11	84-91	L_7.18_02_Ed2	L_10.28_03_Ed2	Si
10	84-91	L_3.68_01_Ed2	L_7.18_02_Ed2	Si

Tabella 61. Allegato A – Pilastri indagati edificio 3 prova pacometrica

È possibile indagare, per quanto riguarda la prova sclerometrica: 7 elementi nell'edificio 3 (3% valutati).

	EDIFICIO 3							
Num.	Contrassegno di posizione pilastro	Livello di base	Livello superiore	Sclerometro				
1	85-90	S1	L0.32_PT_Ed2	Si				
2	85-92	S1	L0.32_PT_Ed2	Si				
3	85-93	S1	L0.32_PT_Ed2	Si				
4	86-90	S1	L0.32_PT_Ed2	Si				
5	86-94	S1	L0.32_PT_Ed2	Si				
6	86-95	S1	L0.32_PT_Ed2	Si				
7	88-91	S1	L0.32_PT_Ed2	Si				
	TOTALE VALU	TATI [%]		3				

Tabella 62. Allegato A – Pilastri indagati edificio 3 prova sclerometrica

La posizione degli elementi indagati è definita nelle tavole presenti in conclusione alla presente relazione.

6. RISULTATI PROVE SCLEROMETRICHE

Per quanto riguarda la prova sclerometrica, è stato possibile analizzare 7 pilastri non intonacati al piano seminterrato dell'edificio 3. Agli altri piani dell'edificio 3 e degli altri edifici non sono state eseguite prove sclerometriche a causa della presenza dell'intonaco.

Dall'indice di rimbalzo medio si ottiene la resistenza a compressione cubica media del calcestruzzo. Da quest'ultimo vengono ricavati la resistenza a compressione cilindrica media e il modulo elastico, attraverso le formule fornite nel Capitolo 11 delle NTC 2008 (uguali a quelle riportate sulle NTC 2018).

CAR	CARATTERISTICHE MECCANICHE							
Num.	R _{cm} [N/mm ²]	f _{cm} [N/mm ²]	E _{cm} [N/mm ²]					
27	45.3	37.6	32735					
42	39.7	33.0	31468					
33	41.2	34.2	31825					
A	35.6	29.6	30455					
11	32.5	27.0	29638					
14	33.1	27.5	29785					
18	38.0	31.6	31060					

Tabella 63. Allegato A - Caratteristiche meccaniche da analisi dei dati prova sclerometrica

L'elemento pilastro con contrassegno 27 è stato oggetto di indagini precedenti, i cui risultati sono: **25,9 N/mm²** (prova eseguita in data 14/09/2012).

Altro elemento di confronto è la carpenteria, da cui risulta una resistenza pari a 25,00 N/mm².

I valori ottenuti sono maggiori rispetto a quelli ricavati da prove fatte precedentemente e dalle tavole di carpenterie, si ritengono quindi verificate le proprietà del materiale.

7. RISULTATI PROVE PACOMETRICHE

Sono stati confrontati gli schemi di armatura rilevati in sito con i disegni di carpenteria reperiti in archivio.

L'inserimento in una di queste tre categorie segue le seguenti tolleranze:

TOLLERANZA COPRIFERRO STAFFE	±15 mm
TOLLERANZA COPRIFERRO BARRE	±20 mm
TOLLERANZA INTERASSE BARRE	±50 mm
TOLLERANZA INTERASSE STAFFE	±50 mm

Tabella 64. Allegato A – Tolleranza per l'analisi dei dati prova pacometrica

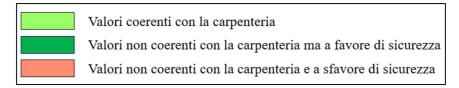


Figura 223. Allegato A - Legenda risultati prova pacometrica

	EDIFICIO 1						
Contrassegno	Livello di riferimento	Numero barre	c' medio barra	c' medio staffa	s medio barra	s medio staffa	
35	PT ED1	4	40.0 mm	40.0 mm	200.0 mm	145.0 mm	
4	PT ED1	4	27.0 mm	26.0 mm	200.0 mm	170.0 mm	
17	PT ED1	4	33.0 mm	32.0 mm	200.0 mm	145.0 mm	
22	PT ED1	4	34.0 mm	26.5 mm	180.0 mm	190.0 mm	
23	PT ED1	4	28.0 mm	29.0 mm	210.0 mm	165.0 mm	
6	PT ED1	4	30.0 mm	24.0 mm	230.0 mm	165.0 mm	
6	01 ED1	4	48.0 mm	38.0 mm	210.0 mm	155.0 mm	
4	01 ED1	4	39.0 mm	35.0 mm	190.0 mm	140.0 mm	
35	01 ED1	4	46.5 mm	41.0 mm	200.0 mm	175.0 mm	
33	01 ED1	4	31.0 mm	24.5 mm	230.0 mm	190.0 mm	
31	01 ED1	4	46.5 mm	37.0 mm	200.0 mm	155.0 mm	
26	01 ED1	1/125mm	53.0 mm	50.0 mm	125.0 mm	180.0 mm	
4	02 ED1	4	36.0 mm	29.0 mm	210.0 mm	170.0 mm	
6	02 ED1	4	36.0 mm	29.0 mm	210.0 mm	140.0 mm	
31	02 ED1	4	38.0 mm	42.0 mm	200.0 mm	150.0 mm	
35	02 ED1	4	29.5 mm	21.5 mm	200.0 mm	150.0 mm	
26	02 ED1	1/185mm	37.0 mm	41.0 mm	185.0 mm	175.0 mm	
22	01 ED1	6	31.0 mm	29.0 mm	105.0 mm	140.0 mm	
24	01 ED1	4	35.0 mm	34.0 mm	200.0 mm	135.0 mm	
TOTAI	LE VALUTA	TI E VER	RIFICATI CON	CARPENTER	RIA [%]	9	

