

**POLITECNICO DI MILANO**  
Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura  
Polo territoriale di Lecco



**FARE CENTRO**

**PROGETTO DI UN QUARTIERE ECOSOSTENIBILE, L'AQUILA**

Relatore: Prof. Arch. Massimo Tadi  
Co-relatori: Prof. Ing. Gabriele Masera  
Prof. Ing. Matteo Colombo  
Arch. Marco Camplani

**Elaborato di laurea di:**

Elena Galizzi matr.678106  
Giulia Lopez matr. 677621  
Viviana Santoro matr.678174

**Anno accademico 2011/2012**



## INDICE

<b>FARE CENTRO</b> .....	<b>1</b>
<b>PROGETTO DI UN QUARTIERE ECOSOSTENIBILE, L'AQUILA</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITOLO PRIMO</b> .....	<b>6</b>
<b>L'AQUILA: IL TERRITORIO E LA STORIA</b> .....	<b>6</b>
1.1 Il territorio .....	7
1.2 Le origini .....	8
1.3 Evoluzione della città nei secoli .....	10
1.4 Sismicità dell'area aquilana .....	17
1.5 Terremoti storici nell'area colpita dal sisma del 6 aprile 2009 .....	19
1.5.1 I terremoti del Medioevo .....	20
1.5.2 Il terremoto del 1461 .....	21
1.6 Il paesaggio naturale .....	23
1.7 L'espansione urbanistica .....	23
1.8 Struttura socio-economica .....	27
1.9 Patrimonio culturale abruzzese .....	27
1.9.1 Tessuti urbani dei borghi medievali abruzzesi.....	28
1.9.2 I materiali.....	29
1.9.3 Le tecniche costruttive .....	30
<b>CAPITOLO SECONDO</b> .....	<b>33</b>
<b>IL TERREMOTO E L'EMERGENZA INSEDIATIVA</b> .....	<b>33</b>
2.1 Definizione .....	32
2.2 Organi che governano l'emergenza, La Protezione Civile .....	32
2.2.1 I Comuni.....	35
2.2.2 Le Province.....	35
2.2.3 Le Regioni.....	36
2.3 Osservazioni.....	37
2.4 Procedure e modalità di intervento, per la gestione della prima emergenza .....	37
2.5 Esigenze della popolazione .....	39
2.6 Esigenze delle Istituzioni .....	40
2.7 Prevenzione .....	41
2.7.1 Ruolo dell'emergenza nella pianificazione urbanistica.....	41
2.7.2 Osservazioni.....	42
2.8 Prevenzione e criteri guida per l'individuazione di aree per insediamenti in fase di emergenza .....	42
<b>CAPITOLO TERZO</b> .....	<b>47</b>
<b>IL POST TERREMOTO</b> .....	<b>47</b>
3.1 Il pre-terremoto: pericolosità sismica, normativa e zone sismiche nell'Aquilano.....	48
3.2 Il post-terremoto .....	51
3.3 La ricostruzione: il progetto C.A.S.E. ....	53
3.4 Critiche al progetto C.A.S.E. ....	54
3.5 Osservazioni.....	60

<b>CAPITOLO QUARTO</b> .....	<b>61</b>
<b>LE ANALISI</b> .....	<b>61</b>
4.1 Analisi criticità .....	62
4.2 Analisi dei servizi diffusi.....	63
4.3 Analisi dei servizi principali e tempi di percorrenza .....	63
4.4 Osservazioni.....	64
4.5 Le statistiche dei casi analoghi .....	65
4.6 La parola agli aquilani .....	66
4.6.1 Osservazioni.....	68
4.7 Analisi e lettura del centro storico .....	68
4.8 Il centro storico e lettura morfologica .....	69
4.9 Gli spazi pubblici: I giardini e i parchi urbani.....	72
4.10 Analisi FDOM .....	74
4.10.1 Prima Analisi FDOM .....	75
4.10.2 Individuazione dell'area di progetto .....	82
4.10.3 Il "perché" della scelta dell'area .....	83
4.10.4 Seconda analisi FDOM.....	85
4.11 Scheda di progetto Obiettivi&Strategie .....	88
4.12 Rilievo fotografico.....	91
<b>CAPITOLO QUINTO</b> .....	<b>96</b>
<b>IL MASTERPLAN</b> .....	<b>96</b>
5.1 Rapporto con il contesto.....	97
5.1.1 Stato attuale .....	97
5.1.2 L'isolato di riferimento .....	98
5.1.3 Le relazioni con l'esterno .....	101
5.2 Area di progetto.....	102
5.2.1 Organizzazione del tessuto.....	102
5.2.2 I percorsi .....	104
5.2.3 Percorsi carrabili .....	105
5.2.4 Analisi e insediamento: Le funzioni .....	107
5.2.5 Nuove costruzioni .....	110
5.2.6 Spazi verdi.....	112
5.2.7 Il sistema di piazze .....	113
5.2.8 Conclusioni .....	115
5.3 Strategie e filosofia progettuale .....	116
5.3.1 Lo spazio pubblico.....	116
5.3.2 Sicurezza di quartiere.....	117
5.4 Masterplan .....	118
5.4.1 I percorsi .....	118
5.4.2 Il parcheggio .....	119
5.4.3 Biblioteca .....	119
5.4.4 Impianto sportivo.....	119
5.4.5 Edificio commerciale .....	121
5.4.6 La residenza .....	123
5.4.7 Tipologia: Casa in linea .....	124

<b>5.5 Il metodo</b> .....	<b>125</b>
5.5.1 Esigenze-Requisiti Sociali.....	126
5.5.2 Esigenze-Requisiti Economici.....	126
5.5.3 Esigenze-Requisiti Ambientali.....	127
<b>CAPITOLO SESTO</b> .....	<b>128</b>
<b>IL PROGETTO ARCHITETTONICO</b> .....	<b>128</b>
<b>6.1 Premesse sul “Social-Housing”</b> .....	<b>129</b>
6.1.1 Caratteristiche della nuova filosofia “Social” .....	129
6.1.2 Finalità e criteri progettuali dell’housing sociale.....	132
6.1.3 Le esigenze dell’utenza.....	133
<b>6.2 Riferimenti progettuali</b> .....	<b>138</b>
<b>6.3 Conclusioni</b> .....	<b>147</b>
<b>6.4 Scheda di progetto: Obiettivi &amp; Strategie</b> .....	<b>148</b>
<b>6.5 Introduzione (Social housing)</b> .....	<b>149</b>
<b>6.6 La residenza</b> .....	<b>150</b>
<b>6.7 Il vano scala</b> .....	<b>150</b>
6.7.1 Servizi integrativi per l’abitare .....	151
<b>6.8 Il sistema di serre</b> .....	<b>151</b>
<b>6.9 La “pelle” dell’edificio</b> .....	<b>152</b>
<b>6.10 Il ballatoio</b> .....	<b>152</b>
<b>6.11 I pergolati</b> .....	<b>153</b>
<b>6.12 Il modulo</b> .....	<b>154</b>
<b>6.13 La copertura</b> .....	<b>155</b>
<b>6.14 Riconoscibilità degli alloggi</b> .....	<b>155</b>
<b>6.15 Pluralità dei profili d’utenza</b> .....	<b>155</b>
<b>6.16 Adozione del sistema S/R</b> .....	<b>156</b>
<b>6.17 Modello progettuale adottato</b> .....	<b>157</b>
<b>6.18 Residenze private</b> .....	<b>158</b>
<b>CAPITOLO SETTIMO</b> .....	<b>159</b>
<b>ANALISI CLIMATICHE</b> .....	<b>159</b>
7.1 Introduzione.....	160
7.2 Contesto climatico de L’Aquila.....	160
7.3 Temperatura .....	161
7.4 Precipitazioni .....	166
7.5 Umidità relativa .....	167
7.6 Vento .....	170
7.7 Radiazione solare .....	171
7.8 Conclusioni.....	172
<b>CAPITOLO OTTAVO</b> .....	<b>173</b>
<b>IL PROGETTO TECNOLOGICO E LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE</b> .....	<b>173</b>
8.1 Premesse sulla sostenibilità ambientale .....	174
8.2 Strategie per l’efficienza energetica dell’edificio .....	175
8.3 Strategie adottate nel progetto .....	176
8.4 L’involucro edilizio: scelta della tecnologia struttura/rivestimento.....	177

8.4.1 C.V.O.1 Chiusura verticale opaca con fibrocemento .....	180
8.4.2 C.V.O.2 Chiusura verticale opaca di divisione vano scala/appartamento .....	181
8.4.3 C.V.O.3 Chiusura verticale opaca con gabion-wall .....	182
8.4.4 C.V.O.4 Chiusura verticale opaca - Muro conto-terra .....	187
8.4.5 C.I.S.1 Copertura inclinata superiore con pannelli fotovoltaici.....	188
8.4.6 C.O.1 Chiusura orizzontale inferiore – Solaio contro terra .....	189
8.4.7 C.O.2 Chiusura orizzontale inferiore – Solaio su spazi aperti.....	190
8.4.8 C.O.3 Chiusura orizzontale superiore – Copertura praticabile .....	191
8.4.9 C.O.4 Chiusura orizzontale superiore – Tetto giardino.....	192
8.4.10 P.V.1 Partizione verticale.....	193
8.4.11 P.V.2 Partizione verticale.....	194
8.4.12 P.O.1 Partizione orizzontale .....	195
<b>8.5 Dettagli costruttivi .....</b>	<b>196</b>
<b>CAPITOLO NONO.....</b>	<b>197</b>
<b>BILANCIO ENERGETICO E PREDISPOSIZIONE IMPIANTISTICA .....</b>	<b>197</b>
<b>9.1 Quadro normativo di riferimento .....</b>	<b>198</b>
9.1.1 La normativa europea: dalla direttiva 2002/91/CE alla 2010/31/UE .....	198
9.1.2 La normativa nazionale: il d.lgs. 192/05 ed i suoi decreti attuativi.....	199
<b>9.2 Calcolo del fabbisogno energetico dell’edificio.....</b>	<b>200</b>
9.2.1 Dispersioni per trasmissione .....	201
9.2.1.1 Dispersione attraverso serra solare .....	204
9.2.2 Dispersioni per ventilazione .....	207
9.2.3 Apporti di calore dovuti ad apparecchiature elettriche e persone .....	208
9.2.4 Apporti solari attraverso le strutture trasparenti esterne .....	209
9.2.5 Apporti solari attraverso le strutture opache esterne.....	214
9.2.6 Apporti solari attraverso spazi soleggiati .....	218
9.2.6.1 Apporto solare indiretto attraverso serra solare .....	218
9.2.6.2 Apporto solare diretto attraverso serra solare .....	219
9.2.7 Bilancio energetico dell’edificio.....	220
9.2.7.1 Equazione di bilancio invernale (senza serra).....	220
9.2.7.2 Equazione di bilancio invernale (compresa la serra).....	223
9.2.7.3 Equazione di bilancio estivo .....	224
9.2.8 Calcolo della temperatura nella serra solare .....	227
<b>9.3 Predisposizione impiantistica .....</b>	<b>228</b>
9.3.1 Fabbisogno di energia elettrica per elettrodomestici e illuminazione .....	229
9.3.2 VMC con recupero di calore .....	231
9.3.3 Pompa di calore .....	238
9.3.4 Impianto fotovoltaico.....	243
<b>9.4 Conclusioni.....</b>	<b>246</b>
<b>CAPITOLO DECIMO.....</b>	<b>247</b>
<b>ILLUMINOTECNICA.....</b>	<b>247</b>
<b>10.1 Premessa.....</b>	<b>248</b>
<b>10.2 Luce naturale .....</b>	<b>249</b>
<b>10.3 Fattore di luce diurna (FLD).....</b>	<b>250</b>
<b>10.4 Illuminamento .....</b>	<b>251</b>

<b>10.5 Strategie progettuali .....</b>	<b>252</b>
<b>10.6 Analisi illuminotecnica .....</b>	<b>255</b>
<b>10.7 Calcolo dei valori di illuminamento.....</b>	<b>258</b>
10.7.1 Zona soggiorno appartamento 1 .....	258
10.7.2 Zona soggiorno appartamento 2 .....	263
10.7.3 Zona comune – Sala lettura .....	268
<b>CAPITOLO UNDICESIMO .....</b>	<b>274</b>
<b>LE STRUTTURE E IL PROBLEMA SISMICO .....</b>	<b>274</b>
<b>11.1 Obiettivi del capitolo.....</b>	<b>275</b>
<b>11.2 Sismicità nel panorama italiano .....</b>	<b>279</b>
<b>11.3 Il rischio sismico .....</b>	<b>280</b>
<b>11.4 Il Terremoto dell’Abruzzo .....</b>	<b>282</b>
<b>11.5 La scelta del materiale: Considerazioni generali .....</b>	<b>287</b>
11.5.1 Tipologia di acciaio e coefficienti .....	290
<b>11.6 Linee guida per la progettazione di edifici in zona sismica.....</b>	<b>291</b>
<b>11.7 Caratteri generali del progetto strutturale .....</b>	<b>292</b>
<b>11.8 Sicurezza e prestazioni attese: Vita nominale dell’opera .....</b>	<b>292</b>
<b>11.9 Azioni agenti .....</b>	<b>293</b>
11.9.1 Carichi permanenti strutturali .....	293
11.9.2 Carichi permanenti non strutturali .....	293
11.9.3 Carichi variabili.....	299
11.9.4 Azione del vento .....	301
11.9.5 Azione della neve .....	312
<b>11.10 Dimensionamento e verifica dei solai .....</b>	<b>349</b>
<b>11.11 Analisi delle sollecitazioni per il dimensionamento e verifica degli elementi strutturali .....</b>	<b>353</b>
<b>11.12 Le travi, svolgimento delle verifiche .....</b>	<b>355</b>
11.12.1 Resistenza di calcolo.....	355
11.12.2 Verifiche allo stato limite di servizio .....	355
11.12.3 Le verifiche richieste dalla normativa e limiti di deformabilità .....	356
11.12.4 Verifiche allo stato limite ultimo.....	357
11.12.5 Predimensionamento travi secondarie .....	358
11.12.6 Verifiche allo SLE .....	364
11.12.7 Verifiche allo SLU.....	369
11.12.8 Verifica di stabilità.....	374
11.12.9 Predimensionamento travi primarie .....	379
11.12.10 Verifiche allo SLE .....	381
11.12.11 Verifiche allo SLU.....	386
11.12.12 Verifica di stabilità.....	390
<b>11.13 Verifiche dei pilastri .....</b>	<b>393</b>
11.13.1 Predimensionamento pilastri (SLU) .....	393
11.13.2 Verifica della stabilità della sezione dei pilastri.....	396
<b>11.14 Dimensionamento e verifica delle travi del ballatoio, dimensionamento del tirante e verifica del pilastro di bordo .....</b>	<b>399</b>
<b>11.15 Unioni bullonate per strutture in zona sismica .....</b>	<b>405</b>

11.15.1 Dimensionamento e verifica dei giunti tra travi principali e travi secondarie: sezione di attacco tra angolare e anima della secondaria .....	406
11.15.2 Dimensionamento e verifica dei giunti tra travi e colonne: sezione di attacco tra angolare e anima della trave.....	413
<b>11.16 Controventi .....</b>	<b>416</b>
11.16.1 Determinazione baricentro delle masse e baricentro delle rigidzze .....	416
11.16.2 Sollecitazioni agenti sul nucleo di controvento .....	419
11.16.3 Verifica della sezione corrente .....	420
11.16.4 Verifiche di resistenza- Azioni normali.....	422
11.16.5 Dimensionamento delle armature.....	423
<b>11.17 Dimensionamento e verifiche: Trave rovescia di fondazione .....</b>	<b>426</b>
<b>CAPITOLO DODICESIMO .....</b>	<b>433</b>
<b>IL PROGETTO ERGOTECNICO .....</b>	<b>433</b>
<b>12.1 Premessa.....</b>	<b>434</b>
12.1.1 Analisi delle competenze.....	434
<b>12.2 Spazi di pertinenza del cantiere .....</b>	<b>437</b>
<b>12.3 Fasi di vita del cantiere .....</b>	<b>444</b>
12.3.1 Approfondimento FASE 3 .....	447
<b>12.4 Stima dei tempi di realizzazione dell'edificio tipo.....</b>	<b>448</b>
<b>Conclusioni .....</b>	<b>449</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>452</b>
<b>Siti Internet.....</b>	<b>454</b>
<b>Normative Nazionali ed Europee .....</b>	<b>455</b>
<b>Indice delle figure .....</b>	<b>457</b>
<b>Indice delle Schede .....</b>	<b>466</b>
<b>Indice delle Tavole .....</b>	<b>467</b>
<b>Ringraziamenti.....</b>	<b>469</b>

## Abstract

### “FARE CENTRO” Progetto di un quartiere ecosostenibile, L’Aquila

Fare Centro, cogliere il bersaglio, ma anche configurare un ambiente con il quale tutti hanno qualche relazione e, per definizione, attrattivo. In entrambi i sensi fare centro vuole essere l’imperativo sotteso all’intervento di trasformazione e valorizzazione qui presentato.

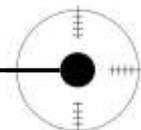
Progettare non è cosa facile. Immaginare ciò che si vuole realizzare e concepirne la forma, la scala dimensionale e le proporzioni richiede fantasia e concretezza insieme, e lascia al progettista la responsabilità di fare scelte e realizzare qualcosa per conto di tutta la comunità.

La tesi di laurea ha come tema la progettazione di un’area di 160.000 m<sup>2</sup> sita a ridosso del centro de L’Aquila, attualmente destinata a verde attrezzato, ma con possibilità di edificazione.

Particolare attenzione è stata riservata alla ricognizione storica, all’individuazione degli attori operanti nell’area, alla raccolta dei dati demografici, economici e sociali, in vista di un intervento progettuale per quanto possibile realistico e quindi attuabile ed apprezzabile. L’obiettivo che ci si è prefissati è quello di trasformare l’area in un polo di attrazione urbano mediante:

- la sua integrazione armonica in un sistema urbano consolidato da secoli, di cui se ne rispettano le regole, i ritmi, i tracciati;
- la progettazione di migliorie del sistema infrastrutturale per permettere una più facile accessibilità e fruizione del sito;
- la valorizzazione di alcune peculiarità ambientali: esposizione, scorci suggestivi sul cuore della città antica e sulla catena montuosa del Gran Sasso, dislivelli, percorsi verdi;
- l’insediamento preferenziale di funzioni artistiche e ricreative e la realizzazione di nuovi edifici a carattere terziario: centro polifunzionale, piazza del mercato, edificio commerciale, polo sportivo- ricreativo, zona gioco per i più piccoli, luoghi di ritrovo e di culto per i più anziani;
- la progettazione al dettaglio di tredici blocchi residenziali che, pur avendo la stessa impronta architettonica, possiedono ciascuno la propria identità dettata dalla varietà cromatica, dall’adagiamento sulle diverse curve di livello, dall’esposizione, dalla destinazione “social” o “privata”.

Tale intervento è destinato a quella parte di popolazione più sfortunata colpita dal disastroso sisma verificatosi nell’aprile del 2009, attualmente insediata in tre delle diciannove New Town del progetto C.A.S.E. che presentano evidenti e inesorabili criticità sotto ogni fronte: sociale (assenza di luoghi di aggregazione e socializzazione), civile (assenza dei principali servizi commerciali e di prima necessità), urbano (astrazione da tutto ciò che concerne la cultura e la



tradizione aquilana), ambientale (occupazione di lotti agricoli). Tale entità di popolazione, pari a circa 500 persone di ogni età, sesso e astrazione sociale, coincide inoltre con la parte di popolazione tutt'oggi, a distanza di tre anni dalla catastrofe, ancora ospitata in alloggi di fortuna, habitat temporanei, alberghi. Questo conferisce al progetto una duplice chiave di lettura: dismissione delle tre New Town individuate e re-insediamento nel nuovo quartiere; oppure intervento edilizio a sé stante che vada a soddisfare le esigenze di quella parte di aquilani ancora in attesa di un destino.

Partendo da queste considerazioni si è cercato di mostrare come si sarebbe potuto affrontare il problema della ricostruzione in maniera più ragionata e consapevole offrendo non solo residenze, ma una struttura urbana completa, pensata e progettata come lo sviluppo organico del tessuto urbano preesistente, capace di connettersi e integrarsi, ma non sostituirsi, al centro storico. Il progetto rappresenta la sintesi dei temi fondamentali affrontati: architettura, tecnologia, energia. Le scelte compositive, dalla scala urbana a quella architettonica, sono il risultato di un processo di immedesimazione nell'utente che vivrà la nostra architettura.

“Non si può pensare un'architettura senza pensare alla gente”  
(Richard Rogers)

Il fulcro di tutto il progetto è quindi il chiedersi: “Cosa vuole l'aquilano? Che rapporti instaura con la propria dimora? Dove è più giusto che alloggi e quali sono le sensazioni che il progetto gli deve comunicare? Quali sono i servizi di cui necessita e che sensazioni scaturiscono nel farne parte?”

Questi sono gli interrogativi che ci si è posti nello sviluppo di un progetto che fosse leggibile, ordinato e che comunicasse il senso di “ben fatto” e, parallelamente, di un'architettura in grado di evocare sensazioni piacevoli, capace di creare un luogo dalla forte identità, caratterizzata da un'atmosfera che catturi e che accolga facendosi leggere a colpo d'occhio, accompagni nei percorsi, diverta con giochi di livelli, di colori, di materiali e che coinvolga nella natura e stupisca con eventi progettuali fortemente caratterizzati.

Molteplici sono i principi che hanno regolato la progettazione del nuovo Centro: la necessità di dare un nuovo volto al luogo dal punto di vista urbanistico; l'intento di riprendere alcuni temi della tradizione e rivisitarli in chiave moderna-innovativa per rispondere alle esigenze dell'uomo di oggi; la stabilità delle strutture, parte in acciaio, parte in c.a., calcolate per dare una risposta concreta all'azione sismica; l'efficienza energetica e la sostenibilità ambientale che hanno condotto al dimensionamento di moderni apparati impiantistici e involucri performanti in cui è stata sperimentata la tecnologia S/R (Struttura-Rivestimento), una tecnologia che ha permesso una totale libertà compositiva e al tempo stesso il raggiungimento di standard

prestazionali eccellenti; l'attenzione al risparmio energetico e ad un uso razionale delle risorse.

### **“FARE CENTRO” Realising a project in an ecofriendly area, L’Aquila**

“Fare Centro”, hitting the target: planning an area which everybody in different ways are connected with and which is considered an attractive pole for every people. Hitting the target means both the housing project which has been carried out and the improvement of this geographical area, which has been presented in this work.

Design is not easy. Imaging what you want to conceive and giving shape to your idea: the size scale and the proportions require imagination and practicability of the plan in the same time; the designer has the responsibility to take decisions and to realize a project on behalf of the whole community.

This work aims to design a new area of 160.000 m<sup>2</sup> located near the centre of L’Aquila, currently set to green facilities but with the possibility of building.

Our research has been carried out paying particular attention to the historical overview, to the identification of the main active play-actors, to the demographic, economic and social data collection, in order to obtain a more realistic, feasible and appreciable design intervention.

Our aim was to turn this area into a pole of urban attraction, as following:

- Respecting the harmonic combination of rules, rhythms, routes which characterise this consolidated urban system;
- Improvement of the infrastructural system in order to permit an easier accessibility and enjoyment of this place;
- Improvement of some environmental features: exposure, suggestive views over the hearth of the old city and over the Gran Sasso mountain range, slopes, green courses;
- The preferential establishment of artistic and recreative functions and construction of new buildings: polyfunctional centre, market place, commercial building, recreation-sport centre, children play areas, recreative and religion meeting places for old people.
- Planning in details the thirteen residential blocks, which all have the same architectural features and their personal identity, due to the chromatic variety, to their location on different contour lines, to the exposure, to the “social” or “private” allocation.

This housing project has been addressed to the unlucky part of the population which has been hit by the disastrous earthquake of April 2009, for the time being they are located in three of the nineteen New Town of the project C.A.S.E.

These towns have serious and relevant critical states from different point of view:

- social (lack of aggregation and socialization places);
- civil (lack of principal public utilities and first aid services);
- urban (lack of everything that involves culture and local tradition);
- environment (occupation of agricultural lots).

This part of population, around 500 persons of different age, sex and social condition, is the one, which still now, three years after the catastrophe, lives in temporary lodgings or hotels.

This situation gives the project a double viewpoint: the displacement of the three identified New Town and the re-settlement in the new area; or a new building project aims to satisfy the needs of that part of population which haven't had any lodgings yet.

Taking into consideration that we have tried to demonstrate how the problem of the re-building could have been faced in a more reasonable and conscious way, offering not only lodgings but a more urban complete structure, thought and planned as organic development of the pre-existent fabric of the city, able to connect and integrate its structure without replacing the historic centre.

Our project represents the synthesis of the key topics here explained: architecture, technology and energy.

The constituent choices, from the urban to the architectural scale, are the result of an identification process in the user who will live our architecture.

"The only way forward, if we are going to improve the quality of the environment, is to get everybody involved".  
(Richard Rogers)

This is the core of the entire project, ask yourself: "What does the average citizen want? Which is the place where he better feels? What feeling does it communicate? What are the utilities he needs? How does he feel being part of it?"

These are the questions that we made ourself, in order to have a readable, linear project that communicates the sense of "well done", and in the same way, creating an architecture able to evoke pleasant feelings, a place with a strong personality, an involving atmosphere which escorts us in the routes, enjoys us with colour and material effects, brings us into the nature and amazes us with its strong characterized planning events.

There are several rules that have governed the new centre design:

- the necessity to give a new face to the new city from an urban point of view;
- the aim to return and revisit some of the traditional themes in a modern-innovative key, meeting the needs of the contemporary man;
- the stability of the infrastructures thought in order to give a right response to the seismic action;
- the energy efficiency and environmental sustainability have driven to the dimensioning of modern equipment plant and performing building

- skins, where the S/R system (Struttura-Rivestimento) has been experimented, a new technology that allows a total free composition and at the same time the reach of excellent performance standards;
- the attention to the energy saving and a rational use of resources.

## **CAPITOLO PRIMO**

### **L'AQUILA: IL TERRITORIO E LA STORIA**

## **1.1 Il territorio**

L'Aquila, in precedenza "Aquila" fino al 1863 e "Aquila degli Abruzzi" fino al 1939, è un comune italiano di 72.752 (fonte Istat, 31 ottobre 2009), capoluogo dell'omonima provincia e della regione Abruzzo. Adagiata su un altopiano lambito sul versante Ovest e Sud dal fiume Aterno e posta in posizione predominante rispetto al massiccio del Gran Sasso, la città contava, prima del terremoto dell'aprile del 2009, una presenza giornaliera di oltre 100.000 persone per studio, attività terziarie, lavoro e turismo. È inoltre sede di università e di enti ed associazioni che la rendono vivace sotto il profilo culturale.

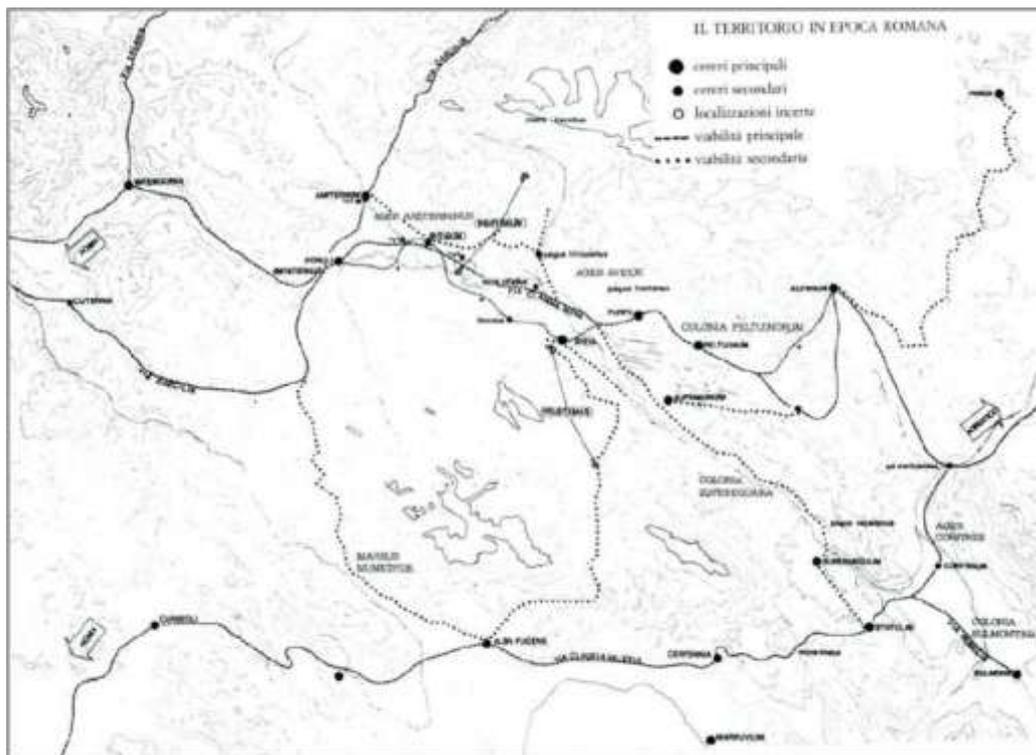
La città è posta nell'entroterra abruzzese e possiede una superficie comunale di 467 km<sup>2</sup> che, su scala nazionale, la pone al decimo posto per ampiezza. È divisa in numerosi quartieri e frazioni e parte del territorio comunale è compresa nel Parco Nazionale del Gran Sasso.



**Fig.1.1 Localizzazione territoriale**

## **1.2 Le origini**

Il territorio dove sorge L'Aquila, la valle dell'Aterno, è stato luogo di insediamento dei popoli Sabini e Vestini. Testimonianza più antica della civiltà nell'aquilano è la "Necropoli di Fossa", un insieme di tombe risalenti al X secolo a.C. situate a sud della città. Dopo la conquista da parte dei romani avvenuta nel III secolo a.C., venne fondata la città di Amiternum, di cui ancora oggi si possono ammirare alcuni resti come l'anfiteatro ed il teatro. Amiternum visse un periodo di grande decadenza fino a scomparire completamente nel X secolo.



**Fig.1.2** Assetto territoriale in epoca romana che si stabilizza con la realizzazione della Claudia Nova, un nuovo asse viario territoriale. Il sistema insediativo si riorganizza polarizzandosi attorno all'asse e ai centri principali lasciando sopravvivere comunque la rete di viabilità minore precedente.

Dopo l'anno mille, con l'arrivo dei Normanni e grazie alla riunificazione dell'Abruzzo, operata da re Ruggero II tra il 1139 e il 1153, avvenne la ripresa economica. Durante il periodo di dominazione normanna avvenne il fenomeno dell'incastellamento, di cui sono esempio e testimonianza il castello di San Pio delle Camere e il Castello di Ocre.

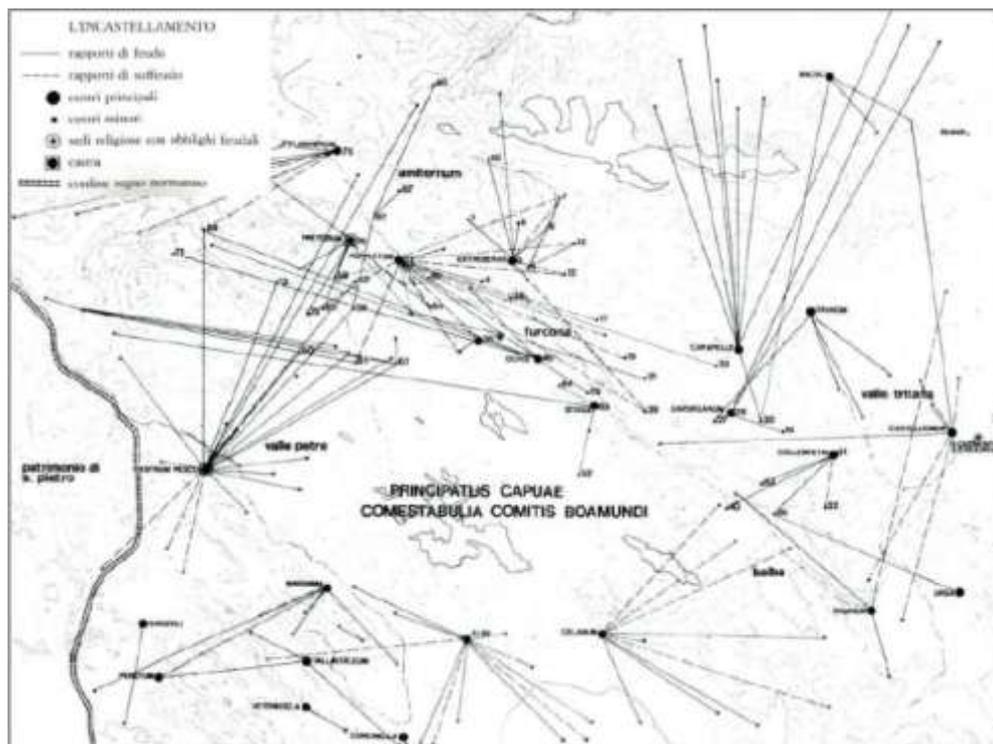
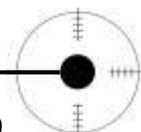
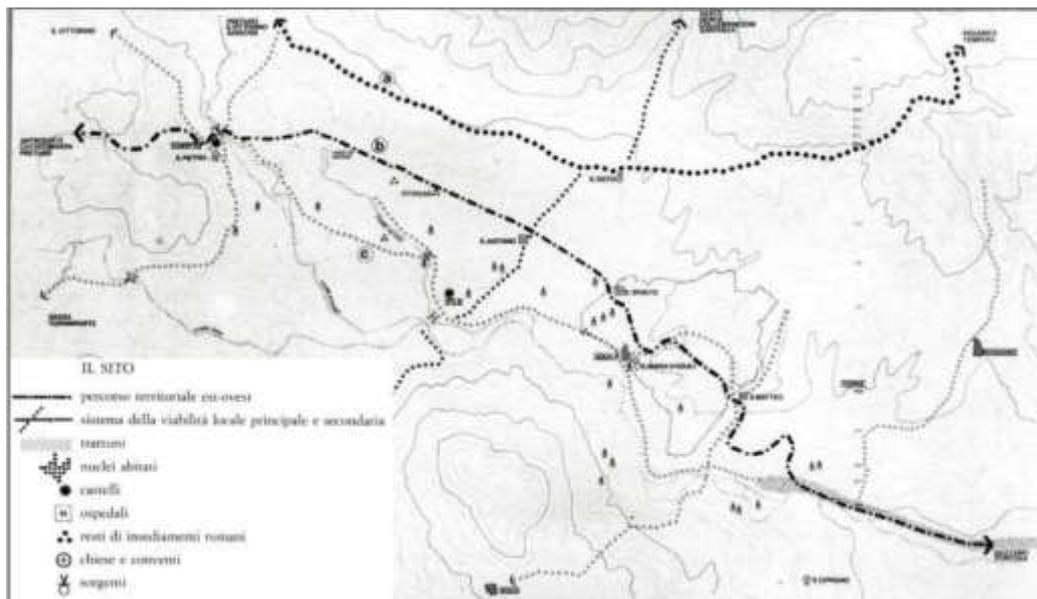


Fig.1.3 Fenomeno dell'Incastellamento in epoca normanna. Il sistema dei feudi e suffeudi si organizza in aderenza alle strutture territoriali urbane ma con anche significative irradiazioni in modo da poter superare le barriere montuose principali.



### 1.3 Evoluzione della città nei secoli

Aquila era uno dei castelli che popolavano i monti e le colline circostanti, probabilmente il più popolato e importante, tanto che nel 969 accolse papa Giovanni XIII e l'imperatore Ottone. Nel 1229 gli abitanti di questi castelli decisero di ribellarsi al giogo vassallatico dei normanni e, a seguito del consenso di papa Gregorio IX, ottennero il permesso di costruire la città ma tale iniziativa non si concretizzò. Successivamente gli aquilani ottennero una nuova autorizzazione e si esortarono i castelli degli antichi contadi di *Amiternum* e *Forcona* ad unirsi per formare un unico centro.

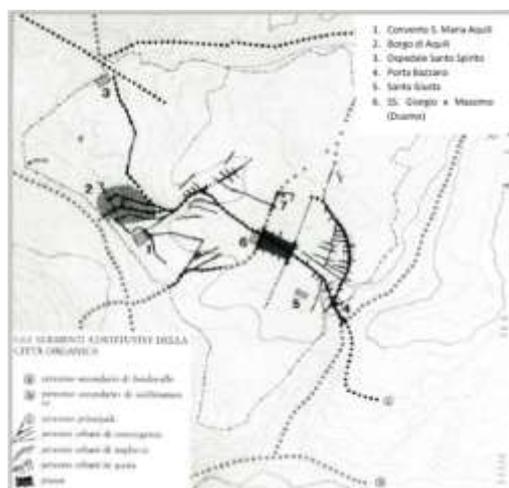


**Fig.1.4** Sito su cui sorge la città, la posizione dominante che controlla l'unica strettoia naturale della vallata, l'abbondanza di acque sorgive, la confluenza dei percorsi trasversali e longitudinali legati anche alla pastorizia costituiscono importanti fattori di localizzazione per la costruzione della città.

Il territorio su cui sorge la città è uno dei luoghi a più alto rischio sismico di tutta la penisola, per questo motivo la città ebbe numerosi fasi di crisi a seguito degli eventi tellurici. Questi continui processi di costruzione e ricostruzione non hanno permesso di rinvenire reperti o testimonianze architettoniche in grado di ricostruire la struttura urbanistica della città dell'epoca della fondazione, ma fonti scritte forniscono ugualmente informazioni utili per una ricostruzione, anche se non fedelissima.

Durante il regno di Carlo d'Angiò (1250 circa) si iniziò a pensare all'assetto urbanistico da dare all'agglomerato urbano di Acculum, tale nome sembra essere la versione onomatopeica dell'odierno nome della città: la città venne "disegnata con più spazioso circuito in modo che ciascun popolo di quelle castella dovesse averli dentro il suo particolare ridotto e piazza". L'assetto urbanistico che venne fornito alla città durante questo periodo è incentrato su

una maglia regolare che delimita porzioni di terreno edificabile di forme regolari. Tale lottizzazione va a completare ed integrare la precedente e ridotta maglia viaria, che definiva il precedente centro abitato come *città Organica*, che connetteva le emergenze urbane –piazze, fontane...- mediante percorsi che andavano modellandosi lungo i naturali declivi montani. Tale geometria è però leggibile solamente in pianta in quanto le irregolarità geologiche del colle su cui sorge la stessa finiscono per conferire unicità ad ogni isolato del tessuto urbano.



**Fig.1.5** Elementi costitutivi della città organica. La città organica (sino al 1259) è riconoscibile nelle connessioni tra le quali emerge la piazza, secondo percorsi che sfruttano l'andamento del terreno. I tracciati in quota e di compluvio determinano una prima trama urbana tipicamente naturalistica ed ancora oggi riconoscibile.

**Fig.1.6** La grande maglia della lottizzazione angioina (1266-1315) si sovrappone alla traccia della città organica senza cancellarla, proponendo però nuove assialità che saranno dominanti rispetto a tutte le altre successive fasi dello sviluppo urbano. Risulta evidente che nella nuova ordinatura la piazza assume un ruolo marginale.

Nel 1265 l'Aquila si sottomise all'impero così nel 1276 vennero cominciati i lavori per la sua ricostruzione partendo dalla cinta muraria. Nel frattempo la città divenne molto più vasta e popolosa, fino a contare 60.000 abitanti. A seguito della posizione strategica, collocata su un colle al centro di un'ampia conca e protetta da catene montuose, l'Aquila acquistò una notevole importanza.

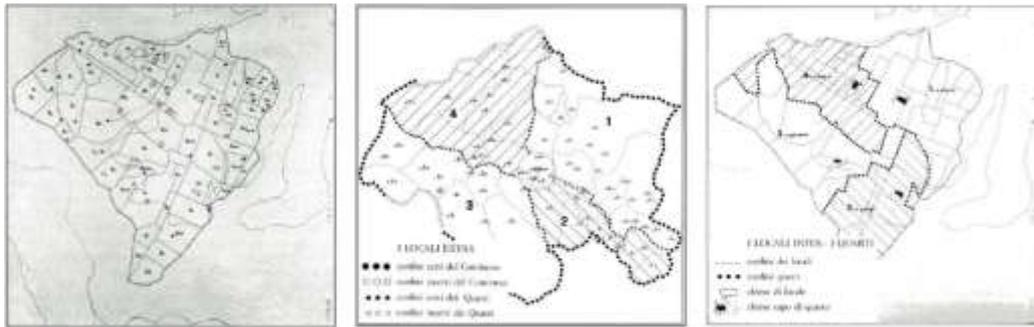


Fig.1.7 Suddivisione della città dell'Aquila in quarti. In particolare si mette in evidenza la suddivisione in Locali Initius nella prima immagine, la suddivisione in Locali Extra nella seconda immagine e l'ultima suddivisione in Quarti nella terza immagine.

La città venne suddivisa in *locali* che vennero donati ai castelli che contribuirono alla fondazione, proporzionalmente al numero dei loro abitanti originari. Per facilitare l'opera di fondazione della città, l'Aquila venne suddivisa in quattro parti, due delle quali riconducibili al circondario occidentale della città (la zona dell'antica Amiternum) e le restanti due al circondario orientale (la zona dell'antica Forcona).

La particolarità dei *Quarti dell'Aquila* è quella di non limitarla alla suddivisione della città ma di estenderla a tutto il contado circostante. Questa scelta fa sì che ogni piccola comunità conservi ed esalti l'identità e la coesione delle comunità cittadine originarie. Per ogni comunità proveniente da fuori le mura era stato predisposto un lotto rettangolare adeguato alla costruzione di un "ridotto", ovvero un luogo di riunione, solitamente una piazza o una chiesa.

La piazza del Duomo (o del Mercato) non appartiene ad alcuno di questi quarti evidenziando pertanto di essere stata considerata, fin dalle origini, lo spazio di tutti il luogo pubblico per eccellenza, la prima vera traccia della città originaria. Nonostante questo grande spazio pubblico centrale, la città assunse nel corso del tempo, a causa delle numerose piazze secondarie, una valenza policentrica sebbene strutturata e gerarchizzata nella progressione dello sviluppo urbano.

Per compensare i signori feudali che erano stati privati di terre e giurisdizioni, infatti, venne stabilito che i singoli beneficiari dei beni immobili ripagassero i singoli signori con beni immobili pari all'ottava parte di quanto perso da essi in forza della demanializzazione. Da questa scelta funzionale nacquero le innumerevoli piazze e costruzioni ecclesiastiche che la caratterizzano.

Durante il medioevo la città fu interessata più volte nella sua storia da fenomeni tellurici. Il primo terremoto documentato avvenne il 13 dicembre 1315 che arrecò ingenti danni al costruito. Tuttavia il primo terremoto distruttivo per la nuova città si verificò il 9 settembre 1349, valutabile come un sisma di magnitudo 6.5 scala Richter e IX grado della scala Mercalli.

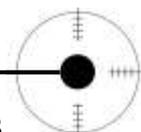
Furono sbracciati ampi tratti della cinta muraria e crollarono moltissime case e chiese. La difficile opera di ricostruzione scoraggiò moltissimi abitanti che preferirono tornare ai villaggi dei loro avi.

Di fronte alla possibilità che l'Aquila diventasse città disabitata, il Regno di Napoli impose di chiudere mediante tavoloni di legno le breccie aperte nelle murature cittadine e la fece presidiare per obbligare gli aquilani alla ricostruzione.



**Fig.1.8 Sezione storica al 1315; in evidenza le opere di urbanizzazione (acquedotto, fontane, cloaca, parziale selciatura della rete viaria) e quelle di difesa (le mura), che costituiscono il supporto di un'edilizia ancora di modesta consistenza.**

Il quattrocento corrisponde ad un'epoca d'oro per la città dell'Aquila. Dopo la ricostruzione, la città cominciò a prosperare grazie ai suoi commerci, specialmente di lana e zafferano, estendendo le proprie relazioni fino a Firenze, Genova e Venezia nonché Olanda, Francia e Germania diventando in breve tempo la città più importante del Regno di Napoli. A seguito di tale importanza la città ebbe il privilegio di ospitare la Zecca e l'Università.





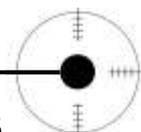
europee. Dalle macerie di inizio secolo nacque una nuova città fatta da costruzioni imponenti e ricca di decorazioni e ornamenti che consacreranno, allo stile barocco, la città.

Sul terreno occupato in precedenza da dimore crollate, sorsero palazzi nobiliari mentre molte tra le principali chiese vennero modificate o riedificate. Anche la vita sociale ed economica dell'Aquila fu ripopolata grazie soprattutto all'immigrazione dal contado. Il terremoto, infatti, favorì il trasferimento delle famiglie più povere dalla campagna alla città e l'insediamento di ricchi proprietari terrieri interessati ad accrescere la loro posizione sociale.

Con la pace di Vienna del 1738 si pose fine alla dominazione spagnola e sul finire del secolo il Regno di Napoli fu invaso dai francesi. Dopo un breve periodo di "Repubblica Partenopea" le truppe napoleoniche si rimpossessarono del Regno di Napoli. Le amministrazioni cittadine furono riorganizzate e modernizzate: a L'Aquila venne eliminata la storica suddivisione in Quarti e fece la sua comparsa la figura del "Sindaco". Successivamente il Congresso di Vienna ristabilì gli ordinamenti precedenti e L'Aquila tornò sotto il controllo dei Borboni.

Le conseguenze dell'unità d'Italia furono molteplici: L'Aquila si trovò in svantaggio a seguito di un isolamento culturale, sociale e morfologico che fino ad allora aveva invece costituito una positività. Un ulteriore colpo all'ambizione della città e alle sue prospettive di sviluppo venne costituito dal tracciato ferroviario tra Roma e l'Adriatico che per molto tempo tagliò fuori la città dalle grandi comunicazioni nazionali. Nonostante tutto L'Aquila riuscì a mettere a frutto gli aspetti positivi di una nuova stabilità politica e, a cavallo tra ottocento e novecento, vennero realizzate in città grandi opere urbanistiche che ne modernizzarono l'aspetto.

Il periodo fascista portò con sé una serie di trasformazioni politiche ed urbanistiche destinate a segnare il volto della città. Vi fu il riordino delle circoscrizioni provinciali con l'istituzione di nuove provincie e il riordino di altre. All'interno di questa sistemazione vennero legati alla città i numerosi paesi e villaggi che facevano da contorno, accentrando le istituzioni e realizzando l'unione politica tra L'Aquila e il suo contado. Venne ideato il concetto di *Grande Aquila*. Durante il ventennio fascista la città sistemò la sua area settentrionale mediante l'installazione della Fontana Luminosa e la realizzazione di impianti sportivi. Inoltre realizzò sul Gran Sasso un moderno impianto di risalita in funzione tutt'oggi e la costruzione di una zona ricettiva nell'area di Campo Imperatore. Durante la Seconda Guerra Mondiale, essendo fuori dalle grandi vie di comunicazione, L'Aquila venne risparmiata dalle principali battaglie ma fu teatro di sanguinose stragi. Nel dopoguerra L'Aquila visse un momento di crescita demografica che portò per la prima volta l'espansione edilizia a superare la cinta muraria con la costruzione di nuovi quartieri a ridosso del centro storico. Politicamente ed economicamente però la città andava perdendo importanza a favore delle provincie sulla costa.



Il 6 aprile 2009, alle ore 3:32, dopo diversi mesi di scosse localizzate e percepite in tutta la zona, L'Aquila è stata colpita da un terremoto di magnitudo 6.3 scala Richter e intensità pari al IX grado della scala Mercalli. Nell'area colpita dal sisma sono stati contati 308 vittime ed oltre 1.500 feriti, mentre la quasi totale evacuazione della città ha portato a 65.000 il numero degli sfollati.

Sono state colpite oltre a L'Aquila - Santo Stefano di Sessanio, Castelvechio Calvisio, San Pio, Villa Sant'Angelo, Fossa, Ocre, San Demetrio ne Vestini e i centri dell'Altopiano delle Rocche. La situazione più drammatica è nel capoluogo e in alcune delle sue frazioni come Onna, rasa quasi completamente al suolo, e Paganica, dove le persone rimaste sotto le macerie si contano a decine. Ma è il centro storico dell'Aquila ad aver subito i danni di maggiore rilievo, con numerosi crolli, moltissimi edifici lesionati e alcuni palazzi crollati completamente. Crolli che hanno coinvolto anche la Casa dello Studente e alcuni edifici dell'università.

### 1.4 Sismicità dell'area aquilana

La città de L'Aquila è collocata nella parte centrale della catena appenninica, in una zona storicamente soggetta a terremoti. Rappresenta un margine di una placca deformata durante la collisione continentale tra la placca africana – cui appartiene - e quella euroasiatica che ebbe origine 65 milioni di anni fa in epoca Cenozoica. Gli Appennini appartengono al sistema geodinamico che migra dall'area Tirrenica a quella Adriatica, in direzione da Ovest a Est, in risposta al ritiro flessionale e al conseguente affondamento della piattaforma dell'Apulia. Tale unione è condotta verso Ovest al di sotto della catena appenninica. La città de L'Aquila è collocata su un bacino tettonico confinato dalle faglie attive che colpiscono a Nord-Ovest e affondano a Sud-Est. L'Aquila è situata su un terrazzamento fluviale che costituisce la sponda sinistra del fiume Aterno.

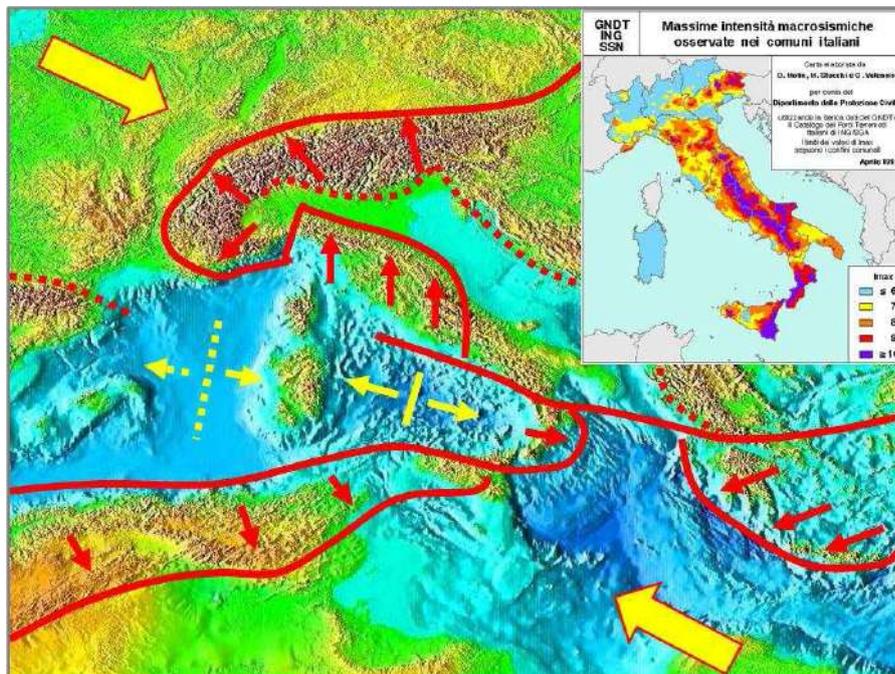
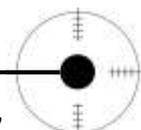
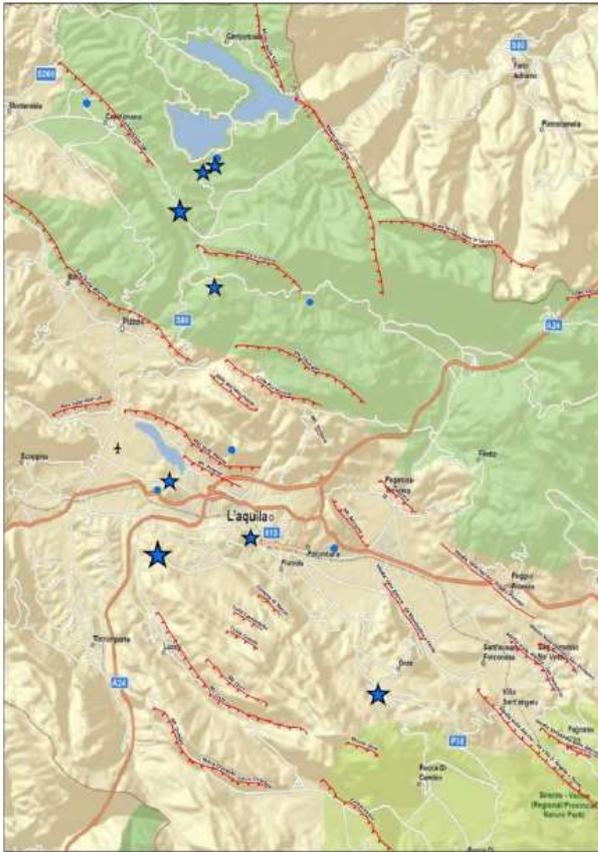


Fig.1.10 Spostamenti e direzioni delle faglie attive nell'area aquilana. La direzione dell'allineamento della sismicità è consistente con la direzione delle principali faglie note nella zona.





Il danneggiamento nella zona epicentrale è determinato, oltre che dalla magnitudo del terremoto, dalla direzione di propagazione della rottura e dalla geologia dei terreni. In particolare, i danni maggiori si osservano nella direzione verso cui si propaga la linea di faglia e vengono amplificati nelle aree dove in superficie affiorano sedimenti "soffici", quali depositi alluvionali, terreni di riporto. Nel terremoto dell'Aquila, la rottura si è propagata verso la città e in direzione da Nord-Ovest a Sud-Est, verso la valle dell'Aterno.

**Fig.1.11** Mappa delle faglie attive nell'area aquilana. La direzione dell'allineamento della sismicità è consistente con la direzione delle principali faglie note nella zona

### 1.5 Terremoti storici nell'area colpita dal sisma del 6 aprile 2009

La scossa del 6 aprile ha interessato un'area già in passato colpita da terremoti con effetti al di sopra della soglia del danno. I più forti terremoti storici riportati nel catalogo CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI04, 2004) sono quelli del 9 settembre 1349 (Me 6.5) e del 2 febbraio 1703 (Me 6.7). La scossa del 6 aprile è certamente non paragonabile a questi eventi sismici, legati a rilasci di energia decisamente superiori. Un paragone si può però proporre con altri eventi che hanno interessato l'area. In particolare, i terremoti del 1461 (Me 6.4), 1762 (Me 5.9), 1916 (Me 5.2) e 1958 (Me 5.2), sono stati tutti responsabili di danni a L'Aquila e dintorni. In particolare, l'attività dell'aprile 2009 si colloca tra la terminazione meridionale della faglia che si è attivata nel terremoto del 1703 (Intensità MCS del X grado, Magnitudo stimata circa 6.7) a Nord, e le strutture della media valle dell'Aterno verso Sud (fig. 12 e 13).

L'area che comprende la zona colpita dalla sequenza sismica in corso è stata sede di numerosi terremoti distruttivi di cui si ha riscontro a partire dal 1300.

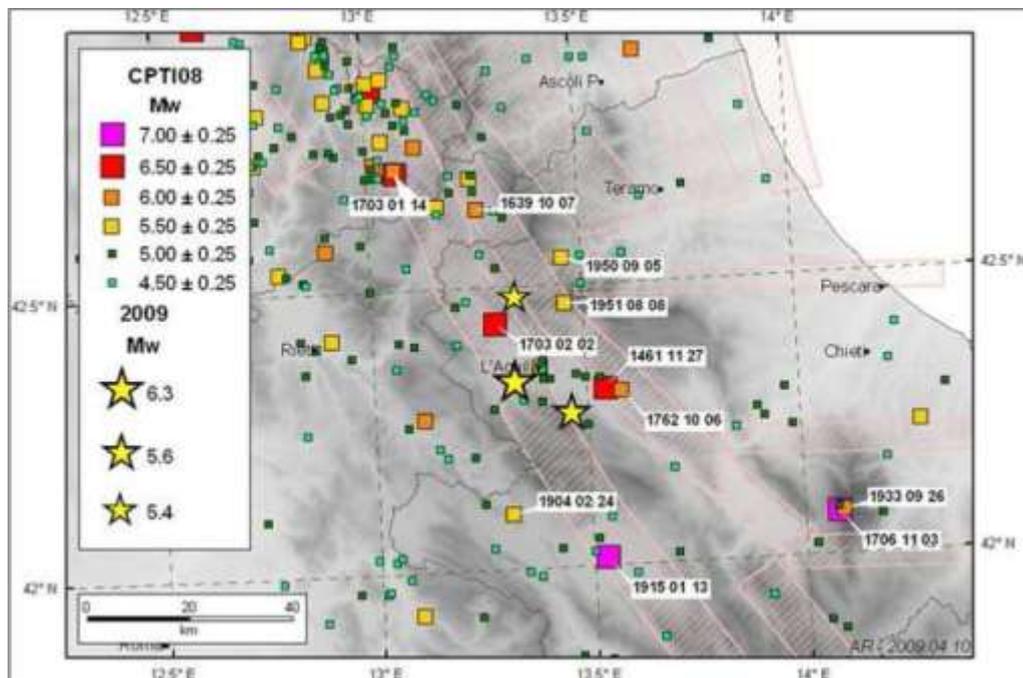
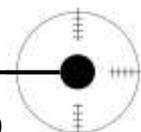
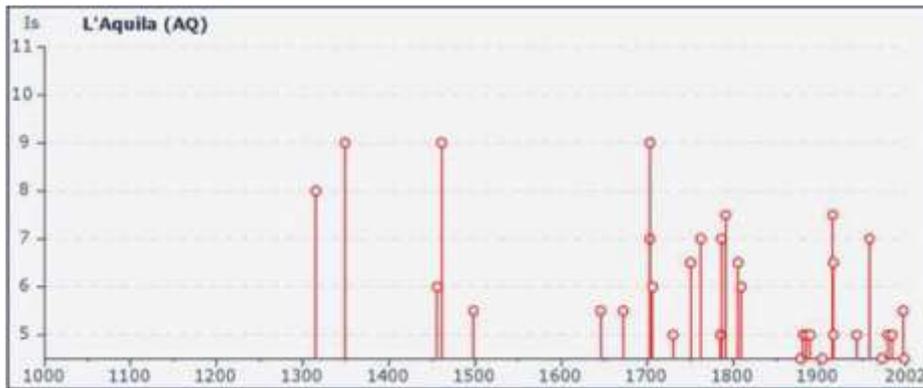


Fig.1.12 Tabella riportante la storia sismica dell'Aquila

In particolare, in aggiunta alla sequenza del 1703 (14 gennaio, Norcia; 2 febbraio, Aquilano) e al grande terremoto della Marsica (1915), si ricordano: alcuni terremoti che hanno colpito l'area odierna, distruttivi (1315, 1461 e 1762) o comunque abbastanza forti (1958);

- L'evento del 1639, che ha danneggiato la conca di Amatrice
- Gli eventi del 1706 e 1933 nell'area della Maiella
- Gli eventi del 1950 e 1951 nell'area a Nord del Gran Sasso





**Fig.1.13 Rappresentazione della sismicità storica dell'aquilano a partire dal 1300**

Forti danni nell'area più colpita dalla sequenza in atto sono stati provocati anche dal terremoto del 1456 (Molise). A L'Aquila sono segnalati forti danni anche in occasione del complesso terremoto del 1349. Si osserva che la zona a Sud-Est di quella attualmente più colpita, fino a Sulmona, non risulta sede di eventi sismici negli ultimi 600 anni. Analogamente, non si hanno informazioni di terremoti forti generatisi nell'area fra il Gran Sasso e la zona di Amatrice.

L'attività di questi giorni si colloca tra la terminazione meridionale della faglia che si è attivata nel terremoto del 1703, avente magnitudo stimata 6.7 scala Richter e X grado scala Mercalle, a Nord, e le strutture della media valle dell'Aterno verso Sud.

### **1.5.1 I terremoti del Medioevo**

Il primo terremoto di cui si abbia notizia in tempi storici risale al 13 dicembre 1315. La prima scossa si era manifestata il 1° febbraio dello stesso anno ma i maggiori danni si ebbero in dicembre, con le scosse che si ripeterono per le successive quattro settimane dal sisma principale. Tra i danni segnalati vi fu il consistente danneggiamento della chiesa di San Francesco.

Tuttavia il primo terremoto distruttivo per la città si verificò il 9 settembre 1349. Si stima che il sisma abbia avuto una magnitudo 6.5 della scala Richter e che abbia prodotto danni valutabili nel X grado della scala Mercalle. Furono sbrecciati e atterrati ampi tratti delle mura cittadine e crollarono moltissime case e chiese. I decessi furono ottocento e, poiché all'epoca gli abitanti de L'Aquila erano meno di diecimila, raggiunsero quasi il 10% della popolazione. La gran polvere che si alzò gravò sulla città per molto tempo, impedendo il salvataggio repentino di coloro che erano stati travolti dalle macerie.

A causa del sisma crollò la chiesa di Santa Maria Paganica e rimase completamente distrutta anche la chiesa di San Francesco, che già aveva subito danni nel terremoto del 1315 e che dovette essere completamente rasa al suolo. Le macerie furono accumulate nel piazzale antistante una delle entrate

in città, davanti alla cosiddetta *Porta dei Leoni* che in tal modo rimase chiusa. La porta non fu più liberata e, successivamente, fu definitivamente murata.

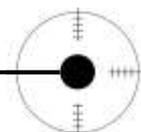
### **1.5.2 Il terremoto del 1461**

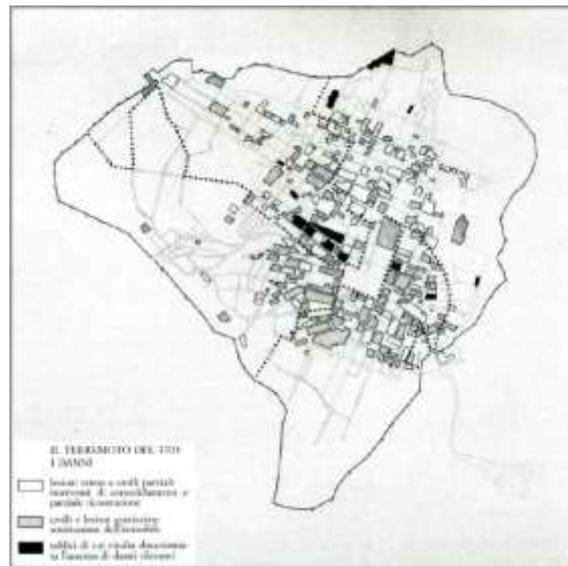
Anche nel quattrocento L'Aquila non fu della nuova Basilica di San Bernardino. Uno dei sismi di maggiore entità nella storia cittadina si verificò invece il 26 novembre 1461, che si segnala per la somiglianza con il terremoto del 6 aprile 2009. La magnitudo stimata è di 6.4 della scala Richter e intensità pari al X grado della scala Mercalle. Successivamente alla scossa principale, seguì una sequenza di eventi sismici che si protrasse per circa due mesi, con alcune forti scosse il 4 dicembre, il 17 dicembre ed il 3 e il 4 gennaio dell'anno successivo. Le fonti storiche riportano un gravissimo quadro di danni alla città de L'Aquila e una pressoché totale distruzione di alcune località minori collocate nell'area a Sud-Est quali Onna, Poggio Picenze, Castelnuovo e Sant'Eusanio Forconese.

### **1.5.3 Il terremoto del 1703**

Sul finire del seicento alcune violenti scosse tornarono a tormentare L'Aquila, in particolare si ricorda il terremoto del 1646, raccontato nel Trattato di Filippo da Secinara e di intensità stimata nel VII grado della scala Mercalle, e quello del giugno 1672 avvertito anche ad Amatrice e Montereale.

Quello del 1703, conosciuto come il *Grande Terremoto* è, probabilmente, il terremoto di maggiore gravità della storia cittadina recente. La prima scossa della sequenza si verificò il 14 ottobre 1702 ma la maggiore venne registrata il 2 febbraio del 1703 e si stima che abbia avuto magnitudo pari a 6.7 della scala Richter causando devastazioni stimate nel X grado della scala Mercalle.





**Fig.1.14** Stralcio del centro storico dell'Aquila con evidenziate le zone danneggiate dal sisma del 1703

L'Aquila venne quasi completamente rasa al suolo. Quasi tutte le chiese e gli edifici pubblici crollarono o riportarono gravissimi danni. Si stima che nelle varie scosse che colpirono la città quell'anno siano morte in tutto 6.000 persone. Le chiese di San Bernardino, San Filippo, La Cattedrale di San Massimo, San Francesco, Sant'Agostino e tutti i palazzi della città risultarono o completamente rasi al suolo oppure pesantemente danneggiati.

## **1.6 Il paesaggio naturale**

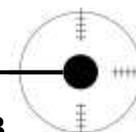
Il paesaggio, prevalentemente montuoso, della provincia aquilana è caratterizzato dalla presenza di Parchi e Riserve Naturali che rappresentano buona parte della capacità attrattiva nei confronti dei flussi turistici di media permanenza che qui trovano le motivazioni più varie per le attività ricreative e di vacanza, da quelle più tipicamente sportive a quelle motivate da interessi naturalistici. Tali aree sono localizzate nell'Appennino a cominciare dai Monti della Laga, per proseguire con il Gran Sasso d'Italia, il Morrone, La Maiella, il gruppo del Velino e del Sirente e le aree montuose del Parco Nazionale d'Abruzzo e dei Monti Simbruini. Soprannominato anche il gigante dell'Appennino, il Gran Sasso è caratterizzato da creste frastagliate che culminano nei 2.912 metri del Corno Grande, una vetta carsica che sovrasta un paesaggio insolitamente roccioso. Le conformazioni di roccia calcarea conferiscono al versante orientale del massiccio un volto decisamente dolomitico. Altrettanto unico è il versante occidentale con altipiani estesi, forme essenziali modellate dall'erosione degli antichi ghiacciai e ampie distese coperte da praterie che caratterizzano il paesaggio di Campo Imperatore, una pianura che si estende per circa 80 km<sup>2</sup> che per lo scenario ancestrale è stato definito, dallo scrittore Fosco Maraini, un "piccolo Tibet".



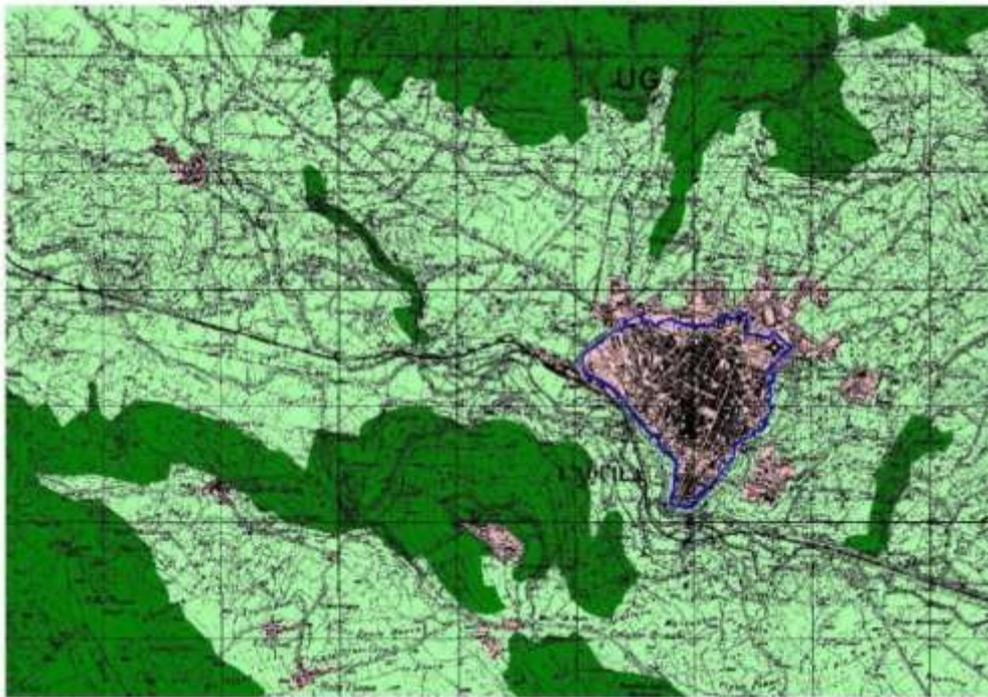
**Fig.1.15 Vista Gran Sasso e Maiella**

## **1.7 L'espansione urbanistica**

Fino agli interventi degli anni Trenta del secolo scorso, la struttura urbana del capoluogo de L'Aquila era, come detto, interamente confinata all'interno delle mura medievali. La realizzazione, in epoca fascista, delle attrezzature sportive e del Viale Gran Sasso costituisce il primo passo di una forsennata espansione. E' datato agli anni Trenta anche il primo intervento residenziale fuori dal perimetro del centro storico. Si tratta del quartiere Eritrea, primo quartiere popolare, avamposto delle future espansioni a Nord. Come nel resto d'Italia, il salto qualitativo dell'espansione urbana non avviene però prima della



ricostruzione postbellica. Se, dunque, fino alla seconda guerra mondiale la struttura urbana de L'Aquila era formata, sostanzialmente, da un grande centro urbano (il centro storico) e da una moltitudine di piccoli borghi disseminati in un territorio molto vasto, dopo cinquant'anni di ininterrotta crescita, il territorio si presenta coperto da una nebulosa urbana, articolata ma continua, che occupa buona parte dei terreni pianeggianti della valle dell'Aterno.



**Fig.1.16 Il capoluogo de L'Aquila (fonte: elaborazione su cartografia IGM del 1954)**

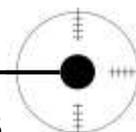
L'antico sistema insediativo misurava circa 500 ettari, di cui circa la metà (256 ha) appartenenti al solo capoluogo; la cartografia tecnica del 2004 rivela, invece, un sistema insediativo cresciuto sei volte tanto, pari a oltre 3.100 ha. Il solo capoluogo, misura circa 1.700 ha, pari al 55% della superficie urbana complessiva.

Il primo documento di pianificazione urbanistica fu il piano dell'ingegner Tian, presentato nel 1917 e approvato solo nel 1930; in un quadro politico completamente rinnovato, con spinte speculative ed espansionistiche della città, il piano non riuscì a incidere sull'effettivo sviluppo de L'Aquila.

Il secondo piano urbanistico che la città conosce fu quello coordinato da Luigi Piccinato all'inizio degli anni Sessanta. Adottato dal Consiglio Comunale nel 1962, fu definitivamente approvato dal Ministero dei Lavori Pubblici nel 1965. ALL'Aquila, gli anni Cinquanta non hanno visto pressioni particolari nei confronti della struttura urbana. L'immediato dopoguerra non è stato caratterizzato né dalla necessità di importanti interventi di ricostruzione, né da tendenze di sviluppo accelerato. Era però aumentata la forza centrifuga dei nuovi insediamenti. Nonostante la città, alla fine degli anni Cinquanta, continui

a presentare vuoti importanti all'interno della cerchia delle mura, nuovi nuclei urbanizzati cominciano a crescere al suo esterno, soprattutto in direzione nord e a ridosso delle mura orientali. In questo contesto, Piccinato mira ad attuare un salto di scala, antepoendo il consolidamento delle relazioni territoriali al ridisegno delle forme spaziali della città. Il piano appare come chiara espressione di una volontà di razionalizzazione delle spinte centrifughe allo sviluppo urbano anche se sembra rinunciare in partenza a ogni proposta a esse alternativa. In definitiva, anche questo piano urbanistico rimane sostanzialmente inattuato e, appena dieci anni più tardi, è stato sostituito da un nuovo strumento, tuttora in vigore.

Oltre a uno sviluppo urbano sempre più proiettato verso Nord e verso Ovest, il Piano Regolatore Generale del 1975 deve fare i conti con un quadro infrastrutturale profondamente mutato in seguito alla realizzazione dell'autostrada. Nel 1970, con l'apertura al traffico della tratta Castel Madama – Torano, i collegamenti con la capitale effettuano un vero e proprio salto di qualità, ponendo la premessa di uno sviluppo produttivo che, allora, si immaginava poderoso. Appena cinque anni dopo entra in funzione anche la tratta Aquila Ovest – Aquila Est, costituendo un vero e proprio nuovo asse di viabilità urbana ad alto scorrimento. Il sistema insediativo complessivo delineato dal piano regolatore vigente ammonta a circa 4.200 ettari: 2.630 ettari di tessuti prevalentemente residenziali; 750 ettari di spazi produttivi e 820 ettari di verde pubblico e fasce di rispetto. E' un progetto imponente che prevede la saturazione del territorio compreso nell'ansa dell'autostrada, fra la linea ferroviaria e la bretella verso L'Aquila Est, la totale saldatura urbana lungo la strada statale n.80 fino a Cansatessa, la localizzazione di tre immensi nuclei industriali lungo la linea ferroviaria e in corrispondenza dell'autostrada (Sassa, Pile e Bazzano) e il rafforzamento delle decine e decine di nuclei sparsi nel territorio aquilano. La dispersione che connota oggi il sistema insediativo aquilano è in larga misura figlia di previsioni urbanistiche di trenta o quaranta anni precedenti. Le previsioni riguardanti il capoluogo si sono attuate in massima parte. Al contrario, l'ingente quantità di verde pubblico è rimasta in larga misura sulla carta, configurando un corpo urbano frastagliato da interruzioni e vuoti. L'espansione dei nuclei e delle frazioni, prevista dal piano nel territorio aquilano, è invece avvenuta solo in minima parte; localizzati in collina, più difficili da raggiungere, hanno trovato un ruolo solo marginale nelle attività immobiliari degli ultimi decenni.



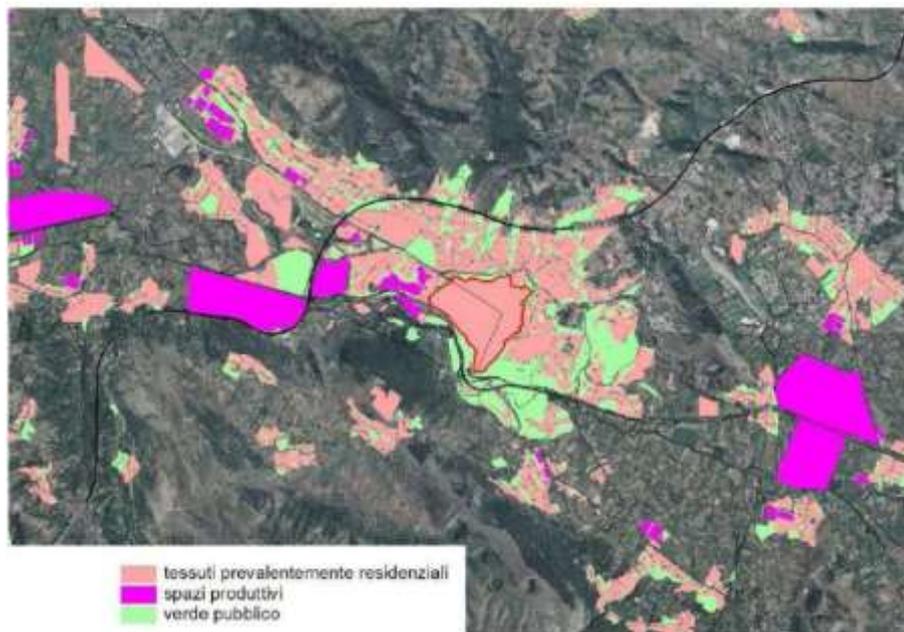


Fig.1.17 Sistema insediativo previsto dal Piano Regolatore Generale del 1975

Prima del terremoto del 6 aprile 2009, il consumo di suolo a L'Aquila misurava complessivamente 452 m<sup>2</sup>/abitante (superficie insediata pari a 1.700 ha, popolazione residente 46.747). Nelle frazioni invece, tale indice si presenta ancora più forte: su 1.400 ha abitano 21.756 persone, determinando un consumo di suolo pari a 644 m<sup>2</sup>/abitante.

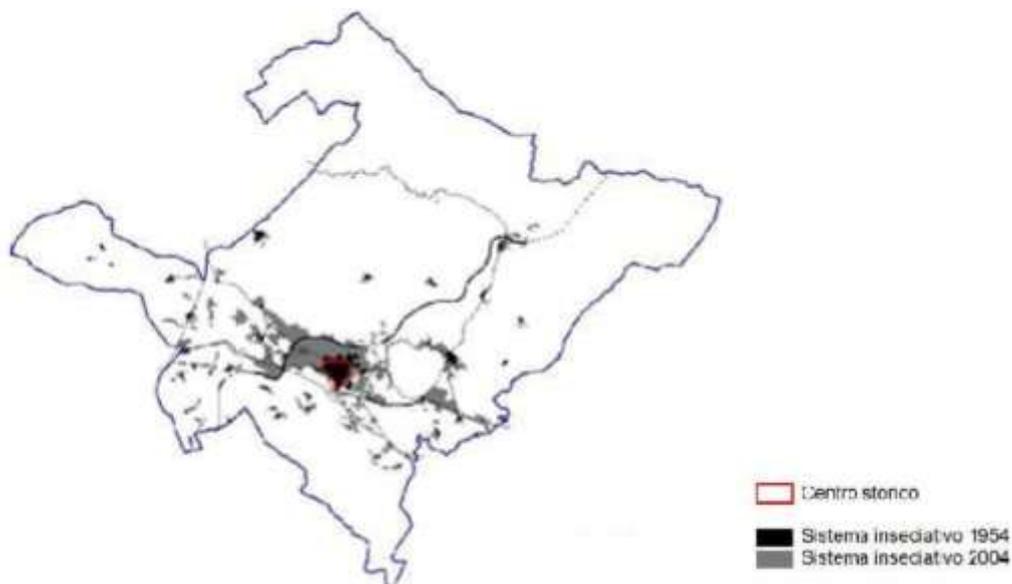


Fig.1.18 Evoluzione del sistema insediativo aquilano dal 1954 al 2004 (fonte: elaborazione cartografica in ambiente Gis sulla base della carta IGM 1954 e della CTR 2004).

### **1.8 Struttura socio-economica**

Da un punto di vista economico, la provincia dell'Aquila appare una realtà scarsamente dinamica, fortemente dipendente da una domanda di tipo prevalentemente pubblico, che ha registrato nel corso degli ultimi anni un processo parzialmente involutivo, come dimostrano i principali indicatori statistici.

Nella seconda metà del XX secolo L'Aquila, come l'Abruzzo, è passata da un'economia tradizionalmente agricola allo sviluppo del commercio e del turismo, soprattutto invernale. Grazie alla presenza di numerosi enti e al ruolo amministrativo che la città ricopre, è particolarmente sviluppato il settore terziario.

Sotto l'aspetto occupazionale il tasso della popolazione lavorativa, con dati aggiornati al 2007 (fonte: Camera di Commercio de L'Aquila), si attesta al 58,7% in linea con le percentuali di occupazione nazionale.

Gli occupati, prima dell'evento sismico, possono essere divisi in macro-aree di occupazione:

- il 69,5% lavora nel settore dei servizi (sia pubblici che privati)
- il 16,5% lavora nell'industria
- il 10,1% nell'edilizia
- il 3,9% lavora nell'agricoltura

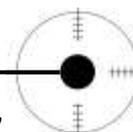
Una grande ricchezza economica e culturale è costituita dalla presenza dell'Università degli Studi de L'Aquila, la più antica università d'Abruzzo; il suo bacino di utenza si estende oltre la regione e include alcune zone del Lazio, del Molise e della Puglia. E' un'università con una forte caratterizzazione tecnico-scientifica legata alla presenza di importanti gruppi di ricerca e corsi di laurea molto consolidati nel panorama nazionale.

Da un punto di vista demografico, in base ai dati di fonte Istat aggiornati al 30 ottobre 2008, la popolazione residente nel capoluogo ammonta a 72.948 unità e risulta in lieve ma costante crescita. Una crescita che ha caratterizzato tutta la storia recente del comune e che è dovuta a un costante saldo migratorio positivo, pari a 1.780 unità nel decennio 1991-2001 e addirittura pari a complessivamente 4.900 unità dal 2002 al 2008 (fonte: Comune della città de L'Aquila).

### **1.9 Patrimonio culturale abruzzese**

Il patrimonio culturale di una comunità è costituito da tutti i beni materiali e immateriali, presenti nel territorio.

In un contesto urbano i beni materiali sono rappresentati dalla natura, dall'ambiente, dal paesaggio, dall'architettura e, più in generale, da tutte le immagini, gli oggetti e i luoghi in cui una comunità vive e opera. I beni non materiali comprendono le tradizioni, le memorie dei luoghi e della comunità, la



relazione tra le persone e il loro rapporto con il paesaggio. Questa cultura comprende il mondo delle credenze, delle tradizioni, dei simboli, delle tecniche, delle conoscenze e delle abilità accumulate da una data società.

Nel merito della presente ricerca si farà riferimento soprattutto all'architettura spontanea e rurale, espressione di una cultura povera, semplice e di derivazione agropastorale; si cercherà di trovare degli elementi che si propongano come parti costituenti del paesaggio abruzzese, che, al tempo stesso, gli conferiscano carattere e che, assemblati, definiscano un'identità regionale al fine di delineare una serie di criteri e priorità sui quali sarà possibile basare eventuali interventi, la valorizzazione o il ridisegno del paesaggio.

### **1.9.1 Tessuti urbani dei borghi medievali abruzzesi**

La lettura delle carte della strutturazione urbana storica de L'Aquila e di altri paesi limitrofi l'area d'intervento (Fig. 1.19) hanno permesso di riconoscere:

- La sequenza dei processi insediativi
- Alcune geometrie latenti utili per costruire e strutturare i nuovi telai urbani, consentendo un maggior grado di interazione e connessione con il tessuto urbano consolidato
- Le regole che caratterizzavano la città medievale abruzzese:
  - 1 Cinta muraria a protezione della città
  - 2 Struttura urbanistica: pianta che si sviluppa a partire da un fulcro (il castello/ edificio di culto/ via principale) adattandosi al luogo in cui sorge, presentando salite e discese sia nelle piazze che nelle strade; a scendere si trovano le case, raccolte a creare protezione ognuna costruita usando le pareti di quelle più a monte, palazzetti nobiliari e chiese che si alternano senza interruzione fino a sfociare nelle piazze, ora ampie e chiassose, ora minuscole e raccolte intorno a una fontanella.
  - 3 Le *case* appaiono rinserrate l'una all'altra a formare una grande muraglia protettiva e compatta → case-mura: hanno poche finestre esterne, minuscole e collocate sempre e solo ai piani più elevati.
  - 4 Le strade sono strette, sinuose; vie e viuzze si snodano con curve anche a gomito, presentando angoli caratteristici, sboccando all'improvviso davanti a chiese, a palazzi o a panorami di campagna. La tortuosità e l'ampiezza limitata servono anche a difendere gli abitanti dai venti e dal freddo al Nord, dal caldo sole al Sud.
  - 5 Le piazze e le strade commerciali sono fiancheggiate da portici che formano la parte anteriore della bottega, riparano i banchi degli artigiani e dei mercanti, che lavorano sovente all'aperto.



Fig.1.19 Piante della strutturazione urbana de L'Aquila, Paganica, Bazzano, San Gregorio, Navelli e Onna

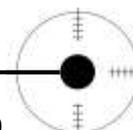
### 1.9.2 I materiali

L'edilizia di base del costruito storico abruzzese è generalmente caratterizzata dall'impiego di materiali naturali, spesso lavorati in modo elementare (scapoli di pietra e ciottoli appena sbozzati, tronchi di legno semplicemente asciati, ecc.) e messi in opera con un limitato impiego di tecniche costruttive complesse.

L'architettura dei piccoli insediamenti nasce dalla conformazione geologica del sottosuolo. In funzione della materia prima reperibile in prossimità dei cantieri o direttamente sul luogo della costruzione si è potuto riconoscere alcune "zone omogenee" che adottano di conseguenza una "regola" comune del costruire.

Nell'ambito del contesto geografico appenninico dell'Abruzzo è possibile individuare essenzialmente sette raggruppamenti litologici affioranti, rappresentati, secondo i termini definiti nella classificazione petrografica, da:

- Rocce carbonatiche
- Arenarie
- Conglomerati di natura calcarea
- Marne



- Argille scagliose
- Travertini
- Rocce sciolte di natura clastica e di origine continentale

Le pietre calcaree sono classificabili nella più generale categoria delle rocce sedimentarie, sono in assoluto le più diffuse nel territorio e costituiscono l'ossatura principale della dorsale appenninica abruzzese. La formazione delle rocce originate per sedimentazione, avvenuta per strati successivi depositati nell'acqua, facilita il taglio delle rocce stesse lungo più o meno ben definiti piani di stratificazione. Normalmente è possibile ottenere dei massi aventi la superficie superiore e quella inferiore parallele e perciò facilmente utilizzabili in edilizia.

Un'altra varietà largamente presente sul territorio abruzzese, è l'arenaria, denominata molassa, che è costituita da sabbia di cementi quarzosi e micacei e di un cemento di origine calcareo-marnoso, ha le caratteristiche di una roccia molto tenera e con struttura isotropa.

Le arenarie molassi si presentano in natura sedimentate in strati regolari intercalate da materiali di diversa origine, con spessori che variano da alcuni centimetri al mezzo metro o più. Hanno giacitura ben stratificata che consente di ottenere, nell'estrazione, una pezzatura ben caratterizzata da due piani paralleli così che è agevolmente possibile disporre il materiale in opera in ricorsi regolari.

### **1.9.3 Le tecniche costruttive**

I borghi antichi sono caratterizzati da sistemi costruttivi risolti all'interno del "principio dell'involucro scatolare": il sistema murario è l'elemento ordinatore in grado di caratterizzare il complesso strutturale delle unità edilizie, che risultano tra loro correlate a tal punto da presentarsi come un unico edificio, all'interno del quale una serie di tagli, strade, configurano lo spazio dei connettivi che risultano integrati all'impianto urbano.

Gli apparecchi murari, pur diversificandosi localmente in funzione della lavorabilità dei differenti tipi di pietra, conservano la presenza di un nucleo di pezzatura minore ma ben apparecchiato e costipato e nella presenza di diatoni per l'ammorsatura dei paramenti interni ed esterni.

## **CAPITOLO SECONDO**

### **IL TERREMOTO E L'EMERGENZA INSEDIATIVA**

### 2.1 Definizione

Con il termine “emergenza insediativa” si indica una serie di avvenimenti che si sviluppano a partire dal momento in cui si presenta un evento imprevisto “x” (quale terremoto, alluvione, immigrazione ecc.).

Se collochiamo quindi l’evento imprevisto ad un tempo definito  $T_0$ , con “emergenza insediativa” si indicano tutti quegli eventi-azioni successive, con durata  $T_x$ , che permettono di riportare la situazione ad una stabilità, quale era nel periodo precedente a  $T_0$ .

Nel momento critico dell’emergenza, si presentano moltissime problematiche: elementi organizzativi, psicologici, emotivi e fattori non controllabili.

E’ qui che entrano in gioco gli organi che governano l’emergenza, in primis la Protezione Civile, che gestisce, organizza e coordina gli interventi di aiuto. In secondo luogo la forza delle popolazioni colpite da calamità.

L’obiettivo è quello di creare un riparo più o meno temporaneo, che sostituisca i container e faccia fronte all’emergenza insediativa senza dimenticare il vero valore di una casa.

### 2.2 Organi che governano l’emergenza, La Protezione Civile

La *Protezione Civile* è un’azione di tutela della vita umana, dei beni, degli insediamenti e dell’ambiente da possibili danni derivanti da calamità di origine naturale e antropica.

La legge 225 del 1992 disciplina l’attività di Protezione Civile come sistema coordinato di competenze al quale concorrono le Amministrazioni dello Stato, le Regioni, le Province, i Comuni, gli enti pubblici locali, la comunità scientifica, il volontariato, gli ordini e i collegi professionali. Pertanto è possibile individuare competenze a tutti i livelli da quello locale a quello centrale.

A *livello nazionale* opera il Dipartimento di Protezione Civile, attraverso il quale il Presidente del Consiglio dei Ministri, ovvero il Ministro dell’interno, coordina le attività di prevenzione e soccorso in caso di emergenza.

Al Dipartimento sono affidati compiti di natura scientifica e di natura tecnico-operativa che sono espressi nelle attività fondamentali di previsione, prevenzione, soccorso e superamento dell’emergenza.

Con il termine *previsione* si intende lo studio e l’individuazione delle cause soggette al verificarsi dei fenomeni calamitosi, l’identificazione dei pericoli, la valutazione dei rispettivi rischi e quindi la selezione delle zone soggette agli stessi. A tal fine il dipartimento si avvale dell’opera di gruppi nazionali di ricerca e istituti di ricerca scientifica con apposite convenzioni pluriennali.

Per *prevenzione* si intende l’insieme delle attività svolte per ridurre o, laddove è possibile, evitare l’insorgere di condizioni di danno a seguito di un evento calamitoso.

Per *soccorso* s’intende la messa in atto di tutti gli interventi tesi a offrire assistenza immediata alle popolazioni colpite da una calamità.

Per superamento dell'emergenza s'intende l'insieme delle iniziative finalizzate alla ripresa delle normali condizioni di vita.

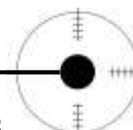
L'azione di protezione civile si fonda sulla distinzione degli eventi in tre categorie:

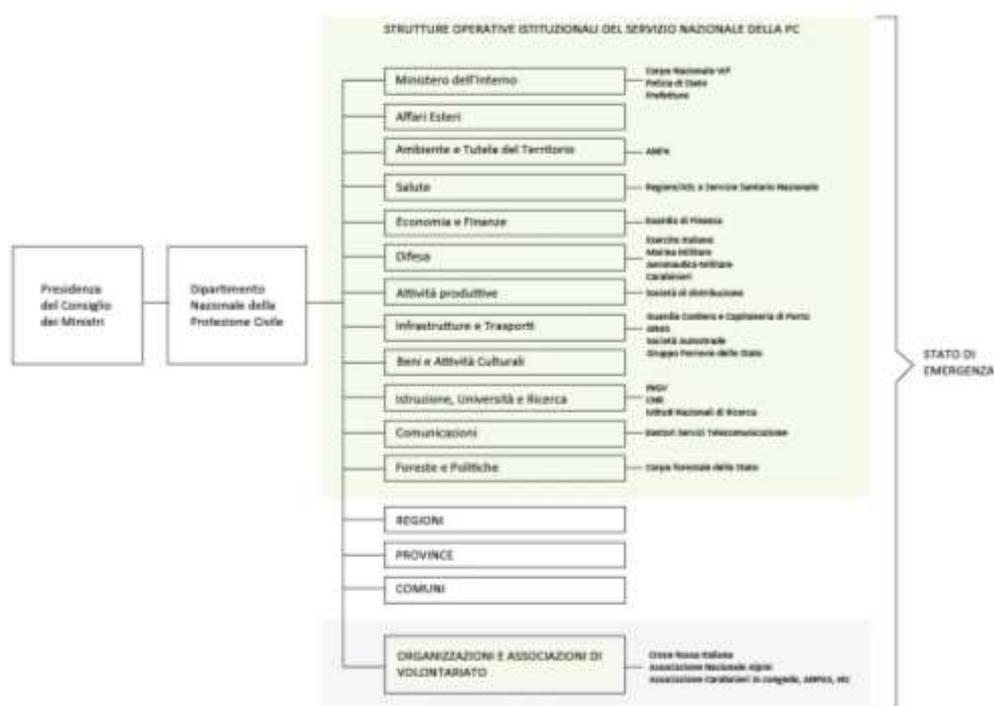
- Tipo A: eventi che possono essere fronteggiati da singoli enti e amministrazioni competenti in via ordinaria.
- Tipo B: eventi che possono essere fronteggiati mediante l'operazione congiunta di più enti amministrazioni in via ordinaria.
- Tipo C: eventi che vanno fronteggiati con mezzi e poteri straordinari.

Il comitato paritetico Stato - Regione - Enti locali promuove e coordina le amministrazioni centrali e periferiche dello stato, nonché gli enti regionali, provinciali e comunali, nelle loro attività di protezione civile.

Il dipartimento opera sul territorio attraverso delle strutture operative nazionali che sono:

- Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
- Forze armate
- Forze di Polizia
- Corpo Forestale dello Stato
- Servizi Tecnici Nazionali
- Gruppi nazionali di ricerca scientifica
- Istituto nazionale di Geofisica
- Croce Rossa italiana
- Strutture di servizio sanitario nazionale
- Organizzazioni di volontariato
- Corpo nazionale soccorso alpino CNSA (CAI)





**Fig.2.1 Modello Nazionale adottato in caso di emergenza**

L'azione di protezione civile viene in parte svolta attraverso operazioni di programmazione e pianificazione dell'emergenza, pertanto il *dipartimento di protezione civile*:

- definisce i criteri generali per i programmi di previsione e prevenzione delle calamità, per i piani di emergenza, per la stesura di norme relative alla protezione civile, per coordinare o organizzare l'impiego dei vari organi di protezione civile;
- Svolge seminari e attività di formazione in materia di protezione civile, per i dipendenti delle regioni, prefetture, province e comuni;
- Raccoglie e diffonde le notizie i dati e le richieste provenienti dalle zone interessate dall'emergenza;
- Coordina gli interventi di tutte le amministrazioni e gli enti interessati al soccorso;
- Promuove l'applicazione delle direttive emanate in relazione alle esigenze prioritarie delle zone interessate all'emergenza.

Definiti gli organi collegiali, le strutture operative nazionali e le azioni del dipartimento di protezione civile, è opportuno definire la filiera di competenze a livello comunale, provinciale, regionale.



Fig.2.2 Modello Nazionale in caso di emergenza

### 2.2.1 I Comuni

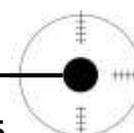
Il *sindaco* è l'autorità responsabile dell'attività di protezione civile sul territorio della propria giurisdizione. A lui sono affidate mansioni preventive di soccorso. Infatti, è tenuto a redigere il piano comunale o intercomunale d'emergenza sulla base delle indicazioni regionali e attraverso questo strumento di pianificazione si predispone ad attivare immediatamente il centro operativo comunale, a organizzare i volontari comunali, a informare i cittadini sulle aree comunali a rischio e sui provvedimenti e comportamenti da adottare in caso di emergenza. Inoltre deve dotare la propria amministrazione di una struttura di protezione civile.

Il *prefetto* predispone il piano per fronteggiare l'emergenza su tutto il territorio della provincia sulla base del programma regionale provinciale di prevenzione e sui dati raccolti dalla provincia ne cura l'attuazione.

Richiede agli organi competenti gli scenari di pericolosità e di rischio col territorio di propria giurisdizione, per poi diffonderli presso i comuni interessati. Rileva le strutture di protezione civile distribuite sul territorio, organizza un sistema di comando e controllo che prevede la disponibilità di un centro attrezzato di coordinamento dei soccorsi, e di una rete alternativa per i collegamenti con i sindaci della provincia, l'amministrazione provinciale, regionale e le strutture di protezione civile.

### 2.2.2 Le Province

Le province partecipano all'organizzazione e all'attuazione delle attività del servizio nazionale di protezione civile, assicurando lo svolgimento dei compiti relativi alla rilevazione, alla raccolta e all'elaborazione dei dati interessanti la protezione civile, alla predisposizione di programmi nazionali di previsione e prevenzione e la loro realizzazione in armonia con i programmi nazionali e regionali. In ogni capoluogo di provincia è istituito il Comitato provinciale di Protezione Civile, presieduto dal presidente dell'amministrazione provinciale o da un suo delegato.



### 2.2.3 Le Regioni

Le regioni partecipano all'organizzazione e all'attuazione delle attività di protezione civile volte alla prevenzione delle varie ipotesi di rischio, al soccorso delle popolazioni sinistrate ed ogni altra attività necessaria a superare l'emergenza; provvedono alla predisposizione e attuazione dei programmi nazionali, che saranno attuati dalle provincie e dai comuni; provvedono all'ordinamento degli uffici e all'approntamento delle strutture e dei mezzi necessari all'espletamento dell'attività di protezione civile, a seguito delle numerose esperienze maturate negli ultimi vent'anni, è divenuta una delle azioni fondamentali dello stato italiano.

In tal senso è opportuno sottolineare che si è sempre più affinata la sensibilità verso le problematiche connesse all'emergenza al punto da considerare attori del processo di protezione civile, tutti coloro che hanno possibili competenze in materia di previsione, prevenzione, soccorso e superamento dell'emergenza.

	Funzioni:
Stato (attraverso il dipartimento di Protezione Civile)	<p>Delibera lo stato di emergenza determinandone durata ed estensione</p> <p>Emana ordinanze per l'attuazione di interventi di emergenza (normative speciali e derogabili)</p> <p>Coordina gli interventi di tutte le amministrazioni e gli enti interessati al soccorso</p> <p>Previsione: individuazione delle zone territoriali potenzialmente soggette a eventi calamitosi e valutazione dei rischi</p> <p>Prevenzione: consiste nelle attività volte a ridurre al minimo tali rischi</p> <p>Soccorso: attuazione di interventi volti ad assicurare alle popolazioni colpite ogni forma di assistenza primaria</p> <p>Superamento dell'emergenza: attuazione delle iniziative necessarie alla ripresa delle normali condizioni di vita</p> <p>Revoca dello stato di emergenza</p>
Regioni	<p>Partecipano alla organizzazione e attuazione delle attività volte al superamento dell'emergenza</p> <p>Predisposizione di piani regionali di previsione e prevenzione in linea con quelli nazionali</p> <p>Provvedono all'ordinamento degli uffici e all'allestimento delle strutture e dei mezzi necessari per l'espletamento delle attività di Protezione Civile, mediante il Comitato Speciale di Prot.Civ.</p> <p>Organizza e coordina l'attività di volontariato</p>
Province	<p>Partecipano all'organizzazione e all'attuazione delle attività del servizio nazionale di protezione civile</p> <p>Assicurano lo svolgimento dei compiti relativi alla attuazione dei programmi nazionali di previsione e prevenzione e la loro realizzazione in armonia con i programmi nazionali e regionali</p> <p>Istituiscono il Comitato provinciale di Protezione Civile</p>
Comuni	<p><i>Sindaco</i> Redige il piano comunale o intercomunale d'emergenza</p> <p>Organizza l'attività di volontariato a livello comunale e intercomunale</p> <p>Informa i cittadini sui provvedimenti da adottare in caso di emergenza</p> <p><i>Prefetto</i> Adotta tutti i provvedimenti necessari ad assicurare i primi soccorsi</p> <p>Predisporre il piano per fronteggiare l'emergenza su tutto il territorio della Provincia, anche sulla base del programma provinciale di previsione e prevenzione, e ne cura l'attuazione</p> <p>Rileva le strutture di Protezione Civile distribuite sul territorio da attivare</p>

Fig.2.3 Funzioni e Responsabilità delle Istituzioni nazionali

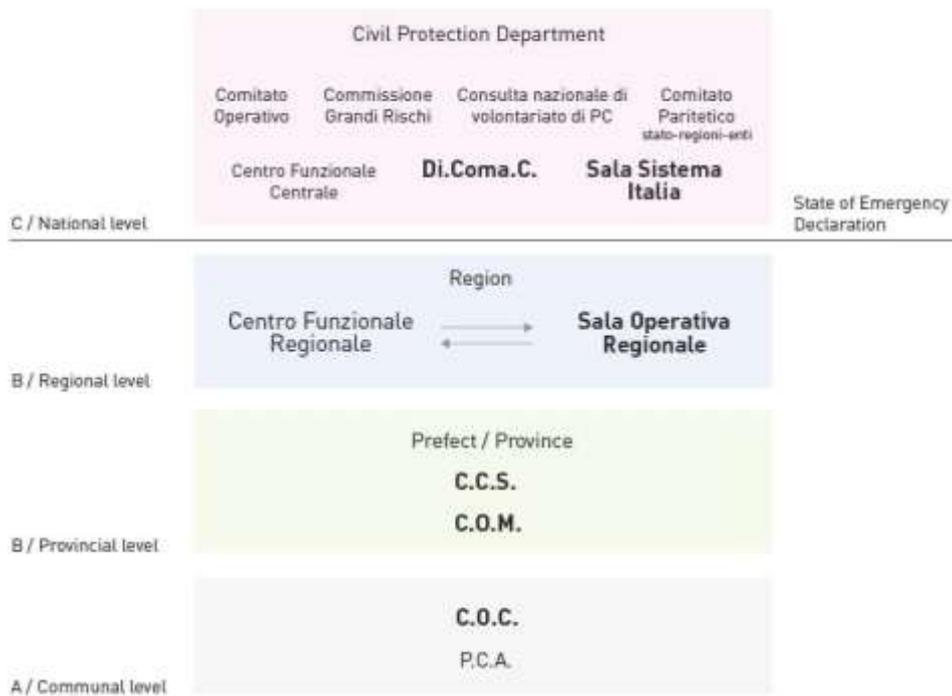
### 2.3 Osservazioni

L'emergenza, che scaturisce a seguito di un evento calamitoso, può essere ben gestita se supportata da una buona dose di previsione e prevenzione. In altre parole è necessario che le operazioni da espletarsi nelle immediate ore post-calamità, siano preventivamente organizzate e attuate in un regime di conoscenza di comportamenti da assumere, sia da parte degli operatori del settore, sia da parte delle popolazioni.

Ben più rilevante della corretta gestione dell'emergenza è infatti la corretta pianificazione della prevenzione.

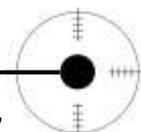
In molte zone del territorio italiano - L'Aquila a tal proposito ne è l'esempio emblematico - considerate a rischio sismico, non è previsto alcun piano d'emergenza, e gli abitanti non sono minimamente preparati ad affrontare un evento catastrofico come può essere un terremoto o un'alluvione.

### 2.4 Procedure e modalità di intervento, per la gestione della prima emergenza



**Fig.2.4** Catena di controllo attivata in caso di emergenza

Come si è già detto le tipologie di intervento identificate attraverso gli atti legislativi sono tre.



In seguito si farà riferimento esclusivamente a eventi di tipo C di cui si illustreranno, in maniera sintetica, le procedure e le modalità di intervento che vengono attuate in caso di emergenza.

Al verificarsi di una calamità di origine naturale il Sindaco assume la direzione e il coordinamento dei servizi di soccorso e di assistenza alle popolazioni colpite e provvede agli interventi necessari istituendo il COC (Centro Operativo Comunale). Quindi chiede l'intervento di altre forze e strutture al prefetto.

Il Prefetto, venuto a conoscenza dell'evento calamitoso, informa il Dipartimento della Protezione Civile (chiedendo la dichiarazione dello stato di emergenza), il presidente della giunta regionale e la direzione generale della Protezione Civile e dei servizi antincendio del Ministero dell'interno; attiva il Centro Coordinamento Soccorsi (CCS) e il Centro Operativo Misto (COM) presso i comuni interessati dall'emergenza.

In ogni caso assume la direzione unitaria dei servizi di emergenza da attivare a livello provinciale, coordinandoli con gli interventi dei Sindaci dei Comuni interessati, adotta tutti i provvedimenti necessari ad assicurare i primi soccorsi, vigila sull'attuazione da parte delle strutture provinciali di Protezione Civile, dei servizi urgenti anche di natura tecnica.

Il Presidente della Regione, venuto anch'egli a conoscenza dell'emergenza, attiva la sala operativa regionale che stabilisce, in tempi molto rapidi, contatti con le prefetture e il centro situazioni del Dipartimento di Protezione Civile. Inoltre pone a disposizione delle Prefetture il proprio personale tecnico per ogni tipo di intervento che si deve attuare per il soccorso e il monitoraggio della situazione.

Il Dipartimento di Protezione Civile ha l'impegno di valutare la natura dell'accaduto, dichiarare lo stato di emergenza e svolgere attività di coordinamento e dell'emergenza a livello centrale.

Messa in atto la procedura per la dichiarazione dello stato di emergenza e attivati il centro di Coordinamento dei Soccorsi, nonché i Centri Operativi misti e i Centri Operativi Comunali, si procede all'espletamento delle operazioni di soccorso attraverso i vari organi che appartengono alla Protezione Civile.

In particolare:

- I Vigili del Fuoco sono deputati all'assistenza immediata alla popolazione;
- La Croce Rossa Italiana è deputata all'assistenza sociale e a quella sanitaria;
- Le Forze Armate sono deputate all'assistenza sociale e alla garanzia delle condizioni di sicurezza pubblica.

Nel momento in cui viene definita l'area di interesse da governare in emergenza si insediano le sale operative necessarie, sopraggiungono le strutture operative che si insediano in aree prestabilite *nei piani per l'emergenza*, si attivano le aree di attesa, le aree di ammassamento soccorsi e le aree di ricovero della popolazione.

## 2.5 Esigenze della popolazione

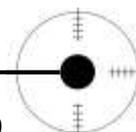
Beni di prima necessità	<ul style="list-style-type: none"><li>- cibo e acqua</li><li>- servizi (elettricità, gas, servizi igienici)</li><li>- beni necessari e cura personale (vestiti, prodotti per l'igiene personale)</li><li>- Informazione tecnologica</li></ul>
Assistenza medica	<ul style="list-style-type: none"><li>- supporto medico</li><li>- supporto psicologico</li></ul>
Assistenza ai bambini	<ul style="list-style-type: none"><li>- educazione</li><li>- intrattenimento</li></ul>
Servizi per la cultura, lo sport e il tempo libero	
Servizi per le attività lavorative	
Servizi per la mobilità	
Servizi pubblici (poste, banche, etc.)	

**Fig.2.5 Esigenze della popolazione sinistrata**

Dato comune a tutti i casi di evento calamitoso è il manifestarsi di una serie di esigenze da parte della popolazione sinistrata che presentano caratteristiche specifiche in caso di emergenza. In particolare nel caso di popolazioni colpite da calamità naturali le esigenze prioritarie risultano essere:

1. Fruire di beni di prima necessità

Le popolazioni risultano non avere accesso autonomo a beni relativi alle necessità primarie di cibo, bevande, vestiario ecc. e in questo senso richiedono facilità di individuazione dei punti di distribuzione e/o assistenza nell'operazione di accesso ai propri beni;



**2. Ricevere informazioni**

Le popolazioni esprimono la necessità di conoscere il luogo dove poter ricevere notizie relative alla natura e all'entità dell'accaduto, alla sorte dei propri congiunti, alle prime previsioni dell'immediato futuro, nonché ai comportamenti da assumere per la propria salvaguardia e alle procedure da espletare per il proseguo dell'assistenza.

**3. Essere soccorsi senza subire danni nel proprio patrimonio**

Le popolazioni sinistrate manifestano un forte legame con particolari aspetti della vita socioeconomica del territorio dando luogo a richieste relative a mantenere il contatto con le attività produttive, l'evitare l'abbandono di luoghi e strutture, l'individuare priorità di intervento per il ripristino delle condizioni ordinarie di vita.

**4. Ricevere assistenza relativa al trauma**

In tutti i casi di evento calamitoso antropico si registra una condizione traumatica che necessita di assistenza specialistica per l'elaborazione di condizioni personali di difesa e permettere regolare vita sociale e familiare;

**5. Ricevere assistenze di tipo**

-sanitario: interventi di pronto soccorso o chirurgia;

-burocratico legale

**6. Essere in tempi brevi riaggregati per nuclei familiari**

Le condizioni in cui spesso avvengono le operazioni di trasferimento delle popolazioni pongono la questione di ricomporre nuclei familiari momentaneamente divisi oltre che cercare di ottenere il ricongiungimento con membri della famiglia già stabilmente residenti in luoghi sicuri;

**7. Essere impegnati in attività materiali**

Il trattamento per il superamento della fase traumatica richiede la possibilità di impegnare le popolazioni in attività ludiche, di apprendimento e di risocializzazione, per evitare che lunghi tempi di inattività acuiscano disagi e conflitti.

## **2.6 Esigenze delle Istituzioni**

I settori operativi della Protezione Civile, impegnati nel soccorso delle popolazioni colpite da calamità, si presentano completamente autosufficienti per quanto concerne la propria installazione e permanenza in situ.

Essi si trovano a fronteggiare l'emergenza che si presenta sempre ricca di aspetti nuovi e difficilmente controllabili.

In caso di calamità di origine naturale (sisma) le esigenze fondamentali consistono in:

**1. Informare la popolazione**

Gli enti hanno bisogno di trasmettere informazioni relative ai comportamenti che le popolazioni devono assumere affinché la pianificazione precedentemente organizzata possa essere efficace. Inoltre necessitano di organizzare in tempi brevi postazioni destinate a fornire informazioni relative alla natura e all'entità dell'accaduto, alle previsioni dell'immediato futuro,

nonché fornire notizie dei congiunti. È ancora necessario dare informazioni sull'ubicazione dei luoghi di raccolta di vettovaglie e generi di prima necessità, e dei luoghi sicuri dove potersi trattenere.

2. Disporre di attrezzature facili da montare in sito

Gli operatori necessitano di attrezzature a bassa complessità che si montano attraverso operazioni semplici e veloci. In particolare sarebbe auspicabile lavorare con strutture dispiegabili per le quali non si devono aggregare elementi o componenti discreti.

3. Implementare le prestazioni di attrezzature

L'esperienza sul campo suggerisce di dotare le attrezzature che normalmente vengono usate in caso di soccorso, di particolari dispositivi tali da renderle "abitabili" in condizioni estreme. In dettaglio si necessita di:

- predisporre le attrezzature di attacchi a terra tali da poter essere installate in condizioni di difficoltà, vuoi per natura del terreno, vuoi per il carattere del suolo;
- predisporre le attrezzature di zavorre amovibili per poter consentire la loro installazione anche in condizioni climatiche particolari;
- predisporre le attrezzature di sorgenti autonome e possibilmente ad energia alternativa, in grado di fornire energia elettrica necessaria all'illuminazione e al riscaldamento e/o raffrescamento.

4. Fruire di canali preferenziali per la messa in comunicazione con gli ospedali.

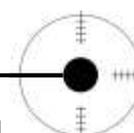
La Croce Rossa è deputata a fornire anche assistenza medica alle popolazioni colpite da calamità. A tal fine essa attua delle procedure che vanno dalla valutazione del trauma al ricovero in ospedale. Proprio per quest'ultima operazione è necessaria la possibilità di comunicare con la rete di ospedali distribuiti nel territorio nazionale al fine di organizzare i ricoveri.

## **2.7 Prevenzione**

### **2.7.1 Ruolo dell'emergenza nella pianificazione urbanistica**

Definire il ruolo delle politiche dell'emergenza nei processi di pianificazione urbanistica non può essere inteso come rinuncia al perseguimento di uno degli obiettivi primari dell'attività di governo del territorio: la prevenzione dei rischi. E' evidente, infatti, che un'adeguata attenzione alla gestione delle aree più sensibili potrebbe ridurre considerevolmente i casi di emergenza e pronto soccorso.

I recenti insuccessi delle politiche di pronto soccorso e d'emergenza e quindi l'impossibilità di circoscrivere gli eventi dannosi e di confinarne le dinamiche, contenere o tentare di mitigarne gli effetti conseguenti più disastrosi, riflettono spesso una mancata considerazione delle politiche dell'emergenza in fase di pianificazione ordinaria, dovuta ad inadempienze rispetto ad ordinamenti legislativi e/o alla mancata capacità di coordinamento tra enti diversi.



L'area oggetto d'intervento assume valore di nodo strategico che interagisce con gli altri nodi della maglia urbana e tende a contaminare "per contatto" le aree limitrofe.

A tal fine è opportuno adottare uno schema comune di criteri all'interno del quale procedere alla valutazione dei siti e delle risorse:

- Ambiente fisico (aspetti geologici, geomorfologici, climatici, idrogeologici e pedologici);
- Ambiente biologico (flora e vegetazione, fauna, ecologia, attività agroforestali);
- Assetto storico/culturale (storia e geografia del territorio, patrimonio culturale);
- Assetto insediativo (urbanistica e organizzazione del territorio, sistemi insediativi);
- Assetto paesistico/antropologico (paesaggi e sistemi scenici, sistemi di relazioni visive).

### **2.7.2 Osservazioni**

E' importante che la progettazione dell'intervento si ponga come occasione di riqualificazione urbana (attraverso interventi di rinnovamento e riuso di tessuti urbani) o di trasformazione di aree rurali (attraverso operazioni complesse di nuova urbanizzazione) per la formazione di spazi aperti e/o edificati. L'obiettivo è quello di attribuire qualità ambientale, ecologica, culturale e funzionale allo spazio, assicurando benefici che vadano a vantaggio dell'intera collettività.

### **2.8 Prevenzione e criteri guida per l'individuazione di aree per insediamenti in fase di emergenza**

Programmare l'emergenza significa gestire una fase di attesa nella quale la comunità si predispose all'emergenza attraverso delle operazioni da effettuare sul proprio territorio, già oggetto di analisi preventiva secondo le disposizioni legislative attuali, destinando una o più aree a funzioni che siano compatibili con l'eventuale ricovero temporaneo/semi-temporaneo a seguito di eventi calamitosi.

La scelta delle aree rappresenta il primo passo nella predisposizione di uno stato di attesa: in questa fase di normalità la gestione di uno spazio urbano o di una parte di territorio vicino al centro abitato può rappresentare un'occasione per ridefinire e riqualificare aree degradate o abbandonate, ma anche per creare condizioni per un utilizzo alternativo e soft di aree protette o dalle particolari valenze ambientali.

L'obiettivo è quello di invertire l'orientamento secondo il quale l'individuazione di aree destinate all'emergenza si trasforma, di fatto, nel congelamento di tali spazi per un periodo di tempo che potrebbe essere anche troppo lungo.

La scelta delle aree dovrà fondarsi su riflessioni a riguardo delle condizioni di partenza dell'area, sulla sua capacità di costituire essa stessa un substrato ambientale fertile per l'inizio di un processo progettuale nel quale il tema della flessibilità costituisce uno dei punti cardine.

La scelta quindi ricadrà su aree tali da garantire il funzionamento dell'intero dispositivo, sia in condizioni di normale utilizzo, sia durante la fase d'emergenza.

La procedura richiede l'individuazione di criteri che rappresentano dei suggerimenti per le amministrazioni che intendano procedere all'individuazione di tali aree.

I parametri si basano su due diversi ambiti di riferimento:

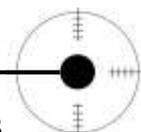
- L'ambiente naturale: ovvero le condizioni di partenza dell'area, le sue caratteristiche geomorfologiche, la sua esposizione ecc.;
- L'ambiente artificiale: inteso come il complesso delle trasformazioni operate dall'uomo che condizionano e determinano l'inserimento di tali siti in un quadro territoriale di riferimento più o meno favorevole.

Inoltre la destinazione d'uso dell'area, la sua attrezzabilità e la scelta del manufatto dipendono essenzialmente dalle caratteristiche dell'area stessa che risulterà più o meno adatta ad accogliere funzioni di volta in volta o prevalentemente residenziale, o di tipo commerciale o ancora ludico-ricreativo.

I criteri elencati qui di seguito forniscono dunque la base di partenza per un'analisi approfondita delle condizioni delle aree, suggerendo implicitamente soluzioni che coinvolgono le scelte relative all'approvvigionamento di energia, alle sistemazioni a terra, alla destinazione funzionale, al manufatto, le sue caratteristiche tipologiche, dimensionali e prestazionali.