Tabella 65. Allegato A – Risultati prova pacometrica edificio 1

	EDIFICIO 2					
Contrassegno	Livello di riferimento	Numero barre	c' medio barra	c' medio staffa	s medio barra	s medio staffa
4	PT ED2	6	35.0 mm	38.0 mm	110.0 mm	94.0 mm
5	PT ED2	9	30.0 mm	33.0 mm	115.0 mm	143.0 mm
6	PT ED2	6	26.8 mm	34.5 mm	110.0 mm	155.0 mm
26	PT ED2	4	34.0 mm	39.0 mm	220.0 mm	150.0 mm
24	PT ED2	6	37.0 mm	35.0 mm	240.0 mm	117.0 mm
23	PT ED2	10	39.0 mm	32.0 mm	120.0 mm	127.0 mm
22	PT ED2	8	28.0 mm	22.0 mm	155.0 mm	170.0 mm
26	01 ED2	4	39.0 mm	48.0 mm	210.0 mm	150.0 mm
33	01 ED2	4	45.5 mm	47.0 mm	190.0 mm	120.0 mm
31	01 ED2	4	48.0 mm	48.0 mm	190.0 mm	155.0 mm
29	01 ED2	4	42.0 mm	41.0 mm	175.0 mm	127.0 mm
24	01 ED2	4	40.0 mm	41.0 mm	190.0 mm	150.0 mm
23	01 ED2	4	43.0 mm	40.0 mm	190.0 mm	160.0 mm

22	01 ED2	4	48.5 mm	53.5 mm	200.0 mm	160.0 mm
33	02 ED2	4	40.0 mm	40.0 mm	220.0 mm	150.0 mm
31	02 ED2	4	40.0 mm	46.0 mm	200.0 mm	150.0 mm
23	02 ED2	4	41.0 mm	38.0 mm	200.0 mm	160.0 mm
26	02 ED2	4	40.0 mm	40.0 mm	210.0 mm	150.0 mm
TOTALE VALUTATI E VERIFICATI CON CARPENTERIA [%]					9	

Tabella 66. Allegato A – Risultati prova pacometrica edificio 2

EDIFICIO 3						
Contrassegno	Livello di riferimento	Numero barre	c' medio barra	c' medio staffa	s medio barra	s medio staffa
60	PT ED3	1/200mm	45.0 mm	39.0 mm	200.0 mm	170.0 mm
4	PT ED3	4	34.4 mm	42.0 mm	160.0 mm	80.0 mm
5	PT ED3	4	29.0 mm	32.0 mm	225.0 mm	140.0 mm
6	PT ED3	4	50.5 mm	47.0 mm	220.0 mm	160.0 mm
26	PT ED3	4	46.0 mm	52.0 mm	190.0 mm	190.0 mm
33	01 ED3	8	35.0 mm	42.0 mm	116.0 mm	80.0 mm
31	01 ED3	16	39.0 mm	32.0 mm	58.0 mm	30.0 mm
22	01 ED3	12	43.0 mm	42.0 mm	42.0 mm	80.0 mm
23	01 ED3	8	45.0 mm	37.0 mm	45.0 mm	35.0 mm
24	01 ED3	4	42.0 mm	56.0 mm	200.0 mm	40.0 mm
60	01 ED3	1/200mm	49.0 mm	33.0 mm	200.0 mm	200.0 mm
35	02 ED3	4	24.0 mm	18.0 mm	160.0 mm	140.0 mm
22	02 ED3	8	41.0 mm	40.0 mm	80.0 mm	97.0 mm
23	02 ED3	8	25.0 mm	31.0 mm	70.0 mm	80.0 mm
24	02 ED3	8	39.0 mm	42.0 mm	60.0 mm	60.0 mm
60	02 ED3	1/100mm	39.0 mm	30.0 mm	100.0 mm	150.0 mm
27	S1 ED3	6	44.0 mm	41.0 mm	160.0 mm	150.0 mm
18	S1 ED3	9	44.0 mm	39.0 mm	110.0 mm	180.0 mm
14	S1 ED3	15	43.0 mm	38.0 mm	124.0 mm	150.0 mm
11	S1 ED3	9	40.0 mm	54.0 mm	105.0 mm	130.0 mm
А	S1 ED3	9	38.0 mm	38.0 mm	106.0 mm	160.0 mm
33	S1 ED3	4	37.0 mm	29.0 mm	260.0 mm	170.0 mm
42	S1 ED3	6	37.0 mm	24.0 mm	165.0 mm	150.0 mm
TOTALE VALUTATI E VERIFICATI CON CARPENTERIA [%]				9		

Tabella 67. Allegato A – Risultati prova pacometrica edificio 3

Le percentuali di pilastri verificati sono le stesse di quelle dei pilastri indagabili, ipotizzando verificato l'elemento che presenta un numero di barre uguale o superiore al valore da carpenteria.