Le linee guida per la scelta delle aree possono dunque riassumersi in:

1. I criteri di scelta delle aree devono far emergere un indirizzo progettuale alternativo agli attuali sistemi di programmazione, nei quali prevale ancora l'idea che le aree da assegnare a insediamenti provvisori per l'emergenza siano di fatto spazi marginali, non considerando le potenzialità che esse possano costituire aree strategiche per la riqualificazione urbana e ambientale di un luogo.
2. Il carattere innovativo nella definizione dei criteri di scelta delle aree è rappresentato dall'assunzione di priorità diverse da quelle strettamente connesse con l'emergenza e la salvaguardia dell'ambiente e la sua riqualificazione motivano le scelte focalizzando l'interesse verso l'uso di tecnologie innovative applicabili sia agli impianti sia ai manufatti.



3. La scelta delle aree implica, oltre che una ridefinizione dell'assetto urbanistico del territorio che gravita intorno ad esse.

4. Scelta delle aree, scelta delle tecnologie per la loro attrezzabilità e, infine, scelta del manufatto sono fasi strettamente interdipendenti e quindi programmabili fin dalla fase iniziale.

Per entrare nel merito dei criteri posti come base di indagine per la scelta delle aree occorre introdurre alcuni requisiti generali che accomunano gli interventi di programmazione e di prevenzione dell'emergenza.

Si ritiene, infatti, che:

1. Si debba partire dai bisogni reali di una comunità e che ciascun'amministrazione debba individuare una o più possibilità d'uso proprio a partire da tali bisogni.

2. Si debbano incentivare forme alternative e innovative di urbanizzazione per un uso del territorio intelligente e rispettoso delle caratteristiche ambientali di ciascun'area.

3. Gli interventi programmati debbano costituire in molti casi un modello esportabile e vincente sia come intervento qualificante all'interno di un tessuto urbano o anche in un sito dalle particolare qualità naturali, sia come rientro economico dell'investimento.

4. Si debba favorire un uso dell'area che coinvolga direttamente cittadini della comunità in forme da decidere di volta in volta, che consentano di considerare l'intervento come un bene collettivo da preservare e mantenere.

Date queste premesse, la strategia si basa, più che sull'individuazione di criteri certi e validi in tutte le situazioni, su prescrizioni dal carattere "aperto", attraverso le quali si possa giungere ad individuare per ogni caso particolare una ricetta personalizzata e convincente.

La priorità dei fattori legati agli aspetti naturali delle aree e la scelta di non modificarne l'assetto geo-morfologico, rappresenta il plusvalore che si introduce nell'individuazione dei criteri di scelta.

Le categorie di riferimento sono:

### A. AMBIENTE NATURALE

Vengono qui individuati i parametri che si riferiscono alle particolari condizioni ambientali del luogo preso in esame, ritenuti prioritari per l'avvio delle indagini sulle aree.

Rischio ambientale: La rischiosità delle condizioni di partenza è un fattore molto importante e complesso da analizzare; in questo senso la protezione civile fornisce una documentazione esauriente sia per quanto riguarda le mappe che individuano le aree a rischio sismico, sia per ciò che concerne gli strumenti per l'indagine del terreno e le condizioni geologiche morfologiche che possano determinare fenomeni alluvionali o franosi. È l'unico criterio vincolante.

Caratteristiche geomorfologiche: Esse fanno riferimento alle condizioni fisiche del terreno e alla sua collocazione geografica. La consistenza del terreno

determina in modo univoco le scelte di attacco a terra dei manufatti e, più in generale, dell'allestimento degli spazi aperti. Per ciascuna categoria di terreno corrisponde una possibile configurazione spaziale e tecnologica.

**Pendenza:** E' un criterio che fa riferimento alla posizione geografica del terreno e condiziona fortemente la scelta del manufatto determinandone l'attacco a terra e l'intero sistema di allestimento dell'area. In tutti i casi sono da preferire condizioni di pendenza che non superino l'ordine del 20%.

**Ventilazione:** L'aspetto che influisce sulla scelta dell'area riguarda prevalentemente il fatto che essa sia collocata più o meno in una zona protetta dai venti e che questa condizione possa rappresentare un vantaggio o uno svantaggio.

**Soleggiamento:** Rappresenta un dato molto importante per la scelta dell'area, soprattutto nel caso in cui si scelgano di adottare soluzioni alternative di approvvigionamento dell'energia. Generalmente la presenza del sole rappresenta un vantaggio anche in termini di luminosità. E' molto importante determinare l'esposizione degli ambienti e la loro capacità ad essere ricettivi alla luce e al calore; inoltre la morfologia dell'intervento va individuata proprio in relazione a questo parametro, collocando percorsi, spazi aperti pubblici e privati opportunamente protetti.

**Verde:** La presenza del verde rappresenta nella maggior parte dei casi un vantaggio. Ma è anche un vincolo che indirizza fortemente le scelte che riguardano la dislocazione dei manufatti. In generale porzioni di verde all'interno dell'area costituiscono un elemento di arricchimento e di qualificazione per usi diversi all'interno dell'area stessa.

**Acqua:** La presenza di falde in superficie rappresenta un ostacolo, soprattutto nel caso in cui l'area sia collocata in prossimità di fiumi e torrenti.

**Temperatura:** Rappresenta un importante indicatore per la scelta delle caratteristiche prestazionali dei manufatti. Un clima troppo rigido, infatti, richiede maggior dispendio di energia, capacità di tenuta termica del manufatto, maggiore capacità di resistenza per i carichi dovuti alle precipitazioni nevose, individuazione di aree che consentano un rapido smaltimento di acqua prodotta dal sciogliersi della neve, ecc.

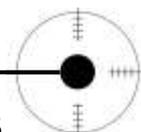
**Umidità:** E' un fattore che dipende dalla vicinanza dell'acqua (mare, lago, fiume). E' un fattore che vincola le caratteristiche prestazionali del manufatto, e che richiede l'uso di materiali resistenti all'umidità.

### B. AMBIENTE ARTIFICIALE

Vengono individuati i parametri che si riferiscono alle trasformazioni avvenute nell'area presa in esame, alle sue caratteristiche morfologiche e di inquadramento all'interno di un sistema più o meno complesso di relazioni.

Si sono suddivisi i criteri secondo tre indirizzi che tendono a configurare un panorama di riferimento articolato:

**Modificazioni** – Rappresentano la naturale evoluzione di un luogo in relazione alla collocazione e alla destinazione d'uso.



**Inquinamento:** Rappresenta uno dei criteri più vincolanti per la scelta dell'area e delle sue destinazioni d'uso nel tempo: si tratta infatti di individuare aree che possano essere fruite in modo più o meno temporaneo ma che funzionino permanentemente, eventualmente con altre destinazioni d'uso. E' importante individuare tutte le forme di inquinamento.

**Flussi turistici:** Il turismo costituisce uno dei presupposti di vita per gli insediamenti e per questo influenza positivamente la scelta dell'area.

**Visibilità - riconoscibilità:** Significa possibilità di riconoscere il luogo.

**Trattamento della superficie:** è importante tener conto delle trasformazioni della superficie del terreno e di come queste siano compatibili con le esigenze che un nuovo intervento comporta.

**Criteri urbanistici** – E' il sistema dei vincoli che hanno determinato o determineranno la destinazione d'uso dell'area e la sua vocazione a rimanere o divenire area disponibile. I criteri urbanistici vengono dati in forma di elenco

**Baricentricità:** si può considerare positivamente un'area che sia inserita all'interno di un sistema urbano del quale occupa una posizione centrale.

**Destinazione d'uso di PRG:** il carattere temporaneo può superare alcuni vincoli derivanti dalle disposizioni di PRG.

**Dimensione:** la dimensione dell'area va valutata in relazione alle dimensioni del comune alla quale si riferisce ed alle possibilità insediative che essa può garantire sia in caso di emergenza che in caso di normalità.

**Reti** – Costituiscono il tessuto connettivo dell'area presa in esame e la loro presenza è quasi sempre un fattore altamente positivo; le reti, infatti, facilitano l'integrazione dell'area nel tessuto esistente. Ma ci sono particolari situazioni in cui l'area stessa può divenire punto strategico per una nuova centralità basata sul recupero ambientale di luoghi emarginati e isolati.

**Rete stradale e autostrade:** si considera positivamente tutto ciò che favorisce l'accessibilità all'area

**Reti di comunicazione:** si considera positivamente tutto ciò che favorisce l'accessibilità all'area

**Rete idrica e fognaria:** si considera positivamente la vicinanza con le reti idriche e di smaltimento anche se è possibile prevedere interventi "senza rete" per particolari situazioni ambientali.

**CAPITOLO TERZO**  
**IL POST TERREMOTO**

### 3.1 Il pre-terremoto: pericolosità sismica, normativa e zone sismiche nell'Aquilano

Il comune dell'Aquila fu classificato come sismico sin dal terremoto del 1915 del Fucino. Nel 1927 furono introdotte le classi sismiche e l'area dell'Aquila venne posta in classe 2. Nel 1984 tutto il territorio nazionale fu riclassificato con criteri omogenei, sulla base della "Proposta di riclassificazione sismica" del Progetto Finalizzato Geodinamica. Per tutta l'area aquilana fu confermata la classificazione sismica precedente.

In seguito al DLgs 112/1998, la competenza in materia di aggiornamento dell'assegnazione dei Comuni alle zone sismiche passò a Regioni e Province Autonome. Allo Stato rimase la competenza di definire i criteri generali per tale aggiornamento e la competenza in materia di norme tecniche.

Nel 2002, a seguito del terremoto di San Giuliano di Puglia, l'Ordinanza PCM 3274/2003, con un intervento di emergenza, aggiornò l'assegnazione dei comuni alle zone sismiche (che era ancora la stessa del 1984), combinando la classificazione allora vigente con la "Proposta 1998" (mappatura della pericolosità del rischio sismico in Italia redatta dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e mai adottata dalle autorità competenti) e definendo per la prima volta la zona 4. *La regione Abruzzo è una delle pochissime che non fa modifiche al testo dell'ordinanza 3274/2003.* Da allora non c'è più una "classificazione sismica nazionale", ma distinte "classificazioni regionali".

Qualche anno dopo il Governo emana una nuova ordinanza nr. 3519 del 28 aprile 2006 che recepisce una nuova mappatura del rischio sismico dell'INGV del 2004 MPS04 (Fig. 3.4) dove stavolta viene ricompresa la totalità della provincia de L'Aquila, in un'area di colore viola con un grado di "rischio 1". L'ordinanza del Governo indica, ma non impone alle regioni di modificare la precedente mappatura del rischio sismico del 2003. *La regione Abruzzo mantiene quella prevista dall'ordinanza 3274/2003 del Governo.*

Modificare il grado di rischio sismico avrebbe, infatti, comportato più costi per l'edilizia, più spese di costruzione, più ferro, più cemento. Criteri per costruire edifici e palazzi con maggiore rigore tecnico edilizio e con vincoli più restrittivi. Aumentare il rischio sismico vuol dire anche, per il settore immobiliare, dover abbassare i prezzi per metro quadro degli appartamenti che non sono costruiti a norma.

Dalla pubblicazione del Decreto è iniziata una fase transitoria in cui è possibile usare la normativa precedente o quella nuova, a scelta del progettista.

Tale fase fu al momento prorogata fino al 30 giugno 2010. Nel frattempo, il progetto di ricerca "esse1", svolto da INGV insieme ad alcune Università italiane per conto del Dipartimento della Protezione Civile, ha rilasciato nel 2007 ulteriori e più dettagliate valutazioni di pericolosità sismica. Tali

valutazioni sono state utilizzate per definire, punto per punto, l'azione sismica di riferimento nelle nuove Norme Tecniche delle Costruzioni.

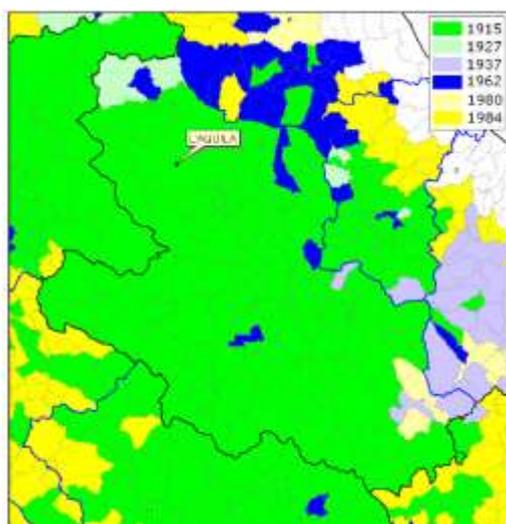


Fig.3.1 Prima classificazione dei comuni italiani

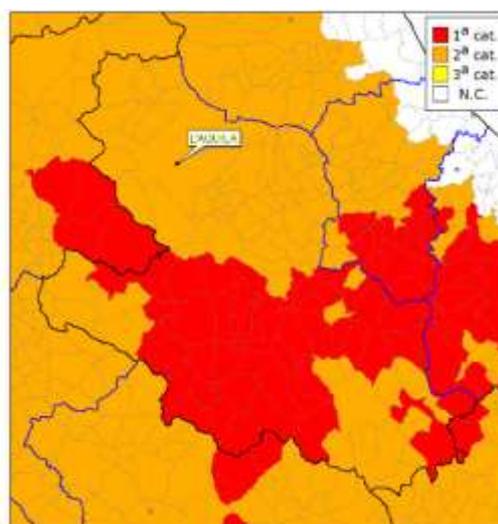


Fig.3.2 Classificazione sismica vigente dal 1984

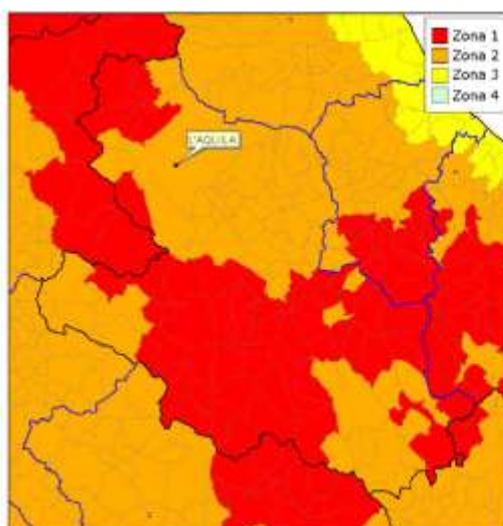


Fig.3.3 Zone sismiche aggiornate dall'OPCM 3274/2003 e recepite dalle Regioni

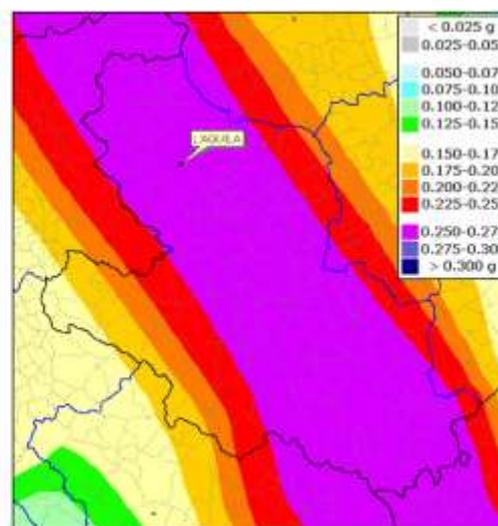
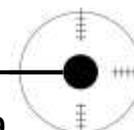


Fig.3.4 Mappa di pericolosità sismica MPS04. Accelerazione massima attesa su suolo rigido con una probabilità del 10% in 50 anni

Come si può notare da l'evoluzione della collocazione nelle zone sismiche dell'area aquilana in relazione alla sua pericolosità sismica appena descritta l'INGV ha contribuito a realizzare le stime di pericolosità sismica secondo gli standard più elevati in uso nella comunità scientifica internazionale.



L'INGV ha inoltre fornito supporto scientifico al Dipartimento della Protezione Civile per il loro utilizzo, e al Ministero delle Infrastrutture per la definizione della normativa sismica nell'utilizzo delle mappe di pericolosità sismica per l'assegnazione dei Comuni alle zone sismiche, che spetta alle singole Regioni. Infine la mappa di pericolosità sismica MPS04 e le mappe regionali delle zone sismiche definiscono con chiarezza le aree dove ci si possono aspettare scuotimenti forti; tali mappe quindi possono e devono essere considerate come strumenti di previsione e devono essere utilizzate per definire priorità di adeguamento sismico degli edifici e guidare interventi di preparazione al terremoto;

### 3.2 Il post-terremoto

Non è stato facile recuperare dati attendibili sul danno generato dal sisma del 6 aprile 2009. L'unico dato ufficiale disponibile riguarda le verifiche di agibilità le quali, nella gestione di tutti i dopo-terremoto, sono un passaggio fondamentale per:

- Consentire il rientro della popolazione negli edifici agibili alleviando il carico di senzatetto;
- Intervenire con tutta la possibile urgenza per riparare i danni lievi e rendere possibile il rientro in tempi rapidi nel maggior numero di abitazioni, sottraendo un'ulteriore quantità di senzatetto all'assistenza;
- Stimare in buona approssimazione il danno e quindi il costo della ricostruzione;
- Disegnare una strategia, un programma di "ricostruzione" a partire da dati statistici e documentali verificati e verificabili.

A valle delle verifiche di agibilità, tutto ciò che è stato prassi ordinaria in altre occasioni, non è successo a L'Aquila e dintorni. Non sono state prodotte analisi sufficientemente approfondite sulle quali basare poi le strategie di intervento. La stima del danno grave, ovvero il conto di quanto costerà riparare L'Aquila non c'è; nulla di ciò che è stato programmato sembra essere stato pianificato. La ricostruzione de L'Aquila sembra essersi ridotta ad una mera questione edilizia, mentre non è affrontata in nessun modo la dimensione urbanistica o territoriale del problema.

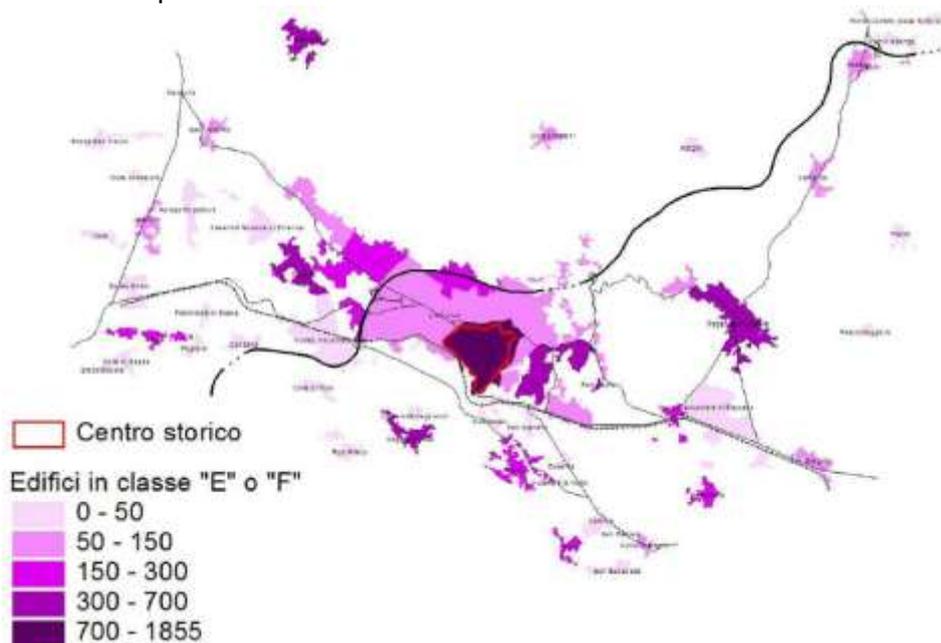
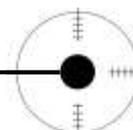


Fig.3.5 Verifica di agibilità. Numero di edifici inagibili in seguito agli eventi del 6 aprile 2009 (fonte: elaborazione dei dati della Protezione Civile\_Gis)



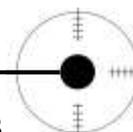
La restituzione cartografica della distribuzione del danno grave chiarisce, invece, immediatamente, le implicazioni urbanistiche della ricostruzione. Oltre la metà degli edifici gravemente danneggiati si trovano nel capoluogo e, come risulta evidente, è proprio il centro storico il segmento urbano maggiormente colpito, dal momento che un quarto degli edifici risulta in classe "E" (edificio inagibile) ed "F" (edificio inagibile per rischio esterno). Tra gli edifici colpiti non ci sono soltanto quelli di tipo residenziale, ma anche quelli che rappresentano il patrimonio storico-simbolico della città e che ospitano tutte le principali funzioni amministrative ed economiche; è proprio per questo motivo che risulta di fondamentale importanza che la ricostruzione dell'intero sistema territoriale riparta dalla strategia per il centro storico. Soltanto successivamente alla rinascita del centro, infatti, potranno ripartire *in toto* il comune e la provincia. Lievemente diversa appare invece la situazione nelle frazioni: nonostante i danni siano stati rilevanti, dal punto di vista territoriale la ricostruzione è sicuramente meno complessa poiché questi hanno interessato essenzialmente il patrimonio residenziale.

### **3.3 La ricostruzione: il progetto C.A.S.E.**

La ricostruzione della città de L'Aquila è stata affrontata principalmente con il progetto C.A.S.E., un acronimo che significa "Complessi Antisismici Sostenibili ed Ecocompatibili". Si tratta in sostanza di una serie di lottizzazioni sparse su 19 aree, individuate dalla Protezione Civile, sulle quali sarebbero sorte altrettante piccole nuove città, o, come sono state battezzate, new town. Città né provvisorie né definitive ma durevoli: "Il Commissario delegato nominato dal Presidente Del Consiglio dei Ministri [...] provvede in termini di somma urgenza alla progettazione e alla realizzazione nei comuni di cui all'articolo 1 di moduli abitativi destinati ad una durevole utilizzazione, nonché delle connesse opere di urbanizzazione e servizi, per consentire la più sollecita sistemazione delle persone le cui abitazioni sono state distrutte o dichiarate non agibili dai competenti organi pubblici in attesa della ricostruzione o riparazione degli stessi." (art.2, c.1, Dl 28 aprile 2009, n°39).

Le aree interessate dal progetto C.A.S.E. sono state individuate dal decreto del Commissario delegato 11 maggio 2009, n°6, dove si specifica che nella scelta dei luoghi si sia tenuto conto "della loro prossimità ai luoghi di provenienza delle persone [...] dell'integrazione con i centri abitati esistenti nonché dell'idoneità dei siti dal punto di vista della sicurezza idrogeologica, sismica e della sostenibilità paesaggistica ambientale".

Tuttavia è d'obbligo fare due osservazioni: per prima cosa si deve tenere conto che a maggio, al momento del suddetto decreto, non c'erano ancora gli esiti delle verifiche di agibilità e non si conosceva la distribuzione del danno sul territorio. In secondo luogo, proprio riguardo all'idoneità dei siti scelti, la Protezione Civile si è trovata a dover rivedere le proprie scelte in seguito a successivi approfondimenti tecnici: alcune aree, infatti, sono state ritenute non idonee per le caratteristiche del sottosuolo e sono state dunque sostituite da altre (Dcd 1 luglio 2009, n°3557 e Dcd 24 agosto 2009, n°18). Infine, con un ulteriore successivo decreto, dell'1 ottobre 2009, n°26, si sono allargate le aree precedentemente individuate per realizzare un numero maggiore di piastre.



### 3.4 Critiche al progetto C.A.S.E.

Il progetto C.A.S.E., come emerge dal paragrafo precedente, prende il via nelle dichiarazioni rese già poche ore dopo il sisma, quando ancora nessuno conosceva l'entità del danno. Esso non può dunque essere il frutto di uno studio sulle specificità del terremoto de L'Aquila.

È improprio parlare di new town a L'Aquila; le new town, infatti, rappresentano nell'Inghilterra del dopoguerra progetti pubblici molto complessi, che proponevano non solo la realizzazione di case, ma anche servizi, infrastrutture, e posti di lavoro. Il progetto C.A.S.E. invece, riduce l'urbanistica all'edilizia, abolisce il governo della forma delle città e sembra al contrario proporre una crescita incontrollata.

La ricostruzione de L'Aquila sembra essere priva delle dimensioni territoriali e urbanistiche del problema, mentre pare che tutto si sia ridotto ad una semplice questione edilizia.

Come risulta evidente dalla planimetria del progetto (Tav. 3.1), le aree di intervento sono disseminate sul territorio in modo casuale, e sembrano aver seguito la sola logica della disponibilità immediata dell'area.

Inoltre da un'analisi dettagliata effettuata sulle singole new town (Schede 1A-13A) appare subito chiaro che, oltre al fatto che la scelta delle aree non ha assolutamente tenuto conto della destinazione d'uso dei terreni utilizzati, la loro collocazione risulta assai lontana da quanto era stato dichiarato e cioè che fosse avvenuta tenendo conto della loro *"prossimità ai luoghi di provenienza delle persone e dell'integrazione con i centri abitati esistenti"*.

I nuovi quartieri residenziali, in realtà più correttamente definibili dormitorio, sono stati, infatti, collocati essenzialmente in aree destinate ad attrezzature generali, zone P.E.E.P, zone agricole piuttosto che aree destinate al verde pubblico, ai servizi e all'artigianato, con la sola eccezione della new town di Cese (Scheda 6A) che invece è stata collocata in zona di espansione residenziale. Ciò è stato permesso da un cambio del piano regolatore che ha reso costruibili aree che prima non lo erano e che ha portato al consumo di 250 ettari di suolo agricolo espropriato ai legittimi proprietari.

Inoltre la loro vicinanza ai centri abitati è soltanto apparente, esse non sono assolutamente integrate al sistema urbano sia dal punto di vista dei servizi sia da quello di collegamenti viari; le aree, infatti, il più delle volte risultano completamente disconnesse dai centri abitati perché *"tagliate fuori"* dal passaggio di assi viari di primaria importanza (come si vede nei casi di Assergi, Bazzano, Camarda, Collebrincioni - Schede 1A, 2A, 3A, 4A), oppure semplicemente perché relegate in aree periferiche distanti dal nucleo (come nel caso di Coppito, Roio Poggio, Paganica- Schede 5A, 7A, 9°); come afferma l'architetto Massimiliano Fuksas *"in Abruzzo sono state costruite delle case che non hanno alcun tipo di collegamento con la città. Immobili edificati in mezzo*

*alla campagna, spesso devastando l'ambiente, che non danno l'idea di una città: non ci sono, ad esempio, né bar, né negozi.”.*

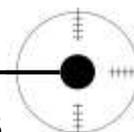
“L’iniziativa di costruire queste presunte New Town è stata affidata ad imprese che non hanno alcuna idea del territorio. La soluzione migliore - continua ancora Fuksas - sarebbe stata quella di costruire delle unità abitative in legno che costano meno e che possono essere smantellate molto più facilmente. Case comode che dovevano sorgere in aree limitrofe alle città con le quali avrebbero dovuto essere legate in modo organico”.

Gli insediamenti nati a L'Aquila non hanno la complessità propria della città, mancano per esempio strade e piazze; ci sono solo alloggi e *“hanno una planimetria che assomiglia molto a quella degli accampamenti”* come spiega l'architetto Giulio Fioravanti, docente di composizione architettonica all'Università dell'Aquila e prosegue -*“la Protezione Civile ha usato la mentalità dell'accampamento senza una consultazione scientifica, urbanistica o architettonica della città. Non c'è stata nessuna interlocuzione per una direttiva sull'impostazione dei nuclei. [...] Questi grossi accampamenti in cemento armato sono costati tra i 2.500 e i 2.700 euro al metro quadrato, tre volte rispetto ai costi dell'edilizia ordinaria.*

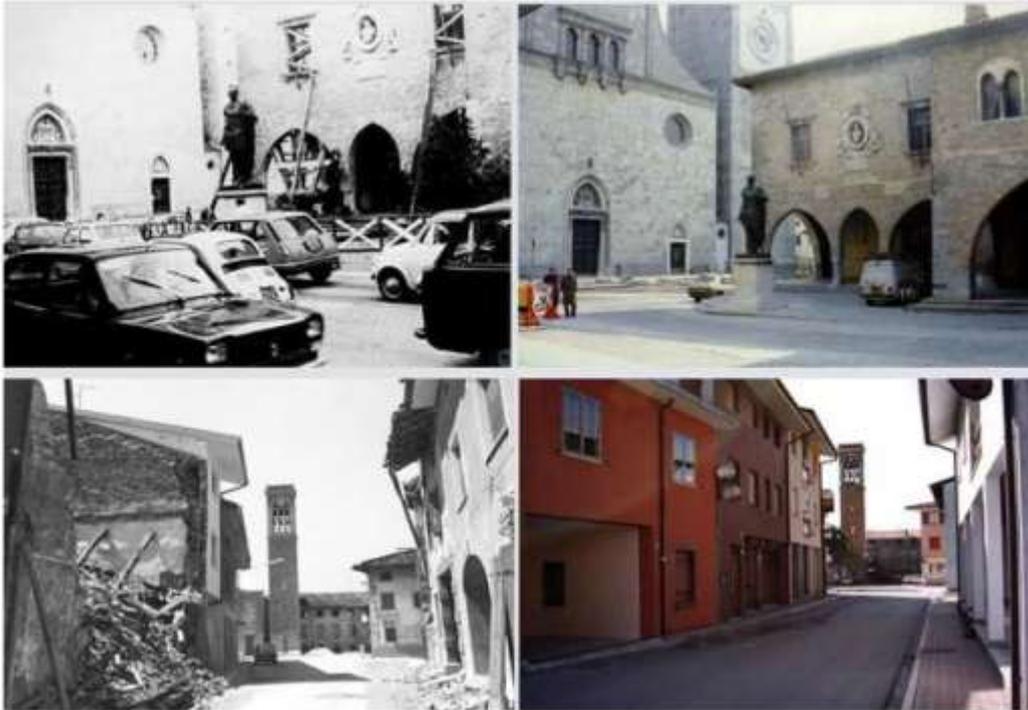
L'intervento ha fatto sì che il territorio di quasi tutti i paesi del comune fosse occupato da un secondo borgo ibrido, definito da Antonello Ciccozzi, ricercatore di Antropologia dell'Università dell'Aquila, come *“una strana osmosi tra il rurale e l'urbano, una pseudo sostenibilità che ha alterato i rapporti antichi tra città e campagna. Una grottesca metastasi condominiale”.*

*“Un'operazione criminale”* accusa invece di Paolo Berdini, altro grande urbanista *“...non si ricostruisce il centro storico, ma si fanno tante piccole città”.* Ciò è un paradosso se si pensa proprio alla storia della città dell'Aquila, nata quando i settanta castelli della piana decidono di non farsi più la guerra e sorge così una sola città. Oggi si fa l'operazione inversa, si distrugge la città e la si sgretola in enormi pezzi di periferia, senza centro e senza volto.

L'approccio per la ricostruzione utilizzato nel post terremoto de L'Aquila si distacca completamente dalla strategia, vincente, che invece fu proposta per la ricostruzione del Friuli in seguito al terremoto del 1976. In questo caso la ricostruzione venne concepita come rinascita e sviluppo, non solamente come intervento volto o a riparare quanto danneggiato o a ricostruire quanto distrutto. Infatti, alla ricostruzione produttiva è stata data la precedenza rispetto alle stesse case perché si scelse la strada del rilancio immediato dell'economia locale. Allo sviluppo economico si aggiunsero poi gli obiettivi di completare e ammodernare il sistema infrastrutturale, di rendere gli edifici



antisismici, di ricostruire “dov’era com’era” al fine di salvaguardare e arricchire il patrimonio storico paesaggistico e socio-culturale.



**Fig.3.6 Confronto tra il prima e il dopo sisma in Friuli**



**Fig.3.7 Piazza Duomo, L’Aquila prima del sisma ed esempio di New Town (Coppito)**

Le numerose critiche fatte al progetto C.A.S.E. non sono solo di tipo urbanistico, ma toccano argomenti delicati quali i risvolti sociologici che questo comporta.

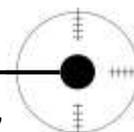
“Questa è una città esplosa in 19 molecole impazzite.” afferma Rita Salvatore, sociologa e conoscitrice del capoluogo abruzzese. “Questi nuovi insediamenti non sono certo dei quartieri, perché non ne hanno le caratteristiche: non esistono servizi, negozi, luoghi di aggregazione. Manca l’humus necessario ad

ogni piccolo conglomerato cittadino. Non si possono definire neanche periferie, perché a L'Aquila non c'è più un centro intorno al quale esse ruotano. Sono delle entità anomale, a sé stanti. Sono nate come funghi in pochissimo tempo e non hanno alcuna familiarità con lo sviluppo urbano del territorio". Questi insediamenti sembrano in cerca di una qualche ricollocazione e ridenominazione, essi pongono l'accento sul bisogno individuale e annullano le esigenze della collettività e i valori sociali. Il concetto stesso dell'abitare è sacrificato, ridotto alla necessità di avere un tetto sopra la testa; sono alloggi dove alla cura maniacale dei dettagli interni, corrisponde l'assenza totale di servizi per la collettività. Quello che temono gli esperti è l'impatto della disgregazione territoriale sulle connessioni umane e urbane. Questa città è stata ribattezzata dalla Salvatore nelle sue riflessioni "Là-qui-là", una provocazione per sottolineare la dispersione sociale.

Si può facilmente capire come oltre a parlare di ricostruzione bisognerà presto parlare anche di ricomposizione sociale.

L'intervento è stato progettato, o meglio imposto in una sorta di "narcolessia sociale" che ha permesso di naturalizzare la città, accettando passivamente la collocazione del piano C.A.S.E. in zone vincolate dai piani paesaggistici, con la conseguente dispersione di un patrimonio. C'è poi il rischio che molti subiscano un processo di "passivizzazione"; una casa dotata di tutto, ma dispersa nel territorio, annulla l'incentivo alla riappropriazione della vita tipica della polis. Il rischio insomma è che si perda la spinta a reagire.

Se poi il criterio di assegnazione ha inizialmente livellato i ceti sociali, evitando la creazione di fenomeni discriminatori, ora la situazione è destinata a cambiare. Le persone più abbienti troveranno presto una sistemazione alternativa e così il pericolo è che nei palazzi del piano C.A.S.E. ci rimangano solo le fasce più povere. Giuliano Masciocco, assessore alle politiche sociali del comune, afferma: "Prevedo che nel giro di pochi anni i palazzoni di Berlusconi diventino peggio delle Vele di Scampia. Vere e proprie casbe e luoghi di emarginazione".



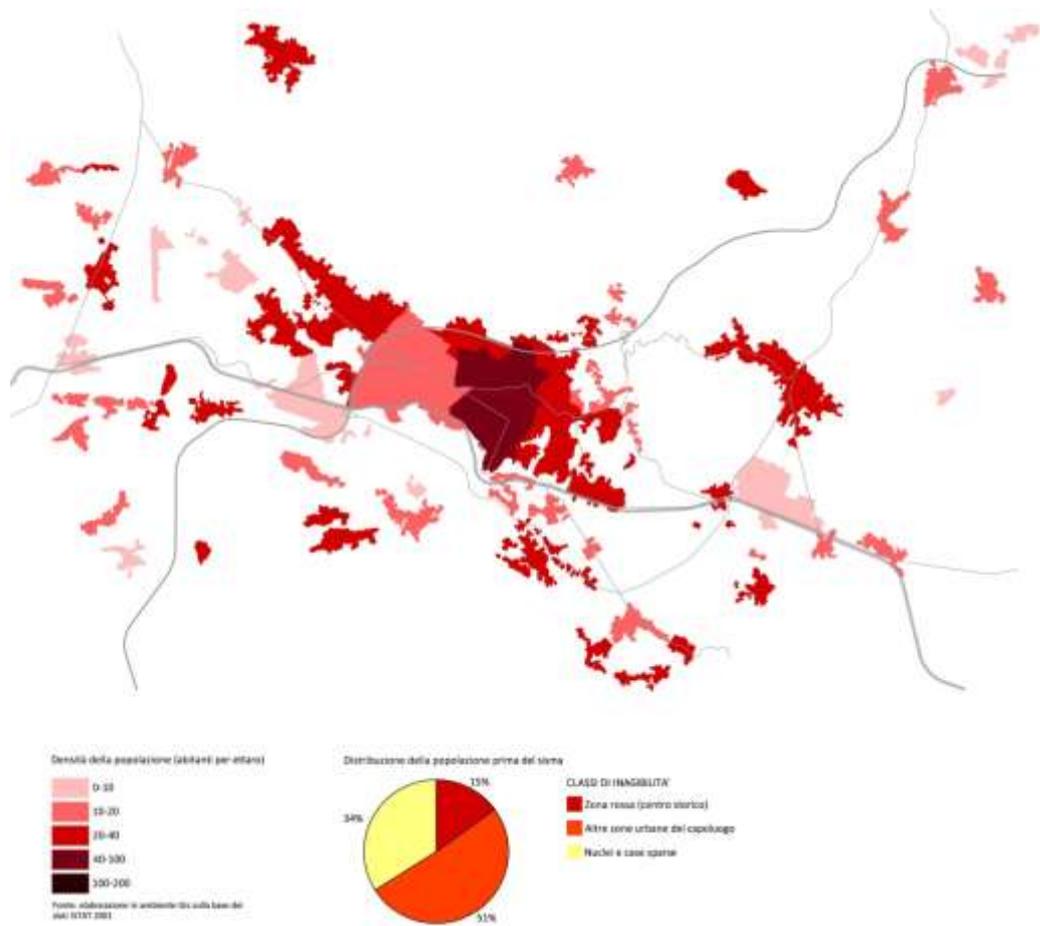


Fig.3.8 Densità abitativa prima del terremoto

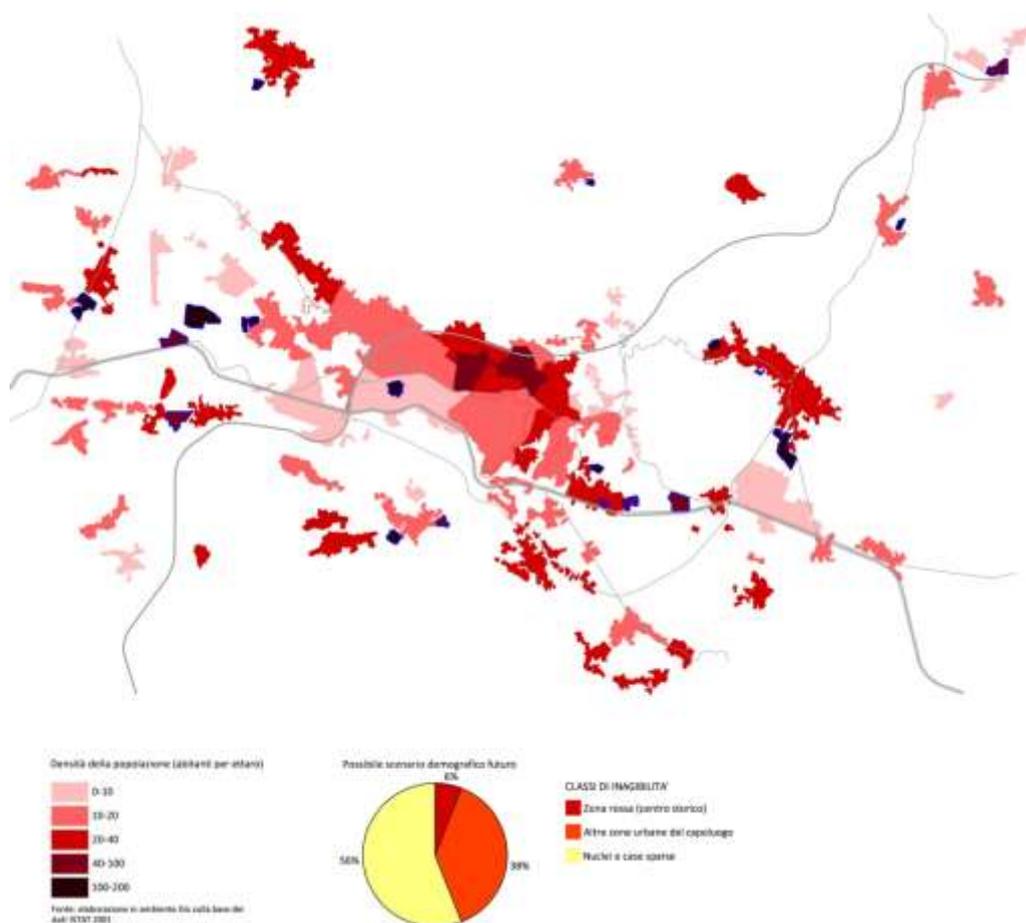
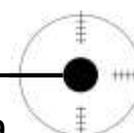


Fig.3.9 Densità abitativa dopo il terremoto

Come appare evidente dalle immagini Fig. 3.8 e 3.9 prima del sisma ben due terzi della popolazione del comune abitavano nel capoluogo (centro storico e zone urbane adiacenti), mentre solo un terzo era residente nelle frazioni e nei nuclei periferici. In seguito alla strategia centrifuga del progetto C.A.S.E., la situazione si capovolge. La periferia diventa numericamente più rilevante del capoluogo, ospitando oltre la metà della popolazione residente. Il capoluogo perde un terzo degli abitanti, mentre il centro storico subisce un vero e proprio tracollo: una volta che saranno sgomberate le macerie e saranno rese accessibili le case non danneggiate gravemente (cose che per ora appaiono ancora come miraggi), solo uno su tre dei vecchi abitanti potrà tornare a casa.



### **3.5 Osservazioni**

Dalle considerazioni degli architetti sopracitati si evince chiaramente come al giorno d'oggi sia difficile effettuare un intervento sia urbano che territoriale; la prima cosa da fare è quindi pensare a come recuperare la struttura urbana e cercare di integrarvi nel migliore dei modi il nuovo.

Inoltre ricostruire una città a seguito di un evento disastroso quale un terremoto è sicuramente molto difficile, quasi impossibile. Quando una città diventa macerie e rovine, ci si illude di poterla ricostruire facendone una nuova. Nuove saranno le case, magari bellissime, spaziose, ma la città non c'è; si è solo allargata la periferia. Periferia che disperdendosi nel territorio cancella la città, come appunto nel caso dell'Aquila dopo il terremoto del 2009.

“Una città non è fatta solo di case e di abitanti. La città rappresenta una comunità con i suoi valori, la sua memoria, le sue tradizioni, la sua identità; la città è un bene comune che appartiene alla collettività, la casa è di chi la abita.

Se la città finisce di essere tale perché si pensa di migliorarla con una “new town” non c'è ricostruzione possibile. La ricostruzione di case e chiese, palazzi e monumenti, strade e piazze per restituire la città come bene comune, deve essere prioritaria, perché la città è prima di ogni altra cosa storia e cultura, lavoro e natura di chi ci vive. Dispersa nella campagna la città non esiste più...”.

## **CAPITOLO QUARTO**

### **LE ANALISI**

#### 4.1 Analisi criticità

Da ciò che è stato finora osservato si nota come il dopo-terremoto stia sottoponendo la città ad un profondo e doloroso stress fisico, abitativo, funzionale e di significato che amplifica i danni già subiti col sisma e che si ripercuote sul rapporto tra *urbs* e *civitas* e quindi sulle sue prospettive identitarie e di ruolo. Ed è chiaro che, soprattutto nel centro storico, il tema della *civitas* è importante quanto e forse più di quello dell'*urbs*, perché una *civitas* forte, motivata e supportata da azioni e incentivi efficaci, è simbolo di una voglia di ricostruzione molto forte.

L'abbandono brusco di abitanti e attività e l'interdizione fisica degli spazi urbani maggiormente danneggiati dal terremoto (solo da poco parzialmente allentata), a partire dal centro storico, sta producendo non solo un deperimento fisico progressivo del patrimonio architettonico già duramente colpito, ma anche un prolungato svuotamento e snaturamento funzionale e d'uso e quindi, in prospettiva, di senso e di valori, che rischia di indebolire in maniera strutturale gli equilibri stratificati della città con effetti di lunga durata di difficile contrasto.

Ciò spinge a pensare alla coniugazione tra la conservazione dei luoghi della memoria storica (centro storico e nuclei storici), il recupero urbanistico della città e la progettazione di nuove aree insediative che si inseriscano coerentemente nel tessuto già esistente.

Dalle considerazioni e osservazioni fatte nel capitolo precedente, si evince, infatti, come l'intervento svolto finora con la realizzazione delle *new town* non abbia prodotto risultati positivi né dal punto di vista urbanistico, né architettonico, né sociologico.

A tal proposito si è pensato come la soluzione ottimale sia quella di rafforzare il centro storico, fortemente indebolito e abbandonato con la ricollocazione degli abitanti nei pressi di esso in maniera più intelligente e sensata e in linea con il principio stesso con cui si è sviluppata l'Aquila: più nuclei che si sono uniti e non un nucleo solo che "esplode" in tante piccole parti sul territorio.

Questo è il principio alla base del progetto: la riappropriazione da parte degli aquilani del loro centro storico.

Ciò presuppone un processo di analisi e studio del territorio, delle esigenze della popolazione, delle caratteristiche storiche e urbanistiche di sviluppo della città: una base indispensabile per la ricostruzione della città dell'Aquila, un elemento essenziale di partenza per giudicare e quindi progettare.

In aggiunta sono state eseguite analisi ai fini di conoscere e comprendere quali sono i problemi relativi all'intervento realizzato (C.A.S.E.) e per capire come si sarebbe potuto intervenire diversamente, con più coscienza, evitando conseguenti problemi.

#### **4.2 Analisi dei servizi diffusi**

L'analisi dei servizi diffusi si è concentrata su due aspetti fondamentali del servizio pubblico: la presenza dei servizi scolastici minori, ovvero scuole dell'infanzia, primarie e secondarie, e la presenza sul territorio del trasporto pubblico su autobus.

Per quanto riguarda il servizio scolastico, si possono evidenziare (Tav. 5.1) alcuni casi critici, come le due aree di Coppito 3 e Sassa, le tre aree di Grignano, Sant'Elia1 e Sant'Elia2 e le aree di Camarda e Assergi, dove non sono presenti né asili né scuole. I nuovi insediamenti del piano C.A.S.E. potevano essere pensati, in maniera più intelligente, per portare in queste aree poco servite quei servizi che mancavano sul territorio.

Analizzando inoltre le linee autobus presenti sul territorio aquilano è emerso che i nuovi insediamenti delle new town risultano solo in pochi casi serviti e, anche in quei casi, le fermate previste raggiungono in maniera marginale le aree residenziali: le distanze eccessive ed i percorsi poco agevoli comportano difficoltà a usufruire del servizio, con conseguente disagio.

Infine è stato appurato come gli esercizi commerciali siano scarsi, o addirittura assenti e i nuovi insediamenti risultino totalmente disattrezzati anche per la sola accoglienza di un mercato a presenza settimanale, occasione non solo di acquisti, ma anche di ritrovo e di relazioni sociali.

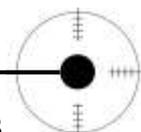
#### **4.3 Analisi dei servizi principali e tempi di percorrenza**

Dalle analisi sulle vie di comunicazioni (Tav. 4.1) (fig. 4.2) è apparso evidente come la maggior parte delle new town risulti priva di un buon collegamento con le principali strade e, di conseguenza, con i luoghi e i servizi ad esse collegati: manca una buona connessione con il centro storico e con i quartieri ad esso annessi, e quindi un facile raggiungimento di:

- Nodi fondamentali per gli spostamenti, quali l'aeroporto e la stazione dei treni;
- Servizi quali università, ospedali e aree sportive attrezzate.

Oggi giorno per la maggior parte degli aquilani muoversi per fare la spesa, raggiungere il posto di lavoro o godere di qualsiasi servizio di cui necessita risulta un problema.

Questo a causa dell'ingente quantità di tempo che tale operazione prevede con conseguente disagio e congestione delle principali vie di comunicazione.



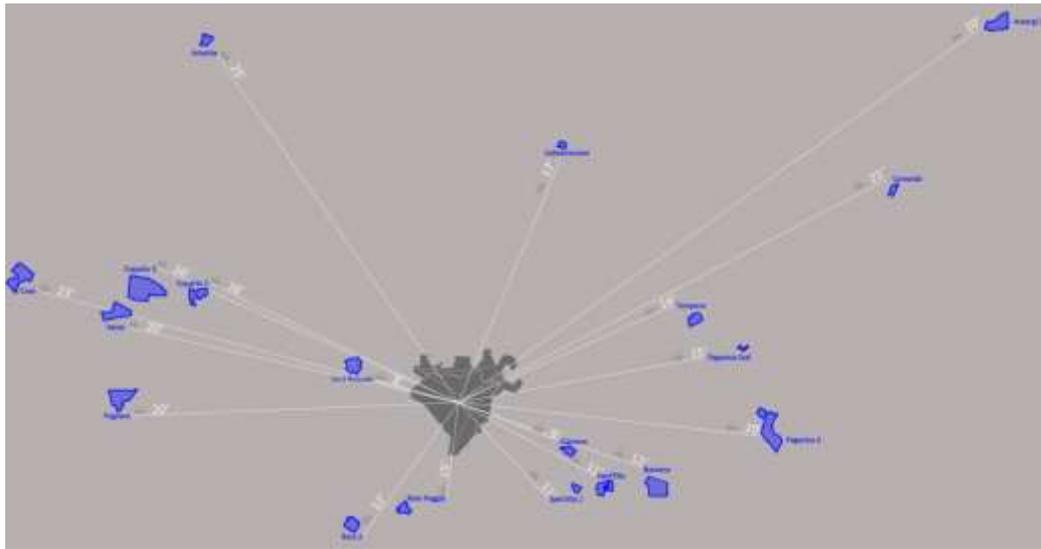


Fig.4.1 Schema delle distanze di percorrenza

#### 4.4 Osservazioni

Un intervento consapevole prevede quindi di tenere conto di tutte le problematiche evidenziate: l'aspetto che si è ritenuto principale è la voglia degli aquilani di riappropriarsi del centro storico della loro città, o comunque di avvicinarsi per sentirsi più vicini ai luoghi che hanno creato il loro bagaglio personale di nozioni, relazioni, emozioni.

A seguito delle analisi svolte sono stati evidenziati i nuovi insediamenti che presentano quindi più criticità in quanto a:

- Mancanza di collegamenti adeguati
- Mancanza di servizi
- Mancanza di integrazione urbana con il tessuto esistente
- Squilibrio tra popolazione insediata e quella esistente

Le new town, come si evince dalla Tavola 4.3, sono: Arischia, Assergi, Camarda e Collebrincioni.

Esse hanno “dato il la” al processo progettuale. L'approccio adottato, a tal proposito, ha una doppia valenza:

- Dismettere le aree enunciate perché prive di ogni caratteristica che fa di un quartiere un luogo vivibile e, di conseguenza, insediarle nel lotto sede del progetto.
- Si è inoltre notato che il numero complessivo di utenti insediati nei 4 contesti critici (circa un migliaio) coincide con il numero di persone che ad oggi, ben tre anni dopo l'evento catastrofico, sono ancora senza dimora. Di conseguenza si può pensare ad un intervento “ex novo” che dia a questa parte di aquilani un luogo dignitoso in cui vivere.



PANIFICI	1	3	1	1,7
PARRUCCHIERE	3	1	1	1,7
PASTIFICIO	1	0	0	0,3
PASTICCERIA	0	0	0	0,0
FARMACIE	2	1	1	1,3
FERRAMENTA	2	0	1	1,0
POSTE	2	1	0	1,0
CROCE ROSSA	1	0	0	0,3
AMBULATORIO	1	1	0	0,7
BANCHE E SITITUTO DI CREDITO	2	0	2	1,3
CALZATURE	1	0	0	0,3
GELATERIA	1	0	0	0,3
LAVANDERIA	0	0	0	0,0
NIDI DI INFANZIA	0	1	0	0,3
RISTORANTI	4	1	3	2,7
SCUOLE MATERNE	2	1	2	1,7
SCUOLA ELEMENTARE	0	1	1	0,7
SCUOLA MEDIA	1	0	1	0,7
ATTREZZATURE SPORTIVE	0	1	0	0,3
SUPERMERCATO	1	1	0	0,7
ALIMENTARI	0	2	0	0,7
HOTEL	0	1	0	0,3
FALEGNAMERIE	0	2	0	0,7
CENTRO SOCIALE ANZIANI	0	1	1	0,7

#### **4.6 La parola agli aquilani**

Un altro problema evidenziato riguarda un aspetto più sociologico: la difficoltà della gente di essere sradicata e trovarsi in una situazione priva di riferimenti, affetti e relazioni. La popolazione si è trovata infatti a fare i conti con nuovi luoghi, nuove situazioni e relazioni con le quali però si sente del tutto estranea. Non solo si perde la propria casa, ma ci si trova a vivere lontano dai luoghi familiari e in una situazione di vicinato diversa dalle relazioni costruite nel tempo.

Una delle prime fasi delle analisi che sono state svolte in situ è stata il confronto diretto con la popolazione: ascoltare e capire i problemi, le preoccupazioni, le critiche e i desideri di chi ha vissuto in prima persona il terremoto e, di conseguenza, l'abbandono delle proprie radici, ci è stato d'aiuto per orientare nella giusta direzione il nuovo progetto d'intervento.

Ciò che è emerso è una popolazione privata della propria identità storica, delle certezze e dei punti di riferimento, delle radici e delle relazioni costruite in una vita.

Due anni dopo il sisma, infatti, solo la minima parte della popolazione aquilana è rientrata ad abitare nelle proprie abitazioni: la maggior parte vive o in abitazioni provvisorie (autonoma sistemazione) o in casette di legno removibili (soluzione adottata solamente nei piccoli paesi limitrofi a L'Aquila, non in città) o nei progetti C.A.S.E..

L'essere allontanati dalla propria dimora, dal luogo del trauma non ha inoltre permesso alla popolazione aquilana di elaborare velocemente il trauma subito; per molti di loro è come se il tempo si fosse fermato al momento del terremoto.

Qui di seguito sono proposte alcune testimonianze raccolte durante le interviste dirette con la popolazione:

Lucia, 15 anni: "non vedo alcune amiche da molto tempo, sono state trasferite lontano e con il bus è difficile raggiungerle".

Andrea, 17 anni: "prima vivevo vicino alla scuola, ora devo fare un giro lunghissimo per arrivarci, sempre che l'autobus passi".

Marco, 17 anni: "prima ci trovavamo al parchetto del quartiere. Ora i miei amici sono in altri paesi e qui non conosco nessuno; è anche difficile incontrarsi perché qui ci sono solo case, nemmeno un parchetto o un bar".

Silvia, 23 anni: "Andare in università è impossibile: i bus scarseggiano e muoversi in macchina è da incubo. Tutti si devono spostare perché sono stati spostati e il traffico è davvero pesante".

Claudia, 42 anni: "Ogni giorno è un incubo: devo portare i miei figli a scuola e poi andare dalla parte opposta per recarmi al lavoro, il tutto nel traffico.

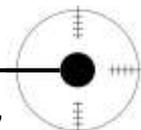
Pietro, 57 anni: "Io e i miei figli siamo finiti in 2 paesi diversi ... e qui non ho nemmeno i miei vicini di casa; queste persone io non le conosco".

Maria, 68 anni: "Io non ho la macchina e per me è davvero difficile riuscire a fare la spesa ... qui non c'è nemmeno un negozio! Non riesco nemmeno ad andare in chiesa perché qui non esiste".

Luigi, 72 anni: "Prima giocavo a carte tutti i giorni nel bar sotto casa, ora non ho né il bar, né gli amici".

In conclusione si può dire che ciò di cui risente maggiormente la popolazione è:

- la delocalizzazione delle funzioni centrali;
- la banalizzazione degli spazi della vita comunitaria impropriamente delocalizzati in surrogati anonimi, come alcuni centri commerciali o improvvisate e precarie strade-mercato;
- la perdita sia delle relazioni di prossimità che costituivano un legante importante della stessa vita comunitaria, sia delle relazioni urbane tra le



- diverse parti della città esistente con un indebolimento del sistema degli spazi pubblici significanti;
- la conseguente mancanza di spazi di aggregazione e la mancanza di servizi per la comunità;
  - la perdita delle relazioni di vicinato.

#### **4.6.1 Osservazioni**

Si può notare quindi come identità e luoghi sono due componenti della vita dell'uomo che non sono facili da scindere. L'identità si crea nel luogo, assume un significato in base alla percezione che si ha del territorio e ai punti di riferimento che in modo naturale si creano. La vita "scorre" nei luoghi perché sono quest'ultimi che la definiscono, le danno forma in una sorta di "cornice", di contesto, che è indispensabile per la definizione di un'appartenenza ad un popolo, in questo caso ad una città. Se prima l'emergenza era dare un posto ai senza tetto, ora gli aquilani sentono la necessità di recuperare la loro identità che hanno lasciato sotto le macerie. Le case, i negozi, i luoghi di aggregazione e di socializzazione, la chiesa non sono solo dei luoghi che occupano uno spazio fisico sul territorio: occupano uno spazio emotivo per ogni persona che ha creato e vissuto una città. Le New Town sono prive di tutto questo; sono semplici abitazioni senza "anima". Parlare di "ricostruzione" oltre che di "sistemazione" dovrebbe essere una priorità affinché la memoria collettiva degli aquilani non si spenga ma ritorni a vivere nei luoghi dove l'hanno persa. È una richiesta umana e sincera che va accolta, capita e di conseguenza attuata.

#### **4.7 Analisi e lettura del centro storico**

Una lettura critica del centro storico è fondamentale per capire come inserirsi in un tessuto urbanistico già esistente e ben caratterizzato; ciò permette di evitare di incorrere negli errori commessi dal progetto C.A.S.E. che risulta come detto estraneo e scollegato dalle dinamiche della città.

Il processo di conoscenza e di consapevolezza si ritiene che sia una base indispensabile alla ricostruzione della città dell'Aquila, un elemento essenziale di partenza per giudicare e quindi progettare. Questo processo mira ad interventi finalizzati in primo luogo alla conservazione e riqualificazione del tessuto urbano storicizzato, ma è anche indispensabile per poter estrapolare e evidenziare quelle peculiarità che permetteranno di definire le caratteristiche dei nuovi interventi con un buon margine di adeguatezza rispetto alle esigenze collettive.

Basare la ricostruzione semplicemente su dati quantitativi, burocratici o tecnici non è garanzia di una progettazione di qualità, nel senso che così facendo le parti nuove difficilmente entrano in gioco con la realtà consolidata. Bisogna basarsi su una sufficiente conoscenza dei luoghi per ottenere buoni risultati.

#### 4.8 Il centro storico e lettura morfologica

In primo luogo quindi bisogna comprendere e capire il centro storico, che è lo spazio urbano di valore primario, sede dell'identità degli abitanti de L'Aquila.

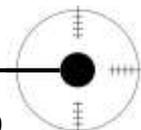
Visto il comprensibile desiderio degli Aquilani di riappropriarsi del centro, i nostri studi si sono soffermati sull'analisi degli schemi urbanistici e degli elementi di rilievo del centro storico stesso.

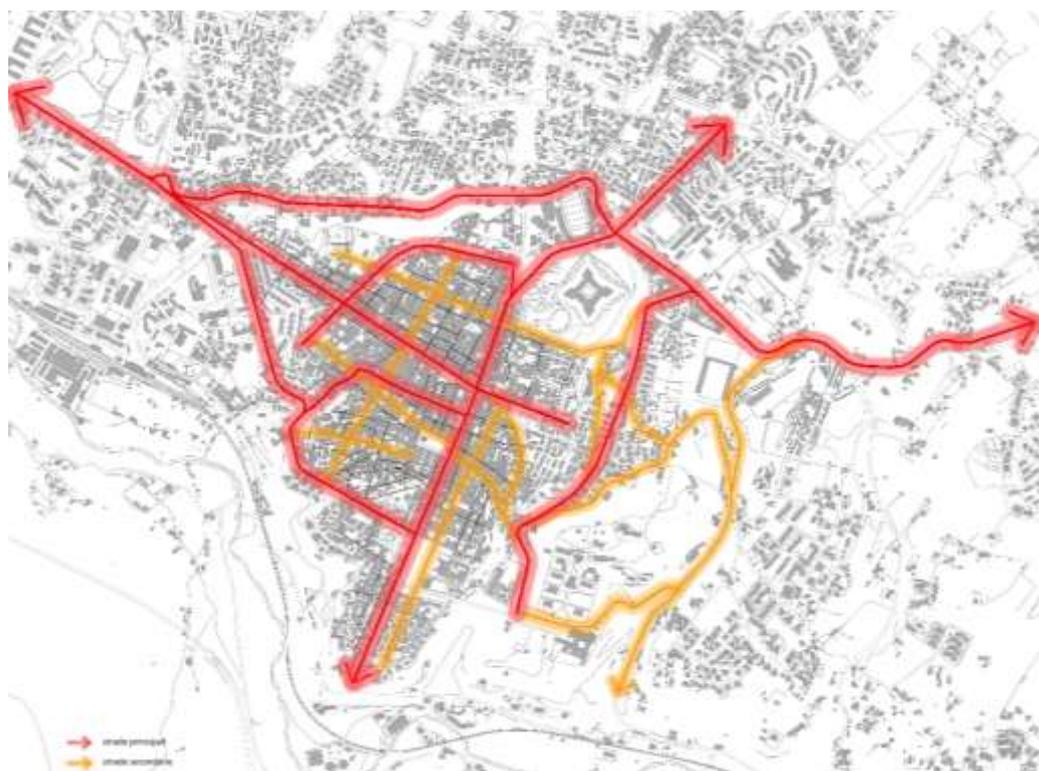
La città, di origine romana, mostra un evidente impianto urbanistico cardo-decumano, mantenuto ed accentuato nelle ricostruzioni seguite a terremoti e distruzioni. Essa è quindi caratterizzata da una forte assialità ortogonale, non solo tra le strade principali, ma anche tra quelle secondarie.

Gli assi ordinatori principali sono quindi due:

- Est-Ovest: corrispondente a via Roma, che attraversa il centro per dirigersi poi ad ovest connettendosi alla principale via di comunicazione per Roma, oggi riconoscibile nel tratto autostradale tra i due capoluoghi;
- Nord-sud: comprende Viale Francesco Crispi, corso Federico II e Corso Vittorio Emanuele. A nord si collega con l'autostrada permettendo il collegamento con Teramo, mentre a sud, uscendo dalle mura, si immette nella strada statale 17 ter dell'Appennino Abruzzese (SS 17 ter), che attraversa la periferia orientale della città, collegando alcune frazioni.

Questi assi ordinatori, oltre a tracciare gli impianti aggregativi delle tipologie insediative ed edilizie, nel tempo hanno creato un delicato rapporto con gli assi di trasformazione e le direttrici, come via XX Settembre, via degli Alberetti o viale Duca degli Abruzzi.





**Fig.4.3 Assi e direttrici principali**

In seguito sono stati definiti gli edifici di rilevanza storica, architettonica e simbolica e si è visto che la maggior parte di essi si trova lungo l'asse est-ovest, per questo definito "Asse Storico".

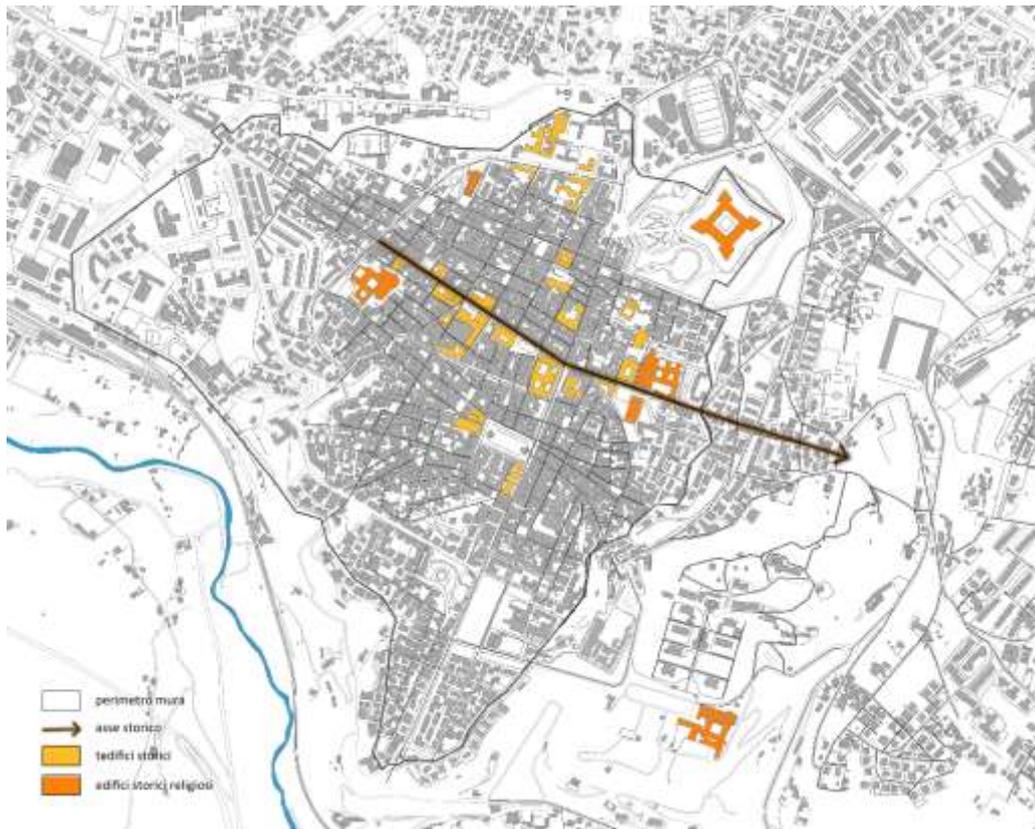
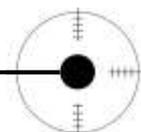


Fig.4.4 Asse storico ed edifici di rilevanza storica

Si è cercato poi di analizzare come la città si sia sviluppata nel tempo, individuando le coerenze e le criticità della stratificazione dei diversi tempi urbani. È di tutta evidenza la drammatica contraddizione tra:

- Un cuore della città fortemente coerente nel suo impianto morfologico;
- Le espansioni successive tangibilmente distanti dall'impianto tradizionale in termini di distanze, ritmi, misure, rapporti tra i tre elementi: edificato-connesione-verde.



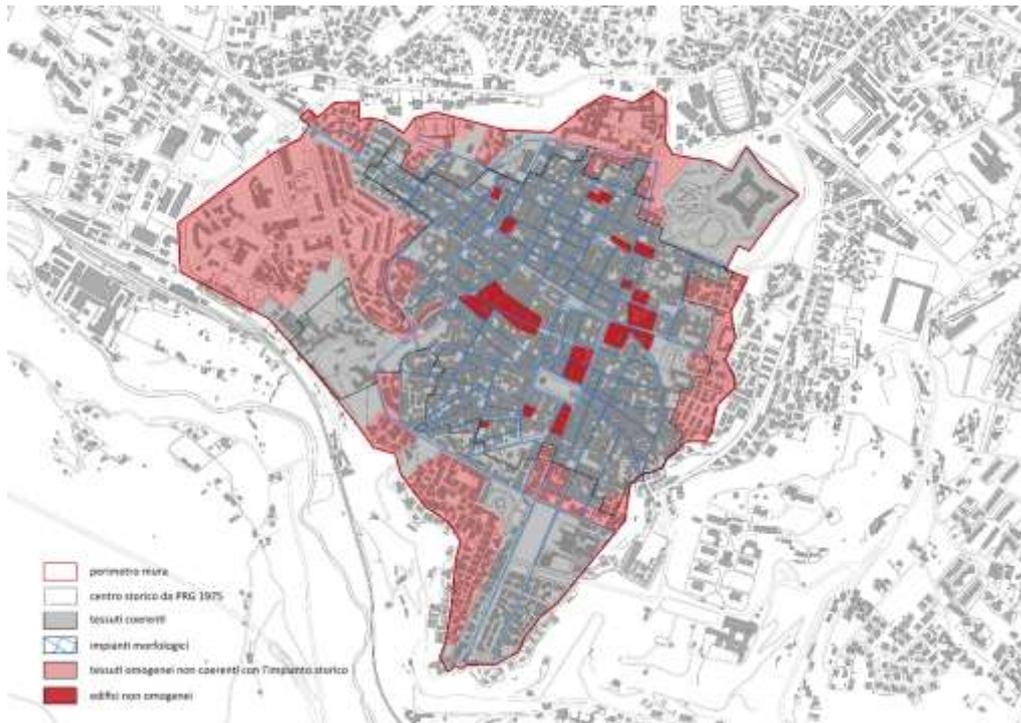


Fig.4.5 Evoluzione della città nei secoli e coerenze morfologiche

#### 4.9 Gli spazi pubblici: I giardini e i parchi urbani

L'Aquila è la città più verde del nostro Paese potendo, infatti, vantare 2784,7 m<sup>2</sup> di verde per abitante, quasi il doppio rispetto alle altre città.

Il capoluogo è, infatti, ben dotato di parchi, tipicamente panoramici perché posti sulle parti più alte delle colline. I parchi urbani principali sono il Parco del Sole e il Parco del Castello che circonda la fortezza fin dalla sua costruzione.

Sono presenti inoltre numerosi viali alberati, i più importanti dei quali sono: via XX settembre e Viale Francesco Crispi, apprezzatissima passeggiata cittadina, che presenta ampie piazzole, potature rispettose e manutenzione costante.

Sono presenti inoltre sul suolo cittadino due piazze alberate storiche: la Piazza Battaglione degli alpini dell'Aquila e la Piazza Palazzo.



**Fig.4.6 Esempio di viale alberato tra Porta Napoli Est e Porta Napoli Ovest**

Il verde è quindi un elemento fondamentale della città ed è anche preponderante: dalle analisi effettuate si nota come l'intero centro storico sia circondato da aree verdi, situate in corrispondenza delle mura. Questo costituisce una sorta di anello verde virtuale che unisce tutti i parchi e racchiude il centro.

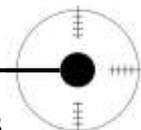




Fig.4.7 Aree Verdi

#### 4.10 Analisi FDOM

L'analisi SWOT (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats), in italiano FDOM (Forze-Debolezze-Opportunità-Minacce), rappresenta uno strumento di analisi indispensabile per poter attuare delle politiche di sviluppo territoriale in grado di evidenziare le reali problematiche e potenzialità presenti in un'area, e permettere quindi, ai soggetti attuatori, la scelta più opportuna e conveniente per uno sviluppo sostenibile dell'ambito.

L'obiettivo ultimo della valutazione è potenziare l'efficacia delle politiche di crescita e benessere, evidenziando a monte eventuali *trade off* tra sviluppo, tutela delle risorse, salute, integrazione sociale.

L'analisi è stata sviluppata in quattro step successivi:

- Prima Analisi FDOM a scala urbana
- Definizione degli obiettivi e delle strategie
- Determinazione, all'interno del quadro comunale, dell'area più idonea allo sviluppo delle ipotesi progettuali e definizione del masterplan ad ampia scala
- Seconda Analisi FDOM in riferimento al sito di progetto preso in esame

#### 4.10.1 Prima Analisi FDOM

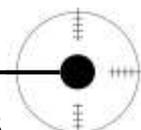
Le tabelle che seguono evidenziano da un lato i punti di *forza* e *debolezza* (fattori endogeni che si riferiscono a caratteristiche proprie della zona) che caratterizzano l'intero territorio comunale e che, attraverso opportuni interventi, possono essere rispettivamente valorizzati e superati; dall'altro mettono in luce le *opportunità* e i *rischi* (fattori esogeni che hanno a che fare con il contesto) che devono essere rispettivamente adottate ed evitati.

Le tabelle sono distinte nei diversi sistemi:

- Collocazione territoriale
- Qualità della vita
- Popolazione e Occupazione
- Risorse storiche culturali e ambientali
- Mobilità e Trasporti
- Sistemi produttivi

COLLOCAZIONE TERRITORIALE	
<b>PUNTI DI FORZA</b>	<b>PUNTI DI DEBOLEZZA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localizzazione della città in posizione strategica di collegamento tra la capitale e il versante adriatico</li> <li>- Territorio eterogeneo caratterizzato da rilievi montuosi di pregio (Gran Sasso) ma anche a ridotta distanza dal versante marittimo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geografia montuosa che in alcune zone impedisce linee di sviluppo e antropizzazione</li> </ul>
<b>MINACCE</b>	<b>OPPORTUNITA'</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sviluppo di una urbanistica periferica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sviluppo di una città tematica (natura cultura efficienza gastronomia) e policentrica con grandi capacità attrattive per il flusso turistico</li> </ul>

Fig.4.8 FDOM\_Collocazione territoriale



**QUALITA' DELLA VITA**

PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampia dotazione di spazi da attrezzare a verde pubblico o a servizi per la popolazione, già previsti nel PRG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scarsa valorizzazione e fruibilità dei centri storici</li> <li>- Degrado di alcune zone periferiche e assenza totale di servizi, con conseguente disagio sociale</li> <li>- Carenza di strumentazione urbanistica adeguata</li> <li>- Congestione veicolare agli ingressi dei centri urbani</li> <li>- Assenza di luoghi di incontro e socializzazione</li> </ul>
MINACCE	OPPORTUNITA'
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alienazione della popolazione aquilana, sradicamento fisico e sentimentale dei valori che l'hanno sempre caratterizzata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sostegno comunitario attraverso programmi integrati per il recupero delle periferie e la creazione di reti infrastrutturali nei centri urbani carenti</li> </ul>

**Fig.4.9 FDOM\_Qualità della vita**

**POPOLAZIONE E OCCUPAZIONE**

PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bassa densità di popolazione e atropizzazione diffusa nel territorio</li> <li>- Carenza di poli commerciali concentrati</li> <li>- Carenza di servizi primari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saldo naturale della popolazione senza variazioni significative</li> </ul>
MINACCE	OPPORTUNITA'
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto tasso di senillizzazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampia diponibilità di forza lavoro alla ricerca di occupazione</li> </ul>

**Fig.4.10 FDOM\_Popolazione e Occupazione**

**RISORSE STORICO CULTURALI AMBIENTALI**

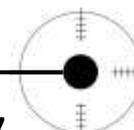
PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree di rilevante interesse naturalistico</li> <li>- Presenza di costruzioni tipiche di interesse storico culturale</li> <li>- Disponibilità di un ricco patrimonio emergenze storico-culturali ed architettoniche</li> <li>- Presenza di siti di rilevante interesse nell'ambito di percorsi turistico-religiosi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assenza di relazione tra gli ambiti naturalistici e tra gli ambiti naturalistici di rilevante interesse</li> <li>- Presenza di aree verdi satellitari prive di connessioni</li> <li>- Territorio spesso caratterizzato dalla disseminazione di case non in sintonia con l'architettura tipica abruzzese</li> </ul>
MINACCE	OPPORTUNITA'
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fattori di degrado in ambiti di interesse storico naturalistico ambientale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fondi e finanziamenti mirati alla rinascita della città storica, al restauro dei suoi monumenti, al recupero di edifici dismessi</li> </ul>

Fig.4.11 FDOM\_Risorse storico culturali e ambientali

**MOBILITA' E TRASPORTI**

PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sufficiente copertura della rete stradale di buona qualità</li> <li>- Assi e direttrici di collegamento verso Roma, Teramo</li> <li>- Presenza della rete ferroviaria che serve la maggior parte dei comuni che di sviluppano sull'asse est-ovest</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inadeguatezza di alcuni tratti viari a carattere provinciale e comunale</li> <li>- Inadeguatezza della rete dei trasporti pubblici su gomma</li> <li>- Reti ciclabili inesistenti</li> <li>- Carenza di parcheggi</li> </ul>
MINACCE	OPPORTUNITA'
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inquinamento dovuto al congestionamento di alcuni tratti prossimi alle zone servite, a tratti caratterizzati da dimensioni non idonee della carreggiata, allo scarso utilizzo del trasporto pubblico con eccessivo uso dei mezzi privati su gomma</li> <li>- Pericolo di incidenti dovuto all'assenza di porzioni di carreggiata dedicate al traffico ciclopedonale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Finanziamento promosso dal Piano regionale triennale della viabilità per potenziale la rete stradale aquilana</li> </ul>

Fig.4.12 FDOM\_Mobilità e Trasporti



**SISTEMI PRODUTTIVI - INDUSTRIA E ARTIGIANATO**

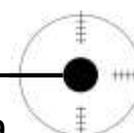
<b>PUNTI DI FORZA</b>	<b>PUNTI DI DEBOLEZZA</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Buona posizione rispetto alle infrastrutture viarie</li><li>- Presenza di Università e centri di Ricerca</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Scarsa qualità del tessuto edilizio più recente (compatibilità energetica, ambientale e sociale)</li><li>- Scarso utilizzo delle reti informatiche e telematiche, con scarsa attitudine all'innovazione di mercato</li></ul>
<b>MINACCE</b>	<b>OPPORTUNITA'</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Senilizzazione degli artigiani, con perdita dei laboratori di artigianato tipico locale</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Presenza di numerose zone idonee e destinate al settore produttivo</li><li>- Ampia presenza di artigiani altamente specializzati</li></ul>

**Fig.4.13 FDOM\_Industria e Artigianato**

**SISTEMI PRODUTTIVI - AGRICOLTURA E AGROINDUSTRIA**

<b>PUNTI DI FORZA</b>	<b>PUNTI DI DEBOLEZZA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruolo trainante ed elevata specializzazione della filiera olivicola e vitivinicola</li> <li>- Presenza di colture agricole di pregio (carciofi, fichi, pesche), con particolare specializzazione della produzione serricola e ortiva</li> <li>- Adeguata presenza del sistema infrastrutturale</li> <li>- Presenza significativa di aree naturali di riconosciuto pregio naturalistico ed ambientale</li> <li>- Presenza di produzioni agroalimentari DOP e IGP e di prodotti tipici di nicchia</li> <li>- Paesaggio agrario caratterizzato dalla presenza diffusa di muri a secco e costruzioni tipiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ridotte dimensioni delle aziende agricole</li> <li>- Debolezza dell'industria di trasformazione</li> <li>- Scarsa valorizzazione di produzioni di qualità</li> </ul>
<b>MINACCE</b>	<b>OPPORTUNITA'</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Senilizzazione degli addetti all'agricoltura</li> <li>- Cambio di destinazione nell'utilizzo del suolo agricolo per la produzione di energie da fonti alternative</li> <li>- Abbandono dell'area rurale per il basso livello reddituale</li> <li>- Parziale abbandono di emergenze architettoniche rurali con degrado del patrimonio edilizio improntato ai principi della bio-architettura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenza di giovani e qualificati agricoltori propensi all'innovazione di processo e prodotto</li> <li>- Investimenti orientati all'aumento della capacità produttiva e al miglioramento della qualità</li> <li>- Potenzialità di sviluppo delle produzioni di qualità (tipiche e biologico)</li> <li>- Crescente interesse per il turismo rurale e naturalistico</li> <li>- Crescente interesse per il turismo enogastronomico</li> <li>- Aumento della domanda dei prodotti tipici, di qualità e biologici</li> </ul>

**Fig.4.14 FDOM\_Agricoltura e Agrindustria**



**SISTEMI PRODUTTIVI - TURISMO E ATTRATTIVITA'**

<b>PUNTI DI FORZA</b>	<b>PUNTI DI DEBOLEZZA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Numerose risorse naturali di riconosciuto pregio, con grande potenziale turistico</li> <li>- Centro storico di forte valenza ambientale e architettonica (Castelli, Chiese, Zone archeologiche)</li> <li>- Ricco patrimonio culturale</li> <li>- Autostrada A24 che collega Roma al versante adriatico</li> <li>- Copertura adeguata di tutte le infrastrutture di base</li> <li>- Rete stradale di buona qualità e vicinanza tra i luoghi di interesse turistico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patrimonio culturale-naturale in buona parte escluso dall'offerta turistica</li> <li>- Flusso turistico stagionale a breve termine</li> <li>- Scarsa integrazione dei sistemi turistico-ambientale-culturale-religioso</li> <li>- Inadeguatezza, scarsa valorizzazione e capacità limitata della stazione aeroportuale di Preturo</li> <li>- Inadeguatezza della rete dei trasporti pubblici</li> <li>- Assenza di aree ricettive per il turismo</li> <li>- Assenza di un luogo d'interazione pubblico privato</li> </ul>
<b>MINACCE</b>	<b>OPPORTUNITA'</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perdita dell'identità dei luoghi e delle produzioni tipiche</li> <li>- Presenza di fragilità ambientali: aree a rischio idrogeologico, alluvionale, sismica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crescente interesse per il turismo rurale, naturalistico ed enogastronomico</li> <li>- Possibilità di diversificare e destagionalizzare l'offerta turistica</li> <li>- Sostegno comunitario per l'espansione del turismo nelle aree rurali</li> <li>- Incentivazione del sostegno pubblico e privato per la conservazione e l'impiego razionale del patrimonio culturale e naturale</li> <li>- Disponibilità di finanziamenti per il restauro del patrimonio architettonico</li> </ul>

**Fig.4.15 FDOM\_Turismo e Attrattività**

Attraverso l'analisi ad ampia scala de L'Aquila e delle sue dinamiche territoriali, si è giunti alla determinazione delle variabili di progetto, ossia tutti quegli elementi di cui necessita il Comune per il suo potenziamento.

Elementi che hanno "dato il la" al primo processo progettuale:

- la determinazione del sito di progetto
- linee guida del masterplan a scala urbanistica (potenziamento dell'asse culturale, creazione di un green way concentrico, progettazione di percorsi ciclopedonali che portassero alla riscoperta della città storica e monumentale, sviluppo di poli commerciali e luoghi di interazione sociale, valorizzazione di zone panoramiche)

Come emerge dall'analisi realizzata, il territorio de L'Aquila soffre al momento, in maniera significativa, dei fenomeni di spopolamento, invecchiamento della popolazione e carenza di servizi ed opportunità di sviluppo economico.

Sono da sviluppare maggiormente le attività economiche più innovative, efficienti, sostenibili, anche all'interno delle stesse imprese, in modo da rendere il sistema maggiormente competitivo e dare nuove opportunità ai giovani qualificati.

Il sistema produttivo risulta caratterizzato da imprese di piccole e medie dimensioni, con alcune realtà di dimensioni maggiori.

L'agricoltura costituisce ancora una delle attività economiche più importanti per l'area, in particolare si ricorda la coltivazione di prodotti cerealicoli e foraggerei e l'allevamento del bestiame. Si riscontra però un'inerzia da parte degli operatori rispetto all'impiego di nuove strategie produttive e sostenibili ed all'integrazione con l'attività turistica, a cui si aggiungono problematiche legate al ricambio generazionale.

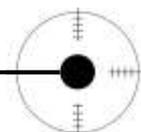
Il paesaggio rurale, lo stile di vita, la tradizione contadina possono diventare, se opportunamente valorizzate, interessanti fattori di attrattività, per visite, corsi, soggiorni ed itinerari turistici.

Le risorse turistiche dell'area, le manifestazioni, gli eventi, sono poco conosciute dalla popolazione esterna e non sono raccordate fra loro.

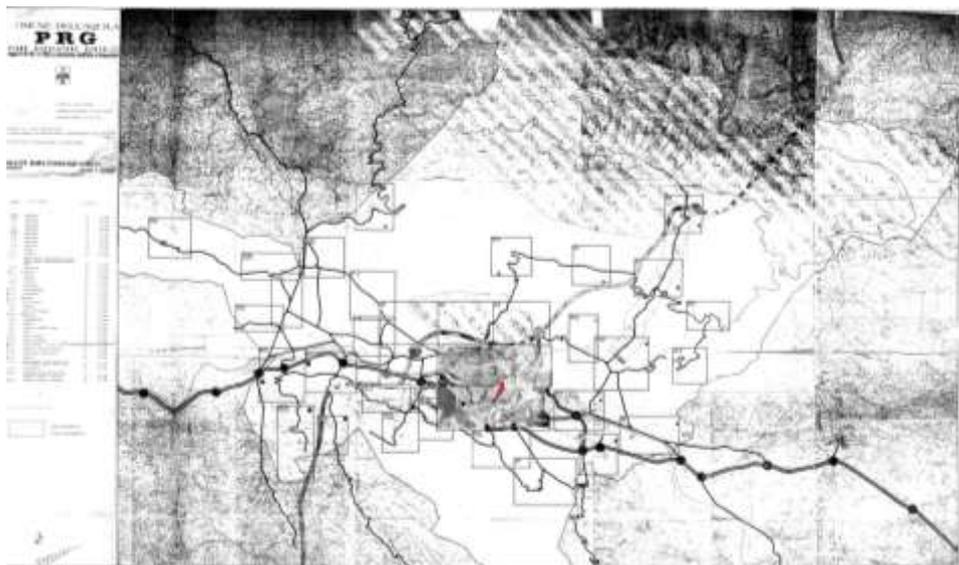
Manca, in effetti, un prodotto turistico, costituito da una varietà di servizi (trasporti, opportunità di visite, ristorazione, pernottamento, svago, proposte culturali), caratterizzato dalla messa in rete delle attrattive del comune e dei centri vicini (Fontana delle 99 cannelle, Chiesa di Santa Maria di Collemaggio, Duomo, area archeologica, Castello, Museo Nazionale d'Abruzzo e relativo parco naturale).

Mancano in definitiva proposte che stimolino un soggiorno o il pernottamento in loco, così come delle misure per favorire la mobilità alternativa all'interno dell'area comunale.

Come già evidenziato nelle relazioni sul contesto territoriale sarà necessario presentare delle proposte di sviluppo turistico che si raccordino in particolare con i progetti di valorizzazione ambientale e culturale a regia regionale promossi dalla Regione Abruzzo.



#### 4.10.2 Individuazione dell'area di progetto



**Fig.4.16 Quadro generale PRG, '42 e successive modifiche**



**Fig.4.17 Area di progetto da PRG, '42 e successive modifiche**



Fig.4.18 Area di progetto da PRG, '42 e successive modifiche

L'area di progetto secondo il Prg del 1942 e successive modifiche e integrazioni è destinata:

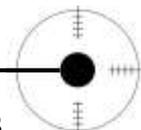
- nella zona più alta a “parco pubblico urbano-territoriale”
- nella lingua che si estende a sud la destinazione “zona per attrezzature socio-sanitarie” che è stata, a seguito della dismissione dell'Ospedale psichiatrico, convertita in “zona per attrezzature pubbliche”

#### 4.10.3 Il “perché” della scelta dell'area

La scelta dell'area di progetto deriva da un'operazione svolta ad ampia scala che ha permesso, con il supporto del prg e della carta dell'uso del suolo, (entrambi datati ma sicuramente di riferimento) di selezionare in prima analisi più aree idonee.

La scelta è ricaduta su quella precedentemente esposta in quanto in grado di conciliare tutti gli elementi che avrebbero fatto del lotto la sede di un progetto:

- Vitale: l'area è a ridosso del centro cittadino, questo permette una sua più spontanea integrazione a livello urbanistico e uno spontaneo riconoscimento a livello emotivo.
- Sostenibile: si estende da nord a sud con un'orografia che consente un'esposizione ottimale e il rispetto delle regole bioclimatiche.
- Verde: l'area è, come precedentemente mostrato, destinata a verde attrezzato. Attualmente è in parziale stato di abbandono: l'intento



dell'operazione progettuale è quello di ridisegnare il verde con percorsi parchi, campi attrezzati, creare connessioni suggestive e solo in ultima analisi inserire l'edificato in luoghi ritenuti strategici.

In questo modo verrà oltre che soddisfatto un bisogno effettivo di unità residenziali e servizi, soddisfatte le prescrizioni del prg e donata a L'Aquila una zona destinata a verde: unica, fruibile, facilmente accessibile, percepita dalla città come un'oasi verde dove trascorrere il tempo, fare shopping, praticare sport, immergersi nella cultura e nel "nuovo capitolo" che scrive la storia della città.

#### 4.10.4 Seconda analisi FDOM

Una volta individuato il sito di progetto sulla base dei criteri ampiamente esaminati è stata opportuna una seconda analisi incentrata su di esso al fine di mettere in luce tutte quelle peculiarità che avrebbero poi guidato il processo progettuale sia a livello di masterplan che a livello architettonico più di dettaglio.

Di seguito si riporta l'analisi FDOM effettuata in fase pre-progettuale:

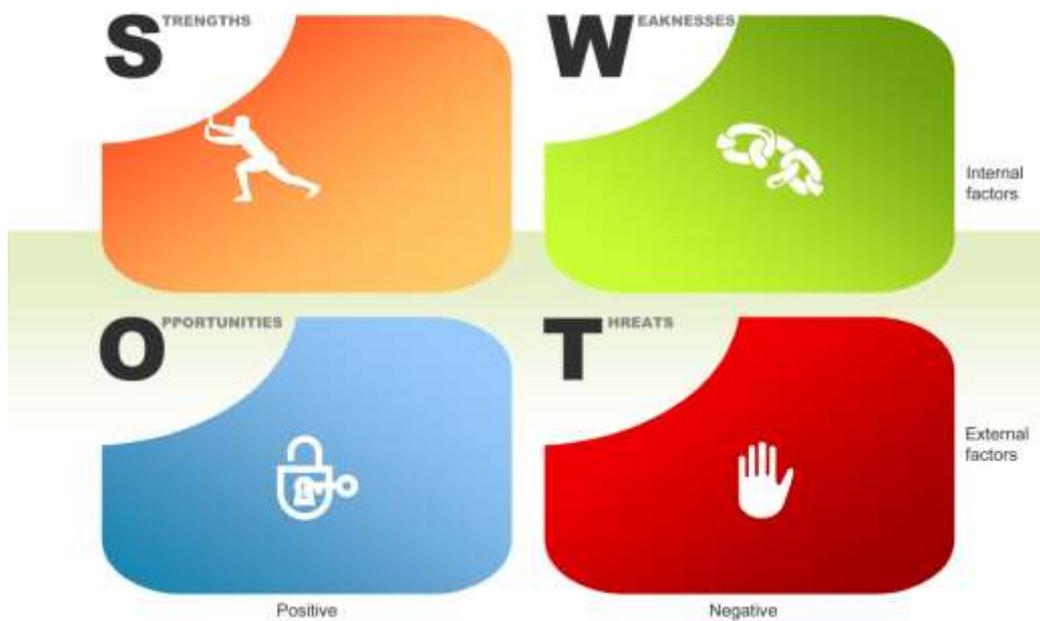
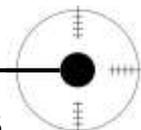


Fig.4.19 FDOM\_Schema



## Strengths



- Integrità dell'ambiente naturale
- Flessibilità funzionale del quartiere
- Buona disponibilità di aree destinate alla trasformazione insediative
- Viste panoramiche su contesto paesaggistico d'alto pregio del Gran Sasso
- Posizione "strategica": centrale ma allo stesso tempo caratterizzata da diffusa presenza di verde
- Vicinanza ai collegamenti stradali e ferroviari

## Weaknesses



- Insufficiente valorizzazione delle potenzialità ambientali del lotto
- Mancanza di verde pubblico attrezzato e organizzato
- Lotto caratterizzato dalla presenza di forti pendenze del terreno
- Totale assenza di attrezzature e servizi
- Carenza di parcheggi
- Carreggiate in alcuni tratti sottodimensionate

## Opportunities

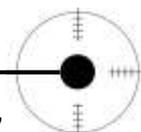


- Pregevole skyline
- Vicinanza al centro de L'Aquila
- Sviluppo dell'area secondo l'asse nord-sud: esposizione ottimale degli spazi costruiti

## Threats



- L'area da PRG è destinata a *verde attrezzato*
- Congestionamento delle vie di comunicazione e conseguente inquinamento



#### **4.11 Scheda di progetto Obiettivi&Strategie**

Il quartiere si estende su un'area avente una dimensione complessiva di circa 160.000 mq (alloggi previsti per 800 abitanti)

Gli edifici hanno 3/4 piani fuori terra.

---

#### **Obiettivi**

- Realizzazione di un centro urbano flessibile: da destinare in prima analisi alle popolazioni terremotate ma facilmente convertibile in altre funzioni.
- Creazione di un tessuto urbano e sociale.
- Creazione di un microclima interno salubre e spazi sicuri.
- Risoluzione dei problemi riguardanti il sistema infrastrutturale: collegamenti sottodimensionati in relazione alla quantità del traffico presente e conseguente congestionamento delle vie di comunicazione e incremento del tasso di inquinamento, inadeguati standard di sicurezza.
- Realizzazione di un sistema residenziale integrato con il sistema urbanistico - ambientale esistente, con funzioni e servizi in grado di realizzare un elevato livello di qualità ambientale e di benessere per gli abitanti.
- Realizzazione di un progetto urbano che risponda alle "aspettative" degli abitanti che vi verranno insediati (occorre ricordare e tener conto che tra la popolazione, che attualmente è ospitata nelle tende, alloggi di fortuna o negli alberghi della costa adriatica, il sentimento più diffuso è il senso di "sradicamento" dal proprio territorio, dalle proprie abitazioni, dalle proprie abitudini e tradizioni) in relazione alle loro "abitudini" e "consuetudini" dell'abitare.
- Valorizzazione del contesto paesaggistico d'alto pregio del Gran Sasso.
- Adozione di un modello ecosostenibile che sfrutti le risorse rinnovabili.
- Creazione di un contesto urbano sicuro, dove le persone si sentano a proprio agio mentre passeggiano, trascorrono il tempo libero, lavorano o fanno acquisti, sia di giorno che di notte.
- Eliminazione barriere architettoniche per facilitare la mobilità ciclo-pedonale soprattutto per quanto riguarda anziani e bambini.
  
- Adozione di regole progettuali adattabili a più destinazioni d'uso, creazione di complessi facilmente

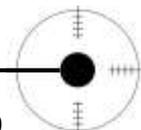
**Strategie**

implementabili nel futuro qualora se ne verificasse la necessità.

- Creazione di percorsi che uniscono i volumi (che non sono più spazi isolati ma un sistema sinergico tra la dimensione privata e pubblica) contribuendo a creare una sensazione di porosità e moltiplicando le possibilità di incontro tra gli abitanti. In questo modo il progetto architettonico si sposa con il progetto sociale favorendo le relazioni di vicinato, il senso dell'abitare e, quindi, la formazione della comunità.
- Progettazione di una cinta verde "pubblica" che svolge la triplice funzione di barriera acustica-inquinamento-di sicurezza nei confronti delle strade che circondano il lotto.
- Inserimento del verde "privato" all'interno dello spazio urbano edificato mediante la progettazione di tetti giardino e zone verdi dedicate.
- Progettazione del sistema dei parcheggi nella zona esterna, immediatamente adiacente, al nucleo cittadino in modo da precludere la possibilità d'ingresso (salvo casi di emergenza-scarico merci per le attività commerciali) veicolare.
- Inserimento di servizi studiati, selezionati e commisurati in funzione della popolazione ospitata in modo da limitare il flusso di traffico in entrata-uscita.
- Rafforzamento del sistema viario, progettazione di percorsi che promuovano la mobilità lenta ciclo-pedonale, rafforzamento del sistema di mobilità pubblico attraverso l'inserimento di nuove fermate della linea del bus.

**Strategie**

- Nelle scelte progettuali si è voluto quindi tener conto di questo proponendo un'articolazione dello spazio urbano e della tipologia edilizia "nota" agli utenti in modo che possa essere percepita come immediatamente riconoscibile e quindi condivisa e fatta propria. Tale scelta tipologica volutamente "tradizionale" ha comunque permesso al complesso di rispondere al meglio ai requisiti prestazionali richiesti lasciando "l'innovazione tecnologica" all'uso dei materiali, impianti tecnologici etc. A tal fine sono stati adottati i principi dell'urbanistica/architettura medievale reinterpretandoli in chiave moderna e sostenibile.
- Progettazione di edifici snelli e dinamici, facilmente attraversabili e governati dalle visuali suggestive che si relazionano con il paesaggio circostante.
- Inserimento di un parco solare che sfrutti il sistema fotovoltaico per i fabbisogni di energia elettrica per



l'illuminazione pubblica, sistemi di irrigazione etc.

- Prevedere servizi e attività 24h su 24, 7 giorni su 7 in modo da favorire la sensazione di sicurezza del quartiere e allo stesso tempo soddisfare le esigenze dei futuri fruitori.
- Prevedere un sistema di parcheggi studiato e dedicato ai vari lotti residenziali che minimizza il tragitto ( $d < 50m$ ) e massimizza la qualità dei percorsi; creazione di percorsi privi di scale/ostacoli con pendenze non superiori all'8% e luoghi di riposo.

#### **4.12 Rilievo fotografico**

Attualmente nell'area risultano presenti sporadici episodi di baracche e depositi di materiale, essa è in prevalenza dominata dal verde, un verde mantenuto e organizzato, al fine di divenire fruibile, nell'ipotesi progettuale.

Nella fase di analisi pre-progettuale è risultato necessario compiere un sopralluogo al fine di conoscere a fondo le peculiarità dell'area, la sua morfologia, quei rapporti che essa stabilisce con il contesto che altrimenti non sarebbe stato possibile evidenziare.

E' stato quindi redatto un book fotografico (Tav. 4.7), punto di partenza basilare per poter affermare di conoscere l'area sulla quale poi si è andati ad intervenire.

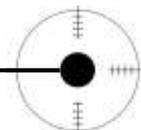
Di seguito si riportano le immagini catalogate con numeri e lettere dell'alfabeto rispettivamente per le foto scattate dall'esterno verso l'area di progetto e dall'area di progetto verso l'esterno.



**Fig.4.20 Foto 1**



**Fig.4.21 Foto 2**





**Fig.4.22 Foto 3**



**Fig.4.23 Foto 4**



**Fig.4.24 Foto 5**



**Fig.4.25 Foto 6**



**Fig.4.26 Foto 7**



**Fig.4.27 Foto 8**



**Fig.4.28 Foto A**



**Fig.4.29 Foto B**



**Fig.4.30 Foto C**



**Fig.4.31 Foto D**



**Fig.4.32 Foto E**



**Fig.4.33 Foto F**

## **CAPITOLO QUINTO**

### **IL MASTERPLAN**

## **5.1 Rapporto con il contesto**

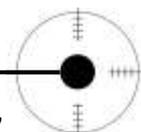
### **5.1.1 Stato attuale**

Dopo aver effettuato le considerazioni urbanistiche sopra descritte ed analizzato le premesse del PRG e della carta dell'uso del suolo, si inizia con la progettazione con uno "zoom" sulla zona in questione, analizzando i rapporti che sussistono con il contesto circostante e valutando lo spazio interno disponibile, gli accessi e i percorsi a disposizione.

In seguito verrà trattata nel dettaglio la collocazione e la progettazione dei singoli edifici, e così si giungerà infine alla determinazione del Masterplan.



**Fig.5.1 Contorno area di progetto**



### 5.1.2 L'isolato di riferimento

Si analizzano di seguito le caratteristiche del contesto direttamente prospiciente all'area di progetto per poi effettuare considerazioni e valutazioni su come progredire nella progettazione.



Fig.5.2 Caratteristiche del contesto

- Punti di collegamento
- Percorso natura
- Asse della cultura
- Cortine edifici

La volontà descritta nel Prg per quanto riguarda quest'area, vista la vicinanza al centro storico, è quella di creare uno spazio verde di ricucitura e collegamento tra nucleo antico e periferia di formazione recente.

Costatiamo inoltre in questo schema l'importanza del contesto adiacente:

- A sud la Basilica di S.Maria di Collemaggio considerata a ragione uno dei massimi capolavori dell'architettura ecclesiastica abruzzese.

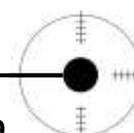


Fig.5.3 Basilica di S.Maria di Collemaggio

- A nord la Scuola dello Sport Coni Abruzzo, una struttura a carattere sportivo culturale i cui ambiti istituzionali di attività spaziano dalla:
  1. Realizzazione di servizi a vantaggio degli Atleti delle Società Sportive, delle Federazioni, degli Enti Locali, della Scuola e delle altre realtà sportive operanti sul territorio;
  2. Analisi delle esigenze e dei bisogni specifici del territorio attraverso la costituzione di un Osservatorio Regionale permanente del fenomeno "sport" (Orsa);
  3. Organizzazione e realizzazione di progetti di formazione destinati a Società , Tecnici, Istruttori, Animatori, Esperti sulle problematiche della ricerca applicata, di diverso livello e durata;
  4. Organizzazione di seminari e convegni;
  5. Organizzazione di Centri Regionali di documentazione bibliografica e cinematografica sportiva;
  6. Realizzazione di studi e progetti di ricerca applicata allo sport;
  7. Collaborazione e consulenza tecnico-scientifica con tutte le Strutture di matrice e derivazione CONI presenti sul territorio;
  8. Pubblicazioni di testi e dispense tecnico/scientifico.

Tali ambiti possono pertanto essere riassunti in tre grandi temi:

- Formazione
- Ricerca
- Documentazione





**Fig.5.4 Scuola dello Sport Coni Abruzzo**

- La zona ad est è occupata da lotti residenziali: da ville mono o bifamiliari con qualche esempio di edificio condominiale che comunque non supera mai i 3/4 piani fuori terra e dalle relative pertinenze, per la maggior parte trattate a giardino privato. Sono presenti anche sporadici episodi di servizi primari. Tale zona si sviluppa su un livello inferiore rispetto all'area di progetto, questo la rende, nonostante la sua vicinanza in linea d'aria, più isolata e distaccata.
- Ad ovest si estendono per quasi tutta la lunghezza dell'area di progetto le mura antiche della città che delimitano il centro storico, il cuore della città de L'Aquila.





Fig.5.5 Borgo antico

### 5.1.3 Le relazioni con l'esterno

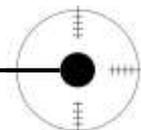
Si analizzano ora le relazioni con l'esterno al fine di determinare che tipo di rapporto con il contesto si può instaurare sul perimetro dell'area in modo da far dialogare il nuovo quartiere con le zone strategiche e i punti di interesse ed eventualmente "chiuderlo" ad accessi meno preferenziali, quali strade a media-alta percorrenza e zone periferiche non sviluppate.

A tal proposito verrà studiato l'esterno e gli accessi all'area e valutate le priorità che si vorranno dare ai vari percorsi e agli ingressi.



Fig.5.6 Rapporti con il contesto

-  Accessi preferenziali
-  Barriere



## **5.2 Area di progetto**

### **5.2.1 Organizzazione del tessuto**

Il secondo step è quello di addentrarsi nell'area e valutare i percorsi e gli assi principali.

E' questa la fase più critica del processo progettuale: quella in cui si può cadere nell'errore (commesso nel progetto C.A.S.E.) di progettare un quartiere "satellite" ossia un quartiere a sé stante, non integrato nel contesto, un quartiere che a L'Aquila o in qualunque altro posto avrebbe le stesse caratteristiche.

La progettazione di un nuovo insediamento, a maggior ragione se a ridosso del centro storico, infatti, non può prescindere dallo studio degli schemi insediativi ed evolutivi della maglia urbana de L'Aquila.

L'operazione è stata quella di tracciare le linee direttrici che caratterizzano il centro storico, comprendere le distanze e le relazioni che si instaurano tra gli edifici, la densità abitativa, i rapporti pieni/vuoti, l'entità degli isolati etc. al fine di cogliere la regola insediativa che ha portato alla stratificazione armonica dei vari tessuti negli anni, e riportarla in modo intelligente e razionale nell'area di progetto.

Tale scansione è stata ampliata e trasferita nella zona di interesse e reinterpretata in chiave moderna secondo le esigenze di una popolazione giovane e tenendo conto della normativa vigente.

L'impianto urbanistico aquilano è quello tipicamente romano dettato da una maglia ortogonale che divide lo spazio in isolati quadrangolari regolari.

Lo schema è organizzato su due assi principali: il cardo (asse nord-sud) e il decumano (asse est-ovest), che si incontrano al centro della città dove si trova il Forum.

Tale modello è stato riportato nell'area di progetto dove si è plasmato sulla base della morfologia intrinseca del territorio (assumendo un andamento più incurvato simile a quello delle isoipse) e sulla base degli orientamenti che si è deciso di adottare.

SCALA MACROURBANA

- Adeguato inserimento dell'intervento urbano nel rispetto delle relazioni con l'esistente, dei tracciati ordinatori del contesto urbano
- Corretto inserimento dell'intervento mediante lo studio della morfologia del terreno, del percorso solare, delle ombre, dei venti dominanti e visuali
- Condivisibilità dei servizi
- Relazioni pubblico-privato

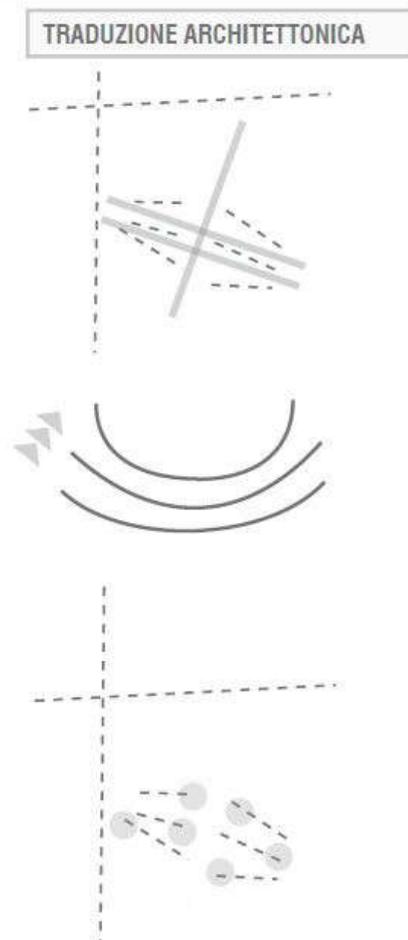


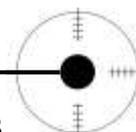
Fig.5.7 Modello adottato

Con questo procedimento è stato possibile scandire gli spazi all'interno dell'area di progetto con una certa coerenza in modo tale da rendere l'area parte integrante del centro e non una realtà a sé stante.

Le linee direttrici vanno così a delimitare delle aree, rettangolari o trapezoidali, in ciascuna delle quali si svolgeranno diverse attività.

Inizialmente si è cercato di individuare a grandi linee gli spazi in cui sarà preferibile costruire degli edifici, andando a contrapporsi o a dialogare con quelli preesistenti. Altre zone dovranno invece fare da filtro con l'esterno, saranno per cui più aperte e permetteranno di intravedere il centro dell'area, che svolgerà la funzione di piazza (il Foro) e di vano distributivo sul quale si affacciano tutte le diverse zone funzionali identificate.

Infine gli spazi restanti saranno utilizzati come aree di servizio o di pertinenza per la zona pubblica.



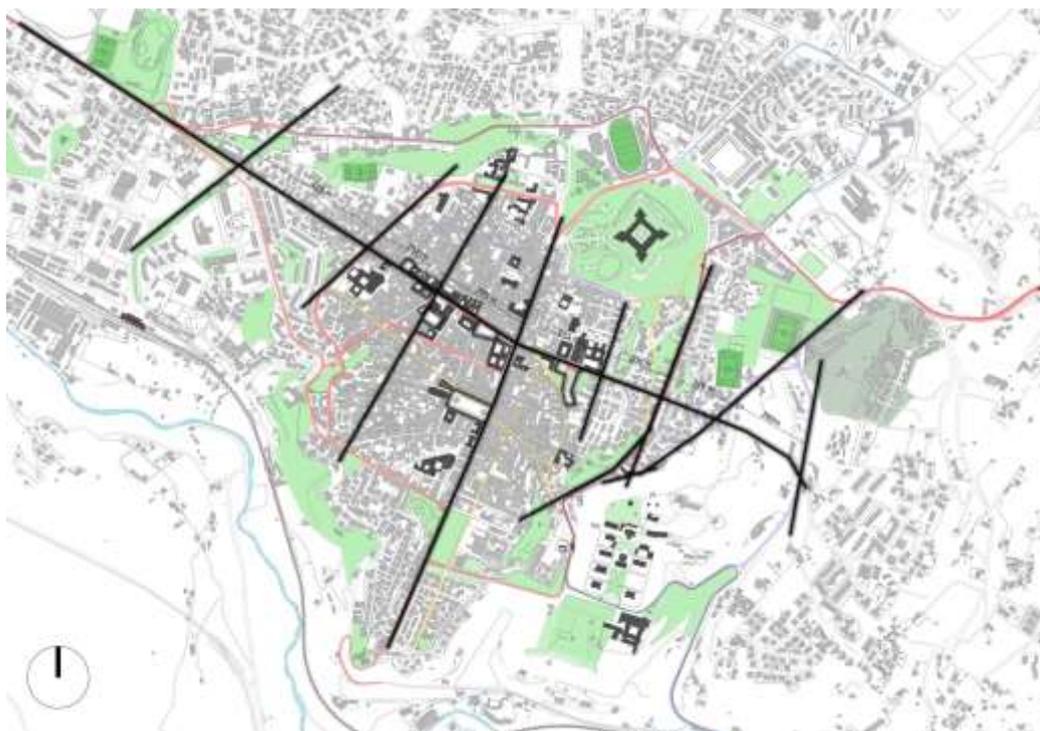


Fig.5.8 Scansione dei macro distretti

## 5.2.2 I percorsi

Per quanto riguarda i percorsi si è dato da subito maggior valore a quello che collega l'area con il centro storico "Asse storico".

Questo per enfatizzare la funzione che dovrà ricoprire l'area, ossia costituire un polo attrattivo di apertura/chiusura del centro città e allo stesso tempo dare la possibilità alle persone che vogliono frequentare il centro storico di parcheggiare qui l'automobile.

Per rafforzare questo collegamento la posizione della direttrice è stata progettata in continuità con via Roma, "decumanus maximus" della città, uno degli assi principale della centuriazione e dell'urbanistica cittadina.

Il secondo percorso vuole dare importanza all' "anello verde", esso nasce più a larga scala chiudendo l'intera città de L'Aquila ad anello e che lambisce lungo tutto il perimetro l'area di progetto.

Dalle analisi precedentemente effettuate si è evinta la presenza di "oasi verdi" che circondano tutto il perimetro della città: tale fatto ha suggerito un'operazione progettuale che prima che circostanziale all'area di progetto si sviluppasse a scala urbana.

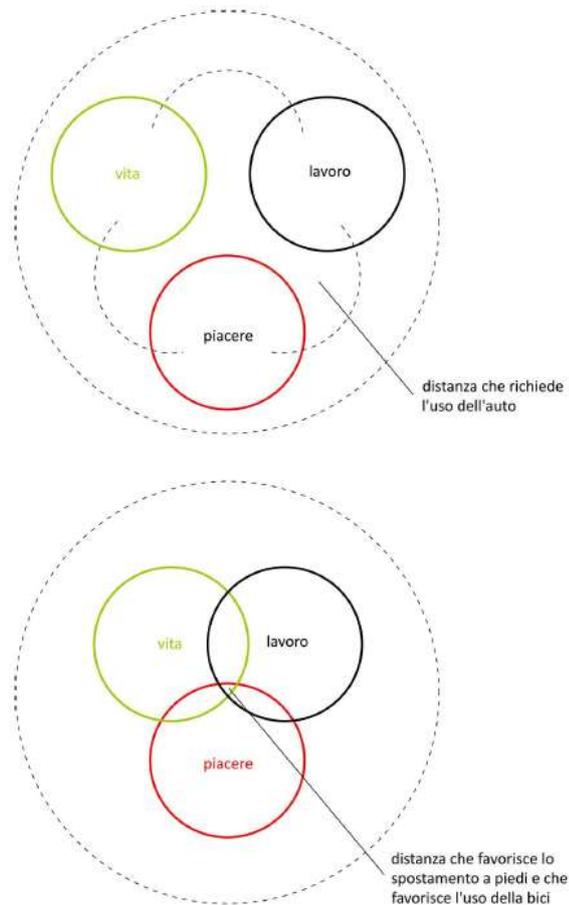
Anche grazie al supporto del prg si sono individuate altre micro - oasi di connessione tra quelle già esistenti e studiati i percorsi ciclopeditoni che possano garantire una vera e propria continuità dell'anello (Tav. 5.2).

I percorsi all'interno dell'insediamento sono stati delineati in modo da evitare interruzioni di flusso e favorire la vitalità ed il controllo spontaneo. La continuità aiuta a prevenire la frammentazione dello spazio, permettendo al quartiere di funzionare come un sistema integrato alle aree circostanti. Si analizza di seguito la distribuzione dei percorsi nell'area.

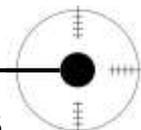
### **5.2.3 Percorsi carrabili**

L'intero quartiere sarà esclusivamente pedonale e ciclabile, con parcheggi sotterranei o a raso.

Verrà inoltre amplificato il sistema di autobus che collegano il lotto con il centro cittadino e le aree circostanti, in modo che gli abitanti siano invogliati ad utilizzare il sistema pubblico e non il trasporto privato, andando così a ridurre l'inquinamento.



**Fig.5.9 Criterio progettuale**



Tenendo ben presente le valutazioni finora effettuate si è passati allo studio, fin dalle prime fasi progettuali, delle possibili vie d'accesso alla zona pubblica e delle strade private. Entrambi gli elementi sono stati da subito predimensionati, calcolando l'effettivo ingombro sia secondo la conformazione del progetto, sia secondo le normative, sia per quanto riguarda la pendenza delle rampe, la larghezza delle strade a doppio senso di marcia, a senso unico etc. L'accesso ai parcheggi pubblici è previsto a ovest, nel punto dove la strada a doppio senso diventa ipogea.

Tale scelta è nata da una duplice necessità:

- Favorire la continuità pedonale e ciclopedonale con il centro storico creando un percorso che guidi il visitatore spontaneamente verso il polo attrattivo;
- Evitare di subordinare la presenza di aree verdi, tutt'ora esistenti, ad una piattaforma di cemento tipica dei parcheggi pubblici;
- La posizione del parcheggio è in un punto baricentrico rispetto all'area di progetto e strategico anche per tutti coloro che vogliono parcheggiare la macchina e recarsi nella città antica.

La fascia est dell'area è quella più riservata, la strada qui diviene a uso dei residenti, parzialmente a doppio senso parzialmente a senso unico. Questa consente l'accesso alle zone parcheggio residenziali intervallate da zone verdi pergolate.



Fig.5.10 Accessibilità carrabile

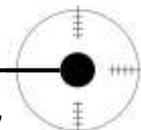
#### 5.2.4 Analisi e insediamento: Le funzioni

Sono state valutate a questo punto le funzioni da insediare secondo le necessità che sono state riscontrate e tenendo conto del D.M. 1444 del 2 Aprile 1968 che stabilisce gli standard urbanistici.

La superficie totale dell'area è di 160.000 m<sup>2</sup>, da suddividere in aree costruite, spazi all'aperto e spazi di servizio.