8. CONCLUSIONI

Nel caso in esame possono essere svolte solo prove strutturali sui pilastri. Le percentuali di elementi indagati e verificati sono:

PROVA PACOMETRICA				
EDIFICI	Elementi indagati e verificati [%]	Elementi da indagare per normativa [%]		
Edificio 1	9	15		
Edificio 2	9	15		
Edificio 3	9	15		

Tabella 68. Allegato A – Elementi indagati e verificati in percentuale per la prova pacometrica

PROVA SCLEROMETRICA				
EDIFICI	Elementi indagati e verificati [%]	Elementi da indagare per normativa [%]		
Edificio 1	0	15		
Edificio 2	0	15		
Edificio 3	3	15		

Tabella 69. Allegato A – Elementi indagati e verificati in percentuale per la prova sclerometrica

Non viene raggiunta la percentuale di elementi indagati, ma comunque tutti gli elementi che è stato possibile indagare risultano verificati.

Si ipotizza quindi di rientrare nel Livello di Conoscenza Adeguata (LC2) effettuando limitate verifiche in situ. Il Livello di conoscenza Adeguata presenta le seguenti caratteristiche (citate direttamente dalla "*Circolare n. 617 del 02 Febbraio 2009*"):

"Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

Dettagli costruttivi: i dettagli sono noti da un'estesa verifica in-situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti. In quest'ultimo caso viene effettuata una limitata verifica in situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Proprietà dei materiali: informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche

in-situ. Nel primo caso sono anche eseguite limitate prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite estese prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

La valutazione della sicurezza nel caso di conoscenza adeguata è eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici."

Il Fattore di Confidenza legato al livello di conoscenza raggiunto è 1,20. Le resistenze medie, ottenute dalle prove in situ e dalle informazioni aggiuntive, sono divise per i Fattori di Confidenza.

CARATTERISTICHE MECCANICHE MEDIE				
Num.	R _{cm} [N/mm ²]	$f_{cm} [N/mm^2]$	E _{cm} [N/mm ²]	
27	45.3	37.6	32735	
42	39.7	33.0	31468	
33	41.2	34.2	31825	
A	35.6	29.6	30455	
11	32.5	27.0	29638	
14	33.1	27.5	29785	
18	38.0	31.6	31060	

Tabella 70. Allegato A - Caratteristiche meccaniche ottenute dalla prova sclerometrica

CARATTERISTICHE MECCANICHE				
Num.	R _{cm} [N/mm ²]	f _{cm} [N/mm ²]	E _{cm} [N/mm ²]	
27	37.8	31.3	30993	
42	33.1	27.5	29793	
33	34.4	28.5	30131	
A	29.7	24.6	28834	
11	27.1	22.5	28060	
14	27.6	22.9	28199	
18	31.7	26.3	29406	

Tabella~71.~Allegato~A~-~Calcolo~delle~caratteristiche~meccaniche~medie~divise~per~i~fattori~di~confidenza

Riducendo i valori delle resistenze medie si ottengono dei valori comunque superiori a quelli del progetto originale, con un valore medio pari a **26,2 MPa**. I valori non risultano rappresentativi dell'intera struttura, si ipotizza quindi di utilizzare i valori di progetto (**25 MPa**) come caratteristiche meccaniche dei materiali.

Bibliografia

"BIM verso il catasto del futuro" di Osello A. e Ugliotti F.

"IL BIM STRUTTURALE. LINK REVIT-MIDAS" di CSPFea, Orienta e Trium

"Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14 Gennaio 2008

"Circolare Allegata n. 617 del 2 Febbraio 2009" Allegato alle Norme Tecniche per le costruzioni

Sitografia

https://knowledge.autodesk.com/it/

http://www.ingenio-web.it/3370-il-bim-per-il-calcolo-strutturale---parte-1

https://www.bimportale.com/giovani-esperti-di-bim-crescono-al-politecnico-di-torino/

https://www.bimportale.com/software/strutture/

http://www.travilog.it/

http://www.stadata.com/?area=Software&table=AxisVM_Introduzione&mnu=249

http://www.csi-italia.eu/software/sap2000/

https://it.graitec.com/advance-design/

http://www.cspfea.net/portfolio_page/midas-gen-fx/

https://www.youtube.com/watch?v=NLEeyUjm14I&feature=youtu.be