Su una superficie di 160.000 m<sup>2</sup>:

- 2,2% sarà destinato ai servizi pubblici (3500m<sup>2</sup>)
- 10%, pari a 16000 m<sup>2</sup> a verde attrezzato
- 56,3% pari a 90000 m<sup>2</sup> ad area parco
- 2,5% pari a 4000 m<sup>2</sup> a impianto sportivo
- 5% pari a 8000 m<sup>2</sup> al sistema di piazze
- 6,25% pari a 10000 m<sup>2</sup> a edifici residenziali
- 11,5% pari a 18500 m<sup>2</sup> a verde privato
- 6,25% pari a 10000m<sup>2</sup> alle zone di collegamento: piste ciclopedonali, marciapiedi, strade



Sulla base delle analisi dei servizi di quartiere in aggiunta alle analisi statistiche precedentemente descritte dei servizi di cui un cittadino medio aquilano necessita sono state definite le destinazioni d'uso da collocare all'interno dell'area:

- Biblioteca-Internet Point
- Luogo di culto
- Edificio dello sport
- Campi sportivi
- Piazza mercato
- Edificio commerciale
- Parco giochi

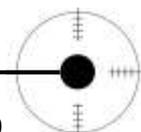


**Fig.5.11** Analisi dei servizi di quartiere



Fig.5.12 Concept 1\_Funzioni

-  Percorso natura
-  Asse principali
-  Asse secondari
-  Fulcro del progetto
-  Social housing
-  Residenze private
-  Parco
-  Campetti sportivi
-  Spina verde (verde attrezzato)
-  Sistema di piazze
-  Edifici pubblici
-  Parcheggi



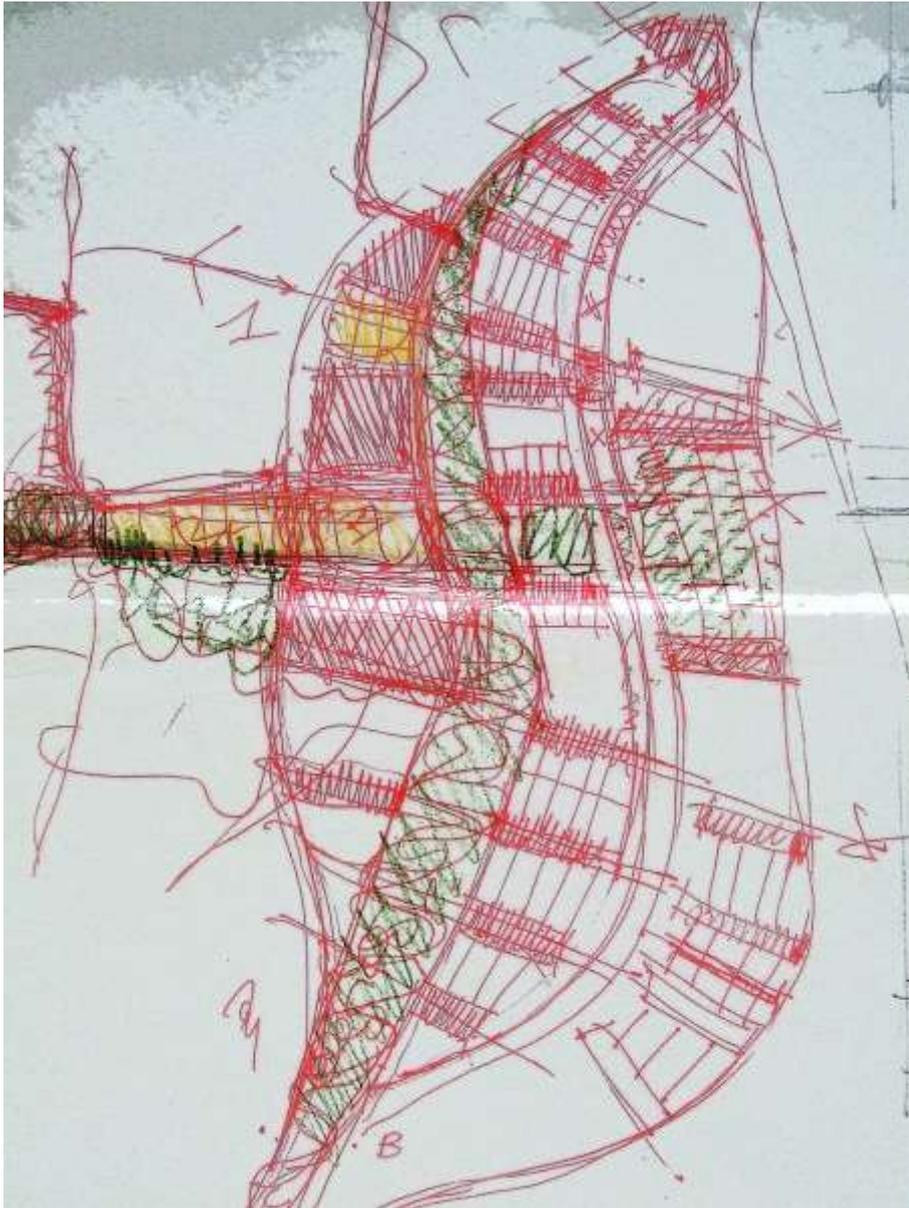


Fig.5.13 Schizzi di progetto

### 5.2.5 Nuove costruzioni

A questo punto:

- Sono state ricercate ulteriori linee, direzioni, assi, ritmi e maglie, dettate dalla tradizione, dai percorsi e dalle caratteristiche morfologiche che dovranno essere presenti per rendere funzionali le attività introdotte;
- E' stata definita la posizione degli edifici che si andrà a progettare.

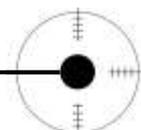
Nello schema che segue questi edifici sono:

1. Edificio multifunzione a torre
2. Edificio di culto
3. Edificio commerciale
4. Edificio sportivo
5. Residenze private
6. Residenze "Social"

Per giungere a queste forme concettuali, in contemporanea, si è iniziato a progettare gli spazi interni degli edifici, e quindi sono state valutate le dimensioni di massima da rispettare per avere degli ambienti funzionali e allo stesso tempo rispettare le metrature richieste dalla norma.



**Fig.5.14 Concept 1\_Edifici**



### 5.2.6 Spazi verdi

La volontà che ha guidato il progetto sin dalle prime fasi è quella di stravolgere l'usuale composizione del masterplan secondo cui in primis vengono definite le aree edificabili e di risulta vengono inserite le aree verdi.

Il progetto qui parte proprio dalla volontà di unificare le aree verdi già esistenti, creandone delle altre e armonizzando il tutto con l'inserimento, in un successivo momento, degli edifici pubblici e residenziali che quasi si mimetizzano nei percorsi.

Viene introdotto inoltre un elemento che creerà una continuità tra le varie parti dell'area e affiancherà parte dei percorsi coinvolgendo i fruitori della zona: un percorso d'acqua che si diversificherà tra fontane, una lama d'acqua e vasche nella zona più ad est.



Fig.5.15 Concept 3\_Verde

- Parco
- Campetti sportivi
- Spina verde (verde attrezzato)
- Verde pertinenziale
- Specchi d'acqua

### **5.2.7 Il sistema di piazze**

Un punto cruciale del progetto sono i sistemi di piazze che si susseguono e che allo stesso tempo fiancheggiano la spina verde:

- una piazza culturale (Tav. 5.6)
- una coperta (Tav. 5.6)
- una scoperta (Tav. 5.6)
- una commerciale (Tav. 5.8)
- 

La prima è quella che ospita la piccola chiesetta del complesso, è una piazza delimitata non da edifici ma da un anello verde che la protegge e la isola dalle attività che contemporaneamente si svolgono negli spazi limitrofi, quasi a rispetto del momento di astrazione spirituale.

A rispetto della “regola” è situata sullo stesso asse che scandisce il ritmo delle altre piazze di culto all’interno della città storica.

La piazza mercato è caratterizzata da una copertura in acciaio, vetro e pannelli fotovoltaici: essa è il vero parco solare del complesso.

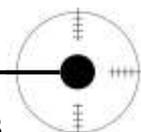
E’ in lieve pendenza per favorire meglio la vista dello schermo situata sul lato est ed è delimitata da un cordolo in gabion wall contenente le macerie pervenute nella zona rossa. Questa scelta vuole rappresentare un ricordo di un avvenimento che ha segnato la vita della popolazione aquilana e allo stesso tempo un momento di rinascita.

Questo spazio sarà lasciato completamente libero per poter ospitare diverse attività, come concerti, conferenze all’aperto, mercatini, etc.

La terza piazza è interamente scoperta ed è delimitata a nord dal cordolo in gabion wall e a sud dall’edificio commerciale.

E’ la piazza principale del complesso, non a caso è posta in continuità con l’asse che nasce nel cuore della città e che guida il visitatore spontaneamente ad esplorare il nuovo polo di interesse che si sta progettando.

E’ studiata nei minimi dettagli: comprende sedute, spazi floreali, linee d’acqua; inoltre è situata nei pressi del parcheggio in modo da consentirne una facile utilizzazione e migliorare l’intera logistica di quartiere.





**Fig.5.16 Riferimento progettuale: Place D'Youville. Montreal, Canada**



**Fig.5.17 Riferimento progettuale: The beautiful Deichmann. Beer sheba, Israel**

La piazza commerciale, quella più a sud, è la piazza su cui si chiude ad anello l'edificio commerciale, è caratterizzata da uno specchio d'acqua centrale e costituisce sicuramente il luogo più vivace e movimentato del quartiere, sia nelle ore diurne che nelle ore serali.

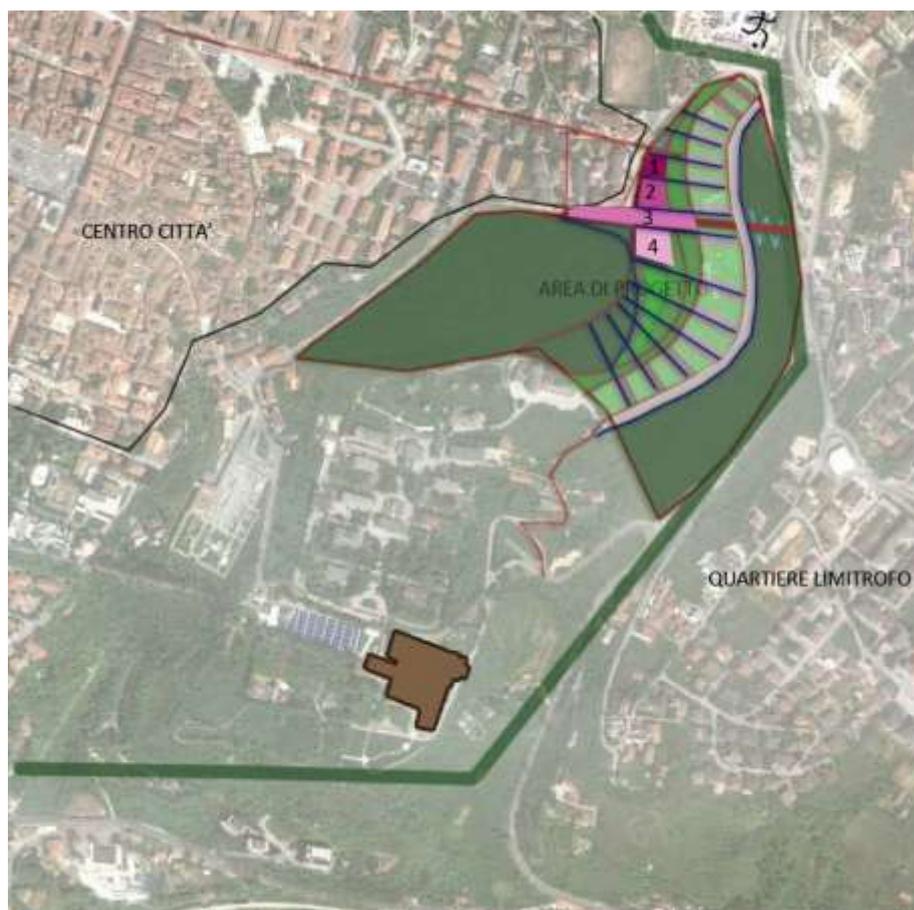


Fig.5.18 Concept 4\_Sistema di piazze

### 5.2.8 Conclusioni

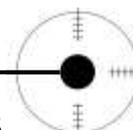
L'inserimento di un nuovo progetto a scala di quartiere, all'interno di una maglia storica porta con se interrogativi e paure riguardanti la sua integrazione nell'ecosistema urbano esistente.

Attraverso gli schemi e tavole progettuali riportate di sopra si è giunti alla definizione del masterplan.

Il procedimento di realizzazione ha avuto una duplice valenza:

- Una valenza oggettivo - scientifica: in sintesi l'idea è stata quella di riproporre la regola consolidata della tradizione abruzzese, rispettarne i ritmi, i rapporti e la scansione, adattarla alla morfologia e orografia dell'area in esame rispettando le regole del buon senso e dell'ecosostenibilità attraverso orientamenti ed esposizioni e tenendo presente sempre la normativa vigente (per ovvie ragioni diversa da quella presente ai tempi delle diverse stratificazioni urbanistiche della città).

Ogni scelta ne ha condizionato un'altra e viceversa.



- Ed una soggettivo/sentimentale, sia indiretta che si è manifestata mediante le risposte alle esigenze riscontrate dialogando con la popolazione del luogo e con quella che oggi è insediata nei lotti del progetto CASE, sia diretta immedesimandoci nei futuri fruitori dell'area, per capire cosa in primis necessita il luogo, quali devono essere i caratteri connotanti del progetto, come sarà possibile muoversi e raggiungere le diverse funzioni, come rendere più vivace e accogliente l'intero quartiere.

A seguire alcuni degli schizzi fatti a mano del progetto preliminare, effettuati per capire e analizzare al meglio le forze e le debolezze dell'area di progetto e ipotizzare diversi schemi di accessibilità e di collegamento con l'esterno.

### **5.3 Strategie e filosofia progettuale**

#### **5.3.1 Lo spazio pubblico**

Dare una definizione di spazio pubblico oggi è un compito non semplice, per il fatto che il vocabolo stesso ha abbracciato una più vasta gamma di spazi.

Per definizione questo dovrebbe essere un luogo dove le persone si incontrano, passano il loro tempo libero e si può osservare cosa sia la vita in società: questo concetto ci porta alla mente l'immagine di una piazza, come prima cosa, o di un parco, una strada frequentata, il centro di una città.

Sempre più sono le richieste da parte della popolazione per quanto riguarda lo spazio in cui spendono il loro tempo, non solo il posto di lavoro, ma la città, i caffè, le piazze, le strade ed i parchi, in quanto vanno a definire chi sono e chi vorrebbero essere.

E' in questo clima che si è posto l'accento sull'architettura del paesaggio diventata una parte essenziale della progettazione e dell'arredo urbano nel processo di definizione del masterplan.

Uno spazio è ben progettato se, oltre che a sembrare accattivante riesce ad essere vissuto; una piazza o una corte per esempio, hanno raggiunto il loro scopo se vengono scelte come passaggio, anche se questo comporta un allungamento del proprio percorso. Se il passante riesce a percepire l'architettura dello spazio e si riconosce come parte di esso, allora l'architetto ha raggiunto il suo obiettivo.

### 5.3.2 Sicurezza di quartiere

E' stato inoltre effettuato uno studio dei fronti su strada e di come la struttura dell'ambiente urbano si potesse relazionare con il tema della sicurezza.

Si è partiti da due concetti chiave:

- L'occhio sulla strada (la presenza di attività, di movimento, di edifici con accesso dalla strada, di finestre che guardano sulla strada) è il principale elemento di sicurezza;
- La sicurezza urbana dipende dall'identificazione con il territorio, in quanto una persona protegge e rispetta un luogo che sente come proprio.

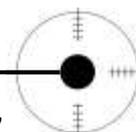
“La prima cosa da capire è che l'ordine pubblico nelle strade e sui marciapiedi della città non è mantenuto principalmente dalla polizia, per quanto questa possa essere necessaria: esso è mantenuto soprattutto da una complessa e quasi inconscia rete di controlli spontanei e di norme accettate e fatte osservare dagli abitanti stessi”(J.Jacobs)

Il controllo spontaneo dell'ambiente urbano, esercitato dai suoi abitanti, si realizza soltanto in città vitali, nelle quali le strade sono frequentate giorno e notte, nelle quali gli spazi pubblici sono ben curati ed ispirano fiducia e senso di appartenenza: una città fatta di luoghi che i cittadini amano, che identificano come propri e che sono, per questo, pronti a proteggere.

Questo concetto è stato tenuto in considerazione fin dalle prime fasi di progettazione, e non solo a livello di disegno degli spazi privati, ma anche e soprattutto di quelli appartenenti alla zona pubblica.

Questi ultimi, se fuori scala o privi di identità e carattere, o che possiedono una scarsa definizione di funzioni e confini, sono percepiti come terra di nessuno, tendono quindi ad essere sia poco frequentati che poco curati come manutenzione, tutto questo porta a una diminuzione del controllo spontaneo e al degrado.

Si è dedotto quindi che gli edifici, per permettere questa reciproca sorveglianza tra passanti e residenti del quartiere, devono rivolgersi verso la strada, non devono lasciare la strada priva di affacci voltando le spalle a quest'ultima. L'impianto e la struttura degli edifici devono essere concepiti in modo da permettere movimenti pedonali sicuri e buona visibilità dello spazio. La capacità di comprendere immediatamente l'organizzazione di un luogo e di vedere cosa c'è in fondo ad una strada è importante per sentirsi ed essere sicuri.



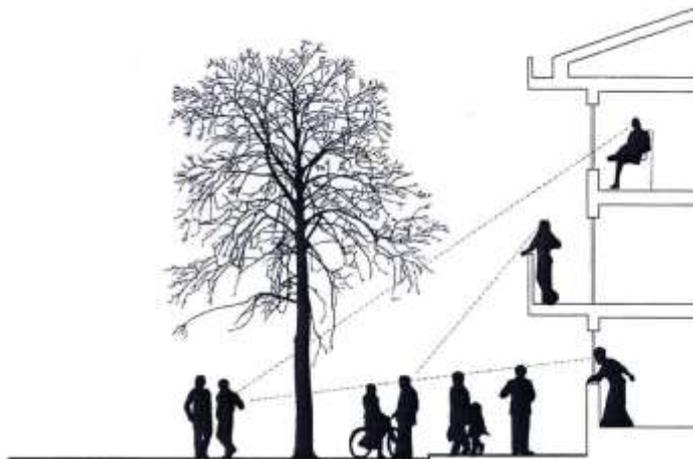


Fig.5.19 Esempio di visibilità e controllo delle strade

## 5.4 Masterplan

### 5.4.1 I percorsi

Un primo aspetto da tenere in considerazione riguarda lo studio di una chiara gerarchia delle vie d'accesso in modo da favorire l'orientamento dei fruitori nelle nuove aree e a individuare gli accessi principali delle diverse funzioni (differenti usi di pavimentazione pubblico privato, cambi di quota, segnalazioni puntuali).

La realizzazione di percorsi pedonali e gli spazi comuni pubblici localizzati in punti e angoli strategici dell'intervento, favorisce un afflusso di utenti sia nelle ore diurne che nelle ore serali della giornata, così da aumentare la sensazione di sicurezza e offrire occasioni d'incontro e di scambio occasionale tra le persone.

Spazi pubblici aperti come aree verdi, aree di sosta-relax, aree attrezzate per lo sport, aree gioco bambini, aree flessibili per eventi, diventano il legante delle attività pubbliche che richiamano la vita del quartiere (ristorazione, attività commerciali, associazioni culturali, spazio performance, servizi sportivi).

Preso atto del contesto e delle sue problematiche, l'analisi del lotto ci ha portati a considerazioni di carattere generale riguardo alla strategia da adottare:

La prima strategia è stata quella di integrare i percorsi ciclo-pedonali con un sistema di spazi pubblici che preveda una divisione funzionale al suo interno e che sia sempre in diretta relazione con il sistema residenziale.

Altra scelta strategica è stata quella di creare un sistema che potesse favorire l'aggregazione e la condivisione di servizi pubblici a favore dei residenti e degli utenti esterni, così da mitigare le relazioni reciproche: il tentativo di richiamare un flusso di visitatori in uno spazio permeabile ma allo stesso tempo ben

definito e riconoscibile contribuisce alla crescita di una comunità locale che si identifica con il nuovo intervento, promuove la formazione di un nuovo polo attrattivo alla scala di quartiere, diventando così un'occasione di riqualificazione urbana.

#### **5.4.2 Il parcheggio**

In linea con la scelta progettuale di promuovere il trasporto pubblico e quello ciclopedonale, evitando l'invasiva e insistente presenza del traffico veicolare, in aggiunta alla volontà di creare un diretto collegamento tra la città antica e il nuovo polo attrattivo che si progetta si è optato per la progettazione di un parcheggio pubblico coperto, che si estende sotto la piazza principale e che accede a questa tramite una scala puntuale e un sistema di ampie rampe accessibile a pedoni, disabili e biciclette, la quale ha accesso dalla strada ovest che proprio per quel tratto viene interrata per poi proseguire ritornando in superficie verso sud.

L'impianto del parcheggio è stato studiato in modo da dialogare sia con la fermata del bus che con la parte pubblico-residenziale.

#### **5.4.3 Biblioteca**

Dal punto di vista volumetrico l'edificio a torre biblioteca, internet e meeting point è stato concepito e localizzato all'interno dell'area a seguito di una serie di studi compositivi che al livello del masterplan ci hanno permesso di individuare le linee generatrici del progetto.

La torre sorge in posizione sostanzialmente di apertura, nella zona a nord dell'area. La volontà progettuale primaria è stata quella di inserire l'edificio multifunzione a cavallo di un asse ciclopedonale che conduce dal centro cittadino verso il parco urbano presente nella zona sud dell'area.

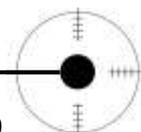
Visivamente l'edificio a torre dell'altezza massima di 18 metri si colloca in maniera armonica all'interno dello skyline cittadino. (Tav. 5.6)

#### **5.4.4 Impianto sportivo**

Il progetto, che risponde alle indicazioni dimensionali e funzionali prescritte dalla normativa vigente emanata dal CONI, è uno spazio polivalente per competizioni sportive che si sviluppa su una superficie complessiva di circa 4000 m<sup>2</sup>.

Al centro dell'impianto si trova uno spazio polivalente all'aperto comprendente un campo di pallavolo (9x18 m), uno di pallacanestro (15x28 m), uno di calcetto (16x32 m) ed infine uno di tennis (23,78x10,97 m).

Sui rispettivi lati perimetrali ovest ed est si articolano gli spazi più pubblici, tra cui, ad est, la tribuna e sul versante ovest un edificio polifunzionale.



Il progetto sviluppa una nuova tipologia ed un linguaggio formale diverso per quanto concerne l'uso dei materiali, la disposizione dei vani e l'inserimento della costruzione nel paesaggio circostante.

Nell'edificio, che si configura come uno "snake" (lungo 75 metri) di volumi che si susseguono ad un unico livello, si distribuiscono:

- Due locali destinati a spogliatoi e servizi sanitari;
- Un locale bar/caffetteria dal quale è possibile, tramite l'ampia superficie finestrata, godersi la performance sportiva;
- Un Info Point nel quale si ricevono informazioni in relazione alla gestione dei campi, prenotazioni, organizzazione e partecipazione ai tornei con annesso un vano per il deposito dell'attrezzatura sportiva.

La disposizione degli ambienti su un unico piano (a livello dei campi) rende possibile il collegamento tra i diversi vani in maniera fluida e funzionale, e consente allo stesso tempo una più immediata fruibilità da parte degli atleti durante la partita.

L'edificio risulta caratterizzato fortemente dalla copertura che si stacca dai locali chiusi sottostanti creando un susseguirsi di aree di sosta a servizio dell'impianto che garantiscono una certa permeabilità e viste verso la zona più a ovest del parco.

E' questo un esempio di tensostruttura in cui gli elementi in lamiera sono mantenuti in posizione tramite tensione da cavi e tiranti. I pilastri scandiscono lo spazio coperto, dividendo visivamente l'area del campo da gioco contornata dalle tribune e il corridoio verde. Essi presentano inclinazioni differenti e sono costituiti da profili in acciaio zincato che sfoggiano la sequenza cromatica della Regione Abruzzo: bianco, verde, azzurro.

La forma architettonica dei quattro box, implica un rapporto superficie/volume vantaggioso al fine di contrarre il più possibile i consumi energetici.

L'attenzione è stata ancora una volta posta sul tema della sostenibilità: le inclinazioni delle falde sono state studiate per ottimizzare l'esposizione e il guadagno solare captato dai pannelli fotovoltaici installati su ben 10 delle 29 previste da progetto.

L'apparente semplicità funzionale e architettonica, trova un arricchimento nella complessità spaziale che lo "snake" innesca con il paesaggio circostante e con la zona sportiva. Il progetto utilizza pochi materiali e pochi dettagli. Tutte le parti strutturali della costruzione a contatto con il terreno sono state realizzate in calcestruzzo. La struttura del tetto e quelle in prospetto sono costituite da elementi prefabbricati.

La tribuna è concepita come uno spazio coperto, accoglie fino a 200 persone e offre a tutti gli spettatori una buona visibilità. (Tav. 5.7)

#### 5.4.5 Edificio commerciale

L'edificio in progetto è costituito da un intervento edilizio basso "in cortina" destinato ad attività terziarie. Tale scelta tipologica d'intervento è suggerita dalla splendida posizione dell'area e del lotto, collocati tra strade ad alto traffico, sia veicolare che ciclopedonale, e per questo "visibilissimi".

Inoltre la vicinanza al parcheggio pubblico aumenta ulteriormente la vocazione commerciale e per attività di servizio.

Il fabbricato, destinato ad usi terziari, offre un'ampia gamma di servizi di prima necessità, indispensabili per garantire una vita di quartiere e di cui se n'è riscontrata la presenza nella maggior parte dei centri piccoli-medio-grandi della tradizione abruzzese:

- Servizi alimentari: frutta e verdura, panificio e pasticceria;
- Servizi di ristorazione: bar/tabacchi/edicola, ristorante/pizzeria, loungebar;
- Servizi per la salute e cura della persona: farmacia, parrucchiere;
- Altri servizi: banca, fiorista

La conformazione planimetrica dell'edificio ricorda una punta di diamante:

- Il lato esterno, verso via Avezzano, si presenta prevalentemente compatto, l'elemento caratterizzante è il susseguirsi di "monitor virtuali" che consentono la presentazione dei prodotti commercializzati e delle attività svolte all'interno dei negozi.
- Il lato verso l'interno, protetto dal caos del traffico, racchiude un'ampia corte "verde" piantumata con arbusti e arredata con una spettacolare lama d'acqua. Su di essa prospettano i portici, profondi fino a 3 metri, che proteggono il percorso pedonale principale dove si affacciano gli ingressi e le vetrine dei negozi, ben visibili da tutti i fruitori del quartiere. La scelta di creare una zona porticata è un chiaro intento di riprendere la tradizione del luogo e modernizzarla in un nuovo contesto di progettazione. (Tav. 5.8)

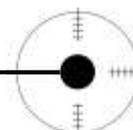




Fig.5.20 Esempio di camminamenti porticati, L'Aquila

#### 5.4.6 La residenza



Fig.5.21 Esempio di un borgo medievale abruzzese

Il nuovo borgo si ispira ai quartieri sostenibili già sperimentati in Europa e di cui si è portato alcuni esempi nel successivo capitolo.

Per quanto riguarda il numero di piani e le distanze tra i diversi edifici, la scelta è stata quella di non superare la quota di 4 piani per non andare a rompere in altezza lo skyline esistente ed avere un impatto troppo forte sul confine tra abitato e spazio aperto.

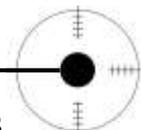
L'altezza e la distanza sono state determinate da fattori di soleggiamento: con l'utilizzo dello studio delle ombre si è adottata la soluzione migliore, quella che consente a tutte le stecche di ricevere luce solare nei diversi periodi dell'anno, anche ai piani terra.

Il complesso delle corti che caratterizzano lo spazio tra due stecche contigue è reso permeabile da una serie di percorsi pedonali che attraversano il nuovo borgo in direzione est/ovest, non soltanto tra un edificio e l'altro, ma anche attraverso gli edifici stessi, in quanto tutti i corpi di fabbrica presentano un'apertura su almeno un lato, per facilitare gli spostamenti.

La zona residenziale risulta pertanto permeata dal verde che entra attraverso le corti andando a creare un habitat più salubre per quando riguarda il comfort termico ma valorizzando anche i corridoi ecologici della zona.

Gli edifici si basano su criteri di progettazione che permettono l'utilizzo di materiale prodotto (almeno in parte) localmente o nelle vicinanze e che possa essere riciclato alla fine del proprio ciclo di vita.

Lo sfruttamento dell'energia solare è reso possibile dall'utilizzo di pannelli fotovoltaici, collettori e da soluzioni architettoniche come le serre: si vuole che



il riciclaggio diventi un'azione quotidiana dei nuovi cittadini, che verranno sensibilizzati anche sul consumo dell'acqua.

Uno dei requisiti principali del progetto è quello di aumentare il senso di individualità e riconoscibilità da parte dei residenti, dotando tutti gli alloggi di accessi indipendenti direttamente dalla strada e di uno spazio privato esterno, che può essere il giardino nel caso degli alloggi a piano terra, o un terrazzo negli alloggi ai piani superiori.

Alla base delle scelte relative ai materiali vi è la precisa volontà di avvalersi di un materiale locale, valorizzandone le caratteristiche moderne e instaurando un dialogo con la tradizione del posto.

Seguendo il principio lecorbuseriano secondo cui lo spazio sottratto dall'edificio debba essere "restituito" in copertura, questa è stata progettata in modo tale da attirare e soddisfare diverse tipologie di utenti e bisogni, valorizzando i percorsi che vi permettono l'accesso e i differenti punti di osservazione sul nuovo contesto.

### 5.4.7 Tipologia: Casa in linea

La tipologia delle case in linea è caratterizzata dall'aggregazione lineare, non necessariamente rettilinea, di unità immobiliari.

La densità delle case in linea differisce notevolmente in funzione del numero di piani serviti, che varia generalmente da tre a circa sei o sette.

Essa costituisce il tipo edilizio residenziale plurifamiliare più diffuso in Italia, sia per l'economia dell'impianto costruttivo, sia per i valori di densità abitativa che si possono ottenere, sia ancora perché dai modelli ottocenteschi ad oggi, è quello che ha rappresentato maggiormente, agli occhi dei fruitori, il ruolo simbolico di residenza urbana.

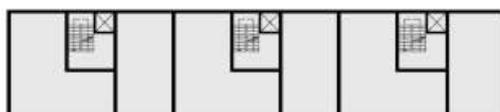


Fig.5.22 Pianta tipo edifici in linea

## 5.5 Il metodo

L'obiettivo di qualsiasi operazione architettonica è la qualità, intesa come l'insieme delle proprietà e caratteristiche dell'organismo edilizio che hanno la capacità di soddisfare, attraverso le prestazioni, le esigenze della committenza/utenza (UNI 10838).

Il metodo adottato consente, in ciascuna fase progettuale, il controllo della rispondenza delle scelte progettuali con le esigenze iniziali, al fine del loro soddisfacimento.

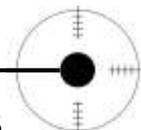


Fig.5.23 Il metodo

**Esigenza:** bisogno, espresso dalla committenza/utenza, da soddisfare e tradurre in requisito. Il processo edilizio ha inizio con il rilevamento delle stesse. Secondo la definizione UNI 10838, ciò che di necessità si richiede per il corretto svolgimento di un'attività dell'utente o di una funzione tecnologica.

**Requisito:** traduzione di un'esigenza in fattori atti a individuarne le condizioni di soddisfacimento da parte di un organismo edilizio o di sue parti spaziali o tecniche, in determinate condizioni d'uso e/o di sollecitazione (UNI 10838).

**Prestazione:** effettiva risposta dell'organismo edilizio in termini di requisiti (quale traduzione delle esigenze espresse). Secondo la definizione uni 10838, indicano il comportamento reale dell'organismo edilizio e/o delle sue parti nelle effettive condizioni d'uso e di sollecitazione.



### 5.5.1 Esigenze-Requisiti Sociali



Fig.5.24 Esigenze sociali e multiscalarità dei requisiti

### 5.5.2 Esigenze-Requisiti Economici

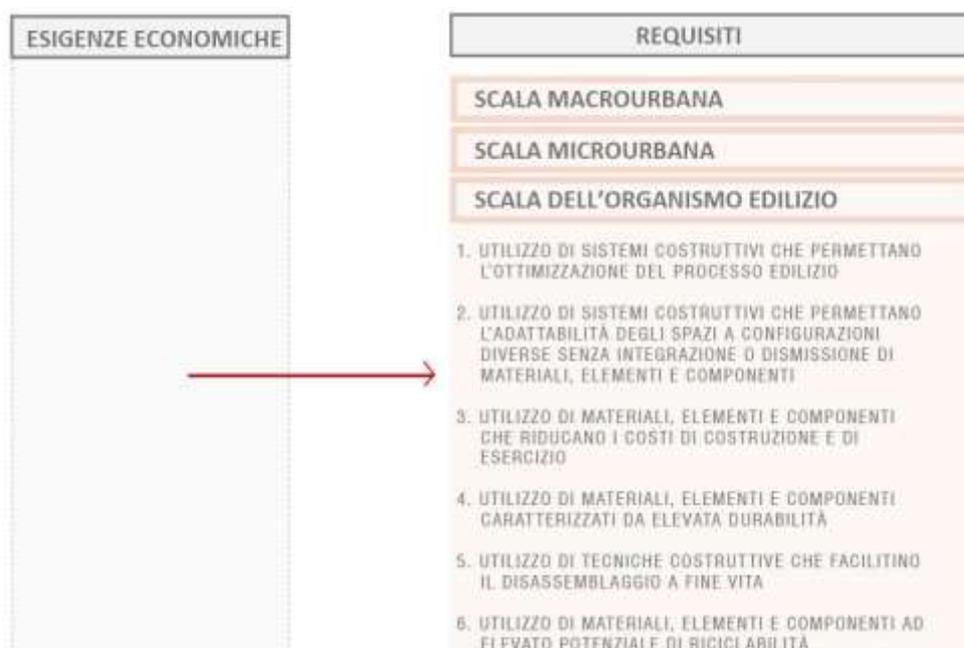


Fig.5.25 Esigenze economiche e multiscalarità dei requisiti

5.5.3 Esigenze-Requisiti Ambientali

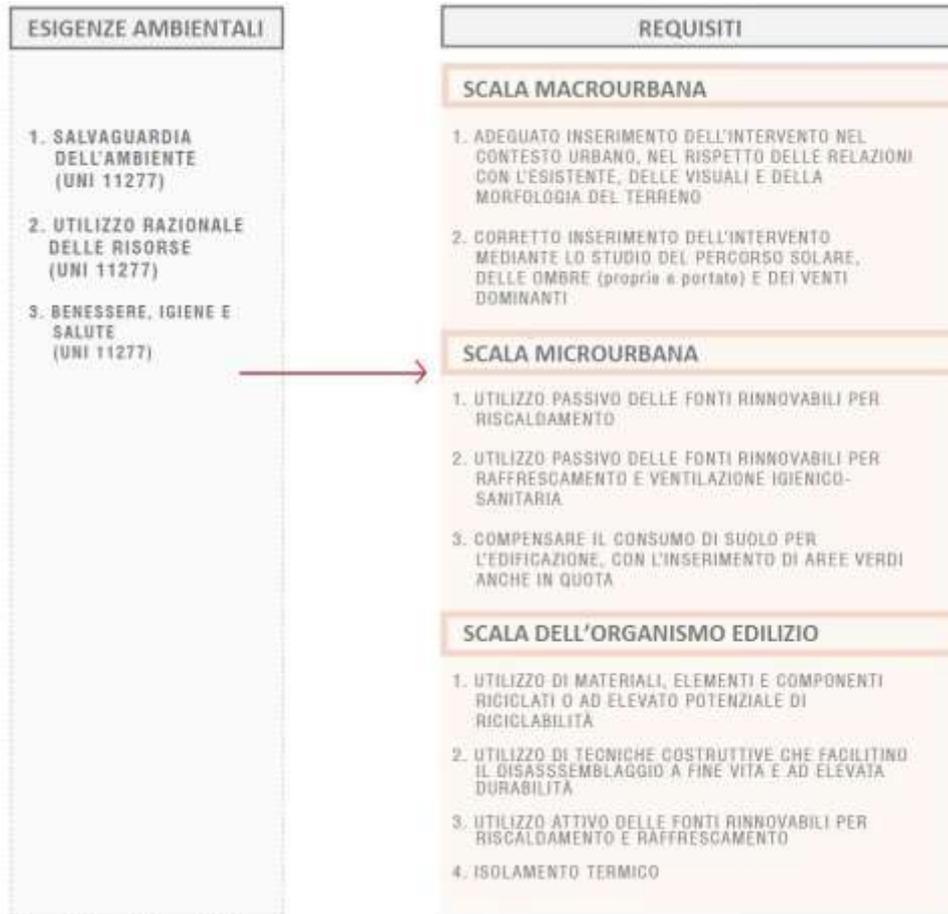
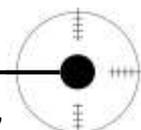


Fig.5.26 Esigenze ambientali e multiscalarità dei requisiti



**CAPITOLO SESTO**  
**IL PROGETTO ARCHITETTONICO**

## 6.1 Premesse sul “Social-Housing”

Lo spirito con cui si è affrontato il processo progettuale non poteva prescindere da alcune considerazioni su quello che purtroppo significa “social housing” nella maggior parte dei casi italiani attuali per poi sviluppare una nuova filosofia, un approccio che ha caratterizzato “in toto” il progetto in esame: dalla scelta del sito all’utilizzo dei materiali, dalla determinazione dei percorsi alla rivalorizzazione del verde, dalla localizzazione degli spazi pubblici al disegno architettonico di quelli privati.

Il “Social Housing” è troppo spesso considerato sinonimo di slums poveri, periferie anonime, qualità di vita pessima, mancanza di spazio, di verde attrezzato, carenza di opportunità di svago, dei servizi primari... .

In un’unica parola: disagio sociale.

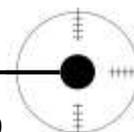
Il progetto di tesi vuole rivoluzionare tutto ciò e dimostrare che il “Social Housing” non sia nient’altro che l’obiettivo a cui si è sempre (o si dovrebbe sempre) aspirare sin dai tempi più antichi, ossia intendere *“la città come luogo del vivere collettivo”* (Mario Botta).

La necessità di dare risposte concrete ai rinnovati bisogni collettivi di casa attraverso programmi operativi di social housing si accompagna all’istanza di prefigurare veri e propri quartieri ad alta sostenibilità ambientale quale mezzo di sintesi tra la creazione di nuovi aggregati residenziali e il rispetto dell’ambiente, per garantire una buona qualità di vita all’interno di uno sviluppo armonico e compatibile, con lo sguardo rivolto alle generazioni future. E’ soltanto il progetto, frutto dell’intelligenza, della conoscenza, della responsabilità ma soprattutto della sensibilità del progettista, che può essere artefice degli scenari del cambiamento, avendo al centro dell’interesse due componenti:

- L’utente: sia esso anziano o bambino, sportivo o diversamente abile, donna o uomo, solo o all’interno di un contesto familiare ...
- L’ambiente: naturale o antropizzato.

### 6.1.1 Caratteristiche della nuova filosofia “Social”

- Innovazione: per innovazione si intende sia quella tecnologica spesso celata all’interno delle costruzioni, che riguarda le prestazioni dei materiali e dell’involucro più in generale, dei sistemi costruttivi, i più moderni sistemi impiantistici e strutturali; sia quella dello spazio e la qualità dello stesso, sempre visibile.
- Sostenibilità: l’architettura sostenibile è lo spazio di equilibrio tra le necessità umane attuali e future, che mira al miglioramento delle condizioni di vita e ad un maggior equilibrio con l’ambiente che ci



ospita. Questo tema è tanto più forte quanto più si progetta ad ampia scala.

“La progettazione sostenibile deve ovviamente partire dalla scala urbana, perché il tipo di tessuto determina pesantemente la forma e l’orientamento dei corpi di fabbrica” (Scudo).

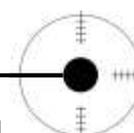
La sostenibilità deve dettare le linee guida sia per la progettazione della singola abitazione (mediante l’utilizzo dell’energia solare, di sistemi costruttivi flessibili ed ecologici, della ventilazione naturale, delle strutture di servizio comune, delle serre solari, di giardini e orti per l’auto-produzione) sia per la progettazione del masterplan a più ampia scala: le aree pubbliche, le strade, i parchi e i giardini, seguono ugualmente gli standard di ecosostenibilità con il verde integrato, la gestione dei rifiuti, l’illuminazione attivata grazie a forme di energia alternativa:

- Flessibilità: La flessibilità è uno degli aspetti maggiormente caratterizzanti il progetto in esame, contenuto nel suo stesso DNA in quanto ha guidato la progettazione degli spazi, la relazione tra le unità e l’intero organismo edilizio, l’involucro nella sua interezza, le partizioni interne, le dotazioni impiantistiche, il loro posizionamento e accessibilità, il sistema strutturale, dunque il “sistema edificio” nella sua interezza.
- 1. Flessibilità d’uso: indica la capacità dell’unità abitativa e dell’organismo edilizio di accogliere nuove funzioni (esempio: residenze per studenti)
- 2. Flessibilità spaziale: è la capacità dello spazio di variare nella sua composizione interna ed esterna, permettendo aumenti o riduzioni di superficie o volume dell’ambiente costruito.
- 3. Flessibilità tecnologica: è la capacità dei sistemi tecnologici, impiantistici e delle tecnologie applicate alla costruzione, di essere modificati nel tempo, di essere mantenuti e di essere sostituiti in tutto o in parte, senza che le opere coinvolgano altre parti dell’edificio.
- 4. Flessibilità climatica: è la capacità dell’organismo edilizio di rispondere qualitativamente al variare delle esigenze conseguenti il variare delle condizioni climatiche al contorno.



**Fig.6.1 Classi di flessibilità**

- **Mix sociale:** In questo scenario si intende perseguire l'obiettivo del cosiddetto mix sociale, ovvero di una composizione del vicinato eterogenea e bilanciata nella quale le fasce del disagio e le diversità siano presenti e tutelate, attivando strumenti e modalità organizzative che facilitino la gestione della convivenza e il funzionamento della comunità.
- **Mix funzionale:** Il mix sociale deve essere inoltre accompagnato da un mix funzionale in cui una varietà di servizi conviva con le residenze, contribuendo a migliorare la qualità della vita e il presidio del territorio, soprattutto a vantaggio dei soggetti più vulnerabili.
- **Senso di identità e appartenenza:** Si ritiene inoltre che lo sviluppo del senso di identità e di appartenenza al luogo in cui si abita rappresenti uno degli elementi più critici per incentivare la partecipazione alla vita della comunità, portando gli inquilini dall'essere semplici beneficiari di un servizio ad attori del rafforzamento della loro condizione e del loro contesto.
- **Convivenza tra residenti:** per evitare conflitti sono state proposte differenti soluzioni progettuali capaci di soddisfare le molteplici



esigenze di determinate categorie sociali (bambini, adolescenti, anziani) e differenti strutture familiari (single, famiglie di diversa entità..).

### **6.1.2 Finalità e criteri progettuali dell'housing sociale**

La finalità dell'housing sociale è di migliorare e rafforzare la condizione di queste persone, favorendo la formazione di un contesto abitativo e sociale dignitoso all'interno del quale sia possibile non solo accedere ad un alloggio adeguato, ma anche a relazioni umane ricche e significative.

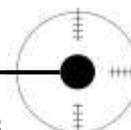
In un intervento di housing sociale la progettazione architettonica diviene parte di un processo articolato che, a differenza di un normale progetto immobiliare, è solo in parte focalizzato sulla realizzazione degli edifici: il processo si estende alla gestione degli alloggi e al presidio della vita della comunità e dei suoi servizi.

La progettazione di spazi comuni privati è uno degli elementi che caratterizza un intervento di social housing: creare relazioni sociali ormai perse, conoscere personalmente i propri vicini, condividere attività in comune, spendere il proprio tempo insieme, intendere la casa come nucleo familiare privato, ma allo stesso tempo come una comunità aperta a tutti i nuovi inquilini rende questi spazi strategici per accrescere una coesione sociale e un senso di appartenenza e di responsabilità verso il luogo in cui si vive. E' importante, nella loro progettazione, tener conto di spazi quali coperture accessibili attrezzate, ballatoi distributivi o vani scala predisposti per la sosta, aree comuni chiuse per attività ludiche e di condivisione. Di pari importanza è la gestione del sistema verde e di quello tecnologico per sensibilizzare gli utenti verso una logica di autoconsumo sostenibile fondata sulla collaborazione reciproca.

### 6.1.3 Le esigenze dell'utenza

UNI 8289 ESIGENZE DELL'UTENZA FINALE
<i>Classi di esigenze e relative definizioni</i>
<b>Sicurezza</b> Insieme delle condizioni relative alla incolumità degli utenti, nonché alla difesa e prevenzione di danni in dipendenza da fattori accidentali, nell'esercizio del sistema edilizio.
<b>Benessere</b> Insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, alla salute e allo svolgimento delle attività degli utenti.
<b>Fruibilità</b> Insieme delle condizioni relative all'attitudine del sistema edilizio ad essere adeguatamente usato dagli utenti nello svolgimento delle attività.
<b>Aspetto</b> Insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema edilizio da parte degli utenti.
<b>Gestione</b> Insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio del sistema edilizio.
<b>Integrabilità</b> Insieme delle condizioni relative all'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra loro.
<b>Salvaguardia dell'ambiente</b> Insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati dei sovra-sistemi di cui il sistema edilizio fa parte.

Fig.6.2 UNI 8289 Edilizia, esigenze dell'utenza finale



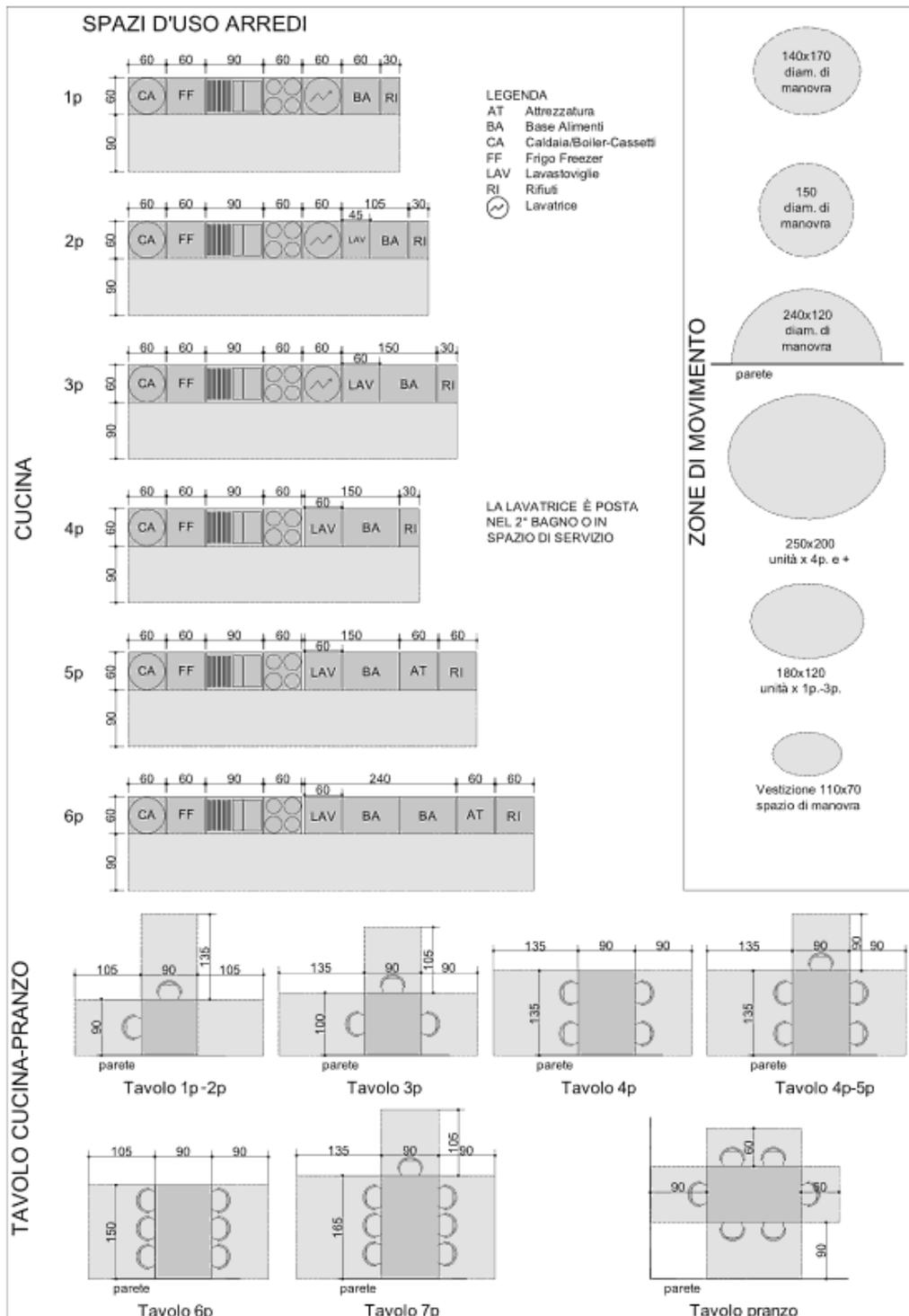


Fig.6.3 Ergonomia\_zona giorno\_Trivelli&Associati

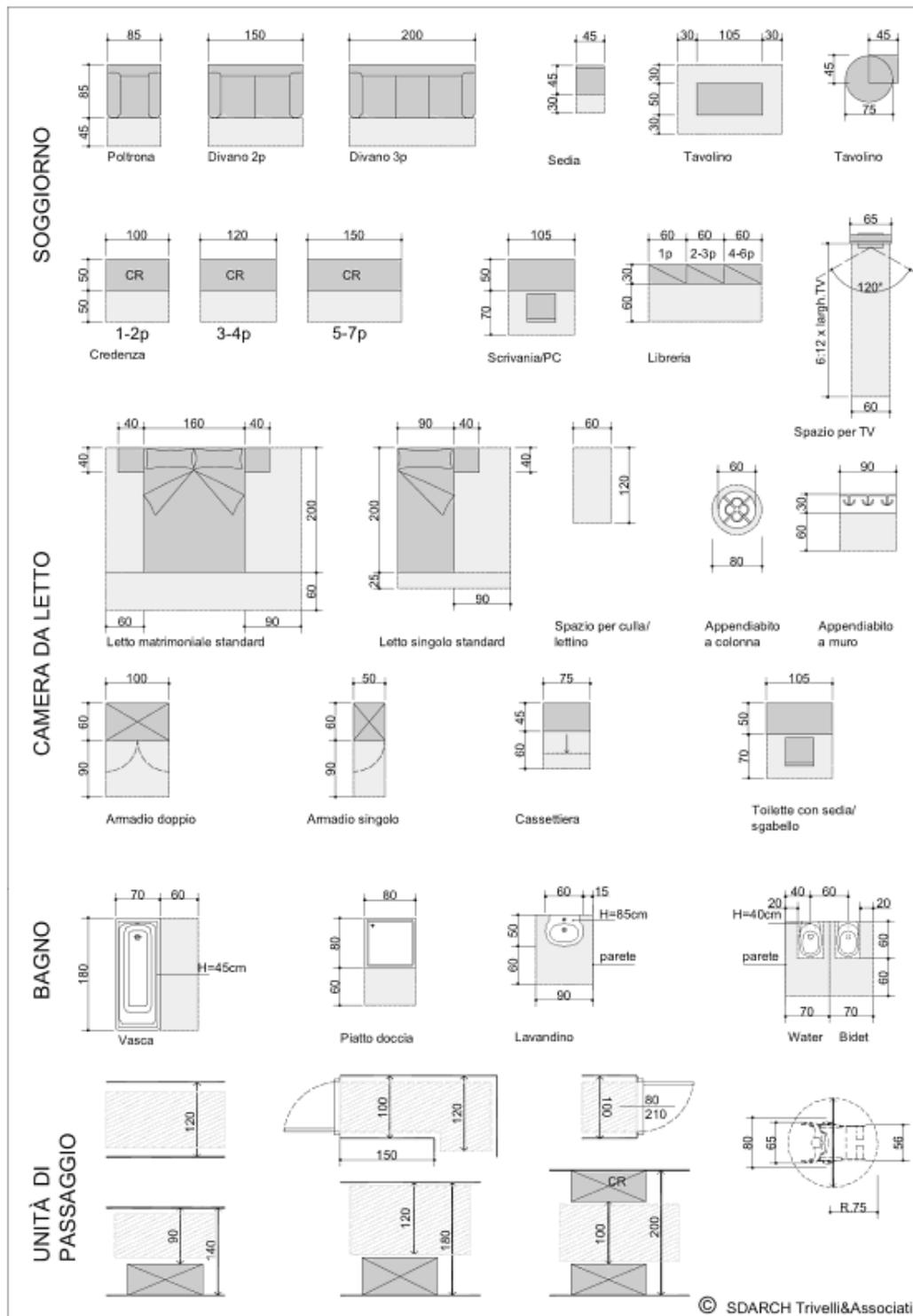
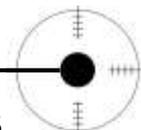


Fig.6.4 Ergonomia\_zona giorno notte bagno\_Trivelli&Associati



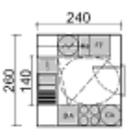
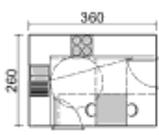
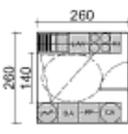
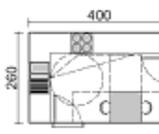
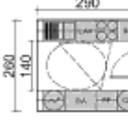
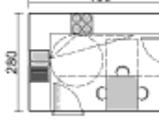
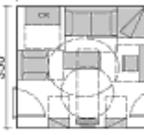
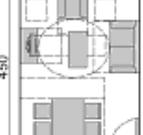
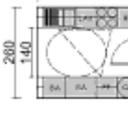
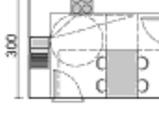
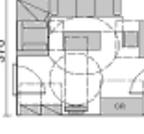
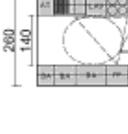
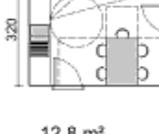
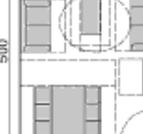
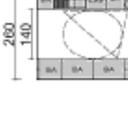
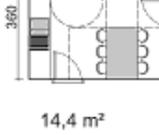
		CUCINA	CUCINA/ PRANZO	SOGGIORNO	SOGGIORNO/ PRANZO
		SUPERFICI MINIME PER LE ATTIVITÀ PRINCIPALI		 240 260 140 6,2 m <sup>2</sup>	 360 260 9,4 m <sup>2</sup> pranzo 3,2 m <sup>2</sup>
 260 260 140 6,8 m <sup>2</sup>	 400 260 10,4 m <sup>2</sup> pranzo 3,6 m <sup>2</sup>			 370 350 13 m <sup>2</sup>	 370 350 13 m <sup>2</sup>
 290 260 140 7,5 m <sup>2</sup>	 400 260 11,2 m <sup>2</sup> pranzo 3,6 m <sup>2</sup>			 400 350 14 m <sup>2</sup>	 340 450 15,3 m <sup>2</sup>
 290 260 140 7,5 m <sup>2</sup>	 400 300 12 m <sup>2</sup> pranzo 4,5 m <sup>2</sup>			 400 370 14,8 m <sup>2</sup>	 400 500 20 m <sup>2</sup>
 320 260 140 8,3 m <sup>2</sup>	 400 320 12,8 m <sup>2</sup> pranzo 4,5 m <sup>2</sup>			 400 400 16 m <sup>2</sup>	 400 500 20 m <sup>2</sup>
 370 260 140 9,6 m <sup>2</sup>	 400 360 14,4 m <sup>2</sup> pranzo 4,8 m <sup>2</sup>			 425 400 17 m <sup>2</sup>	 400 525 21 m <sup>2</sup>

Fig.6.5 Superfici minime per le attività principali\_Trivelli&Associati

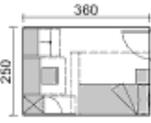
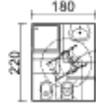
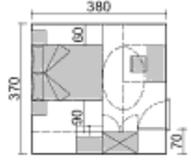
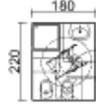
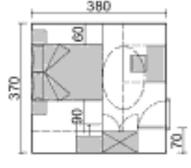
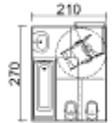
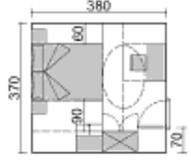
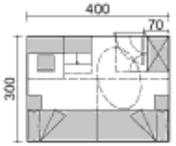
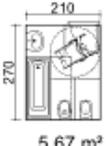
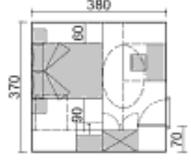
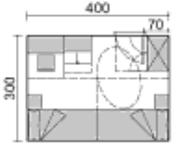
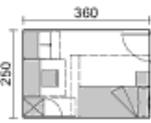
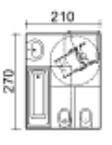
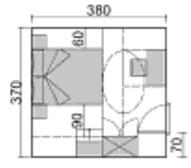
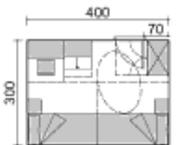
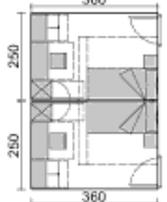
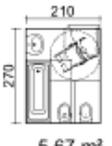
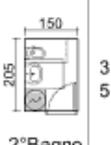
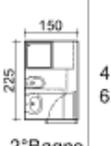
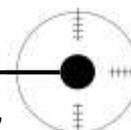
CAMERA MATRIMONIALE	CAMERA A 2 LETTI	CAMERA SINGOLA	SERVIZI IGIENICI		SUPERFICI MINIME PER LE ATTIVITÀ PRINCIPALI
		 9 m <sup>2</sup>	 3,96 m <sup>2</sup>	1 persona	
 14 m <sup>2</sup>			 3,96 m <sup>2</sup>	1 camera 2 persone	
 14 m <sup>2</sup>		 9 m <sup>2</sup>	 5,67 m <sup>2</sup>	2 camere 3 persone	
 14 m <sup>2</sup>	 12 m <sup>2</sup>		 5,67 m <sup>2</sup>	2 camere 4 persone	
 14 m <sup>2</sup>	 12 m <sup>2</sup>	 9 m <sup>2</sup>	 5,67 m <sup>2</sup>	3 camere 5 persone	
 14 m <sup>2</sup>	 12 m <sup>2</sup>	 2 camere singole 18 m <sup>2</sup>	 5,67 m <sup>2</sup>	4 camere 6 persone	
			 2°Bagno 3,08 m <sup>2</sup>		
			 2°Bagno 3,08 m <sup>2</sup>		
			 2°Bagno 3,37 m <sup>2</sup>		

Fig.6.6 Superfici minime per le attività principali\_Trivelli&Associati



## 6.2 Riferimenti progettuali

**Progetto:** Adelaide Wharf

**Luogo:** London, United Kingdom

**Autori:** Allford Hall Monaghan Morris



**Fig.6.7 Adelaide Wharf, London**

Adelaide Wharf è un progetto che promuove lo sviluppo sostenibile di 147 nuove abitazioni e 650 mq dedicati a servizi pubblici situato nella periferia di Londra. Il progetto combina le più emergenti tecnologie di costruzione efficiente alle più recenti teorie di sviluppo residenziale, e per questo motivo costituisce un innovativo prototipo per gli schemi del “social housing” futuro.

L’innovazione risiede nell’approccio alle seguenti tematiche:

Planning e disposizione degli spazi: la circolazione è ridotta al minimo, così da massimizzare la zona giorno e sfruttare al massimo le pareti finestrate.

Social Integrity: non c’è differenza tra gli alloggi sociali e di proprietà privata, tutte le case sono costruite e gestite secondo elevati standard qualitativi.

Costruibilità: utilizzo di sistemi prefabbricati che riducono il tempo del cantiere e contribuiscono al raggiungimento della qualità edilizia.

Originalità: ogni appartamento gode di un balcone pertinenziale sorretto da travi a sbalzo dal livello del tetto.

Sostenibilità: l’acqua piovana dal tetto viene raccolta per l’irrigazione della striscia di verde fiorito.

**Progetto:** BedZED

**Luogo:** London, United Kingdom

**Autori:** Bill Dunster Architectst

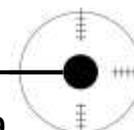


**Fig.6.8 BedZED, London**

BedZED, Beddington Zero (fossil) Energy Development, è un quartiere sperimentale londinese basato sui principi della sostenibilità, sia a scala urbana che di edificio.

L'obiettivo di questo intervento è quello di creare un villaggio urbano attraente, che rifletta lo stile del sito ed utilizzi il più possibile materiali del luogo. Capace di produrre una quantità di energia tale da soddisfare la propria domanda effettiva, il progetto è composto da 82 abitazioni, 18 unità residenziali e di lavoro, spazi per uffici e annessi giardini pensili o serre con terrazzo, i cui corpi di fabbrica si innalzano per tre piani, con gli spazi residenziali orientati a sud. Questo progetto può essere considerato il miglior esempio di abitazioni sostenibili realizzato finora, non solo per i suoi molti meriti energetici, ma anche per la ricercatezza, l'eleganza, la fantasia e l'inventiva.

I criteri di progettazione adottati sfruttano principi bioclimatici come la conformazione fisica dell'edificio e l'orientamento, connessi con il contesto climatico, allo scopo di controllare il microclima presente e utilizzare al massimo l'irraggiamento solare. In particolare si è prestata attenzione alla qualità dei materiali, per sfruttarne l'inerzia termica; sono stati utilizzati infissi a doppi o tripli vetri; l'utilizzo del tetto verde e delle serre solari, garantiscono



una minore dissipazione di energia ed utilizzato con il sistema di raffrescamento a ventilazione naturale e a sistemi solari attivi, permettono un alto livello di comfort termico senza dover ricorrere ad alcuna fonte di energia esterna all'edificio. Per limitare ulteriormente il consumo di energia, sono stati installati elettrodomestici Energy-saving e sistemi di illuminazione a basso consumo; l'acqua necessaria per gli scarichi dei wc e per l'irrigazione di giardini viene recuperata dal filtraggio delle acque meteoriche e delle acque grigie, arrivando a risparmiare fino al 18% sul consumo di questa preziosa materia prima. Gli sprechi sono limitati anche in fase di costruzione, in quanto i materiali utilizzati sono di provenienza locale o prefabbricati con materiale riciclato o di recupero.

Si è tenuto conto anche della problematica dei trasporti, avendo attuato una vera e propria strategia in questo senso; per condizioni di piano i mezzi pubblici devono essere verdi, ed il loro numero è in rapporto alla popolazione residente, in modo da invogliare all'utilizzo del sistema pubblico, riducendo così l'inquinamento da mezzo privato e il rumore che questi creerebbero. Sono presenti poi piste ciclabili che collegano il quartiere al resto della città e percorsi pedonali illuminati.

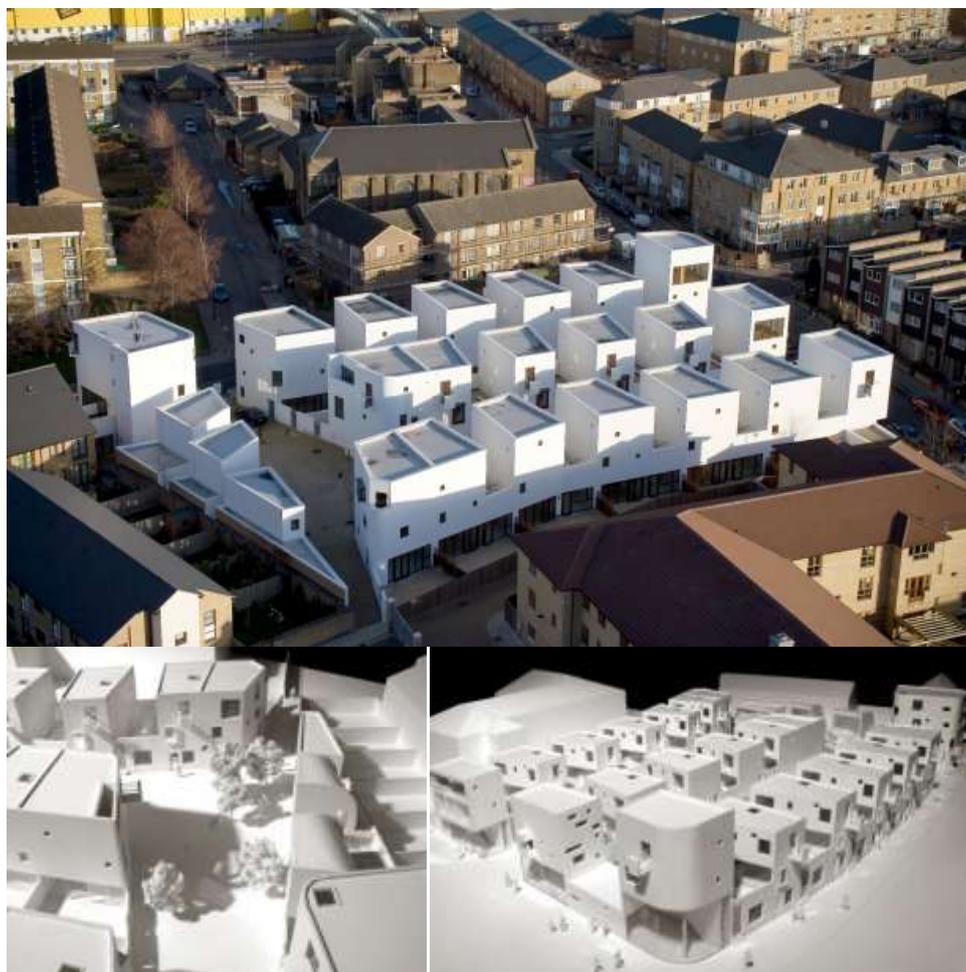
La strategia adottata per ammortizzare i costi di adozione delle tecnologie solari e per renderlo economicamente competitivo e vantaggioso per i suoi investitori, è quella di mescolare il tessuto abitativo a quello lavorativo, creando al solo costo di quello residenziale un potenziale piccolo parco tecnologico business.

Questa filosofia consente la massima razionalizzazione dell'uso del suolo, perché la stessa area sarà utilizzata in eguale misura durante tutto l'arco della giornata, al contrario dei quartieri dormitorio, che si spopolano durante il giorno.

**Progetto:** Donnybrook Quarter

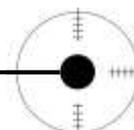
**Luogo:** London, Inghilterra

**Autori:** Peter Barber Architects



**Fig.6.9 Donnybrook Quarter, London**

Il quartiere di Donnybrook è un innovativo complesso residenziale a Bow, cittadina a est di Londra. Questa bellissima struttura ridefinisce il rapporto tra spazi urbani e persone nella città moderna. La sfida era quella di integrare il nuovo quartiere con la struttura esistente tipicamente britannica creando un'unica comunità, un unico tessuto.



**Progetto:** Casa 100K

**Luogo:** Concorso di idee

**Autori:** Mario Cucinella



Fig.6.10 Casa 100K

Una realizzazione capace di restituire il senso di piacere dell'abitazione e ripagare il costo dell'investimento con l'energia che è in grado di autoprodurre. La ricerca è finalizzata alla realizzazione di una casa da 100 mq a Zero emissioni di CO<sub>2</sub>, grazie all'impiantistica fotovoltaica integrata architettonicamente, all'utilizzo di superfici captanti energia solare per i mesi invernali, circolazione interna dell'aria per quelli estivi, e a tutte le strategie passive adottabili per rendere l'edificio una macchina bioclimatica. Il contenimento dei costi di realizzazione è invece affidato all'impiego di prefabbricazione leggera e flessibile: elementi strutturali, apparati tecnici, attrezzature mobili come pareti/pannelli scorrevoli-smontabili-curvabili per la divisione interna degli alloggi; sistemi di chiusura o tamponamenti monoblocco fatti di componenti sostituibili che possano diversificare l'aspetto esterno, ma anche garantire un'estensione di quello interno (balconi, terrazzini, logge).

**Progetto:** Housing at Ortutxueta

**Luogo:** Bilbao, Spagna

**Autori:** Belzunce, D. Maurino, G. Millan

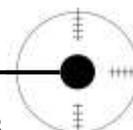


**Fig.6.11** Housing at Ortutxueta

Questo progetto, vincitore del concorso European IV, vede il recupero e la riprogettazione di un lotto su cui sorge una miniera abbandonata accanto a un quartiere molto popoloso della classe operaia.

E' interessante come il "là" del disegno architettonico sia dato proprio dalla conformazione del terreno, la cui pendenza plasma gli edifici che si affiancano creando degli interspazi comuni di socializzazione, caratterizzati dalla presenza di verde e a cui non ha accesso il traffico veicolare.

Il risultato è quello della casa a schiera che sfrutta la differenza di elevazione per regolare le altezze e pone l'accento sulle logge e passaggi in quota che diventano una vera e propria originale quinta facciata.



**Progetto:** Sonnenschiff (“La nave solare”)

**Luogo:** Friburgo, Germania

**Autori:** Rolf Disch



**Fig.6.12** Sonnenschiff, Friburgo

Terminato di costruire nel giugno 2006, il Sonnenschiff - la nave solare (un edificio in linea a funzione mista, terziaria e residenziale) - si trova ai bordi del famoso quartiere Vauban di Friburgo nel sud della Germania.

La vera particolarità del quartiere sono le sue Plusenergiehäuser, edifici progettati dall'architetto Rolf Disch che producono più energia di quanto ne consumino grazie all'ottimizzazione dell'efficienza energetica e all'uso consistente di pannelli fotovoltaici.

Il Sonnenschiff è rallegrato da forme accattivanti e colori vivaci, illuminato dalla luce naturale e costruito con materiali ecologici e riciclabili anche per tutelare la salute degli abitanti.

Il nuovo aggregato edilizio è composto da 58 unità abitative e dall'edificio principale, il Sonnenschiff, sulla cui sommità si trovano le 4 residenze bi e trifamiliari.

La nave solare appare come la somma di molteplici e leggere cellule abitative, ciascuna caratterizzata da un colore diverso, che movimentano lo skyline del complesso. Il vetro, oltre a connotare le finestre, è il materiale che equilibra la composizione dei volumi e regola il bilanciamento energetico.

Le residenze si sviluppano su due piani fuori terra, più un locale mansardato che dà l'accesso al terrazzo sul lato nord. Come consueto, i locali “caldi” sono

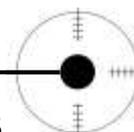
stati posti sul lato sud, lasciando a nord la cucina e i servizi; il piano terra, un open space, ospita il soggiorno con diretto accesso al giardino, mentre, al primo piano, si trovano le camere. All'ultimo piano, nel sotto tetto, alcuni hanno pensato ad uno spazioso studio da più di 20 mq, adattabile a stanza per gli ospiti. La particolare sezione è studiata per favorire i guadagni solari durante l'inverno e proteggere la facciata durante l'estate. La copertura e il balcone al primo piano funzionano da schermatura fissa. La struttura principale è di legno, utilizzato secondo i moderni schemi di prefabbricazione per ridurre al massimo i tempi di cantiere e gli errori di posa. La facciata a sud è completamente vetrata. Particolare attenzione meritano le coperture: rivolte verso sud, sono interamente rivestite da pannelli fotovoltaici. La tecnologia utilizzata è quella dei pannelli semitrasparenti in cui le celle policristalline sono laminate tra due lastre di vetro.

La potenza totale installata è di circa 445 kWp e la produzione totale annuale raggiunge i 420.000 kWh. Questa soluzione, unita a involucri e serramenti ad alta efficienza, garantisce una riduzione di circa 2 milioni di kWh di energia primaria, equivalente a 200.000 l di olio all'anno.

Plusenergiehaus: il concept

Inizialmente l'insediamento era stato pensato grande il doppio in modo da rendere più efficiente la strategia energetica. L'architetto Rolf Disch ha concepito le sue "Plusenergiehaus" (edifici che producono più di quanto consumano) modulabili: la semplice geometria, composta da una pianta rettangolare e una copertura inclinata, a una falda, può essere replicata e combinata più volte, anche sfalsando i moduli, per creare case a schiera di diversa forma (in linea, con terrazze o balconi). Inoltre, i moduli possono essere accoppiati anche verticalmente per creare edifici di differenti piani, sempre tenendo presente però che, aumentando la volumetria delle case bisogna intervenire sulla dimensione del tetto e sul numero di pannelli solari integrati per garantire lo standard Plusenergiehaus.

L'utilizzo di moderne tecnologie ha garantito la riduzione dei consumi energetici del Sonnenschiff. I muri esterni, i parapetti e i box per la ventilazione sono realizzati con pannelli di vetro o metallo e, per avere un isolamento termico molto efficiente, sono stati usati circa 1000 mq di pannelli isolanti a vuoto VIP (Vacuum-Insulation-Panel).



**Progetto:** Quartiere Lucien Rose

**Luogo:** Rennes, Francia

**Autori:** Atelier du Pont



**Fig.6.13 Sonnenshiff, Friburgo**

La realizzazione del quartiere Lucien Rose, in un'area privilegiata della città situata in posizione centrale e di fronte al parco botanico del Thabor, rappresenta il tassello innovatore rispetto a un contesto urbano destinato a classi sociali benestanti. Il programma dell'intervento composto da 81 alloggi e da una biblioteca ingenera pertanto un nuovo equilibrio di mixité urbana, di accessi al parco e di servizi pubblici. Gli alloggi a destinazione sociale sono stati distribuiti in sei edifici di cinque piani al massimo, disposti secondo un impianto che consente grande visibilità sul parco da un lato e sulla città dall'altro. Il volume della biblioteca si inserisce in modo discreto nel terreno in pendenza; la disposizione a scaletta delle sale consente l'illuminazione naturale di ogni ambiente attraverso la luce che proviene dagli spigoli sul percorso pubblico

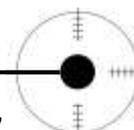
esterno. Grazie alla sua localizzazione, l'edificio pubblico rappresenta un punto di riferimento per tutto il quartiere e costituisce allo stesso tempo un ambiente di forte integrazione sociale.

### **6.3 Conclusioni**

I progetti selezionati come riferimento sono stati studiati attentamente e con "occhio critico" sono stati adottati gli elementi ritenuti non solo vincenti nel senso più generale del termine ma che risultano più coerenti con le caratteristiche geomorfologiche del nostro sito di progetto nonché con gli obiettivi prefissati.

Con queste premesse sono state messe al bando tutte quelle scelte progettuali che avrebbero comportato una complessità strutturale e impiantistica troppo elevata e che avrebbero di conseguenza incrementato vertiginosamente i costi di costruzione.

Al contrario sono state prese come riferimento tutte quelle scelte che hanno come scopo quello di sviluppare un migliore qualità spaziale, sia all'interno delle abitazioni sia all'esterno: strade pedonali aeree che si trasformano in spazi di socializzazione, metodi di costruzione industrializzati quali la prefabbricazione e l'assemblaggio di elementi direttamente in situ, utilizzo del verde come motore stesso del progetto e non come elemento di risulta, adozione di una filosofia di architettura sostenibile.



#### **6.4 Scheda di progetto: Obiettivi & Strategie**

Il quartiere si estende su un'area avente una dimensione complessiva di circa 160.000 mq (alloggi previsti per 800 abitanti),  
Gli edifici hanno 2/3 piani fuori terra.

---

Obiettivi	<ul style="list-style-type: none"><li>- abitazioni in prossimità del centro città</li><li>- mix funzionale</li><li>- mix sociale</li><li>- conservazione/sviluppo delle aree verdi esistenti e creazione di nuove</li><li>- creazione di un ambiente vivibile per famiglie e bambini e presenza della natura</li><li>- dotazione di servizi per bambini</li><li>- creazione di un centro di quartiere e di collegamenti veloci e pubblici con il centro della città per scoraggiare l'uso dell'auto privata</li><li>- conseguente potenziamento del sistema di trasporto pubblico e di forme di mobilità alternativa all'automobile (piste ciclabili e percorsi pedonali)</li><li>- collegamento di tutti gli edifici alla zona pubblica</li><li>- contenimento dei consumi energetici</li><li>- differenziazione delle tipologie edilizie a seconda che si tratti di destinazione d'uso "social" o privata, in funzione dell'orientamento e degli scorci panoramici</li><li>- edificazione a basso costo e a basso impatto ambientale</li><li>- velocità di realizzazione</li></ul>
Strategie	<ul style="list-style-type: none"><li>- isolamento ottimizzato dei vari componenti</li><li>- adozione della tecnologia S/R (Struttura/Rivestimento)</li><li>- materiali naturali ed ecocompatibili</li><li>- sistema di riscaldamento a energia solare regolazione meccanica dei ricambi d'aria con recupero di calore</li><li>- sistemi di energia solare passiva (serre)</li><li>- smaltimento naturale e riutilizzo delle acque piovane</li><li>- pannelli fotovoltaici e solari</li></ul>

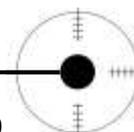
### 6.5 Introduzione (Social housing)

L'occasione di aver potuto sviluppare una tesi di laurea in un contesto socio-culturale come quello odierno, in cui la tutela dell'ambiente è diventata un principio fondamentale per continuare a convivere con il nostro pianeta e per poter garantire un futuro migliore, ci ha consentito di approfondire il tema della "Sostenibilità in Architettura". Un tema già ampiamente sviluppato e consolidato in molte zone europee (nord Europa).

L'applicazione di questi principi è in sintonia con un nuovo modo di concepire lo spazio architettonico di cui siamo fruitori ed è per questo che si sposa perfettamente con le esigenze di un intervento di social housing, prevedendo un utilizzo consapevole delle risorse sia umane che naturali.

La volontà di sviluppare un progetto che segnasse una linea di demarcazione dalla tradizione costruttiva italiana, in particolare per la residenza, chiusa a innovazioni tecnologiche e formali e si ispirasse a modelli europei, più aperti alla sperimentazione in questi campi, ha portato ad effettuare delle decisioni riguardanti sia la tecnica costruttiva che le scelte tipologiche: nello specifico tecnologie stratificate a secco, prefabbricazione, uso prevalente di acciaio strutturale, eliminazione dei costi di scavo, riduzione dei vani scala a favore di ballatoi distributivi, uso di impianti che favoriscono il risparmio e l'efficienza energetica, raccolta dell'acqua piovana.

Tutti questi elementi portano ad una notevole riduzione dei costi e tempi di costruzione e un ciclo di vita dei materiali sostenibile (riduzione dell'energia di produzione, riciclo e dismissione del materiale).



### 6.6 La residenza

L'approccio per affrontare il tema della residenza deve essere necessariamente rivolto alla qualità dell'abitare e deve tener conto delle possibilità economiche dei futuri abitanti, a maggior ragione nel social housing.

La prima scelta strategica per rispondere al primo requisito è stata quella di dotare ogni unità abitativa del doppio affaccio: le zone giorno sono state disposte a sud per garantire il miglior apporto termico e di luce diurna, a nord si trovano le zone notte e di servizio che non necessitano di un'illuminazione diretta e garantiscono l'assenza di surriscaldamento estivo. Questo assetto favorisce una miglior ventilazione naturale migliorando il comfort interno e le prestazioni energetiche dell'edificio.

La doppia esposizione presuppone il compromesso di sviluppare un edificio in linea: ragionando in un'ottica di economicità, questo avrebbe comportato una presenza eccessiva di vani scala gravando notevolmente sui costi di progetto e gestione. La scelta tipologica del ballatoio è stata il giusto compromesso per ridurli a una sola unità che serve dalle 10/12 unità abitative.

La conformazione del lotto consente di sfruttare a pieno l'affaccio a sud a beneficio della residenza la cui disposizione planimetrica è il risultato di uno studio approfondito del percorso solare e delle ombre portate: da qui la scelta di dividere l'impianto in 14 blocchi distanti tra loro 20/30 m in modo da evitare problemi di ombreggiamento e trarre il maggior beneficio termico solare durante il periodo invernale.

### 6.7 Il vano scala

Il vano scala è un elemento che fortemente connota il progetto della residenza "social" costituendo il fronte stradale ovest percepito dalla spina verde (che si articola lungo tutta l'area da nord a sud) e dalla zona dei servizi.

Esso diventa un punto chiave dell'impianto residenziale assumendo la valenza, oltre che di puro e semplice elemento distributivo, anche di spazio attrezzato asservito alla residenza, ai rapporti sociali e alla produzione e accumulo di energia.

Lo spazio interno è delimitato da setti in cemento armato grezzo ed è diviso in due parti, una svolge la tradizionale funzione distributiva con solette, vano ascensore e scale in cemento armato prefabbricate, integrata con un sistema di locali destinati a:

- impianti e ricovero delle biciclette e della raccolta differenziata al piano terra;
- al secondo e terzo piano sono predisposte aree accoglienti e suggestive adatte alle relazioni sociali tra condomini.

Le chiusure a sud sono composte da superfici vetrate a vetro singolo modulari con parti apribili e con serramenti in alluminio a taglio termico; la protezione estiva è garantita da un sistema di lamelle orizzontali fisse in acciaio. Le chiusure a nord presentano un rivestimento in gabion wall che conferisce un aspetto più massiccio e meno permeabile all'intero prospetto.

Lo spazio a tutt'altezza centrale è caratterizzato da un camino di luce in sommità che crea un ambiente fortemente suggestivo.

### **6.7.1 Servizi integrativi per l'abitare**

Caratteristica fondamentale di una social housing è la presenza integrata di una serie di spazi di servizio, legati agli alloggi, di pertinenza dell'edificio e della città: al piano più basso delle diverse stecche, sono stati pensati, per poter essere facilmente usufruibili da tutta la comunità, una lavanderia condominiale dotata di un locale per il lavaggio e l'asciugatura del bucato, un deposito per riporre attrezzi e oggetti di comodo, e uno spazio comune che, nelle diverse stecche abitative, assume diverse funzioni quali sala studio, zona fitness, sala musica, sala per attività artistiche e ricreative, centro diurno per anziani.

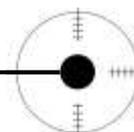
### **6.8 Il sistema di serre**

In una logica di sostenibilità ambientale l'esposizione nord-sud di cui godono gli appartamenti diventa un'occasione per sperimentare la serra solare e ridurre il fabbisogno di calore dell'edificio.

Il funzionamento della serra:

Regime invernale: le ampie vetrate a sud vengono tenute chiuse durante tutto il periodo e garantiscono un irraggiamento solare diretto e un apporto di calore all'interno che viene accumulato dagli elementi massivi (pareti, pavimenti, arredi) per poi essere rilasciato nelle ore più sfavorevoli. L'aria riscaldata all'interno può essere gestita da ogni singola utenza per mezzo di condotti che corrono nei controsoffitti in corrispondenza dei corridoi servendo poi ogni singolo locale degli appartamenti e la sua circolazione è indotta da un sistema di tiraggio dell'aria.

Regime estivo: per evitare l'irraggiamento delle vetrate rivolte a sud ed un conseguente surriscaldamento dell'interno è necessario attivare le schermature e aprire le finestre sia a sud che a nord per garantire una ventilazione costante. Il giardino d'inverno e le correnti d'aria interne contribuiscono a diffondere umidità all'ambiente favorendo il comfort termoisometrico.



### 6.9 La “pelle” dell’edificio

Le chiusure a sud/est sono composte da superfici vetrate a vetro doppio modulare con parti apribili e con serramenti in PVC a taglio termico; la protezione estiva è garantita da un sistema di aggetti quali serre/terrazze/balconi e dal verde rampicante. Gli altri due prospetti, il nord e l’ovest, sono molto più compatti e le aperture sono ridotte allo stretto necessario per rispettare i rapporti aero-illuminanti e quindi limitare le dispersioni termiche. Pieni, vuoti, logge, terrazze, frangisole e serre bioclimatiche da una parte, e intonaco, pietra, acciaio dall’altra, costituiscono il palinsesto compositivo e materico dell’edificio.

### 6.10 Il ballatoio

Il ballatoio è una tipologia distributiva che, nonostante la sua tradizione storica, è stata persa nel tempo: questo è dipeso in particolare dalla ricerca della privacy che è diventata sempre di più un bisogno in una società in cui l’individuo concepisce la propria casa come un riparo dalla frenesia e dalla presunta ostilità del prossimo. La concezione di Social Housing è opposta: il ballatoio diventa occasione di incontro occasionale tra il vicinato favorendo una migliore e più consapevole convivenza. I ballatoi, disposti a nord e profondi 200 cm, sono stati concepiti riprendendo la tradizione con l’utilizzo di una balaustra modulare continua scandita verticalmente dai cavi strutturali in acciaio controventati sia in verticale che in orizzontale che sospendono la soletta della balaustra dalla copertura. Nel tentativo di rompere questa continuità, di caratterizzarli formalmente e allo stesso tempo garantire un margine di privacy alle camere rivolte a nord è stato introdotto un tessuto di cavi in acciaio (in alcune porzioni controventanti) che ospitano diverse specie di verde rampicante. Dal punto di vista strutturale i ballatoi sono appesi con un passo di 350 cm alla struttura principale di copertura tramite profili hea e irrigiditi da puntoni a X in acciaio: l’attacco è di tipo indiretto utilizzando profili a L e squadrette collaboranti per consentire la continuità dell’isolamento a cappotto evitando così ponti termici. Le finiture sono state pensate per rispondere a una logica di economicità senza rinunciare alla qualità: il piano di calpestio è in lamine modulari stampate antiscivolo color rosso argilla che terminano con una copertina metallica dotata di rompi goccia (che permettono la raccolta delle acque meteorica nella gronda sottostante).



Fig.6.14 Concept ballatoio

### 6.11 I pergolati

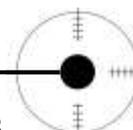
Per enfatizzare la presenza dell'elemento naturale e favorire una continuità tra verde privato e verde pubblico si è dotato l'edificio di un sistema di ambienti pergolati dotati di zone dedicate a poter ospitare differenti colture, dalle piante domestiche ai piccoli ortaggi comuni: questo "orto verticale" oltre a riprendere gli orti spontanei urbani contribuisce a responsabilizzare gli inquilini riguardo al concetto dell'autoconsumo e creare occasioni d'incontro per la gestione.

La terrazza esterna disposta verso est a mezz'altezza del vuoto regala una vista globale del contesto panoramico esterno.

Il giardino pensile oltre a compensare l'uso del suolo per l'edificazione, contribuisce al risparmio energetico e a migliorare le prestazioni energetiche ed ambientali del sistema edificio: è un equilibrante termico, in quanto trattiene nello strato di terra parte dell'acqua piovana che, evaporando lentamente, impedisce l'eccessivo riscaldamento della copertura e contemporaneamente la fuoriuscita del calore dal fabbricato nei mesi invernali. Altri effetti positivi di questa soluzione, sono il contributo all'assorbimento di CO<sub>2</sub>, l'assorbimento acustico e l'ottimizzazione idrica. Si prevede per l'irrigazione degli elementi verdi (giardini pensili, tetto verde, giardini di pertinenza) la possibilità di recuperare l'acqua piovana.



Fig.6.15 Concept doppio affaccio e verde



### 6.12 Il modulo

La struttura delle residenze è in acciaio basata su un modulo 3.5x3.5m. Si tratta di una scelta di comodo per rispondere alla richiesta di tre tipologie con diverse metrature (95 mq, 80 mq, 55 mq) e garantire una miglior risposta strutturale in modo da poter cambiare tipologia aggiungendo o sottraendo una di esse.

Si sono dimensionati gli elementi strutturali, determinando preventivamente le azioni agenti sulla struttura in esame, il modello strutturale e gli schemi statici di funzionamento della struttura, le modalità di trasferimento delle azioni e i carichi agenti sui singoli elementi strutturali.

La scelta della struttura puntiforme risiede nella flessibilità tecno-tipologica da conferire all'organismo edilizio.

La struttura intelaiata consente libertà fruitiva in pianta e in facciata, e piena compatibilità con la tecnologia S/R adottata.

Infine, la scelta di tale modello strutturale, in acciaio riciclato, consente la smontabilità ed il reimpiego degli elementi strutturali, coerentemente con gli obiettivi di sostenibilità ambientale ed economica.

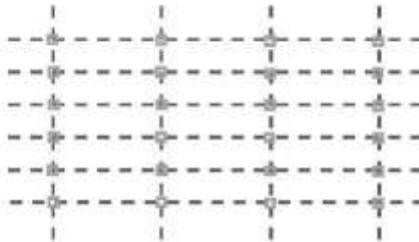


Fig.6.16 Schema strutturale

### **6.13 La copertura**

La scelta tipologica adottata per la copertura ha il chiaro intento di rispettare la tradizione costruttiva locale. Una tipologia edilizia “nota” agli utenti viene, infatti, percepita come immediatamente riconoscibile e quindi condivisa e fatta propria.

La copertura si presenta a doppia falda:

- Una inclinata di 18 gradi rivolta verso sud che assolve la duplice funzione di oscuramento delle superfici finestrate e serre nei piani alti e alloggio dei pannelli fotovoltaici/termici.
- L'altra inclinata di 22 gradi rivolta a nord che sorregge tramite un sistema di tiranti i ballatoi di accesso alle diverse unità abitative.

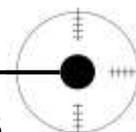
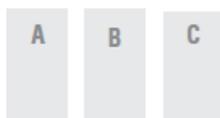
### **6.14 Riconoscibilità degli alloggi**

Lavorare sulla riconoscibilità dell'alloggio significa mitigare l'effetto alienante della città offrendo l'opportunità, al residente, di riconoscere con evidenza lo spazio che gli appartiene (sia esso di proprietà o in affitto), nel quale riconoscersi, e che attesta, al contempo, il suo essere parte del tessuto sociale ed urbano della città.

Rendere distinguibili gli alloggi attraverso l'uso di diversi colori, materiali, tipologie schermanti, serre, logge o balconcini offre la possibilità ai residenti urbani di sviluppare la propria identità, quell'identità spesso minata nei contesti urbani, dove si è più numeri che persone.

### **6.15 Pluralità dei profili d'utenza**

Sono previsti tre moduli tipologici elementari differenti per dimensioni e otto per tipologia d'utenza soddisfatta. I profili d'utenza che costituiscono il target di progetto sono quelli derivanti dalle analisi ISTAT condotte sulla popolazione aquilana.



Tipologia	N° Componenti	m <sup>2</sup>	Profili di utenza
A	1/2	54	Coppia coniugata/non Coppia coniugata/non con bebè
B	3	80	Coppia coniugata/non con figlio/a Monogenitore con figlio/a
C	3/6	94	Coppia coniugata/non con 2/4 figli Monogenitore con 2/4 figli Coppia coniugata/non senza figli con altri componenti Coppia coniugata/non con figlio/a con necessità di vano ufficio Coppia coniugata/non con figlio/a e nonni

**Fig.6.17 Profili di utenza**

### **6.16 Adozione del sistema S/R**

Si adotta la tecnologia costruttiva stratificata a secco, e si sceglie la tipologia Struttura/Rivestimento (S/R).

Tale modalità costruttiva si avvale di tecnologie leggere e prodotti prefabbricati che vengono assemblati e fissati a secco su strutture portanti indipendenti. I tamponamenti vengono realizzati con pacchetti prestazionali stratificati, costituiti da strati funzionali che svolgono ognuno un preciso compito (isolamento termico, acustico, tenuta all'aria).

Si ottengono edifici iper-isolati cui corrisponde un minimo consumo energetico. Tale sistema, stratificato e assemblato a secco permette di non ostacolare la flessibilità e la manutenibilità delle unità tecnologiche, e di utilizzare materiali specializzati insieme a quelli tradizionali: si evita, così, l'obsolescenza tecnologica e funzionale, intervenendo, eventualmente, sul sistema edificio a costi ragionevoli (il sistema monolitico tradizionale non consente interventi manutentivi che non compromettano l'integrità del manufatto).

La tecnologia stratificata a secco consente inoltre il riciclaggio degli elementi costruttivi e permette il controllo puntuale delle prestazioni di ciascun strato funzionale e, quindi, la riduzione dei costi e dei tempi di montaggio e dismissione.

6.17 Modello progettuale adottato

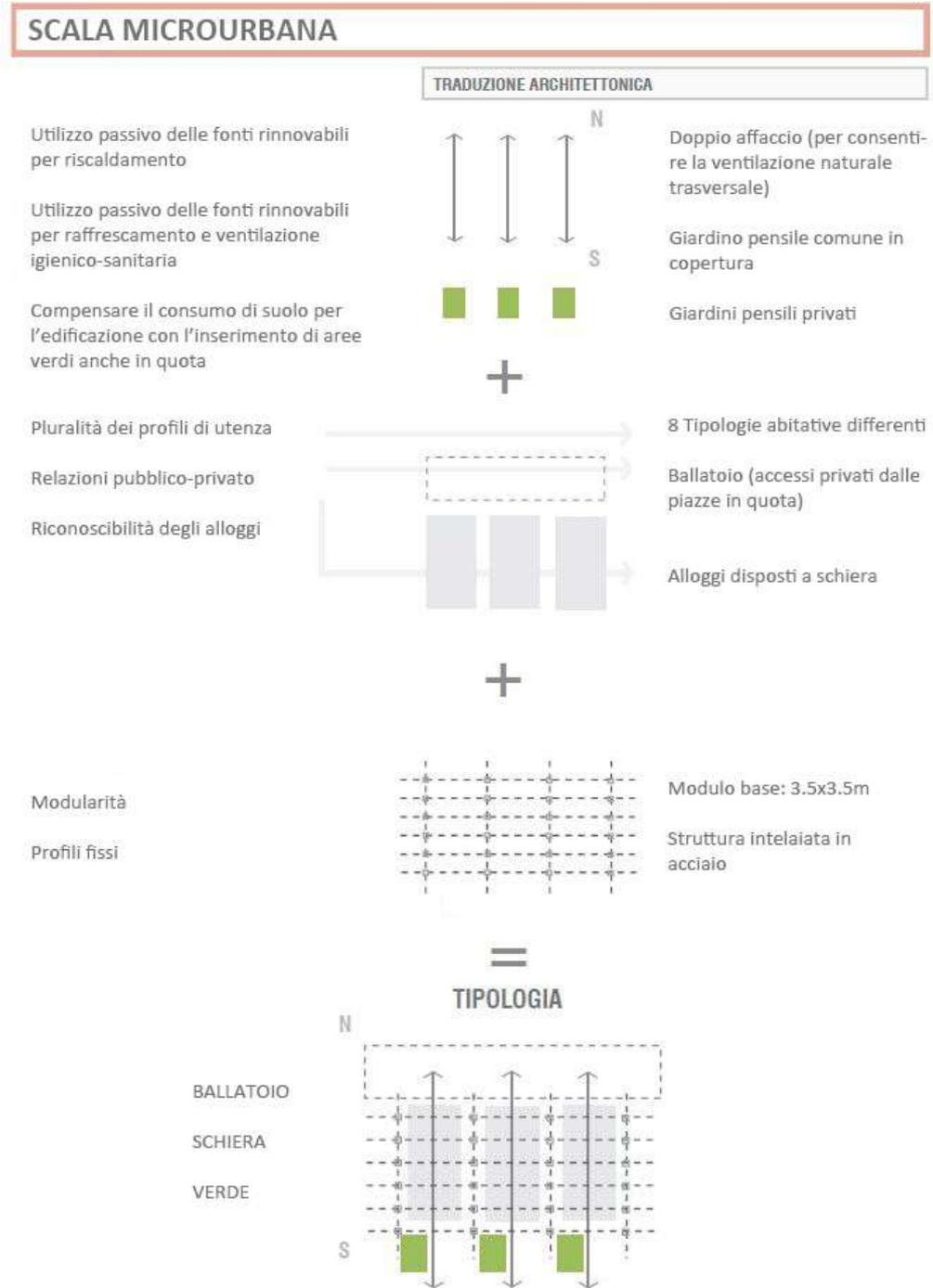
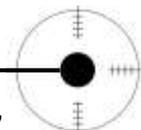


Fig.6.18 Concept Architettonico



### **6.18 Residenze private**

Parallelamente alla progettazione delle residenze “Social” è stato svolto uno studio su una variazione del tema per l’inserimento di residenze a carattere privato. Cinque delle diciannove stecche sono disegnate rispettando le esigenze di una popolazione più fortunata: il rapporto tra il numero di utenti e metrature qui diminuisce, gli ingressi diventano totalmente indipendenti, i giardini a carattere prettamente privato.

L’obiettivo di questa scelta è quello di creare un mix sociale tipico di ogni distretto o quartiere del centro storico o del centro città, evitando il pericolo di fenomeni di emarginazione e conseguente disagio sociale.

Ci si proietta così in villaggio urbano attraente, che riflette lo stile del sito ed utilizza il più possibile materiali del luogo.

La forma architettonica del nuovo blocco riprende lo skyline della catena montuosa del Gran Sasso integrandosi armonicamente in un contesto tanto aspro quanto affascinante.

Alla stregua della prima tipologia sono stati adottati i criteri tipici della progettazione bioclimatica e sostenibile: l’orientamento qui varia leggermente, il tetto diventa ad un’unica falda, inclinata di 20 gradi a sud/est, sulla quale alloggiavano ancora una volta gli impianti a captazione solare. Il fronte sud/ovest è scandito da un sistema di serre captanti e aperture finestrate più ampie, mentre quello opposto si presenta più ermetico e dà spazio a sottili tagli di luce che permettono un ricambio d’aria nei vani (principalmente di servizio) rivolti a nord limitando allo stesso tempo le dispersioni di calore.

Il vano scala rivestito in gabion wall è disposto sul fronte ovest e caratterizza fortemente il prospetto che si percepisce dalla zona pubblica.

Ognuna delle cinque stecche private ospita 3 unità abitative: due tipologie di duplex ed una che si sviluppa interamente a pian terreno, predisposta per eventuali utenti affetti da problemi motori.

Tutte sono studiate e progettate per ospitare 4/5 utenti, secondo le statistiche istat il numero di persone presente nella famiglia media abruzzese.

Suggestive sono le viste che si percepiscono dai giardini pensili così come dai vani giorno finestrati: quella a nord/est sulla città e quella a sud/ovest sull’Appennino abruzzese.

**CAPITOLO SETTIMO**  
**ANALISI CLIMATICHE**

## 7.1 Introduzione

L'importanza del clima e dell'ambiente che circonda la vita umana è divenuto oggi nuovamente, così come è già accaduto in epoche passate, un elemento fondamentale per una buona progettazione.

Il clima è l'insieme delle condizioni atmosferiche (temperatura, umidità, pressione, venti) caratteristiche di una precisa regione geografica ed ottenute da rilevazioni dei dati per lunghi periodi di tempo. Esso determina la flora e la fauna, ed influenza le attività economiche, la cultura e le abitudini della popolazione che vi abita. Dal punto di vista scientifico, l'analisi del contesto climatico viene definito sulla base di elementi costanti che tendono a ripetersi stagionalmente.

Nel capitolo che segue, dopo una breve descrizione del contesto climatico generale de L'Aquila, vengono riportate le analisi dettagliate dei valori numerici riguardanti i parametri di temperatura, l'intensità delle precipitazioni, i cambiamenti di umidità atmosferica nei diversi periodi dell'anno, l'intensità dei venti e delle radiazioni solari.

## 7.2 Contesto climatico de L'Aquila

La città de L'Aquila è situata ad una quota media di 700 m s.l.m., circondata dai monti appenninici, in particolare del Gran Sasso (2.914 m) e del Velino Sirente (2.487 m).

Città de L'AQUILA				
<b>ALTITUDINE</b>	<i>Minima</i>	<i>Massima</i>	<i>Escursione altimetrica</i>	<i>Zona altimetrica</i>
	575 m s.l.m	2.635 m s.l.m	2.060 m s.l.m	montagna interna
<b>COORDINATE</b>	<i>Latitudine</i>		<i>Longitudine</i>	
	42°21'57" N		13°23'39" E	
<b>CLIMA</b>	<i>Gradi giorno</i>		<i>Zona Climatica</i>	
	2514		E	

**Tab.7.1 Dati climatici città de L'Aquila**

La posizione e la quota della città rendono il suo clima più continentale che mediterraneo: esso risulta caratterizzato da estati calde e relativamente asciutte, con inverni rigidi e piovosi.

Durante l'inverno, la colonnina di mercurio è solita scendere in media 50 giorni su 90 sotto lo zero, con punte sotto i meno dieci gradi e con una media di tre giorni di ghiaccio l'anno.

Nella storia del clima, i record storici sono stati registrati nel 1929 (-22,3°C) e recentemente nel 2004 con -14°C. Il freddo quindi non manca e neanche la neve, anche se quest'ultima è diminuita in quantità e frequenza di circa la metà dagli anni '60.

Malgrado l'altitudine, la città è meno nevosa, come neve accumulata, rispetto ad altre città della regione poste tra le colline di Chieti e Teramo. La presenza del Gran Sasso, infatti, risulta una barriera per le correnti balcaniche da Nord – Nord Est: l'aria umida che le correnti acquistano passando sull'Adriatico rimangono al di là del massiccio; la città risulta invece esposta alle correnti atlantiche da Ovest che generalmente portano pioggia.

Il clima invernale risulta dunque rigido e piovoso: con 214 mm di pioggia, l'inverno è la stagione più piovosa dell'anno.

Se l'inverno è rigido e piovoso, l'estate è calda e relativamente asciutta: la bassa umidità dell'aria rende gradevole la stagione, sebbene la sera le temperature scendano mediamente intorno ai 14 °C.

Per la raccolta delle informazioni riguardanti i dati climatici si è fatto principalmente riferimento alla stazione meteorologica de L'Aquila Preturo, frazione della città, dalla quale sono stati ricavati i dati relativi a temperatura, precipitazioni, umidità atmosferica e al vento. Per quanto riguarda invece i dati storici, la fonte è il CETEMPS (Centro di Eccellenza di Telerilevamento E Modellistica numerica per la Previsione di eventi Severi), centro di ricerca dell'Università degli Studi de L'Aquila.

### **7.3 Temperatura**

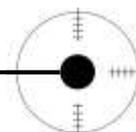
La temperatura è una proprietà caratterizzante lo stato termico di due sistemi in relazione alla direzione dei flussi di calore che verrebbe ad instaurarsi tra di essi. Essa è la causa del trasferimento di energia da un sistema all'altro. Dal momento in cui esiste una differenza di temperatura il calore tende a muoversi dal sistema a temperatura più alta a quello a temperatura più bassa, sino al raggiungimento dell'equilibrio termico.

Fondamentale è quindi la conoscenza delle temperature medie stagionali del territorio in cui è situata l'area di progetto.

Diversi fattori influenzano le temperature locali:

- localizzazione: area rurale o urbana;
- topografici: altezza sul livello del mare, depressioni, avvallamenti, valli etc..

Nel caso in esame, il sito di progetto è ubicato in una località urbana, quindi è caratterizzato da temperature estive ed invernali più elevate di quelle che si registrano nelle zone rurali a causa di un fenomeno chiamato *isola di calore urbana*.



Anno 2008	Temperatura [°C]				Escursione termica [°C]	
	Temperatura massima assoluta	Temperatura minima assoluta	Temperatura massima media	Temperatura minima media	Escursione massima	Escursione minima
<i>Gennaio</i>	20,6	-7,8	11,3	0,0	19,1	3,2
<i>Febbraio</i>	14,6	-4,7	11,1	1,6	17,5	2,6
<i>Marzo</i>	21,0	-1,6	13,7	2,8	18,7	5,0
<i>Aprile</i>	25,3	0,6	20,0	4,6	19,3	2,8
<i>Maggio</i>	29,3	3,2	22,2	8,5	20,4	2,9
<i>Giugno</i>	35,0	8,8	26,5	12,6	20,7	4,3
<i>Luglio</i>	37,2	8,1	31,1	13,9	23,2	6,0
<i>Agosto</i>	37,8	8,7	29,8	14,3	22,6	8,6
<i>Settembre</i>	28,9	2,3	23,0	8,5	20,2	5,7
<i>Ottobre</i>	29,1	-0,6	17,7	6,8	21,3	3,1
<i>Novembre</i>	17,9	-5,5	11,1	0,9	15,5	2,6
<i>Dicembre</i>	12,4	-8,2	6,9	-1,3	15,8	2,7

**Tab.7.2 Andamento delle temperature nella città da L'Aquila**

Dall'analisi dei dati sulla temperatura e sull'escursione termica si osserva: tra i mesi invernali, la variabilità del mese di Gennaio, quando si rivela un alto valore di escursione termica massima per la presenza di un forte picco della temperatura minima assoluta; d'estate i mesi più critici sono Luglio e Agosto quando è possibile fare i conti con un picco della temperatura massima assoluta ed un'escursione termica massima che si aggira attorno ai 23° C. Questo cambiamento della temperatura può determinare una variabilità nello stesso comportamento dell'involucro di un edificio e costituire un fattore aleatorio per la progettazione degli impianti di climatizzazione estiva ed invernale.

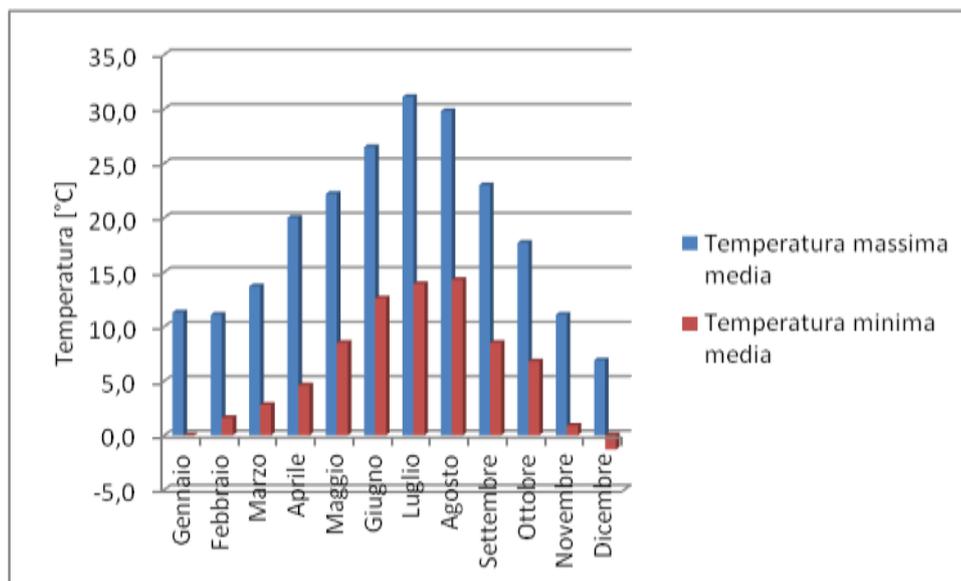


Fig.7.3 Temperature massime e minime medie mensili nel 2008

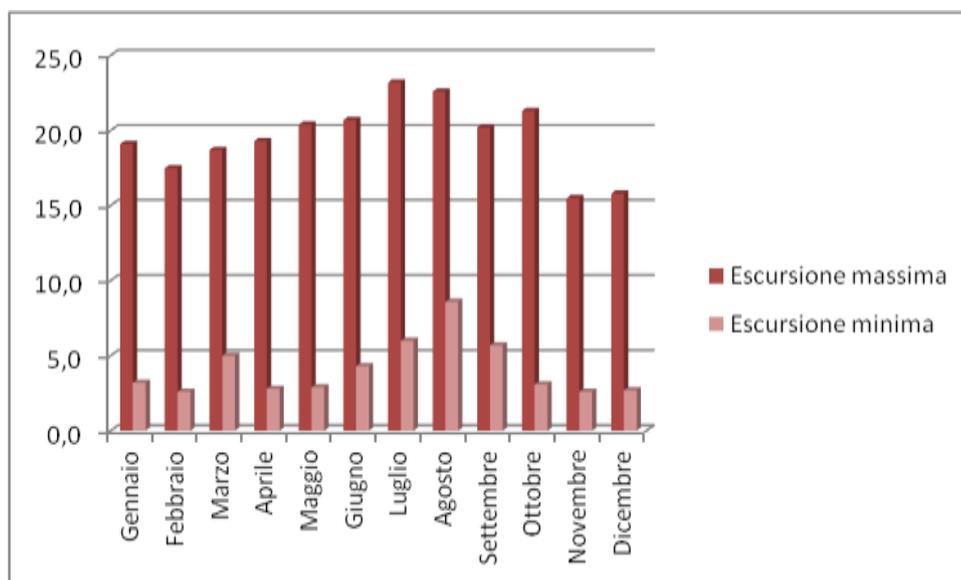
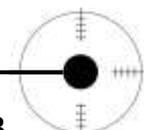


Fig.7.4 Confronto tra le escursioni termiche massime e minime mensili nel 2008

Si riportano ora i grafici relativi alle temperature massime e minime medie relative agli anni 2004, 2006 e 2008.



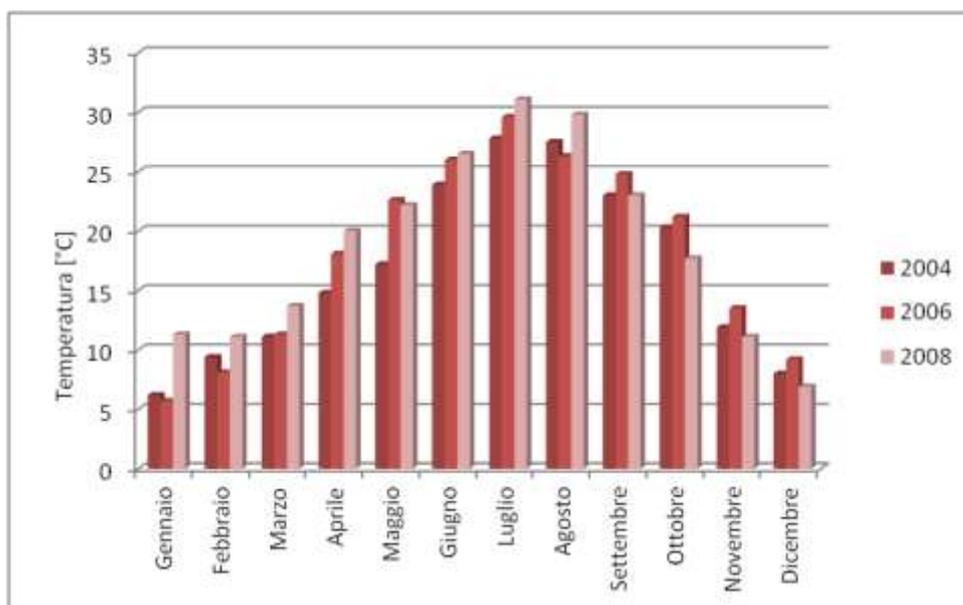


Fig.7.5 Confronto tra le temperature medie massime negli anni 2004, 2006, 2008

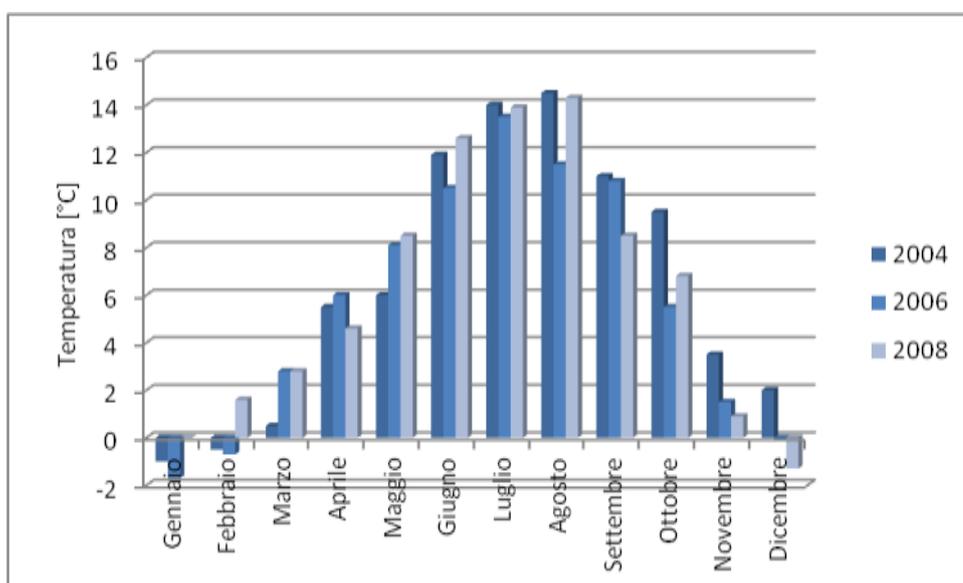


Fig.7.6 Confronto tra le temperature medie minime negli anni 2004, 2006, 2008

Il trend di valori per ciascuno dei tre anni si aggira su valori di poco variati e risulta, pertanto, un dato fondamentalmente statico nel breve periodo. L'analisi dei dati storici sulle temperature massime e minime, relativi al periodo tra il 1968 e il 2005, ha permesso di ottenere i seguenti valori grafici:

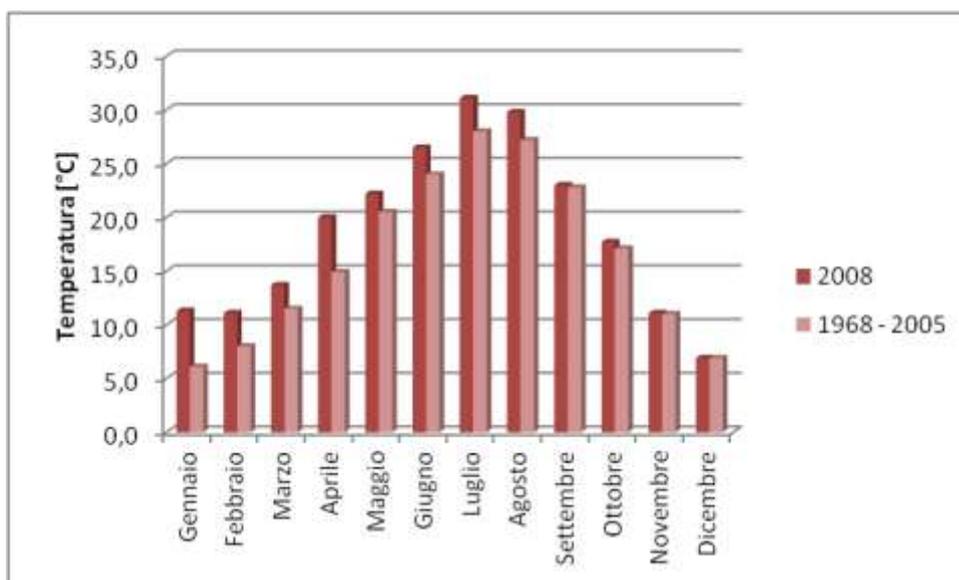


Fig.7.7 Confronto tra le temperature medie massime del 2008 e quelle tra il 1968 e il 2005

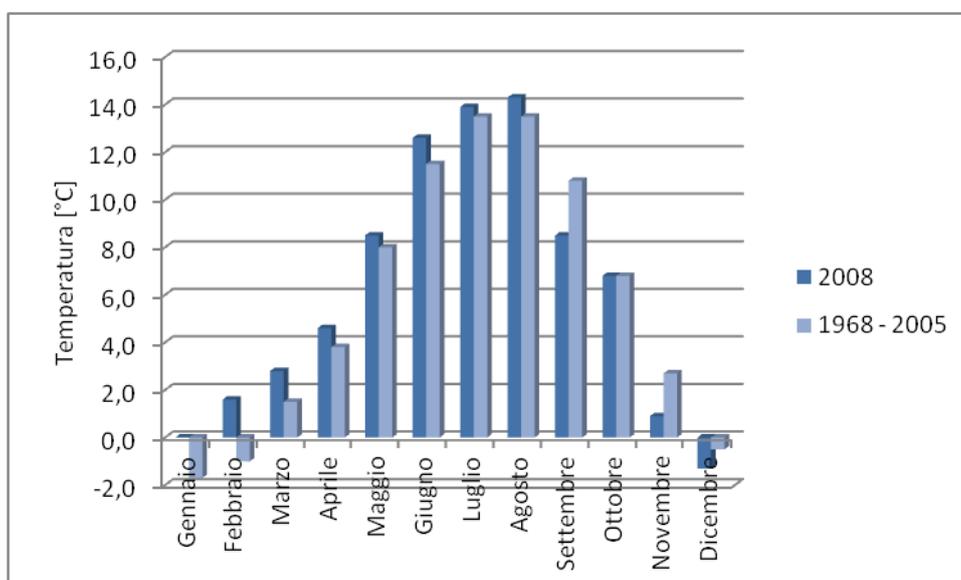
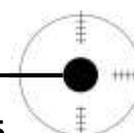


Fig.7.8 Confronto tra le temperature medie minime del 2008 e quelle tra il 1968 e il 2005

Si osserva un graduale aumento della temperatura media massima nel corso degli ultimi anni, confermando pertanto le osservazioni sulla variabilità del dato climatico verso temperature man mano più alte. Allo stesso modo, dal grafico delle temperature medie minime, emerge un sostanziale aumento anche delle temperature minime e un abbassamento dei rigidi picchi invernali.



## 7.4 Precipitazioni

Per precipitazione atmosferica si intende il fenomeno di trasferimento di acqua allo stato liquido o solido dall'atmosfera al suolo ovvero pioggia, neve, grandine ecc.

Si riportano ora i dati riguardanti la pioggia, cioè la media in millimetri di precipitazione mensile nell'anno 2010 e nel periodo dal 1961 al 1990 e la media dei giorni di pioggia. Lo scopo è capire il grado di intensità degli eventi piovosi per correlare al meglio l'ambiente all'aperto, comprendente tutte le attività che in fase progettuale si intende inserire, e l'ambiente al coperto.

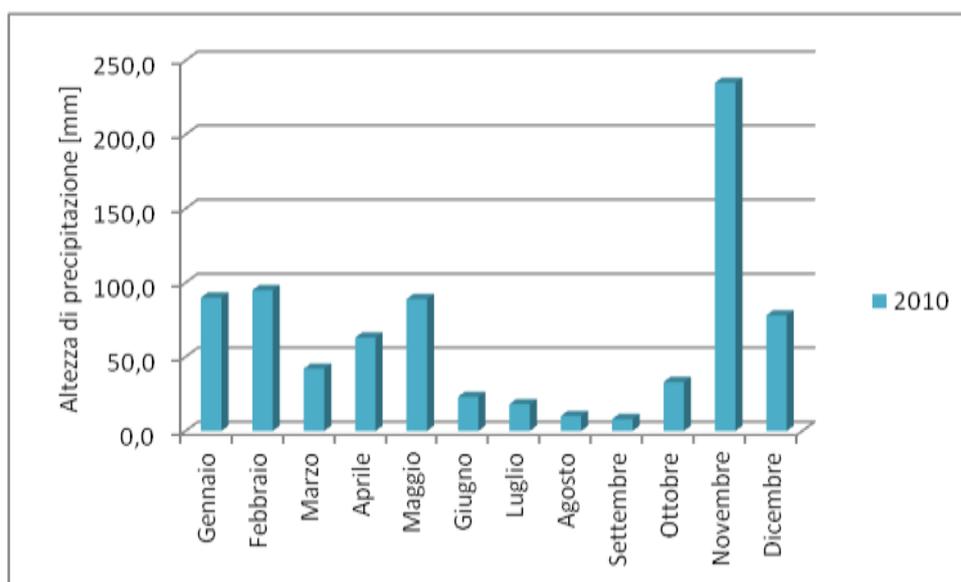
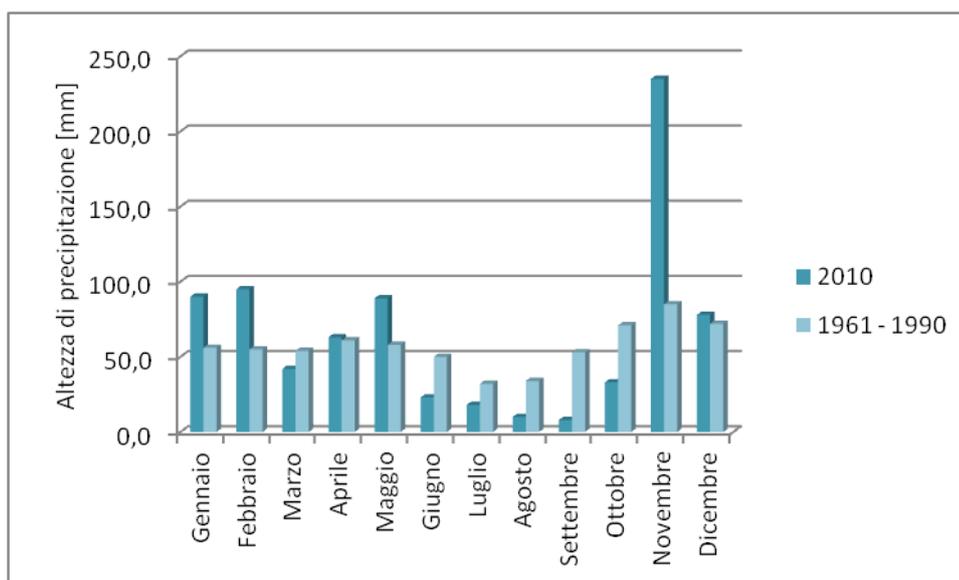


Fig.7.9 Confronto tra le altezze mensili medie di precipitazione nel 2010

Probabilmente un comportamento anomalo si registra nel mese di Novembre con un picco molto lontano dalle altre medie mensili. È interessante dunque capire se il trend registrato nel corso degli anni passati si assesta in maniera ravvicinata all'inviluppo riscontrato nel 2010 oppure se l'anno in esame è stato caratterizzato da una diversa attitudine.



**Fig.7.10 Confronto tra le altezze mensili medie di precipitazione nel 2010 e quelle del periodo tra il 1961 e il 1990**

Il mese critico può essere confermato quello di Novembre, quando l'altezza di precipitazione è assolutamente la più alta. I mesi estivi di Luglio e Agosto si attestano invece su valori tra i più bassi dell'anno.

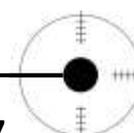
### 7.5 Umidità relativa

L'umidità relativa è il rapporto tra la quantità di vapore acqueo contenuto in una massa d'aria e la quantità massima di vapore acqueo che la stessa massa d'aria riesce a contenere nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. La misura dell'umidità relativa avviene in percentuale.

Nel caso in cui l'umidità relativa risulti al 100% non significa che c'è solo acqua ma anche che quella massa d'aria contiene la massima quantità di umidità contenibile in quelle determinate condizioni. Al diminuire della temperatura, la quantità di vapore che può essere contenuta da una massa d'aria diminuisce sino a divenire nulla a -40 °C.

Ai fini dell'analisi climatica di una località, ci si riferisce usualmente ai seguenti dati, derivati dalle osservazioni effettuate per un periodo di tempo sufficientemente lungo perché abbia valore statistico:

- umidità relativa media mensile;
- umidità relativa media massima o media minima giornaliera di ciascun mese, ovvero i valori ottenuti facendo la media dei valori registrati nel mese in corrispondenza dei massimi e dei minimi giornalieri di temperatura.



**CAPITOLO SETTIMO – ANALISI CLIMATICHE**

Anno 2010	Variazione oraria dell'umidità relativa media [%]											
	Ora	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov
00.01 - 01.00	73	75	81	81	76	78	75	71	76	77	86	82
01.01 - 02.00	73	75	80	81	76	78	73	71	76	77	86	81
02.01 - 03.00	72	75	81	80	76	78	72	71	76	77	85	80
03.01 - 04.00	71	74	81	80	76	79	71	71	76	78	84	78
04.01 - 05.00	70	73	81	80	76	78	71	70	76	77	84	77
05.01 - 06.00	70	72	81	78	75	77	72	69	76	77	85	76
06.01 - 07.00	69	70	81	77	74	75	73	68	76	76	87	76
07.01 - 08.00	69	69	80	76	74	75	73	68	75	76	87	77
08.01 - 09.00	69	68	80	76	74	75	72	67	74	76	86	78
09.01 - 10.00	70	68	79	76	75	75	71	67	73	77	84	80
10.01 - 11.00	70	70	79	76	75	75	70	68	75	78	84	79
11.01 - 12.00	70	74	81	77	74	76	70	69	77	79	84	78
12.01 - 13.00	70	80	82	78	74	77	70	71	81	80	85	76
13.01 - 14.00	70	81	83	81	75	77	70	71	81	81	85	76
14.01 - 15.00	71	80	83	84	78	79	69	71	82	81	85	75
15.01 - 16.00	72	79	83	85	81	80	68	71	81	81	86	76
16.01 - 17.00	72	79	84	85	82	81	71	72	81	81	86	76
17.01 - 18.00	72	80	84	85	83	82	74	74	82	81	85	76
18.01 - 19.00	71	81	85	84	83	83	79	76	82	81	85	76
19.01 - 20.00	72	79	85	83	82	82	80	75	81	81	85	77
20.01 - 21.00	73	77	84	83	80	81	80	73	80	80	85	78
21.01 - 22.00	75	73	82	85	77	80	78	70	78	80	84	80
22.01 - 23.00	75	72	82	84	76	79	77	70	77	79	84	81
23.01 - 24.00	74	73	81	83	76	78	76	70	77	78	85	81

**Tab.7.11 Dati sulla variazione oraria dell'umidità relativa media mensile per l'anno 2010**

Si riportano ora i grafici relativi ai valori mensili dell'umidità ordinati in gruppi di sei mesi:

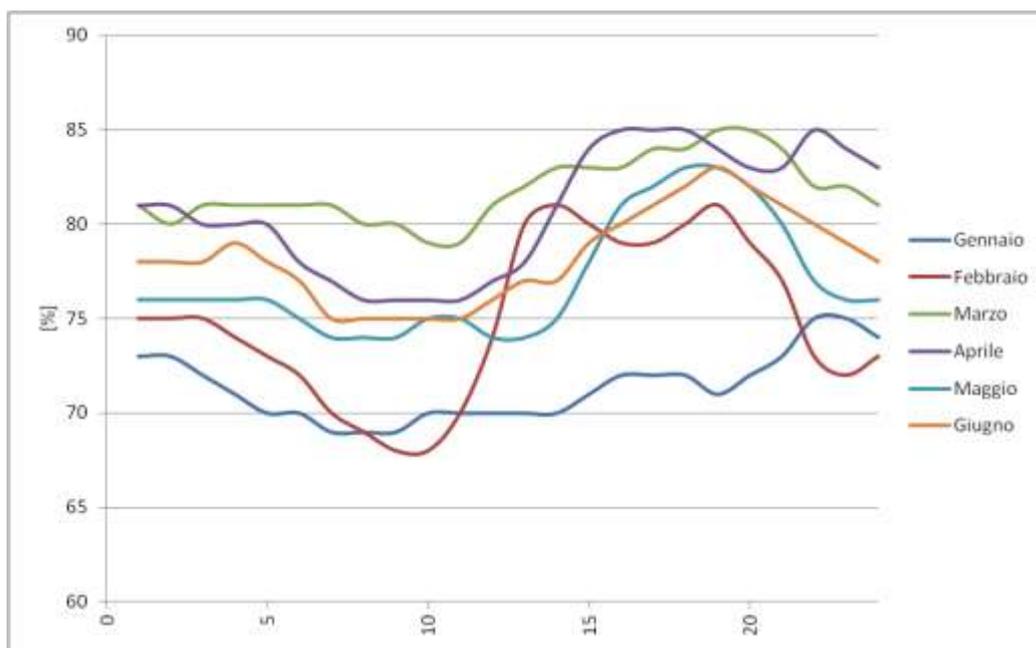


Fig.7.12 Valori di umidità relativa giornaliera per i primi sei mesi del 2010

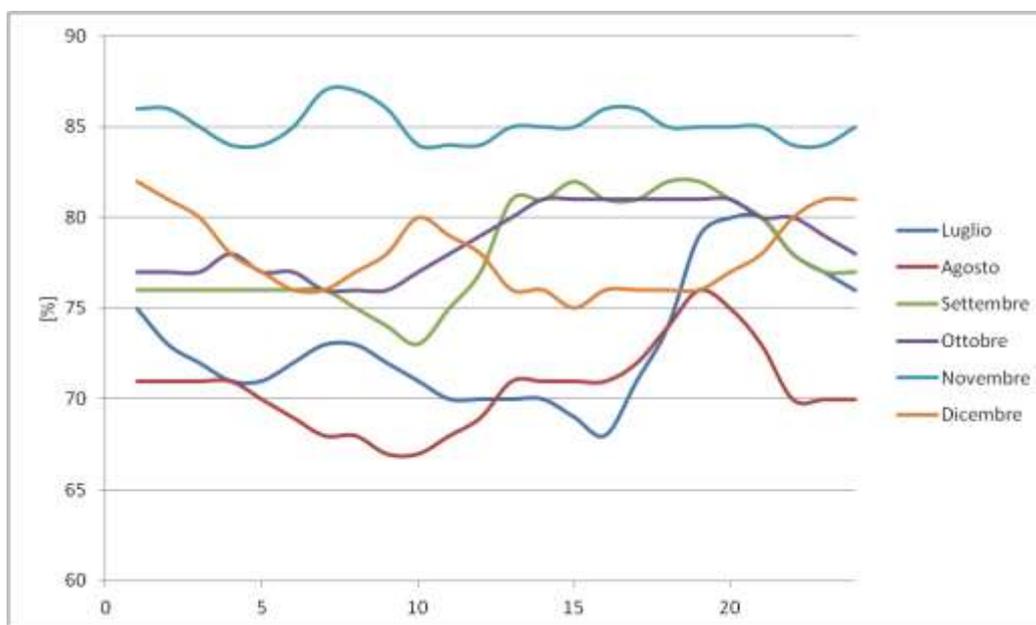
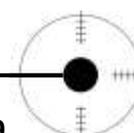


Fig.7.13 Valori di umidità relativa giornaliera per i secondi sei mesi del 2010

Come si può vedere dai grafici, i valori di umidità non scendono mai al di sotto del 65%, mentre il valore massimo si attesta attorno ad una media dell'85%.



## 7.6 Vento

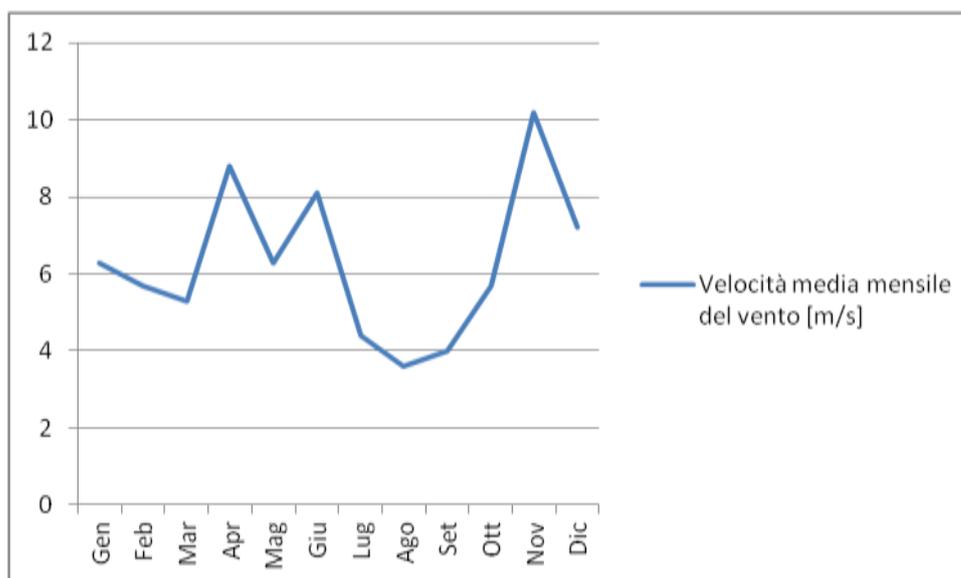
Il vento è un elemento di fondamentale importanza nella concezione di un edificio, sia in termini di progettazione strutturale che relativamente alla ventilazione naturale degli ambienti. Il vento è un fenomeno naturale che consiste nel movimento sostanzialmente ordinato e quasi orizzontale di masse d'aria, dovuto alla differenza di pressione tra due punti dell'atmosfera.

Si considerano due categorie di venti:

- a scala macroterritoriale (venti regionali), che si formano a causa di differenze di pressione regionali;
- a scala locale, determinati da differenze locali di temperatura e conseguentemente di pressione.

Mese	Velocità mensile dei venti: massima, minima, giorno, ora											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
MASSIMA [m/s]	27,0	23,0	25,0	31,0	20,0	27,0	21,0	19,0	21,0	23,0	26,0	22,0
giorno	13	20	12	1	20	11	18	24	5	11	15	23
ora	7.00.00	10.00.00	13.00.00	10.00.00	7.00.00	8.00.00	5.00.00	13.00.00	20.00.00	6.00.00	13.00.00	7.00.00
MINIMA [m/s]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
giorno	4	1	1	4	2	4	7	1	1	5	13	1
ora	19.00.00	16.00.00	16.00.00	10.00.00	7.00.00	6.00.00	10.00.00	1.00.00	1.00.00	22.00.00	10.00.00	0.00.00
MEDIA [m/s]	6,3	5,7	5,3	8,8	6,3	8,1	4,4	3,6	4	5,7	10,2	7,2

**Tab.7.14** Dati relativi alla velocità mensile del vento



**Fig.7.15** Velocità media mensile del vento

## **7.7 Radiazione solare**

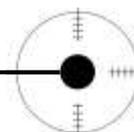
Le reazioni termonucleari di fusione che avvengono nel sole producono radiazioni elettromagnetiche; la radiazione solare è l'energia radiante emessa dal sole a partire da tali reazioni.

In questo caso interessa la radiazione solare locale, che risulta influenzata da tre parametri:

- la composizione dell'atmosfera;
- lo spessore dello strato di atmosfera che i raggi devono attraversare;
- le ostruzioni fisiche e la topografia.

L'effetto dato dalla composizione dell'atmosfera può ridursi all'aumentare in essa della quantità di vapore acqueo e di particolato in sospensione. L'influenza significativa data dall'umidità è particolarmente evidente e ciò lo si nota anche confrontando il colore blu del cielo in un giorno caldo e secco con quello biancastro tipico dei giorni caldi ed umidi. La radiazione solare aumenta con la quota nei giorni sereni, dato che più si sale verso l'alto e minore è il percorso compiuto dai raggi solari per raggiungere il suolo. La radiazione diffusa varia in modo diverso con la quota a seconda che si abbiano giorni nuvolosi o sereni.

La radiazione globale giornaliera aumenta mediamente dell'1% ogni 100 metri di quota e del 4% in condizioni di cielo coperto. La latitudine geografica è il fattore che tra tutti determina concretamente i valori dell'irraggiamento solare, che nel caso specifico del comune de l'Aquila è pari a  $42^{\circ}21'57''60$  N (angolo che la verticale passante per l'Aquila forma con il piano equatoriale). L'energia fornita dalla radiazione solare è in grado di fornire un guadagno energetico grazie all'utilizzo di impianti fotovoltaici; inoltre può anche essere accumulata mediante l'utilizzo di vetrate captanti o serre solari.



## CAPITOLO SETTIMO – ANALISI CLIMATICHE

Ora	Radiazione solare diretta media oraria [Wh/m <sup>2</sup> ]											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
00.01 - 01.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01 - 02.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02.01 - 03.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03.01 - 04.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04.01 - 05.00	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
05.01 - 06.00	0	0	0	2	22	16	27	11	0	0	0	0
06.01 - 07.00	0	0	10	26	67	45	85	64	20	6	0	0
07.01 - 08.00	3	16	46	67	125	88	160	140	77	58	13	2
08.01 - 09.00	43	84	97	121	191	140	246	227	151	136	49	27
09.01 - 10.00	103	166	154	179	255	192	331	315	228	217	89	63
10.01 - 11.00	161	243	206	229	307	236	400	388	293	284	126	99
11.01 - 12.00	201	296	241	259	337	261	443	432	330	320	146	121
12.01 - 13.00	211	311	249	263	339	264	451	441	331	315	143	122
13.01 - 14.00	187	285	228	240	313	245	424	411	296	272	119	101
14.01 - 15.00	138	224	183	195	264	206	365	348	233	200	80	66
15.01 - 16.00	77	144	126	138	201	155	286	265	156	118	39	30
16.01 - 17.00	21	63	71	83	135	102	199	176	81	43	7	3
17.01 - 18.00	0	6	26	37	75	55	117	95	22	2	0	0
18.01 - 19.00	0	0	1	6	28	22	51	30	1	0	0	0
19.01 - 20.00	0	0	0	0	2	3	7	1	0	0	0	0
20.01 - 21.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.01 - 22.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.01 - 23.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.01 - 24.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max Hour	13.00.00	13.00.00	13.00.00	13.00.00	13.00.00	13.00.00	13.00.00	13.00.00	13.00.00	12.00.00	12.00.00	13.00.00
Min Hour	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00	1.00.00

**Tab.7.16 Dati relativi ai valori della radiazione solare diretta media oraria**

	Radiazione solare diretta media mensile [Wh/m <sup>2</sup> ]											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Diretta media	1145	1841	1638	1845	2660	2031	3592	3344	2217	1970	812	635
Diretta max	2631	4140	4381	6190	7462	6093	5793	6336	5217	4171	4032	4349
Giorno	28	21	29	26	28	8	30	5	26	13	6	14
Diffusa	690	814	1555	2138	2228	3217	2768	2015	1867	1093	734	663
Totale	1116	1641	2554	3402	4212	4800	5488	4412	3247	2093	1070	880

**Tab.7.17 Dati relativi ai valori della radiazione solare diretta media mensile**

## 7.8 Conclusioni

Dall'analisi e dall'interpretazione dei fenomeni ambientali e della loro incidenza e variabilità, l'indagine sui fattori climatici ha rafforzato ancora di più l'idea che una progettazione architettonica efficiente da un punto di vista ambientale ed energetico debba necessariamente adattarsi e collaborare con le sollecitazioni climatiche.

L'analisi delle condizioni climatiche del sito, per la realizzazione razionale ed ottimizzata del progetto, ha costituito il punto di partenza per massimizzare il comfort degli utenti all'interno delle abitazioni e minimizzare al contempo i consumi di energia, in linea con i principi della sostenibilità ambientale.

## **CAPITOLO OTTAVO**

### **IL PROGETTO TECNOLOGICO E LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE**

### **8.1 Premesse sulla sostenibilità ambientale**

Una delle più importanti sfide che nel corso del XXI secolo l'umanità è chiamata ad affrontare è la riduzione del proprio fabbisogno energetico e un miglior sfruttamento delle risorse che si hanno a disposizione: la continua rincorsa a sempre migliori condizioni di vita utilizzando in modo scriteriato le risorse fossili sta, infatti, manifestando l'effetto collaterale di minacciare la sopravvivenza, paradossalmente, dello stesso soggetto che ha portato il pianeta Terra ad una situazione così critica: l'uomo.

I cambiamenti climatici cui stiamo assistendo negli ultimi decenni hanno come principali responsabili i gas serra immessi nell'atmosfera sia per cause naturali sia per cause antropiche. Sono queste ultime però che negli ultimi anni sono state così intense che l'ambiente naturale non è stato in grado di riequilibrarsi.

Di fronte ai problemi ed alle sfide collettive messe finalmente in evidenza, si identificò una soluzione possibile nell'espressione "sviluppo sostenibile", la quale definisce il tentativo di mantenere alti livelli di benessere e sviluppo per l'uomo, acquistando però consapevolezza della capacità limite del pianeta di sostenere tale grado di sviluppo.

Il concetto base è quello secondo cui l'ecosistema in cui viviamo non può continuare a sopportare i ritmi attuali di consumo e produzione: occorre adottare gradualmente un modello di sviluppo plasmato appositamente sulle esigenze ambientali. L'obiettivo principale consiste pertanto nella riduzione degli sprechi energetici. Dagli anni '90 sono state organizzate numerose conferenze mondiali basate su tali problematiche; da considerazioni più generali si è passati a trattare argomenti emergenti quali l'effetto serra ed innalzamento della temperatura atmosferica.

E' per questi motivi che negli ultimi vent'anni, la politica ambientale internazionale ha puntato ad una riduzione dei consumi imponendo dei limiti che i Paesi più industrializzati sono tenuti a rispettare utilizzando fonti alternative, rinnovabili, ottenibili mediante tecnologie innovative.

Lo sviluppo insostenibile trova la sua ragione d'essere soprattutto nel settore dell'edilizia; responsabile di ben il 50% circa delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

La grave percentuale che ricopre il settore edile deriva:

- dalla produzione dei materiali da costruzione;
- dalla realizzazione degli organismi edilizi;
- dalla cattiva gestione energetica residenziale.

Si devono pertanto dare risposte urgenti e concrete al problema come la realizzazione di edifici che adottino sistemi alternativi a quelli in uso: dall'adozione di tecnologie e accorgimenti architettonici più o meno semplici per il risparmio delle risorse, all'acquisizione energetica da fonti rinnovabili.

## 8.2 Strategie per l'efficienza energetica dell'edificio

L'obiettivo principale di una buona progettazione energetica è la riduzione dei consumi del complesso edilizio, raggiungibile attraverso l'ottimizzazione di strategie attive e passive. In particolare, l'ottimizzazione delle strategie passive deve essere il punto di partenza per agire poi efficacemente su quelle attive. La minimizzazione del fabbisogno energetico dell'edificio deve avvenire ricorrendo il più possibile alle energie rinnovabili e deve avere inoltre come altro importante obiettivo il mantenimento del comfort interno, a partire dalla salubrità dell'aria e dalle condizioni igrotermiche fino ad una corretta progettazione acustica e illuminotecnica.

Il procedimento adottato ha portato ad un approccio di tipo prestazionale: individuati i requisiti, sono state scelte le soluzioni tecnologiche in base alle specifiche di prestazione richieste.

Si individuano di seguito le strategie che vengono adottate per ottimizzare l'efficienza energetica dell'edificio:

### *1\_parametri di progettazione:*

strategie passive: - orientamento delle superfici;  
- forma dell'edificio;  
- percentuale di involucro vetrato;  
- stratigrafia dell'involucro opaco;  
- involucro vetrato e schermatura solare;  
- ventilazione e illuminazione naturale.

strategie attive: - sistemi di recupero di calore;  
- sistemi impiantistici ad alta efficienza.

### *2\_ottimizzazione della forma dell'edificio (rapporto s/v):*

i flussi di energia attraverso l'involucro sono direttamente proporzionali alla sua superficie. L'ottimizzazione del rapporto S/V (superficie/volume) permette di ridurre il fabbisogno energetico a parità di prestazione delle chiusure.

### *3\_ottimizzazione dell'orientamento degli edifici:*

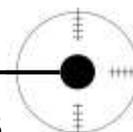
la radiazione solare incidente su una superficie è differente in relazione alla stagione e all'orientamento della superficie stessa, la soluzione ottimale è data dall'orientamento degli edifici lungo l'asse nord-sud in modo che le facciate maggiori siano esposte verso nord e sud.

### *4\_fruttamento degli apporti solari gratuiti:*

gli apporti solari diretti sono costituiti dalla frazione di energia solare che penetra direttamente nell'ambiente riscaldato. L'ambiente beneficia di un apporto quantificabile come somma dell'energia assorbita dagli elementi opachi della parete di separazione e da quella che attraversa gli elementi trasparenti.

### *5\_involucro ad alte prestazioni:*

### *6\_schermature solari:*



consentono di regolare la radiazione solare entrante negli ambienti in funzione del fabbisogno energetico e della stagione, possono essere fisse o mobili, verticali o orizzontali. La scelta del tipo di schermatura dipende da:

- esposizione e orientamento;
- percentuale di superficie vetrata;
- funzioni ospitate;
- località e clima.

*7\_ventilazione naturale:* grazie alla doppia esposizione nord/sud si attiva la ventilazione trasversale naturale degli ambienti;

*8\_sistemi impiantistici efficienti:* grazie al contenimento dei carichi termici è possibile progettare sistemi impiantistici a basso consumo energetico;

*9\_percezione dell'ambiente esterno e illuminazione naturale:*

lo sfruttamento dell'illuminazione naturale e il controllo del fattore di luce diurna. In tal modo si ha una riduzione del consumo energetico per l'illuminazione e, in estate, una riduzione dei carichi termici prodotti dai corpi illuminanti che aumenterebbero la temperatura all'interno degli ambienti e di conseguenza il fabbisogno di raffrescamento dell'edificio.

### **8.3 Strategie adottate nel progetto**

Sulla base delle linee guida espresse, vengono di seguito elencate le strategie adottate nel progetto per raggiungere l'obiettivo prefissato:

- *orientamento:* l'edificio si sviluppa in lunghezza parallelamente all'asse est/ovest garantendo ad ogni unità abitativa il doppio affaccio nord/sud; ciò consente di beneficiare dell'irraggiamento solare soltanto laddove è controllabile (a sud), garantendo cospicui guadagni solari invernali e evitando surriscaldamenti non voluti in estate.
- *involucro prestazionale:* chiuso e compatto a nord per minimizzare le perdite di calore e a est/ovest per evitare esposizioni verso orientamenti in cui il sole è difficilmente controllabile.
- *serre solari* rivolte a sud, captano la radiazione solare in inverno e, disattivate in estate, contribuiscono alla ventilazione naturale dell'appartamento
- *frangisole* a sud per schermare le serre e le finestrate in modo da evitare un eccessivo surriscaldamento dell'interno
- *ventilazione trasversale* possibile in ogni unità abitativa grazie alla doppia esposizione nord/sud, garantisce il raffrescamento degli ambienti e il ricambio di aria in estate;
- *cartongesso* per le finiture interne, in grado di svolgere la funzione di volano igrotermico per gli ambienti

- *sistema di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso* consente di ricambiare l'aria negli ambienti con il minimo impiego di energia in inverno; ciò avviene attraverso il preriscaldamento dell'aria fresca in entrata grazie all'energia termica recuperata da quella esausta in uscita
- *pannelli radianti a pavimento* per riscaldamento e raffrescamento sono in grado di coniugare un elevato livello di comfort con un notevole risparmio energetico in tutte le stagioni.
- *pannelli fotovoltaici* per l'uso di risorse energetiche rinnovabili.
- *involucro passivo* con notevoli valori di isolamento termico e di inerzia termica.

I sistemi appena elencati sono illustrati negli scheme design relativi alla stagione estiva e a quella invernale, in cui si può notare il differente funzionamento delle strategie passive ed attive (Tav.8.1 e Tav.8.2).

#### **8.4 L'involucro edilizio: scelta della tecnologia struttura/rivestimento**

L'involucro deve garantire il comfort termico e igrometrico degli spazi confinati e il contenimento dei consumi energetici mediante il soddisfacimento dei seguenti requisiti prestazionali:

1\_ requisiti ambientali:

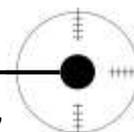
- mantenimento della temperatura dell'aria negli spazi abitativi nelle stagioni di esercizio degli impianti di riscaldamento entro i limiti di legge di 20-22 °C;
- mantenimento delle condizioni di comfort termico negli ambienti interni nel periodo estivo;

2\_ requisiti tecnologici:

- controllo dei fenomeni di condensa superficiale e interstiziale;
- controllo della combinazione "Temperatura-Umidità-Ventilazione";
- resistenza termica e inerzia termica ai fini del risparmio energetico e del comfort ambientale interno.

Oltre al mantenimento delle prestazioni durante il ciclo di vita dell'edificio, la soluzione costruttiva scelta per l'involucro deve ridurre il fabbisogno energetico per la costruzione, ciò può avvenire attraverso la facilitazione delle lavorazioni, la velocizzazione del processo costruttivo e l'utilizzo di materiali sostenibili.

La tecnologia struttura/rivestimento è caratterizzata dalla giustapposizione di strati costituiti da materiali diversi, assemblati meccanicamente, e dal ridotto utilizzo di malte leganti o materiali che necessitano di una fase di getto quali il calcestruzzo. Il prodotto edilizio risultante da questo approccio si può dunque immaginare come un insieme di volumi scatolari racchiusi uno dentro l'altro, assolvendo diverse funzioni. Il guscio esterno funge da barriera con l'ambiente



esterno, mentre il guscio interno, che delimita lo spazio abitato e lo spazio fra di essi, può ospitare anche gli impianti e gli isolanti termoacustici. Le caratteristiche di questa tecnologia che sono state determinanti per la sua adozione in questo particolare progetto sono:

- velocizzazione della fase cantieristica, dovuta all'annullamento dei tempi morti di maturazione dei getti, che può portare ad una gestione più razionale del cantiere;
- maggior sostenibilità della fase di costruzione dovuta all'utilizzo di materiali leggeri che, oltre ad essere caratterizzati da un ciclo di vita meno dispendioso in termini energetici rispetto a materiali più pesanti tipici delle tecnologie costruttive massive, riducono l'uso di mezzi di movimentazione e sollevamento;
- maggior personalizzazione possibile dei pacchetti tecnologici, raggiungibile mediante la giustapposizione di strati diversi al fine di adattarli al contesto climatico ed alle caratteristiche d'uso dell'edificio;
- relativa leggerezza dei componenti e della struttura in acciaio che permettono di ridurre le spinte orizzontali dovute ad eventi sismici;
- soddisfacimento dei requisiti di manutenzione e riciclabilità, raggiunto mediante il facile smontaggio delle parti;
- riduzione dell'impronta delle pareti.

L'altro aspetto fondamentale è il comportamento sismico per cui si è deciso di utilizzare comunque dei solai costituiti da lamiera grecata collaborante e getto in calcestruzzo, al fine di garantire un efficace comportamento rigido di piano. Volendo rendere però più leggeri possibili questi elementi è stato poi adottato uno schema di travi che consentissero di avere una luce massima dei solai pari a 3,5 m, riducendone quindi l'altezza, il peso ed il quantitativo di calcestruzzo richiesto.

Una volta stabilite tutte le soluzioni tecnologiche utilizzate nello sviluppo del progetto esecutivo e determinati gli spessori degli elementi tecnici che le compongono, vengono effettuate le necessarie verifiche per stabilire la qualità o meno delle soluzioni adottate in rapporto al loro comportamento termigrometrico. Le verifiche si articolano nelle seguenti fasi:

- verifica della trasmittanza totale dell'elemento tecnologico secondo norma UNI EN ISO 6946;
- controllo della condensazione interstiziale secondo norma UNI 10350;
- controllo di sfasamento e attenuazione dell'onda termica secondo norma UNI 13786.

La leggerezza del sistema S/R è stato un altro parametro che ha portato alla scelta dello stesso; in caso di sisma, infatti, le forze agenti su un qualsiasi elemento costruttivo sono proporzionali alla massa. Grazie alla minor massa e alla maggiore leggerezza, il sistema a secco è sottoposto ad un impeto distruttivo del sisma estremamente ridotto. Per questo motivo, un involucro siffatto garantisce oltre ad una lodevole sicurezza per l'incolumità degli abitanti anche il riutilizzo dopo il sisma in quanto i danni possono risultare molto contenuti.

Le pareti a secco non hanno funzione portante ma scaricano il peso proprio sullo scheletro strutturale in acciaio; tuttavia anch'esse devono garantire la risposta nei confronti di alcune azioni per assicurare la propria stabilità.

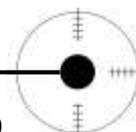
In caso di sisma, le pareti di un edificio devono assicurare la propria stabilità strutturale e partecipare al movimento della struttura portante senza che si verifichi l'insorgere di danni significativi durante l'evento o addirittura il completo collasso. Questo tipo di tecnologia costruttiva migliora le prestazioni nei confronti delle azioni dinamiche ingenerate dal sisma grazie al comportamento strutturale di tipo duttile. Mediante le proprietà di duttilità offerte dal sistema, si ha dissipazione di energia la quale viene assorbita per mezzo del movimento delle tamponature stesse. La duttilità indica la capacità di un corpo o di un materiale di deformarsi plasticamente sotto carico prima di giungere a rottura, cioè la capacità di sopportare deformazioni plastiche. E' per questa ragione che la duttilità di un elemento strutturale è una proprietà molto ricercata poiché un elemento capace di deformarsi notevolmente sotto carico consente di intervenire con provvedimenti di ripristino o, nel caso peggiore, di mettersi in salvo prima del crollo, il quale non sarà mai immediato, come accade invece per le rotture di tipo fragile. La duttilità è il rapporto tra la deformazione totale elasto-plastica e la deformazione elastica al limite di snervamento.

Il peso esiguo delle componenti del sistema di tamponatura a secco ha un effetto estremamente positivo sul comportamento sismico dello stesso:

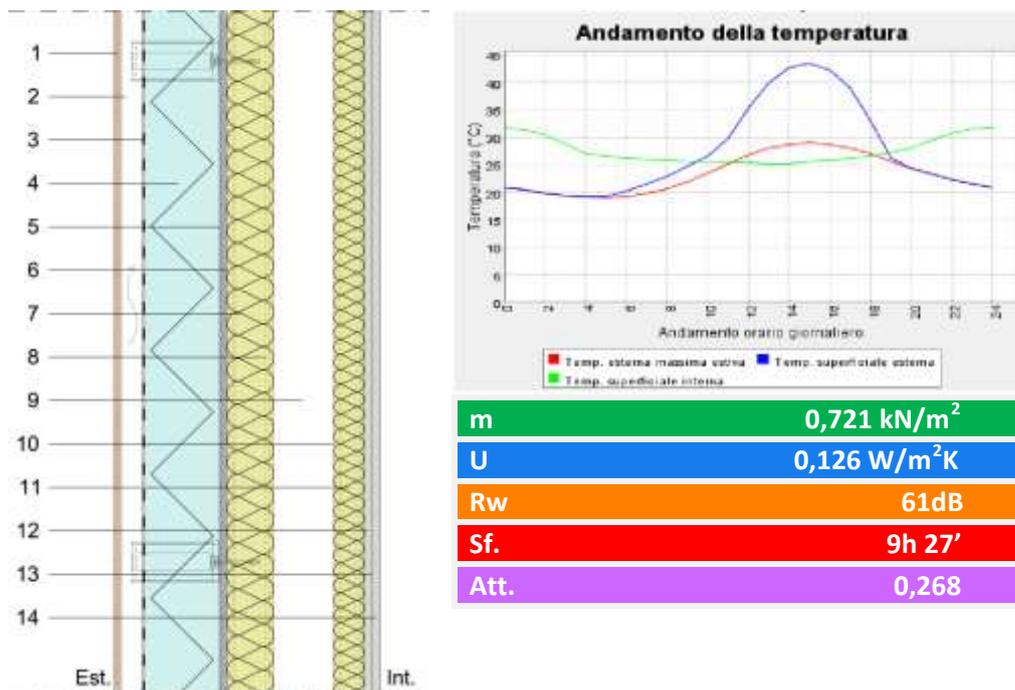
- sulle strutture portanti vengono trasferiti carichi minori;
- pesi propri minori generano pesi sismici inferiori mantenendo la struttura più leggera al momento dell'attivazione dell'evento sismico;
- potenziale pericolo di lesioni e danni alle persone molto minore.

Inoltre, il sistema S/R ha altri vantaggi:

- *collasso meno pericoloso*: il dissesto non sarà fragile e pertanto non sarà immediato ma permetterà, in linea di massima, di mettersi in salvo prima del crollo;
- *semplicità nella riparazione*: a seconda dell'intensità del terremoto e della modalità di realizzazione delle connessioni tra le componenti, l'impatto dell'intervento di ripristino potrebbe variare dalla riparazione delle crepe nei pannelli in gesso rivestito alla sostituzione di alcune componenti per intero.

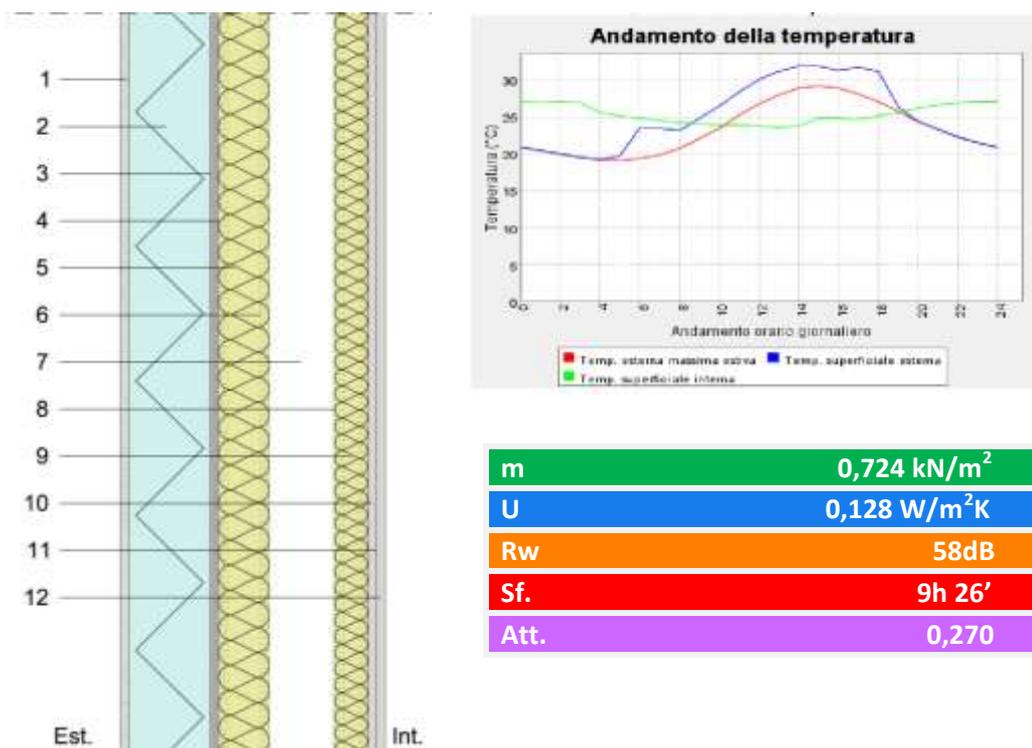


8.4.1 C.V.O.1 Chiusura verticale opaca con fibrocemento

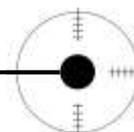


Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Fibrocemento colorato in pasta	0,8	0,6	2000
2 Camera d'aria ventilata - Orditura in montanti in acciaio	-	-	-
3 Membrana di tenuta all'acqua	-	-	-
4 Lastra di polistirene espanso	12	0,027	40
5 Lastra di cemento rinforzato	1,2	0,32	1400
6 Membrana di tenuta all'aria	-	-	-
7 Pannello di lana di roccia	6	0,035	120
8 Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
9 Camera d'aria non ventilata	7,5	-	-
10 Profili a "C" montanti di acciaio - 5x5cm	0,06	-	-
11 Pannello di lana di roccia	4	0,035	120
12 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
13 Barriera al vapore	-	-	-
14 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900

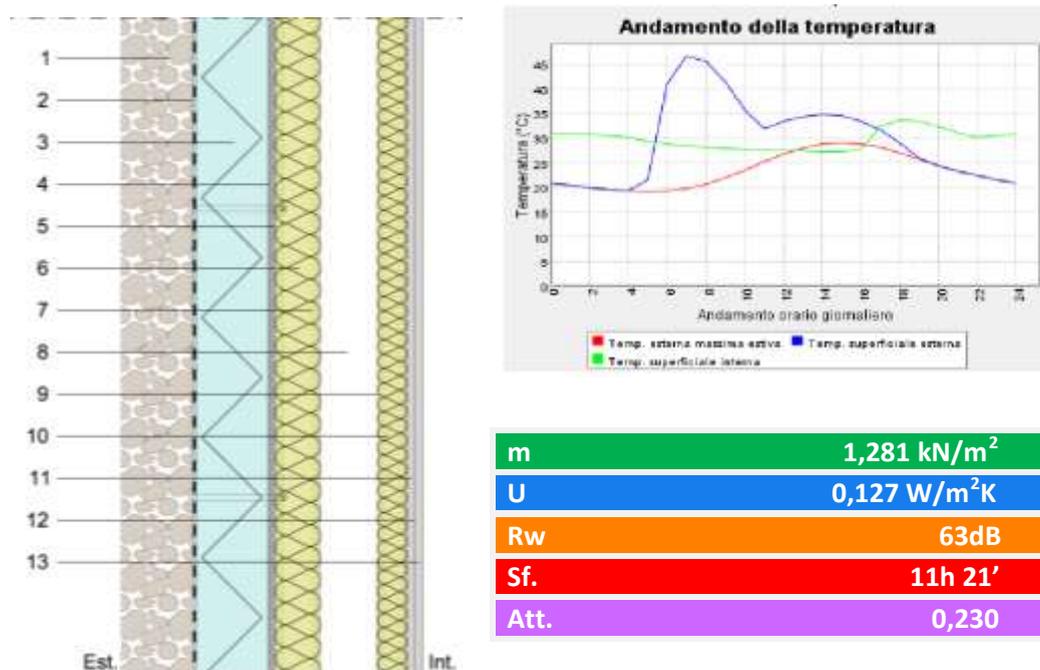
8.4.2 C.V.O.2 Chiusura verticale opaca di divisione vano scala/appartamento



Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Lastra di Aquapanel	1,25	0,9	1300
2 Lastra di polistirene espanso	12	0,027	40
3 Lastra di cemento rinforzato	1,2	0,32	1400
4 Membrana di tenuta all'aria	-	-	-
5 Pannello di lana di roccia	6	0,035	120
6 Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
7 Camera d'aria non ventilata	7,5	-	-
8 Profili a "C" montanti di acciaio - 5x5cm	0,06	-	-
9 Pannello di lana di roccia	4	0,035	120
10 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
11 Barriera al vapore	-	-	-
12 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900



### 8.4.3 C.V.O.3 Chiusura verticale opaca con gabion-wall



Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Gabion-wall con riempimento in macerie	12	2,3	600
2 Guaina impermeabilizzante	0,3	0,17	-
3 Lastra di polistirene espanso	12	0,027	40
4 Lastra di cemento rinforzato	1,2	0,32	1400
5 Membrana di tenuta all'aria	-	-	-
6 Pannello di lana di roccia	6	0,035	120
7 Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
8 Camera d'aria non ventilata	7,5	-	-
9 Profili a "C" montanti di acciaio - 5x5cm	0,06	-	-
10 Pannello di lana di roccia	4	0,035	120
11 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
12 Barriera al vapore	-	-	-
13 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900

La tecnica produttiva dei gabbioni si è evoluta rapidamente nel corso dei secoli, costituiti da una gabbia di rete in filo zincato, riempita da pietrisco selezionato di varia pezzatura al posto dell'originario riempimento terroso. L'elemento così composto è estremamente robusto, dotato di buona resistenza ai carichi statici e di discreta resistenza a flessione, suscettibile di numerosissime varianti

dimensionali, cromatiche e materiche e può dar vita per impilazione a dispositivi autoportanti resistenti per gravità.

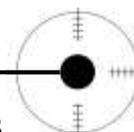
Se in passato i gabbioni venivano realizzati sul posto, attualmente sono oggetto di sempre più diffusi processi di prefabbricazione fuori opera: a partire dal gabbione tradizionale, in filo zincato ritorto perlopiù a maglia esagonale, ancora largamente impiegato nelle opere di landscape design, tali processi di fabbricazione in stabilimento hanno portato numerose aziende specializzate a realizzare sistemi componibili di gabbioni in rete di tondini rigidi di acciaio, piegati e saldati, a maglia quadrata o rettangolare, zincati a caldo dopo la costruzione della struttura scatolare affinché nessun punto della struttura metallica rimanga privo del ricoprimento protettivo.

Il pietrame di riempimento non deve essere gelivo o friabile e deve presentare una pezzatura media pari a 1,5-2 volte la massima dimensione della maglia della rete; nonostante il riempimento avvenga oggi con efficaci metodi di vibro-compattazione durante la fabbricazione del gabbione viene comunque operato un leggero overfilling, poiché i pezzi litici durante le successive operazioni di movimentazione e posa tende ad assestarsi ulteriormente, lasciando eventuali vuoti che possono diminuire le prestazioni di resistenza statica dell'elemento.

I tipi di riempimento lapideo sono numerosissimi e consentono di pervenire a molteplici tessiture di stratificazione e di colore; la facies di un muro in gabbioni è quella di una parete con dispositivo irregolare a secco, percepita attraverso la filigrana metallica e segnata dalle sottili discontinuità tra i moduli appoggiati l'uno sull'altro e l'uno accanto all'altro.

Anche grazie ai perfezionamenti produttivi sin qui descritti, se i gabbioni rappresentano ancora un'efficace soluzione nella progettazione del verde, del paesaggio e delle opere civili di ingegneria idraulica e stradale, per essi si prefigura oggi un nuovo orizzonte applicativo nell'architettura tout court.

Il nuovo concetto di muralità veicolato dai gabbioni, nella sua plasticità, nelle sue superfici irregolari, espressive e vibranti di vuoti e di pieni, di arretramenti e avanzamenti, di chiaroscuri, è riguardabile come una trasfigurazione della redazione architettonica rustica; la rete, diaframma permeabile alla vista ed eventualmente al tatto, imprigiona le pietre semplicemente spaccate o grossolanamente sbazzate, sostenendole, conferendo loro una volumetria e impedendo ad esse di franare per disporsi nella forma spontanea del cumulo; ma tutto ciò senza intaccare minimamente con la sua presenza l'informalità naturalistica della compagine litica. Accanto a tali aspetti formali, certo suscettibili di valorizzazione nella cultura costruttiva attuale, l'applicazione dei gabbioni presenta una serie di caratteri tecnico-prestazionali in linea con alcune fondamentali istanze dell'architettura contemporanea: la fabbricazione e la posa di tali elementi sono a bassissimo impatto energetico e sono ecocompatibili; essi hanno un'elevata capacità d'integrazione espressiva con il paesaggio naturale e, grazie alla loro originale capacità di combinare funzioni di drenaggio con proprietà di modesta ritenzione idrica, possono costituire luogo di sviluppo di una biocenosi vegetale spontanea o indotta; i gabbioni sono



permeabili all'aria e, al contempo, hanno in genere elevata inerzia termica; sono, economici, facili da trasportare, durevoli<sup>3</sup>; non richiedono manutenzione, sono modulari, smontabili e possono essere riutilizzati; inoltre, già dalla prima fabbricazione, possono impiegare materiale di riciclo come riempimento.

Se l'utilizzo dei gabbioni nasce con l'ingegneria civile, recentemente sempre più spesso il loro impiego viene esteso all'architettura sotto forma di rivestimenti a spessore; ne sono un esempio due progetti d'avanguardia di particolare interesse che, nel corso degli ultimi anni, hanno dimostrato come le peculiarità formali e prestazionali dei gabbioni possano esplicarsi al meglio anche in applicazioni in cui tali elementi vengono assottigliati fino a spessori di 10-15 cm, dando vita a sistemi di rivestimento non più autoportanti ma agganciati come veri e propri pannelli di chiusura a sottostanti strutture metalliche o in calcestruzzo armato.

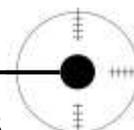
Il primo esempio in tal senso è rappresentato dall'edificio per 64 alloggi popolari a Montpellier (1997-2000) di Edouard Francois & Associés. Il grande corpo residenziale è stato realizzato grazie ad un'ibridazione tra la tecnica esecutiva dei normali gabbioni metallici con riempimento litico e la tradizionale prefabbricazione a piè d'opera di pannelli di chiusura in cemento armato. La misura dei pannelli compositi così ottenuti è di 277 x 135 cm e lo spessore varia dai 30 ai 40 cm. Lo spessore del gabbione, che va a costituire il paramento esterno di facciata, è di circa 15 cm ed esso risulta irreversibilmente integrato allo strato di cemento retrostante.



**Fig.8.1 Alloggi popolari a Montpellier di Edouard Francois & Associés. Dall'alto, vista parziale della facciata e schemi delle fasi di esecuzione dei gabbioni**

Il pacchetto di chiusura che si è venuto a costituire presenta un'integrazione delle caratteristiche di coibenza della pietra (in particolare si tratta di pietra lavica dotata di un alto coefficiente di porosità) e dello strato di isolante interno posizionato a montaggio avvenuto prima dell'esecuzione dell'intonaco di finitura. I semi di piante tappezzanti e cascanti inseriti nei pannelli, germogliando in parte con l'umidità atmosferica e in parte grazie ad un sistema integrato di microirrigazione, danno vita ad un giardino appeso in verticale, un piano inerbato dove pietra rustica e vegetazione compartecipano nella definizione di un'immagine rocciosa, naturalistica e informale.

Il secondo caso è rappresentato dalla Casa privata a Stadtbergen, (2002-03) di Titus Bernhard, costituita da un semplice volume parallelepipedo di 9x9x6 m con copertura a padiglione. La costruzione è interamente ricoperta anche sul tetto da una serie di sottili gabbioni di acciaio zincato contenenti frammenti di pietra dolomite di un color avorio-dorato. Sotto l'aspetto espressivo gli elementi di rivestimento, posti in continuità a mostrare una compagine litica rustica, enfatizzano l'immagine scultorea di solida massività dell'edificio, intagliata da poche e semplificate vetrate rettangolari.



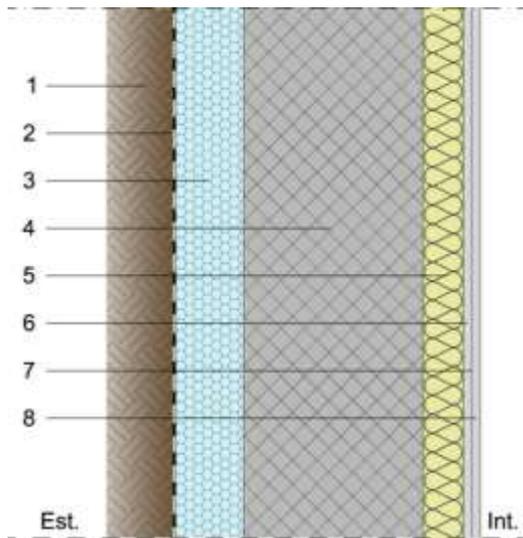


**Fig.8.2 Casa privata a Stadtbergen di Titus Bernhard. Dall'alto, vista del fronte principale e immagini delle fasi esecutive dell'involucro in gabbioni**

Ogni gabbione-pannello misura 100x50 cm, per 12 cm di spessore, pesa circa 80 kg ed è installabile, ed eventualmente smontabile, singolarmente in facciata tramite agganci metallici fissati ad una sottostante orditura di acciaio. Tra i gabbioni e la struttura cementizia della casa, procedendo nell'analisi del pacchetto dall'esterno verso l'interno, si trovano uno strato di drenaggio impermeabile di 1 cm che consente all'acqua piovana o di condensa di raccogliersi e scorrere dal tetto fino a terra (i gabbioni infatti sono assolutamente permeabili e la casa non è dotata di pluviali e sistemi di raccolta delle acque meteoriche), uno strato di 14 cm di isolamento in polistirene, e un'ulteriore guaina bituminosa di tenuta di 5 mm.

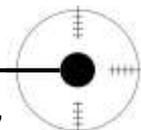
I muri in gabbioni e queste ultime particolarissime applicazioni degli stessi elementi in involucri di rivestimento dimostrano come nelle tendenze attuali dell'architettura in pietra le categorie concettuali ed estetiche di espressiva solidità, rude schiettezza materica, primitivismo ciclopico, polimorfismo naturalistico, rappresentino un contraltare praticabile e alternativo ai valori di leggerezza, regolarità, minimalismo, ermetismo figurale di una certa contemporaneità.

8.4.4 C.V.O.4 Chiusura verticale opaca - Muro conto-terra

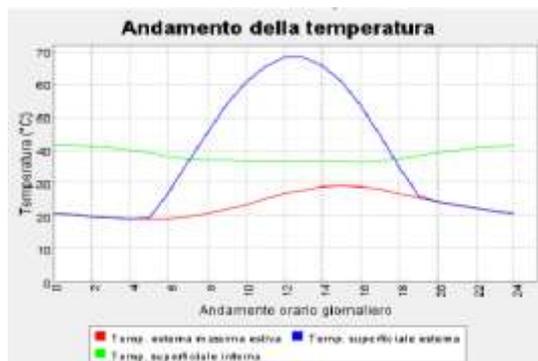
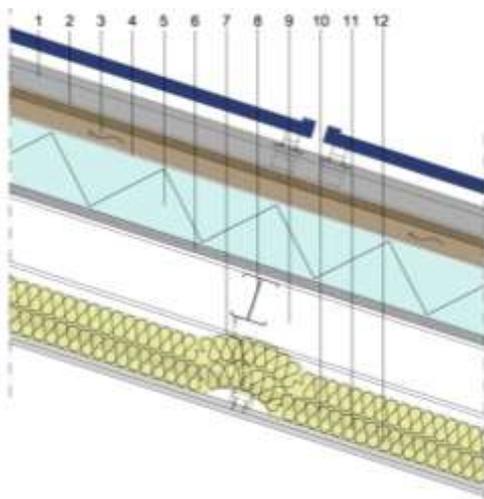


<b>m</b>	<b>6,467 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>U</b>	<b>0,26 W/m<sup>2</sup>K</b>

Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Ghiaia	-	-	-
2 Telo bugnato in polietilene	-	-	-
3 Pannello in vetro cellulare	10	0,048	170
4 Muro in C.A.	1,2	0,32	1400
5 Pannello di lana di roccia	6	0,035	120
6 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
7 Barriera al vapore	-	-	-
8 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900



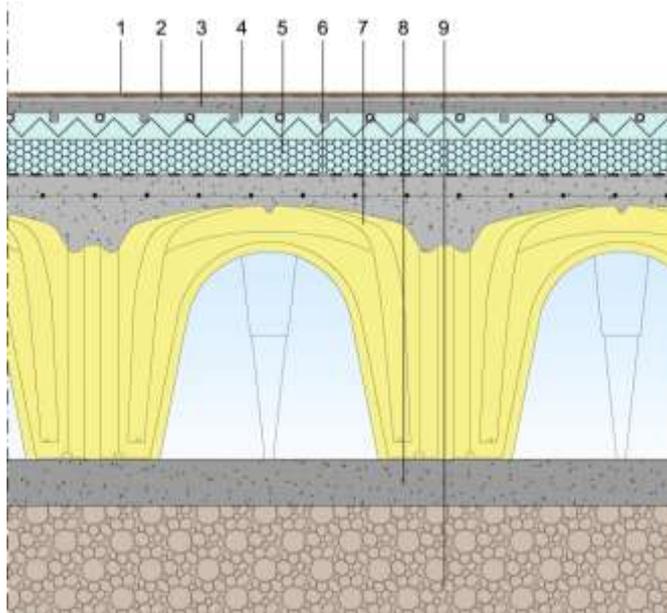
8.4.5 C.I.S.1 Copertura inclinata superiore con pannelli fotovoltaici



<b>m</b>	<b>1,0 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>U</b>	<b>0,117 W/m<sup>2</sup>K</b>
<b>Rw</b>	<b>53dB</b>
<b>Sf.</b>	<b>11h 53'</b>
<b>Att.</b>	<b>0,102</b>

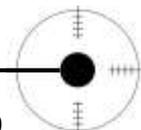
Strati tecnologici	Sp. [cm]	λ [W/mK]	ρ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Rivestimento in lamiera in alluminio	0,004	60	8000
2 Camera d'aria ventilata	5	-	-
3 Strato di ventilazione	6	-	-
4 Membrana di tenuta all'acqua	-	-	-
5 Lastra di polistirene estruso	14	0,027	40
6 Lastra di cemento rinforzato	2	0,32	1400
7 Rotolo di lana di roccia	12	0,035	40
8 Profili a "C" montanti di acciaio - 5x5cm	0,06	-	-
9 Trave in acciaio	-	-	-
10 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
11 Barriera al vapore	-	-	-
12 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900

8.4.6 C.O.1 Chiusura orizzontale inferiore – Solaio contro terra

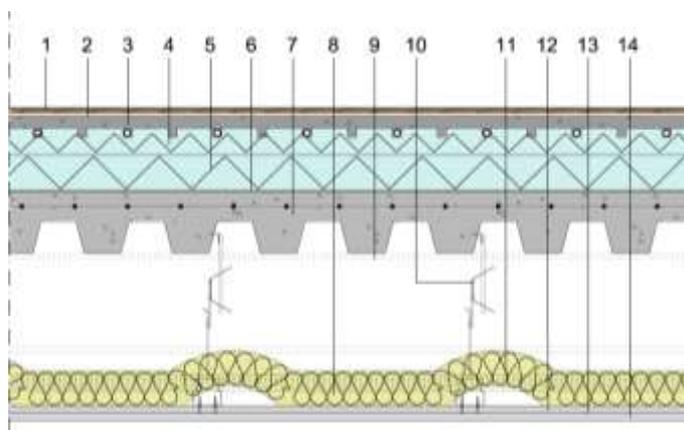


m	0,48 kN/m <sup>2</sup>
U	0,164 W/m <sup>2</sup> K

Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Finitura interna in legno	1	-	700
2 Strato di colla	0,5	-	-
3 Massetto di allettamento	4	0	0
4 Pannelli isolanti in polistirene estruso per fissaggio dei tubi radianti	3	0,027	35
5 Pannello in vetro cellulare	6	0,048	170
6 Guaina impermeabilizzante	0,3	0,17	-
7 Strato portante in cls armato con rete elettrosaldato gettato su Iglù	50	-	-
8 Strato di livellamento in cls gettato	8	-	-
9 Strato di sottofondo in ghiaia	-	-	-



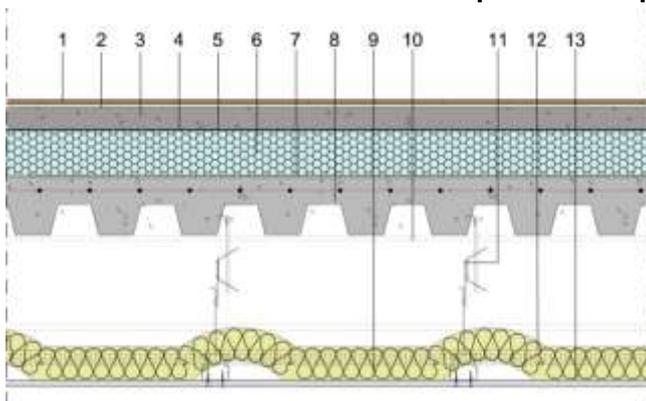
8.4.7 C.O.2 Chiusura orizzontale inferiore – Solaio su spazi aperti



m	2,015 kN/m <sup>2</sup>
U	0,189 W/m <sup>2</sup> K
Rw .....	...52dB
Sf.	14h 24'
Att.	0,043

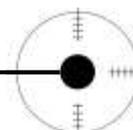
Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Finitura interna in legno	1	-	700
2 Strato di colla	0,5	-	-
3 Massetto di allettamento	4	0	0
4 Pannelli isolanti in polistirene estruso per fissaggio dei tubi radianti	3	0,027	35
5 Lastra di polistirene espanso	6	0,027	40
6 Rotolo in sughero	0,3	0,043	135
7 Solaio collaborante in getto armato con rete elettrosaldata su lamiera grecata	10	2,3	2400
8 Rotolo di lana di roccia	6	0,035	40
9 Trave in acciaio - HE180AA	18	-	-
10 Pendini con gancio a molla	-	-	-
11 Doppia orditura di "C" montanti di acciaio zincato - 5x2,7cm	0,06	-	-
12 Lastra di Aquapanel	1,25	0,9	1300

8.4.8 C.O.3 Chiusura orizzontale superiore – Copertura praticabile

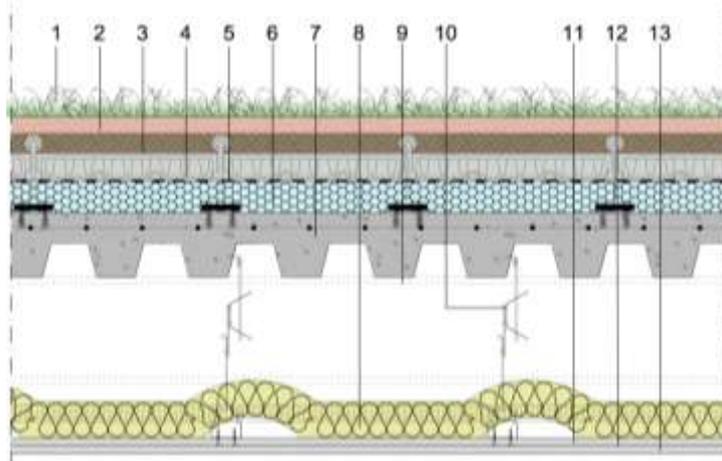


m	2,349 kN/m <sup>2</sup>
U	0,254 W/m <sup>2</sup> K
Rw	58dB
Sf.	9h 49'
Att.	0,113

Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Finitura esterna in piastrelle	1	1,2	2000
2 Strato di colla	0,5	-	-
3 Massetto di allettamento	4	-	-
4 Strato di protezione in tessuto non tessuto	-	-	-
5 Membrana di tenuta all'acqua	-	-	-
6 Pannello in vetro cellulare	14	0,048	170
7 Rotolo in sughero	0,3	0,043	135
8 Solaio collaborante in getto armato con rete elettrosaldata su lamiera grecata	10	2,3	2400
9 Rotolo di lana di roccia	6	0,035	40
10 Trave in acciaio - HE180AA	18	-	-
11 Pendini con gancio a molla	-	-	-
12 Doppia orditura di "C" montanti di acciaio zincato - 5x2,7cm	0,06	-	-
13 Lastra di Aquapanel	1,25	0,9	1300



8.4.9 C.O.4 Chiusura orizzontale superiore – Tetto giardino

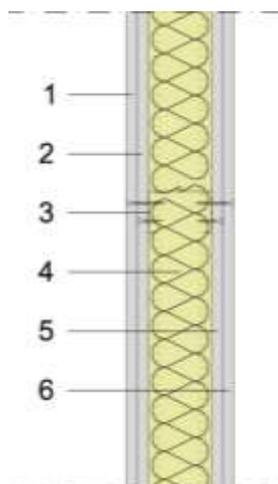


m	3,319 kN/m <sup>2</sup>
U	0,226 W/m <sup>2</sup> K
Rw	55dB
Sf.	15h 06'
Att.	0,073

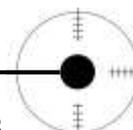
Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Manto erboso	-	-	-
2 Terreno di coltura	10	1	1900
3 Stuoia drenante integrata con strato di tessuto filtrante	-	-	-
4 Pannello in alluminio	4	-	-
5 Membrana di tenuta all'acqua	-	-	-
6 Pannello in vetro cellulare	10	0,048	170
7 Solaio collaborante in getto armato con rete elettrosaldato su lamiera grecata	10	2,3	2400
8 Rotolo di lana di roccia	6	0,035	40
9 Trave in acciaio - HE180AA	18	-	-
10 Pendini con gancio a molla	-	-	-
11 Doppia orditura di "C" montanti di acciaio zincato - 5x2,7cm	0,06	-	-
12 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
13 Barriera al vapore	-	-	-
14 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900

**8.4.10 P.V.1 Partizione verticale**

Muro con orditura metallica per divisioni interne sp. 12,5 cm

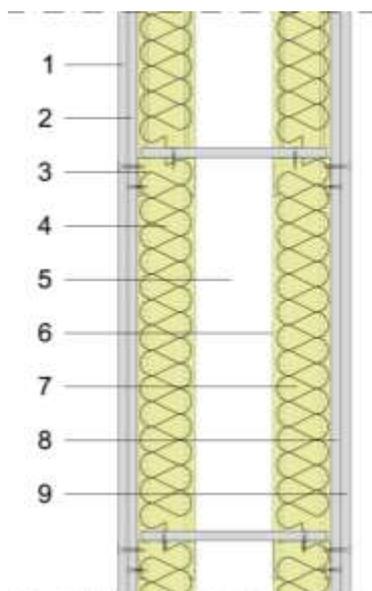


Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
2 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
3 Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
4 Rotolo di lana di roccia	6	0,035	40
5 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
6 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900



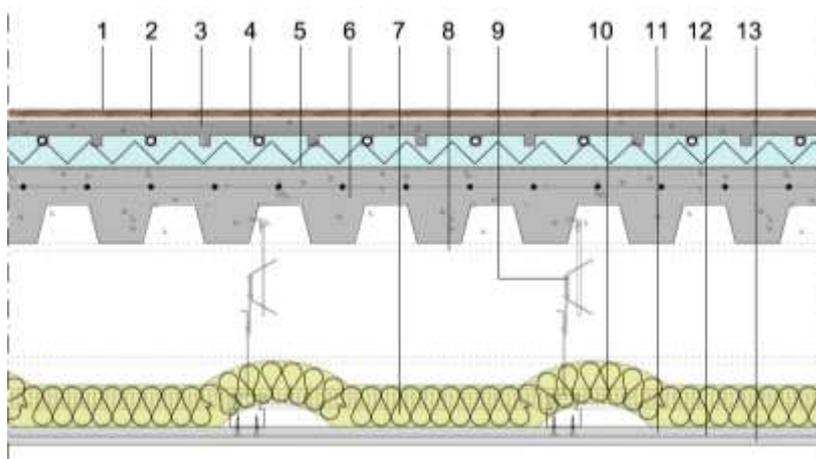
**8.4.11 P.V.2 Partizione verticale**

Muro con orditura metallica per divisioni interne bagno/cucina cm 30

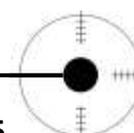


Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
2 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
3 Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
4 Rotolo di lana di roccia	6	0,035	40
5 Intercapedine per passaggio impianti	10	-	-
6 Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
7 Rotolo di lana di roccia	6	0,035	40
8 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
9 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900

8.4.12 P.O.1 Partizione orizzontale



Strati tecnologici	Sp. [cm]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
1 Finitura interna in legno	1	-	700
2 Strato di colla	0,5	-	-
3 Massetto di allettamento	4	0	0
4 Pannelli isolanti in polistirene estruso per fissaggio dei tubi radianti	3	0,027	35
5 Rotolo in sughero	0,3	0,043	135
6 Solaio collaborante in getto armato con rete elettrosaldata su lamiera grecata	10	2,3	2400
7 Rotolo di lana di roccia	6	0,035	40
8 Trave in acciaio - HE180AA	18	-	-
9 Pendini con gancio a molla	-	-	-
10 Doppia orditura di "C" montanti di acciaio zincato - 5x2,7cm	0,06	-	-
11 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900
12 Barriera al vapore	-	-	-
13 Lastra di gesso rivestito	1,25	0,21	900



### **8.5 Dettagli costruttivi**

Si riporta una serie di dettagli costruttivi, tra i più significativi, per mettere in evidenza la risoluzione della continuità degli strati di isolamento termico per evitare efficacemente i ponti termici; le soluzioni per evitare ponti acustici; gli accorgimenti per scongiurare le infiltrazioni d'acqua garantendo la continuità delle impermeabilizzazioni, efficienti sistemi di scolo e smaltimento delle acque; il sistema relativo agli agganci delle componenti (vedi Tav. 8.4-Tav.8.15). Per l'individuazione della posizione del dettaglio in esame, si faccia riferimento alle sezioni stratigrafiche (vedi Tav. 8.3 e Tav.8.12).

**CAPITOLO NONO**  
**BILANCIO ENERGETICO E PREDISPOSIZIONE**  
**IMPIANTISTICA**

## **9.1 Quadro normativo di riferimento**

### **9.1.1 La normativa europea: dalla direttiva 2002/91/CE alla 2010/31/UE**

La direttiva 2002/91/CE è stata emanata dalla Comunità Europea con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici e di limitare le emissioni di gas ad effetto serra in modo da rispettare gli impegni comunitari assunti in merito agli accordi di Kyoto, riducendo contestualmente la dipendenza della Comunità stessa dalle fonti esterne di energia. Per fare ciò, la direttiva promuove l'efficienza di impianti ed involucri edilizi e lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili, sottolineando la necessità di considerare le condizioni locali e climatiche esterne, le condizioni ambientali interne in funzione della destinazione d'uso, oltre che l'efficacia dal punto di vista dei costi globali di realizzazione e gestione.

Tra i 17 articoli costituenti il corpus della direttiva è fondamentale soffermarsi sul primo di essi, nel quale, per comprendere chiaramente l'obiettivo e il campo di applicazione, si afferma la necessità di:

- definire una metodologia di calcolo generale per la misura e la quantificazione del rendimento energetico degli edifici;
- applicare dei requisiti minimi in materia di rendimento energetico per gli edifici di nuova costruzione;
- introdurre un meccanismo di certificazione energetica.

La direttiva indica che la metodologia di calcolo venga stabilita a livello nazionale o regionale e che il rendimento energetico di un edificio venga espresso in modo chiaro e trasparente tenendo conto della quantità di energia consumata per il riscaldamento o la climatizzazione invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, il raffrescamento o la climatizzazione estiva, la ventilazione e l'illuminazione degli ambienti. Il calcolo deve tenere in considerazione le caratteristiche geometriche e fisiche degli elementi d'involucro, le specificità del clima in cui esso è localizzato e la destinazione d'uso prevista, nonché eventuali sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili o equiparabili, quali sistemi di cogenerazione, pompe di calore e teleriscaldamento.

Il 19 maggio 2010 il Parlamento Europeo ed il consiglio dell'Unione Europea hanno emanato una nuova direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia, la direttiva 2010/31/UE, entrata in vigore il 9 luglio 2010, che riprende e chiarisce le disposizioni della 2002/91/CE, decretandone l'abrogazione a partire dal 1° febbraio 2012.

Tra le novità introdotte dalla 2010/31/UE vi è il concetto del "consumo vicino allo zero", previsto per tutti i nuovi edifici costruiti dopo il 2020 e per gli edifici pubblici dopo il 2018, rimarcando nuovamente il carattere esemplare che gli edifici pubblici devono possedere.

### **9.1.2 La normativa nazionale: il d.lgs. 192/05 ed i suoi decreti attuativi**

In Italia, la direttiva 2002/91/CE è stata recepita mediante il decreto legislativo n. 192 del 19 agosto 2005, entrato in vigore l'8 ottobre 2005, che ha introdotto le casistiche e le scadenze temporali per le quali vige l'obbligo di certificazione energetica. In una fase iniziale, nell'attesa della pubblicazione delle linee guida nazionali ed in mancanza di ulteriori strumenti regionali o provinciali in materia, l'attestato di certificazione energetica era sostituito dall'attestato di qualificazione energetica introdotto dal successivo d.lgs. 26 dicembre 2006 n. 311, integrazione e parziale modifica dello stesso d.lgs. 192/2005.

È stato necessario attendere più di 3 anni prima di veder pubblicati due dei tre provvedimenti attuativi previsti dal d.lgs. 192/2005:

- il d.P.R. di attuazione dell'art. 4 comma 1, lettere a) e b) del d.lgs. 192/2005, che definisce i criteri generali, le metodologie di calcolo ed i requisiti minimi per la prestazione energetica di edifici e impianti termici per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda sanitaria;
- il decreto interministeriale (Sviluppo-Ambiente-Infrastrutture) di attuazione dell'art. 6, comma 9 e dell'art. 5, comma 1, volto a fornire le procedure applicative della certificazione energetica degli edifici e contenente, in allegato, le linee guida nazionali.

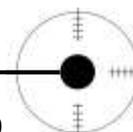
Il primo provvedimento d'attuazione (il d.P.R. 2 aprile 2009 n. 59), pubblicato il 10 giugno 2009, indica che le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici sono quelle descritte nella UNI/TS 11300-1:2008 (per la determinazione del fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale ed estiva) e nella UNI/TS 11300-2:2008 (per il calcolo del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria). Il provvedimento, essenzialmente, conferma i criteri generali ed i requisiti di prestazione energetica presenti nell'allegato C del d.lgs. 192/2005 (resi applicativi dall'allegato I dello stesso) e introduce alcune ulteriori disposizioni.

Il secondo provvedimento (il decreto interministeriale 26 giugno 2009) pubblicato il 10 luglio 2009 riporta:

- le linee guida nazionali per la certificazione energetica (art. 6, comma 9 del d.lgs. 192/2005);
- gli strumenti di raccordo, concertazione e cooperazione tra Stato e Regioni (art. 5, comma 1 del d.lgs. 192/2005).

Coerentemente con il principio di cedevolezza di cui all'art. 17 del d.lgs.

192/2005 e s.m.i., le linee guida contenute nel decreto 26/06/2009 si applicano nelle Regioni e nelle Province autonome che non hanno adottato propri strumenti di certificazione energetica. Al contempo, però, tali disposizioni prevedono che i sistemi di certificazione energetica esistenti si allineino a quanto previsto a livello nazionale, assicurando la coerenza con gli elementi essenziali del sistema nazionale.



## 9.2 Calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio

I parametri climatici del L'Aquila sono i seguenti:

Gradi Giorno: 2514 GG

Zona climatica: E

Giorni di riscaldamento: 183 (1 Ottobre - 30 Aprile)

Valori delle temperature medie mensili dell'aria esterna in °C:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2	3,6	7,1	11,4	15	19,1	22	21,8	18,6	13,1	13,1	8,2

Irradiazione solare globale giornaliera media mensile (kWh/m<sup>2</sup>) viene desunta dalla UNI 10349 applicando la Uni 8477/1:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Orizz	1,67	2,33	3,33	4,11	5,36	5,86	6,56	5,58	4,36	2,94	1,78	1,42
Sud	3,56	3,64	3,59	2,77	2,73	2,6	3,07	3,29	3,87	4	3,56	3,16
Nord	0,56	0,65	0,85	1,26	2	2,42	2,64	1,79	1,19	0,84	0,47	0,44
Est	1,3	2	3	3,5	4	4,1	4,1	3,9	3,3	2,2	1,6	1,1

### 9.2.1 Dispersioni per trasmissione

Ciascuna superficie disperdente (sia opaca sia trasparente) che separa la zona climatizzata o a temperatura controllata dall'ambiente circostante esterno o da ambienti non dotati di impianto di riscaldamento contribuisce alle dispersioni per trasmissione.

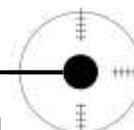
$$Q_T = H_T \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t + Q_{T,S}$$

in cui:

- Q<sub>T</sub>    quantità di energia dispersa per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [kWh];
- H<sub>T</sub>    coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, vedi tab.9.3;
- Δθ    differenza tra la temperatura interna prefissata θ<sub>i</sub>, e il valore medio mensile della temperatura media giornaliera esterna θ<sub>e</sub>, [°C];
- Δt    durata del mese considerato [kh];
- Q<sub>T,S</sub>    quantità di energia trasferita per trasmissione attraverso uno spazio soleggiato adiacente alla zona climatizzata, [kWh]

Energia dispersa per trasmissione					
$Q_t = H_t (t_i - t_e) * 24 * N$					
	H <sub>t</sub> (W/K)	t <sub>i</sub> (°C)	t <sub>e</sub> (°C)	N gg	Q <sub>T</sub> (kWh)
gennaio	352,85	20,00	2,00	31,00	4.725
febbraio	352,85	20,00	3,60	28,00	3.889
marzo	352,85	20,00	7,10	31,00	3.387
aprile	352,85	20,00	11,40	30,00	2.185
ottobre	352,85	20,00	13,10	31,00	1.811
novembre	352,85	20,00	13,10	30,00	1.753
dicembre	352,85	20,00	8,20	31,00	3.098
					20.848

**Tab.9.1 Energia dispersa per trasmissione dall'involucro edilizio (kWh)**



Il coefficiente di scambio termico per trasmissione  $H_T$ , è dato da:

$$H_T = \sum_k A_{L,k} \cdot U_k$$

in cui:

- $A_{L,k}$  area lorda della struttura k-esima, che separa la zona interna dall'ambiente circostante, [m<sup>2</sup>];
- $U_k$  trasmittanza termica media della struttura opaca k-esima, che separa la zona interna dall'ambiente circostante, [W/m<sup>2</sup>K].

Per edifici di nuova costruzione, l'incidenza del ponte termico deve essere calcolata analiticamente. La trasmittanza termica media della generica struttura k-esima, sia essa opaca o trasparente, viene determinata attraverso l'equazione:

$$U_k = \frac{\sum_j A_{L,j} \cdot U_j + \sum_i \Psi_{e,i} \cdot L_{e,i}}{\sum_j A_{L,j}}$$

in cui:

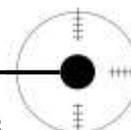
- $U_k$  trasmittanza termica media della struttura opaca k-esima, che separa la zona termica considerata dall'ambiente circostante, [W/m<sup>2</sup>K];
- $A_{L,j}$  area lorda di ciascun componente j della struttura k-esima che separa la zona interna dall'ambiente circostante, [m<sup>2</sup>];
- $U_j$  trasmittanza termica di ciascun componente j uniforme della struttura k-esima che separa la zona interna da quella circostante, [W/m<sup>2</sup>K];
- $\Psi_{e,i}$  trasmittanza termica lineica dell'i-esimo ponte termico attribuito alla struttura k-esima, basata sulle dimensioni esterne, [W/mK];
- $L_{e,i}$  lunghezza caratteristica del ponte termico i-esimo, [m].

$A_{L,CVO1}$ [m <sup>2</sup> ]	$U_{CVO1}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$A_{L,CVO3}$ [m <sup>2</sup> ]	$U_{CVO3}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$A_{L,FIN}$ [m <sup>2</sup> ]	$U_{FIN}$ (W/m <sup>2</sup> K)
334,96	0,126	232,66	0,11	114,41	1,40
$A_{L,CO1}$ [m <sup>2</sup> ]	$U_{CO1}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$A_{L,CIS1}$ [m <sup>2</sup> ]	$U_{CIS1}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$A_{L,CO1}$ [m <sup>2</sup> ]	$U_{CO1}$ (W/m <sup>2</sup> K)
98,45	0,1644	174,08	0,12	238,8	0,1644
$A_{L,CVO4}$ [m <sup>2</sup> ]	$U_{CVO4}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\psi_{e, \text{giunto solai/CVO1}}$	$L_{e, \text{giunto solai/CVO1}}$ (m)	$\psi_{e, \text{giunto solai/CVO3}}$	$L_{e, \text{giunto solai/CVO3}}$ (m)
26	0,26	0,096	115	0,096	105
$\psi_{e, \text{pilastro/CVO1}}$	$L_{e, \text{pilastro/CVO3}}$	$\psi_{e, \text{pilastro/CVO3}}$	$L_{e, \text{pilastro/CVO3}}$	$\psi_{e, \text{finestra}}$	$L_{e, \text{finestra}}$
0,098	117,00	0,098	54,00	0,140	298,84

**Tab.9.2. Valori relativi all' area lorda e alla trasmittanza termica di ciascun componente uniforme della struttura che separa la zona interna da quella circostante e valori della trasmittanza termica lineica di ogni ponte termico, basata sulle dimensioni esterne e alla relativa lunghezza caratteristica**

	$S$ [m <sup>2</sup> ]	$U_k$ (W/m <sup>2</sup> K)	$H_t$ (W/K)
gennaio	1.102,49	0,320	352,85
febbraio	1.102,49	0,320	352,85
marzo	1.102,49	0,320	352,85
aprile	1.102,49	0,320	352,85
ottobre	1.102,49	0,320	352,85
novembre	1.102,49	0,320	352,85
dicembre	1.102,49	0,320	352,85

**Tab.9.3 Valore mensile del coefficiente di scambio termico  $H_t$**



### 9.2.1.1 Dispersione attraverso serra solare

Se lo spazio soleggiato è dotato di un impianto termico oppure è presente un'apertura permanente fra lo spazio climatizzato o a temperatura controllata e quello soleggiato, allora il volume di quest'ultimo deve essere considerato come un'estensione diretta della zona interna.

Le perdite per trasmissione attraverso lo spazio soleggiato,  $Q_{T,S}$ , vengono determinate attraverso la relazione:

$$Q_{T,S} = H_{T,S} \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t$$

in cui:

- $Q_{T,S}$  quantità totale di energia trasferita per trasmissione attraverso uno spazio soleggiato adiacente alla zona climatizzata, [kWh], vedi Tab.9.8;
- $H_{T,S}$  coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona interna e l'ambiente esterno attraverso la zona soleggiata, [W/K], vedi Tab.9.7;
- $\Delta\theta$  differenza tra la temperatura interna prefissata  $\theta_i$ , e la temperatura media giornaliera esterna  $\theta_e$ , [°C];
- $\Delta t$  durata del mese considerato [kh].

Il coefficiente di scambio termico  $H_{T,S}$  viene calcolato con la relazione:

$$H_{T,S} = H_i \cdot b_s \quad b_s = \frac{H_e}{H_i + H_e}$$

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra l'interno e lo spazio soleggiato  $H_i$ , [W/K] si determina attraverso:

$$H_i = \sum_{j=1}^{N_{pi}} (A_{L,pi} \cdot U_{pi})_j + \sum_{k=1}^{N_{wi}} (A_{L,wi} \cdot U_{wi})_k + H_{V,i}$$

in cui:

- $A_{L,pi,j}$  area lorda della parete opaca j-esima tra l'interno e la serra, [m<sup>2</sup>];
- $U_{pi,j}$  trasmittanza della parete opaca j-esima tra interno e serra, [W/m<sup>2</sup>K];
- $A_{L,wi,k}$  area lorda dell'elemento trasparente k-esimo tra interno e serra, [m<sup>2</sup>];
- $U_{wi,k}$  trasmittanza elemento trasparente k-esimo tra interno e serra, [W/m<sup>2</sup>K];
- $H_{V,i}$  coefficiente scambio termico per ventilazione tra interno e serra, [W/K];
- $N_{pi}$  numero totale di pareti opache tra interno e serra;
- $N_{wi}$  numero totale di elementi trasparenti tra interno e spazio soleggiato.

$\rho$ = densità dell'aria	1,20	(kg/m <sup>3</sup> )
c = calore specifico a pressione costante dell'aria	1000	(J/kgK)
n = numero ricambi/ora*	0,300	(h <sup>-1</sup> )
V = volume della zona	142	(m <sup>3</sup> )
G = portata volumetrica dell'aria	115	(m <sup>3</sup> /h)
$H_{V,S} = \rho \cdot c \cdot G$	14,18	(W/K)

**Tab.9.4 Coefficiente di scambio termico per ventilazione,  $H_{V,S}$ , tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato**

	$A_{i,CV05,SUD}$ (m <sup>2</sup> )	$U_{CV05}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$A_{L,wi,V1}$ (m <sup>2</sup> )	$U_{wi,V1}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$H_{V,S}$ (W/K)	
$H_i$ (W/K)	38,75	0,1638	56,70	1,4	14,18	100

**Tab.9.5 Coefficiente di scambio termico per trasmissione tra interno e spazio soleggiato  $H_i$ .**

Il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra lo spazio soleggiato e l'esterno,  $H_e$  [W/K], è dato da:

$$H_e = \sum_{i=1}^{N_{pe}} (A_{L,pe,i} \cdot U_{pe,i}) + \sum_{j=1}^{N_{we}} (A_{L,we,j} \cdot U_{we,j}) + H_{V,S}$$

in cui:

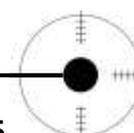
- $A_{L,pe,i}$  area lorda della superficie i-esima di parete opaca o pavimento o soffitto divisori tra la serra e lo spazio esterno, [m<sup>2</sup>];
- $U_{pe,i}$  trasmittanza della superficie opaca i-esima tra serra ed ambiente esterno, [W/m<sup>2</sup>K];
- $A_{L,we,j}$  area lorda dell'elemento trasparente j-esimo tra lo spazio soleggiato e l'ambiente esterno, [m<sup>2</sup>];
- $U_{we,j}$  trasmittanza elemento trasparente j-esimo, [W/m<sup>2</sup>K];
- $H_{V,S}$  coefficiente scambio termico per ventilazione tra serra e esterno [W/K];

	$A_{L,we,SERRA}$ (m <sup>2</sup> )	$U_{we,SERRA}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$H_{V,S}$ (W/K)	
$H_e$ (W/K)	176,49	1,4	24,10	271

**Tab.9.6 Coefficiente di scambio termico per trasmissione tra spazio soleggiato ed esterno**

	$H_i$ (W/K)	$H_e$ (W/K)	$b_s$	
$H_{T,S}$ (W/K)	100	271	0,731	73,006

**Tab.9.7 Coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona interna e l'ambiente esterno attraverso la zona soleggiata**



$Q_{T,S} = H_{T,S} * (t_i - t_e) * 24 * N$					
	N	$H_{T,S}$ (W/K)	$t_i$ (°C)	$t_e$ (°C)	$Q_{T,S}$ (kWh)
gennaio	31,00	73,01	20	2	977,697
febbraio	28,00	73,01	20	3,6	804,585
marzo	31,00	73,01	20	7,1	700,683
aprile	30,00	73,01	20	11,4	452,053
ottobre	31,00	73,01	20	13,1	374,784
novembre	30,00	73,01	20	13,1	362,694
dicembre	31,00	73,01	20	8,2	640,934
					4.313,429

**Tab.9.8 Valori mensili di dispersione per trasmissione attraverso serre solari**

Il calcolo dei valori di dispersione e guadagni solari (paragrafo 9.2.6) attraverso gli spazi soleggiati viene effettuato solamente nel periodo di riscaldamento in quanto nei restanti mesi si considera disattiva la serra solare.

**9.2.2 Dispersioni per ventilazione**

Un ambiente scambia energia attraverso l'ambiente circostante non solo attraverso la trasmissione, ma anche attraverso la ventilazione. Il fatto stesso che gli ambienti siano occupati richiede, per esigenze legate al benessere degli occupanti, che vi siano un certo numero di ricambi d'aria.

L'energia termica di riferimento scambiata convenzionalmente per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazioni  $Q_v$  è data da:

$$Q_v = H_v \cdot \Delta\theta \cdot \Delta t$$

in cui:

$H_v$  coefficiente di scambio termico di riferimento per la ventilazione naturale, aerazione e/o infiltrazioni tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e l'ambiente circostante, [W/K].

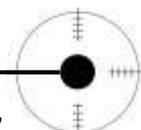
$\rho$ = densità dell'aria	1,20	(kg/m <sup>3</sup> )
$c$ = calore specifico a pressione costante dell'aria	1000	(J/kgK)
$n$ = numero ricambi/ora*	0,3	(h <sup>-1</sup> )
$V$ = volume della zona	1473	(m <sup>3</sup> )
$G = n \cdot V$ = portata volumetrica dell'aria	442	(m <sup>3</sup> /h)
$H_v = \rho \cdot c \cdot G$	147,34	(W/K)

**Tab.9.9 Valore del coefficiente di scambio termico per ventilazione  $H_v$**

\* $n=0,3$  per edifici residenziali di nuova costruzione

$Q_t = H_v (t_i - t_e) \cdot 24 \cdot N$					
	$H_v$ (W/K)	$t_i$ (°C)	$t_e$ (°C)	N (giorni mese)	$Q_v$ (kWh)
gennaio	147,34	20,00	2,00	31	1.973
febbraio	147,34	20,00	3,60	28	1.624
marzo	147,34	20,00	7,10	31	1.414
aprile	147,34	20,00	11,40	30	912
ottobre	147,34	20,00	13,10	31	756
novembre	147,34	20,00	13,10	30	732
dicembre	147,34	20,00	8,20	31	1.294
					8.705

**Tav.9.10 Valori mensili di energia termica di riferimento scambiata convenzionalmente per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazioni  $Q_v$**



### 9.2.3 Apporti di calore dovuti ad apparecchiature elettriche e persone

Qualunque calore generato all'interno della zona climatizzata o a temperatura controllata contribuisce ad accrescere gli apporti di calore interni,  $Q_i$ . Tra le principali sorgenti di calore interne vi sono:

- gli apporti dovuti al metabolismo degli occupanti;
- il calore sprigionato dalle apparecchiature elettriche e di illuminazione.

In edifici a destinazione d'uso residenziale gli apporti di calore dovuti alla presenza di queste sorgenti sono ricavati, in maniera convenzionale, da:

$$Q_i = \dot{Q}_a \cdot \Delta t$$

$Q_i$  apporto di calore dovuto ad apparecchiature elettriche e persone [kWh]

$Q_a$  valore medio globale degli apporti interni, [W],

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali $\dot{Q}_a$ [W]
E.1 (1); E.1(2)	Edifici Residenziali con A <170 m <sup>2</sup>	5,294 x A-0,01557 x A <sup>2</sup>
E.1 (1); E.1(2)	Edifici Residenziali con A >170 m <sup>2</sup>	450

**Tab.9.11 Valori globali degli apporti interni,  $Q_a$  (fonte: UNI TS 11300-1:2008)**

	N	$Q_a$ (W)	$Q_i$ (kWh)
Gennaio	31	1922,24	1.430,15
Febbraio	28	1922,24	1.291,74
Marzo	31	1922,24	1.430,15
Aprile	30	1922,24	1.384,01
Maggio	31	1922,24	1.430,15
Giugno	30	1922,24	1.384,01
Luglio	31	1922,24	1.430,15
Agosto	31	1922,24	1.430,15
Settembre	30	1922,24	1.384,01
Ottobre	31	1922,24	1.430,15
Novembre	30	1922,24	1.384,01
Dicembre	31	1922,24	1.430,15
			16.838,81

**Tab.9.12 Valori di  $Q_a$  per tipologia abitativa**

### 9.2.4 Apporti solari attraverso le strutture trasparenti esterne

Gli apporti solari attraverso le superfici trasparenti rivolte verso l'ambiente esterno vengono calcolati moltiplicando l'irradiazione globale per l'area di captazione solare disponibile. Per quanto riguarda l'irradiazione, essa è calcolata a partire dai valori riportati nella UNI 10349:1994, la quale fornisce i valori di irradiazione globale giornaliera media mensile incidente [kWh/m<sup>2</sup>] su una superficie unitaria.

Moltiplicando tale valore per il numero dei giorni N del mese considerato, si ottiene la massima radiazione solare disponibile per un metro quadro di superficie avente quell'orientamento.

Tale calcolo dovrà pertanto essere eseguito per ciascuna esposizione j-esima e per ciascun elemento trasparente i-esimo avente quella esposizione.

L'energia dovuta agli apporti solari sulle superfici trasparenti rivolte verso l'ambiente esterno, Q<sub>SI</sub>, viene calcolata prendendo in considerazione l'effetto delle schermature mobili permanenti, cioè integrate nell'involucro edilizio:

$$Q_{SI} = N \cdot \sum_j \left[ \bar{H}_{s,j} \cdot \left( \sum_i A_{L,i} \cdot (1 - F_{F,i}) \cdot F_{S,i,j} \cdot F_{(sh+gl),i,j} \cdot g_{\perp,i} \right) \right]$$

in cui:

H<sub>s,j</sub> irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente con esposizione, j, [kWh/m<sup>2</sup>];

A<sub>L,i</sub> superficie lorda del serramento, i, (pari all'apertura nella parete), [m<sup>2</sup>];

1-F<sub>F,i</sub> coefficiente di riduzione dovuto al telaio per il serramento i, pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata;

F<sub>S,i</sub> fattore di riduzione dovuto all'ombreggiamento per la superficie i;

$$F_{S,i,j} = F_{h,i,j} \cdot \min(F_{o,i,j}; F_{f,i,j})$$

F<sub>h,i,j</sub> fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne;

F<sub>o,i,j</sub> fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti orizzontali;

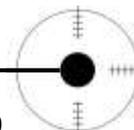
F<sub>f,i,j</sub> fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti verticali.

g<sub>⊥,i</sub> trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento i.

F<sub>(sh+gl),i,j</sub> fattore di riduzione relativo all'utilizzo di schermature mobili o fisse complanari al serramento i, con esposizione j;

$$F_{(sh+gl),i,j} = f_{shd,j} \cdot F_{sh,i,j} + (1 - f_{shd,j}) \cdot F_{gl,i}$$

$$F_{sh,i,j} = \frac{g_{(sh+gl),b,i} \cdot f_{b,j} + g_{(sh+gl),d,i} \cdot (1 - f_{b,j})}{g_{\perp,i}}$$



in cui:

- $f_{shd,j}$  frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, pesata sull'irradianza incidente e funzione della sua esposizione  $j$ ;
- $F_{sh,i,j}$  fattore di riduzione dovuto all'effetto di schermature mobili permanenti;
- $F_{gl,i}$  fattore di correzione che tiene conto della dipendenza angolare delle proprietà ottiche della superfici trasparente  $i$  quando non è schermata;
- $g_{(sh+gl),b,i}$  trasmittanza di energia solare diretta totale dell' $i$ -esimo serramento in presenza di sistemi schermanti;
- $f_{b,j}$  fattore di peso dell'irradiazione diretta rispetto all'irradiazione totale sulla superficie con esposizione  $j$ ;
- $g_{(sh+gl),d,i}$  trasmittanza di energia solare diffusa totale dell' $i$ -esimo serramento in presenza di sistemi schermanti

0

Mese	Nord	Est	Sud	Ovest
Gennaio	0,00	0,52	0,81	0,39
Febbraio	0,00	0,48	0,82	0,55
Marzo	0,00	0,66	0,81	0,63
Aprile	0,00	0,71	0,74	0,62
Maggio	0,00	0,71	0,62	0,64
Giugno	0,00	0,75	0,56	0,68
Luglio	0,00	0,74	0,62	0,73
Agosto	0,00	0,75	0,76	0,72
Settembre	0,00	0,73	0,82	0,67
Ottobre	0,00	0,72	0,86	0,60
Novembre	0,00	0,62	0,84	0,30
Dicembre	0,00	0,50	0,86	0,42

**Tab.9.13 Fattore di riduzione  $f_{shd}$  per le schermature mobili (Fonte: UNI TS 11300-1:2008)**

$F_{gl}$ (trasmittanza termica, fattore solare)	$g_{\perp} < 0,5$	$0,5 \leq g_{\perp} < 0,7$	$0,7 \leq g_{\perp} < 0,9$	$g_{\perp} \geq 0,9$
$U_g \geq 2,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	0,85	0,85	0,90	0,95
$1 \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq U_g < 2,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	0,80	0,85	0,90	0,90
$U_g < 1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	0,80	0,85	0,85	0,90

**Tab.9.14 Coefficienti correttivi  $F_{gl}$  per diverse tipologie di vetrate (Fonte:A.Roos et al. 2000)**

Le trasmittanze di energia solare totale diretta e diffusa della finestra vengono calcolate con formule differenti a seconda del tipo di schermatura; in particolare in presenza di sistemi di schermanti integrati le relazioni risultano:

$$g_{(sh+gl),b} = g_{\perp} \cdot \tau_{e,b} + g_{\perp} \cdot (\alpha_{e,b} + (1 - g_{\perp}) \cdot \rho_{e,b}) \cdot \frac{G}{G_3}$$

$$g_{(sh+gl),d} = g_{\perp} \cdot \tau_{e,d} + g_{\perp} \cdot (\alpha_{e,d} + (1 - g_{\perp}) \cdot \rho_{e,d}) \cdot \frac{G}{G_3}$$

mentre nel caso di sistema schermante interno si usano:

$$g_{(sh+gl),b} = g_{\perp} \cdot \left( 1 - g_{\perp} \cdot \rho_{e,b} - \alpha_{e,b} \cdot \frac{G}{G_2} \right)$$

$$g_{(sh+gl),d} = g_{\perp} \cdot \left( 1 - g_{\perp} \cdot \rho_{e,d} - \alpha_{e,d} \cdot \frac{G}{G_2} \right)$$

in cui:

$$\tau_{e,b}(45^{\circ}) = 0,65 \cdot \tau_{e,B,\perp} + 0,15 \cdot \rho_{e,B,\perp}$$

fattore di trasmissione solare del dispositivo schermante per la radiazione diretta e diffusa;

$$\tau_{e,d}(45^{\circ}) = 0,30 + 0,70 \cdot \tau_{e,b}(45^{\circ})$$

$$\rho_{e,b}(45^{\circ}) = \rho_{e,B,\perp} (0,75 + 0,70 \cdot \tau_{e,B,\perp})$$

fattore di riflessione solare del dispositivo schermante, per radiazione diretta e diffusa;

$$\rho_{e,d}(45^{\circ}) = 0,70 \cdot \rho_{e,b}(45^{\circ})$$

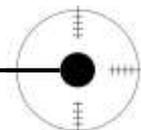
$$\alpha_{e,b} = 1 - \tau_{e,b} - \rho_{e,b}$$

frazione di energia solare assorbita dal componente schermante, per radiazione diretta e diffusa.

$$\alpha_{e,d} = 1 - \tau_{e,d} - \rho_{e,d}$$

Valori di $\tau_{e,B,\perp}$ in funzione della trasparenza della schermatura		$\rho_{e,B,\perp}$				$\alpha_{e,B,\perp}$			
		Bianco	Pastello	Scuro	Nero	Bianco	Pastello	Scuro	Nero
Opaca	0,0	0,7	0,5	0,3	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Mediamente traslucida o perforata	0,2	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7
Altamente traslucida o perforata	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

**Tab.9.15 Valori convenzionali di  $\tau_{e,B}$ ,  $\rho_{e,B}$ ,  $\alpha_{e,B}$  normali (Prospetto XXII UNI EN 13363- 1:2008)**



Una volta calcolati tutti i fattori per ogni tipo di finestra si è passati al calcolo finale, suddiviso per prospetto degli apporti solari:

	N	H <sub>s,sud</sub> (kwh/m <sup>2</sup> )	Finestre V <sub>1</sub>			Finestre V <sub>2</sub>			Finestre V <sub>3</sub>			g <sub>⊥</sub>	Q <sub>SI</sub> (kWh)
			S <sub>vetro V1</sub> (m <sup>2</sup> )	F <sub>s,V1,sud</sub>	F <sub>(sh+gl),V1,sud</sub>	S <sub>vetro V2</sub> (m <sup>2</sup> )	F <sub>s,V2,sud</sub>	F <sub>(sh+gl),V2,sud</sub>	S <sub>vetro V3</sub> (m <sup>2</sup> )	F <sub>s,V3,sud</sub>	F <sub>(sh+gl),V3,sud</sub>		
Gen	31	3,56	45,36	0,77	0,389	1,44	1	0,282	8,64	0,84	0,548	0,54	1.982,13
Feb	28	3,64	45,36	0,68	0,386	1,44	1	0,282	8,64	0,77	0,545	0,54	1.625,94
Mar	31	3,59	45,36	0,58	0,396	1,44	1	0,295	8,64	0,7	0,550	0,54	1.575,36
Apr	30	2,77	45,36	0,49	0,441	1,44	1	0,355	8,64	0,6	0,577	0,54	1.105,69
Mag	31	2,73	45,36	0,5	0,515	1,44	1	0,450	8,64	0,55	0,623	0,54	1.294,34
Giu	30	2,6	45,36	0,51	0,550	1,44	1	0,493	8,64	0,56	0,646	0,54	1.291,43
Lug	31	3,07	45,36	0,49	0,513	1,44	1	0,445	8,64	0,53	0,623	0,54	1.416,58
Ago	31	3,29	45,36	0,48	0,433	1,44	1	0,347	8,64	0,56	0,571	0,54	1.294,51
Set	30	3,87	45,36	0,52	0,390	1,44	1	0,288	8,64	0,65	0,546	0,54	1.471,97
Ott	31	4	45,36	0,65	0,360	1,44	1	0,247	8,64	0,75	0,529	0,54	1.786,56
Nov	30	3,56	45,36	0,74	0,372	1,44	1	0,261	8,64	0,82	0,537	0,54	1.778,64
Dic	31	3,16	45,36	0,79	0,360	1,44	1	0,247	8,64	0,86	0,529	0,54	1.684,78
													18.307,94

**Tab.9.16 Apporti solari attraverso superfici trasparenti del prospetto Sud**

	N	H <sub>s,nord</sub> (kwh/m <sup>2</sup> )	Finestre V <sub>5</sub>			Finestre V <sub>6</sub>			g <sub>⊥</sub>	Q <sub>SI</sub> (kWh)
			S <sub>vetro V5</sub> (m <sup>2</sup> )	F <sub>s,V5,nord</sub>	F <sub>(sh+gl),V5,nord</sub>	S <sub>vetro V6</sub> (m <sup>2</sup> )	F <sub>s,V6,nord</sub>	F <sub>(sh+gl),V6,nord</sub>		
Gen	31	0,56	5,76	0,65	0,850	7,78	0,65	0,850	0,54	129,83
Feb	28	0,65	5,76	0,65	0,850	7,78	0,65	0,850	0,54	136,11
Mar	31	0,85	5,76	0,65	0,850	7,78	0,65	0,850	0,54	197,06
Apr	30	1,26	5,76	0,66	0,850	7,78	0,66	0,850	0,54	287,04
Mag	31	2	5,76	0,69	0,850	7,78	0,69	0,850	0,54	492,21
Giu	30	2,42	5,76	0,69	0,850	7,78	0,69	0,850	0,54	576,36
Lug	31	3,07	5,76	0,7	0,850	7,78	0,7	0,850	0,54	766,49
Ago	31	1,79	5,76	0,66	0,850	7,78	0,66	0,850	0,54	421,37
Set	30	1,19	5,76	0,65	0,850	7,78	0,65	0,850	0,54	266,99
Ott	31	0,84	5,76	0,65	0,850	7,78	0,65	0,850	0,54	194,74
Nov	30	0,47	5,76	0,65	0,850	7,78	0,65	0,850	0,54	105,45
Dic	31	0,44	5,76	0,65	0,850	7,78	0,65	0,850	0,54	102,01
										3.675,67

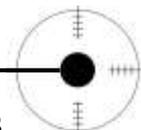
**Tab.9.17 Apporti solari attraverso superfici trasparenti del prospetto Nord**

	N	$H_{s,sud}$ (kwh/m <sup>2</sup> )	Finestre V <sub>1</sub>			Finestre V <sub>4</sub>			$g_{\perp}$	Q <sub>SI</sub> (kWh)
			$S_{vetro V1}$ (m <sup>2</sup> )	$F_{s,V1,est}$	$F_{(sh+gl),V1,est}$	$S_{vetro V4}$ (m <sup>2</sup> )	$F_{s,V4,est}$	$F_{(sh+gl),V4,est}$		
Gen	31	1,3	9,07	0,83	0,554	9,07	0,85	0,565	0,54	343,59
Feb	28	2	9,07	0,72	0,579	9,07	0,77	0,587	0,54	441,19
Mar	31	3	9,07	0,71	0,480	9,07	0,76	0,485	0,54	598,50
Apr	30	3,5	9,07	0,63	0,458	9,07	0,72	0,458	0,54	588,48
Mag	31	4	9,07	0,6	0,467	9,07	0,7	0,458	0,54	675,27
Giu	30	4,1	9,07	0,57	0,448	9,07	0,68	0,436	0,54	615,49
Lug	31	4,1	9,07	0,57	0,447	9,07	0,68	0,438	0,54	637,33
Ago	31	3,9	9,07	0,6	0,439	9,07	0,7	0,432	0,54	620,63
Set	30	3,3	9,07	0,69	0,440	9,07	0,76	0,443	0,54	575,65
Ott	31	2,2	9,07	0,76	0,440	9,07	0,8	0,452	0,54	430,65
Nov	30	1,6	9,07	0,81	0,497	9,07	0,83	0,510	0,54	359,59
Dic	31	1,1	9,07	0,85	0,565	9,07	0,87	0,576	0,54	303,60
<b>6.189,96</b>										

**Tab.9.18 Apporti solari attraverso superfici trasparenti del prospetto Est**

	N	$H_{s,orizz}$ (kwh/m <sup>2</sup> )	Finestre velux V <sub>7</sub>			Finestre velux V <sub>8</sub>			$g_{\perp}$	Q <sub>SI</sub> (kWh)
			$S_{vetro V7}$ (m <sup>2</sup> )	$F_{s,V7,cop}$	$F_{(sh+gl),V7,cop}$	$S_{vetro V8}$ (m <sup>2</sup> )	$F_{s,V8,cop}$	$F_{(sh+gl),V8,cop}$		
Gen	31	1,67	1,25	1	0,389	3,16	1	0,321	0,54	77,59
Feb	28	2,33	1,25	1	0,386	3,16	1	0,319	0,54	97,19
Mar	31	3,33	1,25	1	0,396	3,16	1	0,330	0,54	158,53
Apr	30	4,11	1,25	1	0,441	3,16	1	0,383	0,54	217,07
Mag	31	5,36	1,25	1	0,515	3,16	1	0,469	0,54	353,07
Giu	30	5,86	1,25	1	0,550	3,16	1	0,509	0,54	403,38
Lug	31	6,56	1,25	1	0,513	3,16	1	0,466	0,54	429,24
Ago	31	5,58	1,25	1	0,433	3,16	1	0,375	0,54	298,25
Set	30	4,36	1,25	1	0,390	3,16	1	0,323	0,54	197,30
Ott	31	2,94	1,25	1	0,360	3,16	1	0,288	0,54	123,95
Nov	30	1,78	1,25	1	0,372	3,16	1	0,301	0,54	75,59
Dic	31	1,42	1,25	1	0,360	3,16	1	0,288	0,54	59,87
<b>2.491,04</b>										

**Tab.9.19 Apporti solari attraverso superfici trasparenti della copertura**



	Q <sub>SI,SUD</sub> (kWh)	Q <sub>SI,NORD</sub> (kWh)	Q <sub>SI,EST</sub> (kWh)	Q <sub>SI,COP</sub> (kWh)	Q <sub>SI,TOT</sub> (kWh)
Gen	1.982,13	129,83	343,59	77,59	2.533,15
Feb	1.625,94	136,11	441,19	97,19	2.300,43
Mar	1.575,36	197,06	598,50	158,53	2.529,45
Apr	1.105,69	287,04	588,48	217,07	2.198,28
Mag	1.294,34	492,21	675,27	353,07	2.814,89
Giu	1.291,43	576,36	615,49	403,38	2.886,66
Lug	1.416,58	766,49	637,33	429,24	3.249,64
Ago	1.294,51	421,37	620,63	298,25	2.634,76
Set	1.471,97	266,99	575,65	197,30	2.511,91
Ott	1.786,56	194,74	430,65	123,95	2.535,92
Nov	1.778,64	105,45	359,59	75,59	2.319,27
Dic	1.684,78	102,01	303,60	59,87	2.150,26
					30.664,61

**Tab.9.20 Valori mensili degli apporti solari attraverso le superfici trasparenti dell'intero edificio**

### 9.2.5 Apporti solari attraverso le strutture opache esterne

Gli apporti solari mensili attraverso le strutture opache esterne costituiscono un apporto gratuito di calore e sono considerati come una riduzione delle dispersioni termiche.; vengono definiti tramite la relazione:

$$Q_{SE,O} = N \cdot \sum_j \bar{H}_{s,j} \cdot \left( \sum_i \alpha_i \cdot A_{L,i} \cdot F_S \cdot F_{er,i} \cdot \frac{U_i}{h_e} \right)_j$$

in cui:

- Q<sub>SE,O</sub> quantità di energia solare assorbita dalle pareti opache esterne e trasferita all'ambiente a temperatura controllata o climatizzato, [kWh];
- H<sub>s,j</sub> irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente con esposizione j, [kWh/m<sup>2</sup>];
- F<sub>S</sub> fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura;
- U<sub>i</sub> trasmittanza termica della parte opaca i rivolta verso l'esterno, [W/m<sup>2</sup>K]
- h<sub>e</sub> coefficiente di scambio termico superficiale esterno pari a 25 W/m<sup>2</sup>K.

Tipo di colorazione della parete	α	Tipo di parete	F <sub>er</sub>
Chiaro	0,3	Orizzontale	0,8
Medio	0,6	Inclinata	0,9
Scuri	0,9	Verticale	1,0

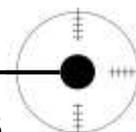
**Tab.9.21 Valori del fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca rivolta verso l'esterno, α, e coefficiente di riduzione che tiene conto dell'incidenza del flusso radiativo emesso dalla superficie verso la volta celeste, F<sub>er</sub> (Prospetto XXIII UNI TS 11300.1:2008)**

	N	H <sub>s,sud</sub> (kwh/m <sup>2</sup> )	C.V.O.1			C.V.O.3			F <sub>s</sub>	F <sub>er</sub>	h <sub>e</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	Q <sub>SE,O</sub> (kWh)
			A <sub>C.V.O.1</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>C.V.O.1</sub>	U <sub>C.V.O.1</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	A <sub>C.V.O.3</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>C.V.O.3</sub>	U <sub>C.V.O.3</sub> (W/m <sup>2</sup> K)				
Gen	31	3,56	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	42,832
Feb	28	3,64	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	39,556
Mar	31	3,59	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	43,193
Apr	30	2,77	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	32,252
Mag	31	2,73	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	32,846
Giu	30	2,6	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	30,272
Lug	31	3,07	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	36,936
Ago	31	3,29	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	39,583
Set	30	3,87	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	45,059
Ott	31	4	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	48,125
Nov	30	3,56	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	41,450
Dic	31	3,16	179,76	0,3	0,126	25,440	0,9	0,127	1	1	25	38,019
470,124												

**Tab.9.22 Apporti solari attraverso superfici opache del prospetto Sud**

	N	H <sub>s,nord</sub> (kwh/m <sup>2</sup> )	C.V.O.1			C.V.O.3			F <sub>s</sub>	F <sub>er</sub>	h <sub>e</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	Q <sub>SE,O</sub> (kWh)
			A <sub>C.V.O.1</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>C.V.O.1</sub>	U <sub>C.V.O.1</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	A <sub>C.V.O.3</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>C.V.O.3</sub>	U <sub>C.V.O.3</sub> (W/m <sup>2</sup> K)				
Gen	31	0,56	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	12,391
Feb	28	0,65	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	12,990
Mar	31	0,85	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	18,807
Apr	30	1,26	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	26,980
Mag	31	2	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	44,252
Giu	30	2,42	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	51,818
Lug	31	2,64	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	58,413
Ago	31	1,79	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	39,606
Set	30	1,19	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	25,481
Ott	31	0,84	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	18,586
Nov	30	0,47	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	10,064
Dic	31	0,44	101,7	0,3	0,126	122,48	0,9	0,127	1	1	25	9,736
329,124												

**Tab.9.23 Apporti solari attraverso superfici opache del prospetto Nord**



	N	H <sub>s,est</sub> (kwh/m <sup>2</sup> )	C.V.O.1			C.V.O.3			F <sub>S</sub>	F <sub>er</sub>	h <sub>e</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	Q <sub>SE,O</sub> (kWh)
			A <sub>C.V.O.1</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>C.V.O.1</sub>	U <sub>C.V.O.1</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	A <sub>C.V.O.3</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>C.V.O.3</sub>	U <sub>C.V.O.3</sub> (W/m <sup>2</sup> K)				
Gen	31	1,3	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	9,914
Feb	28	2	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	13,776
Mar	31	3	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	22,878
Apr	30	3,5	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	25,830
Mag	31	4	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	30,504
Giu	30	4,1	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	30,258
Lug	31	4,1	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	31,267
Ago	31	3,9	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	29,741
Set	30	3,3	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	24,354
Ott	31	2,2	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	16,777
Nov	30	1,6	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	11,808
Dic	31	1,1	53,5	0,6	0,126	18,420	0,9	0,127	1	1	25	8,389
<b>255,496</b>												

**Tab.9.24 Apporti solari attraverso superfici opache del prospetto Est**

APPORTI SOLARI ATTRAVERSO SUPERFICI OPACHE ESTERNE - PROSPETTO EST									
	N	H <sub>s,est</sub> (kwh/m <sup>2</sup> )	C.V.O.3			F <sub>S</sub>	F <sub>er</sub>	h <sub>e</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	Q <sub>SE,O</sub> (kWh)
			A <sub>C.V.O.3</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>C.V.O.3</sub>	U <sub>C.V.O.3</sub> (W/m <sup>2</sup> K)				
Gen	31	1,3	66,320	0,9	0,11	1	1	25	10,584
Feb	28	2	66,320	0,9	0,11	1	1	25	14,707
Mar	31	3	66,320	0,9	0,11	1	1	25	24,424
Apr	30	3,5	66,320	0,9	0,11	1	1	25	27,576
Mag	31	4	66,320	0,9	0,11	1	1	25	32,566
Giu	30	4,1	66,320	0,9	0,11	1	1	25	32,303
Lug	31	4,1	66,320	0,9	0,11	1	1	25	33,380
Ago	31	3,9	66,320	0,9	0,11	1	1	25	31,752
Set	30	3,3	66,320	0,9	0,11	1	1	25	26,000
Ott	31	2,2	66,320	0,9	0,11	1	1	25	17,911
Nov	30	1,6	66,320	0,9	0,11	1	1	25	12,606
Dic	31	1,1	66,320	0,9	0,11	1	1	25	8,956
<b>272,765</b>									

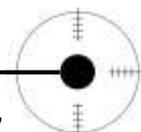
**Tab.9.25 Apporti solari attraverso superfici opache del prospetto Ovest**

	N	$H_{s, \text{cop}}$ (kwh/m <sup>2</sup> )	C.I.S.1			$F_s$	$F_{er}$	$h_e$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Q_{SE,O}$ (kWh)
			$A_{C.I.S.1}$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_{C.I.S.1}$	$U_{C.I.S.1}$ (W/m <sup>2</sup> K)				
Gen	31	1,3	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	17,730
Feb	28	2	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	24,637
Mar	31	3	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	40,914
Apr	30	3,5	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	46,193
Mag	31	4	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	54,552
Giu	30	4,1	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	54,112
Lug	31	4,1	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	55,916
Ago	31	3,9	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	53,189
Set	30	3,3	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	43,554
Ott	31	2,2	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	30,004
Nov	30	1,6	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	21,117
Dic	31	1,1	174,08	0,6	0,117	1	0,9	25	15,002
									456,920

**Tab.9.26 Apporti solari attraverso superfici opache della copertura**

	$Q_{SE,O \text{ SUD}}$ (kWh)	$Q_{SE,O \text{ NORD}}$ (kWh)	$Q_{SE,O \text{ EST}}$ (kWh)	$Q_{SE,O \text{ COP}}$ (kWh)	$Q_{SE,O \text{ TOT}}$ (kWh)
Gen	42,83	12,39	9,91	17,73	82,87
Feb	39,56	12,99	13,78	24,64	90,96
Mar	43,19	18,81	22,88	40,91	125,79
Apr	32,25	26,98	25,83	46,19	131,26
Mag	32,85	44,25	30,50	54,55	162,15
Giu	30,27	51,82	30,26	54,11	166,46
Lug	36,94	58,41	31,27	55,92	182,53
Ago	39,58	39,61	29,74	53,19	162,12
Set	45,06	25,48	24,35	43,55	138,45
Ott	48,13	18,59	16,78	30,00	113,49
Nov	41,45	10,06	11,81	21,12	84,44
Dic	38,02	9,74	8,39	15,00	71,15
					1.511,66

**Tab.9.27 Valori mensili degli apporti solari attraverso superfici opache dell'intero edificio**



### 9.2.6 Apporti solari attraverso spazi soleggiati

La presenza di spazi soleggiati (serre) addossati all'ambiente climatizzato si traduce, essenzialmente, in tre contributi.

- $Q_{T,S}$  riduzione delle dispersioni di trasmissione (che si avrebbero in assenza della serra), dovuta all'innalzamento della temperatura nello spazio soleggiato ed aggiunta di dispersioni per trasmissione dalla serra all'ambiente esterno (calcolata al paragrafo 9.2.1.1);
- $Q_{SE,S}$  contributo solare indiretto, dovuto sia al surriscaldamento dell'ambiente non climatizzato soleggiato per effetto della radiazione solare assorbita dalle varie superfici sia alla radiazione solare direttamente assorbita dalle parti opache della parete divisoria tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato);
- $Q_{SI,S}$  apporto solare diretto, dovuto all'ingresso della radiazione solare che passa prima attraverso il vetro della serra e successivamente attraverso il vetro delle finestre tra il volume climatizzato e lo spazio soleggiato.

#### 9.2.6.1 Apporto solare indiretto attraverso serra solare

$$Q_{SE,S} = N \cdot \frac{\sum_{i=1}^{N_{se}} (A_{L,we} \cdot g_{\perp,we} \cdot (1-F_F)_{we} \cdot F_w \cdot F_{(sh,gl)})_i}{\sum_{i=1}^{N_{se}} (A_{L,we})_i} \cdot \left[ (1-b_s) \cdot \sum_{j=1}^{N_{pa}} (A_{L,pa} \cdot \alpha_{pa} \cdot F_s \cdot H_s)_j + b_s \cdot \sum_{k=1}^{N_{pi}} \left( \bar{H}_{s,pi} \cdot F_s \cdot A_{L,pi} \cdot \alpha_{pi} \cdot \frac{U_{pi}}{h_i} \right)_k \right]$$

In cui:

- $g_{\perp,we,i}$  trasmittanza dell'energia solare totale della superficie trasparente del serramento i-esimo posto tra lo spazio soleggiato e l'esterno
- $1-F_F$  coefficiente di riduzione dovuto al telaio del serramento i-esimo
- $F_w$  fattore di correzione che tiene conto dell'inclinazione dei raggi solari rispetto alla superficie verticale interessata, assunto pari a 0,9.
- $F_{(sh,gl)}$  fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili o fisse complanari all'elemento trasparente della serra considerato;
- $b_s$  coefficiente di ponderazione;
- $A_{L,j}$  superficie lorda di ogni elemento opaco j-esimo
- $H_s$  irradiazione globale giornaliera media mensile incidente sulla superficie trasparente con esposizione j o k, [kWh/m<sup>2</sup>K]
- $F_s$  fattore di riduzione dovuto all'ombreggiatura
- $\alpha$  fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete assorbente della serra
- $U_{pi,k}$  trasmittanza termica della k-esima parete opaca posta tra la zona climatizzata e lo spazio soleggiato, [W/m<sup>2</sup>K];
- $h_i$  coefficiente di scambio termico superficiale interno, pari a 7,7 W/m<sup>2</sup>K
- $A_{L,we,i}$  superficie lorda del serramento i-esimo posto tra lo spazio soleggiato e l'esterno, [m<sup>2</sup>].

	SERRA									b <sub>s</sub>	C.V.O.5				C.O.3			F <sub>S</sub>	h <sub>i</sub>	Q <sub>GE,S</sub> (kWh)		
	A <sub>L,we,ser</sub> ra,SUD (m <sup>2</sup> )	A <sub>L,we,se</sub> ra,EST (m <sup>2</sup> )	A <sub>L,we,ser</sub> ra,OVEST (m <sup>2</sup> )	g <sub>⊥</sub>	F <sub>F</sub>	F <sub>W</sub>	F <sub>(sh,gl)</sub> SUD	F <sub>(sh,gl)</sub> EST	F <sub>(sh,gl)</sub> OVEST		H <sub>s,sud</sub> (kWh/ m <sup>2</sup> )	A <sub>L,cv05,p</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>pi</sub>	U <sub>pi,cv05</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	H <sub>s,orizz</sub> (kWh/ m <sup>2</sup> )	A <sub>L,co3,pa</sub> (m <sup>2</sup> )	α <sub>pa</sub>				U <sub>pa,co3</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	
Gen	46,33	46,33	46,33	0,54	0,8	0,9	0,476	0,61	0,67	0,73	3,56	38,75	0,3	0,126	1,67	52,5	0,6	0,254	0,77	7,7	2.735	
Feb	46,33	46,33	46,33	0,54	0,8	0,9	0,473	0,63	0,60	0,73	3,64	38,75	0,3	0,126	2,33	52,5	0,6	0,254	0,68	7,7	2.663	
Mar	46,33	46,33	46,33	0,54	0,8	0,9	0,480	0,55	0,56	0,73	3,59	38,75	0,3	0,126	3,33	52,5	0,6	0,254	0,58	7,7	3.219	
Apr	46,33	46,33	46,33	0,54	0,8	0,9	0,516	0,53	0,57	0,73	2,77	38,75	0,3	0,126	4,11	52,5	0,6	0,254	0,49	7,7	3.105	
Ott	46,33	46,33	46,33	0,54	0,8	0,9	0,453	0,52	0,57	0,73	4	38,75	0,3	0,126	2,94	52,5	0,6	0,254	0,65	7,7	3.237	
Nov	46,33	46,33	46,33	0,54	0,8	0,9	0,462	0,56	0,71	0,73	3,56	38,75	0,3	0,126	1,78	52,5	0,6	0,254	0,74	7,7	2.559	
Dic	46,33	46,33	46,33	0,54	0,8	0,9	0,453	0,62	0,66	0,73	3,16	38,75	0,3	0,126	1,42	52,5	0,6	0,254	0,79	7,7	2.315	
																						19.833

**Tab.9.28 Apporto solare indiretto attraverso al surriscaldamento degli spazi soleggiati**

**9.2.6.2 Apporto solare diretto attraverso serra solare**

$$Q_{SI,S} = N \cdot \left( g_{\perp,we} \cdot (1 - F_F)_{we} \cdot F_W \cdot F_{(sh,gl)} \right) \cdot \sum_{k=1}^{N_{wi}} \left( g_{\perp,wi} \cdot (1 - F_F)_{wi} \cdot F_W \cdot A_{L,wi} \cdot F_S \cdot \bar{H}_{s,pi} \right)_k$$

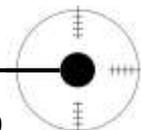
in cui:

A<sub>L,we,i</sub> superficie lorda del serramento i-esimo posto tra lo spazio a temperatura controllata e quello soleggiato, [m<sup>2</sup>].

Gli altri termini sono noti dal paragrafo precedente.

	N	h	g <sub>⊥</sub>	1-F <sub>F</sub>	F <sub>W</sub>	F <sub>(sh,gl)</sub>	A <sub>L,wi,serra</sub> (m <sup>2</sup> )	F <sub>S</sub>	H <sub>s,sud</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	Q <sub>SI,S</sub> (kWh)
Gen	31	24	0,54	0,8	0,9	0,476	56,7	0,8	3,56	2.080
Feb	28	24	0,54	0,8	0,9	0,473	56,7	0,7	3,64	1.687
Mar	31	24	0,54	0,8	0,9	0,480	56,7	0,6	3,59	1.593
Apr	30	24	0,54	0,8	0,9	0,516	56,7	0,5	2,77	1.080
Ott	31	24	0,54	0,8	0,9	0,453	56,7	0,7	4	1.877
Nov	30	24	0,54	0,8	0,9	0,462	56,7	0,7	3,56	1.878
Dic	31	24	0,54	0,8	0,9	0,453	56,7	0,8	3,16	1.803
										11.999

**Tab.9.29 Apporto solare diretto dovuto al surriscaldamento degli spazi soleggiati**



## 9.2.7 Bilancio energetico dell'edificio

### 9.2.7.1 Equazione di bilancio invernale (senza serra)

La procedura di calcolo permette di determinare il fabbisogno annuo di energia termica (dell'involucro) per il riscaldamento o per la climatizzazione invernale. Esso può essere definito come la quantità di energia termica idealmente richiesta dall'involucro edilizio, nel corso della stagione di riscaldamento, in regime di attivazione continuo dell'impianto.

Il regime di attivazione continuo prevede il mantenimento di una temperatura interna di ogni singola zona costante nelle 24 ore; si assumono costanti anche il livello di occupazione, gli apporti interni e i ricambi d'aria.

La procedura determina le dispersioni che avvengono (per trasmissione e per ventilazione) attraverso l'involucro edilizio, a fronte della temperatura interna fissata e della temperatura dell'aria esterna. Sottraendo dalle dispersioni gli apporti gratuiti (interni e solari) effettivamente utilizzati (attraverso il fattore di utilizzazione), si ottiene il fabbisogno di energia utile, ovvero la quantità di calore che l'impianto deve fornire all'ambiente per mantenere, all'interno dell'edificio, le condizioni prefissate di temperatura.

$$Q_{NH} = \max [0; (Q_T + Q_V - Q_{SE,O}) - \eta_{G,H} \cdot (Q_I + Q_{SI})]$$

$Q_{NH}$  fabbisogno di energia termica sensibile di riferimento per il riscaldamento o la climatizzazione invernale della zona considerata, [kWh];

$Q_T$  quantità di energia dispersa per trasmissione tra l'interno e l'ambiente circostante, calcolata al paragrafo 9.2.1 [kWh];

$Q_V$  quantità di energia di riferimento dispersa per ventilazione tra l'interno e l'ambiente circostante, calcolata al paragrafo 9.2.2 [kWh];

$Q_{SE,O}$  quantità di energia solare assorbita dai componenti opachi e trasferita alla zona interna, calcolata al paragrafo 9.2.5 [kWh];

$Q_I$  quantità di energia gratuita dovuta ad apparecchiature elettriche e persone, calcolata al paragrafo 9.2.3 [kWh];

$Q_{SI}$  quantità di energia gratuita dovuta alla radiazione solare entrante attraverso le superfici trasparenti rivolte direttamente verso l'ambiente esterno, calcolata al paragrafo 9.2.4 [kWh];

$\eta_{G,H}$  fattore di utilizzazione di riferimento degli apporti energetici gratuiti.

Non tutti gli apporti gratuiti possono essere sfruttati ai fini del fabbisogno energetico. Quando gli apporti sono (nel valore istantaneo) troppo grandi rispetto alle dispersioni c'è il rischio che questi abbiano come effetto un eccessivo surriscaldamento dell'ambiente interno. Questo è tanto più vero quanto minore è la capacità dell'edificio ad accumulare velocemente l'energia resa disponibile gratuitamente. La capacità termica si traduce, dunque, nella capacità di applicare la disponibilità istantanea di calore su un tempo più lungo. Il fattore di utilizzazione è dato dalla relazione:

$$\eta_{G,H} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

$$\gamma_H = \frac{Q_I + Q_{SI} + Q_{SLS}}{Q_r + Q_V - Q_{SE,O}} \text{ rapporto apporti/perdite nel mese;}$$

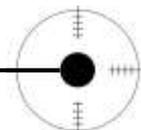
$$a_H = 1 + \frac{\tau_H}{15}$$

$$\tau_H = \frac{C_m \times A_{tot}}{3,6 \cdot (H_T + H_V)}$$

$\tau_H$  costante di tempo [h]  
 $C_m$  capacità termica per unità di superficie interna, [kJ/m<sup>2</sup>K]

	$C_m$ (kJ/m <sup>2</sup> K)	$A_{tot}$ (m <sup>2</sup> )	$H_T$ (W/K)	$H_V$ (W/K)	$\tau_H$ (h)	$a_H$	$\gamma_H$	$\eta_{G,H}$
Gen	71	1650,65	536,47	147,34	47,61	4,174	0,44	0,982
Feb	71	1650,65	536,47	147,34	47,61	4,174	0,48	0,975
Mar	71	1650,65	536,47	147,34	47,61	4,174	0,62	0,945
Apr	71	1650,65	536,47	147,34	47,61	4,174	0,87	0,857
Ott	71	1650,65	536,47	147,34	47,61	4,174	1,17	0,740
Nov	71	1650,65	536,47	147,34	47,61	4,174	1,12	0,759
Dic	71	1650,65	536,47	147,34	47,61	4,174	0,60	0,948

**Tab.9.30 Calcolo del fattore di utilizzazione**



	Dispersioni		Apporti			$\eta_{G,H}$	$Q_{NH}$ (kWh) senza serra
	$Q_T$ (kWh)	$Q_V$ (kWh)	$Q_i$ (kWh)	$Q_{Si}$ (kWh)	$Q_{SE,O}$ (kWh)		
Gen	4.725	1.973	1.430	2.600	89,98	0,945	2.801
Feb	3.889	1.624	1.292	2.365	102,08	0,925	2.026
Mar	3.387	1.414	1.430	2.620	145,46	0,856	1.188
Apr	2.185	912	1.384	2.280	153,52	0,708	349
Mag	0	0	1.430	2.902	187,36	0	0
Giu	0	0	1.384	2.971	190,72	0	0
Lug	0	0	1.430	3.342	206,86	0	0
Ago	0	0	1.430	2.735	186,76	0	0
Set	0	0	1.384	2.611	158,85	0	0
Ott	1.811	756	1.430	2.628	126,75	0,570	130
Nov	1.753	732	1.384	2.392	93,78	0,594	148
Dic	3.098	1.294	1.430	2.213	77,17	0,866	1.159
							7.801

**Tab.9.31 Valore del fabbisogno di energia termica sensibile di riferimento per il riscaldamento invernale (senza considerare gli apporti delle serre solari)**

Una volta eseguito il calcolo del fabbisogno mensile, è sufficiente sommare tali fabbisogni per determinare il fabbisogno di riscaldamento invernale dell'involucro,  $Q_{NH}$ . Rapportando tale fabbisogno alla superficie utile, nel caso di edifici residenziali, si ricava immediatamente l'indicatore di prestazione termica  $ET_H$  [kWh/m<sup>2</sup>] (fabbisogno energetico specifico dell'involucro per la climatizzazione invernale). Tale valore rappresenta l'energia che è necessario fornire all'ambiente per mantenere le condizioni di temperatura prefissate all'interno della stagione di riscaldamento convenzionale; tuttavia esso non trova poi corrispondenza con una classe energetica.

$A_{utile}$ (m <sup>2</sup> )	$Q_{NH}$ (kWh) senza serra	$ET_H$ (kWh/m <sup>2</sup> )
545,70	7.801	14,30

**Tab. 9.32 Valore dell'indicatore di prestazione termica  $ET_H$**

**9.2.7.2 Equazione di bilancio invernale (compresa la serra)**

In presenza di serra solare l'equazione del bilancio di energia termica utile è dato da:

$$Q_{NH} = \max\left(0; (Q_T + Q_V - Q_{SE,O} - Q_{SE,S}) - \eta_{G,H} \cdot (Q_I + Q_{SI} + Q_{SI,S})\right)$$

In cui il contributo di energia  $Q_{T,S}$  trasferita per trasmissione attraverso lo spazio soleggiato è considerato incluso nelle dispersioni per trasmissione.

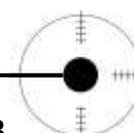
	$C_m$ (kJ/m <sup>2</sup> K)	$A_{tot}$ (m <sup>2</sup> )	$H_T$ (W/K)	$H_V$ (W/K)	$\tau_H$ (h)	$a_H$	$\gamma_H$	$\eta_{G,H}$
Gen	71	1650,65	352,85	147,34	65,08	5,339	0,79	0,923
Feb	71	1650,65	352,85	147,34	65,08	5,339	0,86	0,900
Mar	71	1650,65	352,85	147,34	65,08	5,339	1,07	0,814
Apr	71	1650,65	352,85	147,34	65,08	5,339	1,45	0,658
Ott	71	1650,65	352,85	147,34	65,08	5,339	2,42	0,410
Nov	71	1650,65	352,85	147,34	65,08	5,339	2,36	0,422
Dic	71	1650,65	352,85	147,34	65,08	5,339	1,26	0,731

**Tab.9.33 Calcolo del fattore di utilizzazione**

	Dispersioni		Apporti			Serra			$\eta_{G,H}$	$Q_{NH}$ (kWh) con serra
	$Q_T$ (kWh)	$Q_V$ (kWh)	$Q_I$ (kWh)	$Q_{SI}$ (kWh)	$Q_{SE,O}$ (kWh)	$Q_{SI,S}$ (kWh)	$Q_{SE,S}$ (kWh)	$Q_{T,S}$ (kWh)		
Gen	4.725	1.973	1.430	1.726	83,51	2.080	2.735	978	0,923	27
Feb	3.889	1.624	1.292	1.657	96,11	1.687	2.663	805	0,900	0
Mar	3.387	1.414	1.430	1.944	138,94	1.593	3.219	701	0,814	0
Apr	2.185	912	1.384	1.804	148,65	1.080	3.105	452	0,658	0
Ott	1.811	756	1.430	2.628	119,49	1.877	3.237	375	0,410	0
Nov	1.753	732	1.384	2.392	87,53	1.878	2.559	363	0,422	0
Dic	3.098	1.294	1.430	2.213	71,43	1.803	2.315	641	0,731	0
										27

**Tab.9.34 Valore del fabbisogno di energia termica sensibile di riferimento per il riscaldamento invernale considerando gli apporti delle serre solari**

Confrontando i valori ottenuti nel caso senza serra solare e quello in presenza della stessa si può notare come gli apporti di energia solare garantiti dalla presenza di uno spazio soleggiato addossato all'edificio possano soddisfare il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento invernale in quanto gli apporti solari, mensilmente, superano le dispersioni.



### 9.2.7.3 Equazione di bilancio estivo

La procedura di calcolo permette di determinare il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento o per la climatizzazione estiva. Esso può essere definito come la quantità di energia termica idealmente richiesta dall'involucro edilizio, nel corso della stagione di raffrescamento, in regime di attivazione continuo dell'impianto.

La durata della stagione di raffrescamento, a differenza della durata della stagione di riscaldamento, non è definita a priori per le varie zone climatiche: il calcolo viene effettuato per tutti i mesi dell'anno. I limiti del fabbisogno di energia termica dell'involucro per il raffrescamento o la climatizzazione estiva risultano essere definiti dal valore positivo del fabbisogno (questo vuol dire che laddove esiste un fabbisogno per il riscaldamento non potrà esserci contemporaneamente anche un fabbisogno di raffrescamento).

La procedura determina le dispersioni che avvengono attraverso l'involucro edilizio, a fronte della temperatura interna fissata e della temperatura dell'aria esterna. Tali dispersioni saranno sottratte agli apporti gratuiti, per ottenere il fabbisogno di energia utile, ovvero la quantità di calore che deve essere sottratto dall'ambiente (tramite l'impianto) per mantenere, all'interno dell'edificio, le condizioni prefissate di temperatura.

Il fattore di utilizzazione è in questo caso riferito alle dispersioni, e non agli apporti, il fabbisogno è quindi dato dalla relazione:

$$Q_{NC} = \max\left(0; (Q_I + Q_{SI}) - \eta_{L,C} \cdot (Q_T + Q_V + Q_{SE,O})\right)$$

Tale fattore di utilizzazione delle dispersioni tiene in considerazione il fatto che solo parte di tale scambio termico è effettivamente utilizzato per ridurre i fabbisogni di raffrescamento; lo scambio termico per trasmissione e ventilazione "non utilizzato" si manifesta durante periodi o intervalli (per esempio di notte) quando non ha alcun effetto sui fabbisogni di raffrescamento, che si manifestano in realtà durante altri periodi o momenti (per esempio di giorno).

Lo scambio termico per trasmissione e ventilazione nell'equazione di bilancio termico è calcolato sulla base della temperatura interna di regolazione per il raffrescamento, ignorando così il fatto che questo valore di regolazione nella realtà non sempre si raggiunge. Il fattore di utilizzazione delle dispersioni fornisce appunto la correzione necessaria. Con questa formulazione si mostra esplicitamente come lo scambio termico contribuisca alla riduzione dei fabbisogni di energia termica dell'edificio per il raffrescamento.

	$C_m$ (kJ/m <sup>2</sup> K)	$A_{tot}$ (m <sup>2</sup> )	$H_T$ (W/K)	$H_V$ (W/K)	$\tau_H$ (h)	$a_H$	$V_H$	$\eta_{L,C}$
Gen	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	0,92	1,65
Feb	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	0,99	1,59
Mar	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	1,21	1,45
Apr	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	1,61	1,30
Mag	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	1,11	1,51
Giu	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	1,90	1,24
Lug	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	3,72	1,09
Ago	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	3,03	1,12
Set	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	1,59	1,31
Ott	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	2,43	1,16
Nov	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	2,36	1,17
Dic	71	1650,65	352,85	147,34	25,67	2,711	1,26	1,42

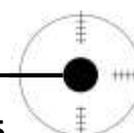
**Tab.9.35 Calcolo del fattore di utilizzazione**

Per come è definito il fabbisogno, se le dispersioni (sfruttate) dovessero essere maggiori degli apporti, si considera un valore di fabbisogno nullo. Per definizione, infatti, il fabbisogno di energia utile rappresenta la quantità di calore che è necessario estrarre dall'ambiente per mantenere la temperatura fissata.

	Dispersioni		Apporti			Serra			$\eta_{L,C}$	$Q_{NC}$ (kWh)
	$Q_T$ (kWh)	$Q_V$ (kWh)	$Q_i$ (kWh)	$Q_{Si}$ (kWh)	$Q_{SE,O}$ (kWh)	$Q_{Si,S}$ (kWh)	$Q_{SE,S}$ (kWh)	$Q_{T,S}$ (kWh)		
Gen	4.725	1.973	1.430	2.600	89,98	2.080	2.735	978	1,65	0
Feb	3.889	1.624	1.292	2.365	102,08	1.687	2.663	805	1,59	0
Mar	3.387	1.414	1.430	2.620	145,46	1.593	3.219	701	1,45	0
Apr	2.185	912	1.384	2.280	153,52	1.080	3.105	452	1,30	0
Mag	2.888	1.206	1.430	2.902	187,36	0	0	0	1,51	0
Giu	1.753	732	1.384	2.971	190,72	0	0	0	1,24	1.044
Lug	1.050	438	1.430	3.342	206,86	0	0	0	1,09	2.930
Ago	1.103	460	1.430	2.735	186,76	0	0	0	1,12	2.208
Set	1.880	785	1.384	2.611	158,85	0	0	0	1,31	309
Ott	1.811	756	1.430	2.628	126,75	1.877	3.237	375	1,16	920
Nov	1.753	732	1.384	2.392	93,78	1.878	2.559	363	1,17	754
Dic	3.098	1.294	1.430	2.213	77,17	1.803	2.315	641	1,42	0
										8.166

**Tab.9.36 Valore del fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento estivo**

Analizzando l'indicatore di prestazione termica  $ET_C$ , [kWh/m<sup>2</sup>], è possibile trarre alcune considerazioni. Il valore rappresenta l'energia che è necessario fornire all'ambiente per mantenere le condizioni di temperatura prefissate all'interno della stagione di raffrescamento.



$A_{\text{utile}}$ (m <sup>2</sup> )	$Q_{\text{NH}}$ (kWh) senza serra	$ET_{\text{H}}$ (kWh/m <sup>2</sup> )
545,70	8.166	14,96

**Tab.9.37** Valore dell'indicatore di prestazione termica  $ET_{\text{H}}$ 

Nel periodo estivo gli apporti termici interni e solari diventano la causa fondamentale dell'esigenza di raffrescamento, poiché contribuiscono a surriscaldare l'ambiente confinato.

L'incremento dei carichi interni può essere smaltito efficacemente attraverso l'adeguata ventilazione degli ambienti. Un successivo contributo alla riduzione dei carichi di condizionamento è fornito dalle dispersioni attraverso l'involucro dato che, per il modello di calcolo adottato, il gradiente di temperatura nei mesi estivi è tale da determinare valori medi mensili di temperatura dell'aria interna maggiori rispetto a quelli della temperatura dell'aria esterna. Infatti, nel clima italiano, fatta eccezione per poche città al Sud, la temperatura media mensile dell'aria esterna è normalmente inferiore alla temperatura interna di progetto estiva (assunta essere pari a 26°C). Queste differenze di temperatura sono normalmente molto modeste e di conseguenza le dispersioni per trasmissione e ventilazione sono di entità limitata.

L'indicatore di prestazione termica  $ET_{\text{C}}$ , infine, trova corrispondenza nella classificazione energetica per la climatizzazione estiva o il raffrescamento.

### 9.2.8 Calcolo della temperatura nella serra solare

La temperatura di una zona non servita da impianto di riscaldamento e confinante con altri ambienti a temperatura controllata e l'ambiente esterno è determinata attraverso la seguente relazione:

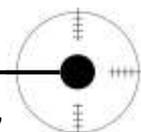
$$\theta_u = \frac{\left(\frac{Q_{s1} + Q_i}{\Delta t}\right) + \sum_{j=1}^N (H_{T,j,u} \theta_j + H_{V,j,u} \theta_j)}{\sum_{j=1}^N (H_{T,j,u} + H_{V,j,u})} = \frac{\left(\frac{Q_{s1} + Q_i}{\Delta t}\right) + \sum_{j=1}^{N_T} (H_{T,j,u} \theta_j) + \sum_{j=1}^{N_V} (H_{V,j,u} \theta_j)}{\sum_{j=1}^{N_T} (H_{T,j,u}) + \sum_{j=1}^{N_V} (H_{V,j,u})}$$

in cui:

- $Q_{s1}$  energia solare mensile entrante nella serra attraverso i serramenti;
- $Q_i$  energia mensile entrante nella serra dovuta a persone cose, [kWh];
- $H_{T,j,u}$  coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona j-esima (compreso l'ambiente esterno) e la serra solare (u), [W/K]
- $H_{V,j,u}$  coefficiente di scambio termico per ventilazione tra la zona j-esima limitrofa (compreso l'ambiente esterno) e la serra solare (u), [W/K]

	$N_{gg}$	$Q_{s1}$ (kWh)	$Q_{s1}$ (Wh)	$Q_i$ (Wh)	$Q_i$ (kWh)	$H_{T,int-serra}$ (W/K)	$H_{V,int-serra}$ (W/K)	$t_i$ (K)	$H_{T,serra-est}$ (W/K)	$H_{V,serra-est}$ (W/K)	$t_e$ (K)	$t_{serra}$ (K)	$t_{serra}$ (°C)
Gen	31	315,16	315.164	24,98	24.979	21,36	21,05	293,15	6,198	14,18	275,15	294,59	21,44
Feb	28	289,38	289.380	22,56	22.562	21,36	21,05	293,15	6,198	14,18	276,75	295,22	22,07
Mar	31	323,39	323.393	24,98	24.979	21,36	21,05	293,15	6,198	14,18	280,25	296,42	23,27
Apr	30	269,26	269.256	24,17	24.174	21,36	21,05	293,15	6,198	14,18	284,55	296,85	23,70
Ott	31	328,18	328.177	24,98	24.979	21,36	21,05	293,15	6,198	14,18	286,25	298,47	25,32
Nov	30	291,59	291.592	24,17	24.174	21,36	21,05	293,15	6,198	14,18	286,25	297,90	24,75
Dic	31	259,26	259.260	24,98	24.979	21,36	21,05	293,15	6,198	14,18	281,35	295,41	22,26

Tab.9.38 Calcolo della temperatura all'interno delle serre solari



### **9.3 Predisposizione impiantistica**

La progettazione di un edificio non può prescindere, in particolare oggi, da un'adeguata progettazione impiantistica. Progettazione impiantistica e risparmio energetico, infatti, sono aspetti strettamente connessi alle condizioni di comfort di cui l'utenza deve beneficiare in un determinato ambiente.

Per questo motivo è importante, a monte della progettazione impiantistica, effettuare un dettagliato calcolo dei fabbisogni dell'edificio; in questo modo, sarà possibile eseguire una progettazione ad hoc degli impianti in base alle necessità effettive dell'edificio e ottimizzando il risparmio energetico attraverso un adeguato dimensionamento degli stessi.

I risultati ottenuti ai paragrafi precedenti hanno condotto un ruolo fondamentale nel progetto impiantistico.

Dall'osservazione dei valori di fabbisogno di energia termica sensibile di riferimento per il riscaldamento si è notato come, grazie agli apporti solari garantiti dalla presenza delle serre captanti vedi Tab.9.33, l'edificio sia praticamente autosufficiente dal punto di vista termico nella fase invernale. Tuttavia, poiché il calcolo del fabbisogno avviene sulla base delle temperature medie mensili, bisogna tener conto anche dei giorni in cui le temperature scendono al di sotto o superano quelle considerate; per questo motivo viene calcolato il carico termico di picco.

Per quanto riguarda la fase estiva, invece, il fabbisogno di energia termica sensibile per il raffrescamento è pari a 8.166 kWh/anno vedi Tab.9.36.

A fronte di questi risultati si è deciso di dotare l'edificio di un sistema radiante a pavimento per il riscaldamento invernale ed eventualmente il raffrescamento estivo. Il riscaldamento del fluido verrà garantito insieme a quello dell'acqua calda ad uso sanitario da una pompa di calore.

Verrà predisposto inoltre un impianto di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) atto a garantire i ricambi d'aria senza eccessive dispersioni, l'impianto inoltre potrà essere utilizzato per riscaldamento e raffrescamento durante le stagioni in cui le temperature rimangono comprese tra quelle medie mensili.

Gli impianti predisposti sono alimentati elettricamente, per questo motivo, si è deciso di dotare l'edificio di un impianto fotovoltaico disposto sulla copertura, in modo da coprire parte dei fabbisogni energetici dell'edificio.

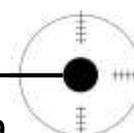
**9.3.1 Fabbisogno di energia elettrica per elettrodomestici e illuminazione**

Per stimare l'energia elettrica per elettrodomestici e illuminazione necessaria all'intero edificio è stata ipotizzata la presenza di una serie di apparecchiature elettriche, scelte tra quelle a basso consumo, che comunemente si trovano in casa con relativi utilizzi.

	n°	Potenza (watt)	Consumo (kWh/a)	uso medio
Asciugatrice	1	900	200,00	2 volte/sett (6 mesi)
Asciugacapelli	1	1800	94,00	1 h/sett
Aspirapolvere	1	1000	39,00	45 min/sett
Frigidocongela-tore	1	120	244,00	continuo
Cappa aspirante	1	100	21,00	4 h/sett
Cucina ad induzione	1	6600	130,00	2 fuochi 45 min/giorno
Ferro da stiro	1	2200	115,00	1 h/sett
Forno elettrico	1	2000	65,00	1 h 20 min/sett
Lavastoviglie	1	2100	85,00	1 lavaggio/giorno
Lavatrice	1	1000	140,00	2 lavaggi/sett
Macchina del caffè	1	1700	103,00	10 min/giorno
PC	2	200	21,00	14 h/sett
Radiosveglia	2	10	87,00	continuo
Robot da cucina	1	800	10,00	15 min/sett
Stereo	1	150	80,00	10 ore/sett
Televisore	2	70	60,00	15 h/sett
Tostapane	1	800	11,00	15 min/sett
			1.505	

**Tab.9.39 Consumo medio degli elettrodomestici più comuni**

Analogamente a quanto fatto per le apparecchiature elettriche, per stimare l'energia elettrica necessaria per l'illuminazione, sono state conteggiate le lampadine, scelte tra quelle LED a basso consumo, per ognuna delle due tipologie abitative presenti. Le lampadine sono state contate prendendo in considerazione due diverse potenze: lampadina LED da 16W (corrispondente ad una lampadina tradizionale ad incandescenza da ~75W) per l'illuminazione dei locali e lampadine LED da 4W (corrispondenti a 40W) per i piccoli punti luce quali scrivani, abat-jour, etc.



Unità 42 m <sup>2</sup>	n°	Potenza (watt)	Consumo (kWh/a)	uso medio
Led 16W (~75W)	4	16	140	6h/giorno
Led 4W (~40W)	4	4	5,8	1h/giorno
			145,8	

**Tab.9.40 Consumo annuo per l'illuminazione relativo all'unità da 42m<sup>2</sup>**

Unità 73,6 m <sup>2</sup>	n°	Potenza (watt)	Consumo (kWh/a)	uso medio
Led 16W (~75W)	6	16	210	6h/giorno
Led 4W (~40W)	8	4	12	1h/giorno
			222	

**Tab.9.41 Consumo annuo per l'illuminazione relativo all'unità da 73,6 m<sup>2</sup>**

	n°	Consumo (kWh/a)	Consumo tot (kWh/a)
Elettrodomestici	7	1.505	10.535
Illuminazione (unità 42 m <sup>2</sup> )	2	145,8	291,60
Illuminazione (unità 73,6 m <sup>2</sup> )	5	222	1.110
			11.937

**Tab.9.42 Fabbisogno annuale per elettrodomestici e illuminazione**

### **9.3.2 VMC con recupero di calore**

I sistemi di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) sono tecnologie che permettono la ventilazione continuativa delle residenze “controllando” le portate d’aria di rinnovo secondo le esigenze determinate in fase di progetto.

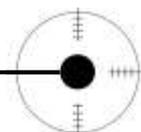
Il principio di ventilazione consiste nell’immissione di aria nuova e nella simultanea estrazione dell’aria viziata; il recuperatore di calore consente lo scambio di calore tra l’aria in uscita e quella pulita in ingresso, minimizzando così i consumi per portarla alla temperatura voluta.

I sistemi di VMC possono essere agevolmente proposti anche per l’installazione condominiale centralizzata. In un edificio costituito da più unità immobiliari, di solito con schemi ripetitivi, si installa un unico ventilatore da cui si dirama una serie di canali che collega le colonne montanti. Nel caso dei sistemi a doppio flusso con recuperatore di calore, gli scambiatori sono generalmente situati a livello di singolo alloggio, cosicché ogni condomino recupera calore in relazione alla temperatura mantenuta nel suo alloggio.



**Fig.9.43 Schema di funzionamento di VMC a doppio flusso con recuperatore di calore**

L’utilizzo di sistemi meccanici per il ricambio dell’aria negli alloggi contribuisce al contenimento delle dispersioni termiche dovute ai processi di ventilazione. L’apertura delle finestre, contrariamente a quanto si crede, deve essere ritenuta la modalità di aerazione più dispendiosa di energia perché le quantità dei ricambi dell’aria non possono essere “controllate” e, durante i seppur brevi periodi di apertura dei serramenti nella stagione invernale, le dispersioni di calore sono molto elevate. Ecco perché semplici studi energetici fanno corrispondere ai sistemi di ventilazione per apertura delle finestre ricambi attorno a 1,2 vol/h contro valori standard dei sistemi meccanici di 0,5 vol/h, ritenuti ottimali. L’impiego di un sistema con recupero di calore statico, solitamente dimensionato per un ricambio pari a 0,5 vol/h è paragonabile, in termini di consumi, ad un sistema a semplice flusso che effettui un ricambio di 0,25 vol/h.



Il dimensionamento dell'impianto sarà fatto imponendo un ricambio di aria pari a 0,5 vol/h 24h/24 per la destinazione d'uso residenze, valore che garantisce la salubrità degli ambienti a fronte della dispersione di calore minima possibile.

	A (m <sup>2</sup> )	h (m)	V (m <sup>3</sup> )
P <sub>t</sub>	68,8	2,7	185,76
P <sub>1</sub>	236	2,7	637,2
P <sub>2</sub>	184,6	2,7	498,42
P <sub>3</sub>	145,6	2,7	393,12

**Tab.9.44 Calcolo del volume lordo per ogni piano**

V <sub>tot</sub> (m <sup>3</sup> )	Ricambio (vol/h)	Portata (m <sup>3</sup> /h)
1714,5	0,5	857,25

**Tab.9.45 Calcolo della portata d'aria necessaria al ricambio dell'interno edificio**

Per il dimensionamento dell'impianto ci si è basati sulle metrature lorde dei locali, al fine di lasciare un discreto margine per le perdite di carico dell'aria dovute all'attrito dei tubi.

A fronte della portata d'aria di ricambio stimata, si è deciso di suddividere il fabbisogno su due macchinari in modo da rendere più agevole la fase di messa in opera e di ottimizzare, data la notevole lunghezza dell'edificio, la distribuzione dei canali di aerazione per evitare eccessive perdite.

Riportiamo ora le schede tecniche degli impianti scelti per l'installazione:

tecnosystems

zehnder

Zehnder ComfoAir 550

Recuperatore ad altissima efficienza per sistemi di ventilazione comfort



Portata massima 550 m<sup>3</sup>/h - 240 Pa

Principio di funzionamento del ComfoAir

Un tipico sistema di ventilazione comfort consiste in:

- Condotti e terminali di aspirazione ed espulsione dell'aria viziata e di aspirazione e di immissione aria esterna
- Recuperatore di calore sensibile (o entalpico) ComfoAir

L'aria viziata (A) è estratta dai locali e dai locali attraverso un sistema di condotti e terminali di aspirazione; lo scambiatore di calore (B) recupera il calore dall'aria di espulsione. L'aria fresca di immissione viene aspirata in C. Lo scambiatore di calore riscalda l'aria. L'aria pulita e trattata e riscaldata/raffreddata dallo scambiatore viene immessa di nuovo nel locale o nei locali (D). Durante la stagione invernale, l'aria viziata proveniente dai locali ventilati viene raffreddata durante il passaggio, nello scambiatore, giungendo alla formazione di condensa drenata all'esterno dello scambiatore attraverso un canale di scarico posto inferiormente al ComfoAir. Un tubo sifonato deve essere previsto sul canale di scarico.

Lo scambiatore di calore in controcorrente presenta un alto rendimento termico non richiedendo post riscaldamento dell'aria di immissione,

Il sistema di ventilazione comfort contribuisce all'efficienza energetica, ad un clima interno salubre e ad un ottimo ambiente interno; durante la stagione invernale, previene inoltre problemi di accumulo e condensazione dell'umidità sulle superfici fredde.

Il ComfoAir è automaticamente protetto contro il congelamento dello scambiatore dalla presenza di sensori di temperatura che interagiscono con i motori dei ventilatori.

Dati Tecnici

Valori relativi ai ventilatori			
	Portata / Prevalenza	potenza	
Posizione Low	150 m <sup>3</sup> /h a 23 Pa	27	W
Posizione Medium	250 m <sup>3</sup> /h a 77 Pa	68	W
Posizione High	450 m <sup>3</sup> /h a 323 Pa	313	W
Posizione Low	150 m <sup>3</sup> /h a 23 Pa	0,23	A
Posizione Medium	250 m <sup>3</sup> /h a 77 Pa	0,55	A
Posizione High	450 m <sup>3</sup> /h a 323 Pa	2,21	A
Massimo (ind.)	550 m <sup>3</sup> /h a 240 Pa	365 - 2,56	W - A

Alimentazione elettrica

Voltaggio richiesto	220-230/50	V/Hz
Cos Φ	0,48-0,62	-

Emissioni acustiche (L<sub>w,a=10</sub> "W)

Immissione			
Posizione Low	150 m <sup>3</sup> /h a 23 Pa	50	dB(A)
Posizione Medium	250 m <sup>3</sup> /h a 77 Pa	63	dB(A)
Posizione High	450 m <sup>3</sup> /h a 323 Pa	78	dB(A)

Scarico

Posizione Low	150 m <sup>3</sup> /h a 23 Pa	39	dB(A)
Posizione Medium	250 m <sup>3</sup> /h a 77 Pa	49	dB(A)
Posizione High	450 m <sup>3</sup> /h a 323 Pa	63	dB(A)

Rendimento Termico	95	%
Massa	47	kg

Scambiatore ad alta efficienza energetica	Polistirene
Interno	(E)PP/PA/PA

By-pass per "free cooling"

Il ComfoAir è equipaggiato con Bypass per free-cooling. Quando il Bypass (E) si attiva automaticamente, sulla base delle temperature dell'aria esterna ed interna, la maggior parte dell'aria di estrazione viene convogliata all'esterno del recuperatore. Questo consente di rinfrescare i locali durante le ore notturne in estate. Questo sistema viene chiamato free cooling.

Schema di funzionamento del sistema

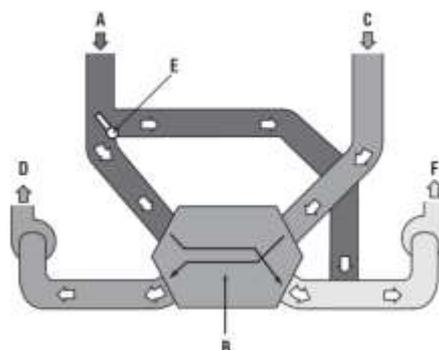
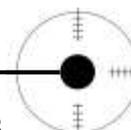


Fig. 3C A-Aria viziata estratta, B-Scambiatore di calore, C-Aria fresca immessa nello scambiatore, D- Aria pulita immessa negli ambienti, E-Bypass, F- Aria espulsa in atmosfera

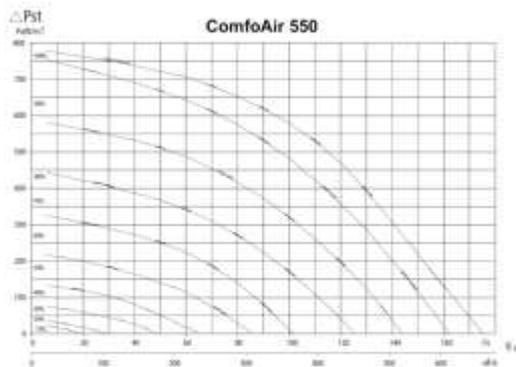
Fig.9.46 Scheda tecnica Zehnder ComfoAir 550



comfosystems

zehnder

**Diagramma portate – prevalenze disponibili**



Qualora l'ambiente preveda compartimentazioni, occorrerà prevedere delle fessure sotto o sopra le partizioni interne per garantire un corretto flusso d'aria.

Impianti complessi con più punti di estrazione ed immissione, devono essere accuratamente progettati, prevedendo bocchette di immissione ed espulsione dell'aria, in modo da garantire l'equilibrio tra aria di immissione e aria di espulsione.

I ventilatori del ComfoAir 550 sono azionati da motori a controllo elettronico, estremamente efficienti.

I filtri utilizzati sono della classe G4 / F7.

Lo scambiatore di calore utilizza l'aria esterna prelevata per raffreddare l'aria viziata proveniente dall'interno dell'abitazione. Ciò provoca la formazione di condensa all'interno dello scambiatore. Tale condensa viene drenata all'esterno dello scambiatore attraverso un canale di scarico posto inferiormente al ComfoAir.

Un tubo sifonato deve essere previsto sul canale di scarico.

Il Modello **ComfoAir R** prevede l'immissione aria dal lato destro.  
Il Modello **ComfoAir L** prevede l'immissione aria dal lato sinistro

**Collegamento dei condotti dell'aria**

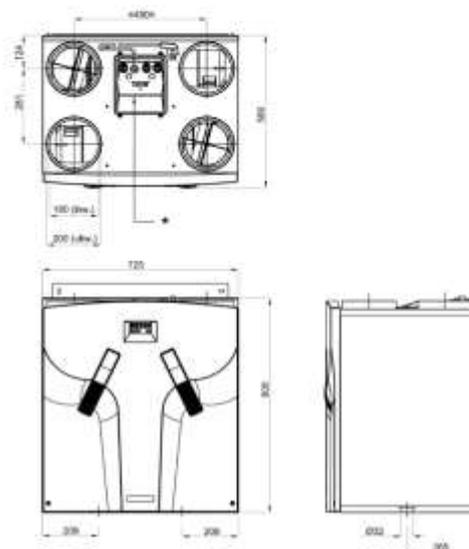
Il collegamento dei condotti, di diametro minimo di 160 mm, deve avvenire con una minima resistenza d'aria e non presentare perdite. Si raccomanda di utilizzare il sistema di ventilazione in abbinamento a griglie e/o valvole di immissione ed espulsione opportunamente progettate e dimensionate.

I condotti di immissione ed espulsione aria esterna devono essere isolati nel passaggio tetto/muri e fino al recuperatore; per evitare la formazione di condensa sulla parete esterna del condotto.  
Il condotto di estrazione dell'aria deve presentare un'inclinazione verso il recuperatore.

**Collegamenti elettrici**

Il ComfoAir 550 è dotato di cavo per la connessione elettrica. Il collegamento deve essere conforme alla norma EN 50110 ed ai regolamenti localmente applicati. L'alimentazione elettrica è 220 V (fase, neutro, collegamento a terra).

**Dimensioni**



**Manutenzione per l'utente**

La manutenzione per l'utente è limitata alla periodica pulizia e sostituzione dei filtri: i filtri possono puliti con un aspirapolvere. Due volte all'anno, il display mostrerà la scritta "Fil" seguita da "IER" come memorandum sulla pulizia dei filtri. Controllare una volta l'anno che il sifone ed il condotto interno ed esterno di drenaggio condensa sia libero. Controllare periodicamente anche lo scambiatore e le ventole. Se è necessario pulire lo scambiatore, immergere per il tempo necessario lo scambiatore in acqua calda (al max 40 °C) contenente una soluzione di detergente non aggressivo. In seguito sciacquare lo scambiatore con acqua calda pulita. Utilizzare una spazzola morbida per pulire le pale delle ventole. Utilizzare un aspirapolvere per rimuovere la polvere accumulata all'interno del ComfoAir.

**Garanzia**

Il ComfoAir 550 è stato progettato e prodotto per applicazioni in "Sistemi di ventilazione controllata". Ogni altro utilizzo è considerato come "non corretto utilizzo" e può causare danni, per i quali il produttore non può essere considerato responsabile. Le condizioni di garanzia sono contenute nel "Manuale di installazione, uso e manutenzione" scaricabile dal nostro sito web.

**Opzioni**



Zehnder Tecnosystems S.r.l.  
Viale Europa, 73  
IT - 41011 Campogalliano (MO)  
Tel +39 059 9786200  
Fax +39 059 9786201

www.comfosystems.it  
info@comfosystems.it



Fig.9.47 Scheda tecnica Zehnder ComfoAir 550

Zehnder ComfoAir 350

Recuperatore ad altissima efficienza per sistemi di ventilazione comfort



Portata massima 350 m<sup>3</sup>/h - 240 Pa

Principio di funzionamento del ComfoAir

Un tipico sistema di ventilazione comfort consiste in:

- Condotti e terminali di aspirazione ed espulsione dell'aria viziata e di aspirazione e di immissione aria esterna
- Recuperatore di calore sensibile (o entalpico) ComfoAir

L'aria viziata (A) è estratta dal locale o dai locali attraverso un sistema di condotti e terminali di aspirazione; lo scambiatore di calore (B) recupera il calore dall'aria di espulsione. L'aria fresca di immissione viene aspirata in C. Lo scambiatore di calore riscalda l'aria. L'aria pulita e trattata e riscaldata/raffreddata dallo scambiatore viene immessa di nuovo nel locale o nei locali (D). Durante la stagione invernale, l'aria viziata proveniente dai locali ventilati viene raffreddata durante il passaggio, nello scambiatore, giungendo alla formazione di condensa drenata all'esterno dello scambiatore attraverso un canale di scarico posto inferiormente al ComfoAir. Un tubo sifonato deve essere previsto sul canale di scarico.

Lo scambiatore di calore in controcorrente presenta un alto rendimento termico non richiedendo post riscaldamento dell'aria di immissione,

Il sistema di ventilazione comfort contribuisce all'efficienza energetica, ad un clima interno salubre e ad un ottimo ambiente interno; durante la stagione invernale, previene inoltre problemi di accumulo e condensazione dell'umidità sulle superfici fredde.

Il ComfoAir è automaticamente protetto contro il congelamento dello scambiatore dalla presenza di sensori di temperatura che interagiscono con i motori dei ventilatori.

Dati Tecnici

Valori relativi ai ventilatori			
	Portata / Prevalenza	potenza	
Posizione Low	120 m <sup>3</sup> /h a 30 Pa	21	W
Posizione Medium	180 m <sup>3</sup> /h a 65 Pa	44	W
Posizione High	260 m <sup>3</sup> /h a 140 Pa	105	W
Posizione Low	120 m <sup>3</sup> /h a 30 Pa	0,17	A
Posizione Medium	180 m <sup>3</sup> /h a 65 Pa	0,35	A
Posizione High	260 m <sup>3</sup> /h a 140 Pa	0,81	A
Massimo (ind.)	350 m <sup>3</sup> /h a 240 Pa	243 - 1,77	W - A

Alimentazione elettrica

Vtaggio richiesto	220-230/50	V/Hz
Cos Φ	0,50-0,60	-

Emissioni acustiche (L<sub>w</sub> a 10" W)

Aspirazione			
Posizione Low	120 m <sup>3</sup> /h a 30 Pa	50	dB(A)
Posizione Medium	180 m <sup>3</sup> /h a 65 Pa	59	dB(A)
Posizione High	260 m <sup>3</sup> /h a 140 Pa	68	dB(A)

Estrazione

Posizione Low	120 m <sup>3</sup> /h a 30 Pa	43	dB(A)
Posizione Medium	180 m <sup>3</sup> /h a 65 Pa	49	dB(A)
Posizione High	260 m <sup>3</sup> /h a 140 Pa	55	dB(A)

Rendimento Termico	95	%
Massa	39	kg

Scambiatore ad alta efficienza energetica Interno	Polistirene (E)PP/PA/PA
---	-------------------------

Versione con by-pass per "free cooling"

Il ComfoAir è equipaggiato con Bypass per free-cooling. Quando il Bypass (E) si attiva automaticamente, sulla base delle temperature dell'aria esterna ed interna, la maggior parte dell'aria di estrazione viene convogliata all'esterno del recuperatore. Questo consente di rinfrescare i locali durante le ore notturne in estate. Questo sistema viene chiamato free cooling.

Schema di funzionamento del sistema

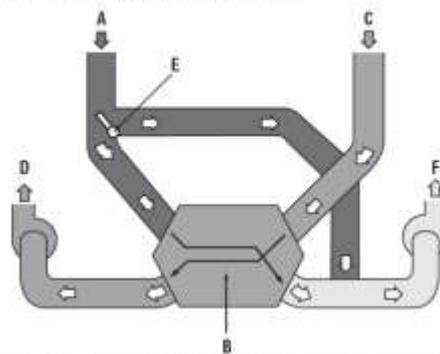
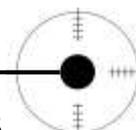


Fig. 3C A-Aria viziata estratta, B-Scambiatore di calore, C-Aria fresca immessa nello scambiatore, D- Aria pulita immessa negli ambienti, E-Bypass, F- Aria espulsa in atmosfera

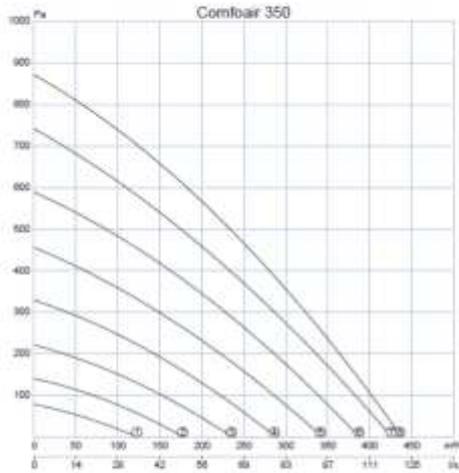
Fig.9.48 Scheda tecnica Zehnder ComfoAir 350



comfosystems

zehnder

**Diagramma portate – prevalenze disponibili**



Qualora l'ambiente preveda compartimentazioni, occorrerà prevedere delle fessure sotto o sopra le partizioni interne per garantire un corretto flusso d'aria.

Impianti complessi con più punti di estrazione ed immissione, devono essere accuratamente progettati, prevedendo bocchette di immissione ed espulsione dell'aria, in modo da garantire l'equilibrio tra aria di immissione e aria di espulsione.

**I ventilatori del ComfoAir 350 sono azionati da motori a controllo elettronico, estremamente efficienti.**

**I filtri utilizzati sono della classe G4 / F7.**

Lo scambiatore di calore utilizza l'aria esterna prelevata per raffreddare l'aria viziata proveniente dall'interno dell'abitazione. Ciò provoca la formazione di condensa all'interno dello scambiatore. Tale condensa viene drenata all'esterno dello scambiatore attraverso un canale di scarico posto inferiormente al ComfoAir.

Un tubo sifonato deve essere previsto sul canale di scarico.

Il Modello **ComfoAir R** prevede l'immissione aria dal lato destro

Il Modello **ComfoAir L** prevede l'immissione aria dal lato sinistro

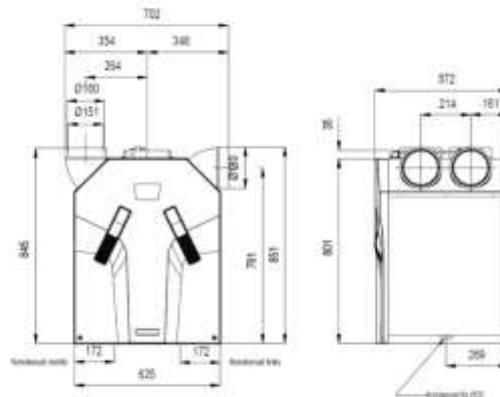
**Collegamento dei condotti dell'aria**

Il collegamento dei condotti, di diametro minimo di 160 mm, deve avvenire con una minima resistenza d'aria e non presentare perdite. Si raccomanda di utilizzare il sistema di ventilazione in abbinamento a griglie e/o valvole di immissione ed espulsione opportunamente progettate e dimensionate. I condotti di immissione ed espulsione aria esterna devono essere isolati nel passaggio tetto/muri e fino al recuperatore; per evitare la formazione di condensa sulla parete esterna del condotto. Il condotto di estrazione dell'aria deve presentare un'inclinazione verso il recuperatore.

**Collegamenti elettrici**

Il ComfoAir 350 è dotato di cavo per la connessione elettrica. Il collegamento deve essere conforme alla norma EN 50110 ed ai regolamenti localmente applicati. L'alimentazione elettrica è 220 V (fase, neutro, collegamento a terra).

**Dimensioni**



**Manutenzione per l'utente**

La manutenzione per l'utente è limitata alla periodica pulizia e sostituzione dei filtri: i filtri possono puliti con un aspirapolvere.

Due volte all'anno, il display mostrerà la scritta "Fil" seguita da "ER" come memorandum sulla pulizia dei filtri. Controllare una volta l'anno che il sifone ed il condotto interno ed esterno di drenaggio condensa sia libero.

Controllare periodicamente anche lo scambiatore e le ventole. Se è necessario pulire lo scambiatore, immergere per il tempo necessario lo scambiatore in acqua calda (al max 40 °C) contenente una soluzione di detergente non aggressivo. In seguito sciacquare lo scambiatore con acqua calda pulita.

Utilizzare una spazzola morbida per pulire le pale delle ventole. Utilizzare un aspirapolvere per rimuovere la polvere accumulata all'interno del ComfoAir.

**Garanzia**

Il ComfoAir 350 è stato progettato e prodotto per applicazioni in "Sistemi di ventilazione controllata". Ogni altro utilizzo è considerato come "non corretto utilizzo" e può causare danni, per i quali il produttore non può essere considerato responsabile. Le condizioni di garanzia sono contenute nel "Manuale di installazione, uso e manutenzione" scaricabile dal nostro sito web.

**Opzioni**



Zehnder Tecnosystems S.r.l.  
Viale Europa, 73  
IT - 41011 Campogalliano (MO)  
Tel +39 059 9796200  
Fax +39 059 9796201

[www.comfosystems.it](http://www.comfosystems.it)  
[info@comfosystems.it](mailto:info@comfosystems.it)



Fig.9.49 Scheda tecnica Zehnder ComfoAir 350

I due macchinari ComfoAir 550 e ComfoAir 350 serviranno, rispettivamente, le unità ad Ovest e le unità ad Est dell'edificio.

	A lorda (m <sup>2</sup> )	h (m)	V (m <sup>3</sup> )			
Unità 1	92,3	2,7	249,21			
Unità 2	51,8	2,7	139,86			
Unità 4	92,3	2,7	249,21	Ricambio (vol/h)	Portata (m <sup>3</sup> /h)	Portata ComfoAir 550 (m <sup>3</sup> /h)
Unità 6	92,3	2,7	249,21			
			887,49	0,5	443,745	550

**Tab.9.50 Unità servite da ComfoAir 550**

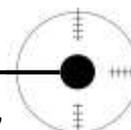
	A lorda (m <sup>2</sup> )	h (m)	V (m <sup>3</sup> )			
Area comune	68,8	2,7	185,76			
Unità 3	92,3	2,7	249,21	Ricambio (vol/h)	Portata (m <sup>3</sup> /h)	Portata ComfoAir 350 (m <sup>3</sup> /h)
Unità 5	92,3	2,7	249,21			
			684,18	0,5	342,09	350

**Tab.9.51 Unità servite da ComfoAir 350**

Vengono calcolati quindi i consumi annuali dei due macchinari considerando un funzionamento quotidiano di 24h/24:

	Ngg	Potenza (W)	Consumo (kWh)
Gen	31	365	271,56
Feb	28	365	245,28
Mar	31	365	271,56
Apr	30	365	262,80
Mag	31	365	271,56
Giu	30	365	262,80
Lug	31	365	271,56
Ago	31	365	271,56
Set	30	365	262,80
Ott	31	365	271,56
Nov	30	365	262,80
Dic	31	365	271,56
			3.197,40

**Tab.9.52 Consumo mensile e annuo ComfoAir 550 in kWh**



	Ngg	Potenza (W)	Consumo (kWh)
Gen	31	243	180,79
Feb	28	243	163,30
Mar	31	243	180,79
Apr	30	243	174,96
Mag	31	243	180,79
Giu	30	243	174,96
Lug	31	243	180,79
Ago	31	243	180,79
Set	30	243	174,96
Ott	31	243	180,79
Nov	30	243	174,96
Dic	31	243	180,79
			2.128,68

**Tab.9.53 Consumo mensile e annuo ComfoAir 350 in kWh**

### 9.3.3 Pompa di calore

Per il dimensionamento della pompa di calore si è proceduto dapprima con il calcolo del carico termico di picco invernale al fine di determinare la potenza richiesta alla macchina per il riscaldamento.

	A (m <sup>2</sup> ) totale	U [W/m <sup>2</sup> K]	t <sub>i</sub> (°C)	t <sub>e</sub> (°C)	Flusso (W)
C.V.O.1	296,22	0,126	20	-5	933,08
C.V.O.3	166,34	0,11	20	-5	457,44
C.V.O.4	26	0,26	20	-5	169,00
C.O.1	238,8	0,1644	20	-5	981,47
C.I.S.1	174,08	0,117	20	-5	509,19
C.O.3	98,45	0,254	20	-5	625,16
FIN	65,07	1,4	20	-5	2.277,34
	L (m)	ψ <sub>e</sub>	t <sub>i</sub> (°C)	t <sub>e</sub> (°C)	
PONTI TERMICI	391,00	0,04	20	-5	391,00
	H <sub>v</sub> (W/K)		t <sub>i</sub> (°C)	t <sub>e</sub> (°C)	
VENTILAZIONE	147,34		20	-5	3.683
					<b>TOTALE</b>
					<b>10.027</b>

**Tab.9.54 Calcolo del flusso termico disperso attraverso l'involucro (W)**

Flusso (W)	$S_{\text{utile}} \text{ (m}^2\text{)}$	Carico termico di picco (W/m <sup>2</sup> )
10.027	545,7	18,37

**Tab.9.55 Calcolo del carico termico di picco invernale**

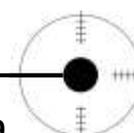
Carico termico di picco (W/m <sup>2</sup> )	$S_{\text{utile}} \text{ (m}^2\text{)}$	Potenza richiesta (kW)
18,37	545,7	10,03

**Tab.9.56 Calcolo della potenza richiesta all'impianto per il riscaldamento**

Dopo aver determinato la potenza necessaria per il riscaldamento dell'acqua dell'impianto radiante a pavimento si è passati al calcolo del fabbisogno termico per la produzione di acqua calda ad uso sanitario, per tale calcolo è stato fatto riferimento alla norma UNI TS 11300.

	Ngg	$\rho \text{ (kg/l)}$	$c \text{ (Wh/kgK)}$	a	Nu	$V_w \text{ (l/gg)}$	$t_{er} \text{ (}^\circ\text{C)}$	$t_0 \text{ (}^\circ\text{C)}$	$Q_{DHW} \text{ (kWh)}$
Gen	31	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	8	139,10
Feb	28	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	8	125,64
Mar	31	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	12	121,71
Apr	30	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	12	117,78
Mag	31	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	12	121,71
Giu	30	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	12	117,78
Lug	31	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	12	121,71
Ago	31	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	12	121,71
Set	30	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	12	117,78
Ott	31	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	8	139,10
Nov	30	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	8	134,61
Dic	31	1	1,162	1,64	73,6	120,7	40	8	139,10
									1.517,74

**Tab.9.57 Fabbisogno termico per la produzione di A.C.S. per l'unità da 73,6 m<sup>2</sup>**



	Ngg	$\rho$ (kg/l)	$c$ (kWh/kgK)	$a$	Nu	$V_w$ (l/gg)	$t_{er}$ (°C)	$t_0$ (°C)	$Q_{DHW}$ (kWh)
Gen	31	1	1,162	1,87	42	78,6	40	8	90,59
Feb	28	1	1,162	1,87	42	78,6	40	8	81,83
Mar	31	1	1,162	1,87	42	78,6	40	12	79,27
Apr	30	1	1,162	1,87	42	78,6	40	12	76,71
Mag	31	1	1,162	1,87	42	78,6	40	12	79,27
Giu	30	1	1,162	1,87	42	78,6	40	12	76,71
Lug	31	1	1,162	1,87	42	78,6	40	12	79,27
Ago	31	1	1,162	1,87	42	78,6	40	12	79,27
Set	30	1	1,162	1,87	42	78,6	40	12	76,71
Ott	31	1	1,162	1,87	42	78,6	40	8	90,59
Nov	30	1	1,162	1,87	42	78,6	40	8	87,67
Dic	31	1	1,162	1,87	42	78,6	40	8	90,59
									988,48

**Tab.9.58 Fabbisogno termico per la produzione di A.C.S. per l'unità da 42 m<sup>2</sup>**

	unità 73,6 m <sup>2</sup>		unità 42 m <sup>2</sup>		$Q_{DHW\ tot}$ (kWh)
	$Q_{DHW}$ (kWh)	n° unità	$Q_{DHW}$ (kWh)	n° unità	
Gen	139,10	5	90,59	2	876,67
Feb	125,64	6	81,83	3	999,30
Mar	121,71	7	79,27	4	1.169,05
Apr	117,78	8	76,71	5	1.325,83
Mag	121,71	9	79,27	6	1.571,01
Giu	117,78	10	76,71	7	1.714,82
Lug	121,71	11	79,27	8	1.972,96
Ago	121,71	12	79,27	9	2.173,94
Set	117,78	13	76,71	10	2.298,31
Ott	139,10	14	90,59	11	2.943,89
Nov	134,61	15	87,67	12	3.071,20
Dic	139,10	16	90,59	13	3.403,27
					23.520,26

**Tab.9.59 Fabbisogno termico per la produzione di A.C.S. dell'intero edificio**

Come per il caso della ventilazione meccanica anche per la pompa di calore è stato deciso di dividere il fabbisogno su due macchinari posizionati nei due locali tecnici predisposti nell'edificio; in questo modo si cerca di facilitare la fase di messa in opera delle tubazione e di minimizzare le perdite lungo queste ultime.

L'edificio viene quindi dotato di due pompe di calore da 8kW l'una del tipo Polar8 di cui si allega la scheda tecnica:

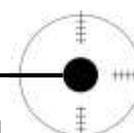
GRANDEZZA UNITÀ	note		8
<b>PANNELLI RADIANTI</b>			
<b>Raffreddamento</b>			
Potenza frigorifera nominale	(1)	kW	8,0
Potenza assorbita raffreddamento	(1),(2)	kW	2,2
EER	(1)	kW	3,65
ESEER			2,93
<b>Riscaldamento</b>			
Potenza termica nominale	(3)	kW	6,8
Potenza assorbita riscaldamento	(3),(2)	kW	1,7
COP	(3)	kW	4,07
<b>UNITA' TERMINALI</b>			
<b>Raffreddamento</b>			
Potenza frigorifera nominale	(4)	kW	5,6
Potenza assorbita raffreddamento	(4),(2)	kW	2,3
EER	(4)	kW	2,43
ESEER			2,93
<b>Riscaldamento</b>			
Potenza termica nominale	(5)	kW	6,9
Potenza assorbita riscaldamento	(5),(2)	kW	2,2
COP	(5)	kW	3,08

**Fig.9.60 Scheda tecnica Templari Polar8**

Per il calcolo della potenza assorbita, poiché la pompa di calore lavora con C.O.P. differente a seconda del salto termico a cui è sottoposta, si è scelto di considerare come valore della temperatura esterna dell'aria rispettivamente 2 e 7°C. Tale decisione è motivata dal fatto che i locali tecnici sono posizionati ai piani seminterrati dell'edificio e sono quindi parzialmente ipogei, oltre a questo si aggiunge la presenza di altre macchine all'interno del locale; si può quindi considerare che la temperatura all'interno del locale venga mitigata da questi fattori e rimanga sempre qualche grado al di sopra della temperatura esterna.

Polar 8			
	A7/W35	A7/W55	
Potenza termica (kW)	6,8	6,9	
Potenza assorbita (kW)	1,7	2,2	
C.O.P.	4,7	3,08	
	3672	7.040	10.712

**Tab.9.61 Calcolo dell'energia assorbita dalla pompa di calore (kWh)**



Dalla tabella 9.51 si ottiene l'energia assorbita dalla singola pompa di calore, il consumo totale dei due macchinari sarà quindi pari a 21.424 kWh/a.

Si può inoltre verificare come il fabbisogno termico per la produzione di A.C.S. vedi Tab.9.53 venga largamente soddisfatto dalla potenza termica fornita dalle pompe:

	A7/W55		
Potenza termica (kW)	6,9		
Potenza assorbita (kW)	2,2		
C.O.P.	3,08		
	Energia termica fornita da 1 pompa	Energia termica fornita da 2 pompe	Fabbisogno termico per A.C.S.
	22.080	44.160	23.520

**Tab.9.62 Confronto tra energia termica fornita e fabbisogno termico**

Ogni pompa di calore è affiancata da un bollitore per l'accumulo dell'acqua, i bollitori sono stati dimensionati in base a litri consumati nel periodo di punta che viene assunto pari a 2 ore, tale quantità è pari a circa 2.000l.

Vengono quindi presi due bollitori tipo Euromax da 200l di volume l'uno che garantiscono una portata oraria di 1.800l.

### **9.3.4 Impianto fotovoltaico**

L'installazione dell'impianto fotovoltaico è previsto in copertura in particolare su tutta la falda inclinata a Sud e sulla parte di copertura piana che copre il vano scala sul lato Nord.

L'impianto installato sarà allacciato alla rete, in modo tale da poter cedere eventuali surplus di energia e viceversa assorbire qualora le condizioni atmosferiche non garantiscano una produzione sufficiente per sopperire al fabbisogno del complesso.

Il calcolo dell'energia prodotta da un impianto fotovoltaico parte dalla valutazione della radiazione solare  $H_S$  incidente sul pannello.

I valori della radiazione solare vengono ottenuti tramite PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) dell'Istituto per l'Energia e i Trasporti (IET) della Commissione Europea.

L'impianto è costituito da 44 pannelli posizionati sulla falda Sud con un inclinazione di 25° rispetto al piano orizzontale e 16 pannelli posizionati sulla copertura piana che copre il lato nord del vano scale.

L'energia prodotta dall'impianto viene definita tramite la relazione:

$$Q_{PV} = H_S \cdot P_{nom} \cdot \eta$$

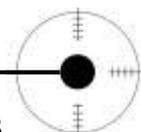
in cui:

$H_S$  radiazione solare incidente sul pannello, [W/K];

$P_{nom}$  potenza nominale dell'impianto data dal prodotto tra la potenza di picco del singolo pannello [Wp] per il numero di pannelli che compongono l'impianto, [kW];

$\eta$  coefficiente di riduzione che tiene conto dell'efficienza del singolo modulo e dell'efficienza componentistica.

Viene allegata in seguito la scheda tecnica del pannello scelto:



SUNPOWER

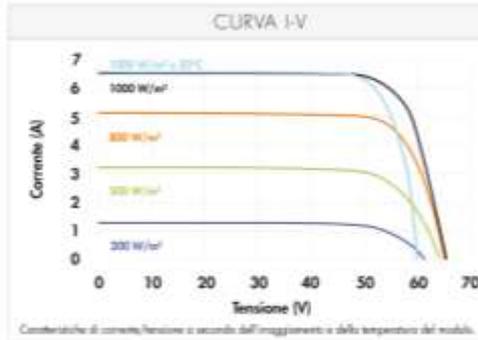
MODULI FOTOVOLTAICI E20/333 E E20/327

MODELLI: SPR-333NE-WHT-D, SPR-327NE-WHT-D

DATI ELETTRICI		
<small>Misurato in condizioni di prova standard (STC) Irraggiamento: 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1,3 e temperatura della cella 25°C</small>		
Potenza nominale (+5/-0%)	$P_{nom}$	333 W 327 W
Efficienza della cella	$\eta$	22,9% 22,5%
Efficienza del modulo	$\eta$	20,4% 20,1%
Tensione di punto di massima potenza	$V_{mp}$	54,7 V 54,7 V
Corrente di punto di massima potenza	$I_{mp}$	6,09 A 5,98 A
Tensione a vuoto	$V_{oc}$	65,3 V 64,9 V
Corrente di cortocircuito	$I_{sc}$	6,46 A 6,46 A
Tensione massima del sistema	IEC	1000 V
Coefficiente di temperatura	Potenza (P)	- 0,38%/K
	Tensione ( $V_{oc}$ )	- 176,6 mV/K
	Corrente ( $I_{sc}$ )	3,5 mA/K
NOCT		45°C +/- 2°C
Corrente nominale del fusibile		20 A
Limite di corrente inversa (3 stringhe)	$I_r$	16,2 A
Messa a terra		Messa a terra positiva non necessaria

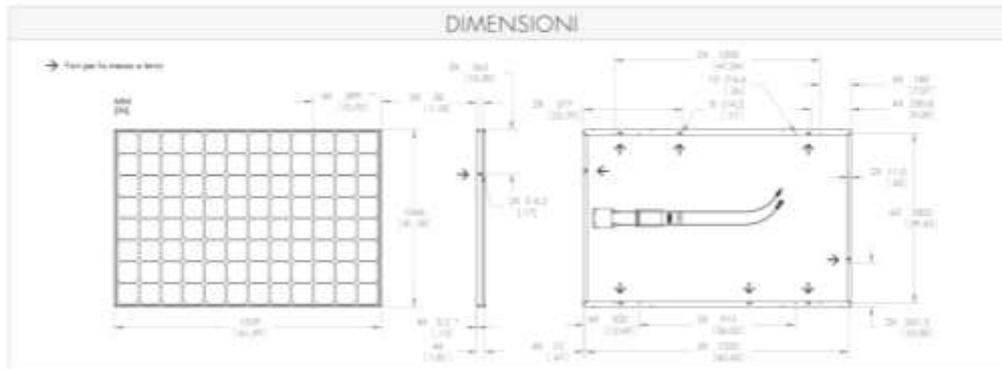
DATI ELETTRICI		
<small>Misurato alle temperature operative nominali della cella (NOCT) Irraggiamento 850 W/m<sup>2</sup>, 20°C, vento 1 m/s</small>		
Potenza nominale	$P_{nom}$	247 W 243 W
Tensione di punto di massima potenza	$V_{mp}$	50,4 V 50,4 V
Corrente di punto di massima potenza	$I_{mp}$	4,91 A 4,82 A
Tensione a vuoto	$V_{oc}$	61,2 V 60,8 V
Corrente di cortocircuito	$I_{sc}$	5,22 A 5,22 A

DATI MECCANICI	
Cella solari	96 celle solari SunPower Maxeon™
Vetro anteriore	Vetro temperato anti-riflettente ad alta trasparenza
Scatola di giunzione	IP65 con 3 diodi bypass 32 x 155 x 128 mm



CONDIZIONI OPERATIVE DI PROVA	
Temperatura	Da -40°C a +85°C
Carico max	550 kg/m <sup>2</sup> (5400 Pa), fronte (es. neve) nelle configurazioni di montaggio specificate
	245 kg/m <sup>2</sup> (2400 Pa) fronte e retro (es. vento)
Resistenza all'impeto	Grandine: 25 mm a 23 m/s

GARANZIE E CERTIFICAZIONI	
Garanzia	25 anni di garanzia limitata sulla potenza
	10 anni di garanzia limitata sul prodotto
Certificazioni	IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730 (BCI)



Prima di usare il prodotto leggere attentamente le istruzioni relative all'installazione e alla sicurezza. Per ulteriori informazioni visitare il sito [www.sunpowercorp.it](http://www.sunpowercorp.it).

© 2011 SunPower Corporation. SUNPOWER il logo SunPower, THE WORLD'S STANDARD FOR SQUARE WAREHOUSES sono marchi commerciali o marchi depositati di SunPower Corporation negli USA, Italia e in altri Paesi. Tutti i diritti sono riservati. C'è vietato il ristampare senza permesso. I dati contenuti nella presente scheda tecnica

[www.sunpowercorp.it](http://www.sunpowercorp.it)

Document: 4001-01483 Rev 9 / AA\_01

02/11/2011

	Ngg	H <sub>s</sub> giornaliera (kWh/m <sup>2</sup> )	H <sub>s</sub> mensile (kWh/m <sup>2</sup> )	Potenza nominale pannello (Wp)	n° pannelli	Potenza nominale impianto (kW)	η	Q <sub>PV</sub> (kWh)
Gen	31	2,34	72,54	333	44	14,65	0,8	850,28
Feb	28	3,03	84,84	333	44	14,65	0,8	994,46
Mar	31	4,2	130,2	333	44	14,65	0,8	1.526,15
Apr	30	5,46	163,8	333	44	14,65	0,8	1.920,00
Mag	31	5,7	176,7	333	44	14,65	0,8	2.071,21
Giu	30	6,12	183,6	333	44	14,65	0,8	2.152,09
Lug	31	6,54	202,74	333	44	14,65	0,8	2.376,44
Ago	31	6,19	191,89	333	44	14,65	0,8	2.249,26
Set	30	5,18	155,4	333	44	14,65	0,8	1.821,54
Ott	31	4,08	126,48	333	44	14,65	0,8	1.482,55
Nov	30	2,59	77,7	333	44	14,65	0,8	910,77
Dic	31	1,98	61,38	333	44	14,65	0,8	719,47
								19.074,21

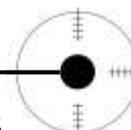
**Tab.9.63 Energia prodotta dall'impianto disposto sulla falda Sud**

	Ngg	H <sub>s</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	H <sub>s</sub> mensile (kWh/m <sup>2</sup> )	Potenza nominale pannello (Wp)	n° pannelli	Potenza nominale impianto (kW)	η	Q <sub>PV</sub> (kWh)
Gen	31	1,56	48,36	333	16	5,33	0,78	200,98
Feb	28	2,26	63,28	333	16	5,33	0,78	262,98
Mar	31	3,47	107,57	333	16	5,33	0,78	447,04
Apr	30	5	150	333	16	5,33	0,78	623,38
Mag	31	5,75	178,25	333	16	5,33	0,78	740,78
Giu	30	6,41	192,3	333	16	5,33	0,78	799,17
Lug	31	6,71	208,01	333	16	5,33	0,78	864,46
Ago	31	5,86	181,66	333	16	5,33	0,78	754,95
Set	30	4,35	130,5	333	16	5,33	0,78	542,34
Ott	31	3,02	93,62	333	16	5,33	0,78	389,07
Nov	30	1,76	52,8	333	16	5,33	0,78	219,43
Dic	31	1,31	40,61	333	16	5,33	0,78	168,77
								6.013,33

**Tab.9.64 Energia prodotta dall'impianto disposto sulla falda orizzontale**

Impianto falda sud	Impianto falda orizz.	Q <sub>PV</sub> (kWh/a)
19.074	6.013	25.088

**Tab.9.65 Energia totale prodotta**



### 9.4 Conclusioni

Dopo aver dimensionato tutti i macchinari si passa a fare un bilancio dei consumi prodotti. Non avendo considerato perdite di impianto si è deciso di aumentare forfettariamente i consumi del 15%, confrontando questo valore con l'energia prodotta nell'arco dell'anno dall'impianto a pannelli fotovoltaici si desume che è possibile coprire con questi all'incirca il 56% del fabbisogno energetico dell'edificio.

VMC (kWh/a)	ENEL (kWh/a)	PDC (kWh/a)	FV (kWh/a)
5.326	11.937	21.424	25.088
38.687			25.088
Aumento forfettario dei consumi del 15%			
44.490			56,39
			%

**Tab.9.66 Bilancio dei consumi energetici dell'edificio**

**CAPITOLO DECIMO**

**ILLUMINOTECNICA**

### **10.1 Premessa**

La luce naturale è estremamente gradevole per l'uomo ed è un apporto energetico di tipo gratuito.

Lo studio di una corretta illuminazione naturale all'interno degli ambienti deve essere affrontato già nelle prime fasi della progettazione edilizia, scegliendo opportunamente l'orientamento del fabbricato, le dimensioni e le forme delle superfici vetrate ed i relativi materiali.

Infatti nella realizzazione di ambienti caratterizzati da un'adeguata illuminazione naturale assicura condizioni di benessere visivo per gli occupati e una riduzione dei consumi di energia elettrica per l'illuminazione, almeno nelle ore diurne.

Il consumo di energia elettrica per l'illuminazione degli ambienti rappresenta una parte rilevante dei consumi energetici totali di un edificio.

Vi sono due aspetti contrastanti da considerare dal punto di vista energetico nella progettazione di un fabbricato:

- la presenza di ampie superfici vetrate favorisce il benessere visivo e il risparmio di energia elettrica necessaria per l'illuminazione artificiale;
- volendo garantire il benessere termigrometrico delle persone che occupano gli ambienti, la presenza di ampie superfici vetrate comporta un elevato consumo di energia per la climatizzazione dei locali sia in inverno che d'estate (le superfici vetrate sono trasparenti alla radiazione solare e caratterizzate da un'elevata trasmittanza termica).

Una soluzione a questo problema si può trovare nel posizionamento a Sud delle vetrate, al fine di bilanciare le maggiori dispersioni del vetro rispetto alla parete con i guadagni solari attraverso la trasparenza. Essa è la scelta che è stata fatta nei locali ad uso residenziale, con vetrate e locali di vita posizionati a Sud.

L'illuminazione, infatti, al pari del riscaldamento, della ventilazione e dello stato igrometrico, contribuisce a creare quelle condizioni di benessere che devono essere assicurate in ambienti abitativi.

La presenza di aperture (porte, finestre) verso l'ambiente esterno favorisce il benessere sia fisico che psicologico degli occupanti di un edificio, tuttavia la loro disposizione ed entità deve essere scelta in modo tale da minimizzare gli effetti negativi connessi alla loro presenza e in particolare all'innalzamento potenzialmente eccessivo dei livelli di illuminamento, di luminanza.

## 10.2 Luce naturale

Per luce naturale si intende quella proveniente dal sole e dalla volta celeste. Essa rappresenta la migliore sorgente di luce, poiché ad essa si è adattato l'organo visivo da quando l'uomo è presente sulla terra.

La luce naturale inoltre consente di conseguire risparmi energetici, riducendo i consumi derivanti dall'utilizzo dell'illuminazione artificiale.

La luce naturale è caratterizzata da variabilità nel tempo sia per quanto riguarda il flusso luminoso che la temperatura di calore: essa risulta costituita dalla componente solare diretta, che è direzionale e dipende dalla posizione del sole sulla volta celeste, e dalla componente diffusa proveniente dalla volta celeste.

La componente diffusa è dovuta a quella parte di radiazione solare che viene dispersa, per riflessioni multiple, dalle particelle di vapore acqueo e dal particolato presente in atmosfera. La componente diretta decresce con l'aumentare della nuvolosità del cielo: in condizioni estreme (cielo overcast), la componente diretta è assente.

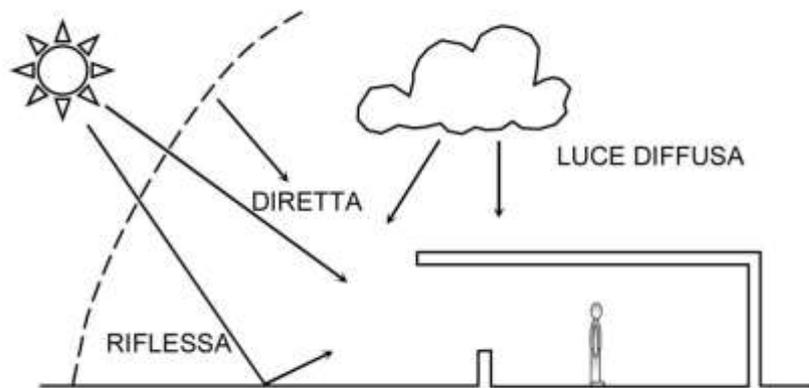
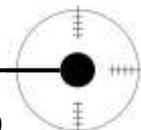


Fig.10.1 Rappresentazione delle componenti della luce



### 10.3 Fattore di luce diurna (FLD)

Il DF (daylight factor) o fattore di luce diurna è definito come il rapporto tra l'illuminamento in un punto di un ambiente interno e l'illuminamento, nello stesso istante, su una superficie orizzontale esterna, in assenza di ostruzioni, prodotto dalla volta celeste escludendo la componente solare diretta.

Il fattore di luce diurna risulta composto da tre termini:

$$DF = D_s + D_e + D_i$$

dove:

$D_s$  componente diretta del cielo;

$D_e$  componente riflessa esterna;

$D_i$  componente riflessa interna.

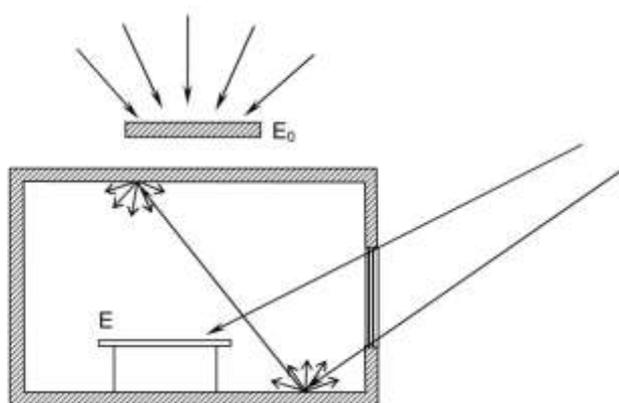


Fig.10.2 FLD e sue componenti

Le strategie per l'illuminazione naturale si possono classificare in due categorie:

- illuminazione laterale con aperture sulle pareti verticali;
- illuminamento dall'alto, mediante sistemi di lucernai.

La distribuzione della luce naturale all'interno degli ambienti dipende dall'orientamento delle aperture, dalle loro dimensioni, forma e collocazione, dalla presenza di sistemi di controllo della luce, dalla geometria dell'ambiente e dai fattori di riflessione delle superfici interne dell'ambiente.

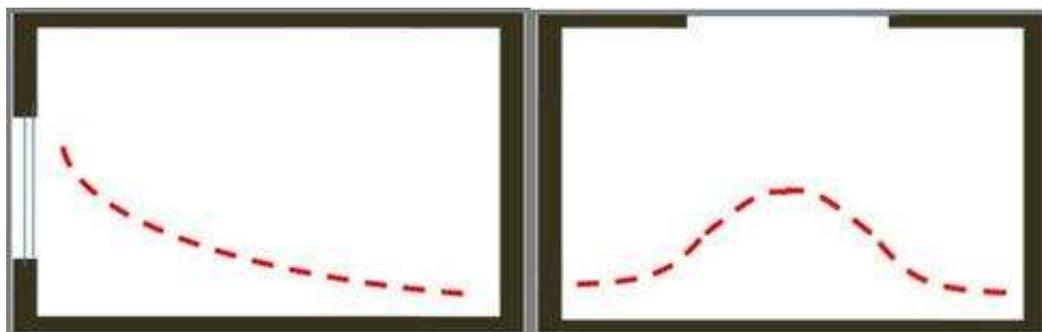
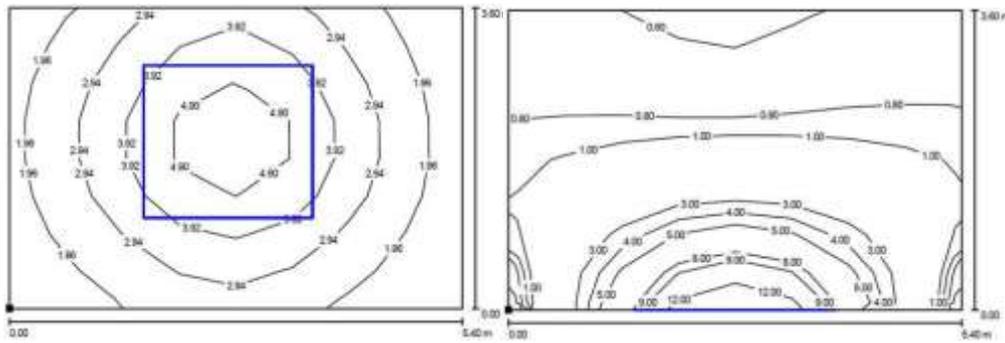


Fig.10.3 Andamento del FLD in ambienti con aperture verticali ed orizzontali



**Fig.10.4 Andamento del FLD in ambienti con aperture verticali ed orizzontali**

Per ottenere un buon fattore di luce diurna si può fare riferimento al seguente schema di valutazione indicativo:

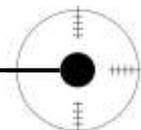
- DF < 0.3% insufficiente
- 0.3% < DF < 1% discreto
- 1% < DF < 4% buono
- DF > 4% ottimo

#### **10.4 Illuminamento**

L'illuminamento è una grandezza fotometrica risultato del rapporto tra il flusso luminoso (misurato in lumen) emesso da una sorgente e l'unità di superficie dell'oggetto illuminato. Essa è quindi riferita all'oggetto illuminato e non alla sorgente.

L'illuminamento è utilizzato nella progettazione illuminotecnica degli ambienti, nell'illuminazione naturale ed artificiale degli ambienti e nella normativa sulla salute e la sicurezza nei luoghi di lavoro.

Per misurare l'illuminamento si utilizza il luxmetro. L'illuminamento rappresenta un criterio progettuale, in termini illuminotecnici, molto importante perché influenza sia la capacità di un individuo di percepire piccoli dettagli ad una data distanza (acuità visiva), sia la velocità di percezione, cioè il tempo richiesto per compiere un compito visivo.



### **10.5 Strategie progettuali**

Le problematiche legate all'illuminotecnica sono state considerate fin dalle primissime fasi della progettazione: fin da subito infatti ci si è posti il problema di come sfruttare al meglio l'apporto gratuito di irraggiamento solare garantito dalla luce del sole per limitare i consumi, sia riferiti al comfort termico dell'edificio, sia riferiti al consumo elettrico. Per quest'ultimo infatti, una corretta esposizione dei locali permette di risparmiare notevolmente sull'illuminazione artificiale e dunque di consumare una notevole quantità di energia in meno. Data la latitudine del luogo di progetto però, un apporto diretto di luce naturale può anche significare un eccessivo irraggiamento del locale e quindi un suo surriscaldamento. Per evitare questo problema la maggior parte dei locali sono stati disposti con gli affacci sui lati Sud e Nord.

Queste due esposizioni permettono di raggiungere alcune strategie:

- affaccio a sud: permette di poter controllare molto facilmente l'irraggiamento solare attraverso l'utilizzo di schermature apposite per i periodi dell'anno in cui si desidera; è l'affaccio che maggiormente gode di luce diretta e quindi garantisce un ottimo valore di illuminazione all'interno del locale;
- affaccio a nord: non riceve mai irraggiamento diretto. Sebbene questo fatto non permette al locale di ricevere apporti gratuiti di calore, esso non risulta sfavorevole per quanto riguarda l'illuminazione. La luce da Nord, infatti, risulta ottimale per l'illuminamento e non necessita di oggetti o schermature per fermare l'irradiazione.

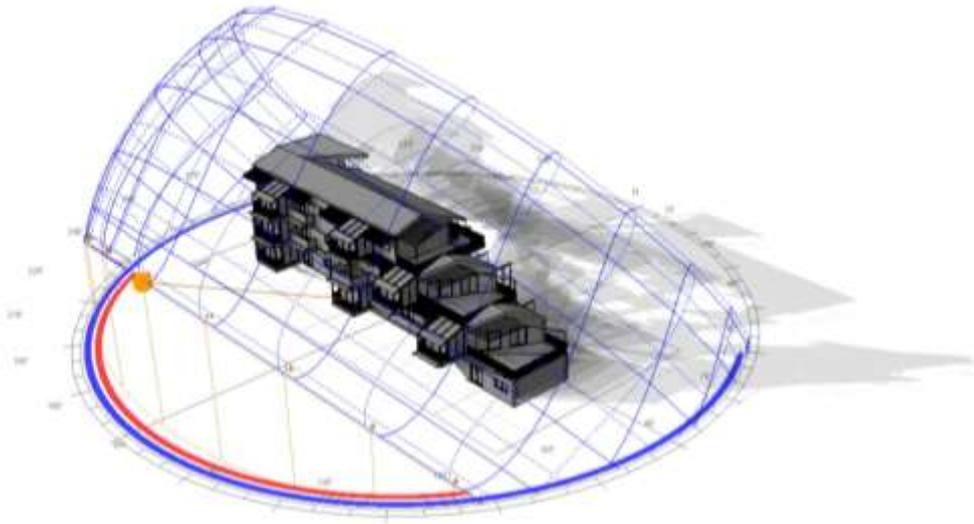
Per analizzare le condizioni ambientali dell'area di progetto è stato utilizzato il software ECOTECH che ha permesso la restituzione di schemi che riassumono e valutano i parametri illuminotecnici al fine della loro ottimizzazione.

Per calcolare il miglior orientamento degli edifici, sono stati selezionati i mesi più caldi e più freddi dell'anno, che solitamente corrispondono con la stagione estiva ed invernale; in più sono stati verificati anche nelle stagioni intermedie, ovvero primavera ed autunno.

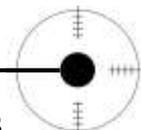
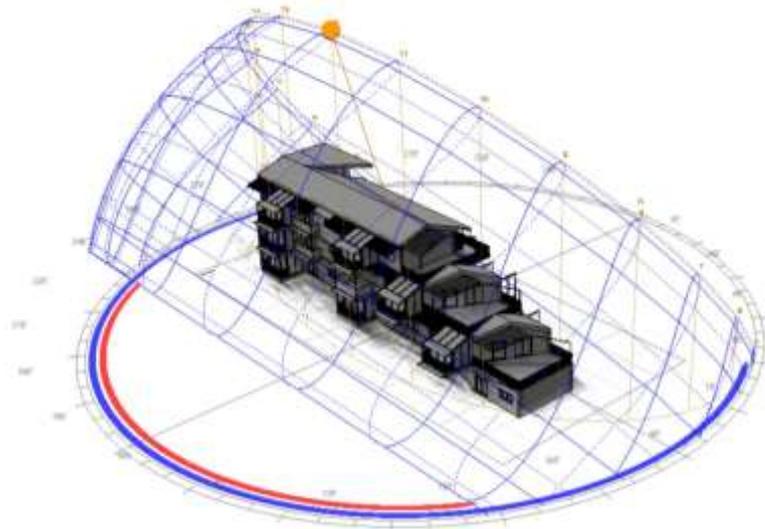
Il migliore orientamento per una superficie verticale si raggiunge quando si ottiene la massima esposizione solare sia nel periodo caldo che in quello freddo.

Sono stati infine analizzati gli effetti delle ombre che gli edifici proiettano nei diversi periodi dell'anno.

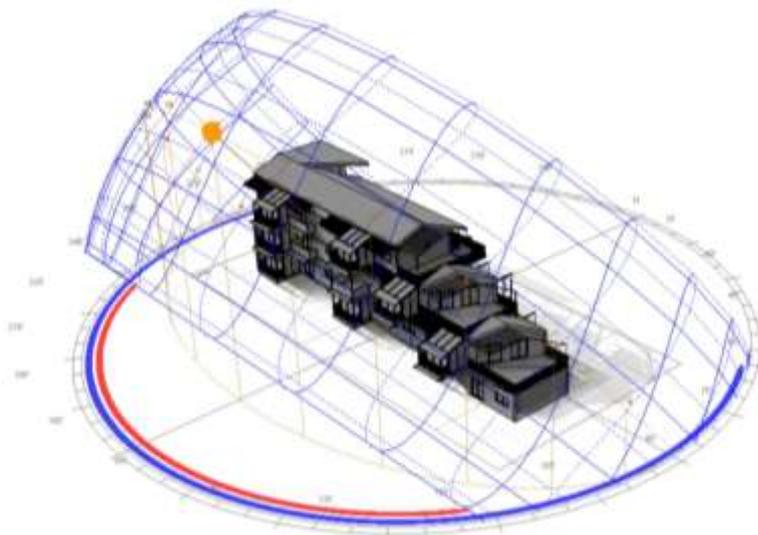
**Solstizio d'inverno:**



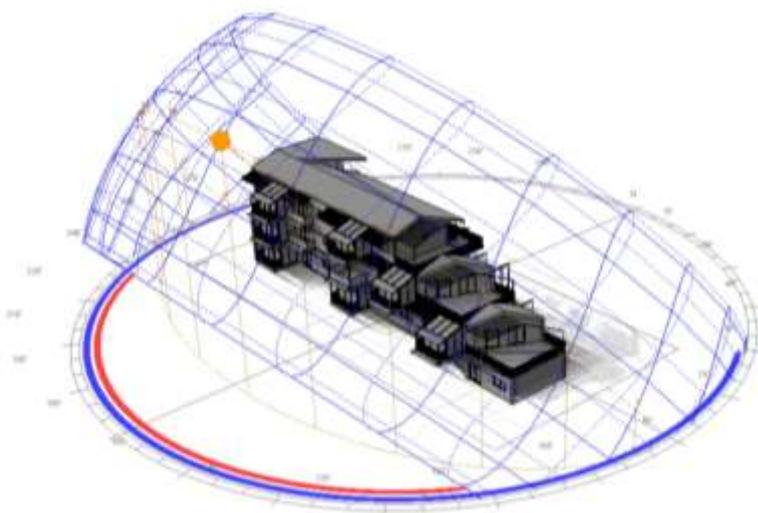
**Solstizio d'estate:**



**Equinozio d'autunno:**



**Equinozio di primavera:**



### 10.6 Analisi illuminotecnica

Oltre a quelli precedentemente accennati, i parametri necessari per l'analisi illuminotecnica sono principalmente:

- a. **FLUSSO LUMINOSO [lm]:** è la quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo. L'unità di misura è il lumen;
- b. **INTENSITA' LUMINOSA [cd]:** è la quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo e nell'unità di angolo solido. L'unità di misura è la candela;
- c. **ILLUMINANEMTO [lux]:** è il rapporto tra la componente perpendicolare del flusso luminoso che incide su una superficie e l'area della superficie stessa. L'unità di misura è il lux;
- d. **LUMINANZA:** è il rapporto tra il flusso luminoso diffuso da una superficie illuminata e l'area della superficie stessa; è l'intensità luminosa per unità di area emessa da una superficie in una data direzione. L'unità di misura è il lambert.

Fondamentale per svolgere una corretta analisi illuminotecnica è la valutazione del fattore di luce diurna; è questo parametro infatti che definisce la qualità di un ambiente in relazione all'illuminamento naturale: è un indicatore percentuale della luminosità d'ambiente.

I requisiti per edifici residenziali relativi a tale fattore, così come all'illuminamento medio, all'indice di abbagliamento e all'indice di resa del colore vengono riportati nella tabella seguente:

Tipo di attività	$\eta_m$ (%)	$E_m$ (lux)	$UGR_L$	$R_a$
Sala lettura	$\geq 3$	500	19	80
Zona soggiorno	$\geq 2$	200	22	> 90

A determinare il fattore di luce diurna sono anche i colori e la lucentezza (riflessione) dei materiali delle superfici interne. Nel caso specifico gli ambienti sono tutti delimitati superiormente da un tetto intonacato e lateralmente da pareti tinteggiate con tinte pastello; le pavimentazioni risultano essere tutte in parquet.

Tramite l'utilizzo del programma VELUX DAYLIGHT VISUALIZER è stato valutato l'FLD nelle due situazioni più critiche, ovvero l'appartamento più esposto alla luce del sole, e quindi a rischio di abbagliamento, e al contrario l'appartamento con l'esposizione più sfavorevole, ovvero quello più a rischio di non soddisfare il requisito minimo di luce naturale; si è deciso inoltre di valutare l'FLD per la zona comune, in cui sono collocate diverse attività: in particolare è stata presa in considerazione la funzione di sala studio - lettura. Per quest'ultimo ambiente, la normativa UNI 10840 prevede il raggiungimento del valore minimo di FLD pari al 3%.

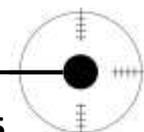




Fig.10.5 Localizzazione in prospettiva delle unità prese in esame

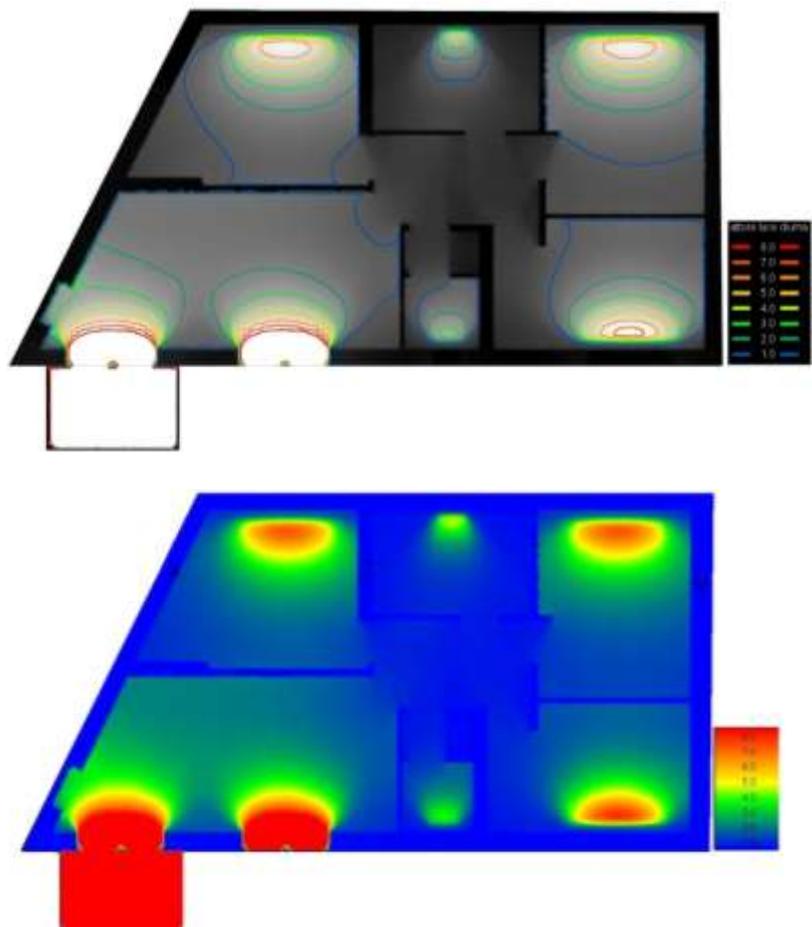


Fig.10.6 Appartamento 1 – valori del fattore di luce diurna

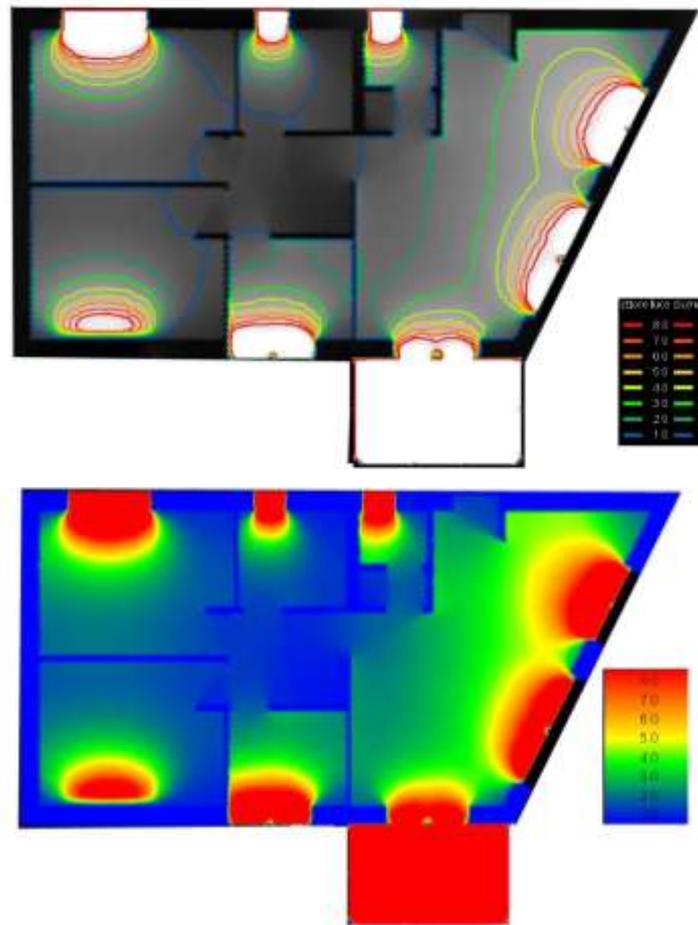


Fig.10.7 Appartamento 2 – valori del fattore di luce diurna

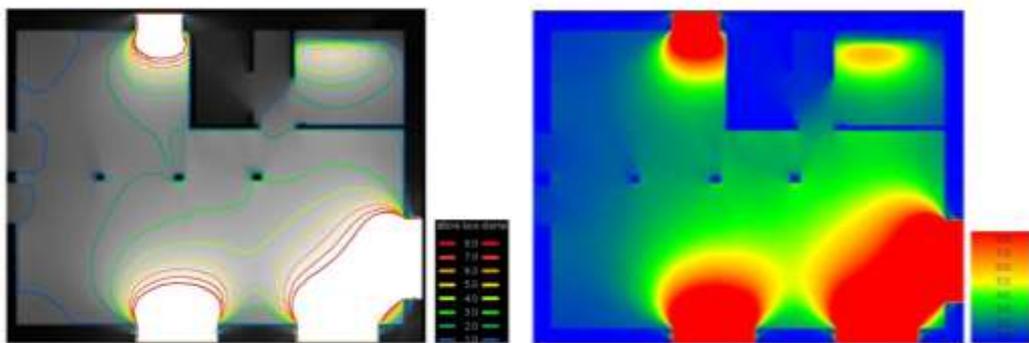
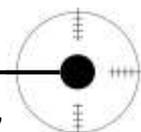


Fig.10.8 Sala lettura – valori del fattore di luce diurna



## **10.7 Calcolo dei valori di illuminamento**

L'analisi illuminotecnica del progetto si conclude con il calcolo dei valori di illuminamento, eseguito sempre attraverso il programma VELUX DAYLIGHT VISUALIZER: una volta scelta la vista prospettica interna, i risultati sono leggibili attraverso veri e propri render, sui quali vengono rappresentate le curve dei valori.

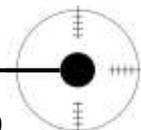
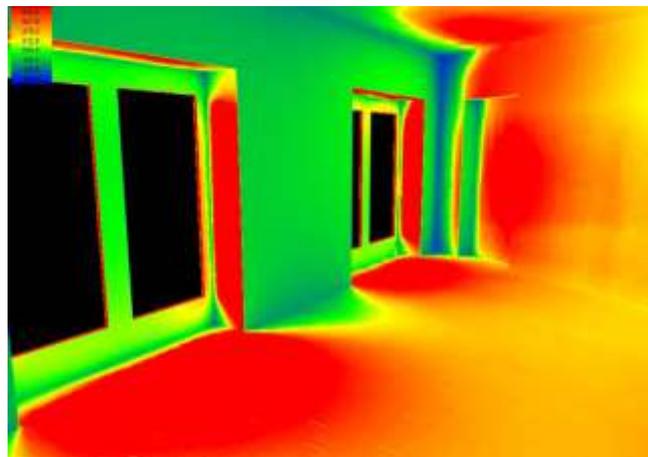
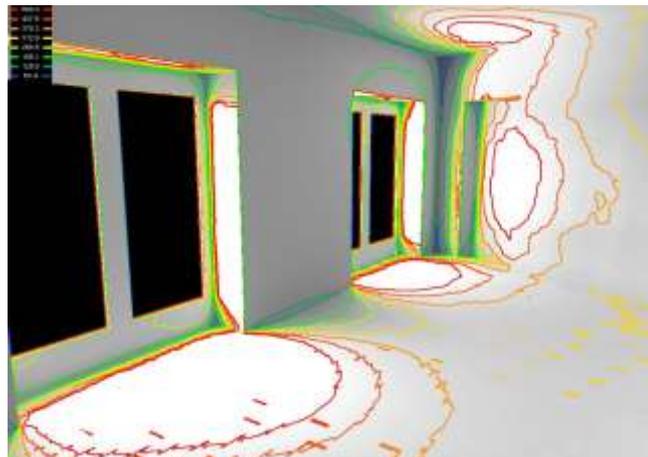
Come vista prospettica è stata scelta la zona soggiorno di entrambi gli appartamenti e la sala studio – lettura; come valori di riferimento sono stati considerati:

- nella zona soggiorno: illuminamento  $\geq 200$  lux;
- nella sala lettura: illuminamento  $\geq 500$  lux.

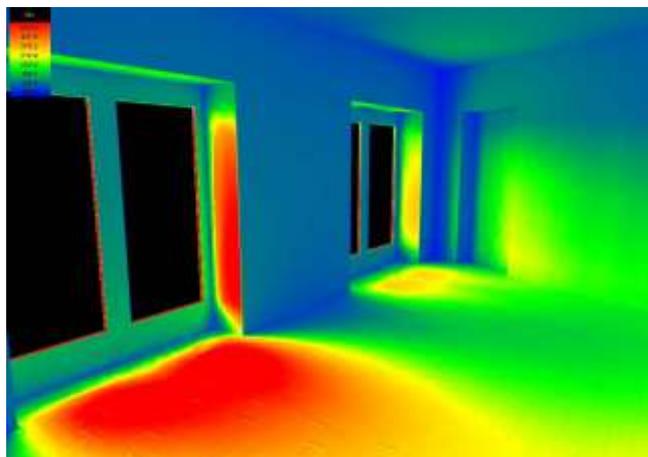
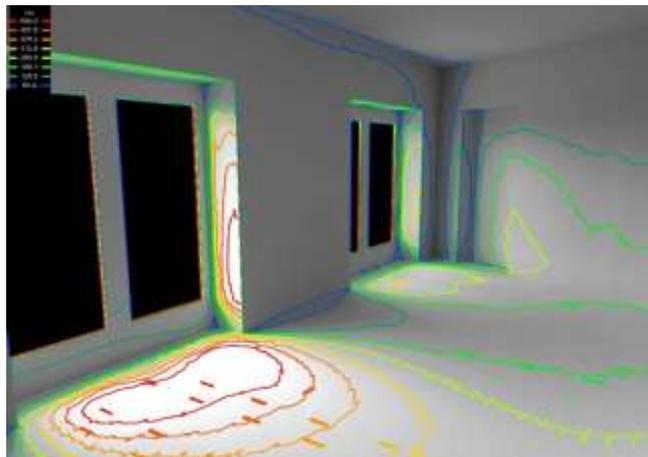
### **10.7.1 Zona soggiorno appartamento 1**

La zona soggiorno dell'appartamento 1 risulta illuminata da due ampie superfici vetrate poste a Sud; risulta dunque più critica la situazione verso l'ora di mezzogiorno, della quale si presentano le verifiche illuminotecniche effettuate nei giorni del solstizio d'estate (21 giugno) e di quello invernale (21 dicembre).

21 giugno, ore 12:00



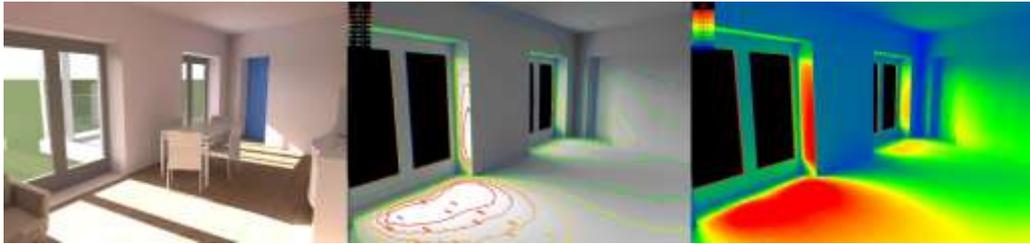
21 dicembre, ore 12:00



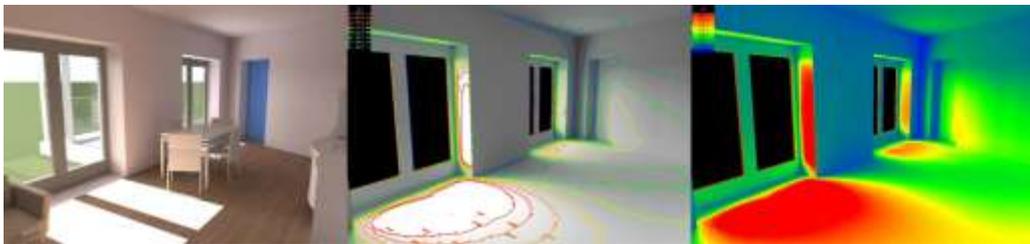
Come si può notare dalle immagini, l'illuminazione dell'ambiente più frequentato della casa risulta soddisfare il valore normativo sia in estate che in inverno: risultano quindi, rispettivamente, assente abbagliamento e ombreggiamento.

Di seguito si riporta la situazione luminosa della stessa zona soggiorno anche per gli altri mesi dell'anno, sempre alle ore 12.

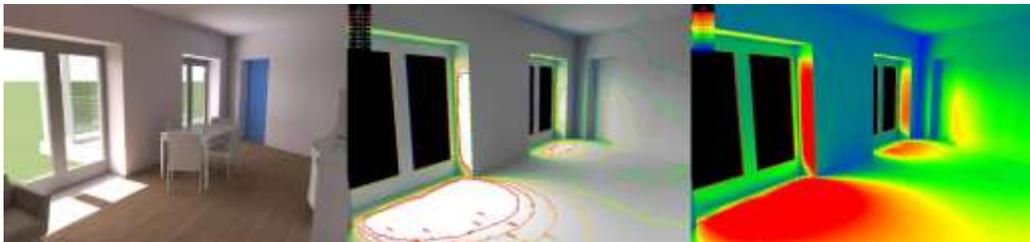
**Gennaio:**



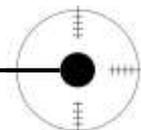
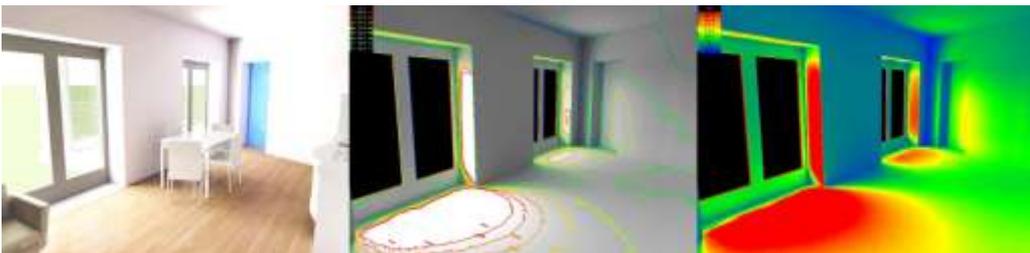
**Febbraio:**



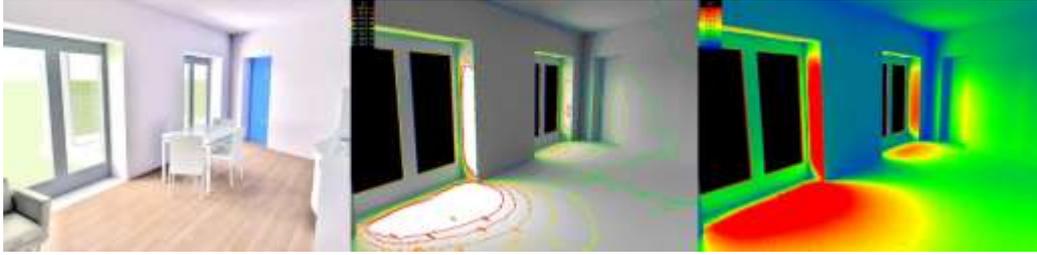
**Marzo:**



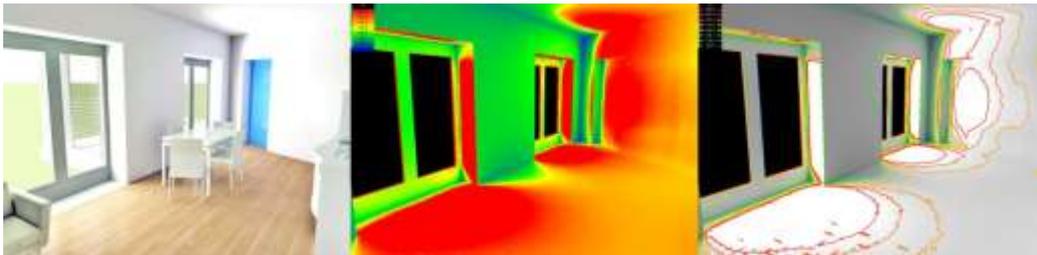
**Aprile:**



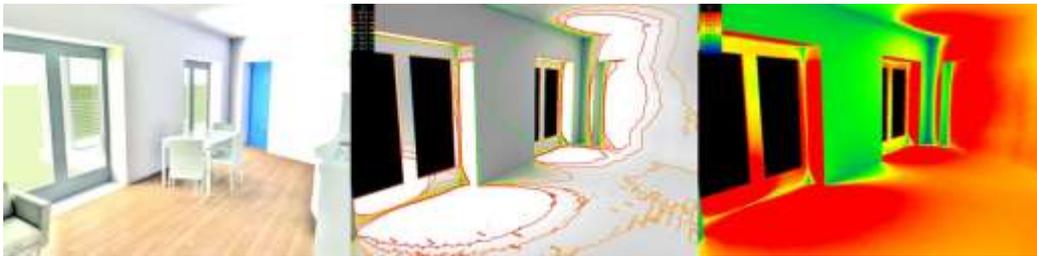
**Maggio:**



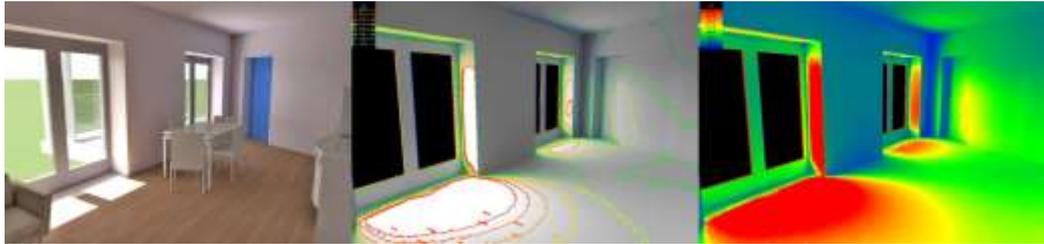
**Luglio:**



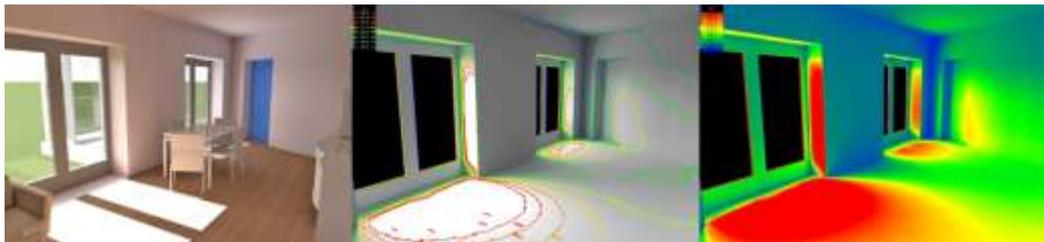
**Agosto:**



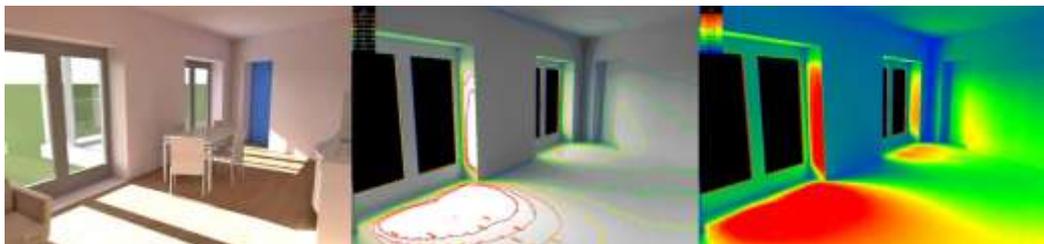
**Settembre:**



**Ottobre:**



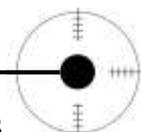
**Novembre:**



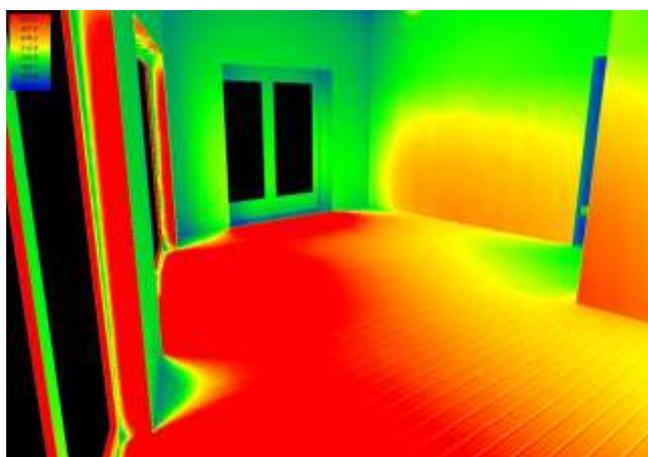
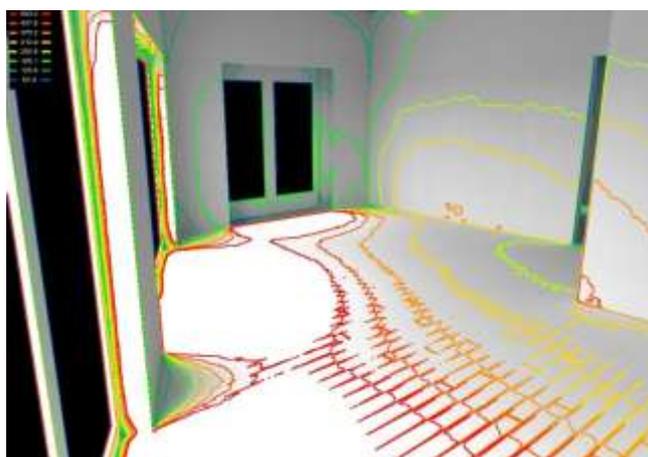
Anche in tutti gli altri mesi dell'anno l'illuminazione risulta soddisfare il valore normativo di riferimento.

### **10.7.2 Zona soggiorno appartamento 2**

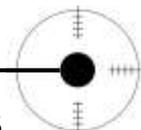
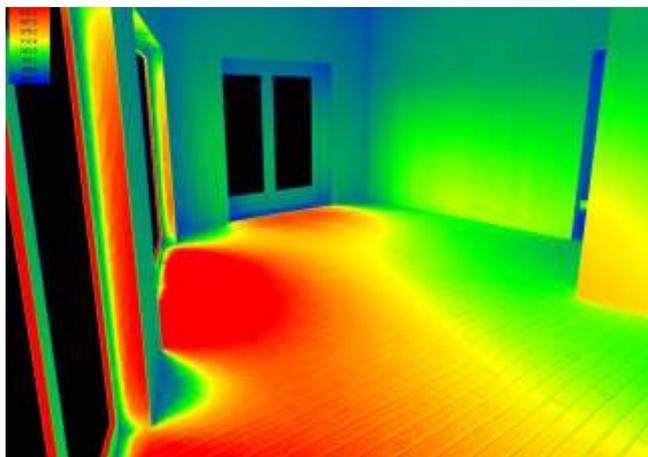
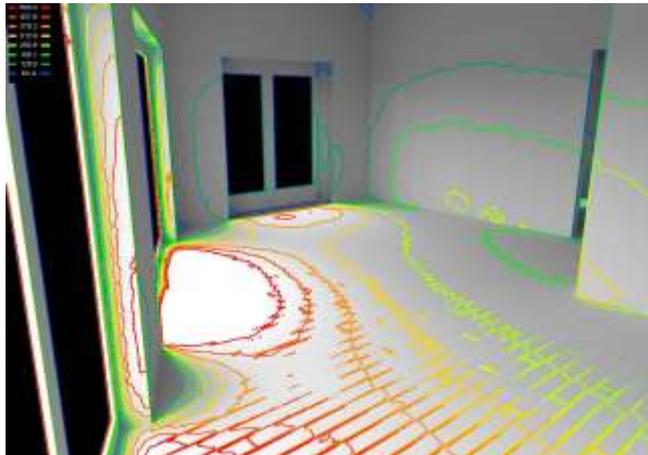
La zona soggiorno dell'appartamento 1 risulta illuminata da tre ampie superfici vetrate poste a sud – sud est; risulta dunque più critica la situazione verso l'ora di mezzogiorno, della quale si presentano le verifiche illuminotecniche effettuate nei giorni del solstizio d'estate (21 giugno) e di quello invernale (21 dicembre).



21 giugno, ore 12:00



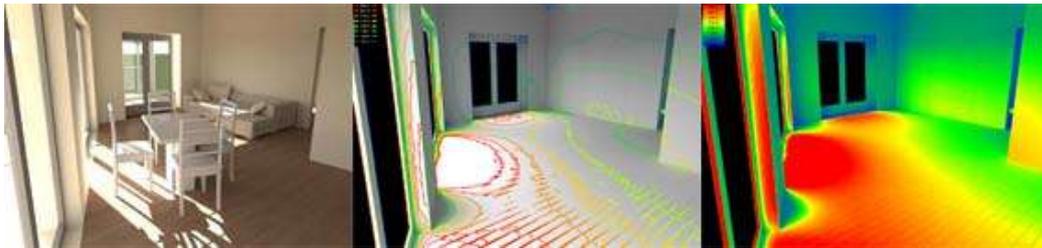
21 dicembre, ore 12:00



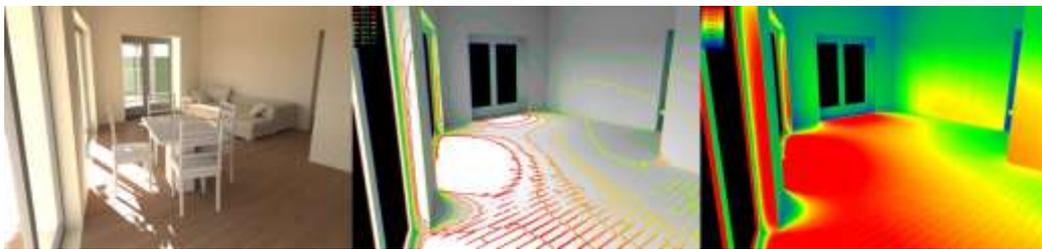
Come si può notare dalle immagini, l'illuminazione dell'ambiente più frequentato della casa risulta soddisfare il valore normativo sia in estate che in inverno: risultano quindi, rispettivamente, assente abbagliamento e ombreggiamento.

Di seguito si riporta la situazione luminosa della stessa zona soggiorno anche per gli altri mesi dell'anno, sempre alle ore 12.00.

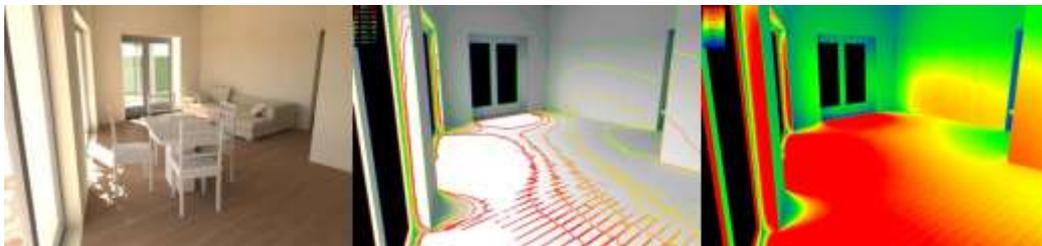
**Gennaio:**



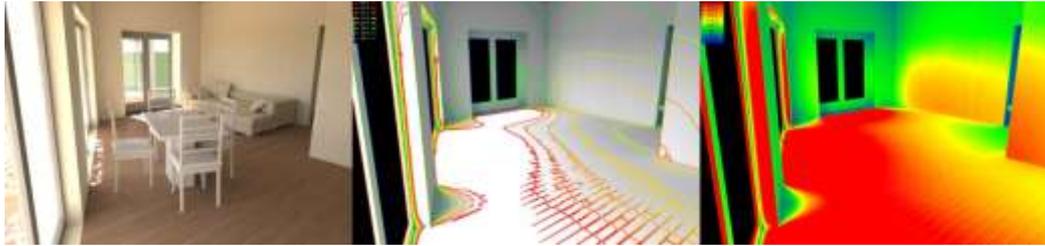
**Febbraio:**



**Marzo:**



**Aprile:**



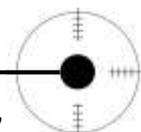
**Maggio:**



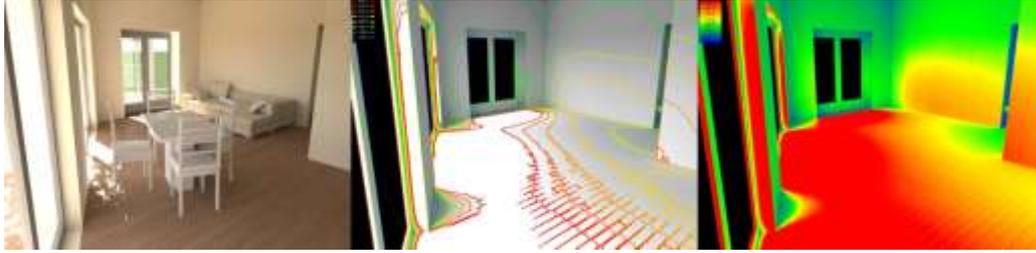
**Luglio:**



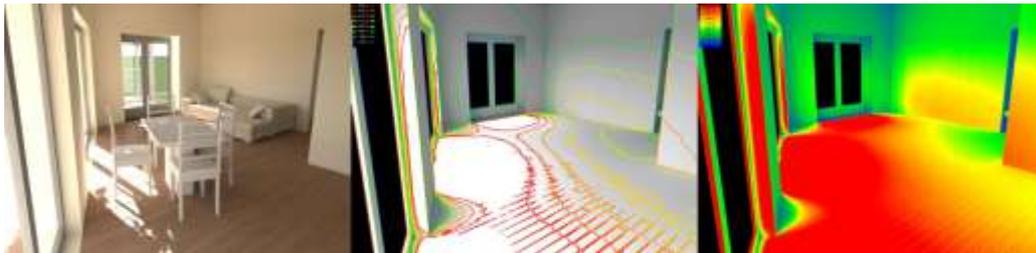
**Agosto:**



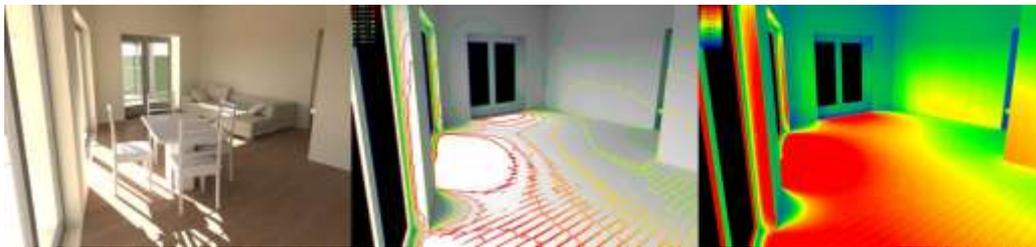
**Settembre:**



**Ottobre:**



**Novembre:**

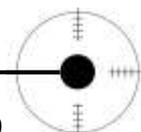
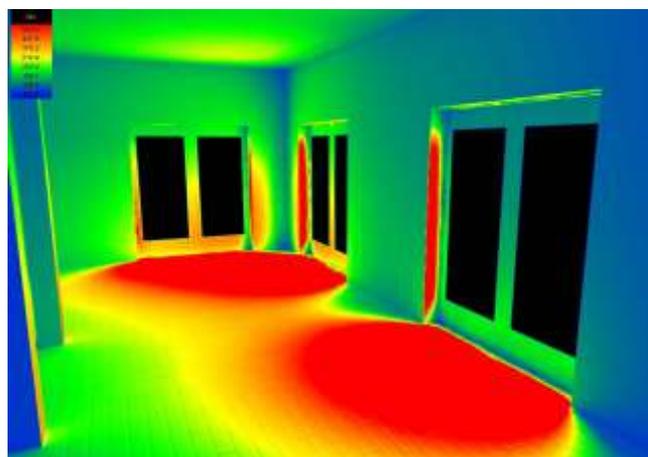
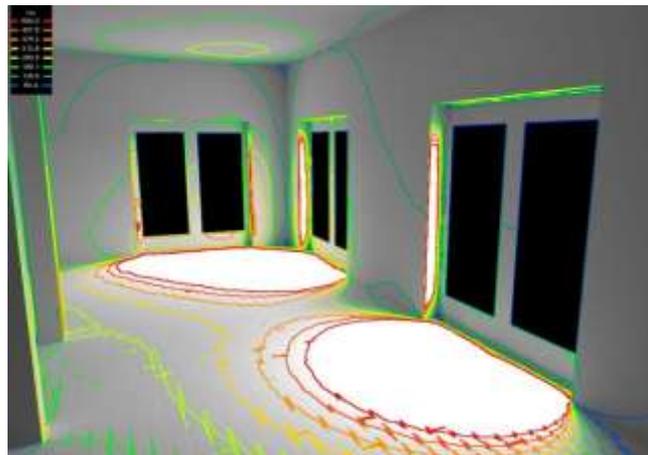


Anche in tutti gli altri mesi dell'anno l'illuminazione risulta soddisfare il valore normativo di riferimento.

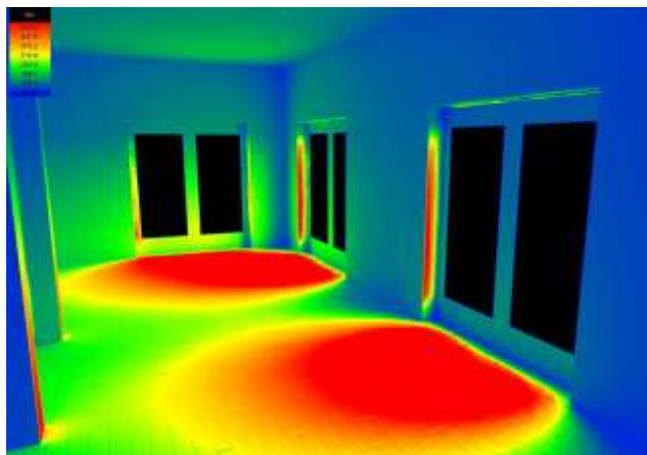
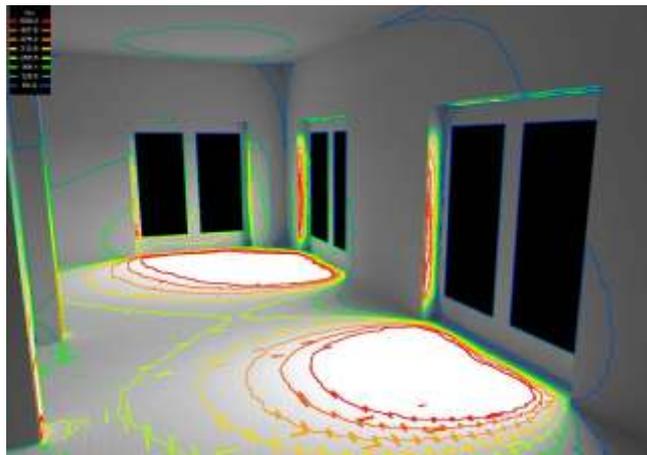
### **10.7.3 Zona comune – Sala lettura**

La sala lettura della zona comune, collocata nella parte più bassa della stecca abitativa, risulta illuminata da tre ampie superfici vetrate poste a sud – sud est e dalla porta vetrata d'ingresso, collocata a nord; risulta dunque, anche in questo caso, più critica la situazione verso l'ora di mezzogiorno, della quale si presentano le verifiche illuminotecniche effettuate nei giorni del solstizio d'estate (21 giugno) e di quello invernale (21 dicembre).

21 giugno, ore 12:



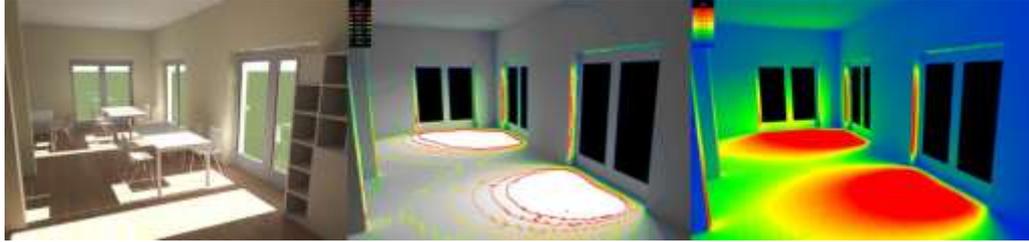
**21 dicembre, ore 12:00**



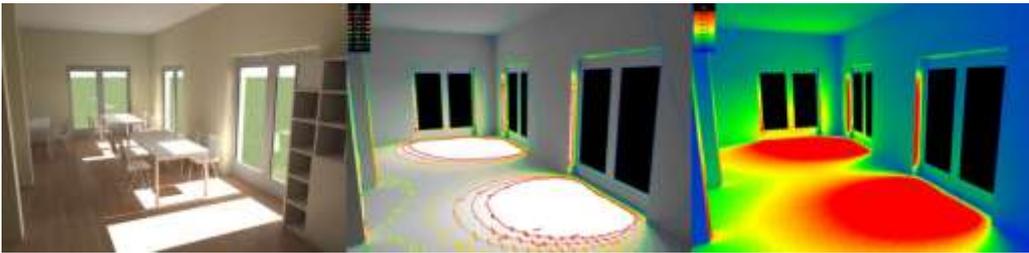
Come si può notare dalle immagini, l'illuminazione dell'ambiente più frequentato della casa risulta soddisfare il valore normativo sia in estate che in inverno: risultano quindi, rispettivamente, assente abbagliamento e ombreggiamento.

Di seguito si riporta la situazione luminosa della stessa zona soggiorno anche per gli altri mesi dell'anno, sempre alle ore 12.

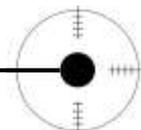
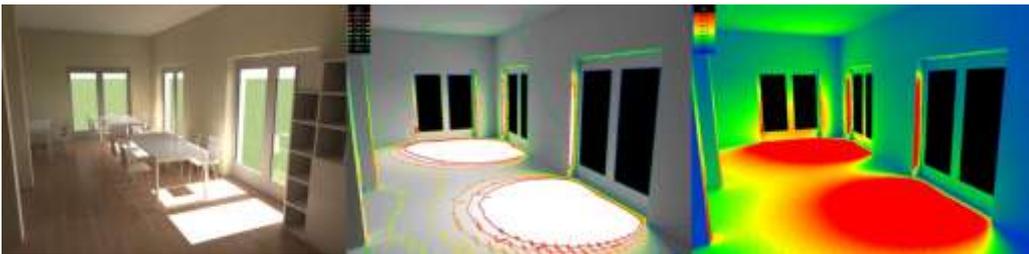
**Gennaio:**



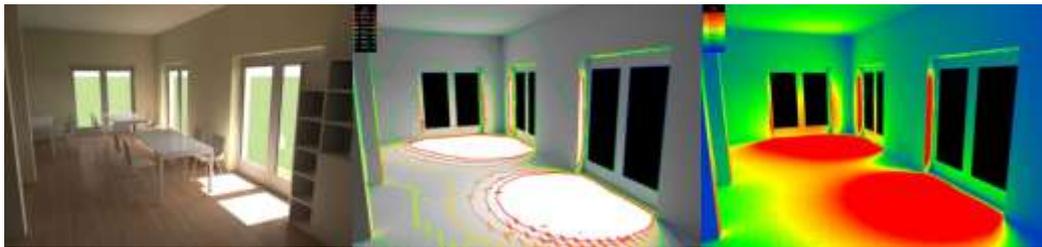
**Febbraio:**



**Marzo:**



**Aprile:**



**Maggio:**



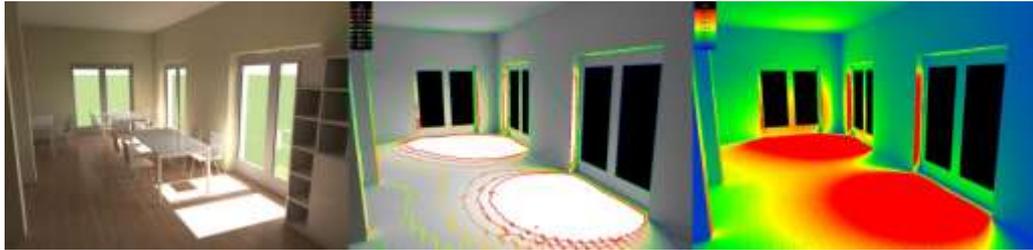
**Luglio:**



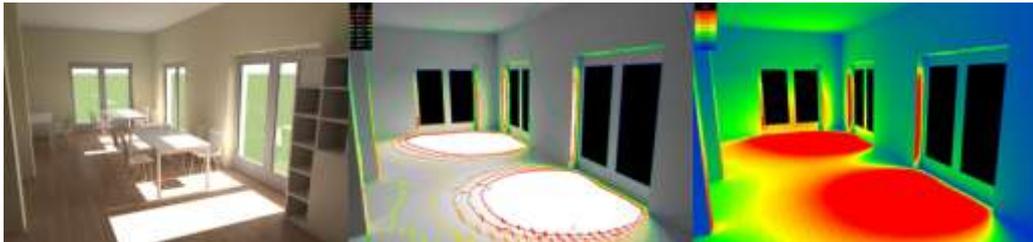
**Agosto:**



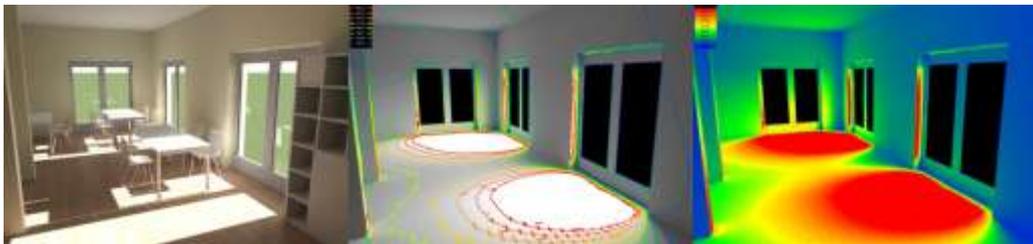
**Settembre:**



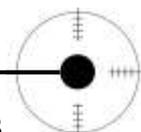
**Ottobre:**



**Novembre:**



Anche in tutti gli altri mesi dell'anno l'illuminazione risulta soddisfare il valore normativo di riferimento.



## **CAPITOLO UNDICESIMO**

### **LE STRUTTURE E IL PROBLEMA SISMICO**

### **11.1 Obiettivi del capitolo**

Nel Capitolo che segue si entra nel dettaglio dell'analisi strutturale dell' "edificio tipo" del complesso residenziale.

Trattandosi di progettazione in zona altamente sismica si è scelto di dare ampio spazio a tale tema nelle prossime pagine.

L'edificio a struttura intelaiata, è stato progettato considerando le prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), di cui al Decreto del Ministero per le Infrastrutture del 14 gennaio 2008.

Esse, insieme alla relativa Circolare applicativa (Circ. NTC), sono state assunte quale principale riferimento nello svolgimento del progetto per tutto quanto attiene:

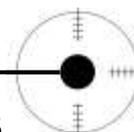
- Ai criteri generali di sicurezza ed alle assunzioni fondamentali dell'analisi strutturale;
- Alla definizione delle azioni previste nella vita nominale della costruzione;
- Alle caratteristiche dei materiali;
- Alle verifiche di sicurezza dell'insieme strutturale e dei singoli elementi di cui esso si compone.

Per ciò che riguarda le specifiche indicazioni applicative per l'ottenimento delle prestazioni prescritte e dei livelli di sicurezza attesi sotto le azioni previste, per quanto non espressamente specificato nei due documenti sopra citati, si è fatto riferimento, specificandolo di volta in volta, agli Eurocodici ed alle relative Appendici Nazionali. In tal modo le indicazioni in essi contenute divengono per noi un valido supporto alla applicazione del testo normativo nazionale. Si è fatto riferimento a:

EN 1993-1-1: Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-1. Regole generali e regole per gli edifici. regole per la progettazione antincendio.

EN 1998-1: Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.

Si riportano di seguito la mappa di pericolosità sismica (fig. 11.1) cui fa riferimento l'allegato A delle NTC e la classificazione sismica del territorio italiano (fig. 11.2) relativa all'Ordinanza del P.C.M. n.3519 del 28/4/2006, secondo cui il comune de L'Aquila ricade in zona 2 cioè zona a sismicità media.



**Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale**

Espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

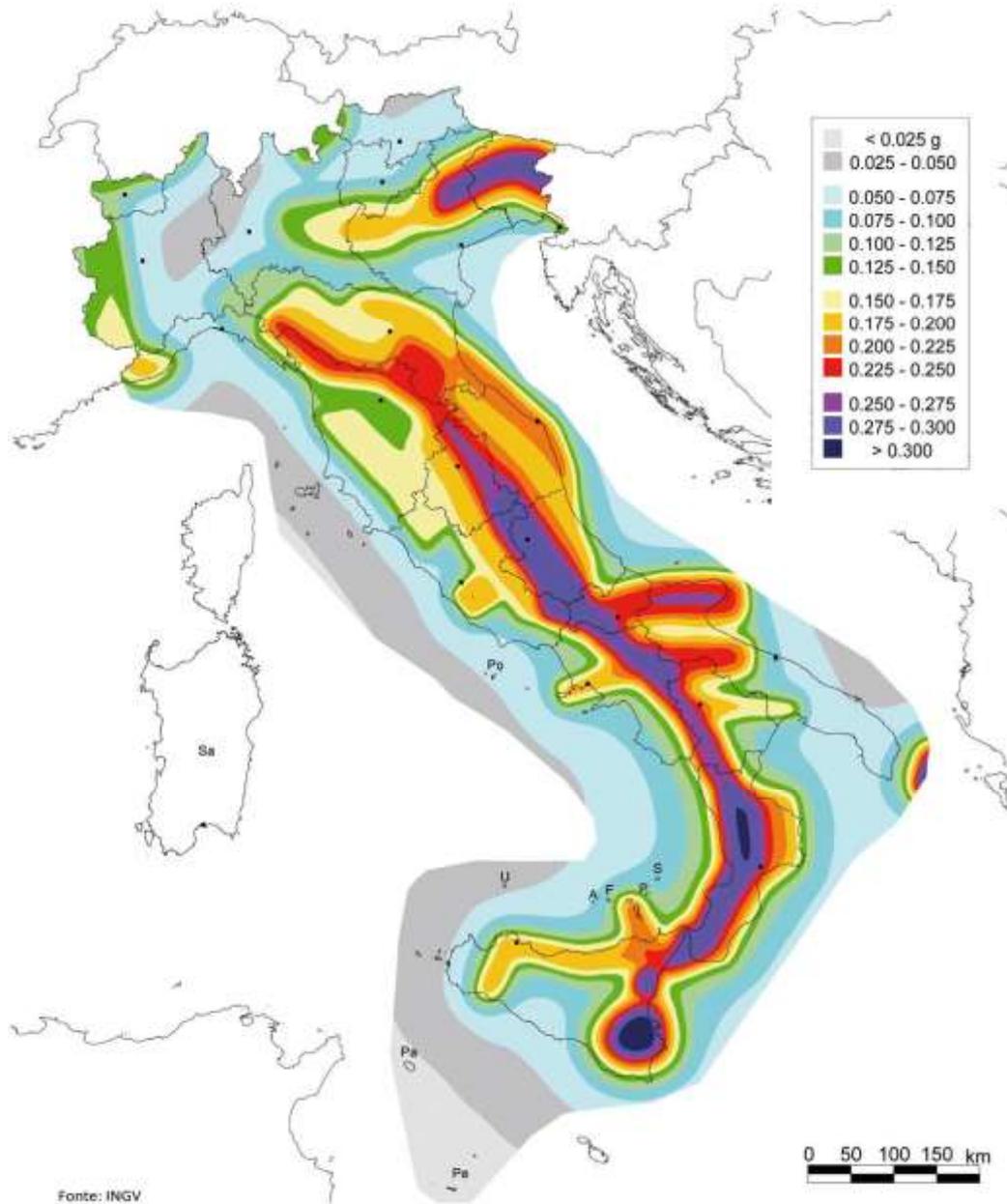


Fig.11.1 Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano



punti notevoli, al passo di 10 km, per ognuno dei quali sono noti i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta per i diversi stati limite di riferimento. Mediante un procedimento di interpolazione tra i dati relativi ai quattro punti del reticolo più vicini al sito in esame, è possibile risalire alle caratteristiche spettrali specifici del sito stesso, necessari come dati di input per la progettazione strutturale.

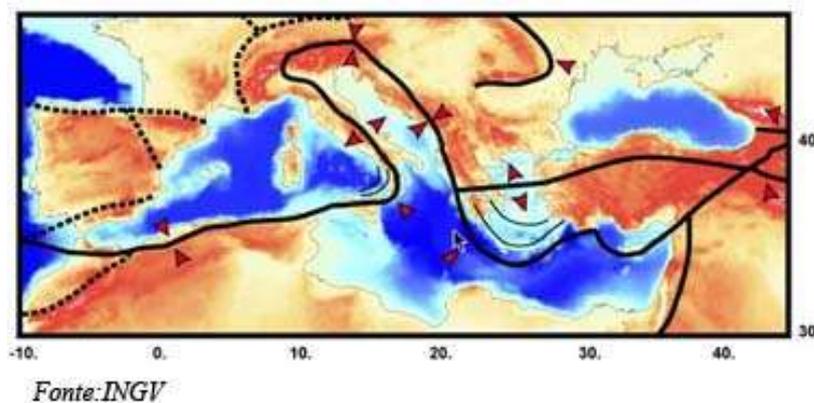
In altre parole ad ogni nodo è associato un valore di accelerazione massima attesa al suolo per un determinato periodo di ritorno. Dalla posizione relativa del sito in esame rispetto ai nodi di riferimento si risale all'accelerazione massima attesa per il sito stesso.

Il procedimento di calcolo adottato per il calcolo strutturale si articola nei seguenti punti:

1. Descrizione della struttura
2. Analisi dei carichi in condizioni statiche
3. Progettazione e verifica statica dell'edificio
4. Identificazione dello spettro di riferimento
5. Verifiche delle caratteristiche di regolarità strutturale
6. Definizione delle masse sismiche
7. Scelta della classe di duttilità
8. Calcolo del coefficiente di struttura
9. Calcolo degli spettri di progetto
10. Calcolo delle sollecitazioni sismiche orizzontali
11. Calcolo delle sollecitazioni in combinazione sismica
12. Verifiche allo Stato Limite Ultimo
13. Verifiche allo Stato Limite di Danno

### 11.2 Sismicità nel panorama italiano

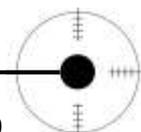
L'Italia è uno dei Paesi a maggiore rischio sismico del Mediterraneo, per la frequenza dei terremoti che hanno storicamente interessato il suo territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto, determinando un impatto sociale ed economico rilevante. La sismicità della Penisola italiana è legata alla sua particolare posizione geografica, perché è situata nella zona di convergenza tra la zolla africana e quella eurasiatica ed è sottoposta a forti spinte compressive, che causano l'accavallamento dei blocchi di roccia. Dall'andamento della linea nell'immagine si capisce perché, di fatto, solo la Sardegna non risenta particolarmente di eventi sismici.



**Fig.11.3** Quadro schematico delle principali linee di faglia che attraversano il Mediterraneo e che delimitano la placca africana e quella euroasiatica

In 2500 anni, l'Italia è stata interessata da più di 30.000 terremoti di media e forte intensità (superiore al IV-V grado della scala Mercalle) e da circa 560 eventi sismici di intensità uguale o superiore all'VIII grado della scala Mercalle (in media uno ogni 4 anni e mezzo). Solo nel XX secolo, ben 7 terremoti hanno avuto una magnitudo uguale o superiore a 6.5 (con effetti classificabili tra il X e XI grado Mercalle). La sismicità più elevata si concentra nella parte centro-meridionale della penisola - lungo la dorsale appenninica (Val di Magra, Mugello, Val Tiberina, Val Nerina, Aquilano, Fucino, Valle del Liri, Beneventano, Irpinia) - in Calabria e Sicilia, ed in alcune aree settentrionali, tra le quali il Friuli, parte del Veneto e la Liguria occidentale.

I terremoti che hanno colpito la Penisola hanno causato danni economici consistenti, valutati per gli ultimi quaranta anni in circa 135 miliardi di euro, che sono stati impiegati per il ripristino e la ricostruzione post-evento. A ciò si devono aggiungere le conseguenze non traducibili in valore economico sul patrimonio storico, artistico, monumentale. In Italia, il rapporto tra i danni prodotti dai terremoti e l'energia rilasciata nel corso degli eventi è molto più alto rispetto a quello che si verifica normalmente in altri Paesi ad elevata sismicità, quali la California o il Giappone. Ad esempio,



il terremoto del 1997 in Umbria e nelle Marche ha prodotto un quadro di danneggiamento (senza tetto: 32.000; danno economico: circa 10 miliardi di Euro) confrontabile con quello della California del 1989 (14.5 miliardi di \$ USA), malgrado fosse caratterizzato da un'energia circa 30 volte inferiore. Ciò è dovuto principalmente all'elevata densità abitativa e alla notevole fragilità del nostro patrimonio edilizio.

Evento di magnitudo M= 7,0		
	<b>Morti</b>	<b>Feriti</b>
<b>Appennino Meridionale</b>	5.000/11.000	più di 15.000
<b>Media mondiale</b>	6.500	20.500
<b>Giappone</b>	50	250
Evento di magnitudo M= 7,5		
	<b>Morti</b>	<b>Feriti</b>
<b>Appennino Meridionale</b>	15.000/32.000	più di 37.000
<b>Media mondiale</b>	18.500	75.000
<b>Giappone</b>	400	2.000

**Fig.11.4** Numero di vittime attese sia in aree italiane ad elevata pericolosità sismica, che, a parità di popolazione colpita, in Giappone e a livello mondiale

### **11.3 Il rischio sismico**

Per rischio di una struttura derivante da un evento calamitoso si intende la combinazione di tre parametri:

1. La *pericolosità* che definisce l'entità dell'evento, ossia la frequenza e l'energia (magnitudo) associate ai terremoti che caratterizzano un territorio. Quest'ultimo avrà una pericolosità sismica tanto più elevata quanto più probabile sarà, a parità di intervallo di tempo considerato, il verificarsi di un terremoto di una certa magnitudo.
2. La *vulnerabilità* che definisce la predisposizione di una costruzione ad essere danneggiata da una scossa sismica. Quanto più un edificio è vulnerabile (per tipologia, progettazione inadeguata, scadente qualità dei materiali e modalità di costruzione, scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze che ci si deve aspettare in seguito alle oscillazioni cui la struttura sarà sottoposta.
3. L'*esposizione* che definisce la maggiore o minore presenza di beni a rischio e, dunque, la conseguente possibilità di subire un danno (economico, in vite umane, ai beni culturali, ecc...).



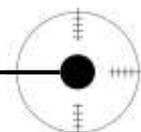
Fig.11.5 Quadro schematico delle tre componenti che determinano il rischio sismico

Il rischio sismico è determinato da una combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione ed è la misura dei danni che, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti), ci si può attendere in un dato intervallo di tempo.

I terremoti sono fra i disastri naturali più comuni e sono, spesso, i più catastrofici per l'umanità. Nel mondo se ne verificano annualmente almeno un paio di distruttivi ed il numero medio annuo delle vittime è superiore a 20.000. Circa un terzo della popolazione mondiale vive in zone esposte al pericolo di terremoti e sovente occupa edifici non adeguati a resistere alle vibrazioni del terreno da essi causate: il sisma costituisce una reale minaccia per l'umanità intera.

Si tratta di un fenomeno ricorrente, ma fortemente irregolare nei suoi tempi di accadimento: ogni cento, duecento anni, o anche più.

L'irregolarità con cui i forti terremoti si succedono nelle diverse zone contribuisce alla riduzione della consapevolezza del rischio sismico e, conseguentemente, molto spesso, alla limitatezza delle risorse dedicate alla sua mitigazione.



### **11.4 Il Terremoto dell’Abruzzo**

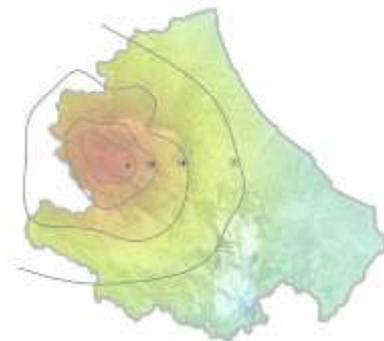
Quando alle ore 3:33 del mattino del 6 aprile 2009 la terra aquilana ha cominciato a tremare, una nuova triste pagina nella storia dei terremoti italiani si stava scrivendo.



**Fig.11.6 Faglia di 40 km che ha distrutto L’Aquila**

In realtà la scossa principale ( $M = 6.3$ ), il cui epicentro è stato localizzato a meno di 10 km dalla città de L’Aquila, era stata preceduta da numerosi altri eventi e ad essa sono seguite numerose repliche, tra le quali quelle di maggiore intensità sono state registrate il 7 aprile ( $M = 5.6$ ) ed il 9 aprile ( $M = 5.3$ ).

Lo sciame sismico (fig. xxx) ha interessato nel suo complesso un’area di oltre 30 km in direzione NO-SE, parallelamente all’asse della catena appenninica, ed i terremoti della sequenza sono avvenuti, per la maggior parte, entro 10-12 km di profondità.



**Fig.11.7 Mappa di scuotimento: isosismiche riferite alla scala Mercalli**

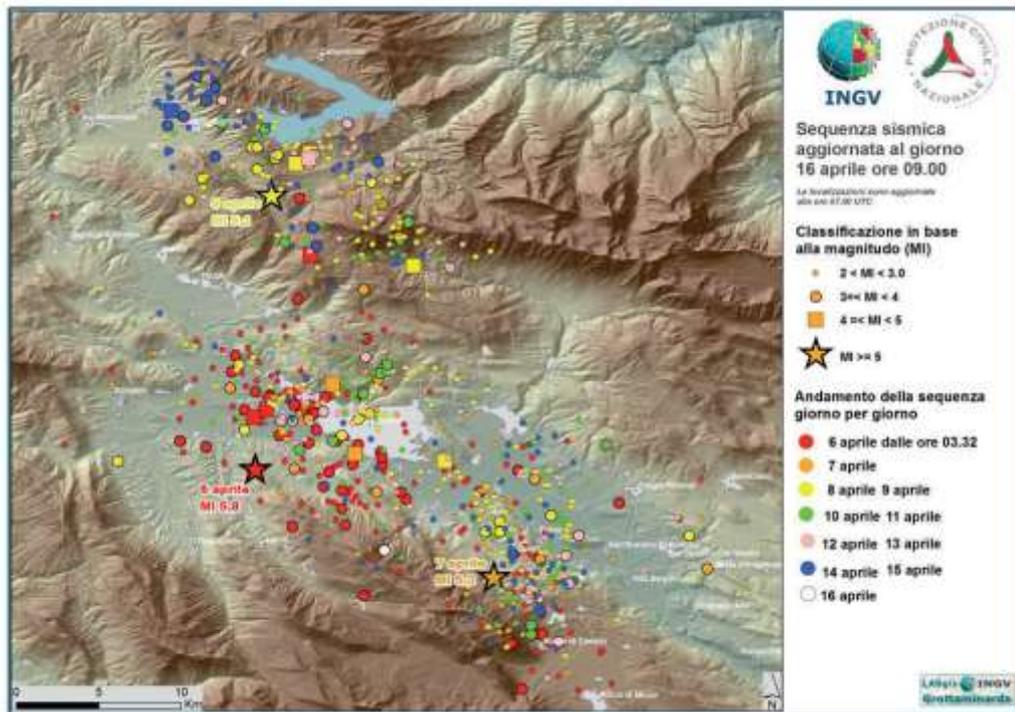


Fig.11.8 Report sequenza sismica, INGV

Il terremoto che ha colpito l’Abruzzo centrale ha causato più di 300 vittime e 1500 feriti, lasciando circa 65000 persone senza casa. Gli effetti sulle costruzioni sono stati infatti devastanti, con il danneggiamento, secondo una prima stima, di circa 10-15 mila edifici e numerosi casi di collasso globale . Sebbene caratterizzato da una intensità sismica paragonabile a quella di altri drammatici episodi verificatesi in Italia nei decenni precedenti, due aspetti hanno infatti reso tale terremoto particolarmente distruttivo:

1. La vicinanza dell’epicentro alla città;
2. Le forti amplificazioni locali che si sono registrate in funzione delle diverse caratteristiche geomorfologiche dei terreni.

La prima causa ha determinato una forte componente verticale dell’accelerazione del terreno (effetto near-field), che ha prodotto delle sollecitazioni non previste anche nelle costruzioni progettate secondo moderni criteri antisismici (gli effetti dovuti alla componente verticale del sisma vengono infatti considerati solo ed esclusivamente in alcuni casi particolari).

Gli effetti locali, o effetti di sito, hanno invece determinato un danneggiamento disomogeneo ed irregolare del costruito a seguito delle forti amplificazioni locali che si sono registrate soprattutto in presenza di sedimenti “soffici”, quali depositi alluvionali e terreni di riporto, come ad esempio quelli caratterizzanti la frazione di Onna.

Con riferimento al capoluogo, caratterizzato dalla presenza di tipologie edilizie molto eterogenee, di differente qualità ed in differenti stati di conservazione, si è registrato il crollo di diversi edifici monumentali, tra cui la cupola della chiesa

delle Anime Sante e gli edifici della Prefettura, di alcuni edifici civili, tra cui la Casa dello Studente e di numerosi edifici residenziali (fig. 11.11); in aggiunta sono stati osservati ingenti danni, soprattutto nel centro storico, sia agli edifici in muratura che ai più recenti edifici in cemento armato.

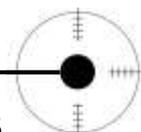


**Fig.11.9 Report Palazzo del Governo e Cupola della Chiesa delle Anime Sante**



**Fig.11.10 La Casa dello Studente**

Nell'ambito degli edifici in muratura, le costruzioni che hanno riportato danni maggiori sono state quelle più antiche realizzate con materiali poveri e tecniche costruttive scadenti, quali ad esempio gli edifici realizzati con murature a sacco, di pietra irregolare e riempimento in materiale incoerente. Frequenti sono stati gli episodi di ribaltamento dei pannelli murari ed il collasso di solai interni e delle coperture conseguente alla perdita d'appoggio delle travi portanti dovute alle deformazioni fuori piano delle murature (fig. 11.12).





**Fig.11.11 Report fotografico realizzato durante il sopralluogo promosso dal Politecnico di Milano, 1 Marzo 2010, Zona rossa, L'Aquila**

Nel caso delle costruzioni in cemento armato i danneggiamenti riscontrati sono, principalmente, imputabili alla cattiva qualità dei conglomerati cementizi, all'inadeguata progettazione dei dettagli costruttivi, e alla presenza di forti irregolarità in pianta ed in elevazione.

Sebbene in numero piuttosto limitato, le strutture in acciaio presenti sul territorio, prevalentemente destinate ad edifici con funzioni di carattere produttivo e commerciale, hanno invece subito pochissimi danni, dimostrando di offrire prestazioni di gran lunga superiori rispetto alle altre tipologie costruttive (fig. 11.13).



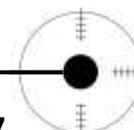
**Fig.11.12 Edifici in acciaio dopo il sisma, L'Aquila**

In buona sostanza può dunque affermarsi che il terremoto aquilano ha dimostrato, ancora una volta, come l'utilizzo dell'acciaio nelle zone a rischio sismico rappresenti una scelta ottimale e vincente anche grazie all'ampia gamma di soluzioni tipologiche disponibili, tutte altamente competitive sia in termini di sicurezza che di funzionalità. Tale competitività è ancora più evidente se si considera che molti dei manufatti presenti sul territorio abruzzese sono stati progettati sulla base di normative precedenti, certamente meno esaustive sotto l'aspetto della progettazione sismica, a dimostrazione quindi di una capacità intrinseca di queste strutture di resistere alle forze sismiche in virtù delle elevate doti di resistenza e duttilità del materiale di base. Non è un caso infatti se in Italia, ma non solo, i casi di crolli di costruzioni di acciaio a seguito di terremoti sono molto rari.

### **11.5 La scelta del materiale: Considerazioni generali**

Tra le scelte che bisogna affrontare per una adeguata progettazione strutturale quella del materiale è senza dubbio la più rilevante. Da essa dipendono molte considerazioni successive quali il tipo di risposta che l'edificio avrà nei confronti del sisma, il tipo di struttura (isostatica o iperstatica) e la capacità o meno di sfruttare eventuali risorse plastiche.

Importanti per il tipo di scelta sono anche la destinazione d'uso dell'edificio e il contesto architettonico dell'intorno.



La tipologia adottata nel complesso residenziale è una struttura prevalentemente in acciaio con parti miste in acciaio-calcestruzzo. Tale scelta è il risultato di una serie di considerazioni tra cui in primis vi è il tipo di risposta che l'acciaio può dare nei confronti del sisma.

Il buon comportamento delle strutture in acciaio in occasione di eventi sismici è ormai comprovato dall'esperienza e dalla diffusione che tali costruzioni hanno avuto soprattutto in quei paesi, quali il Giappone e la California, dove il rischio sismico è estremamente elevato.

Per comprendere le ragioni che sono alla base di tale evidenza è opportuno fare un passo indietro ed analizzare brevemente quali sono, in linea di massima, le scelte che un progettista può effettuare al fine di concepire e dimensionare un organismo strutturale "sismoresistente".

In generale, per fronteggiare l'azione indotta dal sisma, esistono due opzioni progettuali fondamentali. La prima consiste nel realizzare strutture che reagiscono "per massa", ossia caratterizzate da membrature molto resistenti le quali, anche quando sollecitate da terremoti di forte intensità, risultano essere soggette ad un regime di sforzi di tipo elastico. Tale comportamento richiede che la deformazione elastica accumulata venga restituita integralmente senza lasciare tracce di deformazioni residue. A tal fine è necessario conferire alla struttura anche un'elevata rigidità e, in linea di massima, ciò comporta un sovradimensionamento delle strutture che produce, nella maggior parte dei casi, soluzioni antieconomiche.

In alternativa, è possibile realizzare strutture che, attraverso la deformazione plastica controllata ed affidabile di alcune zone specifiche, riescono a dissipare parte dell'energia sismica in ingresso assumendo un comportamento globale "duttile". Strutture di tale tipo, dette "dissipative", consentono l'utilizzo di membrature più leggere, in favore dell'economia generale del progetto.

Le strutture in acciaio, più leggere, garantiscono la possibilità di assorbire l'energia sismica utilizzando le elevate riserve plastiche tipiche del materiale, tramite l'uso di dettagli costruttivi decisamente meno onerosi di quelli che sarebbe necessario prevedere con una struttura di tipo tradizionale.

L'acciaio è inoltre un materiale riciclabile che permette anche un facile smantellamento nel momento in cui l'opera termina il suo ciclo di vita e deve essere demolita.

Oltre ai requisiti di sostenibilità ambientale e antisismica, vanno poi attribuiti all'acciaio tanti altri pregi quali la funzionalità, la durabilità, le potenzialità architettoniche, la rapidità costruttiva e la semplicità di messa in opera.

Inoltre, la possibilità di dissipare parte dell'energia sismica in ingresso consente di considerare forze di progetto ridotte anche per le fondazioni, rispetto al caso di strutture non dissipative, con una ulteriore riduzione dei costi di costruzione.

Il conferimento poi di un comportamento globale di tipo duttile garantisce, infine, un maggiore margine di sicurezza nel caso in cui l'azione sismica risultasse essere più alta del previsto. Infatti, grazie alla maggiore capacità di deformazione ed al comportamento duttile, le strutture dissipative sono in grado di sfruttare appieno le riserve in campo plastico a fronte di una domanda

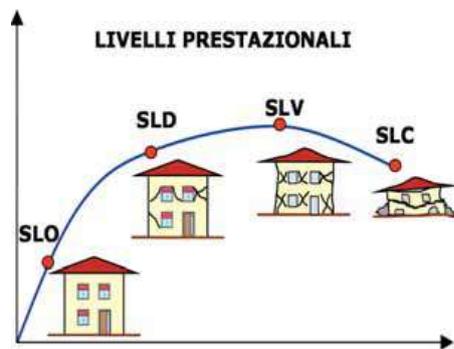
di sollecitazione più elevata. Di contro, le strutture non dissipative, a fronte di una forzante più intensa, non potrebbero offrire una resistenza maggiore di quella limite elastica.

La realizzazione di strutture dissipative rappresenta, dunque, il modo migliore per resistere all'evento sismico e, in tale contesto, l'acciaio presenta notevoli vantaggi rispetto agli altri materiali da costruzione grazie alla maggiore propensione che tale materiale ha nel realizzare strutture a comportamento globale "duttile".

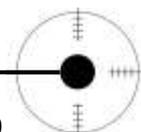
A questi va aggiunto l'indubbio vantaggio della leggerezza dell'organismo strutturale cui si perviene, fattore questo di fondamentale importanza essendo le azioni sismiche proporzionali alla massa della costruzione.

Oltre all'alto rendimento meccanico e all'elevata duttilità, l'acciaio annovera tra i suoi vantaggi anche quelli di tipo tecnologico ed ambientale. L'avanzato livello di industrializzazione dei processi produttivi e costruttivi, la facilità di trasporto e di montaggio e la possibilità di riciclare completamente il materiale, in accordo ai principi della sostenibilità, rappresentano infatti solo alcuni degli aspetti che rendono tale materiale ancora più accattivante se paragonato ai materiali tradizionali.

Non va infine trascurata la possibilità di poter dare vita, grazie alle sue caratteristiche prestazionali ed alla sua versatilità, a splendidi esempi di architettura strutturale anche in zone ad altissimo rischio sismico, riuscendo così a colmare, in un soddisfacente connubio, quell'ormai consolidato gap instauratosi tra architettura ed ingegneria.



**Fig.11.13 Livelli prestazionali di progetto\_NTC'08**



### 11.5.1 Tipologia di acciaio e coefficienti

Come noto, il materiale è caratterizzato da un legame costitutivo tensione ( $\sigma - \epsilon$ ) simmetrico a trazione e compressione. Nella fig. 11.15 viene riportato il tipico legame costitutivo degli acciai per impieghi strutturali: questo è caratterizzato da un primo tratto con andamento pressoché lineare fino al raggiungimento della tensione di snervamento ( $f_y$ ).

Successivamente si ha un tratto praticamente rettilineo seguito da un ramo incrudente fino al raggiungimento del punto di massimo della curva  $\sigma - \epsilon$  cui convenzionalmente si associa il valore della tensione di rottura ( $f_u$ ). Il corrispondente valore di deformazione  $\epsilon_u$ , detta deformazione ultima, indica l'inizio del fenomeno della strizione, dove il materiale perde la sua stabilità di forma, ma continua a sviluppare un comportamento duttile fino al raggiungimento della rottura vera e propria per  $\epsilon = \epsilon_t$

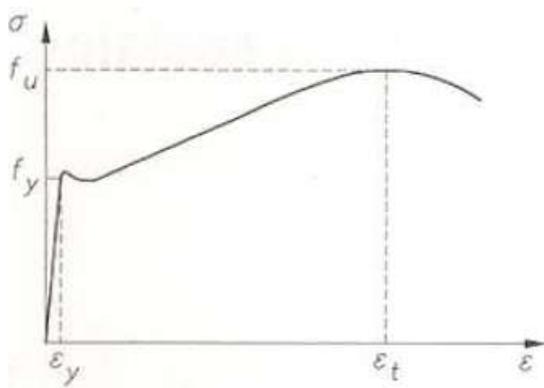


Fig. 11.14 Schematizzazione del legame costitutivo dell'acciaio

Le regole di progettazione delle componenti in acciaio per impieghi strutturali sono basate su ipotesi semplificative che presuppongono un adeguato livello di duttilità del materiale e di sovra resistenza rispetto allo snervamento soprattutto quando si utilizzano metodi di calcolo basati sul comportamento plastico.

La progettazione in ambito strutturale viene svolta considerando i seguenti valori per i coefficienti che caratterizzano il materiale acciaio:

- densità:  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- coefficiente di Poisson:  $\nu = 0,3$ ;
- modulo di elasticità:  $E = 205000 \text{ N/mm}^2$
- modulo di elasticità trasversale:  $G = E / [2(1 + \nu)] \approx 78 \text{ N/mm}^2$

L'acciaio scelto per la progettazione è del tipo Fe360 (S235) con le seguenti caratteristiche:

- tensione di snervamento:  $f_{yk} = 235 \text{ MPa}$ ;
- tensione di rottura:  $f_{uk} = 360 \text{ MPa}$ ;
- tensione di snervamento di progetto:  $f_{yd} = 235 \text{ MPa} / 1,05 = 223,8 \text{ Mpa}$ .

### **11.6 Linee guida per la progettazione di edifici in zona sismica**

Per ottimizzare il rapporto tra prestazioni e costi, le indicazioni progettuali di ogni normativa sismica, che sia nazionale che internazionale, sono basate su obiettivi differenziati in funzione della probabilità di accadimento dell'evento sismico. Nel caso di un evento che ha alta probabilità di verificarsi durante la vita dell'edificio (quindi di intensità non particolarmente elevata) è necessario garantire che la struttura rimanga sostanzialmente in campo elastico e che gli elementi non strutturali (elementi di finitura, impianti, etc.) non subiscano danni rilevanti: in tal modo il costo di riparazione non sarà sproporzionato rispetto al valore dell'opera stessa. Per un evento sismico che ha bassa probabilità di verificarsi durante la vita dell'edificio (quindi di intensità elevata) si mira solo ad evitare che la struttura crolli; si ritiene cioè inevitabile che essa superi il limite elastico e subisca danni anche molto rilevanti. Nell'uno e nell'altro caso, il comportamento di un edificio reale viene esaminato definendo opportuni modelli:

Un modello strutturale: che identifica le ipotesi semplificative utilizzabili per passare dalla realtà allo schema.

Un modello per le azioni: nella fase progettuale occorre "prevedere" quali saranno le azioni future che la struttura dovrà sopportare; occorre quindi definire i terremoti di progetto, ossia gli spettri di risposta elastico e di progetto.

Un modello di comportamento: cioè indicare in che modo valutare la risposta della struttura all'azione sismica (regime elastico-sismi deboli o inelastico-sismi forti).

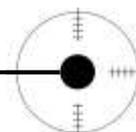
La scelta dei modelli è legata agli obiettivi che l'analisi si pone ed è fortemente condizionata dalle caratteristiche tipologiche dell'edificio in esame, in primis la regolarità.

La regolarità di un edificio e della sua struttura è importante in generale, anche quando esso è soggetto esclusivamente a carichi verticali, ma diventa particolarmente rilevante in zona sismica in cui i carichi rilevanti sono quelli orizzontali.

La regolarità condiziona infatti la capacità di prevedere il comportamento della struttura, la qualità del suo comportamento, il costo di realizzazione.

Il termine regolarità racchiude due concetti distinti: semplicità strutturale e uniformità. Con il primo ci si riferisce all'esistenza di percorsi chiari e diretti per la trasmissione delle azioni (verticali e/o orizzontali) dal punto in cui sono applicate fino alla fondazione della struttura, di analisi (risoluzione dello schema), di definizione dei dettagli costruttivi.

Con il secondo si intende una uniforme distribuzione dei carichi ed una uniforme distribuzione degli elementi resistenti. In particolare in zona sismica occorre curare l'uniformità delle masse, perché l'azione sismica è



proporzionale alle masse presenti, delle rigidità, perché in fase elastica l'azione sismica si distribuisce tra gli elementi in proporzione alle rigidità, delle resistenze e della duttilità, perché queste condizionano il comportamento quando si supera la fase elastica.

### 11.7 Caratteri generali del progetto strutturale

Dal punto di vista strutturale il progetto mira alla massima regolarità, sviluppando una maglia modulare con un passo dei pilastri di 3.5 m.

Il progetto prevede una struttura quasi interamente in acciaio, ad eccezione delle fondazioni, dei muri contro terra al piano interrato, del corpo scale che funge da controvento e del getto collaborante dei solai, realizzati invece in calcestruzzo armato.

Ai profili dei pilastri sono saldate piastre a L per la bullonatura in cantiere delle travi, così come l'unione tra travi principali e traversi è realizzata mediante bullonatura a piastre.

Le solette sono realizzate con lamiera grecata irrigidite da getto collaborante che rende il loro comportamento approssimabile a quello di un diaframma rigido (fattore molto importante per il comportamento a sisma dell'edificio); ad eccezione del solaio contro terra per cui è previsto un vespaio aerato con elementi prefabbricati e getto armato.

Per il controventamento si sfrutta il nucleo chiuso trapezoidale in c.a. che ospita il vano di distribuzione verticale, ad ovest.

Tale sistema è dimensionato a sisma, in quanto forza orizzontale notevolmente più ingente rispetto a quella del vento.

Si riportano di seguito l'analisi ed il calcolo strutturale relativi all'edificio.

### 11.8 Sicurezza e prestazioni attese: Vita nominale dell'opera

La vita nominale strutturale di un edificio, indicata con il termine  $V_N$ , rappresenta il numero di anni nei quali la struttura deve necessariamente essere usata, pur prevedendo lo svolgimento di opere di manutenzione ordinaria. La costruzione in esame risulta essere compresa nella seconda fascia ovvero quella che ha una vita utile maggiore o uguale a cinquant'anni.

Tipo di costruzione	$V_N$ [anni]
Opere provvisorie, opere provvisionali, strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
Opere ordinarie, infrastrutturali, ponti e dighe di importanza normale	$\geq 50$
Grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di importanza strategica	$\geq 100$

Tab.11.15 Vita nominale in relazione al tipo di edificio

### **11.9 Azioni agenti**

La normativa opera una classificazione dei carichi sulla base della durata di permanenza degli stessi sulla struttura, in relazione alla vita utile dell'edificio. Qui di seguito si riportano i dati relativi ai carichi permanenti e variabili agenti sulla struttura, operando una distinzione fra carichi permanenti strutturali e non strutturali.

#### **11.9.1 Carichi permanenti strutturali**

Il peso proprio dei materiali strutturali dipende strettamente dal tipo di sezione e di acciaio utilizzati, fattori direttamente collegati al dimensionamento degli elementi strutturali. Si procederà in seguito alla loro determinazione.

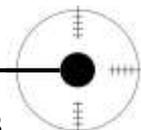
#### **11.9.2 Carichi permanenti non strutturali**

Con riferimento al capitolo 3.1.3 del D.M. del 14/01/2008, sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, quali quelli relativi a tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti ed altro, ancorché in qualche caso sia necessario considerare situazioni transitorie in cui essi non siano presenti.

Essi devono essere valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti.

In linea di massima, in presenza di orizzontamenti anche con orditura unidirezionale ma con capacità di ripartizione trasversale, i carichi permanenti portati ed i carichi variabili potranno assumersi, per la verifica d'insieme, come uniformemente ripartiti. In caso contrario, occorre valutarne le effettive distribuzioni. I tramezzi e gli impianti leggeri di edifici per abitazioni e uffici possono assumersi, in genere, come carichi equivalenti distribuiti, purché i solai abbiano adeguata capacità di ripartizione trasversale.

Vengono ora riportate le tabelle indicanti le stratigrafie dei pacchetti tecnologici, che costituiscono i carichi permanenti non strutturali. Nel corso delle verifiche si provvederà a definire anche i carichi strutturali agenti, il cui valore varierà in funzione dei dati emersi dal dimensionamento.



## CAPITOLO UNDICESIMO – LE STRUTTURE E IL PROBLEMA SISMICO

C.V.O.1 - CHIUSURA VERTICALE OPACA CON RIVESTIMENTO IN FIBROCEMENTO				
Strati tecnologici		Sp.	$\rho$	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Fibrocemento colorato in pasta	0,8	2000	0,16
2	Camera d'aria ventilata - Doppia orditura in travetti di legno 4x4cm	-	-	-
3	Membrana di tenuta all'acqua	-	-	-
4	Lastra di polistirene espanso	12	40	0,048
5	Lastra di cemento rinforzato	1,2	1400	0,168
6	Membrana di tenuta all'aria	-	-	-
7	Pannello di lana di roccia	6	120	0,072
8	Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
9	Camera d'aria non ventilata	7,5	-	-
10	Profili a "C" montanti di acciaio - 5x5cm	0,06	-	-
11	Rotolo di lana di roccia	4	120	0,048
12	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
13	Barriera al vapore	-	-	-
14	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
Totale				0,721

C.V.O.2 - CHIUSURA VERTICALE OPACA DIVISIONE VANO SCALA				
Strati tecnologici		Sp.	$\rho$	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Lastra di Aquapanel	1,25	1300	0,1625
2	Lastra di polistirene espanso	12	40	0,048
3	Lastra di cemento rinforzato	1,2	1400	0,168
4	Membrana di tenuta all'aria	-	-	-
5	Pannello di lana di roccia	6	120	0,072
6	Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
7	Camera d'aria non ventilata	7,5	-	-
8	Profili a "C" montanti di acciaio - 5x5cm	0,06	-	-
9	Rotolo di lana di roccia	4	120	0,048
10	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
11	Barriera al vapore	-	-	-
12	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
Totale				0,7235

C.V.O.3 - CHIUSURA VERTICALE OPACA RIVESTIMENTO GABION-WALL				
Strati tecnologici		Sp.	$\rho$	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Gabion-wall con riempimento in macerie	12	600	0,72
2	Guaina impermeabilizzante	0,3	-	-
3	Lastra di polistirene espanso	12	40	0,048
4	Lastra di cemento rinforzato	1,2	1400	0,168
5	Membrana di tenuta all'aria	-	-	-
6	Pannello di lana di roccia	6	120	0,072
7	Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
8	Camera d'aria non ventilata	7,5	-	-
9	Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
10	Rotolo di lana di roccia	4	120	0,048
11	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
12	Barriera al vapore	-	-	-
13	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
Totale				1,281

C.V.O.4 - MURO CONTRO TERRA				
Strati tecnologici		Sp.	$\rho$	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Vespai in ghiaia	-	-	-

**CAPITOLO UNDICESIMO – LE STRUTTURE E IL PROBLEMA SISMICO**

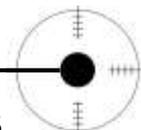
2	Telo bugnato in polietilene	-	-	-
3	Pannello in vetro cellulare	10	170	0,17
5	Pannello di lana di roccia	6	120	0,072
6	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
7	Barriera al vapore	-	-	-
8	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
			<b>g<sub>2</sub>=</b>	<b>0,467</b>
9	Muro in C.A.	25	2400	6
			<b>g<sub>1</sub>=</b>	<b>6</b>
			<b>Totale</b>	<b>6,467</b>

P.V.1 - PARTIZIONE VERTICALE INTERNA				
Strati tecnologici		Sp.	ρ	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
2	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
3	Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
4	Rotolo di lana di roccia	6	40	0,024
5	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
6	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
			<b>Totale</b>	<b>0,474</b>

P.V.2 - PARTIZIONE VERTICALE INTERNA (PASSAGGIO IMPIANTI)				
Strati tecnologici		Sp.	ρ	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
2	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
3	Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
4	Rotolo di lana di roccia	6	40	0,024
5	Intercapedine per passaggio impianti	10	-	-
6	Profili a "C" montanti di acciaio - 7,5x5cm	0,06	-	-
7	Rotolo di lana di roccia	6	40	0,024
8	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
9	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
10	Finitura esterna in piastrelle	1	2000	0,2
			<b>Totale</b>	<b>0,698</b>

P.V.3 - PARTIZIONE VERTICALE ESTERNA (vano scala)				
Strati tecnologici		Sp.	ρ	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Gabion-wall con riempimento in macerie	12	600	0,72
			<b>g<sub>2</sub>=</b>	<b>0,72</b>
2	Muro in C.A.	25	2400	6
			<b>g<sub>1</sub>=</b>	<b>6</b>
			<b>Totale</b>	<b>6,72</b>

C.I.S.1 - CHIUSURA INCLINATA SUPERIORE CON PANNELLI FOTOVOLTAICI				
Strati tecnologici		Sp.	ρ	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Rivestimento in lamiera di alluminio	0,1	2700	0,027
2	Camera d'aria ventilata	5	-	-
3	Membrana di tenuta all'acqua	-	-	-
4	Lastra di polistirene espanso	14	100	0,14
5	Lastra di cemento rinforzato	3	1600	0,48
6	Membrana di tenuta all'aria	-	-	-
7	Rotolo di lana di roccia	12	40	0,048
9	Trave in acciaio	7,5	-	-
10	Profili a "C" montanti di acciaio - 5x5cm	0,06	-	-
12	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
13	Barriera al vapore	-	-	-



**CAPITOLO UNDICESIMO – LE STRUTTURE E IL PROBLEMA SISMICO**

14	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
			Totale	0,92

P.O.1 - PARTIZIONE ORIZZONTALE INTERNA					
Strati tecnologici		Sp.	$\rho$	Peso	
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]	
1	Finitura interna in legno	1	700	0,07	
2	Strato di colla	0,5	-	-	
3	Massetto di allettamento	4	1800	0,72	
4	Pannelli isolanti in polistirene estruso per fissaggio dei tubi radianti	3	35	0,0105	
5	Rotolo in sughero	0,3	135	0,00405	
6	Rotolo di lana di roccia	6	40	0,024	
7	Trave in acciaio - HE180AA	18	-	-	
8	Pendini con gancio a molla	-	-	-	
9	Doppia orditura di "C" montanti di acciaio zincato - 5x2,7cm	0,06	-	-	
10	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125	
11	Barriera al vapore	-	-	-	
12	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125	
				<b>g<sub>2</sub>=</b>	<b>1,0536</b>
13	Solaio collaborante in getto armato con rete elettrosaldata su lamiera grecata	-	-	1	
				<b>g<sub>1</sub>=</b>	<b>1</b>
				<b>Totale</b>	<b>2,0536</b>

C.O.1 - CHIUSURA ORIZZONTALE SOLAIO SU SPAZI APERTI					
Strati tecnologici		Sp.	$\rho$	Peso	
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]	
1	Finitura interna in legno	1	700	0,07	
2	Strato di colla	0,5	-	-	
3	Massetto di allettamento	4	1800	0,72	
4	Pannelli isolanti in polistirene estruso per fissaggio dei tubi radianti	3	35	0,0105	
5	Lastra di polistirene espanso	6	40	0,024	
6	Rotolo in sughero	0,3	135	0,00405	
7	Rotolo di lana di roccia	6	40	0,024	
8	Trave in acciaio - HE180AA	18	-	-	
9	Pendini con gancio a molla	-	-	-	
10	Doppia orditura di "C" montanti di acciaio zincato - 5x2,7cm	0,06	-	-	
11	Lastra di Aquapanel	1,25	1300	0,1625	
				<b>g<sub>2</sub>=</b>	<b>1,0151</b>
12	Solaio collaborante in getto armato con rete elettrosaldata su lamiera grecata	-	-	1	
				<b>g<sub>1</sub>=</b>	<b>1</b>
				<b>Totale</b>	<b>2,0151</b>

C.O.2 - CHIUSURA ORIZZONTALE COPERTURA PRATICABILE				
Strati tecnologici		Sp.	$\rho$	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Finitura esterna in piastrelle	1	2000	0,2
2	Strato di colla	0,5	-	-
3	Massetto di allettamento	4	1800	0,72
4	Strato di protezione in tessuto non tessuto	-	-	-
5	Membrana di tenuta all'acqua	-	-	-
6	Pannello in vetro cellulare	14	170	0,238
7	Rotolo in sughero	0,3	135	0,00405

8	Rotolo di lana di roccia	6	40	0,024
9	Trave in acciaio - HE180AA	18	-	-
10	Pendini con gancio a molla	-	-	-
11	Doppia orditura di "C" montanti di acciaio zincato - 5x2,7cm	0,06	-	-
12	Lastra di Aquapanel	1,25	1300	0,1625
			<b>g<sub>2</sub>=</b>	<b>1,3486</b>
13	Solaio collaborante in getto armato con rete elettrosaldata su lamiera grecata	-	-	1
			<b>g<sub>1</sub>=</b>	<b>1</b>
			<b>Totale</b>	<b>2,3486</b>

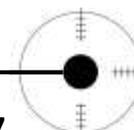
C.O.3 - CHIUSURA ORIZZONTALE TETTO VERDE				
Strati tecnologici		Sp.	ρ	Peso
		[cm]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[KN/m <sup>2</sup> ]
1	Manto erboso	-	-	-
2	Terreno di coltura	10	1900	1,9
3	Stuoia drenante integrata con strato di tessuto filtrante	-	-	-
4	Pannello in alluminio	4	-	-
5	Membrana di tenuta all'acqua	-	-	-
6	Pannello in vetro cellulare	10	170	0,17
7	Rotolo di lana di roccia	6	40	0,024
8	Trave in acciaio - HE180AA	18	-	-
9	Pendini con gancio a molla	-	-	-
10	Doppia orditura di "C" montanti di acciaio zincato - 5x2,7cm	0,06	-	-
11	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
12	Barriera al vapore	-	-	-
13	Lastra di gesso rivestito	1,25	900	0,1125
			<b>g<sub>2</sub>=</b>	<b>2,319</b>
7	Solaio collaborante in getto armato con rete elettrosaldata su lamiera grecata	-	-	1
			<b>g<sub>1</sub>=</b>	<b>1</b>
			<b>Totale</b>	<b>3,319</b>

D.M. 14 Gennaio 2008: Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito  $g_{2k}$ , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito  $g_{2k}$  ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza  $G_{2k}$  delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisori con  $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$  .

Elementi divisori interni con peso proprio maggiore devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.

Nel nostro caso, ipotizzando partizioni verticali interne leggere con rivestimento in doppia lastra in gesso rivestito, sottostruttura metallica di



sostegno dei pannelli e lana di roccia, nel caso limite di una faccia rivestita in piastrelle in ceramica, si ricava un peso circa pari a  $0,698 \text{ kN/m}^2$ .

Trattandosi di elementi divisori interni verticali, il loro carico dovrà essere ragguagliato ad un carico permanente uniformemente distribuito.

Questa operazione viene fatta moltiplicando il carico determinato per l'altezza della partizione e confrontando il valore ottenuto con i valori riportati in normativa:

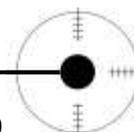
$$0,698 \text{ kN/m}^2 \times 2,7\text{m} = 1,88\text{KN/m lineare}$$

Dalla normativa per elementi divisori con  $1,00 < G_2 < 2,00 \text{ (kN/m)}$  si può fare riferimento a  $g_2 = \mathbf{0,80 \text{ kN/m}^2}$ .

### **11.9.3 Carichi variabili**

I carichi variabili agenti sull'edificio vengono definiti sulla base delle indicazioni contenute in normativa (capitolo 3.1.4 del D.M. del 14/01/2008). Le tabelle fornite riportano i valori da assumere in fase progettuale per quanto concerne i carichi verticali, distribuiti e concentrati, e i carichi orizzontali lineari.

Per quanto riguarda l'edificio in questione, a destinazione residenziale (Categoria A), dotato di ballatoi e zone comuni (Categoria C2), la normativa richiede l'assunzione di un valore rispettivamente pari a  $2,00 \text{ kN/m}^2$  e  $4,00 \text{ kN/m}^2$  per i carichi variabili. Per quanto riguarda le coperture dei volumi, per le parti praticabili (Categoria H2) la normativa prevede che si assegni un carico variabile di  $4,00 \text{ kN/m}^2$ , per quelle non praticabili (H2), al contrario,  $0,5 \text{ kN/m}^2$ . Qui di seguito è riportata la tabella con specificati tutti i carichi variabili da prevedere secondo l'Eurocodice.



**Tabella 3.1.II – Valori dei carichi d’esercizio per le diverse categorie di edifici**

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> 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
B	<b>Uffici.</b> 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
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3,00	2,00	1,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4,00	4,00	2,00
	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 e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	5,00	5,00	2,00
E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b> Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	6,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	—	—	—
F-G	<b>Rimesse e parcheggi.</b> Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	—	—	—
H	<b>Coperture e sottotetti</b> Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 Coperture praticabili	secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	—	—	—
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati				
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso				

**Tab.11.16 Valori dei carichi d’esercizio per le diverse categorie di edifici**

#### 11.9.4 Azione del vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo provocando effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti.

Le azioni statiche del vento si traducono in pressioni e depressioni che agiscono ortogonalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione. L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

#### Pressione del vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

dove:

$q_b$  è la pressione cinetica di riferimento;

$C_e$  è il coefficiente di esposizione;

$C_p$  è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;

$C_d$  è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

#### Velocità di riferimento

La velocità di riferimento  $v_b$  è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche  $v_b$  è data dall'espressione:

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

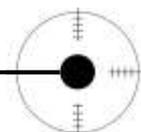
$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

-  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$  sono parametri forniti da apposite tabelle e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone di esposizione;

-  $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare (in metri) del sito ove sorge la costruzione.

Facciamo riferimento per la città de L'Aquila 721 m.s.l.) ai seguenti valori:



**Tabella 3.3.1 - 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

**Tab.11.17 Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$**

Pertanto la velocità di riferimento a L'Aquila risulta:

$v_b (T_R = 50 \text{ [m/s]})$	<b>31,420</b>
$a_R (T_R)$	1,00073
$v_b (T_R) = v_b \times a_R \text{ [m/s]}$	<b>31,443</b>

**Pressione cinetica di riferimento**

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$  (in N/m<sup>2</sup>) è data dall'espressione:

$$q_b = 1/2 \rho v_b^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

dove:

- $v_b$  è la velocità di riferimento del vento (in m/s);
- $\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

**$q_b = 617,92 \text{ N/m}^2$**

**Coefficiente di esposizione**

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto della direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze dal suolo non maggiori di  $z=200$  m, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

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

dove:

$z$  è la massima altezza dal suolo dell'edificio, pari nel caso in esame a 10,4 m;

$k_r, z_0, z_{\min}$  sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

$c_t$  è il coefficiente di topografia, che si assume pari a 1, salvo specificità del caso.

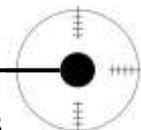
**Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno**

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

**Tab.11.18 Classi di rugosità del terreno**

Secondo quanto riportato nella precedente tabella, assegniamo il terreno del sito di progetto alla classe di rugosità B.



ZONE 1,2,3,4,5						
A	--	IV	IV	V	V	V
B		III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

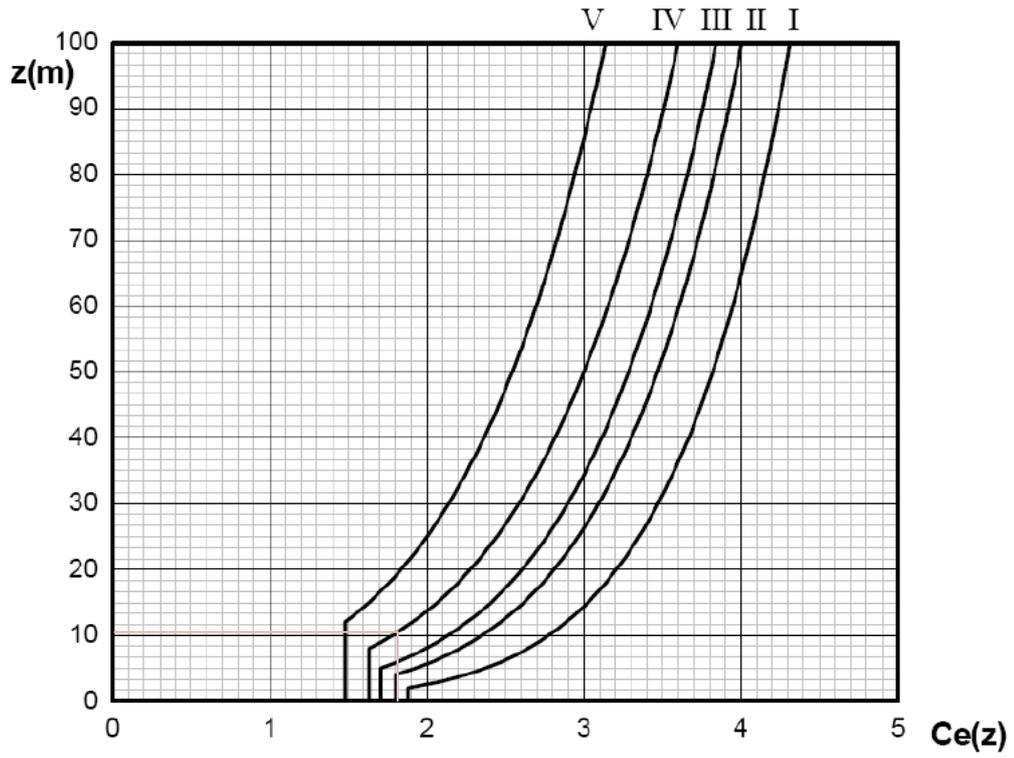
Tab.11.19 Definizione delle categorie di esposizione

Per la zona geografica 3, cui appartiene la località de L’Aquila, considerando una distanza dal mare sicuramente superiore ai 30 km e un’altitudine del sito di progetto superiore ai 500 m s.l.m., dalla figura sopra riportata si evince, per una classe di rugosità B del terreno, che l’area in esame può ritenersi appartenente alla categoria di esposizione IV.

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

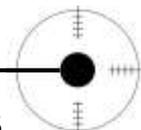
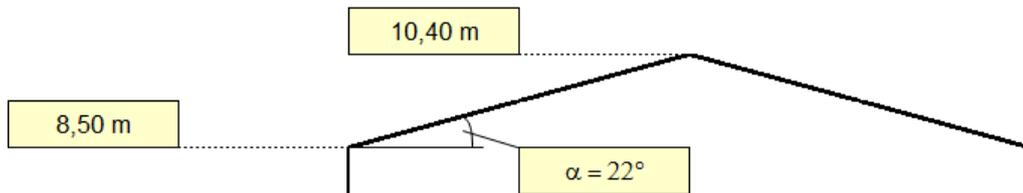
Tab.11.20 Parametri per la definizione del coeff. di esposizione

Determino il coefficiente  $c_e$  dal seguente grafico:



Tab.11.21 Andamento del coefficiente di esposizione con la quota

$z$ [m]	$c_e$
$z \leq 8$	1,634
$z = 8,5$	1,674
$z = 10,4$	1,810



### Coefficiente dinamico

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza come quello in esame ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

### Coefficiente di forma (o aerodinamico)

Il coefficiente di forma  $c_p$  è funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione principali del vento.

In assenza di valutazioni più precise, suffragate da opportuna documentazione o prove sperimentali in galleria del vento, per il coefficiente di forma si assumono i valori riportati ai punti seguenti, con l'avvertenza che si intendono positive le pressioni dirette verso l'interno delle costruzioni.

Ci atteniamo per l'edificio oggetto di studio a quanto riportato nella Circolare 2/02/2009 n. 617 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici alla voce "Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve".

Per la valutazione della pressione esterna si assumerà :

- per elementi sopravento (cioè direttamente investiti dal vento), con inclinazione sull'orizzontale

$$\alpha \geq 60^\circ, c_{pe} = + 0,8$$

- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale

$$20^\circ < \alpha < 60^\circ, c_{pe} = +0,03 \alpha - 1$$

- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale  $0^\circ < \alpha < 20^\circ$  e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente)  $c_{pe} = - 0,4$

Per la valutazione della pressione interna si assumerà (vedere figura xxx e scegliere il segno che dà luogo alla combinazione più sfavorevole):

- per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie minore di 1/3 di quella totale:  $c_{pi} = \pm 0,2$

- per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale:  $c_{pi} = + 0,8$  quando la parete aperta è sopravento,  $c_{pi} = - 0,5$  quando la parete aperta è sottovento o parallela al vento;

- per costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale:  $c_{pe} + c_{pi} = \pm 1,2$  per gli elementi normali alla direzione del vento,  $c_{pi} = \pm 0,2$  per i rimanenti elementi.

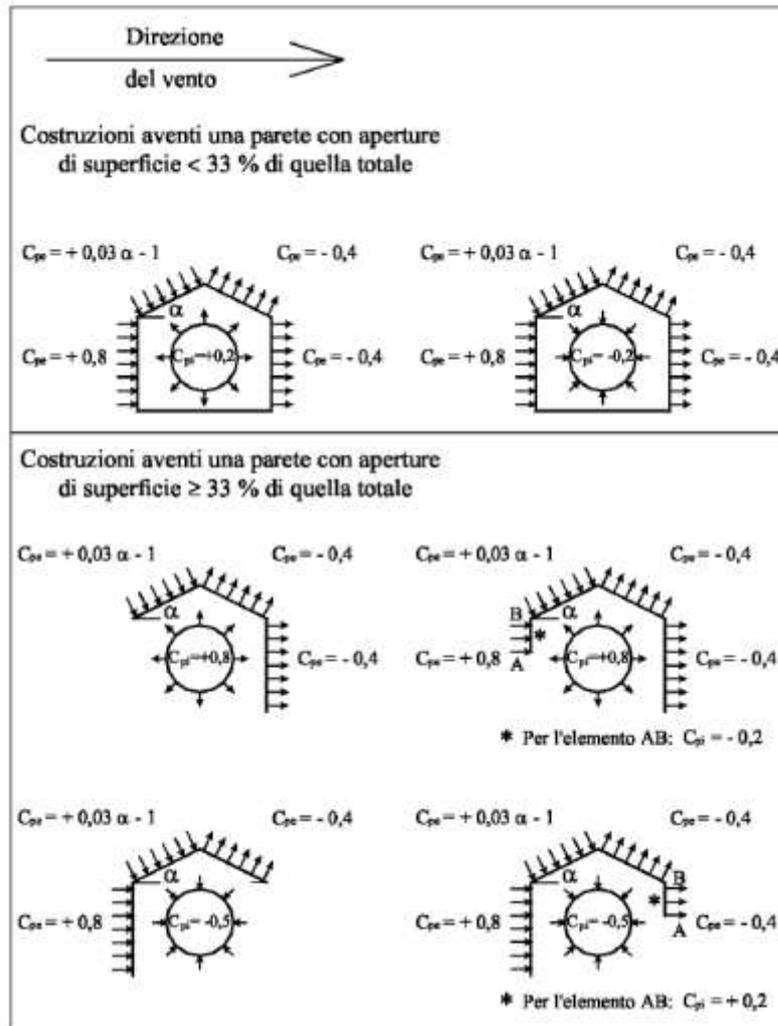
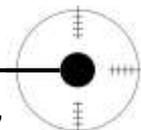
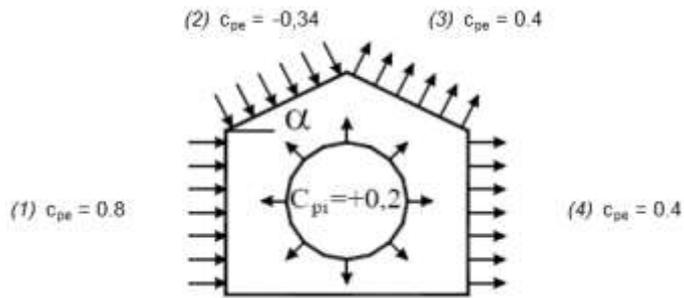
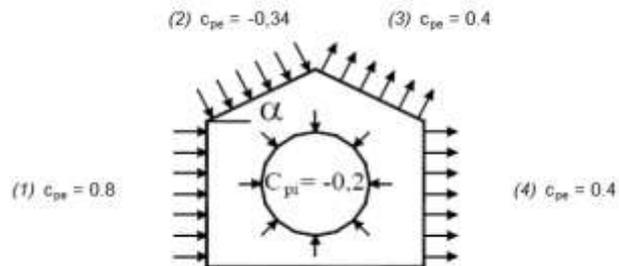


Fig.11.22 Coeff. di forma per gli edifici

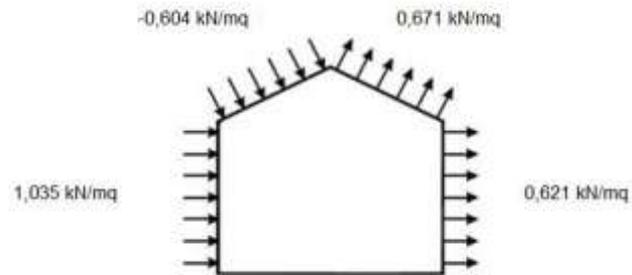




(1)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,60	0,621
(2)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	-0,54	-0,604
(3)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,60	0,671
(4)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,60	0,621



(1)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	1,00	1,035
(2)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	-0,14	-0,157
(3)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,20	0,224
(4)	$c_p$	$p$ [kN/mq]
	0,20	0,207



Combinazione più sfavorevole:

	<b>p [kN/mq]</b>
(1)	1,035
(2)	-0,604
(3)	0,671
(4)	0,621

### **Azione tangenziale del vento**

Consideriamo nulle le azioni tangenziali del vento in ragione delle dimensioni contenute del fabbricato in oggetto, come specificato nel D.M. 14/01/2008.

### **Condizioni di carico del vento**

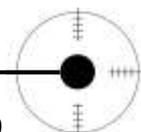
Pressione interna ed esterna si considerano agire contemporaneamente. Il valore netto della pressione su di una parete è dato dalla differenza tra il valore della pressione sulle due superfici opposte, considerando il segno della pressione stessa, nella combinazione più sfavorevole.

Si riportano di seguito i valori della pressione del vento sulle pareti.

$$p = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

Essendo l'edificio simmetrico rispetto al suo asse longitudinale, la pressione all'interno dell'edificio in direzione trasversale si compensa, così come quella in direzione longitudinale e si può quindi considerarle nulle.

Si calcolano le forze agenti a ciascun livello di piano: primo, secondo, terzo impalcato e copertura.



### Condizione di carico 1



Fig. 11.23 Schema strutturale semplificato: distribuzione della pressione del vento in condizione 1

Vento agente in direzione  $x$  negativa (Fig. 11.25). La pressione interna è negativa. La pressione (sia interna che esterna) agente sulle pareti parallele alla direzione del vento (parete nord e parete sud) si auto equilibra, così come la pressione interna agente sulle pareti ortogonali alla direzione del vento. Questi contributi non vengono pertanto considerati nei calcoli della forza totale.

### Condizione di carico 2

Situazione analoga alla precedente ma con pressione interna positiva. Naturalmente, l'azione del vento potrebbe agire in direzione  $x$  positiva; la situazione non differisce in modo determinante rispetto alla condizione di carico 1.

### Condizione di carico 3

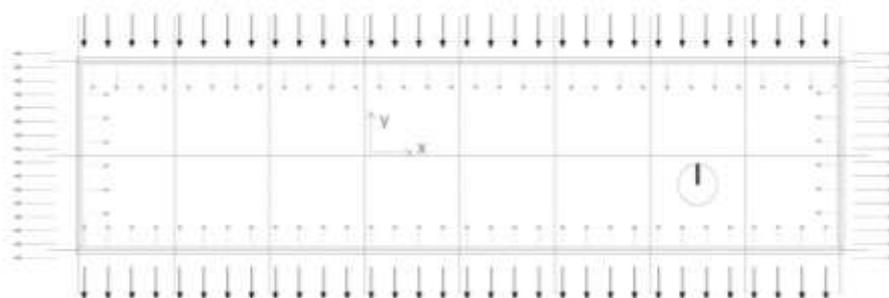


Fig. 11.24 Schema strutturale semplificato: distribuzione della pressione del vento in condizione 3

Vento agente in direzione y negativa (Fig. 11.26). La pressione interna è negativa. La pressione (sia interna che esterna) agente sulle pareti parallele alla direzione del vento (parete est e parete ovest) si auto equilibra, così come la pressione interna agente sulle pareti ortogonali alla direzione del vento. Questi contributi non vengono pertanto considerati nei calcoli della forza totale.

**Condizione di carico 4**

Situazione analoga alla precedente ma con pressione interna positiva.

Naturalmente, l'azione del vento potrebbe agire in direzione y positiva; la situazione non differisce in modo determinante rispetto alla condizione di carico 3.

**Forze del vento**

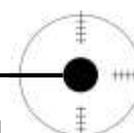
La forza data dal vento ed agente su una struttura viene calcolata moltiplicando la pressione del vento per l'area di riferimento della struttura.



**Fig.11.25 Individuazione delle aree di influenza della pressione del vento**

Livello di piano	Quota [m]	Pressione totale del vento [KN/m <sup>2</sup> ]	Direz. X L [m]	Direz. X H [m]	Direz. X Area [m <sup>2</sup> ]	F <sub>x</sub> [KN]	Direz. Y L [m]	Direz. Y H [m]	Direz. Y Area [m <sup>2</sup> ]	F <sub>y</sub> [KN]
Impalcato 1	0	1,035	9,6	3	28,8	29,81	14,7	3	44,1	45,64
Impalcato 2	3	1,035	9,6	3	28,8	29,81	40	3	120	124,20
Impalcato 3	6	1,035	9,6	3	28,8	29,81	32	3	96	99,36
Copertura	8,9	1,035	Var.	Var.	18	18,63	25,5	3	76,5	79,18

Nota: Per quanto riguarda l'azione del vento sulla copertura questa viene trascurata in quanto la pressione avrebbe un effetto stabilizzante; inoltre la copertura ha un peso tale da non risentire degli effetti della depressione.



### **11.9.5 Azione della neve**

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_e \times C_t \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

dove:

- $q_s$  è il carico neve sulla copertura;
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura;
- $q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>] per un periodo di ritorno di 50 anni;
- $C_e$  è il coefficiente di esposizione;
- $C_t$  è il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

#### **Valore caratteristico del carico neve al suolo**

Il carico di neve (calcolato in riferimento al capitolo 3.4 del D.M. del 14/01/2008), considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona, dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione.

In mancanza di adeguate indagini statistiche, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni nel seguito riportate, cui corrispondono valori con periodo di ritorno di circa 50 anni.

L'altitudine di riferimento  $a_s$  è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio. I valori caratteristici minimi del carico della neve al suolo sono per la località de L'Aquila quelli riportati nel seguito.

L'edificio in esame si trova nella provincia de L'Aquila ad un'altitudine di 721 m sul livello del mare, pertanto si prendono in considerazione i dati relativi alla "zona III" che comprende l'area in esame.

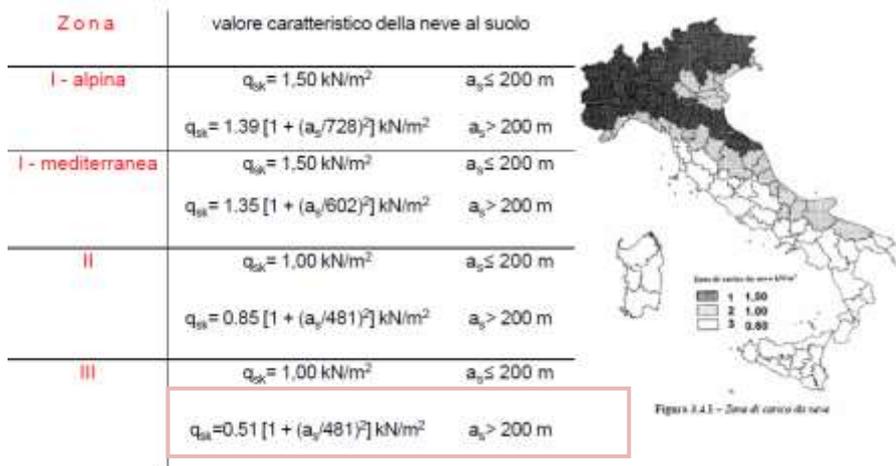


Fig.11.26 Zone di carico da neve

$$q_{sk} = 0,51 [1 + (721/481)^2] \text{ kN/m}^2 = 1,66 \text{ kN/m}^2$$

### Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $C_e$  può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti in apposite tabelle nel D.M. 14/01/2008.

Topografia	Descrizione	$C_e$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni più alte	0,9
Normale	Aree senza rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento	1,0
Riparata	Aree in cui l'edificio è più basso del circostante o circondato da costruzioni o alberi	1,1

Fig.11.27 Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

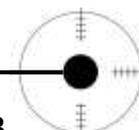
Nel nostro caso, si assumerà:

$$C_e = 1$$

### Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, viene utilizzato:

$$C_t = 1$$



**Coefficiente di forma per la copertura**

In generale verranno usati i coefficienti di forma per il carico neve contenuti nel presente paragrafo, dove vengono indicati i relativi valori nominali per le coperture a una o due falde, essendo  $\alpha$ , espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

I valori dei coefficienti di forma  $\mu_1$  e  $\mu_2$ , riportati in Tabella 11.29 ed illustrati in Figura 11.28, in funzione dell'angolo  $\alpha$ , si riferiscono alle coperture ad una o più falde, come di seguito specificato.

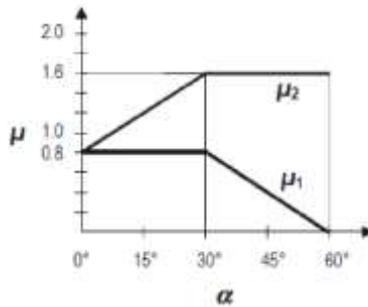


Fig. 11.28 Coefficienti di forma per le coperture

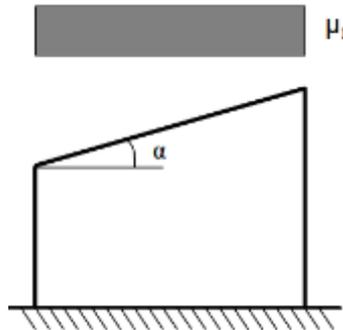
Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + \frac{(0,8 \cdot \alpha)}{30}$	1,6	-

Tab.11.29 Valori del coefficiente di forma

**Copertura a una falda-piana (tetto giardino- terrazza)**

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare. Se l'estremità più bassa della falda termina con un parapetto, una barriera od altre ostruzioni, allora il coefficiente di forma non potrà essere assunto inferiore a 0,8 indipendentemente dall'angolo  $\alpha$ .

Si deve considerare la condizione riportata in Figura la quale deve essere utilizzate per entrambi i casi di carico con o senza vento.



**Fig.11.30** Condizione di carico per copertura a una falda

Secondo la Circolare 2/02/2009 n. 617 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, se la deposizione della neve avviene in presenza di vento, la presenza di sporgenze, quali ad esempio i parapetti di bordo presenti su coperture piane, causano la formazione di accumuli nelle zone di "ombra aerodinamica". Per coperture pseudo orizzontali si dovrà considerare la condizione di carico illustrata nella figura. Suddetta condizione di carico sarà l'unica presa in esame relativamente alle coperture costituite da una sola falda come per il caso di interesse nostro caso.

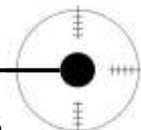
Si assumerà dunque:

$$\mu_1 = 0,8 \text{ e } \mu_2 = \gamma h / q_{sk}, \text{ con la limitazione } 0,8 \leq \mu_2 \leq 2$$

In cui:

$\gamma$  è il peso per unità di volume della neve, che per il presente calcolo può essere assunto pari a  $2 \text{ kN/m}^3$ .

$$l_s = 2h, \text{ con la limitazione } 5 \leq l_s \leq 15 \text{ m}$$



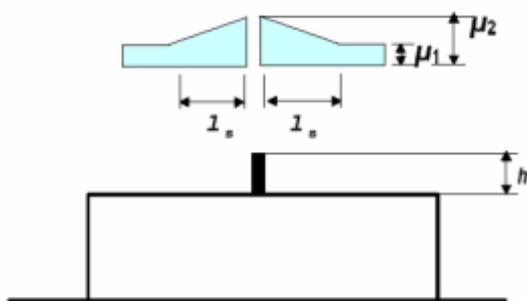


Fig.11.31 Coefficienti di forma in prossimità di parapetti e pareti verticali

Determinati tutti i restanti parametri si procederà calcolando due distinti valori:

$$q_s (\mu_1) = \mu_1 \times q_{sk} \times C_e \times C_t$$

$$q_s (\mu_2) = \mu_2 \times q_{sk} \times C_e \times C_t$$

dove:

- $q_s (\mu_1)$  corrisponde al carico neve uniformemente distribuito sulla superficie della copertura;
- $q_s (\mu_2)$  corrisponde al carico massimo dovuto all'accumulo di neve in corrispondenza del parapetto, che decresce linearmente fino ad assumere il valore  $q_s (\mu_1)$  a una distanza  $l_s$  dal parapetto.

Per determinare il carico  $q_x$  agente ad una generica distanza  $l_s$  dal parapetto è sufficiente eseguire la seguente proporzione:

$$(q_s (\mu_2) - q_s (\mu_1)) : l_s = q_x' : l_s'$$

dove  $q_x'$  è la componente lineare del carico agente, che sommata a  $q_s (\mu_1)$  dà  $q_x$ , esattamente come segue:

$$q_x = q_x' + q_s (\mu_1)$$

Si determinano alla luce dei dati raccolti, i restanti parametri utili al calcolo di  $q_s$  nel caso della copertura piana tenendo conto dell'accumulo della neve contro i parapetti e gli elementi verticali (la copertura del blocco adiacente):

$$\mu_2 = \gamma h / q_{sk} = 2 \text{ kN/m}^3 \times 1,1 \text{ m} / 1,66 \text{ kN/m}^2 = 1,325$$

dove per ipotesi 1,1 m è l'altezza del parapetto.

Si è ora in grado di determinare con certezza i valori di  $q_s$ .

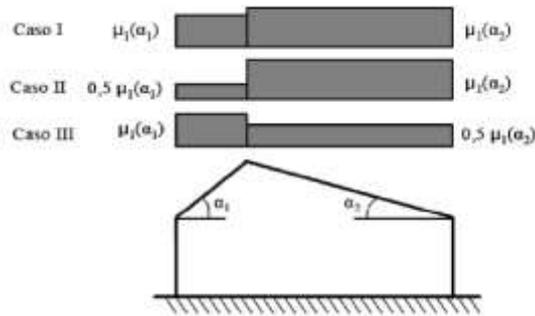
$$q_s (\mu_1) = \mu_1 \times q_{sk} \times C_e \times C_t = 0,8 \times 1,66 \text{ kN/m}^2 \times 1 \times 1 = 1,32 \text{ kN/m}^2$$

$$q_s (\mu_2) = \mu_2 \times q_{sk} \times C_e \times C_t = 1,325 \times 1,66 \text{ kN/m}^2 \times 1 \times 1 = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

**Copertura a due falde**

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare.

Per il caso di carico da neve senza vento si deve considerare la condizione denominata *Caso I*. Per il caso di carico da neve con vento si deve considerare la peggiore tra le condizioni denominate *Caso II* e *Caso III*.



**Fig.11.32 Carico da neve in copertura a due falde**

Per il coefficiente di forma della copertura, nel caso di un angolo di inclinazione delle due falde del tetto di 18° (falda sud) e 22°(falda nord) si ha:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 0,8$$

Si ottengono quindi per il carico della neve due valori per le due falde del tetto:

$$q_s (\mu_1) = \mu_1 \times q_{sk} \times C_E \times C_t = 0,8 \times 1,66 \text{ kN/m}^2 \times 1 \times 1 = 1,32 \text{ kN/m}^2$$

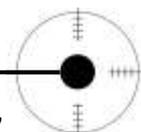
$$q_s (\mu_2) = \mu_2 \times q_{sk} \times C_E \times C_t = 1,32 \text{ kN/m}^2$$

**CASO I**

$$q_s = 1,32 \text{ kN/m}^2$$

**CASO I/III**

$$q_s = 0,66 \text{ kN/m}^2$$



### 11.9.6 Azione sismica

#### Calcolo del periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per un coefficiente d'uso  $C_U$  funzione della classe d'uso (2.4.3 – NTC). Per costruzioni la cui destinazione preveda normali affollamenti (classe d'uso II) (2.4.2. – NTC), il coefficiente  $C_U$  assume valore unitario. La vita nominale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale delle diverse opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I delle NTC. Per strutture ordinarie è possibile assumere:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

Di conseguenza:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,0 = 50 \text{ anni}$$

Nei confronti delle azioni sismiche, gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Le NTC prevedono quattro stati limite: due di esercizio, Stato Limite di Operatività (SLO) e Stato Limite di Danno (SLD); e due ultimi: Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e Stato Limite di Collasso (SLC).

Per le classi d'uso I e II, il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito (7.1 – NTC):

- Nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative allo SLD;
- Nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, qualora siano soddisfatte le verifiche relative allo SLV.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{V_R}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati (Tab. 3.2.I – NTC), sono:

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati Limite		$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Spettro di risposta elastico in accelerazione**

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale che si riferisce ad uno smorzamento del 5%, moltiplicata poi per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  sul sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ .

Tali spettri possono essere utilizzati solo nel caso di strutture con un periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s, situazione verificata nel caso in analisi.

**Calcolo del periodo di ritorno dell'azione sismica**

Nota  $P_{VR}$ , il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni, è pari a (Allegato A –NTC):

$$\text{SLO: } T_R = - \frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = 30 \text{ anni}$$

$$\text{SLD: } T_R = - \frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = 50 \text{ anni}$$

$$\text{SLV: } T_R = - \frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = 475 \text{ anni}$$

$$\text{SLC: } T_R = - \frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = 975 \text{ anni}$$

Nota il periodo di ritorno dell'azione sismica, le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

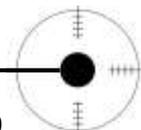
**Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di esse si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Ai fini dell' identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

La velocità equivalente delle onde di taglio è definita dall'espressione (Eq. 3.2.1 – NTC):

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$



dove:

- $h_i$  spessore in metri dell'  $i$ -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'  $i$ -esimo strato.

Il profilo delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità risulta necessario per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni della struttura;
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito;
- valutare rischi di instabilità dei pendii oppure di opere di sostegno;
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, di opere di sostegno, delle fondazioni di un edificio.

La velocità equivalente  $V_{s,30}$  consente di classificare il sito come suolo di tipo A, B, C, D, E, S1, S2 secondo la nuova normativa sismica italiana o secondo l' Eurocodice 8. Di seguito si riporta la tabella contenuta nel D.M. del 14 gennaio 2008 in base allo schema di classificazione dei siti.

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

**Fig.11.33 Classificazione dei suoli in base alla  $V_{s,30}$**

Nel corso delle ricerche dei dati sull'inquadramento geo - morfologico dell'area di studio, abbiamo acquisito una relazione geologica e sismica alla quale abbiamo fatto affidamento per il calcolo della  $V_{s,30}$ .

Dai dati è stato possibile classificare il terreno come **categoria C**, secondo quanto indicato dalla vigente normativa.

Risulta infatti:

$$V_{s,30} = 353 \text{ m/s}$$

Per ciò che concerne la categoria topografica, da un punto di vista morfologico il sito investigato è caratterizzato da pendenze intorno ai valori del 8 /12° pertanto, secondo quanto enunciato nella tabella 3.2.IV – NTC, possiamo ritenerci nell'ambito della categoria **T1**.

**Tabella 3.2.IV –** *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

**Fig.11.34** Categorie topografiche

### Ubicazione dell'edificio

L'azione sismica di riferimento è definita a partire dai parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  individuati nell'allegato B alle NTC in funzione dei punti del reticolo di riferimento in cui è stata suddivisa l'Italia e del periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ . Considerando che l'edificio sorge nel comune de L'Aquila e che precisamente le coordinate sono:

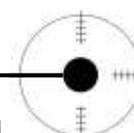
Latitudine 42°21'57"60 N

Longitudine 13°23'39"84 E

Gradi Decimali 42,366; 13,3944

Dalla tabella 1 dell'allegato B alle NTC si ricavano i seguenti valori:

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0,079	2,399	0,272
SLD	50	0,104	2,332	0,281
SLV	475	0,261	2,364	0,347
SLC	975	0,334	2,400	0,364



Da precisare come tali valori dei parametri per la valutazione dell'azione sismica siano stati ottenuti mediante l'ausilio del programma Spettri – NTC fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

**Individuazione dello spettro elastico per azione orizzontale**

Lo spettro di risposta elastico orizzontale è descritto dalle seguenti espressioni, riportate al punto 3.2.3.2.1 – NTC:

$$\begin{array}{ll}
 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{array}$$

essendo:

- $S_e(T)$  ordinata dello spettro di risposta elastico;
- $T$  periodo di vibrazione di un sistema lineare ad un grado di libertà;
- $a_g$  valore di progetto dell'accelerazione del terreno;
- $T_B$  periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante e definito come:

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

- $T_C$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, dato da:

$$T_C = C_C \times T^*_C$$

- $T_D$  periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, definito mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \times \frac{a_g}{g} + 1,6$$

- $S$  coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo (tramite il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S$  il cui valore è riportato nel prospetto 3.2.V – NTC) e delle condizioni topografiche (per mezzo del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ , definito nel prospetto 3.2.VI – NTC) mediante la relazione:

$$S = S_S \times S_T$$

- $\eta$  valore di correzione dello smorzamento; è pari a 1 per uno smorzamento viscoso pari al 5%;
- $F_0$  fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale.

Si ottengono i seguenti spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite:

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate  
 LONGITUDINE: 13,3944      LATITUDINE: 42,366

Ricerca per comune  
 REGIONE: Abruzzo      PROVINCIA: L'Aquila      COMUNE: L'Aquila

Elaborazioni grafiche:  
 Grafici spettri di risposta  
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche:  
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento  
 Controllo sul reticolo:  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione costante

Interpolazione:  
 superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_n$ :  info

Coefficiente d'uso dalla costruzione -  $C_u$ :  info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ :  info

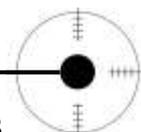
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$ : info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="50"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="475"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="975"/>

Elaborazioni:  
 Grafici parametri azione  
 Grafici spettri di risposta  
 Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO  
 —□— Strategia per costruzioni ordinarie  
 —■— Strategia scelta





Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

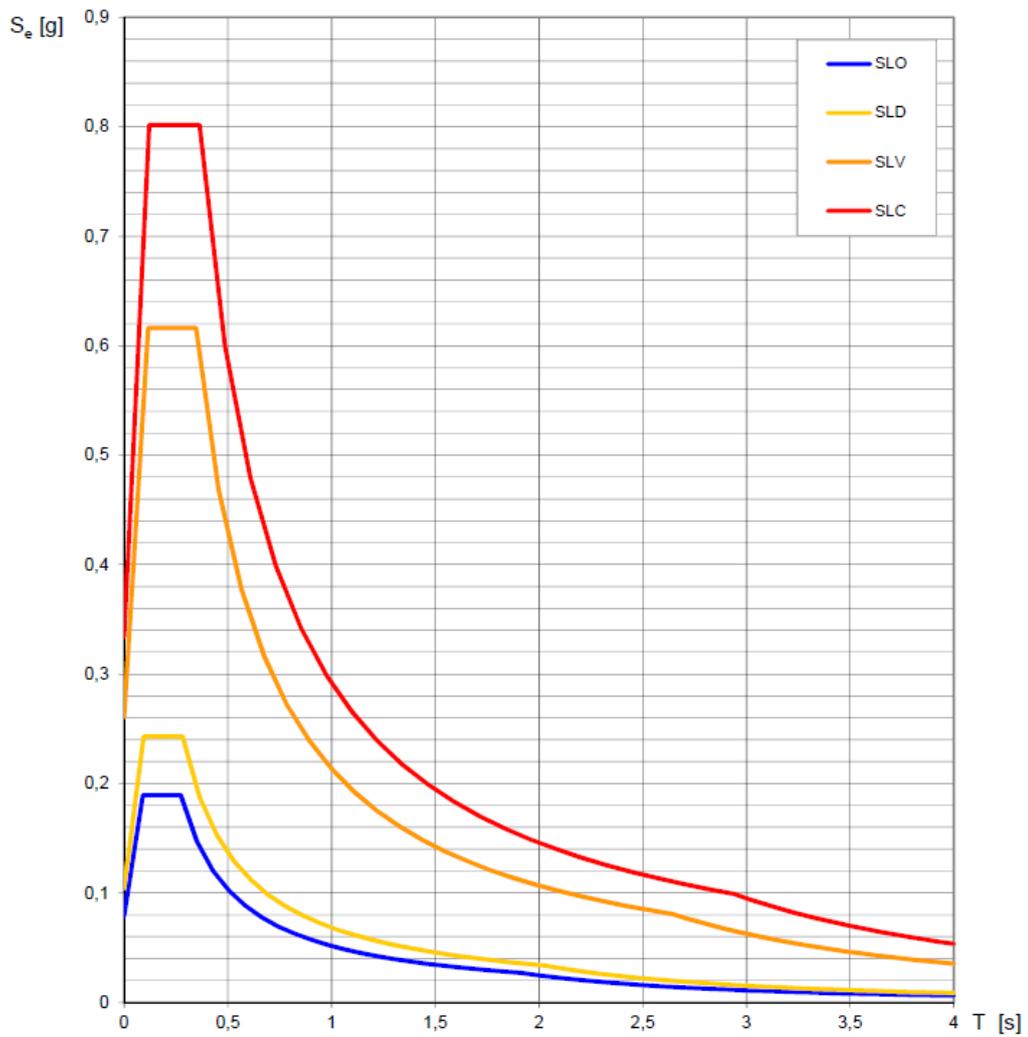
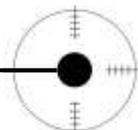


Fig.11.35 Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,104 g
$F_{R1}$	2,332
$T_C$	0,281 s
$S_{R1}$	1,500
$C_C$	1,596
$S_T$	1,000
$q$	6,500

**Parametri dipendenti**

$S$	1,500
$\eta$	0,154
$T_B$	0,150 s
$T_C$	0,449 s
$T_D$	2,017 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,156
$T_B$ ←	0,150	0,056
$T_C$ ←	0,449	0,056
	0,523	0,048
	0,598	0,042
	0,673	0,037
	0,747	0,034
	0,822	0,031
	0,897	0,028
	0,971	0,026
	1,046	0,024
	1,121	0,022
	1,195	0,021
	1,270	0,020
	1,345	0,019
	1,419	0,018
	1,494	0,017
	1,569	0,016
	1,643	0,015
	1,718	0,015
	1,793	0,014
	1,867	0,013
	1,942	0,013
$T_D$ ←	2,017	0,012
	2,111	0,011
	2,206	0,010
	2,300	0,010
	2,394	0,009
	2,489	0,008
	2,583	0,008
	2,678	0,007
	2,772	0,007
	2,867	0,006
	2,961	0,006
	3,056	0,005
	3,150	0,005
	3,244	0,005
	3,339	0,005
	3,433	0,004
	3,528	0,004
	3,622	0,004
	3,717	0,004
	3,811	0,003
	3,906	0,003
	4,000	0,003

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,261 g
$F_g$	2,364
$T_g$	0,347 s
$S_s$	1,330
$C_c$	1,490
$S_f$	1,000
$q$	6,500

**Parametri dipendenti**

$S$	1,330
$\eta$	0,154
$T_B$	0,172 s
$T_C$	0,516 s
$T_D$	2,643 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_f \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_g \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

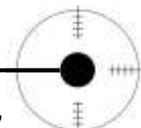
$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,347
$T_B$ ←	0,172	0,126
$T_C$ ←	0,516	0,126
	0,617	0,105
	0,719	0,091
	0,820	0,079
	0,921	0,071
	1,022	0,064
	1,124	0,058
	1,225	0,053
	1,326	0,052
	1,427	0,052
	1,529	0,052
	1,630	0,052
	1,731	0,052
	1,832	0,052
	1,934	0,052
	2,035	0,052
	2,136	0,052
	2,238	0,052
	2,339	0,052
	2,440	0,052
	2,541	0,052
$T_D$ ←	2,643	0,052
	2,707	0,052
	2,772	0,052
	2,836	0,052
	2,901	0,052
	2,966	0,052
	3,030	0,052
	3,095	0,052
	3,160	0,052
	3,224	0,052
	3,289	0,052
	3,354	0,052
	3,418	0,052
	3,483	0,052
	3,548	0,052
	3,612	0,052
	3,677	0,052
	3,741	0,052
	3,806	0,052
	3,871	0,052
	3,935	0,052
	4,000	0,052

Da precisare come tali grafici siano stati ottenuti mediante l'ausilio del programma Spettri-NTC fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.



### **Individuazione dello spettro elastico per l'azione verticale**

In accordo a quanto riportato al punto 7.2.1. – NTC, la componente verticale dell'azione sismica deve essere considerata solo in presenza di elementi pressoché orizzontali con luce superiore a 20 m, elementi precompressi (con l'esclusione dei solai di luce inferiore a 8 m), elementi a mensola di luce superiore a 4 m, strutture di tipo spingente, pilastri in falso, edifici con piani sospesi, ponti, costruzioni con isolamento e purché il sito nel quale la costruzione sorge non ricada in zona 3 o 4.

Nonostante il comune de L'Aquila ricada in zona 2, la componente verticale dell'azione sismica non deve essere considerata perché l'edificio in esame non ricade in nessuno dei casi sopra elencati.

### **Verifica delle caratteristiche di regolarità strutturale**

Ai fini della progettazione sismica, le strutture vengono distinte in strutture regolari e strutture non regolari. Dalla regolarità strutturale dipende il valore del fattore di comportamento  $q$ .

Al punto 7.2.2 le NTC elencano le condizioni necessarie che un edificio deve soddisfare affinché possa essere considerato regolare in pianta ed in elevazione.

Una costruzione è regolare in pianta se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- a) la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni **✓**  
ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze;
- b) il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4 ( $b/h=3.84$ ) **✓**
- c) nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione **✓**
- d) gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti **✓**

Una costruzione è regolare in altezza se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- e) tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione **✓**
- f) massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base **✓**

g) nelle strutture intelaiate progettate in CD “B” il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per orizzontamenti diversi (il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta, calcolata ad un generico orizzontamento, non deve differire più del 20% dall’analogo rapporto determinato per un altro orizzontamento); può fare eccezione l’ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti **✓**

h) eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento, né il 20% della dimensione corrispondente all’ orizzontamento immediatamente sottostante. Fa eccezione l’ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento **✓**

L’edificio è considerato regolare in elevazione in quanto è costituito da 2/3 piani ed i pilastri sono a sezione costante dalla fondazione al piano di copertura.

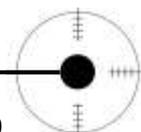
Per quanto riguarda la regolarità in pianta, per l’edificio oggetto di studio si può concludere quanto segue:

- in riferimento alla rigidità dei pilastri, l’edificio non risulta perfettamente simmetrico rispetto ai due assi ortogonali; questo aspetto induce a considerare le eccentricità presenti per il dimensionamento del sistema di controvento;
- per quanto riguarda la distribuzione delle masse, la distribuzione genera, come si vedrà più approfonditamente in seguito, l’insorgere di lievi eccentricità di cui bisognerà tener conto.

#### **Scelta della classe di duttilità**

L’edificio deve garantire un’adeguata capacità di dissipazione dell’energia.

Si decide pertanto di progettare l’edificio in classe di duttilità CD “A” (7.2.1 – NTC).



**Calcolo del coefficiente di struttura**

In funzione della tipologia strutturale, della classe di duttilità, della regolarità in elevazione e del numero di piani è possibile determinare il fattore di struttura  $q$  (7.4.3.2. – NTC):

$$q = q_0 \times K_R$$

dove:

- $q_0$  valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u / \alpha_1$  tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;
- $K_R$  è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione (7.2.2 – NTC) con valori pari a 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per strutture come quella in esame, con connessioni progettate in accordo con il punto 7.4.5.2 – NTC (connessioni situate nelle zone critiche ma sovradimensionate in modo tale da spostare la plasticizzazione in zone attigue situate all'interno degli elementi) non sono previste riduzioni del fattore di comportamento.

Pertanto  $K_R = 1$ .

Per ciascuna tipologia strutturale il valore massimo di riferimento per  $q_0$  è indicato di seguito (Tab. 7.5.II – NTC):

**Tabella 7.5.II – Limiti superiori dei valori di  $q_0$  per le diverse tipologie strutturali e le diverse classi di duttilità.**

TIPOLOGIA STRUTTURALE	$q_0$	
	CD "B"	CD "A"
a) Strutture intelaiate	4	5 $\alpha_u/\alpha_1$
c) Strutture con controventi eccentrici		
b1) Controventi concentrici a diagonale tesa attiva	4	4
b2) Controventi concentrici a V	2	2,5
d) Strutture a mensola o a pendolo inverso	2	2 $\alpha_u/\alpha_1$
e) Strutture intelaiate con controventi concentrici	4	4 $\alpha_u/\alpha_1$
f) Strutture intelaiate con tamponature in muratura	2	2

Tipologia	$\alpha_u/\alpha_1$
Edifici a telaio di un piano	1.1
Edifici a telaio a più piani, con una sola campata	1.2
Edifici a telaio a più piani e a più campate	1.3
Edifici a pareti non accoppiate	1.1
Edifici a pareti accoppiate o miste telaio-pareti	1.2

**Fig.11.36 Parametri per la determinazione del coefficiente di struttura**

Si determina pertanto il coefficiente di struttura  $q$ :

$$q = q_0 \times K_R = 6,5$$

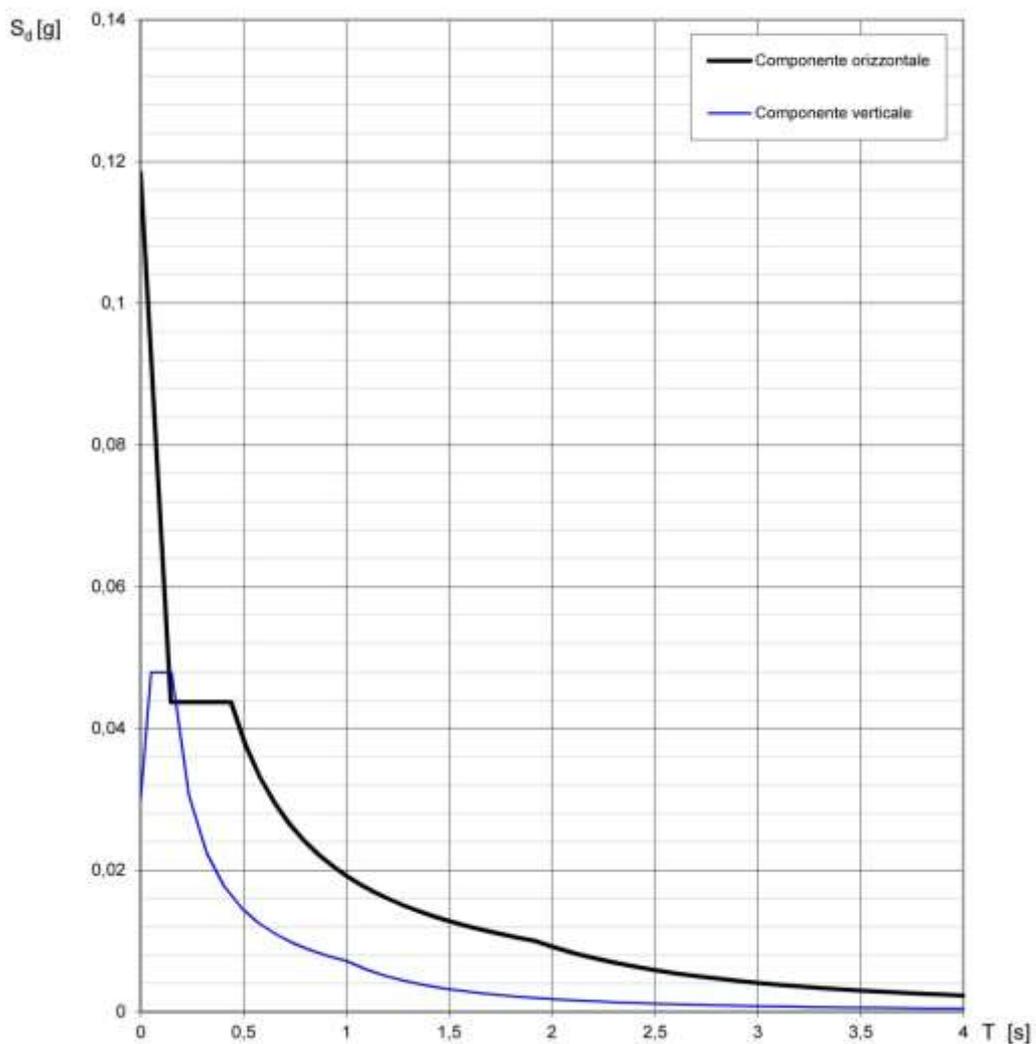
**Calcolo degli spettri di progetto per componente orizzontale**

Tenendo conto della capacità da parte della struttura di sopportare le azioni sismiche in campo non lineare, si determina lo spettro di progetto (3.2.3.5 – NTC) introducendo il coefficiente di comportamento sopra calcolato.

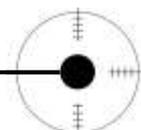
Lo spettro di risposta orizzontale di progetto è definito come lo spettro elastico calcolato precedentemente le cui ordinate vengono ridotte sostituendo nelle formule  $\eta$  con  $1/q$ .

Si riportano di seguito i grafici ottenuti.

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLO**



**Fig.11.37 Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLO**



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD

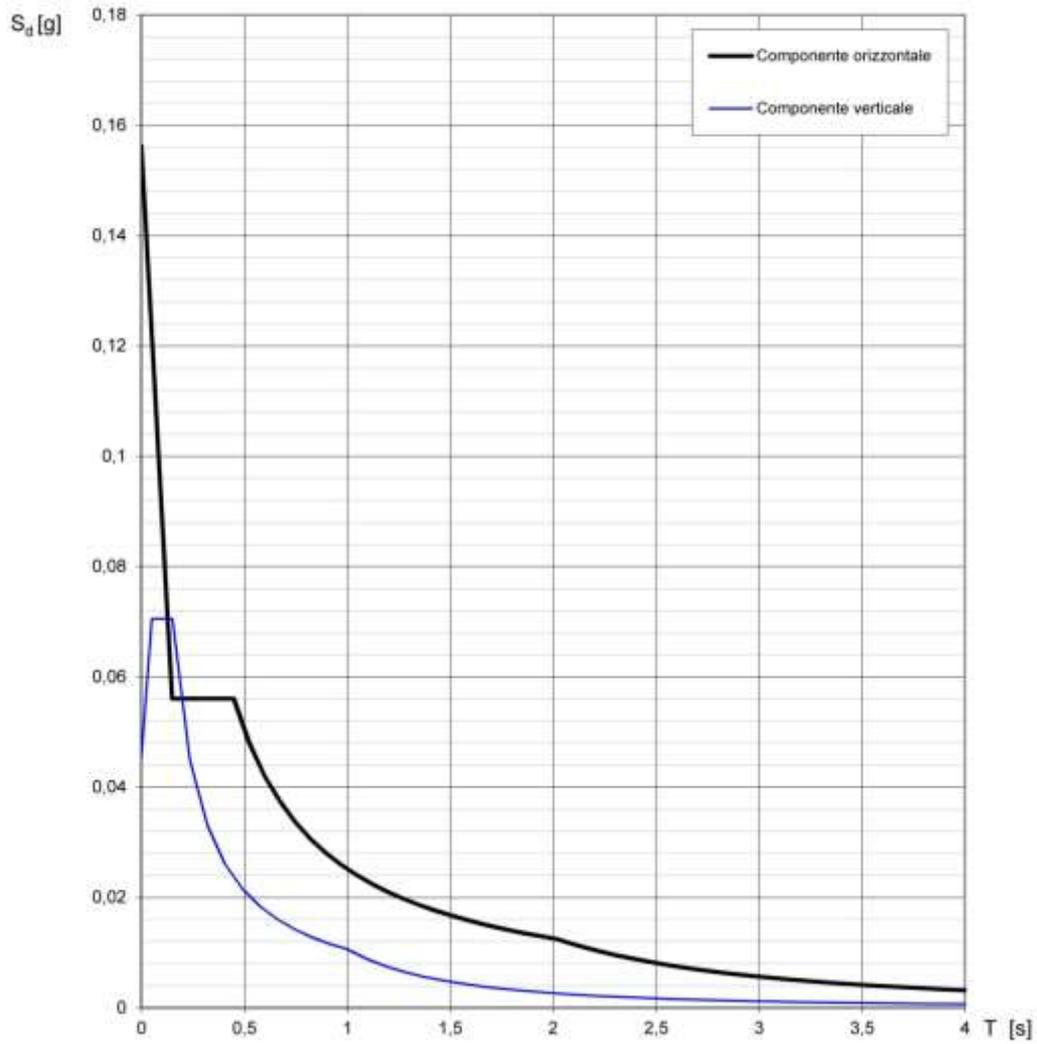


Fig.11.38 Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLD

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

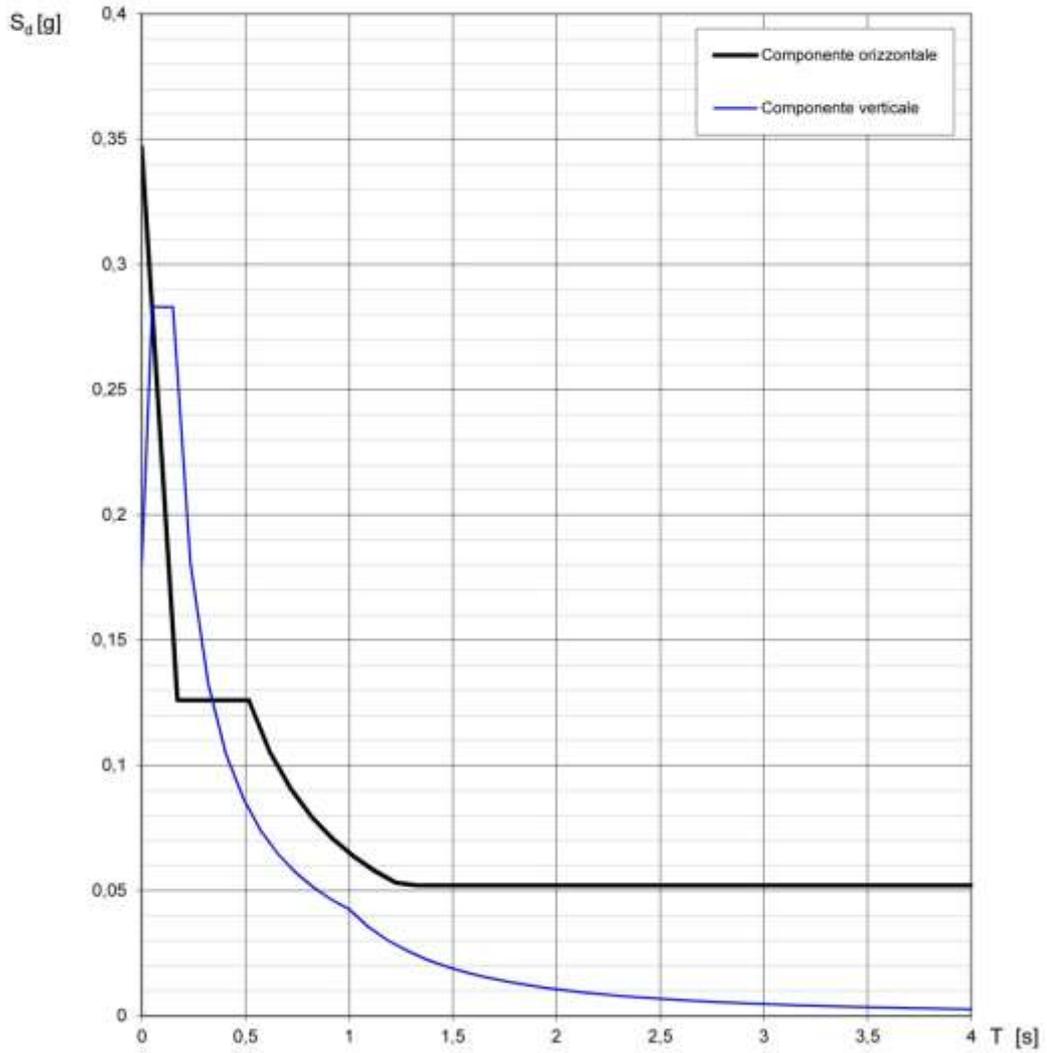
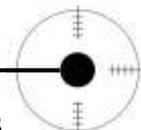
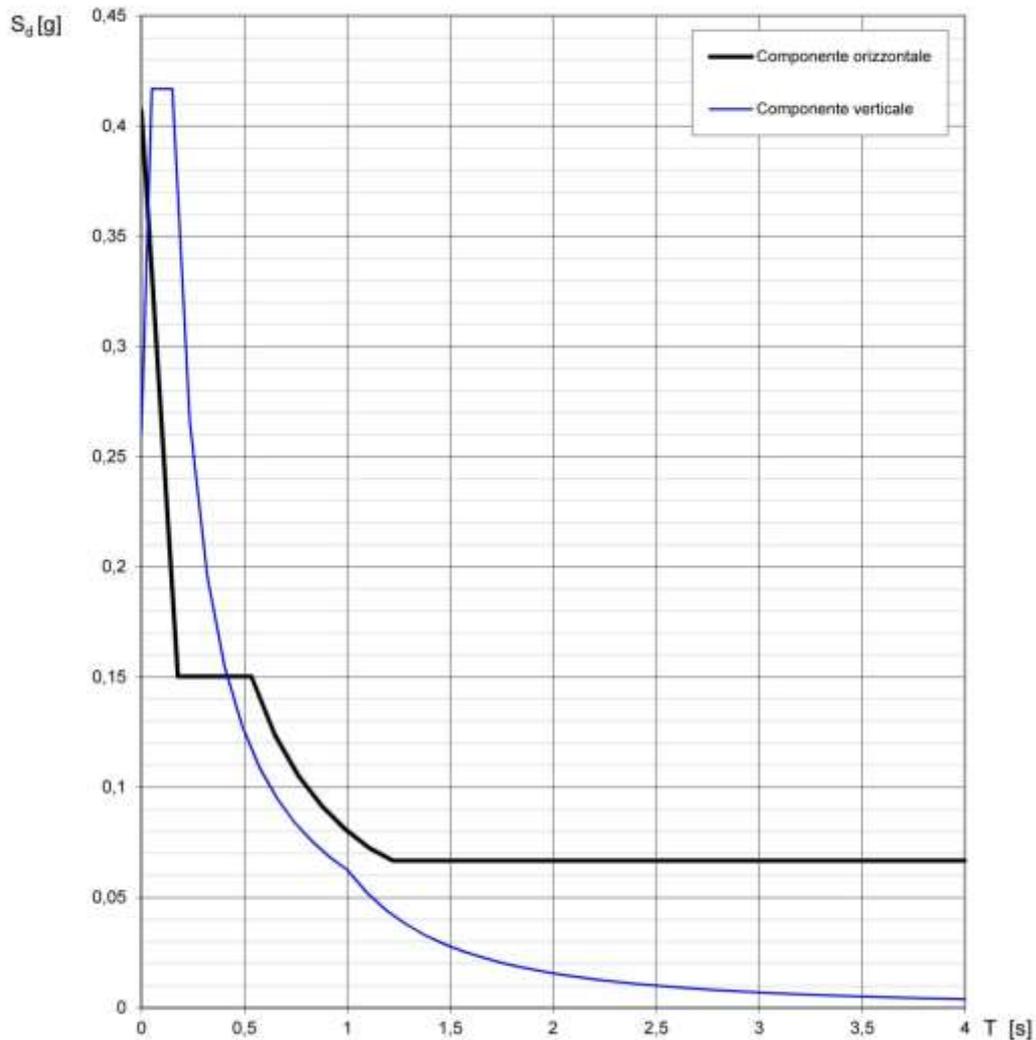


Fig.11.39 Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLV



**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLC**



**Fig.11.40 Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLC**

**Analisi lineare/non lineare, statica/dinamica**

Secondo l'attuale Normativa Italiana la verifica sismica degli edifici può essere eseguita sia con un'analisi lineare che con un'analisi non lineare. Quest'ultima comporta notevoli oneri di calcolo e perciò, pur essendo più accurata, viene raramente adottata nella comune progettazione antisismica. Per la verifica sismica lineare, che è dunque la più usata, la normativa prevede due possibili metodi di analisi: il metodo dinamico ed il metodo statico.

Nella verifica del caso in esame si utilizza un metodo di analisi lineare statica: tale analisi applica alle masse della struttura forze statiche equivalenti alle forze d'inerzia indotte dall'azione sismica. Tali forze statiche sono proporzionali alla coordinata dello spettro di risposta relativa al periodo fondamentale della struttura stessa.

La normativa limita la possibilità di utilizzare il metodo statico ai seguenti casi:

1. Costruzioni regolari in altezza
2. Periodo di vibrare principale nella direzione in esame (periodo fondamentale)  $T_1$  inferiore a  $2,5 T_C$  o  $T_D$

Per il calcolo di  $T_1$ , nel caso di costruzioni civili o industriali inferiori ai 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente distribuita in modo regolare si utilizza la seguente formula di calcolo :

$$T_1 = C_1 H^{3/4}$$

dove H è l'altezza massima della costruzione in m dal piano di fondazione e  $C_1$  vale 0,085 per le strutture a telaio in acciaio.

L'altezza dell'edificio esaminato è pari a 11 m, per cui T risulta:

$$T = 0,513 \text{ s}$$

Si verifica che il caso in esame risponde ai requisiti tali per cui si possa procedere con l'utilizzo del metodo di analisi lineare statica:

- La struttura è regolare in altezza;
- Ha una massa uniformemente distribuita
- Inoltre:

**SLD**

$$T_1 = 0,513 \text{ s}$$

$$T_C = 0,449 \text{ s} \quad 2,5 T_C = 1,12 \text{ s}$$

$$T_D = 2,017 \text{ s}$$

$$T_1 < 2,5 T_C \longrightarrow 0,513 < 1,12 \text{ v}$$

**SLV**

$$T_1 = 0,513 \text{ s}$$

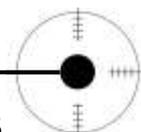
$$T_C = 0,516 \text{ s} \quad 2,5 T_C = 1,29 \text{ s}$$

$$T_D = 2,643 \text{ s}$$

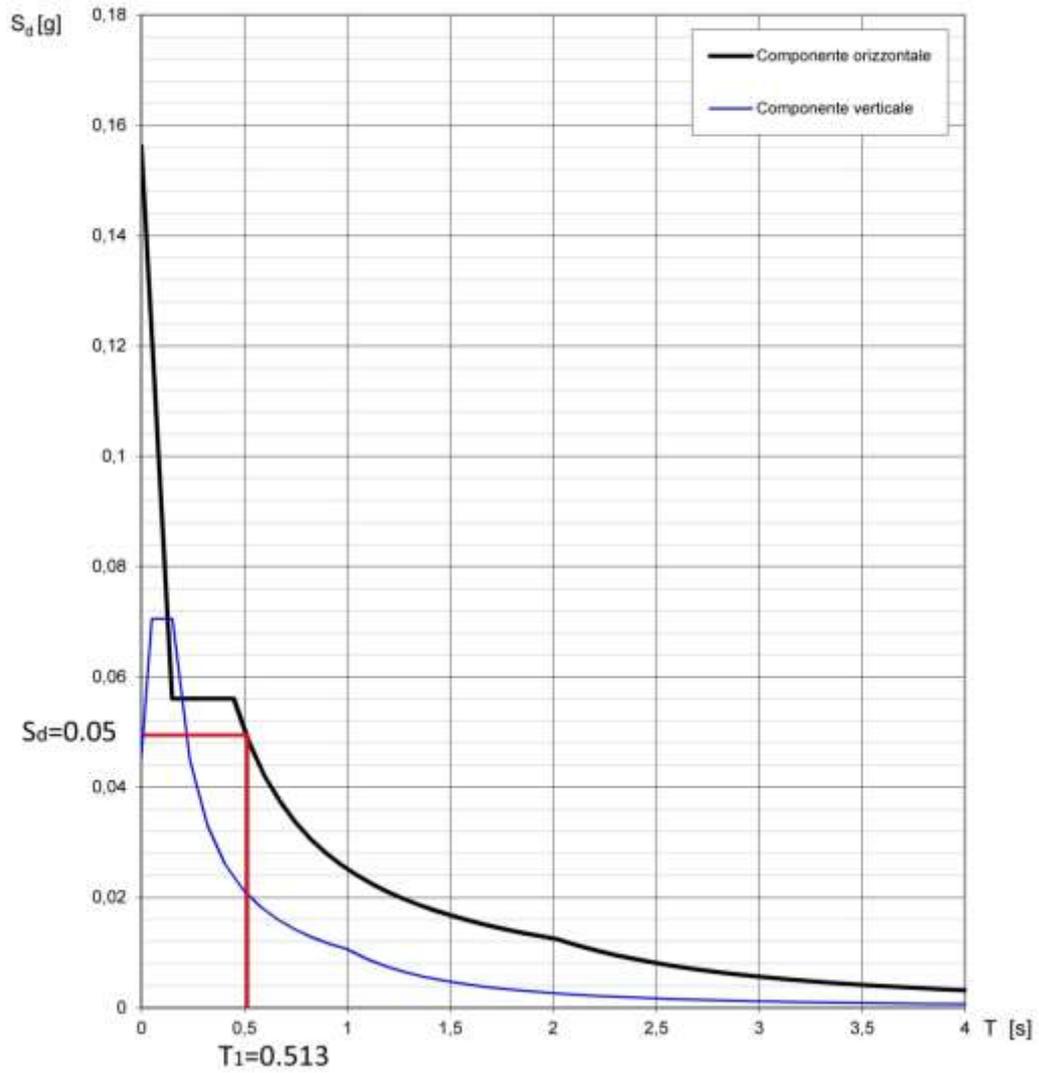
$$T_1 < 2,5 T_C \longrightarrow 0,513 < 1,29 \text{ v}$$

Ottenuto il valore T si può ricavare dallo spettro di risposta il valore dello spettro di progetto  $S_d(T)$ .

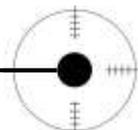
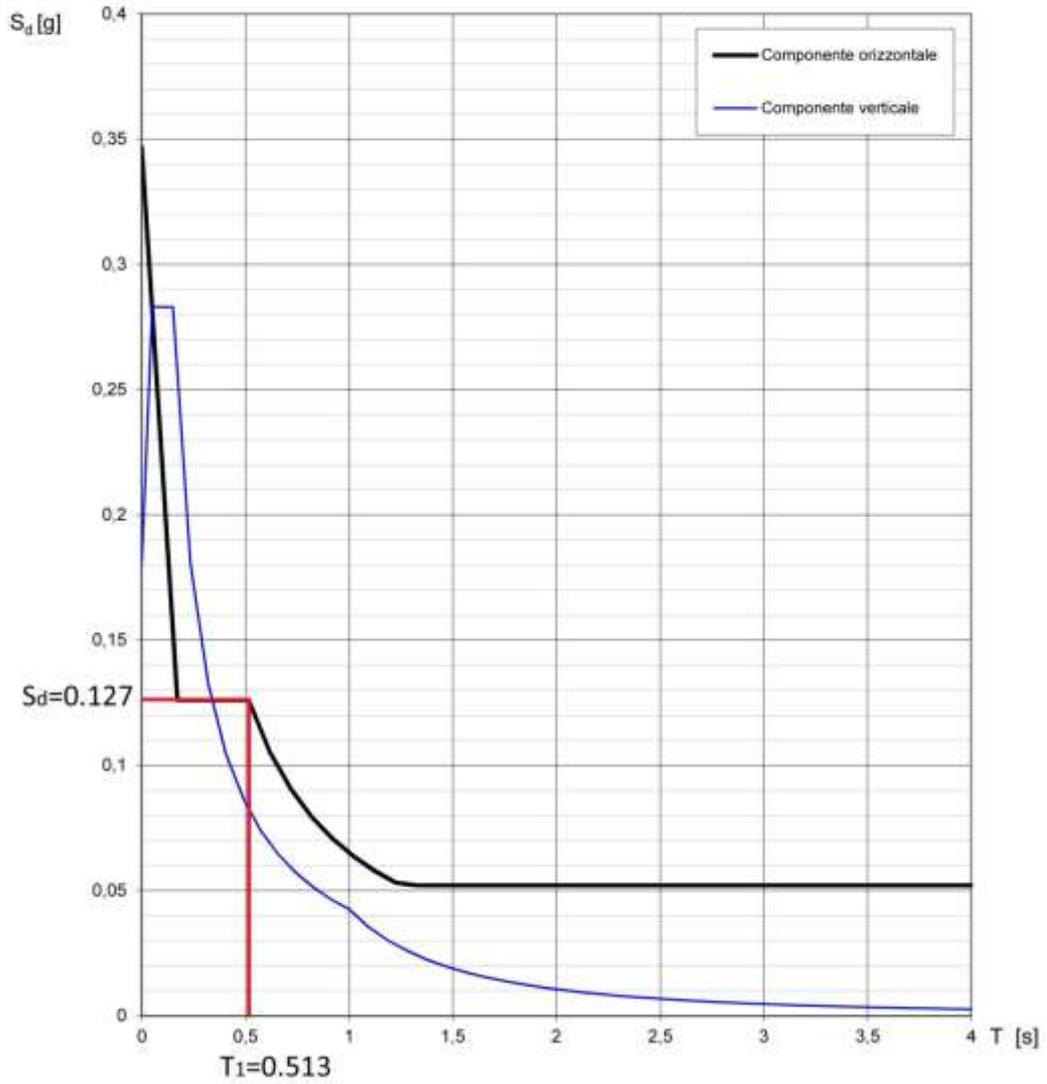
Di seguito si mostra il processo di determinazione grafica della  $S_d$  rispettivamente per lo Stato limite di danno (SLD) e lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



I valori  $S_d(T= 0,513s) = 0,05g$  per lo SLD e  $S_d(T= 0,513s) = 0,127g$  per lo SLV vengono successivamente trasformati in  $m/s^2$ :

$$S_d ( T= 0,513s) = 0,49 m/s^2 \text{ SLD}$$

$$S_d ( T= 0,513s) = 1,24 m/s^2 \text{ SLV}$$

L'edificio oggetto di studio è costituito da tre piani fuori terra più uno parzialmente interrato sul lato est. Di conseguenza gli orizzontamenti considerati al fine delle verifiche sono quattro: tre solai misti (interpiano/copertura praticabile/copertura inclinata) e la copertura.

#### **Calcolo di $F_h$**

A questo punto si può procedere con il calcolo della forza  $F_h$  da applicare al piede della struttura secondo la seguente formula:

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

dove:

- $S_d(T_1)$  ordinata dello spettro di risposta di progetto;
- $W$  peso complessivo della costruzione;
- $\lambda$  coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se  $T_1 < 2T_C$ , pari a 1,0 in tutti gli altri casi; nel caso in esame si sceglie per semplicità un valore unitario;
- $g$  accelerazione di gravità.

### Calcolo del baricentro delle masse

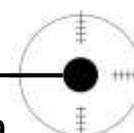
Nota: Per semplicità e chiarezza di lettura si prosegue con il calcolo dell'azione sismica nel presente paragrafo. E' bene specificare che pesi strutturali sono stati ricavati nello step immediatamente successivo al dimensionamento e verifica dei profili adottati.

Dopo avere infatti dimensionato e verificato agli Stati Limite gli elementi strutturali che compongono la maglia portante nei confronti delle azioni verticali, è possibile calcolare i carichi unitari al m<sup>2</sup> di ciascun elemento per il calcolo delle masse sismiche.

### Calcolo dei carichi unitari degli elementi strutturali e non strutturali

La determinazione dei carichi che gravano sulla struttura è effettuata facendo riferimento ad un m<sup>2</sup> di solaio. Si riportano di seguito le tabelle.

	Peso totale [KN/m <sup>2</sup> ]
<b>Peso proprio del solaio (carichi strutturali)</b>	
SOLAIO CON LAMIERA GRECATA E GETTO COLLABORANTE IN CLS	1
<b>Peso proprio del solaio (carichi non strutturali)</b>	
C.I.S.1 - CHIUSURA INCLINATA SUPERIORE CON PANNELLI FOTOVOLTAICI	0,92
P.O.1 - PARTIZIONE ORIZZONTALE INTERNA	1,05355
C.O.1 - CHIUSURA ORIZZONTALE SOLAIO SU SPAZI APERTI	1,01505
C.O.2 - CHIUSURA ORIZZONTALE COPERTURA PRATICABILE	1,34855
C.O.3 - CHIUSURA ORIZZONTALE TETTO VERDE	2,319
<b>Peso proprio delle chiusure verticali e partizione esterna strutturale</b>	
C.V.O.1 - CHIUSURA VERTICALE OPACA CON RIVESTIMENTO IN FIBROCEMENTO	0,721
C.V.O.2 - CHIUSURA VERTICALE OPACA DIVISIONE VANO SCALA	0,7235
C.V.O.3 - CHIUSURA VERTICALE OPACA RIVESTIMENTO GABION-WALL	1,281
C.V.O.4 - MURO CONTRO TERRA	6,467
P.V.3 - PARTIZIONE VERTICALE ESTERNA (VANO SCALA)	6,72
<b>Peso proprio delle partizioni verticali ragguagliato</b>	
P.V.1 - PARTIZIONE VERTICALE INTERNA	0,8
P.V.2 - PARTIZIONE VERTICALE INTERNA (PASSAGGIO IMPIANTI)	0,8
<b>Peso proprio delle partizioni oblique (scala)</b>	
P.obl. - PARTIZIONE OBLIQUA	1



**Calcolo dei pesi sismici**

Peso sismico dei pilastri per p.t.					
Profilo	Massa lineica [KN/m]	Altezza [m]	$W_{\text{pilastro}}$ [KN]	Numero pilastri	$W_{\text{tot.}}$ [KN]
HEB 200	0,613	3	1,839	9	16,55
HEB 140 serra	0,337	3	1,011	4	4,044
$W_{\text{tot.}}$					20,6

Peso sismico dei pilastri per p.1					
Profilo	Massa lineica [KN/m]	Altezza [m]	$W_{\text{pilastro}}$ [KN]	Numero pilastri	$W_{\text{tot.}}$ [KN]
HEB 200	0,613	3	1,839	28	51,49
HEB 140 serra	0,337	3	1,011	8	8,088
$W_{\text{tot.}}$					59,58

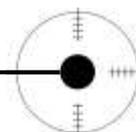
Peso sismico dei pilastri per p.2					
Profilo	Massa lineica [KN/m]	Altezza [m]	$W_{\text{pilastro}}$ [KN]	Numero pilastri	$W_{\text{tot.}}$ [KN]
HEB 200	0,613	3	1,839	22	40,46
HEB 140 serra	0,337	3	1,011	6	6,066
$W_{\text{tot.}}$					46,52

Peso sismico dei pilastri per p.3					
Profilo	Massa lineica [KN/m]	Altezza [m]	$W_{\text{pilastro}}$ [KN]	Numero pilastri	$W_{\text{tot.}}$ [KN]
HEB 200	0,613	3	1,839	17	31,26
HEB 140 serra	0,337	3	1,011	4	4,044
$W_{\text{tot.}}$					35,31

Peso sismico delle travi impalcato 1					
Profilo	Massa lineica [KN/m]	Lunghezza [m]	$W_{\text{trave}}$ [KN]	Numero travi	$W_{\text{tot.}}$ [KN]
HEA 200 prim. cop. prat.	0,423	3,5	1,4805	6	8,883
HEA 140 prim. serra	0,247	1,2	0,2964	2	0,593
HEA 140 prim. serra	0,247	3,2	0,7904	2	1,581
HEA 180 sec. cop. prat	0,355	3,5	1,2425	8	9,94
HEA 180 prim. Impalc.	0,355	3,5	1,2425	2	2,485
HEA 160 sec. impalc.	0,304	3,5	1,064	6	6,384
HEA 140 sec. serra	0,247	3,5	0,8645	5	4,323
HEA 140 ballatoio	0,247	2,2	0,5434	3	1,63
$W_{\text{tot.}}$					35,82

Peso sismico delle travi impalcato 2					
Profilo	Massa lineica [KN/m]	Lunghezza [m]	$W_{trave}$ [KN]	Numero travi	$W_{tot.}$ [KN]
HEA 180 prim. impalc.	0,355	3,5	1,2425	20	24,85
HEA 180 prim. Impalc.	0,355	1,75	0,62125	1	0,621
HEA 180 prim. vano scala	0,355	7	2,485	1	2,485
HEA 200 prim. cop.prat.	0,423	3,5	1,4805	5	7,403
HEA 160 prim. cop. incl.	0,304	3,5	1,064	3	3,192
HEA 140 prim. serra	0,247	1,2	0,2964	1	0,296
HEA 140 prim. serra	0,247	3,2	0,7904	8	6,323
HEA 160 sec. impalc.	0,304	3,5	1,064	27	28,73
HEA 160 sec. vano scala	0,304	1,6	0,4864	1	0,486
HEA 140 sec. cop. incl.	0,247	1,75	0,43225	1	0,432
HEA 180 sec. cop. prat.	0,355	3,5	1,2425	6	7,455
HEA 140 sec. serra	0,247	3,5	0,8645	15	12,97
HEA 140 ballatoio	0,247	2,2	0,5434	8	4,347
$W_{tot.}$					99,59

Peso sismico delle travi impalcato 3					
Profilo	Massa lineica [KN/m]	Lunghezza [m]	$W_{trave}$ [KN]	Numero travi	$W_{tot.}$ [KN]
HEA 180 prim. impalc.	0,355	3,5	1,2425	16	19,88
HEA 180 prim. impalc.	0,355	1,75	0,62125	1	0,621
HEA 180 prim. vano scala	0,355	7	2,485	1	2,485
HEA 200 prim. cop. prat.	0,423	3,5	1,4805	3	4,442
HEA 160 prim. cop.incl.	0,304	3,5	1,064	3	3,192
HEA 140 prim. serra	0,247	1,2	0,2964	1	0,296
HEA 140 prim.serra	0,247	3,2	0,7904	6	4,742
HEA 160 sec. impalc.	0,304	3,5	1,064	22	23,41
HEA 160 sec.vano scala	0,304	1,6	0,4864	1	0,486
HEA 140 sec. cop. incl.	0,247	1,75	0,43225	1	0,432
HEA 180 sec. cop. incl.	0,355	3,5	1,2425	4	4,97
HEA 140 sec. serra	0,247	3,5	0,8645	11	9,51
HEA 140 ballatoio	0,247	2,2	0,5434	8	4,347
$W_{tot.}$					78,81



Peso sismico delle travi impalcato 4					
Profilo	Massa lineica [KN/m]	Lunghezza [m]	$W_{trave}$ [KN]	Numero travi	$W_{tot.}$ [KN]
HEA 180 prim. vano scala	0,355	5,4	1,917	1	1,917
HEA 160 prim. cop.incl.	0,304	3,5	1,064	12	12,77
HEA 140 prim. serra	0,247	3,2	0,7904	4	3,162
HEA 140 sec. vano scala	0,247	3	0,741	4	2,964
HEA 140 sec. vano scala	0,247	2,2	0,5434	1	0,543
HEA 140 sec. vano scala	0,247	3,8	0,9386	1	0,939
HEA 140 sec. cop. incl	0,247	3,5	0,8645	26	22,48
HEA 140 sec. cop. incl.	0,247	1,5	0,3705	1	0,371
HEA 140 sec. cop. incl.	0,247	2,5	0,6175	1	0,618
HEA 140 sec. serra	0,247	3,5	0,8645	6	5,187
HEA 140 ballatoio	0,247	2,2	0,5434	9	4,891
HEA 100 per lamiera forata	0,167	1,2	0,2004	3	0,601
				$W_{tot.}$	56,44

Il modello è caratterizzato da tre gradi di libertà. A ciascuno di questi gradi di libertà va associata una massa o, in modo analogo, un peso sismico (3.2.4 – NTC).

In particolare, la normativa prescrive di determinare i pesi sismici sommando ai carichi permanenti  $G_1$  e  $G_2$  le azioni variabili  $Q_k$  ridotte mediante il coefficiente di combinazione dell'azione variabile  $\psi_{2,i}$  che tiene conto della probabilità che tutti i carichi siano presenti sulla struttura in occasione del sisma (tab. 2.5.I – NTC).

*Peso sismico del 1° impalcato (quota +0m)*

Si determina in primo luogo l'incidenza del solaio analizzato:

$$W_{solaio} = (G_{1,solaio} + G_{2,solaio} + \psi_2 \times Q_{solaio}) = 3,45 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{cop.prat.} = (G_{1,cop.prat.} + G_{2,cop.prat.} + \psi_2 \times Q_{cop.prat.}) = 4,74 \text{ kN/m}^2$$

Si ricorda:

$G_{1,solaio}$  e  $G_{1,cop.prat.}$  carichi permanenti strutturali;

$G_{2,solaio}$  e  $G_{2,cop.prat.}$  carico permanente non strutturale;

$\psi_2$  coefficiente di combinazione dell'azione variabile pari a 0,3 per ambienti ad uso residenziale (CAT.A), 0,6 per ambienti suscettibili di affollamento (CAT.C), 0 per le coperture (CAT.H).

$Q_{solaio}$  carico variabile pari a 2 kN/m<sup>2</sup>.

$Q_{cop.prat.}$  carico variabile pari a 4 kN/m<sup>2</sup>.

$Q_{solaio \text{ vano scala}}$  carico variabile pari a 4 kN/m<sup>2</sup>.

$Q_{cop.incl.}$  carico variabile pari a 0,5 kN/m<sup>2</sup>.

Si determina la superficie del solaio:

$$\text{Sup}_{\text{solaio}} = 66 \text{ m}^2$$

$$\text{Sup}_{\text{cop.prat.}} = 40 \text{ m}^2$$

Dal prodotto dell'incidenza per la superficie si ottiene il peso sismico dell'impalcato in esame:

$$\mathbf{W1^\circ \text{ impalcato} = 227,93 \text{ KN} + 189,94 \text{ kN} = 417,87 \text{ KN}}$$

*Peso sismico del 2° impalcato (quota +3m)*

Si determina l'incidenza del solaio analizzato:

$$W_{\text{solaio}} = (G_{1,\text{solaio}} + G_{2,\text{solaio}} + \psi_2 \times Q_{\text{solaio}}) = 3,45 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{cop.prat.}} = (G_{1,\text{cop.prat.}} + G_{2,\text{cop.prat.}} + \psi_2 \times Q_{\text{cop.prat.}}) = 4,74 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{cop.incl.}} = (G_{1,\text{cop.incl.}} + G_{2,\text{cop.incl.}} + \psi_2 \times Q_{\text{cop.incl.}}) = 0,92 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{solaio vano scala}} = (G_{1,\text{solaio}} + G_{2,\text{solaio}} + \psi_2 \times Q_{\text{solaio}}) = 4,45 \text{ kN/m}^2$$

Si determina la superficie del solaio:

$$\text{Sup}_{\text{solaio}} = 182 \text{ m}^2$$

$$\text{Sup}_{\text{cop.prat.}} = 36 \text{ m}^2$$

$$\text{Sup}_{\text{cop.incl.}} = 20 \text{ m}^2$$

$$\text{Sup}_{\text{solaio vano scala}} = 22 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{W2^\circ \text{ impalcato} = 628,54 \text{ KN} + 170,94 \text{ kN} + 18,4 \text{ kN} + 97,97 \text{ KN} = 915,87 \text{ KN}}$$

*Peso sismico del 3° impalcato (quota +6m)*

Si determina l'incidenza del solaio analizzato:

$$W_{\text{solaio}} = (G_{1,\text{solaio}} + G_{2,\text{solaio}} + \psi_2 \times Q_{\text{solaio}}) = 3,45 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{cop.prat.}} = (G_{1,\text{cop.prat.}} + G_{2,\text{cop.prat.}} + \psi_2 \times Q_{\text{cop.prat.}}) = 4,74 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{cop.incl.}} = (G_{1,\text{cop.incl.}} + G_{2,\text{cop.incl.}} + \psi_2 \times Q_{\text{cop.incl.}}) = 0,92 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{solaio vano scala}} = (G_{1,\text{solaio}} + G_{2,\text{solaio}} + \psi_2 \times Q_{\text{solaio}}) = 4,45 \text{ kN/m}^2$$

Si determina la superficie del solaio:

$$\text{Sup}_{\text{solaio}} = 144 \text{ m}^2$$

$$\text{Sup}_{\text{cop.prat.}} = 23,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Sup}_{\text{cop.incl.}} = 20 \text{ m}^2$$

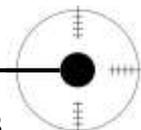
$$\text{Sup}_{\text{solaio vano scala}} = 22 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{W3^\circ \text{ impalcato} = 497,31 \text{ KN} + 111,59 \text{ kN} + 18,4 \text{ kN} + 97,97 \text{ KN} = 725,28 \text{ KN}}$$

*Peso sismico del 4° impalcato/copertura (quota variabile)*

Si determina l'incidenza del solaio analizzato:

$$W_{\text{cop.incl.}} = (G_{1,\text{cop.incl.}} + G_{2,\text{cop.incl.}} + \psi_2 \times Q_{\text{cop.incl.}}) = 0,92 \text{ kN/m}^2$$



Si determina la superficie del solaio:

$$\text{Sup}_{\text{cop.incl.}} = 260 \text{ m}^2$$

**W4° impalcato = 239,2 KN**

### Livello 0 -3 m

*Peso complessivo delle chiusure verticali*

Il valore di incidenza delle tamponature opache  $I_{\text{chiusure vert.}}$  è stato ottenuto moltiplicando per l'altezza del rivestimento al singolo piano il peso al  $\text{m}^2$  della chiusura. Il valore ottenuto è stato moltiplicato a sua volta per il perimetro sul quale si sviluppa l'involucro.

$$I_{\text{cv01}} = 0,721 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 2,163 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma I_{\text{cv01}} = 80,44 \text{ m}$$

**W<sub>chiusure verticali (0-3m)</sub> = 173,99 kN**

$$I_{\text{cv04}} = 6,47 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 19,41 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma I_{\text{cv04}} = 26 \text{ m}$$

**W<sub>chiusure verticali (0-3m)</sub> = 504,66 kN**

*Peso sismico delle partizioni verticali*

$$W_{\text{part. verticali}} = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sup}_{2 \text{ impalcato}} = 200 \text{ m}^2$$

**W<sub>part. verticali (0-3m)</sub> = 160 kN**

*Peso sismico della scala*

Dai calcoli risulta:

$$\psi_2 = 0,6$$

$$Q_{2k, \text{ scala}} = 4 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{\text{scala}} = 3,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sup}_{\text{ scala}} = 9,8 \text{ m}^2$$

**W<sub>scala</sub> = 33,32 kN**

### Livello 3 -6 m

$$I_{\text{cv01}} = 0,721 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 2,163 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma I_{\text{cv01}} = 65 \text{ m}$$

**W<sub>chiusure verticali (3-6m)</sub> = 141kN**

$$I_{\text{cv04}} = 6,47 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 19,41 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma I_{\text{cv04}} = 26 \text{ m}$$

**W<sub>chiusure verticali (0-3m)</sub> = 504,66 kN**

*Peso sismico delle partizioni verticali*

$$W_{\text{part. verticali}} = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sup}_{2 \text{ impalcato}} = 158 \text{ m}^2$$

**W<sub>part. verticali (0-3m)</sub> = 126,4 kN**

**Livello 6 -9 m**

$$I_{cv01} = 0,721 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 2,163 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma I_{cv01} = 54 \text{ m}$$

$$\mathbf{W_{chiusure verticali (3-6m)} = 116,8 \text{ kN}}$$

$$I_{cv04} = 6,47 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 19,41 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma I_{cv04} = 26 \text{ m}$$

$$\mathbf{W_{chiusure verticali (0-3m)} = 504,66 \text{ kN}}$$

*Peso sismico delle partizioni verticali*

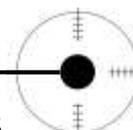
$$W_{\text{part. verticali}} = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sup}_2 \text{ impalcato} = 124 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{W_{\text{part. verticali (0-3m)}} = 99,2 \text{ kN}}$$

*Peso sismico della scala*

$$\mathbf{W_{\text{scala}} = 33,32 \text{ kN}}$$



**Peso complessivo della struttura W**

Si procede con il calcolo del peso complessivo della struttura W, suddividendo in tre parti l'edificio:

- Peso  $W_1$  che comprende il peso del solaio a quota +3m, le chiusure verticali, le partizioni e le travi tra la quota +0 e +3m.
- Peso  $W_2$  che comprende il peso del solaio a quota 6m, le chiusure verticali, le partizioni e le travi tra la quota +3 e +6m.
- Peso  $W_3$  che comprende il peso della copertura, le chiusure verticali, le partizioni e le travi tra la quota +6e +9m.

$W_1=915,87(\text{solaio})+59,58(\text{pilastri})+99,59(\text{travi})+173,99(\text{cv01})+504,66(\text{cv04})+160$  (partizioni vert)+33,32(part obl)= 1946,14 KN

$W_2=725,28(\text{solaio})+46,52(\text{pilastri})+78,81(\text{travi})+141(\text{cv01})+504,66(\text{cv04})+126,4$ (partizioni vert)+33,32(part obl)= 1655,99 KN

$W_3=239,2(\text{solaio})+35,31(\text{pilastri})+56,44(\text{travi})+141(\text{cv01})+504,66(\text{cv04})+126,4$ (partizioni vert)+33,32(part obl)= 1136,33 KN

Il peso complessivo da considerare ai fine del calcolo della forza al piede  $F_h$ :

<b><math>W_1</math> (KN)</b>	1946,14
<b><math>W_2</math> (KN)</b>	1655,99
<b><math>W_3</math> (KN)</b>	1136,33
<b>W (KN)</b>	<b>4738,46</b>

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

Si procede ora con il calcolo della  $F_h$ .

		$S_d$ (m/s <sup>2</sup> ) SLD	$S_d$ (m/s <sup>2</sup> ) SLV	W (KN)	$\lambda$	g (m/s <sup>2</sup> )
		0,49	1,24	4738,46	1,0	9,81
<b><math>F_h</math> (KN)</b>	SLD	236,92				
	SLV	600				



**Calcolo delle  $F_i$**

Si procede ora con il calcolo delle  $F_i$ , le forze da applicare a ciascuna delle masse:

- $W_1$  a quota +3m
- $W_2$  a quota +6m
- $W_3$  a quota +9m

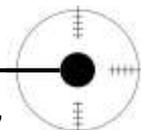
La forza da applicare a ciascuna massa della costruzione è data dall'espressione (Eq. 7.3.6 – NTC):

$$F_i = F_h \cdot z_i \cdot W_i / \sum_j z_j \cdot W_j$$

dove:

- $F_h$  taglio totale alla base;
- $W_i$  e  $W_j$  pesi delle masse ai piani i e j rispettivamente;
- $z_i$  e  $z_j$  sono le quote, rispetto al piano di fondazione delle masse i e j.

	$F_h$ (KN)	$z_1$ (m)	$W_1$ (KN)	$z_2$ (m)	$W_2$ (KN)	$z_3$ (m)	$W_3$ (KN)
	600	3	1946,14	6	1655,99	9	1136,33
$\sum z_j (m)W_j$ (KN)	26001,33						
$F_h \cdot z_i \cdot W_i$		3503052		5961564		6136182	
$F_1$ (KN)	134,72						
$F_2$ (KN)	229,27						
$F_3$ (KN)	236						



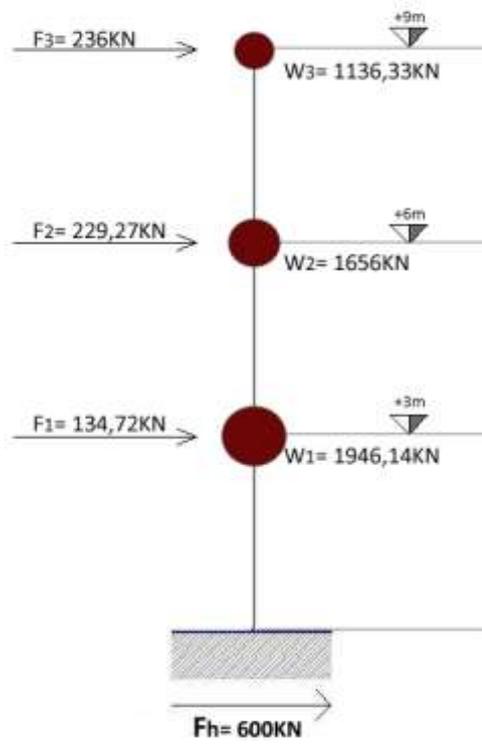


Fig.11.41 Schematizzazione del sistema edificio e delle forze orizzontali sismiche agenti sui vari impalcati

### 11.10 Dimensionamento e verifica dei solai

Il dimensionamento della lamiera grecata viene effettuato relativamente alla parte di solaio caratterizzata da una luce massima tra le travi secondarie e gravata maggiormente dai carichi.

Per dimensionare la lamiera grecata è necessario conoscere il carico  $q$  incidente su di essa, dato dalla somma di:

$$q = G_2 + Q_{k1}$$

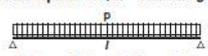
-  $G_2$  è il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali dato dalla somma del peso proprio degli elementi non strutturali del solaio e del peso delle partizioni interne; è un carico permanente determinato da azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo;

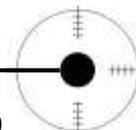
-  $Q_{k1}$  è il carico variabile legato alla destinazione d'uso dell'opera ed è dovuto ad azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo.

Viene scelta pertanto una lamiera grecata che rispetti le condizioni di carico e di luce massima secondo le indicazioni tecniche riportate nelle seguenti tabelle:

**TIPO A 55/P 600 - HI-BOND**  
**HI-BOND TYPE A 55/P 600**

Luce massima in metri per solai HI-BOND - Max spans in meters - Max entr'axes en metres -  
Max spannweite in Metern

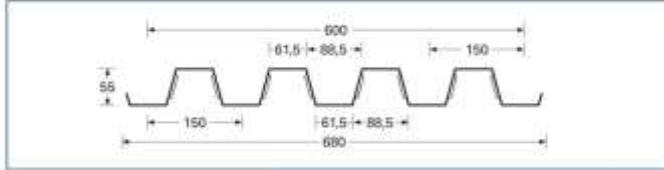
H Soletta Slab Dalle Decke mm	Spessore Thickness Epaisseur Stärke mm	Sovraccarico utile uniformemente distribuito KN/m <sup>2</sup> - Useful overload evenly distributed KN/m <sup>2</sup> Surcharge utile uniformement répartie KN/m <sup>2</sup> - Nutzlast gleichmassig verteilt KN/m <sup>2</sup>													
															
		1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	7,00	8,00	10,00	12,00
10	0,70	3,30	3,18	3,07	2,97	2,88	2,79	2,72	2,64	2,58	2,52	2,41	2,31	2,15	1,88
	0,80	3,55	3,42	3,29	3,18	3,08	2,99	2,91	2,83	2,76	2,69	2,56	2,44	2,26	1,88
	1,00	4,01	3,85	3,70	3,57	3,39	3,24	3,12	3,01	2,91	2,83	2,69	2,57	2,26	1,88
	1,20	4,41	4,23	3,94	3,71	3,53	3,37	3,24	3,13	3,03	2,95	2,80	2,68	2,26	1,88
11	0,70	3,20	3,10	3,01	2,93	2,85	2,78	2,72	2,65	2,60	2,54	2,44	2,36	2,21	2,08
	0,80	3,44	3,34	3,24	3,15	3,06	2,98	2,91	2,85	2,78	2,73	2,62	2,52	2,36	2,08
	1,00	3,89	3,76	3,64	3,54	3,44	3,35	3,27	3,19	3,12	3,05	2,93	2,80	2,50	2,08
	1,20	4,29	4,14	4,01	3,89	3,78	3,67	3,53	3,41	3,30	3,21	3,04	2,91	2,50	2,08
12	0,70	3,09	3,02	2,94	2,87	2,81	2,75	2,70	2,64	2,59	2,55	2,46	2,38	2,24	2,13
	0,80	3,33	3,25	3,17	3,09	3,02	2,96	2,89	2,84	2,78	2,73	2,64	2,55	2,40	2,27
	1,00	3,77	3,66	3,57	3,48	3,40	3,33	3,25	3,19	3,13	3,07	2,96	2,86	2,69	2,27
	1,20	4,15	4,04	3,93	3,83	3,74	3,65	3,57	3,50	3,43	3,36	3,24	3,13	2,72	2,27
13	0,70	2,99	2,93	2,87	2,81	2,76	2,71	2,66	2,62	2,58	2,53	2,46	2,39	2,27	2,16
	0,80	3,22	3,15	3,09	3,03	2,91	2,91	2,86	2,81	2,77	2,72	2,64	2,56	2,43	2,31
	1,00	3,65	3,56	3,49	3,41	3,35	3,28	3,22	3,16	3,11	3,06	2,96	2,88	2,72	2,43
	1,20	4,03	3,93	3,84	3,76	3,68	3,61	3,54	3,48	3,42	3,36	3,25	3,15	2,92	2,43



HI-BOND



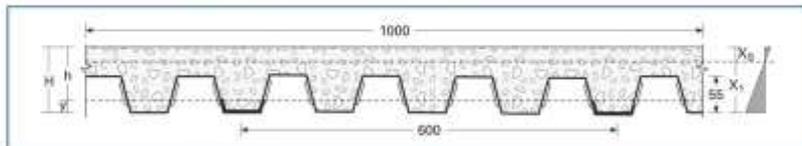
TIPO A 55/P 600  
HI-BOND  
HI-BOND  
TYPE A 55/P 600



Caratteristiche della lamiera - Properties of the trapezoidal sheets  
Caracteristiques du profil - Blecheigenschaften

	mm	Spessore - Thickness - Epaisseur - Stärke			
		0,70	0,80	1,00	1,20
Peso - Weight - Poids - Gewicht	kg/m	5,50	6,28	7,05	8,42
Peso - Weight - Poids - Gewicht	kg/m <sup>2</sup>	9,16	10,47	13,00	15,70
J totale - total	cm <sup>4</sup> /m	83,32	81,44	77,56	63,72
y <sub>1</sub>	cm	2,44	2,44	2,44	2,44
Area tot	cm <sup>2</sup> /m	11,0	12,00	16,00	16,33
<b>Compressione sup. - Top compression</b>					
J <sub>1</sub>	cm <sup>4</sup> /m	47,42	56,57	70,84	80,72
W <sub>1</sub>	cm <sup>3</sup> /m	20,70	24,12	31,65	36,05
W <sub>2</sub>	cm <sup>3</sup> /m	14,52	17,03	24,34	31,50
<b>Compressione inf. - Bottom compression</b>					
W <sub>1</sub>	cm <sup>3</sup> /m	16,75	20,48	29,41	36,72
W <sub>2</sub>	cm <sup>3</sup> /m	18,04	21,02	27,04	33,97

16



Caratteristiche statiche della soletta - Properties of the slab - Caracteristiques statiques de la dalle -  
Statische eingenschaften der decke

H	Peso soletta - Slab weight Poids de la dalle - Gewicht der Decke	Spessore lamiera - Sheet thickness Epaisseur de la tôle - Blechstärke	X <sub>a</sub>	J tot.	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	T
cm	kg/m <sup>2</sup>	mm	cm	cm <sup>4</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	kg/m
10	190	0,70	3,61	329,49	1368,98	51,57	1130
		0,80	3,79	382,25	1425,63	58,31	
		1,00	4,00	422,25	1560,71	71,38	
		1,20	4,33	475,79	1848,72	83,98	
11	215	0,70	3,92	424,00	1624,49	58,89	1250
		0,80	4,11	468,42	1701,96	67,70	
		1,00	4,44	542,66	1834,79	82,93	
		1,20	4,72	612,43	1948,55	97,51	
12	240	0,70	4,20	522,98	1956,23	68,50	1380
		0,80	4,42	567,80	1985,33	77,52	
		1,00	4,79	685,83	2348,20	95,98	
		1,20	5,00	773,00	2227,82	111,88	
13	265	0,70	4,48	653,76	2205,25	77,43	1480
		0,80	4,71	728,89	2313,67	87,71	
		1,00	5,11	849,32	2491,55	107,89	
		1,20	5,45	968,20	2639,25	126,84	



**Solaio della partizione orizzontale interna, luce di progetto 1,75 m**

Tipologia di carico	Valore [kN/m <sup>2</sup> ]
Strati non strutturali	1,05
Partizioni verticali	0,8
Carico variabile	2
<b>Totale</b>	<b>3,85</b>

Utilizzando il solaio misto acciaio/cls tipo A 55/P 600 Hi-Bond collaborante con sovraccarico di 4 kN/m<sup>2</sup>, spessore 0,7 mm e H= 10 cm otteniamo un valore di luce massima pari a:

**luce massima 2,79 m > 1,75 m luce di progetto – VERIFICATO**

Il peso del solaio strutturale sarà quindi:

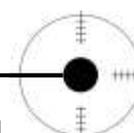
Voce	Densità [kN/m <sup>3</sup> ]	Spessore [m]	Peso [kN/m <sup>2</sup> ]
Lamiera grecata	-	0,0007	0,0916
Getto collaborante	25	0,0361	0,9025
		<b>Totale</b>	<b>1</b>

**Solaio della chiusura orizzontale praticabile, luce di progetto 1,75 m**

Tipologia di carico	Valore [kN/m <sup>2</sup> ]
Strati non strutturali	1,35
Carico neve	2,2
Carico variabile	4
<b>Totale</b>	<b>7,55</b>

Utilizzando il solaio misto acciaio/cls tipo A 55/P 600 Hi-Bond collaborante con sovraccarico di 8 kN/m<sup>2</sup>, spessore 0,7 mm e H= 10 cm otteniamo un valore di luce massima pari a:

**luce massima 2,31 m > 1,75 m luce di progetto – VERIFICATO**



**Solaio della chiusura orizzontale verde, luce di progetto 1,75 m**

Tipologia di carico	Valore [kN/m <sup>2</sup> ]
Strati non strutturali	2,32
Carico neve	2,2
Carico variabile	0,5
Totale	5,02

Utilizzando il solaio misto acciaio/cls tipo A 55/P 600 Hi-Bond collaborante con sovraccarico di 7 kN/m<sup>2</sup>, spessore 0,7 mm e H= 10 cm otteniamo un valore di luce massima pari a:

**luce massima 2,41 m > 1,75 m luce di progetto – VERIFICATO**

I requisiti di stabilità della lamiera grecata già scelta per il solaio di interpiano verificano appieno le condizioni di carico e luce massima anche per il solaio di copertura, sia nel caso di chiusura orizzontale verde che di chiusura orizzontale praticabile. Viene quindi mantenuta la stessa lamiera anche per i casi in esame.

**11.11 Analisi delle sollecitazioni per il dimensionamento e verifica degli elementi strutturali**

Le azioni che incidono sugli elementi strutturali del telaio vengono classificate a seconda della loro natura.

**Forze (o “azioni dirette”):**

Carichi permanenti “G”:

- peso proprio “G<sub>1</sub>” delle strutture portanti stesse e cioè degli elementi strutturali;
- sovraccarichi permanenti “G<sub>2</sub>” delle opere portate;

Carichi variabili “Q” (sovraccarichi accidentali):

- carichi di servizio (pesi), carico da neve;
- pressione cinematica del vento;
- spinta delle terre e di materiali incoerenti;
- forze dinamiche (vibrotorie, impulsive...).

**Deformazioni impresse (o “azioni indirette”):**

- coazioni apposite “P” (precompressione,...);
- distorsioni permanenti “G<sub>ε</sub>” (cedimenti, ritiro, ...);
- distorsioni variabili “Q<sub>ε</sub>” (variazioni termiche, ...);
- sismi (accelerazioni ondulatorie e sussultorie).

**Agenti aggressivi (di carattere fisico o chimico):**

- gelo, usura, ...;
- umidità, salsedine, fumi, ...

I carichi espressi poc’anzi vengono dunque introdotti nello schema statico degli elementi strutturali in esame per valutarne gli effetti e verificare la resistenza. Si tratta, pertanto, di precisare come i diversi carichi possano coesistere sulla struttura e come le loro caratteristiche probabilistiche combinate influiscano sull’esito del dimensionamento.

Per gli stati limite di esercizio (SLE), i criteri di combinazione dei carichi forniscono un’azione di calcolo espressa da tre tipi di combinazione:

– combinazione “rara” con:

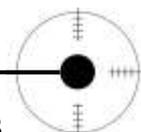
$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{12} Q_{k2} + \psi_{13} Q_{k3} + \dots$$

– combinazione “frequente” con:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3} + \dots$$

– combinazione “quasi permanente” con:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3} + \dots$$



dove:

$\psi_{ij}$  = coefficienti di combinazione; sono legati alla durata percentuale del carico e variano in riferimento alla categoria di destinazione funzionale dell'edificio in esame.

**Tabella 2.5.1** – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
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 $\leq 30$ 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 $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Per gli stati limite ultimi (SLU), i criteri di combinazione dei carichi forniscono la seguente relazione:

– combinazione “fondamentale” con:

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{PP} + \gamma_{Q1}\psi_{01}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

dove:

$\gamma$  = coefficienti parziali per le azioni, pari nel caso in esame a 1,3 per i carichi permanenti strutturali; pari a 1,5 per i carichi permanenti non strutturali e quelli variabili.

**Tabella 2.6.1** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente $\gamma_f$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Infine, si riporta la combinazione sismica per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi

all'azione sismica E:

– combinazione “sismica” con:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

## **11.12 Le travi, svolgimento delle verifiche**

### **11.12.1 Resistenza di calcolo**

La normativa prevede che ogni verifica sia fatta rispetto a una determinata resistenza di calcolo. Questa resistenza è sempre determinata dividendo la resistenza caratteristica del materiale a una determinata sollecitazione per un coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma$  che varia a seconda delle tipologie di verifiche. I coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_M$  devono essere assunti come segue:

**Tabella 4.2.V** Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

### **11.12.2 Verifiche allo stato limite di servizio**

Le verifiche agli stati limite di esercizio riguardano il comportamento della struttura durante il periodo di servizio. Tale tipo di verifica si svolge per controllare i fenomeni deformativi della struttura, al fine di evitare che eccessive deformazioni della stessa possano metterne a rischio il corretto funzionamento, o danneggiare altri elementi dell'organismo edilizio. Per elementi strutturali in acciaio, le verifiche in esercizio possono essere più restrittive di quanto non siano quelle a rottura.

Nel caso delle travi in acciaio, la freccia massima da calcolare in uno schema statico

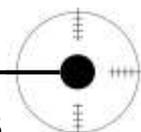
di trave appoggio-appoggio risulta determinata solo dalla formula:

$$f_{max} = \frac{5ql^4}{384EJ}$$

dove:

E = 210 Gpa, modulo elastico dell'acciaio

J = momento d'inerzia rispetto all'asse longitudinale della trave



### 11.12.3 Le verifiche richieste dalla normativa e limiti di deformabilità

I valori limite degli spostamenti verticali, qui di seguito indicati, sono illustrati facendo riferimento alla trave semplicemente appoggiata nella quale:

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

dove:

$\delta_{max}$  = freccia nello stato finale riferita alla linea retta congiungente i supporti;

$\delta_0$  = pre-monta iniziale (controfreccia) della trave nella condizione scarica.

$\delta_1$  = variazione dell'inflessione della trave dovuta ai carichi permanenti immediatamente dopo l'applicazione dei carichi.

$\delta_2$  = variazione dell'inflessione della trave dovuta all'applicazione dei carichi variabili più eventuali deformazioni, variabili nel tempo, causate dai carichi permanenti.

Per gli edifici, i limiti raccomandati per gli spostamenti verticali sono forniti nel prospetto qui di seguito allegato, nel quale L è la luce della trave. Per le travi a mensola la lunghezza L da considerare è il doppio della lunghezza dello sbalzo della mensola.

**Tabella 4.2.X** Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	
<i>In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.</i>		

### 11.12.4 Verifiche allo stato limite ultimo

Le verifiche allo stato limite ultimo servono a scongiurare l'ipotesi di rottura del materiale a seguito del raggiungimento del massimo limite di resistenza. Lo svolgimento di queste verifiche avviene con riferimento alla combinazione di carico appositamente definita dalla normativa, che prevede l'amplificazione dei carichi, permanenti e variabili, secondo i coefficienti già riportati nelle parti precedenti del testo. Le verifiche da svolgere a rottura dipendono dal tipo di elemento strutturale e dalle modalità di sollecitazione che caratterizzano la sua sezione. Nel caso delle travi, le verifiche a rottura riguardano le problematiche di flessione, taglio e torsione, ovvero le azioni che interessano la sezione di una trave.

Flessione

Nel caso di progetto, si è svolta una verifica a flessione nel piano, risolvendo la disequaglianza definita come:

$$M_{Sd} < M_{pl,Rd}$$

dove:

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$W_{pl}$  = modulo di resistenza plastico definito da profilario.

Taglio

Per il progetto la verifica a taglio è stata effettuata verificando la disequaglianza:

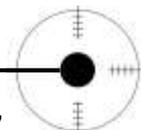
$$V_{Sd} < V_{pl,Rd}$$

dove:

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{(f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

Area resistente a taglio per profilati laminati ad  $I$  ed  $H$  con carico parallelo all'anima.



### **11.12.5 Predimensionamento travi secondarie**

Per il predimensionamento delle travi secondarie si considerano i seguenti carichi distribuiti:

- Carichi permanenti non strutturali  $Q_p$  (peso del solaio più quello delle partizioni nel caso di solaio interpiano)
- Carichi variabili  $q_v$  (carico d'esercizio in base alla categoria e azione della neve)
- Carichi dovuti al peso proprio strutturale  $q_s$  della lamiera grecata più getto collaborante

Modulo elastico dell'acciaio  $E = 210 \text{ KN/mm}^2$

Il seguente disegno indica le aree di competenza di ciascuna trave secondaria:

Si prosegue nel seguente modo:

- Si determinano le azioni distribuite lungo la trave secondaria.
- Si valuta l'inerzia di progetto minima (inerzia del profilo teorico), considerando la freccia massima ammissibile pari ad  $1/500$ , tramite la formula inversa:

$$J = 5 p L_t^4 / 384 E f$$

dove  $L_t$  = luce trave secondaria = 350 cm

$f$  è la freccia ammissibile pari ad  $L_t/500$

- Si è poi scelto il profilo in base all'inerzia risultante e si è verificato che questo rispettasse la freccia ammissibile, calcolandone la freccia massima di progetto tramite la formula:

$$f_{\max} = 5 p L_t^4 / 384 E J$$

dove  $J$  è l'inerzia del profilo scelto: nel caso specifico HEA140 per la copertura inclinata, HEA180 per la copertura piana praticabile e il tetto giardino, HEA160 per il solaio interpiano.

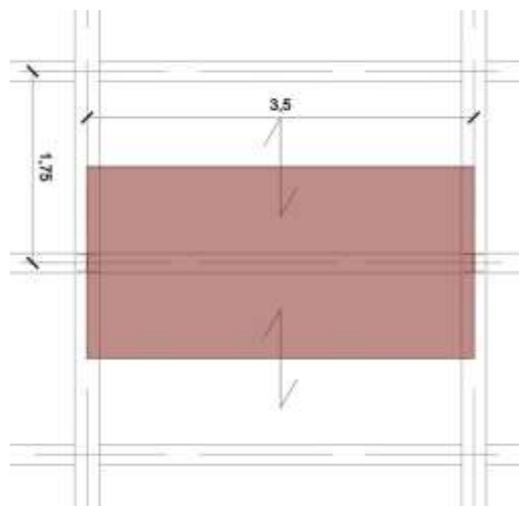
- Si esegue la verifica:

$$f_{\max} < f$$

- Si calcolano infine i tagli agli estremi della secondaria  $V_t = qL/2$  ed il momento torcente.

Nelle tabella di seguito sono riportati i calcoli e le verifiche effettuate.

Si tenga presente che la copertura ha due diverse chiusure, una praticabile con tetto giardino, ed una non praticabile inclinata, e che quindi i carichi variano in base alla loro natura.



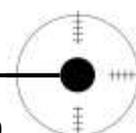
**Fig. 11.42 Area di influenza della trave secondaria soggetta a verifica**

N.B.:

Lo schema statico delle travi secondarie è “appoggio-appoggio”.

Le travi restanti sono assimilabili alle travi di cui si esegue il calcolo.

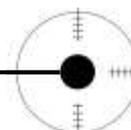
Le travi secondarie delle serre sono state dimensionate all’interpiano, verificando che i carichi in copertura fossero minori e le luci le medesime, adottando in questo secondo caso gli stessi profili per ragioni architettoniche.



Predimensionamento Trave Secondaria Copertura piana praticabile			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,35	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	6,20	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub></b>	7,48	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,35	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	6,20	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx</sub></b>	7,48	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	14,96	[kN/m]
Luce Trave	<b>L<sub>t</sub></b>	3,50	[m]
Limiti di deformabilità	<b>L/</b> 500,00		[-]
Freccia Ammissibile	<b>f</b>	7,00	[mm]
Inerzia in progetto	<b>J<sub>p</sub></b>	1988,83	[cm <sup>4</sup> ]
Profilo Scelto		HEA 180	[-]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	2510	[cm <sup>4</sup> ]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,355	[kN/m]
Freccia max	<b>f<sub>max</sub></b>	5,68	[mm]
<b>Verifica</b>		verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	<b>M<sub>t</sub></b>	0	[kNm/m]
<b>Taglio agli appoggi</b>	<b>V</b>	26,8	[kN]

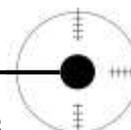
Per quanto riguarda il predimensionamento della trave secondaria della campata caratterizzata da tetto verde si intende già verificata in quanto gravata da un carico variabile di esercizio molto inferiore (per la copertura piana praticabile si è utilizzato 4kN/m<sup>2</sup> utilizzato per ambienti suscettibili di affollamento mentre per la copertura piana verde un valore di 0,5 N/m<sup>2</sup> previsto per la sola manutenzione).

Predimensionamento Trave Secondaria Copertura inclinata			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	0,92	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	1,82	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	0,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub></b>	2,40	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	0,92	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	1,82	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	0,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx</sub></b>	2,40	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	4,80	[kN/m]
Luce Trave	<b>L<sub>t</sub></b>	3,50	[m]
Limiti di deformabilità	<b>L/</b> 500,00		[-]
Freccia Ammissibile	<b>f</b>	7,00	[mm]
Inerzia in progetto	<b>J<sub>p</sub></b>	637,36	[cm <sup>4</sup> ]
Profilo Scelto		HEA 140	[-]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,247	[kN/m]
Freccia max	<b>f<sub>max</sub></b>	4,54	[mm]
<b>Verifica</b>		verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	<b>M<sub>t</sub></b>	0	[kNm/m]
<b>Taglio agli appoggi</b>	<b>V</b>	8,8	[kN]



Predimensionamento Trave Secondaria Piano Tipo			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,85	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	2,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub></b>	4,24	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,85	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	2,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx</sub></b>	4,24	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	8,49	[kN/m]
Luce Trave	<b>L<sub>t</sub></b>	3,50	[m]
Limiti di deformabilità	<b>L/ 500,00</b>		[-]
Freccia Ammissibile	<b>f</b>	7,00	[mm]
Inerzia in progetto	<b>J<sub>p</sub></b>	1128,17	[cm <sup>4</sup> ]
Profilo Scelto		HEA 160	[-]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	1673	[cm <sup>4</sup> ]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,304	[kN/m]
Freccia max	<b>f<sub>max</sub></b>	4,89	[mm]
<b>Verifica</b>		verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	<b>M<sub>t</sub></b>	0	[kNm/m]
<b>Taglio agli appoggi</b>	<b>V</b>	15,4	[kN]

Predimensionamento Trave Secondaria Serra			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	2,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Luce campata	<b>L</b>	1,20	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub></b>	2,91	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	2,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Luce campata	<b>L</b>	1,20	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx</sub></b>	2,91	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	5,82	[kN/m]
Luce Trave	<b>L<sub>t</sub></b>	3,50	[m]
Limiti di deformabilità	<b>L/ 500</b>		[-]
Freccia Ammissibile	<b>f</b>	7,00	[mm]
Inerzia in progetto	<b>J<sub>p</sub></b>	773,60	[cm <sup>4</sup> ]
Profilo Scelto		HEA 140	[-]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,247	[kN/m]
Freccia max	<b>f<sub>max</sub></b>	5,46	[mm]
<b>Verifica</b>		verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	<b>M<sub>t</sub></b>	0	[kNm/m]
<b>Taglio agli appoggi</b>	<b>V</b>	10,6	[kN]



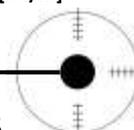
### 11.12.6 Verifiche allo SLE

Trave Secondaria Piano Copertura piana praticabile, Verifica allo SLE			
<b>Modulo Elastico</b>	E	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	Q <sub>p</sub>	1,35	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	q <sub>s</sub>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	q <sub>v</sub>	4,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	q <sub>neve</sub>	2,20	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	ψ <sub>0j</sub>	0,70	[-]
	ψ <sub>1j</sub>	0,70	[-]
	ψ <sub>2j</sub>	0,60	[-]
	ψ <sub>0neve</sub>	0,50	[-]
	ψ <sub>1neve</sub>	0,20	[-]
	ψ <sub>2neve</sub>	0,00	[-]
Luce campata	L	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	R <sub>sx carichi perm.</sub>	2,06	[kN/m]
	R <sub>sx rara</sub>	4,46	[kN/m]
	R <sub>sx frequente</sub>	2,45	[kN/m]
	R <sub>sx quasi perm.</sub>	2,10	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	Q <sub>p</sub>	1,35	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	q <sub>s</sub>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	q <sub>v</sub>	4,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	q <sub>neve</sub>	2,20	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	ψ <sub>0j</sub>	0,70	[-]
	ψ <sub>1j</sub>	0,70	[-]
	ψ <sub>2j</sub>	0,60	[-]
	ψ <sub>0neve</sub>	0,50	[-]
	ψ <sub>1neve</sub>	0,20	[-]
	ψ <sub>2neve</sub>	0,00	[-]
Luce campata	L	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	R <sub>dx carichi perm.</sub>	2,06	[kN/m]
	R <sub>dx rara</sub>	4,46	[kN/m]
	R <sub>dx frequente</sub>	2,45	[kN/m]
	R <sub>dx quasi perm.</sub>	2,10	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	Q <sub>t carichi perm.</sub>	4,11	[kN/m]
	Q <sub>t rara</sub>	8,93	[kN/m]
	Q <sub>t frequente</sub>	4,90	[kN/m]
	Q <sub>t quasi perm.</sub>	4,20	[kN/m]
<b>Profilo Scelto</b>		HEA 180	[-]
Peso proprio della trave	q <sub>t</sub>	0,355	[kN/m]
Inerzia del profilo scelto	J	2510	[cm <sup>4</sup> ]
Luce Trave	L <sub>t</sub>	3,50	[m]
<b>Monta iniziale della trave</b>	δ <sub>c</sub>	0,00	[mm]
Freccia carichi perm.	δ <sub>1</sub>	1,66	[mm]
Freccia carichi variabili	δ <sub>2 rara</sub>	3,44	[mm]
	δ <sub>2 frequente</sub>	1,95	[mm]
	δ <sub>2 quasi perm.</sub>	1,69	[mm]
Freccia max	δ <sub>tot rara</sub> - δ <sub>c</sub>	5,10	[mm]
	δ <sub>tot frequente</sub> - δ <sub>c</sub>	3,60	[mm]
	δ <sub>tot quasi perm.</sub> - δ <sub>c</sub>	3,34	[mm]
Limite di deform.		max L/ 250	[-]

		$2 L/ 300$		[-]
Freccia Ammissibile	$\delta_{max}/L$		14,00	[mm]
	$\delta_2/L$		11,67	[mm]
<b>Verifica</b>	$f_{max}$ rara		verificato	[-]
	$f_{max}$ frequente		verificato	[-]
	$f_{max}$ quasi perm.		verificato	[-]
	$f_2$ rara		verificato	[-]
	$f_2$ frequente		verificato	[-]
	$f_2$ quasi perm.		verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	$M_t$		0	[kNm/m]

Osservazione: la copertura piana è in categoria C e l'azione variabile dominante è l'affollamento. I coefficienti di combinazione per l'azione della neve, dato che L'Aquila è ad un'altitudine di 714 m s.l.m., sono quelli della categoria "Neve a quota minore di 1000 m s.l.m.".

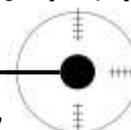
Trave Secondaria Piano Copertura inclinata, Verifica allo SLE				
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>		210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>				
Carichi Permanenti	$Q_p$		0,92	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	$q_s$		0,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$q_v$		0,50	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	$q_{neve}$		1,32	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	$\psi_{0j}$		0,00	[-]
	$\psi_{1j}$		0,00	[-]
	$\psi_{2j}$		0,00	[-]
	$\psi_{0neve}$		0,50	[-]
	$\psi_{1neve}$		0,20	[-]
	$\psi_{2neve}$		0,00	[-]
Luce campata	<b>L</b>		1,75	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{sx}$ carichi perm.		0,81	[kN/m]
	$R_{sx}$ rara		1,16	[kN/m]
	$R_{sx}$ frequente		0,23	[kN/m]
	$R_{sx}$ quasi perm.		0,00	[kN/m]
<b>Campata dx</b>				
Carichi Permanenti	$Q_p$		0,92	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	$q_s$		0,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$q_v$		0,50	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	$q_{neve}$		1,32	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	$\psi_{0j}$		0,00	[-]
	$\psi_{1j}$		0,00	[-]
	$\psi_{2j}$		0,00	[-]
	$\psi_{0neve}$		0,50	[-]
	$\psi_{1neve}$		0,20	[-]
	$\psi_{2neve}$		0,00	[-]
Luce campata	<b>L</b>		1,75	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{dx}$ carichi perm.		0,81	[kN/m]
	$R_{dx}$ rara		1,16	[kN/m]
	$R_{dx}$ frequente		0,23	[kN/m]
	$R_{dx}$ quasi perm.		0,00	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	$Q_t$ carichi perm.		1,61	[kN/m]
	$Q_t$ rara		2,31	[kN/m]



	$Q_t$ frequente	0,46	[kN/m]
	$Q_t$ quasi perm.	0,00	[kN/m]
<b>Profilo Scelto</b>		HEA 140	[-]
Peso proprio della trave	$q_t$	0,247	[kN/m]
Inerzia del profilo scelto	$J$	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Luce Trave	$L_t$	3,50	[m]
<b>Monta iniziale della trave</b>	$\delta_c$	0,00	[mm]
Freccia carichi perm.	$\delta_1$	1,67	[mm]
Freccia carichi variabili	$\delta_2$ rara	2,30	[mm]
	$\delta_2$ frequente	0,64	[mm]
	$\delta_2$ quasi perm.	0,22	[mm]
Freccia max	$\delta_{tot}$ rara - $\delta_c$	3,98	[mm]
	$\delta_{tot}$ frequente - $\delta_c$	2,31	[mm]
	$\delta_{tot}$ quasi perm. - $\delta_c$	1,90	[mm]
Limite di deform.		$\frac{L}{200}$	[-]
		$\frac{L}{250}$	[-]
Freccia Ammissibile	$\delta_{max}/L$	17,50	[mm]
	$\delta_2/L$	14,00	[mm]
<b>Verifica</b>	$f_{max}$ rara	verificato	[-]
	$f_{max}$ frequente	verificato	[-]
	$f_{max}$ quasi perm.	verificato	[-]
	$f_2$ rara	verificato	[-]
	$f_2$ frequente	verificato	[-]
	$f_2$ quasi perm.	verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	$M_t$	0	[kNm/m]

La copertura inclinata è in categoria H e l'azione prevalente è la neve.

Trave Secondaria Piano Tipo, Verifica allo SLE			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,85	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	2,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	<b>ψ<sub>0j</sub></b>	0,70	[-]
	<b>ψ<sub>1j</sub></b>	0,50	[-]
	<b>ψ<sub>2j</sub></b>	0,30	[-]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> carichi perm.</b>	2,49	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> rara</b>	1,23	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> frequente</b>	0,88	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> quasi perm.</b>	0,53	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,85	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	2,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	<b>ψ<sub>0j</sub></b>	0,70	[-]
	<b>ψ<sub>1j</sub></b>	0,50	[-]
	<b>ψ<sub>2j</sub></b>	0,30	[-]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx</sub> carichi perm.</b>	2,49	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> rara</b>	1,23	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> frequente</b>	0,88	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> quasi perm.</b>	0,53	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub> carichi perm.</b>	4,99	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> rara</b>	2,45	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> frequente</b>	1,75	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> quasi perm.</b>	1,05	[kN/m]
<b>Profilo Scelto</b>		HEA 160	[-]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,304	[kN/m]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	1673	[cm <sup>4</sup> ]
Luce Trave	<b>L<sub>t</sub></b>	3,5	[m]
<b>Monta iniziale della trave</b>			
Freccia carichi perm.	<b>δ<sub>1</sub></b>	2,9	[mm]
Freccia carichi variabili	<b>δ<sub>2</sub> rara</b>	1,5	[mm]
	<b>δ<sub>2</sub> frequente</b>	1,1	[mm]
	<b>δ<sub>2</sub> quasi perm.</b>	0,8	[mm]
Freccia max	<b>δ<sub>tot</sub> rara - δ<sub>c</sub></b>	4,5	[mm]
	<b>δ<sub>tot</sub> frequente - δ<sub>c</sub></b>	4,1	[mm]
	<b>δ<sub>tot</sub> quasi perm. - δ<sub>c</sub></b>	3,7	[mm]
Limite di deform.		$\frac{\max}{2} \frac{L}{250}$	[-]
		$\frac{L}{300}$	[-]
Freccia Ammissibile	<b>δ<sub>max</sub>/L</b>	14,0	[mm]
	<b>δ<sub>2</sub>/L</b>	11,7	[mm]
<b>Verifica</b>			
	<b>f<sub>max</sub> rara</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>max</sub> frequente</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>max</sub> quasi perm.</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>2</sub> rara</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>2</sub> frequente</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>2</sub> quasi perm.</b>	verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	<b>M<sub>t</sub></b>	0	[kNm/m]



Trave Secondaria Piano Tipo Serra, Verifica allo SLE			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,85	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	2,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	<b>ψ<sub>0j</sub></b>	0,70	[-]
	<b>ψ<sub>1j</sub></b>	0,50	[-]
	<b>ψ<sub>2j</sub></b>	0,30	[-]
Luce campata	<b>L</b>	1,20	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> carichi perm.</b>	1,71	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> rara</b>	0,84	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> frequente</b>	0,60	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> quasi perm.</b>	0,36	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,85	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	2,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	<b>ψ<sub>0j</sub></b>	0,70	[-]
	<b>ψ<sub>1j</sub></b>	0,50	[-]
	<b>ψ<sub>2j</sub></b>	0,30	[-]
Luce campata	<b>L</b>	1,20	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx</sub> carichi perm.</b>	1,71	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> rara</b>	0,84	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> frequente</b>	0,60	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> quasi perm.</b>	0,36	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>			
	<b>Q<sub>t</sub> carichi perm.</b>	3,42	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> rara</b>	1,68	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> frequente</b>	1,20	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> quasi perm.</b>	0,72	[kN/m]
<b>Profilo Scelto</b>		HEA 140	[-]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,247	[kN/m]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Luce Trave	<b>L<sub>t</sub></b>	3,5	[m]
<b>Monta iniziale della trave</b>	<b>δ<sub>c</sub></b>	0	[mm]
Freccia carichi perm.	<b>δ<sub>1</sub></b>	3,3	[mm]
Freccia carichi variabili	<b>δ<sub>2</sub> rara</b>	1,7	[mm]
	<b>δ<sub>2</sub> frequente</b>	1,3	[mm]
	<b>δ<sub>2</sub> quasi perm.</b>	0,9	[mm]
Freccia max	<b>δ<sub>tot</sub> rara - δ<sub>c</sub></b>	5,0	[mm]
	<b>δ<sub>tot</sub> frequente - δ<sub>c</sub></b>	4,6	[mm]
	<b>δ<sub>tot</sub> quasi perm. - δ<sub>c</sub></b>	4,2	[mm]
Limite di deform.		$\frac{\max}{2} \frac{L}{250}$	[-]
		$\frac{L}{300}$	[-]
Freccia Ammissibile	<b>δ<sub>max</sub>/L</b>	14,0	[mm]
	<b>δ<sub>2</sub>/L</b>	11,7	[mm]
<b>Verifica</b>	<b>f<sub>max</sub> rara</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>max</sub> frequente</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>max</sub> quasi perm.</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>2</sub> rara</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>2</sub> frequente</b>	verificato	[-]
	<b>f<sub>2</sub> quasi perm.</b>	verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	<b>M<sub>t</sub></b>	0	[kNm/m]

**11.12.7 Verifiche allo SLU**

Per la verifica allo stato limite ultimo, si è proceduto nel seguente modo:

- Si sono ricavati i dati relativi al profilo scelto, necessari per tale verifica, in particolare:
  - Modulo elastico  $E = 210 \text{ KN/mm}^2$
  - Inerzia  $J$  (da profilario)
  - Luce trave  $L_t = 3,5 \text{ m}$
  - Tensione di snervamento  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
  - Coefficiente di sicurezza  $\gamma_{M0} = 1,05$
  - Modulo resistente plastico  $W_{pl,y}$  (da profilario)
  - Area resistente al taglio  $A_v$  (da profilario)
  
- Si sono determinati i carichi  $Q_t$  distribuiti sulla trave secondaria, derivanti dai carichi permanenti strutturali e non strutturali e dai carichi variabili che agiscono sul solaio, moltiplicati per i rispettivi coefficienti parziali sfavorevoli  $\gamma_F$ .
  
- Si sono effettuate le seguenti verifiche:

FLESSIONE MONOASSIALE RETTA:

Momento flettente di calcolo  $M_{Ed} \leq$  Momento resistente di calcolo  $M_{c,Rd}$

TAGLIO:

Taglio di calcolo  $V_{Ed} \leq$  Resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$

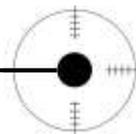
FLESSIONE A TAGLIO:

$V_{Ed} \leq 0,5 V_{c,Rd}$

Dove:  $M_{Ed} = Q_t L_t^2 / 2$   
 $M_{c,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0}$   
 $V_{Ed} = Q_t L_t / 2$   
 $V_{c,Rd} = A_v f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})$

Trave Secondaria Copertura piana praticabile, Verifica allo SLU			
---	--	--	--

<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Profilo		HEA 180	[-]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Peso proprio profilo	<b>G<sub>1p</sub></b>	0,355	[kN/m]
Distanza tra le ali del profilo	<b>c</b>	152	[mm]
Spessore anima	<b>t<sub>w</sub></b>	6	[mm]
Spessore delle ali	<b>t<sub>f</sub></b>	9,5	[mm]
Area lorda sezione profilo	<b>A</b>	45,3	[cm <sup>2</sup> ]
Larghezza delle ali	<b>b</b>	180	[mm]
Raggio di raccordo tra anima-ala	<b>r</b>	15	[mm]
Coeff. di classe	<b>ε</b>	1	[-]
	<b>c/t</b>	25,33	[-]
Classe del Profilo	<b>c/t &lt; 72ε</b>	1	[-]

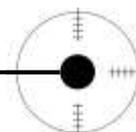


Coeff. di sicurezza	$Y_{M0}$	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	$W_{pl,y}$	324	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Analisi dei carichi</b>			
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	$G_1$ strutturali	1,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
	$G_2$ non strutturali	1,35	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$Q_v$	4,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi neve	$Q_n$	2,2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	$Y_{G1}$	1,3	[-]
	$Y_{G2}$	1,5	[-]
	$Y_{Q1}$	1,5	[-]
	$\psi_{0j\text{ neve}}$	0,5	
Luce campata	$L$	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{sx\ SLU}$	9,60	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	$G_1$ strutturali	1,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
	$G_2$ non strutturali	1,35	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$Q_v$	4,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi neve	$Q_n$	2,2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	$Y_{G1}$	1,3	[-]
	$Y_{G2}$	1,5	[-]
	$Y_{Q1}$	1,5	[-]
	$\psi_{0j\text{ neve}}$	0,5	
Luce campata	$L$	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{sx\ SLU}$	9,60	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	$Q_t$	19,6	[kN/m]
<b>Flessione monoassiale retta</b>			
Momento resistente di calcolo	$M_{c,Rd}$	72,5	[kNm]
Momento flettente di calcolo	$M_{Ed}$	30,0	[kNm]
<b>Verifica</b>	$M_{Ed} < M_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Taglio</b>			
Area resistente a taglio	$A_v$	14,5	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	187,6	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	34,2	[kN]
<b>Verifica</b>	$V_{Ed} < V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Flessione e taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	187,6	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	34,2	[kN]
<b>Verifica</b>	$se V_{Ed} < 0,5 V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Trave Secondaria Copertura inclinata, Verifica allo SLU</b>			
<b>Modulo Elastico</b>	$E$	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
Profilo		HEA 140	[-]
Luce Trave	$L$	3,5	[m]
Tensione di snervamento	$f_y$	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Peso proprio profilo	$G_{1p}$	0,207	[kN/m]
Distanza tra le ali del profilo	$c$	116	[mm]
Spessore anima	$t_w$	5,5	[mm]
Spessore delle ali	$t_f$	8,5	[mm]
Area lorda sezione profilo	$A$	31,4	[cm <sup>2</sup> ]
Larghezza delle ali	$b$	140	[mm]
Raggio di raccordo tra anima-ala	$r$	12	[mm]
Coeff. di classe	$\epsilon$	1	[-]

	<b>c/t</b>	21,09	[-]
Classe del Profilo	<b>c/t &lt; 72ε</b>	1	[-]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M0</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl,y</sub></b>	173	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Analisi dei carichi</b>			
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	0,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	0,92	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	0,50	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi neve	<b>Q<sub>n</sub></b>	1,32	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
	<b>ψ<sub>0j</sub> neve</b>	0,5	
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> SLU</b>	2,73	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	0,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	0,92	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	0,50	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi neve	<b>Q<sub>n</sub></b>	1,32	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
	<b>ψ<sub>0j</sub> neve</b>	0,5	
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> SLU</b>	2,73	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	5,7	[kN/m]
<b>Flessione monoassiale retta</b>			
Momento resistente di calcolo	<b>M<sub>c,Rd</sub></b>	38,8	[kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	8,7	[kNm]
<b>Verifica</b>	<b>M<sub>Ed</sub> &lt; M<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Taglio</b>			
Area resistente a taglio	<b>A<sub>v</sub></b>	10,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a taglio	<b>V<sub>c,Rd</sub></b>	130,6	[kN]
Taglio di calcolo	<b>V<sub>Ed</sub></b>	9,9	[kN]
<b>Verifica</b>	<b>V<sub>Ed</sub> &lt; V<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Flessione e taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	<b>V<sub>c,Rd</sub></b>	130,6	[kN]
Taglio di calcolo	<b>V<sub>Ed</sub></b>	9,9	[kN]
<b>Verifica</b>	<b>se V<sub>Ed</sub> &lt; 0,5 V<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

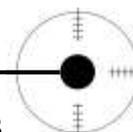
**Trave Secondaria Piano Tipo, Verifica allo SLU**

<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
Profilo		HEA 160	[-]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Peso proprio profilo	<b>G<sub>1p</sub></b>	0,304	[kN/m]
Distanza tra le ali del profilo	<b>c</b>	134	[mm]
Spessore anima	<b>t<sub>w</sub></b>	6	[mm]
Spessore delle ali	<b>t<sub>f</sub></b>	9	[mm]
Area lorda sezione profilo	<b>A</b>	38,8	[cm <sup>2</sup> ]



Larghezza delle ali	<b>b</b>	160	[mm]
Raggio di raccordo tra anima-ala	<b>r</b>	15	[mm]
Coeff. di classe	<b>ε</b>	1	[-]
	<b>c/t</b>	22	[-]
Classe del Profilo	<b>c/t &lt; 72ε</b>	1	[-]
Coeff. di sicurezza	<b>Y<sub>M0</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl,y</sub></b>	246	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Analisi dei carichi</b>			
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	1,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>Y<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>Y<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>Y<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx SLU</sub></b>	6,19	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	1,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>Y<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>Y<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>Y<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
Luce campata	<b>L</b>	1,75	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx SLU</sub></b>	6,19	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	12,7	[kN/m]
<b>Flessione monoassiale retta</b>			
Momento resistente di calcolo	<b>M<sub>c,Rd</sub></b>	55,1	[kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	19,4	[kNm]
<b>Verifica</b>	<b>M<sub>ed</sub> &lt; M<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Taglio</b>			
Area resistente a taglio	<b>A<sub>v</sub></b>	13,2	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a taglio	<b>V<sub>c,Rd</sub></b>	171,1	[kN]
Taglio di calcolo	<b>V<sub>Ed</sub></b>	22,2	[kN]
<b>Verifica</b>	<b>V<sub>ed</sub> &lt; V<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Flessione e taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	<b>V<sub>c,Rd</sub></b>	171,1	[kN]
Taglio di calcolo	<b>V<sub>Ed</sub></b>	22,2	[kN]
<b>Verifica</b>	<b>V<sub>ed</sub> &lt; 0,5 V<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Trave Secondaria Piano Tipo Serra, Verifica allo SLU</b>			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
Profilo		HEA 140	[-]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Peso proprio profilo	<b>G<sub>1p</sub></b>	0,247	[kN/m]
Distanza tra le ali del profilo	<b>c</b>	116	[mm]
Spessore anima	<b>t<sub>w</sub></b>	5,5	[mm]
Spessore delle ali	<b>t<sub>f</sub></b>	8,5	[mm]
Area lorda sezione profilo	<b>A</b>	31,4	[cm <sup>2</sup> ]
Larghezza delle ali	<b>b</b>	140	[mm]
Raggio di raccordo tra anima-ala	<b>r</b>	12	[mm]

Coeff. di classe	$\epsilon$	8	[-]
	$c/t$	21,09	[-]
Classe del Profilo	$c/t < 72\epsilon$	1	[-]
Coeff. di sicurezza	$Y_{M0}$	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	$W_{pl,y}$	173,4	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Analisi dei carichi</b>			
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	$G_1$ strutturali	1,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
	$G_2$ non strutturali	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$Q_v$	2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	$Y_{G1}$	1,3	[-]
	$Y_{G2}$	1,5	[-]
	$Y_{Q1}$	1,5	[-]
Luce campata	$L$	1,20	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{sx SLU}$	4,25	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	$G_1$ strutturali	1,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
	$G_2$ non strutturali	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$Q_v$	2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	$Y_{G1}$	1,3	[-]
	$Y_{G2}$	1,5	[-]
	$Y_{Q1}$	1,5	[-]
Luce campata	$L$	1,20	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{dx SLU}$	4,25	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	$Q_t$	8,7	[kN/m]
<b>Flessione monoassiale retta</b>			
Momento resistente di calcolo	$M_{c,Rd}$	38,8	[kNm]
Momento flettente di calcolo	$M_{Ed}$	13,4	[kNm]
<b>Verifica</b>	$M_{Ed} < M_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	[-]
<b>Taglio</b>			
Area resistente a taglio	$A_v$	10,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	130,6	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	15,3	[kN]
<b>Verifica</b>	$V_{Ed} < V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	[-]
<b>Flessione e taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	130,6	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	15,3	[kN]
<b>Verifica</b>	$V_{Ed} < 0,5 V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	[-]



### 11.12.8 Verifica di stabilità

La principale verifica di stabilità da effettuare per un elemento inflesso è quella relativa all'instabilità flesso-torsionale.

Questo tipo di instabilità si manifesta quando la forza di compressione agente su una parete del profilo provoca una traslazione laterale e una rotazione della sezione, che si trova quindi sollecitata sia da momento flettente che da momento torcente.



Fig.11.43 Profilo soggetto ad instabilità flesso-torsionale

Per quanto concerne le verifiche da effettuare per questo tipo di instabilità L'EC3 dice di verificare che:

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd}$$

Dove con  $M_{Ed}$  si indica il valore sollecitante di progetto del momento flettente agente e  $M_{b,Rd}$  è il valore di momento resistente.

Il momento resistente di progetto di una trave non controventata lateralmente va assunto pari a:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}$$

Dove:

$\chi_{LT}$  è il coefficiente di riduzione per l'instabilità flesso torsionale.

Il valore  $\chi_{LT}$  per la snellezza dimensionale appropriata  $\lambda_{LT}$ , per profili inflessi con sezione trasversale costante si può assumere pari a:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ ma } \chi_{LT} \leq 1,0$$

Dove:

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$\alpha_{LT}$  è il fattore di imperfezione per l'instabilità flesso-torsionale, determinabile in funzione della sezione trasversale come mostrato nelle tabelle sottostanti.

Tipo di sezione trasversale	Limiti	Curva di instabilità
Sezione ad I laminata	$h/b \leq 2$	<b>a</b>
	$h/b > 2$	<b>b</b>
Sezione ad I saldata	$h/b \leq 2$	<b>c</b>
	$h/b > 2$	<b>d</b>
Altre sezioni	-	<b>d</b>

**Fig.11.44** Determinazione della curva di instabilità

Curva di instabilità	a	b	c	d
Fattore di imperfezione $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49	0,76

**Fig.11.45** Determinazione del fattore di imperfezione

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_{yk}}{M_{cr}}}$$

$M_{cr}$  è il momento elastico critico per l'instabilità flessione-torsionale. Per il calcolo del momento critico si fa riferimento a quanto esposto nell'Appendice F dell'EC3.

Per travi aventi sezione trasversale simmetrica uniforme con ali uguali, sotto condizioni normali di vincolo (vincolo al movimento laterale, vincolo alla rotazione intorno all'asse longitudinale, libertà di ruotare nel piano), caricata attraverso il suo centro di taglio e soggetta ad un momento uniforme il momento critico può essere così calcolato:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{I_w + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z}}$$

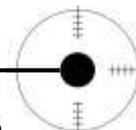
Dove  $G = E/2(1+\nu)$

$I_t$  è la costante di torsione

$I_w$  è la costante di ingobbamento

$I_z$  è il momento d'inerzia attorno all'asse minore

$L$  è la lunghezza della trave fra i punti che hanno vincolo laterale



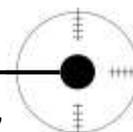
Trave Secondaria Copertura piana praticabile, Verifica alla Stabilità			
<b>Profilo</b>		HEA 180	[-]
Modulo Elastico	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di Poisson	<b>v</b>	0,3	[-]
Modulo di elasticità tangenziale	<b>G</b>	80769230,77	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M1</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl, y</sub></b>	324	[cm <sup>3</sup> ]
Momento agli estremi	<b>M<sub>a</sub></b>	0	[ kNm]
	<b>M<sub>b</sub></b>	0	[ kNm]
Coeff. di distribuz. momento flet.	<b>ψ</b>	1,75	[-]
Lunghezza libera inflessione lat.	<b>L<sub>cr</sub></b>	3,50	[m]
Inerzia	<b>J<sub>y</sub></b>	2510	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale	<b>J<sub>T</sub></b>	11,3829	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale Secondaria	<b>J<sub>ω</sub>=(t<sub>f</sub>h<sup>2</sup>b<sup>3</sup>)/24</b>	53335,6	[cm <sup>6</sup> ]
Rigidezza flessionale laterale	<b>EJ<sub>y</sub></b>	5271	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale	<b>GJ<sub>t</sub></b>	9,19	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale secondaria	<b>EJ<sub>w</sub></b>	11,20	[ kNm <sup>4</sup> ]
Momento critico di instabilità	<b>M<sub>cr</sub></b>	486,76	[ kNm]
Coeff. Di snellezza adim.	<b>λ<sub>(adimension)LT</sub></b>	0,4	[-]
	<b>λ<sub>(adimension)LT,0</sub></b>	0,2	[-]
Coeff. adimensionale	<b>β</b>	1	[-]
Coeff. Di imperfezione	<b>α<sub>LT</sub></b>	0,21	[-]
Coeff. Correttivo	<b>K<sub>c</sub></b>	0,94	[-]
Fattore di reale distr. Momento	<b>f</b>	0,98	[-]
Coeff. Φ	<b>Φ<sub>LT</sub></b>	0,60	[-]
Fattore di riduz. Per instabilità	<b>χ<sub>LT</sub></b>	0,97	[-]
Momento resistente di progetto	<b>M<sub>b,Rd</sub></b>	70,6	[ kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	30	[ kNm]
<b>Verifica</b>	<b>M<sub>Ed</sub> &lt; M<sub>b,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

Trave Secondaria Copertura inclinata, Verifica alla Stabilità			
<b>Profilo</b>		HEA 140	[-]
Modulo Elastico	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di Poisson	<b>v</b>	0,3	[-]
Modulo di elasticità tangenziale	<b>G</b>	80769230,77	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M1</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl, y</sub></b>	246	[cm <sup>3</sup> ]
Momento agli estremi	<b>M<sub>a</sub></b>	0	[ kNm]
	<b>M<sub>b</sub></b>	0	[ kNm]
Coeff. di distribuz. momento flet.	<b>ψ</b>	1,75	[-]
Lunghezza libera inflessione lat.	<b>L<sub>cr</sub></b>	3,50	[m]
Inerzia	<b>J<sub>y</sub></b>	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale	<b>J<sub>T</sub></b>	6,3752	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale Secondaria	<b>J<sub>ω</sub>=(t<sub>f</sub>h<sup>2</sup>b<sup>3</sup>)/24</b>	13077,0	[cm <sup>6</sup> ]
Rigidezza flessionale laterale	<b>EJ<sub>y</sub></b>	2169,3	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale	<b>GJ<sub>t</sub></b>	5,15	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale secondaria	<b>EJ<sub>w</sub></b>	2,75	[ kNm <sup>4</sup> ]
Momento critico di instabilità	<b>M<sub>cr</sub></b>	198,50	[ kNm]

Coeff. Di snellezza adim.	$\lambda_{(adimension)LT}$	0,5	[-]
	$\lambda_{(adimension)LT,0}$	0,2	[-]
Coeff. adimensionale	$\beta$	1	[-]
Coeff. Di imperfezione	$\alpha_{LT}$	0,21	[-]
Coeff. Correttivo	$K_c$	0,94	[-]
Fattore di reale distr. Momento	$f$	0,97	[-]
Coeff. $\Phi$	$\Phi_{LT}$	0,68	[-]
Fattore di riduz. Per instabilità	$\chi_{LT}$	0,94	[-]
Momento resistente di progetto	$M_{b,Rd}$	51,5	[ kNm]
Momento flettente di calcolo	$M_{Ed}$	8,7	[ kNm]
<b>Verifica</b>	$M_{Ed} < M_{b,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

**Trave Secondaria Piano Tipo, Verifica alla Stabilità**

<b>Profilo</b>		HEA 160	[-]
Modulo Elastico	$E$	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di Poisson	$\nu$	0,3	[-]
Modulo di elasticità tangenziale	$G$	80769230,77	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce Trave	$L$	3,5	[m]
Tensione di snervamento	$f_y$	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	$\gamma_{M1}$	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	$W_{pl,y}$	246	[ cm <sup>3</sup> ]
Momento agli estremi	$M_a$	0	[ kNm]
	$M_b$	0	[ kNm]
Coeff. di distribuz. momento flet.	$\psi$	1,75	[-]
Lunghezza libera inflessione lat.	$L_{cr}$	3,50	[m]
Inerzia	$J_y$	1673	[ cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale	$J_T$	8,7408	[ cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale Secondaria	$J_w = (t_f h^2 b^3)/24$	27580,4	[ cm <sup>6</sup> ]
Rigidezza flessionale laterale	$EJ_y$	3513,3	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale	$GJ_t$	7,06	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale secondaria	$EJ_w$	5,79	[ kNm <sup>4</sup> ]
Momento critico di instabilità	$M_{cr}$	318,83	[ kNm]
Coeff. Di snellezza adim.	$\lambda_{(adimension)LT}$	0,4	[-]
	$\lambda_{(adimension)LT,0}$	0,2	[-]
Coeff. adimensionale	$\beta$	1	[-]
Coeff. Di imperfezione	$\alpha_{LT}$	0,21	[-]
Coeff. Correttivo	$K_c$	0,94	[-]
Fattore di reale distr. Momento	$f$	0,98	[-]
Coeff. $\Phi$	$\Phi_{LT}$	0,61	[-]
Fattore di riduz. Per instabilità	$\chi_{LT}$	0,97	[-]
Momento resistente di progetto	$M_{b,Rd}$	53,2	[ kNm]
Momento flettente di calcolo	$M_{Ed}$	19,4	[ kNm]
<b>Verifica</b>	$M_{Ed} < M_{b,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>



Trave Secondaria Piano Tipo Serra, Verifica alla Stabilità			
<b>Profilo</b>		HEA 140	[-]
Modulo Elastico	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di Poisson	<b>v</b>	0,3	[-]
Modulo di elasticità tangenziale	<b>G</b>	80769230,77	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M1</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl,y</sub></b>	173	[cm <sup>3</sup> ]
Momento agli estremi	<b>M<sub>a</sub></b>	0	[ kNm]
	<b>M<sub>b</sub></b>	0	[ kNm]
Coeff. di distribuz. momento flet.	<b>ψ</b>	1,75	[-]
Lunghezza libera inflessione lat.	<b>L<sub>cr</sub></b>	3,50	[m]
Inerzia	<b>J<sub>y</sub></b>	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale	<b>J<sub>T</sub></b>	6,3751	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale Secondaria	<b>J<sub>w</sub>=(t<sub>f</sub>h<sup>2</sup>b<sup>3</sup>)/24</b>	13077,0	[cm <sup>6</sup> ]
Rigidezza flessionale laterale	<b>EJ<sub>y</sub></b>	2169,3	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale	<b>GJ<sub>t</sub></b>	5,15	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale secondaria	<b>EJ<sub>w</sub></b>	2,75	[ kNm <sup>4</sup> ]
Momento critico di instabilità	<b>M<sub>cr</sub></b>	198,50	[ kNm]
Coeff. Di snellezza adim.	<b>λ<sub>(adimension)LT</sub></b>	0,5	[-]
	<b>λ<sub>(adimension)LT,0</sub></b>	0,2	[-]
Coeff. adimensionale	<b>β</b>	1	[-]
Coeff. Di imperfezione	<b>α<sub>LT</sub></b>	0,21	[-]
Coeff. Correttivo	<b>K<sub>c</sub></b>	0,94	[-]
Fattore di reale distr. Momento	<b>f</b>	0,98	[-]
Coeff. Φ	<b>Φ<sub>LT</sub></b>	0,63	[-]
Fattore di riduz. Per instabilità	<b>χ<sub>LT</sub></b>	0,96	[-]
Momento resistente di progetto	<b>M<sub>b,Rd</sub></b>	37,3	[ kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	13,4	[ kNm]
<b>Verifica</b>	<b>M<sub>Ed</sub> &lt; M<sub>b,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

### **11.12.9 Predimensionamento travi primarie**

Per il predimensionamento delle travi primarie si è seguito lo stesso procedimento usato per il predimensionamento delle travi secondarie, valutando quindi la freccia massima e confrontandola con quella ammissibile di progetto, con la differenza che i carichi agenti derivano dalla somma della reazione all'appoggio delle secondarie, moltiplicato per il numero di secondarie in appoggio su ciascuna primaria.

Si è proceduto nel seguente modo:

- Si ricava il valore di carico distribuito  $Q_t$  sulla trave primaria, come somma dei carichi puntiformi derivanti dalle 3 travi secondarie in appoggio sulla primaria, moltiplicati per la luce della trave  $L = 3,5$  m
- Si determina l'inerzia del profilo teorico tramite la formula inversa:

$$I = 5 Q_t L_t^4 / 384 E f$$

dove  $L_t$  = luce trave secondaria = 350 cm

$f$  è la freccia ammissibile pari ad  $L / 500$

- Si calcola la freccia massima di progetto

$$f_{\max} = 5 p L^4 / 384 E J$$

dove  $J$  è l'inerzia del profilo scelto

$p$  sono i carichi che gravano sulla primaria, compreso il peso proprio della stessa.

- Si esegue la verifica:

$$f_{\max} < f$$

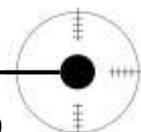
Tale verifica viene effettuata sia per la trave interpiano che per quella di copertura, la quale dovrà sorreggere anche i carichi dovuti alla neve.

N.B.:

Lo schema statico delle travi primarie è "appoggio-appoggio"

Le travi restanti sono assimilabili alle travi di cui si esegue il calcolo

Le travi primarie delle serre sono state dimensionate all'interpiano, verificando che i carichi in copertura fossero minori e le luci le medesime, adottando in questo secondo caso gli stessi profili per ragioni architettoniche.



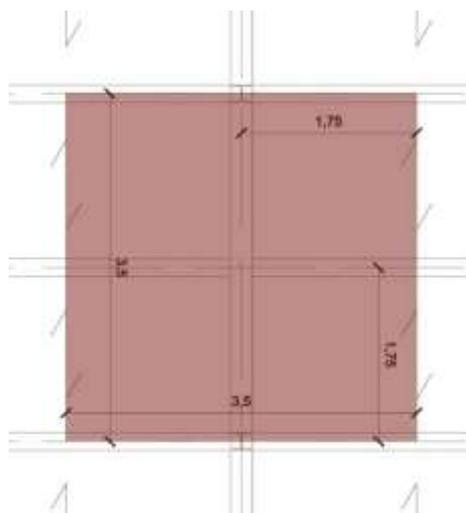


Fig.11.46 Area di influenza della trave primaria soggetta a verifica

Predimensionamento Trave Primaria Piano Copertura piana praticabile			
<b>Modulo Elastico</b>	E	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata</b>			
Carichi Provenienti da trave sec.	q	26,8	[kN]
Numero travi sec. agenti	n°	3	[-]
Carico da travi sec.	Q	80,4	[kN]
Luce campata	L	3,5	[m]
Appross. a carico distribuito	Q <sub>sec</sub>	23,0	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	Q <sub>t</sub>	23,0	[kN/m]
Limiti di deformabilità	L/ 500		[-]
Freccia Ammissibile	f	7,0	[mm]
<b>Inerzia in progetto</b>	J <sub>p</sub>	3054,03	[cm <sup>4</sup> ]
Profilo Scelto		HEA 200	[-]
Inerzia del profilo scelto	J	3692	[cm <sup>4</sup> ]
Peso proprio della trave	q <sub>t</sub>	0,423	[kN/m]
Freccia max	f <sub>max</sub>	5,9	[mm]
<b>Verifica</b>		verificato	[-]

Predimensionamento Trave Primaria Piano Copertura inclinata			
<b>Modulo Elastico</b>	E	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata</b>			
Carichi Provenienti da trave sec.	q	8,8	[kN]
Numero travi sec. agenti	n°	3	[-]
Carico da travi sec.	Q	26,5	[kN]
Luce campata	L	3,5	[m]
Appross. a carico distribuito	Q <sub>sec</sub>	7,6	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	Q <sub>t</sub>	7,6	[kN/m]
Limiti di deformabilità	L/ 500		[-]
Freccia Ammissibile	f	7,0	[mm]
<b>Inerzia in progetto</b>	J <sub>p</sub>	1005,28	[cm <sup>4</sup> ]
Profilo Scelto		HEA 160	[-]
Inerzia del profilo scelto	J	1673	[cm <sup>4</sup> ]
Peso proprio della trave	q <sub>t</sub>	0,304	[kN/m]
Freccia max	f <sub>max</sub>	4,4	[mm]

<b>Verifica</b>	verificato	[-]
-----------------	------------	-----

**Predimensionamento Trave Primaria Piano Tipo**

<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata</b>			
Carichi Provenienti da trave sec.	<b>q</b>	15,4	[kN]
Numero travi sec. Agenti	<b>n°</b>	3	[-]
Carico da travi sec.	<b>Q</b>	46,2	[kN]
Luce campata	<b>L</b>	3,5	[m]
Appross. a carico distribuito	<b>Q<sub>sec</sub></b>	13,2	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	13,2	[kN/m]
Limiti di deformabilità	<b>L/ 500</b>		[-]
Freccia Ammissibile	<b>f</b>	7,0	[mm]
Inerzia in progetto	<b>J<sub>p</sub></b>	1752,86	[cm <sup>4</sup> ]
Profilo Scelto		HEA 180	[-]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	2510	[cm <sup>4</sup> ]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,423	[kN/m]
Freccia max	<b>f<sub>max</sub></b>	5,0	[mm]
<b>Verifica</b>		verificato	[-]

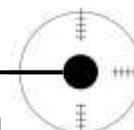
**Predimensionamento Trave Primaria Piano Tipo Serra**

<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata</b>			
Carichi Provenienti da trave sec.	<b>q</b>	5,3	[kN]
Numero travi sec. Agenti	<b>n°</b>	3	[-]
Carico da travi sec.	<b>Q</b>	15,9	[kN]
Luce campata	<b>L</b>	3,3	[m]
Appross. a carico distribuito	<b>Q<sub>sec</sub></b>	4,8	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	4,8	[kN/m]
Limiti di deformabilità	<b>L/ 500</b>		[-]
Freccia Ammissibile	<b>f</b>	6,6	[mm]
Inerzia in progetto	<b>J<sub>p</sub></b>	537,68	[cm <sup>4</sup> ]
Profilo Scelto		HEA 140	[-]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,247	[kN/m]
Freccia max	<b>f<sub>max</sub></b>	3,6	[mm]
<b>Verifica</b>		verificato	[-]

**11.12.10 Verifiche allo SLE**

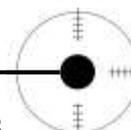
**Trave Primaria Piano Copertura piana praticabile, Verifica allo SLE**

<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	1,35	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	4,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>q<sub>neve</sub></b>	2,20	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	<b>ψ<sub>0j</sub></b>	0,70	[-]
	<b>ψ<sub>1j</sub></b>	0,70	[-]
	<b>ψ<sub>2j</sub></b>	0,60	[-]
	<b>ψ<sub>0neve</sub></b>	0,50	[-]



	$\psi_{1neve}$	0,20	[-]
	$\psi_{2neve}$	0,00	[-]
Luce campata	L	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{sx}$ carichi perm.	4,11	[kN/m]
	$R_{sx}$ rara	8,93	[kN/m]
	$R_{sx}$ frequente	4,90	[kN/m]
	$R_{sx}$ quasi perm.	4,20	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	$Q_p$	1,35	[kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	$q_s$	1,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$q_v$	4,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
	$q_{neve}$	2,20	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	$\psi_{0j}$	0,70	[-]
	$\psi_{1j}$	0,70	[-]
	$\psi_{2j}$	0,60	[-]
	$\psi_{0neve}$	0,50	[-]
	$\psi_{1neve}$	0,20	[-]
	$\psi_{2neve}$	0,00	[-]
Luce campata	L	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{dx}$ carichi perm.	4,11	[kN/m]
	$R_{dx}$ rara	8,93	[kN/m]
	$R_{dx}$ frequente	4,90	[kN/m]
	$R_{dx}$ quasi perm.	4,20	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	$Q_t$ carichi perm.	8,23	[kN/m]
	$Q_t$ rara	17,85	[kN/m]
	$Q_t$ frequente	9,80	[kN/m]
	$Q_t$ quasi perm.	8,40	[kN/m]
<b>Profilo Scelto</b>		HEA 200	[-]
Peso proprio della trave	$q_t$	0,355	[kN/m]
Inerzia del profilo scelto	J	3692	[cm <sup>4</sup> ]
Luce Trave	$L_t$	3,50	[m]
<b>Monta iniziale della trave</b>	$\delta_c$	0,00	[mm]
Freccia carichi perm.	$\delta_1$	2,16	[mm]
Freccia carichi variabili	$\delta_2$ rara	4,59	[mm]
	$\delta_2$ frequente	2,56	[mm]
	$\delta_2$ quasi perm.	2,21	[mm]
Freccia max	$\delta_{tot}$ rara - $\delta_c$	6,75	[mm]
	$\delta_{tot}$ frequente - $\delta_c$	4,72	[mm]
	$\delta_{tot}$ quasi perm. - $\delta_c$	4,37	[mm]
Limite di deform.		$\max \frac{L}{250}$ $\frac{L}{300}$	[-]
Freccia Ammissibile	$\delta_{max}/L$	14,00	[mm]
	$\delta_2/L$	11,67	[mm]
<b>Verifica</b>	$f_{max}$ rara	verificato	[-]
	$f_{max}$ frequente	verificato	[-]
	$f_{max}$ quasi perm.	verificato	[-]
	$f_2$ rara	verificato	[-]
	$f_2$ frequente	verificato	[-]
	$f_2$ quasi perm.	verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	$M_t$	0	[kNm/m]

Trave Primaria Piano Copertura inclinata, Verifica allo SLE			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	0,92	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	0,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	0,50	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>q<sub>neve</sub></b>	1,32	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	<b>ψ<sub>0j</sub></b>	0,00	[-]
	<b>ψ<sub>1j</sub></b>	0,00	[-]
	<b>ψ<sub>2j</sub></b>	0,00	[-]
	<b>ψ<sub>0neve</sub></b>	0,50	[-]
	<b>ψ<sub>1neve</sub></b>	0,20	[-]
	<b>ψ<sub>2neve</sub></b>	0,00	[-]
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> carichi perm.</b>	1,61	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> rara</b>	2,31	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> frequente</b>	0,46	[kN/m]
	<b>R<sub>sx</sub> quasi perm.</b>	0,00	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>Q<sub>p</sub></b>	0,92	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	<b>q<sub>s</sub></b>	0,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>q<sub>v</sub></b>	0,50	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>q<sub>neve</sub></b>	1,32	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	<b>ψ<sub>0j</sub></b>	0,00	[-]
	<b>ψ<sub>1j</sub></b>	0,00	[-]
	<b>ψ<sub>2j</sub></b>	0,00	[-]
	<b>ψ<sub>0neve</sub></b>	0,50	[-]
	<b>ψ<sub>1neve</sub></b>	0,20	[-]
	<b>ψ<sub>2neve</sub></b>	0,00	[-]
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx</sub> carichi perm.</b>	1,61	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> rara</b>	2,31	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> frequente</b>	0,46	[kN/m]
	<b>R<sub>dx</sub> quasi perm.</b>	0,00	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub> carichi perm.</b>	3,22	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> rara</b>	4,62	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> frequente</b>	0,92	[kN/m]
	<b>Q<sub>t</sub> quasi perm.</b>	0,00	[kN/m]
<b>Profilo Scelto</b>		HEA 160	[-]
Peso proprio della trave	<b>q<sub>t</sub></b>	0,304	[kN/m]
Inerzia del profilo scelto	<b>J</b>	1673	[cm <sup>4</sup> ]
Luce Trave	<b>L<sub>t</sub></b>	3,50	[m]
<b>Monta iniziale della trave</b>		<b>δ<sub>c</sub></b>	0,00 [mm]
Freccia carichi perm.	<b>δ<sub>1</sub></b>	1,96	[mm]
Freccia carichi variabili	<b>δ<sub>2</sub> rara</b>	2,74	[mm]
	<b>δ<sub>2</sub> frequente</b>	0,68	[mm]
	<b>δ<sub>2</sub> quasi perm.</b>	0,17	[mm]
Freccia max	<b>δ<sub>tot</sub> rara - δ<sub>c</sub></b>	4,70	[mm]
	<b>δ<sub>tot</sub> frequente - δ<sub>c</sub></b>	2,64	[mm]
	<b>δ<sub>tot</sub> quasi perm. - δ<sub>c</sub></b>	2,13	[mm]
Limite di deform.	<b>max</b>	L/ 200	[-]
	<b>2</b>	L/ 250	[-]
Freccia Ammissibile	<b>δ<sub>max</sub>/L</b>	17,50	[mm]



	$\delta_2/L$	14,00	[mm]
<b>Verifica</b>	$f_{\max}$ rara	verificato	[-]
	$f_{\max}$ frequente	verificato	[-]
	$f_{\max}$ quasi perm.	verificato	[-]
	$f_2$ rara	verificato	[-]
	$f_2$ frequente	verificato	[-]
	$f_2$ quasi perm.	verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	$M_t$	0	[kNm/m]

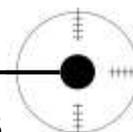
**Trave Primaria Piano Tipo, Verifica allo SLE**

<b>Modulo Elastico</b>	E	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	$Q_p$	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	$q_s$	1,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$q_v$	2,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	$\psi_{0j}$	0,70	[-]
	$\psi_{1j}$	0,50	[-]
	$\psi_{2j}$	0,30	[-]
Luce campata	L	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{sx}$ carichi perm.	4,99	[kN/m]
	$R_{sx}$ rara	2,45	[kN/m]
	$R_{sx}$ frequente	1,75	[kN/m]
	$R_{sx}$ quasi perm.	1,05	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	$Q_p$	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	$q_s$	1,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$q_v$	2,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	$\psi_{0j}$	0,70	[-]
	$\psi_{1j}$	0,50	[-]
	$\psi_{2j}$	0,30	[-]
Luce campata	L	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{dx}$ carichi perm.	4,99	[kN/m]
	$R_{dx}$ rara	2,45	[kN/m]
	$R_{dx}$ frequente	1,75	[kN/m]
	$R_{dx}$ quasi perm.	1,05	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>			
	$Q_t$ carichi perm.	9,98	[kN/m]
	$Q_t$ rara	4,90	[kN/m]
	$Q_t$ frequente	3,50	[kN/m]
	$Q_t$ quasi perm.	2,10	[kN/m]
<b>Profilo Scelto</b>		HEA 180	[-]
Peso proprio della trave	$q_t$	0,355	[kN/m]
Inerzia del profilo scelto	J	2510	[cm <sup>4</sup> ]
Luce Trave	$L_t$	3,5	[m]
<b>Monta iniziale della trave</b>	$\delta_c$	0	[mm]
Freccia carichi perm.	$\delta_1$	3,8	[mm]
Freccia carichi variabili	$\delta_2$ rara	1,9	[mm]
	$\delta_2$ frequente	1,4	[mm]
	$\delta_2$ quasi perm.	0,9	[mm]
Freccia max	$\delta_{\text{tot}} \text{ rara} - \delta_c$	5,8	[mm]
	$\delta_{\text{tot}} \text{ frequente} - \delta_c$	5,3	[mm]
	$\delta_{\text{tot}} \text{ quasi perm.} - \delta_c$	4,7	[mm]
Limite di deform.	$\frac{\max}{2} L/ 250$		[-]
	$L/ 300$		[-]

Freccia Ammissibile	$\delta_{\max}/L$	14,0	[mm]
	$\delta_2/L$	11,7	[mm]
<b>Verifica</b>	$f_{\max}$ rara	verificato	[-]
	$f_{\max}$ frequente	verificato	[-]
	$f_{\max}$ quasi perm.	verificato	[-]
	$f_2$ rara	verificato	[-]
	$f_2$ frequente	verificato	[-]
	$f_2$ quasi perm.	verificato	[-]
<b>Momento Torcente</b>	$M_t$	0	[kNm/m]

**Trave Primaria Piano Tipo serra, Verifica allo SLE**

<b>Modulo Elastico</b>	E	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	$Q_p$	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Peso Proprio Strutturale	$q_s$	1,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	$q_v$	2,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di combinazione	$\psi_{0j}$	0,70	[-]
	$\psi_{1j}$	0,50	[-]
	$\psi_{2j}$	0,30	[-]
Luce campata	L	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	$R_{sx}$ carichi perm.	4,99	[kN/m]
	$R_{sx}$ rara	2,45	[kN/m]
	$R_{sx}$ frequente	1,75	[kN/m]
	$R_{sx}$ quasi perm.	1,05	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	$Q_t$ carichi perm.	4,99	[kN/m]
	$Q_t$ rara	2,45	[kN/m]
	$Q_t$ frequente	1,75	[kN/m]
	$Q_t$ quasi perm.	1,05	[kN/m]
<b>Profilo Scelto</b>		HEA 140	[-]
Peso proprio della trave	$q_t$	0,247	[kN/m]
Inerzia del profilo scelto	J	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Luce Trave	$L_t$	3,3	[m]
<b>Monta iniziale della trave</b>	$\delta_c$	0	[mm]
Freccia carichi perm.	$\delta_1$	2,0	[mm]
Freccia carichi variabili	$\delta_2$ rara	1,0	[mm]
	$\delta_2$ frequente	0,8	[mm]
	$\delta_2$ quasi perm.	0,5	[mm]
Freccia max	$\delta_{\text{tot}} \text{ rara} - \delta_c$	4,9	[mm]
	$\delta_{\text{tot}} \text{ frequente} - \delta_c$	4,6	[mm]
	$\delta_{\text{tot}} \text{ quasi perm.} - \delta_c$	4,4	[mm]
Limite di deform.	$\frac{\max}{2} L/$ 250		[-]
	$\frac{2}{3} L/$ 300		[-]
Freccia Ammissibile	$\delta_{\max}/L$	14,0	[mm]
	$\delta_2/L$	11,7	[mm]
<b>Verifica</b>	$f_{\max}$ rara	verificato	[-]
	$f_{\max}$ frequente	verificato	[-]
	$f_{\max}$ quasi perm.	verificato	[-]
	$f_2$ rara	verificato	[-]
	$f_2$ frequente	verificato	[-]
	$f_2$ quasi perm.	verificato	[-]



### 11.12.11 Verifiche allo SLU

Trave Primaria Copertura piana praticabile, Verifica allo SLU			
<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Profilo		HEA 200	[-]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Peso proprio profilo	<b>G<sub>1p</sub></b>	0,423	[kN/m]
Distanza tra le ali del profilo	<b>c</b>	170	[mm]
Spessore anima	<b>t<sub>w</sub></b>	6,50	[mm]
Spessore delle ali	<b>t<sub>f</sub></b>	10,0	[mm]
Area lorda sezione profilo	<b>A</b>	53,8	[cm <sup>2</sup> ]
Larghezza delle ali	<b>b</b>	200	[mm]
Raggio di raccordo tra anima-ala	<b>r</b>	18	[mm]
Coeff. di classe	<b>ε</b>	1	[-]
	<b>c/t</b>	26,15	[-]
Classe del Profilo	<b>c/t &lt; 72ε</b>	1	[-]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M0</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl,y</sub></b>	430	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Analisi dei carichi</b>			
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	1,35	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	4,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi neve	<b>Q<sub>n</sub></b>	2,2	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
	<b>ψ<sub>0j</sub> neve</b>	0,5	
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> SLU</b>	19,21	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	1,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	1,35	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	4,00	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi neve	<b>Q<sub>n</sub></b>	2,2	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
	<b>ψ<sub>0j</sub> neve</b>	0,5	
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> SLU</b>	19,21	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	38,8	[kN/m]
<b>Flessione monoassiale retta</b>			
Momento resistente di calcolo	<b>M<sub>c,Rd</sub></b>	96,2	[kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	59,5	[kNm]
<b>Verifica</b>	<b>M<sub>ed</sub> &lt; M<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Taglio</b>			
Area resistente a taglio	<b>A<sub>v</sub></b>	18,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a taglio	<b>V<sub>c,Rd</sub></b>	233,2	[kN]
Taglio di calcolo	<b>V<sub>Ed</sub></b>	68,0	[kN]
<b>Verifica</b>	<b>V<sub>ed</sub> &lt; V<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

**Flessione e taglio**

Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	233,2	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	68,0	[kN]
<b>Verifica</b>	$se V_{Ed} < 0,5 V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

**Trave Primaria Copertura inclinata, Verifica allo SLU**

<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
Profilo		HEA 160	[-]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Peso proprio profilo	<b>G<sub>1p</sub></b>	0,304	[kN/m]
Distanza tra le ali del profilo	<b>c</b>	134	[mm]
Spessore anima	<b>t<sub>w</sub></b>	6,0	[mm]
Spessore delle ali	<b>t<sub>f</sub></b>	9,0	[mm]
Area lorda sezione profilo	<b>A</b>	38,8	[cm <sup>2</sup> ]
Larghezza delle ali	<b>b</b>	160	[mm]
Raggio di raccordo tra anima-ala	<b>r</b>	15	[mm]
Coeff. di classe	<b>ε</b>	1	[-]
	<b>c/t</b>	22,33	[-]
Classe del Profilo	<b>c/t &lt; 72ε</b>	1	[-]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M0</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl, y</sub></b>	246	[cm <sup>3</sup> ]

**Analisi dei carichi**

**Campata sx**

Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	0,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	0,92	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	0,50	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi neve	<b>Q<sub>n</sub></b>	1,32	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
	<b>ψ<sub>0j</sub> neve</b>	0,5	
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> SLU</b>	5,46	[kN/m]

**Campata dx**

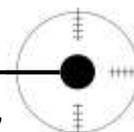
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	0,00	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	0,92	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	0,50	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi neve	<b>Q<sub>n</sub></b>	1,32	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
	<b>ψ<sub>0j</sub> neve</b>	0,5	
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx</sub> SLU</b>	5,46	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	11,2	[kN/m]

**Flessione monoassiale retta**

Momento resistente di calcolo	<b>M<sub>c,Rd</sub></b>	55,1	[kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	17,2	[kNm]
<b>Verifica</b>	<b>M<sub>Ed</sub> &lt; M<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

**Taglio**

Area resistente a taglio	<b>A<sub>v</sub></b>	13,2	[cm <sup>2</sup> ]
--------------------------	----------------------	------	--------------------



Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	171,1	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	19,6	[kN]
<b>Verifica</b>	$V_{ed} < V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Flessione e taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	171,1	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	19,6	[kN]
<b>Verifica</b>	$se V_{ed} < 0,5 V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

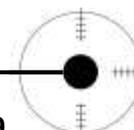
**Trave Primaria Piano Tipo, Verifica allo SLU**

<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
Profilo		HEA 180	[-]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Peso proprio profilo	<b>G<sub>1p</sub></b>	0,355	[kN/m]
Distanza tra le ali del profilo	<b>c</b>	152	[mm]
Spessore anima	<b>t<sub>w</sub></b>	6	[mm]
Spessore delle ali	<b>t<sub>f</sub></b>	9,5	[mm]
Area lorda sezione profilo	<b>A</b>	45,3	[cm <sup>2</sup> ]
Larghezza delle ali	<b>b</b>	180	[mm]
Raggio di raccordo tra anima-ala	<b>r</b>	15	[mm]
Coeff. di classe	<b>ε</b>	1	[-]
	<b>c/t</b>	25	[-]
Classe del Profilo	<b>c/t &lt; 72ε</b>	1	[-]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M0</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl,y</sub></b>	324	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Analisi dei carichi</b>			
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	1,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx SLU</sub></b>	12,38	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	1,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx SLU</sub></b>	12,38	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	25,1	[kN/m]
<b>Flessione monoassiale retta</b>			
Momento resistente di calcolo	<b>M<sub>c,Rd</sub></b>	72,5	[kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	38,5	[kNm]
<b>Verifica</b>	<b>M<sub>ed</sub> &lt; M<sub>c,Rd</sub></b>	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Taglio</b>			
Area resistente a taglio	<b>A<sub>v</sub></b>	14,5	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a taglio	<b>V<sub>c,Rd</sub></b>	187,6	[kN]
Taglio di calcolo	<b>V<sub>Ed</sub></b>	44,0	[kN]

<b>Verifica</b>	$V_{ed} < V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Flessione e taglio</b>			
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	187,6	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	44,0	[kN]
<b>Verifica</b>	$V_{ed} < 0,5 V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

**Trave Primaria Piano Tipo serra, Verifica allo SLU**

<b>Modulo Elastico</b>	<b>E</b>	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
Profilo		HEA 140	[-]
Luce Trave	<b>L</b>	3,3	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Peso proprio profilo	<b>G<sub>1p</sub></b>	0,247	[kN/m]
Distanza tra le ali del profilo	<b>c</b>	116	[mm]
Spessore anima	<b>t<sub>w</sub></b>	6	[mm]
Spessore delle ali	<b>t<sub>f</sub></b>	8,5	[mm]
Area lorda sezione profilo	<b>A</b>	31,4	[cm <sup>2</sup> ]
Larghezza delle ali	<b>b</b>	140	[mm]
Raggio di raccordo tra anima-ala	<b>r</b>	12	[mm]
Coeff. di classe	<b>ε</b>	1	[-]
	<b>c/t</b>	21	[-]
Classe del Profilo	<b>c/t &lt; 72ε</b>	1	[-]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M0</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl,y</sub></b>	173	[cm <sup>3</sup> ]
<b>Analisi dei carichi</b>			
<b>Campata sx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	1,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	1,85	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	2	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	1,3	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	1,5	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	1,5	[-]
Luce campata	<b>L</b>	3,50	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>sx SLU</sub></b>	12,38	[kN/m]
<b>Campata dx</b>			
Carichi Permanenti	<b>G<sub>1</sub> strutturali</b>	0,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
	<b>G<sub>2</sub> non strutturali</b>	0,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carichi Variabili	<b>Q<sub>v</sub></b>	0,0	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff parziali	<b>γ<sub>G1</sub></b>	0,0	[-]
	<b>γ<sub>G2</sub></b>	0,0	[-]
	<b>γ<sub>Q1</sub></b>	0,0	[-]
Luce campata	<b>L</b>	0,0	[m]
Reazione all'appoggio	<b>R<sub>dx SLU</sub></b>	0,0	[kN/m]
<b>Q distribuito sulla trave</b>	<b>Q<sub>t</sub></b>	12,6	[kN/m]
<b>Flessione monoassiale retta</b>			
Momento resistente di calcolo	<b>M<sub>c,Rd</sub></b>	38,8	[kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	17,2	[kNm]
<b>Verifica</b>	$M_{ed} < M_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>
<b>Taglio</b>			
Area resistente a taglio	<b>A<sub>v</sub></b>	10,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a taglio	<b>V<sub>c,Rd</sub></b>	130,6	[kN]
Taglio di calcolo	<b>V<sub>Ed</sub></b>	20,8	[kN]
<b>Verifica</b>	$V_{ed} < V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>



**Flessione e taglio**

Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	130,6	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	20,8	[kN]
<b>Verifica</b>	$V_{ed} < 0,5 V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

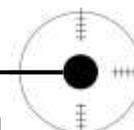
**11.12.12 Verifica di stabilità**

**Trave Primaria Piano Copertura piana praticabile, Verifica alla Stabilità**

<b>Profilo</b>		HEA 200	[-]
Modulo Elastico	$E$	210000000	[kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di Poisson	$\nu$	0,3	[-]
Modulo di elasticità tangenziale	$G$	80769231	[kN/m <sup>2</sup> ]
Luce Trave	$L$	3,5	[m]
Tensione di snervamento	$f_y$	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	$\gamma_{M1}$	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	$W_{pl,y}$	430	[cm <sup>3</sup> ]
Momento agli estremi	$M_a$	0	[kNm]
	$M_b$	0	[kNm]
Coeff. di distribuz. momento flet.	$\psi$	1,75	[-]
Lunghezza libera inflessione lat.	$L_{cr}$	3,50	[m]
Inerzia	$J_y$	3692	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale	$J_T$	14,8895	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale Secondaria	$J_w = (t \cdot h^2 \cdot b^3) / 24$	96333,3	[cm <sup>6</sup> ]
Rigidezza flessionale laterale	$EJ_y$	7753,2	[kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale	$GJ_t$	12,03	[kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale secondaria	$EJ_w$	20,23	[kNm <sup>4</sup> ]
Momento critico di instabilità	$M_{cr}$	736,12	[kNm]
Coeff. Di snellezza adim.	$\lambda_{(adimension)LT}$	0,4	[-]
	$\lambda_{(adimension)LT,0}$	0,2	[-]
Coeff. adimensionale	$\beta$	1	[-]
Coeff. Di imperfezione	$\alpha_{LT}$	0,21	[-]
Coeff. Correttivo	$K_c$	0,94	[-]
Fattore di reale distr. Momento	$f$	0,98	[-]
Coeff. $\Phi$	$\Phi_{LT}$	0,59	[-]
Fattore di riduz. Per instabilità	$\chi_{LT}$	0,98	[-]
<b>Momento resistente di progetto</b>	$M_{b,Rd}$	94,2	[kNm]
Momento flettente di calcolo	$M_{Ed}$	59,5	[kNm]
<b>Verifica</b>	$M_{Ed} < M_{b,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

Trave Primaria Piano Copertura piana praticabile, Verifica alla Stabilità			
<b>Profilo</b>		HEA 160	[-]
Modulo Elastico	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di Poisson	<b>v</b>	0,3	[-]
Modulo di elasticità tangenziale	<b>G</b>	80769231	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M1</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl, y</sub></b>	246	[cm <sup>3</sup> ]
Momento agli estremi	<b>M<sub>a</sub></b>	0	[ kNm]
	<b>M<sub>b</sub></b>	0	[ kNm]
Coeff. di distribuz. momento flet.	<b>ψ</b>	1,75	[-]
Lunghezza libera inflessione lat.	<b>L<sub>cr</sub></b>	3,50	[m]
Inerzia	<b>J<sub>y</sub></b>	1673	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale	<b>J<sub>T</sub></b>	8,7408	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale Secondaria	<b>J<sub>ω</sub>=(t<sub>f</sub>h<sup>2</sup>b<sup>3</sup>)/24</b>	27580,4	[cm <sup>6</sup> ]
Rigidezza flessionale laterale	<b>EJ<sub>y</sub></b>	3513,3	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale	<b>GJ<sub>t</sub></b>	7,06	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale secondaria	<b>EJ<sub>w</sub></b>	5,79	[ kNm <sup>4</sup> ]
Momento critico di instabilità	<b>M<sub>cr</sub></b>	318,83	[ kNm]
Coeff. Di snellezza adim.	<b>λ<sub>(adimension)LT</sub></b>	0,4	[-]
	<b>λ<sub>(adimension)LT,0</sub></b>	0,2	[-]
Coeff. adimensionale	<b>β</b>	1	[-]
Coeff. Di imperfezione	<b>α<sub>LT</sub></b>	0,21	[-]
Coeff. Correttivo	<b>K<sub>c</sub></b>	0,94	[-]
Fattore di reale distr. Momento	<b>f</b>	0,98	[-]
Coeff. Φ	<b>Φ<sub>LT</sub></b>	0,61	[-]
Fattore di riduz. Per instabilità	<b>χ<sub>LT</sub></b>	0,97	[-]
<b>Momento resistente di progetto</b>	<b>M<sub>b,Rd</sub></b>	53,2	[ kNm]
Momento flettente di calcolo	<b>M<sub>Ed</sub></b>	17,2	[ kNm]
Verifica	<b>M<sub>Ed</sub> &lt; M<sub>b,Rd</sub></b>	verificato	[-]

Trave Primaria Piano Tipo, Verifica alla Stabilità			
<b>Profilo</b>		HEA 180	[-]
Modulo Elastico	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di Poisson	<b>v</b>	0,3	[-]
Modulo di elasticità tangenziale	<b>G</b>	80769231	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce Trave	<b>L</b>	3,5	[m]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M1</sub></b>	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	<b>W<sub>pl, y</sub></b>	324	[cm <sup>3</sup> ]
Momento agli estremi	<b>M<sub>a</sub></b>	0	[ kNm]
	<b>M<sub>b</sub></b>	0	[ kNm]
Coeff. di distribuz. momento flet.	<b>ψ</b>	1,75	[-]
Lunghezza libera inflessione lat.	<b>L<sub>cr</sub></b>	3,50	[m]
Inerzia	<b>J<sub>y</sub></b>	2510	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale	<b>J<sub>T</sub></b>	11,3829	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale Secondaria	<b>J<sub>ω</sub>=(t<sub>f</sub>h<sup>2</sup>b<sup>3</sup>)/24</b>	53335,6	[cm <sup>6</sup> ]
Rigidezza flessionale laterale	<b>EJ<sub>y</sub></b>	5271	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale	<b>GJ<sub>t</sub></b>	9,19	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale secondaria	<b>EJ<sub>w</sub></b>	11,20	[ kNm <sup>4</sup> ]
Momento critico di instabilità	<b>M<sub>cr</sub></b>	486,76	[ kNm]



Coeff. Di snellezza adim.	$\lambda_{(adimension)LT}$	0,4	[-]
	$\lambda_{(adimension)LT,0}$	0,2	[-]
Coeff. adimensionale	$\beta$	1	[-]
Coeff. Di imperfezione	$\alpha_{LT}$	0,34	[-]
Coeff. Correttivo	$K_c$	0,94	[-]
Fattore di reale distr. Momento	$f$	0,98	[-]
Coeff. $\Phi$	$\Phi_{LT}$	0,61	[-]
Fattore di riduz. Per instabilità	$\chi_{LT}$	0,95	[-]
<b>Momento resistente di progetto</b>	$M_{b,Rd}$	68,7	[ kNm]
Momento flettente di calcolo	$M_{Ed}$	38,5	[ kNm]
Verifica	$M_{Ed} < M_{b,Rd}$	verificato	[-]

**Trave Primaria Piano Tipo, Verifica alla Stabilità**

<b>Profilo</b>		HEA 140	[-]
Modulo Elastico	$E$	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Coeff di Poisson	$\nu$	0,3	[-]
Modulo di elasticità tangenziale	$G$	80769231	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Luce Trave	$L$	3,3	[m]
Tensione di snervamento	$f_y$	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	$\gamma_{M1}$	1,05	[-]
Modulo resistente plastico	$W_{pl,y}$	173	[cm <sup>3</sup> ]
Momento agli estremi	$M_a$	0	[ kNm]
	$M_b$	0	[ kNm]
Coeff. di distribuz. momento flet.	$\psi$	1,75	[-]
Lunghezza libera inflessione lat.	$L_{cr}$	3,3	[m]
Inerzia	$J_y$	1033	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale	$J_T$	6,3751	[cm <sup>4</sup> ]
Inerzia Torsionale Secondaria	$J_{\omega} = (t_p h^2 b^3)/24$	13077,0	[cm <sup>6</sup> ]
Rigidezza flessionale laterale	$EJ_y$	2169,3	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale	$GJ_t$	5,15	[ kNm <sup>2</sup> ]
Rigidezza torsionale secondaria	$EJ_{\omega}$	2,75	[ kNm <sup>4</sup> ]
Momento critico di instabilità	$M_{cr}$	214,45	[ kNm]
Coeff. Di snellezza adim.	$\lambda_{(adimension)LT}$	0,4	[-]
	$\lambda_{(adimension)LT,0}$	0,2	[-]
Coeff. adimensionale	$\beta$	1	[-]
Coeff. Di imperfezione	$\alpha_{LT}$	0,34	[-]
Coeff. Correttivo	$K_c$	0,94	[-]
Fattore di reale distr. Momento	$f$	0,98	[-]
Coeff. $\Phi$	$\Phi_{LT}$	0,64	[-]
Fattore di riduz. Per instabilità	$\chi_{LT}$	0,93	[-]
<b>Momento resistente di progetto</b>	$M_{b,Rd}$	36,2	[ kNm]
Momento flettente di calcolo	$M_{Ed}$	17,2	[ kNm]
Verifica	$M_{Ed} < M_{b,Rd}$	verificato	[-]

### **11.13 Verifiche dei pilastri**

#### **11.13.1 Predimensionamento pilastri (SLU)**

Dopo aver eseguito il dimensionamento delle travi, si è in grado di calcolare la reazione vincolare che da queste ultime si scarica sui pilastri. Si può cioè passare al predimensionamento e alle opportune verifiche dei pilastri in acciaio.

Per fare questo, si procede con l'analisi dei carichi che agiscono in corrispondenza dell'appoggio delle travi di ogni impalcato, in relazione alle aree di influenza del solaio; per il calcolo delle azioni si utilizza la combinazione fondamentale generalmente impiegata per gli stati limite ultimi.

Si determina così il carico puntuale che agisce su ogni pilastro ad ogni piano; sommando i singoli carichi concentrati sul pilastro ad ogni piano si otterrà il carico totale che agisce su tale pilastro.

Allo stato limite ultimo si ha:

*carico distribuito in copertura (inclinata):*

$$q_{G+Q, \text{cop}} = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

*carico distribuito in copertura (piana praticabile):*

$$q_{G+Q, \text{cop}} = 10,98 \text{ kN/m}^2$$

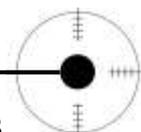
*carico distribuito su soppalco:*

$$q_{G+Q, \text{interp.}} = 7,08 \text{ kN/m}^2$$

Definendo il coefficiente di sicurezza  $Y_{M0} = 1,05$  e considerando il valore della tensione caratteristica di snervamento del pilastro in esame  $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$ , si può determinare l'area minima della sezione resistente mediante la formula inversa della resistenza di calcolo a compressione  $N_{c,Rd} = A f_{yk} / Y_{M0}$  ed imponendo che  $N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$ .

$$A_{\text{min}} = \frac{N_{Ed} Y_{M0}}{f_{yk}}$$

Si ottiene quindi la seguente tabella con i profili HEA scelti in base all'area minima di acciaio necessaria:



**Predimensionamento Pilastro Piano 3° (regge copertura inclinata)**

Codice Pilastro		e-12	[-]
Area di influenza	$A_{influenza}$	12,25	[m <sup>2</sup> ]
Carichi distribuiti combinazione fond.SLU	$q$	3,12	[KN/m <sup>2</sup> ]
N° piani sorretti		0	[-]
Azione assiale di calcolo	$N_{ED}$	38	[KN]
Tensione di snervamento	$f_y$	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	$\gamma_{M1}$	1,05	[-]
Area teorica minima	$A_{min}$	1,71	[cm <sup>2</sup> ]
Profilo pilastro	<b>HEB</b>	200	[-]
Area sezione pilastro	$A_{pilastro}$	78,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di progetto a compressione	$N_{c,Rd}$	1748	[KN]
<b>Verifica</b>	$N_{ED} < N_{c,Rd}$	verificato	

**Predimensionamento Pilastro Piano 2° (regge copertura + 3°)**

Codice Pilastro		e-12	[-]
Area di influenza	$A_{influenza}$	12,25	[m <sup>2</sup> ]
Carichi distribuiti combinazione fond.SLU	$q$	7,08	
Carichi di copertura	$q_{cop}$	3,12	[KN/m <sup>2</sup> ]
Carichi distribuiti totali	$q_{TOTALI}$	10,20	[KN/m <sup>2</sup> ]
N° piani sorretti		1	[-]
Azione assiale di calcolo	$N_{ED}$	125	[KN]
Tensione di snervamento	$f_y$	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	$\gamma_{M1}$	1,05	[-]
Area teorica minima	$A_{min}$	5,58	[cm <sup>2</sup> ]
Profilo pilastro	<b>HEB</b>	200	[-]
Area sezione pilastro	$A_{pilastro}$	78,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di progetto a compressione	$N_{c,Rd}$	1748	[KN]
<b>Verifica</b>	$N_{ED} < N_{c,Rd}$	verificato	

**Predimensionamento Pilastro Piano 1° (regge copertura + 3°+ 2°)**

Codice Pilastro		e-12	[-]
Area di influenza	$A_{influenza}$	12,25	[m <sup>2</sup> ]
Carichi distribuiti combinazione fond.SLU	$q$	7,08	
Carichi dal piano 2°	$q_{2°}$	10,2	[KN/m <sup>2</sup> ]
Carichi distribuiti totali	$q_{TOTALI}$	17,28	[KN/m <sup>2</sup> ]
N° piani sorretti		2	[-]
Azione assiale di calcolo	$N_{ED}$	212	[KN]
Tensione di snervamento	$f_y$	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	$\gamma_{M1}$	1,05	[-]
Area teorica minima	$A_{min}$	9,46	[cm <sup>2</sup> ]
Profilo pilastro	<b>HEB</b>	200	[-]
Area sezione pilastro	$A_{pilastro}$	78,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di progetto a compressione	$N_{c,Rd}$	1748	[KN]
<b>Verifica</b>	$N_{ED} < N_{c,Rd}$	verificato	

**Predimensionamento Pilastro Piano 2° (regge copertura piana praticabile)**

Codice Pilastro		e-22	[-]
Area di influenza	<b>A<sub>influenza</sub></b>	12,25	[m <sup>2</sup> ]
Carichi distribuiti combinazione fond.SLU	<b>q</b>	10,98	[KN/m <sup>2</sup> ]
N° piani sorretti		0	[-]
Azione assiale di calcolo	<b>N<sub>ED</sub></b>	135	[KN]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M1</sub></b>	1,05	[-]
Area teorica minima	<b>A<sub>min</sub></b>	6,01	[cm <sup>2</sup> ]
Profilo pilastro	<b>HEB</b>	200	[-]
Area sezione pilastro	<b>A<sub>pilastro</sub></b>	78,1	[cm <sup>2</sup> ]
	<b>N<sub>c,Rd</sub></b>	1748	[KN]
<b>Verifica</b>	<b>N<sub>ED</sub> &lt; N<sub>c,Rd</sub></b>	verificato	

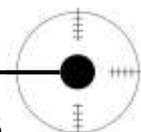
**Predimensionamento Pilastro Piano 1° (regge copertura + 2°)**

Codice Pilastro		e-22	[-]
Area di influenza	<b>A<sub>influenza</sub></b>	12,25	[m <sup>2</sup> ]
Carichi distribuiti combinazione fond.SLU	<b>q</b>	7,08	
Carichi di copertura	<b>q<sub>cop</sub></b>	10,98	[KN/m <sup>2</sup> ]
Carichi distribuiti totali	<b>q<sub>TOTALI</sub></b>	18,06	[KN/m <sup>2</sup> ]
N° piani sorretti		1	[-]
Azione assiale di calcolo	<b>N<sub>ED</sub></b>	221	[KN]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[N/mm <sup>2</sup> ]
Coeff. di sicurezza	<b>γ<sub>M1</sub></b>	1,05	[-]
Area teorica minima	<b>A<sub>min</sub></b>	9,88	[cm <sup>2</sup> ]
Profilo pilastro	<b>HEB</b>	200	[-]
Area sezione pilastro	<b>A<sub>pilastro</sub></b>	78,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di progetto a compressione	<b>N<sub>c,Rd</sub></b>	1748	[KN]
<b>Verifica</b>	<b>N<sub>ED</sub> &lt; N<sub>c,Rd</sub></b>	verificato	

Si riporta la tabella con le caratteristiche relative al profilo scelto:

**HEB 200**

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL PROFILO																		
h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	A	p	U		J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	S <sub>x</sub>	s <sub>x</sub>
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[daN/m]	[m <sup>2</sup> /m]		[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]
200	200	9	15	18	134	170	78,1	81,3	1,15		5696	570	8,54	2003	200	5,07	321	17,7
A <sub>0</sub>	J <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>pl,x</sub>	ψ <sub>pl,x</sub>	λ <sub>x</sub>	λ <sub>y</sub>	σ <sub>cr,x</sub>	σ <sub>cr,y</sub>	h/b	ω <sub>1</sub>	ω <sub>2</sub>	ω <sub>3</sub>	N <sub>cr,x</sub>	N <sub>cr,y</sub>	φ	r	
[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]			[daN/cm <sup>2</sup> ]	[daN/cm <sup>2</sup> ]					[kN]	[kN]		[mm]	
78,1	7699	9,9287	49,131	642	1,1283	23	39	38434	13367	1,00	1,03	1,15	0,3	30017	10440	25	115	



### 11.13.2 Verifica della stabilità della sezione dei pilastri

Per gli elementi compressi centrali bisogna verificare che non si effettuino fenomeni di instabilità.

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa; per tale verifica si deve imporre  $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$  in cui  $N_{b,Rd}$  è la resistenza all'instabilità nell'asta compressa ed è data dalla seguente equazione:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

Il coefficiente  $\chi$  dipende dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; si desume, in funzione del valore della snellezza adimensionale  $\lambda_{LT}$ , dalla seguente formula:

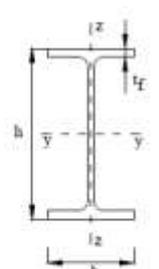
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} \quad \text{con} \quad \chi_{LT} \leq 1$$

dove:

$$\Phi = 0.5 [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

$\alpha$  è il fattore di imperfezione ricavato dalla tabella seguente (Tab.11.47) e la snellezza adimensionale  $\lambda_{LT}$  è pari a:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{A f_{yk}}{N_{cr}}} \quad \text{con} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$$

Sezione trasversale	Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità		
			S235, S275, S355, S420	S460	
	$h/b > 1.2$	y-y z-z	$t_f \leq 40$ mm	a a <sub>0</sub>	
			$40$ mm < $t_f \leq 100$ mm	b c a	
	$h/b \leq 1.2$	y-y z-z	$t_f \leq 100$ mm	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	d d	c c

Curva di instabilità	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Fattore di imperfezione α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

**Tab.11.47 Valori del fattore di imperfezione α**

Si procede nel seguente modo:

- Si ricava il valore del carico critico elastico
 
$$N_{cr} = \min \{ (\pi^2 E I_y) / L_{0,y}^2, (\pi^2 E I_z) / L_{0,z}^2 \}$$

Dove:

E= modulo elastico di Young

I<sub>y</sub>, I<sub>z</sub> = momenti d'inerzia lungo gli assi y-y e z-z

L<sub>0,y</sub>, L<sub>0,z</sub> = βl = lunghezza libera d'inflessione lungo gli assi y-y e z-z

β = coefficiente di lunghezza efficace = 1

l = lunghezza del pilastro = 3 m (considerando l'altezza interpiano)

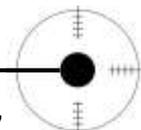
- Si determina:

$$N_{b,Rd} = \chi_{z-z} A f_y / \gamma_{M1}$$

Dove:  $\chi_{z-z} = 1 / [\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}]$  = coefficiente che dipende dal tipo di sezione e di acciaio impiegato, considerato lungo l'asse z perché è quello lungo il quale si ottiene il minimo valore di N<sub>cr</sub>. Il coefficiente Φ dipende dal fattore d'imperfezione α, che nel nostro caso, lungo l'asse z, assume il seguente valore: α<sub>z-z</sub> = 0,49  
 A = area della sezione trasversale lorda  
 f<sub>y</sub> = tensione di snervamento  
 γ<sub>M1</sub> = coefficiente di sicurezza

- Come valori di N<sub>Ed</sub> si utilizzano quelli ottenuti piano per piano nel paragrafo 11.13.1. Si fa riferimento a quelli ottenuti per i piani sovrastati dalla copertura piana praticabile, in quanto il profilo del pilastro scelto è il medesimo e le azioni sono superiori: se in questo caso non ci sarà instabilità si può dedurre che non si verificherà neanche per i pilastri sovrastati dalla copertura inclinata.
- Infine si effettua la verifica N<sub>Ed</sub> ≤ N<sub>b,Rd</sub>, per ogni piano dell' edificio.

Di seguito vengono riportate le tabelle contenenti i calcoli sulla verifica di stabilità per i pilastri in esame.



STABILITA' DELLE MEMBRATURE			
Tipo profilo	<b>HEB</b>	200	[-]
Modulo Elastico	<b>E</b>	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
Area sezione HEB 200	<b>A<sub>HEB 180</sub></b>	78,1	[ cm <sup>2</sup> ]
Area sezione HEB 200	<b>A<sub>HEB 180</sub></b>	78,1	[ cm <sup>2</sup> ]
Tensione di snervamento	<b>f<sub>y</sub></b>	235	[ N/mm <sup>2</sup> ]
Coefficiente di sicurezza	<b>γ<sub>M1</sub></b>	1,05	[-]
Spessore ali HEB 200	<b>t<sub>f HEB 200</sub></b>	15	[ mm ]
Spessore ali HEB 200	<b>t<sub>f HEB 200</sub></b>	15	[ mm ]
Rapport base/altezza	<b>b/h</b>	1	[-]
Curva d'instabilità	<b>Asse y-y</b>	b	[-]
	<b>Asse z-z</b>	c	[-]
Fattore d'imperfezione	<b>α<sub>y-y</sub></b>	0,34	[-]
	<b>α<sub>z-z</sub></b>	0,49	[-]
Momento d'inerzia HEB 200	<b>I<sub>y HEB 200</sub></b>	5696	[ cm <sup>4</sup> ]
	<b>I<sub>z HEB 200</sub></b>	2003	[ cm <sup>4</sup> ]
Momento d'inerzia HEB 200	<b>I<sub>y HEB 200</sub></b>	5696	[ cm <sup>4</sup> ]
	<b>I<sub>z HEB 200</sub></b>	2003	[ cm <sup>4</sup> ]
Lunghezza pilastro (lato copertura inclinata)	<b>L</b>	10	[ m ]
Lunghezza pilastro (lato copertura praticabile)	<b>L</b>	6	[ m ]
Fattore di lunghezza efficace	<b>β</b>	0,67	[-]
Lunghezza di libera inflessione lato cop.incl.	<b>L<sub>0,y</sub></b>	6,67	[ m ]
	<b>L<sub>0,z</sub></b>	6,67	[ m ]
Lunghezza di libera inflessione lato cop.prat.	<b>L<sub>0,y</sub></b>	4	[ m ]
	<b>L<sub>0,z</sub></b>	4	[ m ]
<b>Carico critico elastico</b>	<b>N<sub>cr HEB 200</sub></b>	934	[ kN ]
	<b>N<sub>cr HEB 200</sub></b>	2595	[ kN ]
	<b>λ<sub>HEB 200</sub></b>	1,40	[-]
	<b>λ<sub>HEB 200</sub></b>	0,84	[-]
	<b>φ<sub>HEB 200</sub></b>	1,78	[-]
	<b>φ<sub>HEB 200</sub></b>	1,01	[-]
<b>Coefficiente</b>	<b>χ<sub>z-z HEB 200</sub></b>	0,35	[-]
	<b>χ<sub>z-z HEB 200</sub></b>	0,64	[-]
<b>Resistenza all'instabilità</b>	<b>N<sub>b,Rd HEB 200</sub></b>	609,3	[ kN ]
	<b>N<sub>b,Rd HEB 200</sub></b>	1112,4	[ kN ]
<b>Azione di compressione di calcolo</b>	<b>N<sub>ed PIANO 1°copertura inclinata</sub></b>	211,7	[ kN ]
	<b>N<sub>ed PIANO 1°copertura prat.</sub></b>	221,2	[ kN ]
<b>VERIFICA</b> pilastri lato cop.icl.	<b>N<sub>Ed PIANO 2°</sub> &lt; N<sub>b,Rd HEB 200</sub></b>	verificato	[-]
<b>VERIFICA</b> pilastri lato cop.prat.	<b>N<sub>Ed PIANO 1°</sub> &lt; N<sub>b,Rd HEB 200</sub></b>	verificato	[-]

### 11.14 Dimensionamento e verifica delle travi del ballatoio, dimensionamento del tirante e verifica del pilastro di bordo

Il dimensionamento e la verifica delle travi che sostengono il ballatoio esterno (sul lato nord dell'edificio) è avvenuto con l'ausilio di un programma di calcolo che ha facilitato l'acquisizione delle azioni da inserire nel foglio di calcolo per le verifiche sopra dettagliatamente illustrate.

Le verifiche sono state effettuate allo SLE (combinazione sfavorevole: rara) e allo SLU.

#### Verifiche allo SLE

Lo schema è assimilabile al seguente:

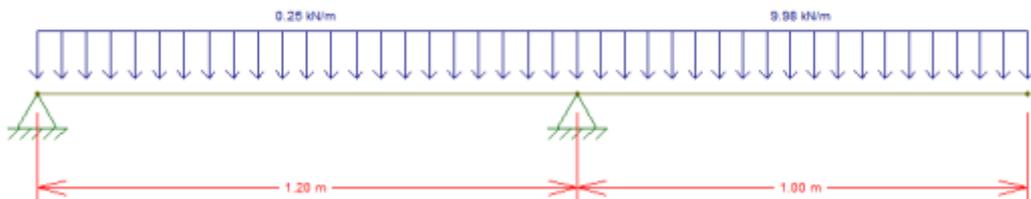


Fig.11.48 Diagramma dei carichi agenti

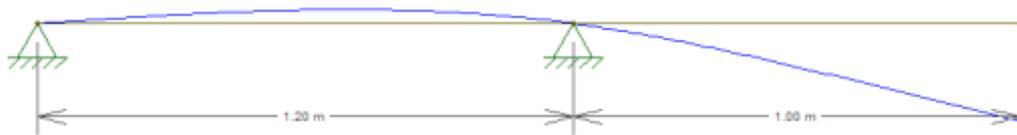
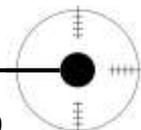


Fig.11.49 Deformata qualitativa

Il profilo utilizzato è un HEA 140, per il quale la freccia risulta minore della freccia massima ammissibile.

Freccia Ammissibile	$\delta_{\max}/L$	4,00	[mm]
Freccia combinazione rara	$f_{\max \text{ rara}}$	0,2	[mm]
		<b>verificato</b>	
Freccia Ammissibile	$\delta_{\max}/L$	6,00	[mm]
Freccia combinazione rara	$f_{\max \text{ rara}}$	1,6	[mm]
		<b>verificato</b>	



Verifiche allo SLU

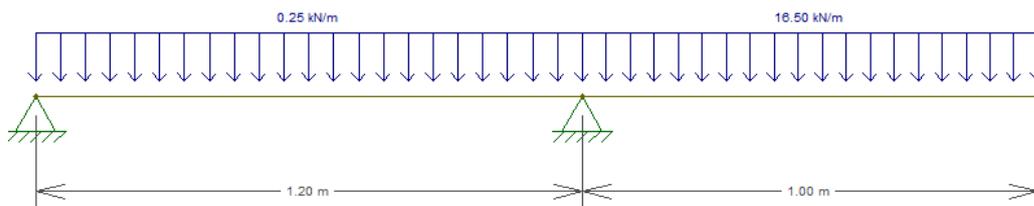


Fig.11.50 Diagramma dei carichi agenti

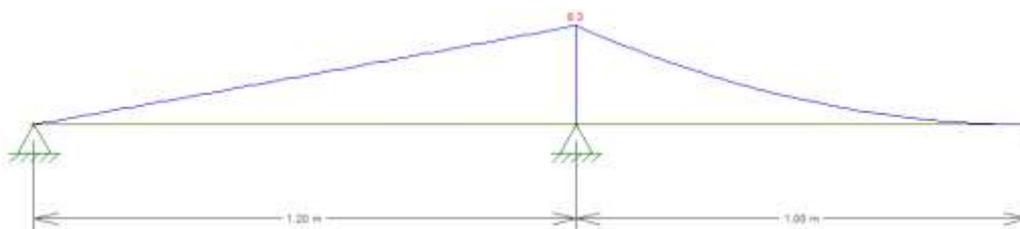


Fig.11.51 Diagramma dell'azione flettente



Fig.11.52 Diagramma del taglio

**Flessione monoassiale retta**

Momento resistente di calcolo	$M_{c,Rd}$	38,8	[kNm]
Momento flettente di calcolo	$M_{Ed}$	8,3	[kNm]
<b>Verifica</b>	$M_{ed} < M_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

**Taglio**

Area resistente a taglio	$A_v$	10,1	[cm <sup>2</sup> ]
Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	130,6	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	16,5	[kN]
<b>Verifica</b>	$V_{ed} < V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

**Flessione e taglio**

Resistenza di calcolo a taglio	$V_{c,Rd}$	130,6	[kN]
Taglio di calcolo	$V_{Ed}$	16,5	[kN]
<b>Verifica</b>	$se V_{ed} < 0,5 V_{c,Rd}$	<b>verificato</b>	<b>[-]</b>

**Tirante**

Affinché sia assicurata la resistenza di una membratura soggetta a trazione assiale l'Eurocodice 3 impone che per ciascuna sezione trasversale dell'elemento sia soddisfatta la seguente relazione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

Dove:

$N_{Ed}$  è il valore di progetto della forza assiale di trazione e  $N_{t,Rd}$  è la resistenza di progetto a trazione della sezione trasversale.

La resistenza di calcolo a trazione  $N_{t,Rd}$  di membrature con sezioni indebolite da fori per collegamenti bullonati o chiodati deve essere assunta pari al minore dei valori seguenti:

- a) la resistenza plastica della sezione lorda,

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

- b) la resistenza a rottura della sezione netta,  $A_{net}$ , in corrispondenza dei fori per i collegamenti

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

Dove:

$A$  è l'area nominale (lorda) della sezione trasversale;

$A_{net}$  è l'area netta della sezione trasversale in corrispondenza dei fori;

$f_{yk}$ ,  $f_{tk}$  sono rispettivamente la tensione di snervamento e di rottura del materiale;

$\gamma_{M0}$  è il coefficiente di sicurezza del materiale.

$N_{Ed} = 19,67 \text{ kN}$

Occorre dunque dimensionare il tirante affinché sia in grado di resistere ad una forza di progetto, valutata allo SLU, pari a 20 kN.

La sezione dev'essere dimensionata in modo tale che la resistenza plastica  $N_{pl,Rd}$  della sezione sia maggiore dell'azione allo SLU  $N_{Ed}$  ovvero deve valere la seguente relazione:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}} > N_{Ed}$$

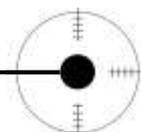
$$A > N_{Ed} \gamma_{M0} / f_{yk} = 20000 \times 1,05 / 235 = 89,36 \text{ mm}^2$$

Due profili a L "lati uguali 60x60x6mm

I fori per i dispositivi di giunzione sono 2 e hanno diametro  $d_0 = 18 \text{ mm}$

L'area, da scheda tecnica, è pari a:

$$A = 690,9 \text{ mm}^2$$



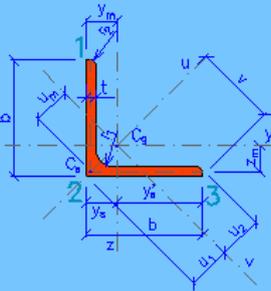
L 60x60x6			
Dimensioni		Proprietà geometriche del profilo dall'asse minore	
		Asse y	Asse z
		$I_y = 2.28e+5 \text{ mm}^4$	$I_z = 2.28e+5 \text{ mm}^4$
		$W_{y1} = 5.28e+3 \text{ mm}^3$	$W_{z3} = 5.28e+3 \text{ mm}^3$
		$W_{y2} = 1.35e+4 \text{ mm}^3$	$W_{z2} = 1.35e+4 \text{ mm}^3$
		$i_y = 18.2 \text{ mm}$	$i_z = 18.2 \text{ mm}$
		Proprietà geometriche del profilo dall'asse maggiore	
$I_u = 3.62e+5 \text{ mm}^6$	$I_v = 9.38e+4 \text{ mm}^4$	$W_{u1} = 8.53e+3 \text{ mm}^3$	$W_{v2} = 3.93e+3 \text{ mm}^3$
$b = 60 \text{ mm}$	$A = 690.9 \text{ mm}^2$	$i_u = 22.9 \text{ mm}$	$W_{v3} = 4.44e+3 \text{ mm}^3$
$t = 6 \text{ mm}$	$G = 5.423 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$u_m = 19.6 \text{ mm}$	$i_v = 11.7 \text{ mm}$
$r_1 = 8 \text{ mm}$	$A_L = 0.2331 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	Torsione e instabilità locale	
$r_2 = 4 \text{ mm}$	$v = 42.4 \text{ mm}$		
$y_s = 16.9 \text{ mm}$	$u_1 = 23.9 \text{ mm}$	$I_t = 8.43e+3 \text{ mm}^4$	$i_{pc} = 25.7 \text{ mm}$
$y'_s = 43.1 \text{ mm}$	$u_2 = 21.1 \text{ mm}$	$I_{yz} = 1.34e+5 \text{ mm}^4$	$i_{pa} = 32.3 \text{ mm}$

Fig.11.53 Scheda tecnica profilo a L 60x60x6

$$N_{pl,Rd} = (2 \times 690,9 \times 235) / 1,05 = 309,26 \text{ KN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9(2 \times (690,9 - 16 \times 2)) \times 360 / 1,05 = 406,635 \text{ KN}$$

La verifica di resistenza è soddisfatta.

### Pilastro di bordo

A questo punto si è dimostrato che il pilastro di bordo, normalmente soggetto ad un'azione assiale di 112,13 KN, fosse ancora verificato con l'incremento dell'azione assiale trasmessa dal sistema ballatoio e dal tirante pari a 46,4 KN. La verifica risulta ampiamente soddisfatta.

### Stabilità a presso- flessione della trave HEA 140

Nel caso di membrature a sezione costante con sezioni doppiamente simmetriche aperte o chiuse, soggette a sforzo assiale e momento flettente, la verifica di stabilità a pressoflessione, per sezioni di classe 1, può essere eseguita controllando che siano soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

$$1) \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_z \cdot f_{yk}} \leq 1$$

$$2) \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_z \cdot f_{yk}} \leq 1$$

Dove:

- $N_{Ed}$  = sforzo assiale;
- $M_{y,Ed}$  ;  $M_{z,Ed}$  = massimi momenti flettenti agenti sull'elemento nei piani di normale y e z;
- $W_y$ ;  $W_z$  = moduli resistenti plastici relativi alla sezione utilizzata (HEA 140)
- $K_{yy}$ ;  $K_{yz}$ ;  $K_{zy}$ ;  $K_{zz}$  = coefficienti di interazione, calcolati secondo la seguente tabella:

k	Tipi di sezione	Sezioni di classe 3 e 4 (proprietà delle sezioni calcolate in campo elastico)	Sezioni di classe 1 e 2 (proprietà delle sezioni calcolate in campo plastico)
$k_{yy}$	L.H. Sezioni cave	$\alpha_{wy} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{wy} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{wy} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{wy} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
$k_{zz}$	L.H. Sezioni cave	$k_{zz}$	$0,6 \cdot k_{zz}$
$k_{yz}$	L.H. Sezioni cave	$0,8 \cdot k_{yz}$	$0,6 \cdot k_{yz}$
$k_{zz}$	L.H.	$\alpha_{wz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{wz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$	$\alpha_{wz} \cdot \left( 1 + (2\bar{\lambda}_y - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{wz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$
	Sezioni cave		$\alpha_{wz} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right) \leq \alpha_{wz} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed} \cdot Y_{pl,y}}{Z_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$

Per pressoflessione retta,  $M_{y,Ed} \neq 0$ ,  $k_{yy} = 0$  ( $M_{z,Ed} = 0$ ).

**Fig.11.54 Coefficienti di interazione per la verifica di stabilità a pressoflessione di elementi con modesta deformabilità torsionale**

- $\chi_z$  ;  $\chi_y$  vengono ricavati come spiegato nel paragrafo precedente, assumendo come valori dei coefficienti d'imperfezione  $\alpha$  lungo i due assi:  $\alpha_{z-z} = 0,49$ ,  $\alpha_{y-y} = 0,39$
- $\chi_{LT} = 1 / [\Phi_{LT} + \sqrt{(\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2)}]$   
 Dove:  $\Phi_{LT} = 0,5 [ 1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \lambda^2 ]$   
 $\alpha_{LT} = 0,21$  per sezioni laminate  
 $\lambda_{LT,0} = 0,2$  per convenzione  
 $\lambda_{LT} = \sqrt{[(W_y f_y) / M_{cr}]}$   
 $M_{cr}$  = momento critico elastico di instabilità torsionale, che dipende dai seguenti fattori:
  - Coefficiente  $C_1 = 3,149$
  - Coefficiente di lunghezza efficace per la rotazione  $k = 0,5$
  - Coefficiente di lunghezza efficace per l'ingobbamento  $k_w = 0,5$
  - Momento d'inerzia lungo l'asse z-z  $I_z$
  - Momento d'inerzia  $I_w$
  - Modulo elastico di Young  $E = 210 \text{ KN/mm}^2$
  - Lunghezza della trave  $L = 120 \text{ cm}$
  - Modulo di elasticità tangenziale  $G$  ( $\nu = 0,3$ )

Le verifiche sono state effettuate considerando il carico massimo  $N_{Ed}$  che grava sulla trave pari a 11,68 KN.

<b>STABILITA' DELLE MEMBRATURE</b>		
Presso flessione HEA 140		

E	210000000,0	[ kN/m <sup>2</sup> ]
I <sub>z</sub>	389,0	[ cm <sup>4</sup> ]
L	120	[ cm ]
N <sub>Ed</sub>	11,68	[ kN ]
γ <sub>M1</sub>	1,05	[ - ]
λ	0,36	[ - ]
χ <sub>z</sub>	0,9167	[ - ]
χ <sub>y</sub>	0,9405	[ - ]
A	31,4	[ cm <sup>2</sup> ]
f <sub>yk</sub>	23,5	[ kN/cm <sup>2</sup> ]
W <sub>pl,y</sub>	173,4	[ cm <sup>3</sup> ]
z <sub>g</sub>	0	[ m ]
t <sub>f</sub>	8,5	[ mm ]
h	133	[ mm ]
b	140	[ mm ]
I <sub>w</sub>	17190,76	[ cm <sup>6</sup> ]
k	0,5	[ - ]
k <sub>w</sub>	0,5	[ - ]
v	0,3	[ - ]
G	80769231	[ kN/m <sup>2</sup> ]
I <sub>t</sub>	6,37515	[ cm <sup>4</sup> ]
M <sub>sup</sub>	0	[ kN ]
M <sub>inf</sub>	0	[ kN ]
ψ	0	[ - ]
C <sub>1</sub>	3,149	[ - ]
M <sub>cr</sub>	1530,6	[ kNm ]
λ <sub>LT</sub>	0,2	[ - ]
λ <sub>LT,0</sub>	0,2	[ - ]
α <sub>LT</sub>	0,21	[ - ]
β	1	[ - ]
φ <sub>LT</sub>	1	[ - ]
χ <sub>LT</sub>	1,01	[ - ]
W <sub>pl,z</sub>	120	[ cm <sup>3</sup> ]
M <sub>z,Ed</sub>	0	[ kNm ]
M <sub>y,Ed</sub>	8,3	[ kNm ]
1) VERIFICA	verificato	[ - ]
2) VERIFICA	verificato	[ - ]

COEFFICIENTI CORRETTIVI		
E	210000000	[ kN/m <sup>2</sup> ]
I <sub>y</sub>	1033	[ cm <sup>4</sup> ]
N <sub>Ed</sub>	11,68	[ kN ]
γ <sub>M1</sub>	1,05	[ - ]
L <sub>0,y</sub>	120,00	[ cm ]
N <sub>cr</sub>	5598,94	[ kN ]
A	31,40	[ cm <sup>2</sup> ]
f <sub>yk</sub>	23,50	[ kN/cm <sup>2</sup> ]
λ-	0,36	[ - ]
α	0,34	[ - ]
φ	0,59	[ - ]
χ <sub>y</sub>	0,94	[ - ]
α <sub>my</sub>	0,90	[ - ]
k <sub>yy1</sub>	0,90	[ - ]
k <sub>yy2</sub>	0,91	[ - ]
k <sub>yy</sub>	0,90	[ - ]
α <sub>mz</sub>	0,90	[ - ]
k <sub>zz1</sub>	0,90	[ - ]
k <sub>zz2</sub>	0,92	[ - ]
k <sub>zz</sub>	0,90	[ - ]
k <sub>yz</sub>	0,54	[ - ]
k <sub>zy</sub>	0,54	[ - ]

### 11.15 Unioni bullonate per strutture in zona sismica

Il paragrafo 11.3.4.9 – NTC prescrive le specifiche indicazioni da adottare per acciai di carpenteria in zona sismica e, a tal proposito, pubblica una nota sulle unioni bullonate che devono essere realizzate con bulloni ad alta resistenza di classe 8.8 o 10.9. Per garantire lo sviluppo del meccanismo globale dissipativo è necessario assicurare, in base al criterio delle gerarchie di resistenza, la formazione delle cerniere plastiche nelle travi e non nelle colonne al fine di evitare il collasso dell'intera struttura. Una corretta progettazione implica pertanto che la formazione di cerniere plastiche nelle travi preceda la rottura delle connessioni e la perdita di stabilità delle colonne. Tutto questo è garantito da una sufficiente sovra resistenza dei collegamenti strutturali ottenuta mediante il preserraggio dei bulloni e quindi l'adozione di unioni ad attrito. I bulloni per giunzioni ad attrito devono essere conformi alle seguenti prescrizioni contenute nel paragrafo 11.3.4.6.2 – NTC:

Tabella 11.3.XIII

Elemento	Materiale	Riferimento
Viti	8.8 – 10.9 secondo UNI EN ISO 898-1 : 2001	UNI EN 14399 :2005 parti 3 e 4
Dadi	8 - 10 secondo UNI EN 20898-2 :1994	
Rosette	Acciaio C 50 UNI EN 10083-2: 2006 temperato e rinvenuto HRC 32+ 40	UNI EN 14399 :2005 parti 5 e 6
Piastrine	Acciaio C 50 UNI EN 10083-2: 2006 temperato e rinvenuto HRC 32+ 40	

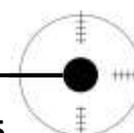
**Fig.11.55 Prescrizioni sulla conformità di bulloni per giunzioni ad attrito**

Le tensioni di snervamento  $f_{yb}$  e di rottura  $f_{tb}$  sono riportate nella tabella seguente:

Tabella 11.3.XII b

Classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	300	480	649	900
$f_{tb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	500	600	800	1000

**Fig.11.56 Tensioni di snervamento  $f_{yb}$  e di rottura  $f_{tb}$  di bulloni di diversa classe**



**11.15.1 Dimensionamento e verifica dei giunti tra travi principali e travi secondarie: sezione di attacco tra angolare e anima della secondaria**

Per le unioni bullonate, sono state svolte tutte le verifiche contemplate nelle NTC. In particolare si sono svolte le analisi di alcune unioni significative facendo particolare riferimento ad unioni tramite bulloni.

Le sollecitazioni agenti nei collegamenti derivano dai calcoli precedentemente esposti valutati agli stati limite.

Per il calcolo della resistenza a taglio delle viti e dei chiodi, per il rifollamento delle piastre collegate, si adottano i fattori parziali  $\gamma_M$  indicati nella tabella seguente:

Resistenza dei bulloni	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistenza dei chiodi	
Resistenza delle connessioni a perno	
Resistenza delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo	
Resistenza dei piatti a contatto	$\gamma_{M3} = 1,25$
Resistenza a scorrimento per SLU	
Resistenza a scorrimento per SLE	$\gamma_{M3} = 1,10$
Resistenza delle connessioni a perno allo stato limite di esercizio	$\gamma_{M6,ser} = 1,0$
Prearico di bulloni ad alta resistenza	$\gamma_{M7} = 1,10$

**Fig.11.57 Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni**

Il posizionamento dei fori per i bulloni deve essere tale da prevenire fenomeni di corrosione ed instabilità locale e da facilitare l'installazione dei bulloni. In virtù della direzione di applicazione del carico la normativa di riferimento fornisce i valori massimi e minimi per le distanze dal bordo e dall'estremità e per gli interassi tra i fori.

Distanze e interassi (Fig. 4.2.3)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione (EN10025-5)
$e_1$	$1,2 d_0$	$4t+40\text{mm}$	-	$\max(8t;125\text{mm})$
$e_2$	$1,2 d_0$	$4t+40\text{mm}$	-	$\max(8t;125\text{mm})$
$p_1$	$2,2 d_0$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;175\text{mm})$
$p_{1a}$	-	$\min(14t;200\text{mm})$	-	-
$p_{1c}$	-	$\min(28t;400\text{mm})$	-	-
$p_2$	$2,4 d_0$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;200\text{mm})$	$\min(14t;175\text{mm})$

L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se  $(p_2/t) < [9(235/f_y)^{0,5}]$ ; in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a  $0,6 \cdot p_2$ .  
t è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.

**Fig.11.58 Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate**

I fori devono avere diametro pari a quello del bullone maggiorato di massimo 1 mm per bulloni sino a 20 mm di diametro, e di 1,5 mm per bulloni di diametro



Poiché nella situazione reale l'azione verrà trasferita dai bulloni e dall'angolare, nascerà un'eccentricità che porterà ad incrementare l'azione tagliante sui bulloni stessi.

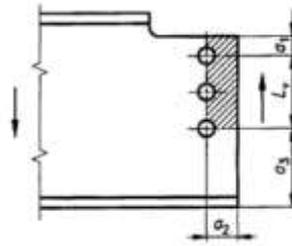
La verifica è stata condotta riferendosi dapprima ai bulloni e successivamente agli angolari e all'anima forata della trave.

Si è proceduto con la verifica dimensionale del collegamento.

<b>UNIONE TRAVE SECONDARIA - TRAVE PRIMARIA</b>			
<b>VERIFICHE DIMENSIONALI</b>			
<b>Dati</b>			
Spessore minimo elem.	<b>t</b>	<b>8</b>	<b>[mm]</b>
Diametro bullone	<b>d</b>	<b>12</b>	<b>[mm]</b>
Diametro foro	<b>d<sub>0</sub></b>	<b>13</b>	<b>[mm]</b>
Distanza foro-estremità piatto vert.	<b>e<sub>1</sub></b>	<b>25</b>	<b>[mm]</b>
Distanza foro-estremità piatto orizz.	<b>e<sub>2</sub></b>	<b>50</b>	<b>[mm]</b>
Distanza tra fori vert.	<b>p<sub>1</sub></b>	<b>40</b>	<b>[mm]</b>
<b>Verifiche</b>			
<b>d<sub>0</sub> ≤ d + 1 mm</b>		<b>ok</b>	<b>[-]</b>
<b>e<sub>1</sub> ≥ 1,2 d<sub>0</sub></b>		<b>ok</b>	<b>[-]</b>
<b>e<sub>2</sub> ≥ 1,2 d<sub>0</sub></b>		<b>ok</b>	<b>[-]</b>
<b>p<sub>1</sub> ≥ 2,2 d<sub>0</sub></b>		<b>ok</b>	<b>[-]</b>
<b>p<sub>1</sub> ≤ min (14t; 200mm)</b>		<b>ok</b>	<b>[-]</b>

Per le verifiche di resistenza ci si è riferiti inizialmente alla sezione di attacco tra angolari e anima della trave secondaria e successivamente alla sezione di attacco tra angolari e anima della trave primaria. Si riassumono nella seguente tabella i dati iniziali che hanno permesso la progettazione e la verifica degli elementi sopra esposti.

<b>VERIFICHE DI RESISTENZA</b>			
<b>Dati iniziali</b>			
Azione di taglio allo SLU	<b>V<sub>sd</sub></b>	<b>22,2</b>	<b>[kN]</b>
Diametro bulloni	<b>d</b>	<b>12</b>	<b>[mm]</b>
Area resistente bulloni	<b>A<sub>s</sub></b>	<b>84,3</b>	<b>[mm<sup>2</sup>]</b>
Classe bulloni		<b>8,8</b>	<b>[-]</b>
Tensione di snervamento bullone	<b>f<sub>yb</sub></b>	<b>649</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Tensione di rottura bullone	<b>f<sub>ub</sub></b>	<b>800</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Coefficiente di sicurezza bull.	<b>γ<sub>M2</sub></b>	<b>1,25</b>	<b>[-]</b>
Coefficiente di sicurezza acc.	<b>γ<sub>M0</sub></b>	<b>1,05</b>	<b>[-]</b>
Spessore minimo angolare	<b>t</b>	<b>8</b>	<b>[mm]</b>
Tensione di rottura angolare	<b>f<sub>u</sub></b>	<b>360</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Spessore anima T_sec	<b>t<sub>ts</sub></b>	<b>6</b>	<b>[mm]</b>
Tensione di snerv. T_sec	<b>f<sub>y</sub></b>	<b>235</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Tensione di rottura T_sec	<b>f<sub>u</sub></b>	<b>360</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Distanza foro da estremo sup.	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>30</b>	<b>[mm]</b>
Distanza foro da estremo orizz.	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>40</b>	<b>[mm]</b>
Distanza foro da estremo inf.	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>56</b>	<b>[mm]</b>
Distanza tra fori estremi	<b>L<sub>v</sub></b>	<b>40</b>	<b>[mm]</b>



### Sezione di attacco tra angolari e anima trave secondaria

Sul collegamento agisce la sollecitazione di taglio  $V_{sd} = 22,5$  kN

Per la verifica a taglio sui bulloni si è calcolata la sollecitazione dovuta al taglio su ognuno dei due piani di contatto di ogni bullone:

$$V_{v,S} = \frac{F_V}{n_v * n}$$

Dove:  $F_V$  = sollecitazione di taglio calcolata allo stato limite ultimo

$n_v$  = numero dei piani di contatto tra anima trave e piastra

$n$  = numero di bulloni

Per effetto dell'eccentricità di applicazione del carico nata dalla diversa situazione presente nella realtà rispetto allo schema statico adottato, agisce un'azione torcente sui bulloni:

$$T_{sd} = V_{sd} * e.$$

La sollecitazione massima dovuta al momento sui bulloni d'estremità vale:

$$V_{T,Max} = \frac{T_{sd} * a_i}{n_v * n * \sum_{i=1}^n a_i^2}$$

Dove:  $T_{sd}$  = momento torcente agente sui bulloni

$a_i$  = distanza tra centro del bullone e baricentro bullonatura

$n_v$  = numero piani di contatto tra anima trave e piastra

$n$  = numero di bulloni

La sollecitazione sulla sezione resistente del bullone maggiormente sollecitato vale:

$$F_{v,sd} = \sqrt{(V_{v,S}^2) + (V_{T,Max}^2)}$$

Così come indicato nelle NTC la resistenza di taglio del bullone sarà espressa dalla seguente equazione:

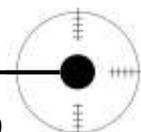
$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

Dove:  $f_{ub}$  = tensione di rottura del bullone

$A_s$  = area resistente dei bulloni

$\gamma_{M2}$  = coefficiente parziale di sicurezza per la bullonatura

E' stata quindi condotta la verifica a taglio sulla bullonatura:



$$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$$

Sull'angolare è stata svolta la verifica a rifollamento valutando il valore di resistenza con la seguente formula:

$$F_{b,Rd} = k * \alpha * f_u * d * t / \gamma_{M2}$$

Dove: Considerando bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato

$$K = \min \left\{ 2,8 * e_2 / d_0 - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$\alpha = \min \left\{ e_1 / 3d_0; f_{ub} / f_u; 1 \right\}$$

$f_u$  = tensione di rottura piastra

$d$  = diametro dei bulloni

$t$  = spessore angolare

$\gamma_{M2}$  = coefficiente parziale di sicurezza per la bullonatura

$e_1, e_2$  = vedi fig.11.51

$d_0$  = diametro foro

E' stata quindi svolta la verifica a rifollamento sull'angolare:

$$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$$

Analogamente si è svolta la verifica a rifollamento sull'anima della trave secondaria, dove però si sono considerati i dati relativi alla trave e l'azione di taglio sollecitante in questo caso sarà doppia (due angolari).

Poiché per avere allo stesso livello le ali superiori dei profili si è dovuta sagomare la trave secondaria (cfr. figura accanto ai dati iniziali), è stata condotta anche la verifica per meccanismo block shear. Il profilo localmente risulta avere una riduzione dell'area resistente a taglio, pertanto si dovrà assicurare che sia ancora verificato il profilo scelto.

Per il meccanismo block-shear si sono valutati:

$$L_1 = \min[a_1; (5 * d)]$$

$$L_2 = (a_2 - k * d_{0,t}) * \frac{f_u}{f_y}$$

$$L_3 = \min \left[ (L_v + a_1 + a_3); (L_v + a_1 + a_3 - n * d_{0,t}) * \frac{f_u}{f_y} \right]$$

$$L_{v,eff} = \min[L_3; (L_v + L_1 + L_2)]$$

$$A_{v,eff} = t * L_{v,eff}$$

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_y * A_{v,eff}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}}$$

Dove  $a_1, a_2, a_3, d_0, t, f_y, \gamma_{M0}$  sono riportati nella tabella dei dati iniziali.  
La verifica a block-shear sarà:

$$V_{Sd} \leq V_{eff,Rd}$$

Di seguito si riporta la sintesi delle verifiche effettuate:

**Sezione di attacco tra angolari e anima trave secondaria**

**Dati di calcolo**

Eccentricità azione di taglio	<b>e</b>	<b>48 [mm]</b>
Numero piani di contatto	<b>n<sub>v</sub></b>	<b>2 [-]</b>
Numero bulloni	<b>n</b>	<b>2 [-]</b>
Numero file bulloni	<b>n<sub>f</sub></b>	<b>1 [-]</b>
Distanza tra centro del bullone e baricentro bullonatura	<b>a<sub>i</sub></b>	<b>20 [mm]</b>

**Calcoli**

Taglio su ognuno dei piani di contatto di ogni bullone	<b>V<sub>v,s</sub></b>	<b>5,6 [kN]</b>
Momento torcente sui bulloni	<b>T<sub>sd</sub></b>	<b>1066 [kNmm]</b>
Sollecitazione massima dovuta al momento sui bulloni d'estremità	<b>V<sub>T,Max</sub></b>	<b>13,3 [kN]</b>
Sollecitazione sulla sezione resistente del bullone maggiormente sollecitato	<b>F<sub>v,sd</sub></b>	<b>14,4 [kN]</b>
Resistenza a taglio del bull.	<b>F<sub>v,rd</sub></b>	<b>32,4 [kN]</b>

**Verifica resistenza a taglio del bullone**

<b>F<sub>v,sd</sub> ≤ F<sub>v,rd</sub></b>		<b>ok [-]</b>
	<b>α</b>	<b>0,641 [-]</b>
	<b>k</b>	<b>2,5 [-]</b>
Resistenza rifollamento angol.	<b>F<sub>b,rd</sub></b>	<b>44,3 [kN]</b>

**Verifica a rifollamento sull'angolare**

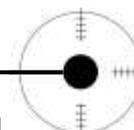
<b>F<sub>v,sd</sub> ≤ F<sub>b,rd</sub></b>		<b>ok [-]</b>
	<b>α</b>	<b>0,641 [-]</b>
	<b>k</b>	<b>2,5 [-]</b>
Resistenza rifoll. anima T <sub>sec</sub>	<b>F<sub>b,rd</sub></b>	<b>33,2 [kN]</b>
Sollecitazione max sull'anima della T <sub>sec</sub>	<b>F<sub>v,sd</sub></b>	<b>28,9 [kN]</b>

**Verifica a rifollamento sull'anima T<sub>sec</sub>**

<b>F<sub>v,sd</sub> ≤ F<sub>b,rd</sub></b>		<b>ok [-]</b>
	<b>L<sub>1</sub></b>	<b>30 [mm]</b>
	<b>k</b>	<b>0,5 [-]</b>
	<b>L<sub>2</sub></b>	<b>51 [mm]</b>
	<b>L<sub>3</sub></b>	<b>126 [mm]</b>
	<b>L<sub>v,eff</sub></b>	<b>121 [mm]</b>
Area efficace a taglio	<b>A<sub>v,eff</sub></b>	<b>728 [mm<sup>2</sup>]</b>
Resistenza rottura block-shear	<b>V<sub>eff,rd</sub></b>	<b>94,1 [kN]</b>

**Verifica meccanismo block shear**

<b>V<sub>sd</sub> ≤ V<sub>eff,rd</sub></b>		<b>ok [-]</b>
--	--	---------------



**Sezione di attacco tra angolari e anima trave principale**

Per la trattazione teorica inerente le verifiche effettuate si fa rimando a quanto precedentemente esposto per la sezione di attacco tra angolari e anima trave secondaria. Qui si riporta una tabella di sintesi delle verifiche effettuate:

**Sezione di attacco tra angolari e anima trave primaria**

**Dati di calcolo**

Eccentricità azione di taglio	<b>e</b>	<b>51</b>	<b>[mm]</b>
Numero piani di contatto	<b>n<sub>v</sub></b>	<b>1</b>	<b>[-]</b>
Numero bulloni	<b>n</b>	<b>2</b>	<b>[-]</b>
Numero file bulloni	<b>n<sub>f</sub></b>	<b>1</b>	<b>[-]</b>
Distanza tra centro del bullone e baricentro bullonatura	<b>a<sub>i</sub></b>	<b>20</b>	<b>[mm]</b>

**Calcoli**

Taglio su ognuno dei piani di contatto di ogni bullone	<b>V<sub>v,s</sub></b>	<b>11,1</b>	<b>[kN]</b>
		<b>113</b>	<b>[kNmm]</b>
Momento torcente sui bulloni	<b>T<sub>sd</sub></b>	<b>2</b>	<b>]</b>
	<b>V<sub>T,Ma</sub></b>		
Sollecitazione massima dovuta al momento sui bulloni d'estremità	<b>x</b>	<b>28,3</b>	<b>[kN]</b>
Sollecitazione sulla sezione resistente del bullone maggiormente sollecitato	<b>F<sub>v,sd</sub></b>	<b>30,4</b>	<b>[kN]</b>
Resistenza a taglio del bull.	<b>F<sub>v,rd</sub></b>	<b>32,4</b>	<b>[kN]</b>

**Verifica resistenza a taglio del bullone**

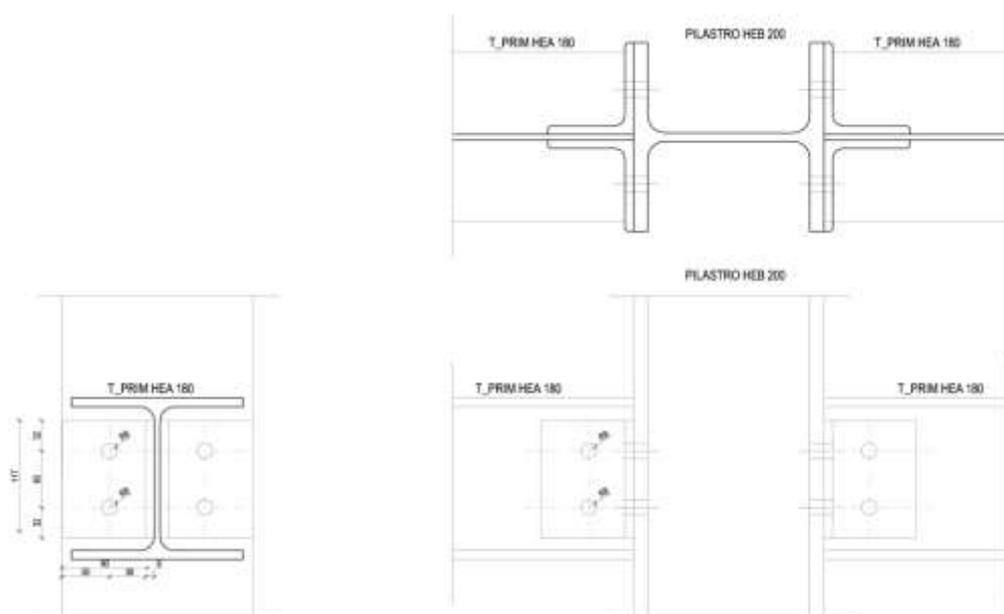
<b><math>F_{v,sd} \leq F_{v,rd}</math></b>		<b>ok</b>	<b>[-]</b>
--	--	-----------	------------

**Verifica a rifollamento sull'angolare**

Le verifiche a rifollamento risultano soddisfatte poiché l'angolare ha lati uguali pertanto ha medesime caratteristiche di resistenza calcolate in precedenza

**11.15.2 Dimensionamento e verifica dei giunti tra travi e colonne: sezione di attacco tra angolare e anima della trave**

Per l'unione tra la trave primaria e il pilastro si è ricorsi a un giunto a cerniera, poiché in sede di analisi lo schema adottato era uno schema tipo "pettine", in cui si presupponeva la continuità dei pilastri e l'interruzione delle travi. Il dimensionamento e la verifica dei collegamenti sono stati eseguiti in accordo con l'EC3. Si riporta nella figura di seguito il disegno di una unione tipo che rappresenta la geometria del giunto adottato in fase di progettazione.

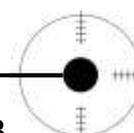


**Fig.11.61 Unione bullonata trave primaria-pilastro**

Come si evince dal disegno, l'unione analizzata riguarda la giunzione tra una colonna HEB 200 e una trave primaria HEA 180.

L'unione è ad attrito resistente; si precisa la scelta di:

- Bulloni di diametro M16 (diametro 16 mm) classe 8.8;
- Fori di diametro 17 mm;
- Due angolari a lati uguali 90x9 mm in acciaio Fe 360.
- Sul giunto agisce un'azione di taglio  $V_{sd} = 44$  KN valutata allo SLU e applicata in corrispondenza dell'intersezione tra gli assi delle due travi.



**UNIONE TRAVE SECONDARIA - PILASTRO**

**VERIFICHE DIMENSIONALI**

**Dati**

Spessore minimo elem.	<b>t</b>	<b>9</b>	<b>[mm]</b>
Diametro bullone	<b>d</b>	<b>16</b>	<b>[mm]</b>
Diametro foro	<b>d<sub>0</sub></b>	<b>17</b>	<b>[mm]</b>
Distanza foro-estremità piatto vert.	<b>e<sub>1</sub></b>	<b>32</b>	<b>[mm]</b>
Distanza foro-estremità piatto orizz.	<b>e<sub>2</sub></b>	<b>50</b>	<b>[mm]</b>
Distanza tra fori vert.	<b>p<sub>1</sub></b>	<b>60</b>	<b>[mm]</b>

**Verifiche**

<b>d<sub>0</sub> ≤ d + 1 mm</b>	<b>ok</b>	<b>[-]</b>
<b>e<sub>1</sub> ≥ 1,2 d<sub>0</sub></b>	<b>ok</b>	<b>[-]</b>
<b>e<sub>2</sub> ≥ 1,2 d<sub>0</sub></b>	<b>ok</b>	<b>[-]</b>
<b>p<sub>1</sub> ≥ 2,2 d<sub>0</sub></b>	<b>ok</b>	<b>[-]</b>
<b>p<sub>1</sub> ≤ min (14t; 200mm)</b>	<b>ok</b>	<b>[-]</b>

Di seguito verrà mostrato il procedimento di calcolo seguito per verificare l'adeguatezza strutturale dei nuclei alle forze che devono scaricare a terra.

**VERIFICHE DI RESISTENZA**

**Dati iniziali**

Azione di taglio allo SLU	<b>V<sub>sd</sub></b>	<b>44</b>	<b>[kN]</b>
Diametro bulloni	<b>d</b>	<b>16</b>	<b>[mm]</b>
Area resistente bulloni	<b>A<sub>s</sub></b>	<b>157</b>	<b>[mm<sup>2</sup>]</b>
Classe bulloni		<b>8,8</b>	<b>[-]</b>
Tensione di snervamento bullone	<b>f<sub>yb</sub></b>	<b>649</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Tensione di rottura bullone	<b>f<sub>ub</sub></b>	<b>800</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Coefficiente di sicurezza bull.	<b>γ<sub>M2</sub></b>	<b>1,25</b>	<b>[-]</b>
Coefficiente di sicurezza acc.	<b>γ<sub>M0</sub></b>	<b>1,05</b>	<b>[-]</b>
Spessore minimo angolare	<b>t</b>	<b>9</b>	<b>[mm]</b>
Tensione di rottura angolare	<b>f<sub>u</sub></b>	<b>360</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Spessore anima T <sub>prim</sub>	<b>t<sub>tp</sub></b>	<b>6</b>	<b>[mm]</b>
Tensione di snerv. T <sub>sec</sub>	<b>f<sub>y</sub></b>	<b>235</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Tensione di rottura T <sub>sec</sub>	<b>f<sub>u</sub></b>	<b>360</b>	<b>[N/mm<sup>2</sup>]</b>
Distanza foro da estremo sup.	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>56</b>	<b>[mm]</b>
Distanza foro da estremo orizz.	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>47</b>	<b>[mm]</b>
Distanza foro da estremo inf.	<b>a<sub>3</sub></b>	<b>54</b>	<b>[mm]</b>
Distanza tra fori estremi	<b>L<sub>v</sub></b>	<b>60</b>	<b>[mm]</b>

**Sezione di attacco tra angolari e anima trave primaria**

**Dati di calcolo**

Eccentricità azione di taglio	<b>e</b>	<b>50</b>	<b>[mm]</b>
Numero piani di contatto	<b>n<sub>v</sub></b>	<b>2</b>	<b>[-]</b>
Numero bulloni	<b>n</b>	<b>2</b>	<b>[-]</b>
Numero file bulloni	<b>n<sub>f</sub></b>	<b>1</b>	<b>[-]</b>
Distanza tra centro del bullone e baricentro bullonatura	<b>a<sub>i</sub></b>	<b>30</b>	<b>[mm]</b>

**Calcoli**

Taglio su ognuno dei piani di contatto di ogni bullone	<b>V<sub>v,s</sub></b>	<b>11,0</b>	<b>[kN]</b>
--	------------------------	-------------	-------------

Momento torcente sui bulloni	$T_{sd}$	2200	[kNmm]
Sollecitazione massima dovuta al momento sui bulloni d'estremità	$V_{T,Ma}$	18,3	[kN]
Sollecitazione sulla sezione resistente del bullone maggiormente sollecitato	$F_{v,sd}$	21,4	[kN]
Resistenza a taglio del bull.	$F_{v,rd}$	60,3	[kN]
<b>Verifica resistenza a taglio del bullone</b>			
$F_{v,sd} \leq F_{v,rd}$		ok [-]	
		0,64102	
	$\alpha$	6	[-]
	$k$	2,5	[-]
Resistenza rifollamento angol.	$F_{b,rd}$	66,5	[kN]
<b>Verifica a rifollamento sull'angolare</b>			
$F_{v,sd} \leq F_{b,rd}$		ok [-]	
		0,62745	
	$\alpha$	1	[-]
	$k$	2,5	[-]
Resistenza rifoll. anima T_prim	$F_{b,rd}$	43,4	[kN]
Sollecitazione max sull'anima della T_prim	$F_{v,sd}$	42,8	[kN]
<b>Verifica a rifollamento sull'anima T_prim</b>			
$F_{v,sd} \leq F_{b,rd}$		ok [-]	
	$L_1$	56	[mm]
	$k$	0,5	[-]
	$L_2$	59	[mm]
	$L_3$	170	[mm]
	$L_{v,eff}$	170	[mm]
Area efficace a taglio	$A_{v,eff}$	1020	[mm <sup>2</sup> ]
	$V_{eff,r}$		
Resistenza rottura block-shear	$d$	131,8	[kN]
<b>Verifica meccanismo block shear</b>			
$V_{sd} \leq V_{eff,rd}$		ok [-]	

**Sezione di attacco tra angolari e ala del pilastro**

**Dati di calcolo**

Eccentricità azione di taglio	$e$	50	[mm]
Numero piani di contatto	$n_v$	1	[-]
Numero bulloni	$n$	2	[-]
Numero file bulloni	$n_f$	1	[-]
Distanza tra centro del bullone e baricentro bullonatura	$a_i$	20	[mm]

**Calcoli**

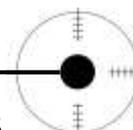
Taglio su ognuno dei piani di contatto di ogni bullone	$V_{v,s}$	22,0	[kN]
Momento torcente sui bulloni	$T_{sd}$	2200	[kNmm]
Sollecitazione massima dovuta al momento sui bulloni d'estremità	$V_{T,Max}$	55,0	[kN]
Sollecitazione sulla sezione resistente del bullone maggiormente sollecitato	$F_{v,sd}$	59,2	[kN]
Resistenza a taglio del bull.	$F_{v,rd}$	60,3	[kN]

**Verifica resistenza a taglio del bullone**

$F_{v,sd} \leq F_{v,rd}$		ok [-]	
--------------------------	--	--------	--

**Verifica a rifollamento sull'angolare**

Le verifiche a rifollamento risultano soddisfatte poiché l'angolare ha lati uguali pertanto ha medesime caratteristiche di resistenza calcolate in precedenza



### **11.16 Controventi**

L'edificio, per contrastare/assorbire l'azione orizzontale del vento e del sisma, è stato dotato di un importante nucleo di controvento che, come indicato in pianta, corrisponde al nucleo scala in c.a..

#### **11.16.1 Determinazione baricentro delle masse e baricentro delle rigidezze**

Nota l'entità delle forze orizzontali dovute all'azione del vento e del sisma (per normativa supposte non agenti in contemporanea) e nota la geometria dell'edificio, il primo step è quello di determinare i loro punti di applicazione per ogni impalcato. Tali punti di applicazione sono diversi a seconda se si tratta di azione del vento o del sisma, in particolare:

- Forze orizzontali sismiche: applicate nel baricentro delle forze verticali (G).
- Azione orizzontale del vento: applicata nel baricentro del rettangolo circoscritto all'edificio ( $G_w$ )

Si arriva alla determinazione di  $n$  forze risultanti, nonché di  $n$  baricentri, con  $n$  inteso il numero degli impalcati di riferimento.

Avendo nota la posizione del nucleo di controvento e le sue dimensioni, è possibile determinare il baricentro delle rigidezze dell'edificio, collocato esattamente nel baricentro del nucleo di controvento. Note entrambe le posizioni dei baricentri si procede al calcolo dell'eccentricità del baricentro G e del baricentro  $G_w$  rispetto a quello delle rigidezze, aspetto che genera la nascita sul controvento di forze torcenti, nel momento in cui esso sarà soggetto ad azioni orizzontali.

Nota: nei calcoli viene omissa l'apporto del primo impalcato, parzialmente ipogeo (c.a.), ad una quota di fondazione inferiore e di ridotte dimensioni rispetto al corpo dell'edificio in esame.

Sisma

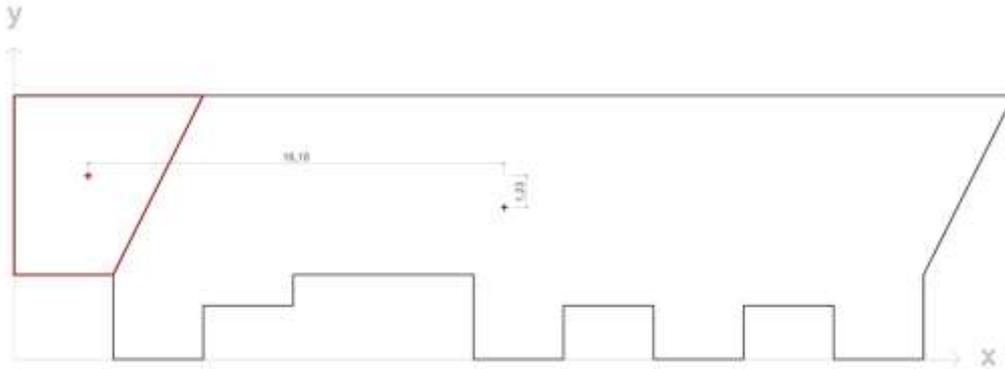


Fig.11.62 Eccentricità: Baricentro delle masse impalcato 2 e baricentro delle rigidzze

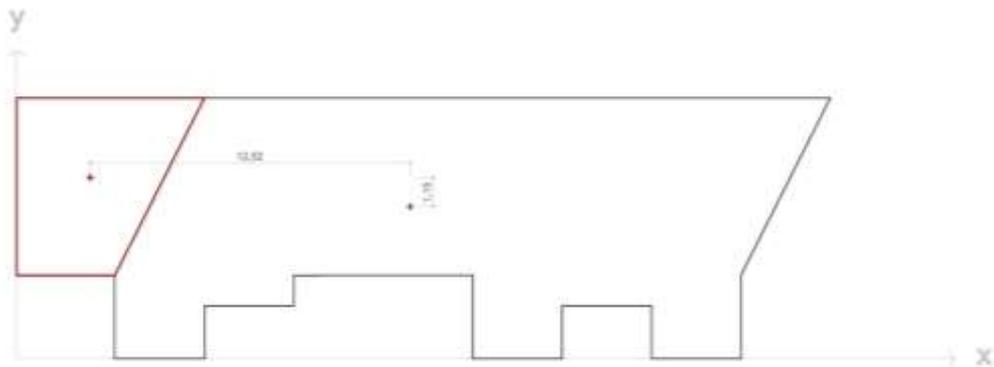


Fig.11.63 Eccentricità: Baricentro delle masse impalcato 3 e baricentro delle rigidzze

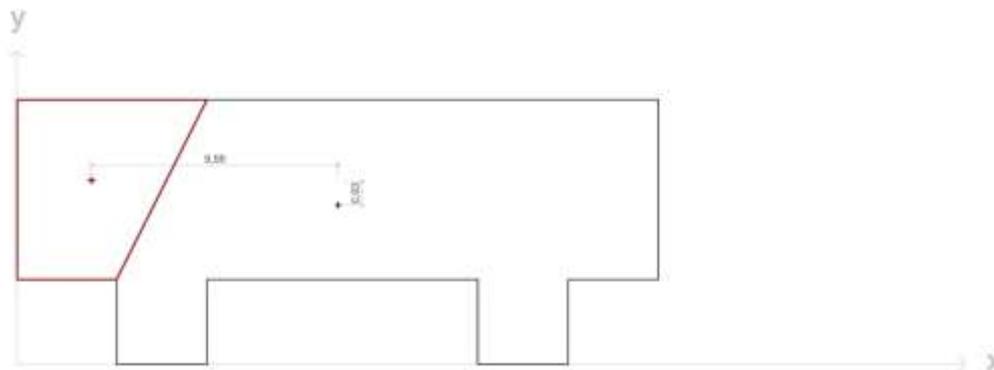
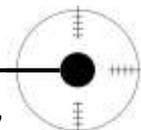


Fig.11.64 Eccentricità: Baricentro delle masse impalcato 4 e baricentro delle rigidzze



Vento

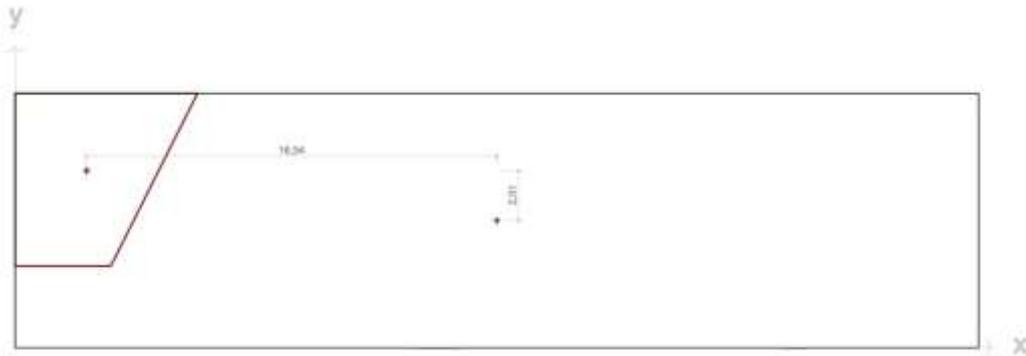


Fig.11.65 Eccentricità: Baricentro delle masse impalcato 2 e baricentro delle rigidzze

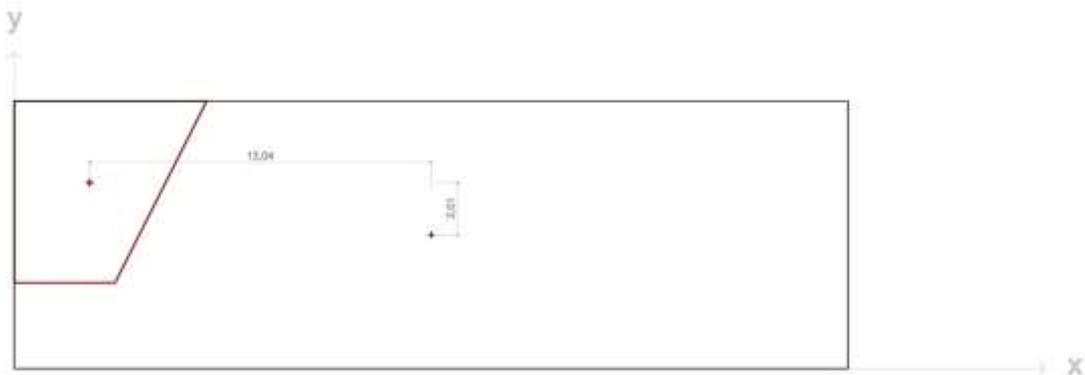


Fig.11.66 Eccentricità: Baricentro delle masse impalcato 3 e baricentro delle rigidzze



Fig.11.67 Eccentricità: Baricentro delle masse impalcato 4 e baricentro delle rigidzze

**11.16.2 Sollecitazioni agenti sul nucleo di controvento**

Alla luce delle forze orizzontali dovute all'azione del vento e del sisma calcolate in precedenza, e noti i valori di eccentricità, si può finalmente procedere al calcolo delle sollecitazioni generate dalle forze orizzontali in questione sul nucleo di controvento.

**Vento**

CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI SUL NUCLEO DI CONTROVENTO						
SPINTA DEL VENTO LUNGO LA DIREZIONE X						
	$W_i$ [kN]	$V_i$ [kN]	$h_i$ [m]	$M_i$ [kNm]	$e_{vi}$ [m]	$T_{xi}$ [kNm]
4°Impalcato (+9m)	18,6	18,6	3,00	55,9	2,01	37,4
3°Impalcato (+6m)	29,8	48,4	3,00	201,2	2,01	59,9
2°Impalcato (+3m)	29,8	78,3	3,00	436,0	2,01	59,9

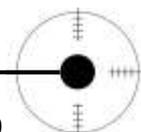
  

SPINTA DEL VENTO LUNGO LA DIREZIONE Y						
	$W_i$ [kN]	$V_i$ [kN]	$h_i$ [m]	$M_i$ [kNm]	$e_{xi}$ [m]	$T_{yi}$ [kNm]
4°Impalcato (+9m)	79,2	79,2	3,00	237,5	9,54	755,4
3°Impalcato (+6m)	99,4	178,5	3,00	773,2	13,04	1295,7
2°Impalcato (+3m)	124,2	302,7	3,00	1681,4	16,54	2054,3

L'analisi della forza del vento segue le informazioni già riportate all'inizio della relazione sulle azioni generate dal vento sull'edificio. A partire dai valori di pressione già calcolati si è proceduto alla determinazione della forza del vento sull'edificio, nelle due direzioni cartesiane, x (orizzontale) e y (verticale), pervenendo ai seguenti risultati, sintetizzati nelle due tabelle sopra riportate.

**Sisma**

SPINTA DEL SISMA											
	$F_x$ [kN]	$F_y$ [kN]	$h_i$ [m]	$V_x$ [kN]	$M_x$ [kNm]	$e_{yi}$ [m]	$T_{xi}$ [kNm]	$V_y$ [kN]	$M_y$ [kNm]	$e_{xi}$ [m]	$T_{yi}$ [kNm]
4°I.	236,0	236,0	3,00	236,0	708,0	0,93	219,5	236,0	708,0	9,56	2256,2
3°I.	229,3	229,3	3,00	465,3	2103,8	1,15	535,1	465,3	2103,9	12,52	5825,6
2°I.	134,7	134,7	3,00	600,0	3903,8	1,23	738,0	600,0	3904,0	16,18	9708,3



Da ultimo, sono state determinate le azioni assiali verticali agenti lungo l'elemento di controvento a causa dei carichi che lo stesso deve sostenere (solai, travi, scale, sovraccarichi) secondo le combinazioni descritte nel paragrafo 11.9.6):

AZIONI VERTICALI		
	F <sub>i</sub> [kN]	N <sub>i</sub> [kN]
4°Impalcato (+6m)	581,1	581,1
3°Impalcato (+6m)	719,0	1300,1
2°Impalcato (+3m)	719,0	2019,0

### 11.16.3 Verifica della sezione corrente

Si schematizza il nucleo di controvento in calcestruzzo armato come un rettangolo rigido di lunghezza 7,00 m, larghezza 5,52 m e spessore 0,3 m, trascurando la rigidità flessionale dei pilastri poiché di inerzia non paragonabile al nucleo in c.a.

La scelta di un cls ordinario 25/30 con  $R_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$  impone i valori di resistenza massimi a cui il materiale può lavorare:

$$\sigma_{adm} = 11,2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 1,82 \text{ MPa}$$

Si definisce:

$$a = 7 \text{ m}$$

$$b = 5,52 \text{ m}$$

$$t = 0,3 \text{ m}$$

La verifica della sezione è stata svolta sulla parte più sollecitata del nucleo di controvento, ovvero quella in corrispondenza del piano terra.

Si riportano di seguito i valori massimi che il nucleo di controvento dovrà sopportare a causa dell'azione orizzontale prevalente, quella del sisma:

$$N = 2019 \text{ kN}$$

$$V_x = 600 \text{ kN}$$

$$V_y = 600 \text{ kN}$$

$$M_x = 3903,8 \text{ kNm}$$

$$M_y = 3904 \text{ kNm}$$

$$T_{xi} = 738 \text{ kNm}$$

$$T_{yi} = 9708,3 \text{ kNm}$$

Per lo svolgimento delle verifiche si è proceduto alla determinazione dei valori di inerzia nelle due direzioni sollecitate, x e y:

$$J_x = (a \cdot t)(b - t/2)^2 + t \cdot b^3 / 12$$

$$J_y = (b \cdot t)(a - t/2)^2 + t \cdot a^3 / 12$$

Del valore di resistenza torsionale e della massima tensione in esercizio:

$$\Omega = (a - t/2)(b - t/2)$$

$$\sigma_0 = \frac{N}{A}$$

Una volta noti questi valori si è proceduto a determinare i valori delle seguenti grandezze. Per comodità verranno qui di seguito riportate solamente le espressioni valide lungo la direzione x, essendo quelle nell'altra direzione concettualmente analoghe:

$$\Delta\sigma = 0,5 \cdot (M_y \cdot a) / J_y$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_0 - \Delta\sigma$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 + \Delta\sigma$$

$$\tau_v = V_y / (a \cdot t)$$

$$\tau_t = T_x / (\Omega \cdot t)$$

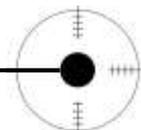
$$\tau_{\max} = \tau_v + \tau_t$$

La verifica è stata svolta determinando i valori delle due tensioni principali e confrontandoli con i valori di tensione ammissibile in esercizio e di resistenza caratteristica a trazione del calcestruzzo.

$$\sigma_{II} = \frac{1}{2} \left[ \sigma_{\min} + \sqrt{\sigma_{\min}^2 + 4\tau_{\min}^2} \right] < \sigma_{c,adm}$$

$$\sigma_{I} = \frac{1}{2} \left[ \sigma_{\max} + \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 4\tau_{\max}^2} \right] < f_{ctk}$$

Come si può vedere dalle tabelle riportate nella pagina seguente, le verifiche operate sulla sezione, ipotizzata di spessore pari a 30 cm, risultano pienamente soddisfatte, sia per quanto riguarda la sollecitazione lungo la direzione x, sia per quanto riguarda la sollecitazione lungo la direzione y, con valori ben al di sotto dei limiti di resistenza del materiale.



**VERIFICA DELLA SEZIONE**

AREA CONTROVENTO			MOMENTI DI INERZIA			MASSIMA TENSIONE		
$A_{vc} =$	8	[mq]	$J_x =$	64,8	[m <sup>4</sup> ]	$\sigma =$	-0,252	[kN/mq]
$\Omega =$	36,8	[mq]	$J_y =$	86,3	[m <sup>4</sup> ]			

**LUNGO X**

$\Delta\sigma =$	0,158	[MPa]
$\sigma_{min} =$	-0,411	[MPa]
$\sigma_{max} =$	-0,094	[MPa]
$\tau_v =$	0,286	[MPa]
$\tau_t =$	0,067	[MPa]
$\tau_{max} =$	0,353	[MPa]

**LUNGO Y**

$\Delta\sigma =$	0,166	[MPa]
$\sigma_{min} =$	-0,419	[MPa]
$\sigma_{max} =$	-0,086	[MPa]
$\tau_v =$	0,362	[MPa]
$\tau_t =$	0,880	[MPa]
$\tau_{max} =$	1,242	[MPa]

$\sigma_I =$	0,203	[MPa]	
$\sigma_{II} =$	0,309	[MPa]	
$\sigma_{c,adm} =$	11,25	[MPa]	<b>VERIFICATO</b>
$f_{ctk} =$	1,8	[MPa]	<b>VERIFICATO</b>

$\sigma_I =$	1,050	[MPa]	
$\sigma_{II} =$	1,200	[MPa]	
$\sigma_{c,adm} =$	11,25	[MPa]	<b>VERIFICATO</b>
$f_{ctk} =$	1,8	[MPa]	<b>VERIFICATO</b>

**11.16.4 Verifiche di resistenza- Azioni normali**

Per le azioni normali alla sezione del nucleo si ha una forza complessiva longitudinale (in direzione x) pari a:

$$2H' = -\frac{M_x}{a} - \frac{T/2}{\Omega/u} + \frac{N}{2}$$

$$u = 2(a + b)$$

$$\bar{H}_r = f_{ct} \cdot t \cdot u / 4$$

$$H_{rmin} = f_{ct} \cdot t \cdot u' / 4$$

dove l'ultimo termine (azione resistente) corrisponde al valore limite che può assumere H, con u' che rappresenta il perimetro del vano di controvento, al netto delle aperture presenti. I valori di H sono stati calcolati a partire dalla prima formula, sostituendo rispettivamente il segno positivo e negativo del primo termine nella formula stessa:

$$2H' = -\frac{M}{a} - \frac{N}{2} + \frac{T/2}{\Omega/u}$$

$$2H'' = \frac{M}{a} - \frac{N}{2} + \frac{T/2}{\Omega/u}$$

Il massimo fra i due valori è quello da confrontare con il valore  $H_r$ , ma solo dopo averlo opportunamente amplificato, in favore di sicurezza, del valore del coefficiente  $\gamma_f$ .

$$H''_a = H' \times \gamma_f$$

Tale operazione è stata svolta per quanto concerne le spinte lungo entrambe le direzioni, come mostrano i dati in tabella.

(Le formule per la spinta agente in direzione y sono concettualmente identiche a quelle descritte sopra per la direzione x).

VERIFICHE DI RESISTENZA					
SPINTA LUNGO X			SPINTA LUNGO Y		
M/a =	557,7	[kN]	M/b =	707,2	[kN]
u =	25,04	[m]	u =	25,04	[m]
u <sub>AP</sub> =	22,04	[m]	u <sub>AP</sub> =	22,04	[m]
Tu/2Ω =	251,2	[kN]	Tu/2Ω =	3304,3	[kN]
N/2 =	1009,5215	[kN]	N/2 =	1009,5215	[kN]
H' =	-658,0	[kN]	H' =	793,8	[kN]
H'' =	-100,3	[kN]	H'' =	1501,0	[kN]
H <sub>r</sub> =	21277,7	[kN]	H <sub>r</sub> =	21277,7	[kN]
H <sub>r fin</sub> =	18728,5	[kN]	H <sub>r fin</sub> =	18728,5	[kN]
γ <sub>f</sub> =	1,5		γ <sub>f</sub> =	1,5	
H'' <sub>a</sub> =	-150,5	[kN]	H'' <sub>a</sub> =	2251,5	[kN]
		<b>VERIFICATO</b>			<b>VERIFICATO</b>

In entrambe le circostanze le verifiche sono state soddisfatte e si è potuto procedere al dimensionamento delle armature.

### 11.16.5 Dimensionamento delle armature

La fase di scelta e verifica delle armature procede come nel caso di un pilastro, nel senso che in genere il setto di controvento viene armato con la stessa logica che sta alla base del processo di armatura di un pilastro normale. Pertanto si è proceduto definendo un'orditura orizzontale ed un'orditura verticale di armatura, eseguendo un predimensionamento sulla base delle seguenti formule:

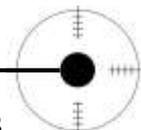
$$a_s = 0,003 \cdot t$$

$$a_h = 0,0015 \cdot t$$

In questo modo sono stati definiti dei valori minimi di armatura, i quali sono stati poi verificati sulla base del reale valore di taglio agente. Il valore del taglio lungo le direzioni x e y è stato ricavato dalle seguenti formule:

$$V'_x = \frac{V_x}{2} + \frac{T_x}{\Omega}(a-t)$$

$$V'_y = \frac{V_y}{2} + \frac{T_y}{\Omega}(b-t)$$



L'operazione successiva è stata quella di determinare il valore massimo di taglio che la parete di controvento può sopportare e confrontare il valore di taglio di progetto, con tale valore numerico. La verifica è stata svolta in corrispondenza della sezione più caricata (direzione delle x), quella cioè in corrispondenza della quale si trova l'unica apertura ed una delle due nella direzione delle y. Si è determinato quindi il valore di altezza utile, depurato delle dimensioni dell'apertura presente:

$$z = 0,8[(a - t) - x]$$

Nota questo valore sono stati definiti i valori limite di resistenza a trazione e compressione del setto. Con tali valori numerici è stato confrontato il taglio di progetto, procedendo a ritroso, a partire dalla sezione più sollecitata:

Taglio-trazione:

$$V_{s,rd} = a_h \cdot z \cdot f_{sd} \cdot \lambda_c$$

Taglio-compressione:

$$V_{c,Rd} = \frac{z \times t \times f_{c2} \times \lambda_c}{1 + \lambda_c^2}$$

Come si potrà vedere dalla tabella in allegato, i lati posizionati lungo la x, non presentano problemi, in quanto i valori di taglio riscontrati sono ben al di sotto dei limiti massimi consentiti. Ciò non accade per i setti posizionati lungo le y, per i quali ci si aspettava comunque una maggior sollecitazione, e per i quali è stato necessario procedere a ritroso ipotizzando nuove sezioni ed interassi per i ferri di armatura. I nuovi valori di diametro e di numero di ferri per metro lineare sono stati definiti nell'ultima tabella.

Nota: l'acciaio qui considerato è un B450C con  $f_{sd}=450/1,15=391\text{Mpa}$

Il cls è un C25/30 con  $R_{ck}=30\text{ N/mm}^2$ ,  $f_{ctk}=1,8\text{ MPa}$

DIMENSIONAMENTO ARMATURE						
DIMENSIONAMENTO						
VERTICALI	$a_s = 0,003t$	9	[cmq/m]	FERRI	8 $\phi$ 12	9,0432
ORIZZONT.	$a_h = 0,0015t$	4,5	[cmq/m]	FERRI	4 $\phi$ 12	4,5216

	SPINTA LUNGO LA X		
	$V_i/2$ [kN]	$T_i (a-t)/\Omega$ [kN]	$V'_{xi}$ [kN]
4°	118,0	40,0	158,0
3°	232,6	97,5	330,1
2°	300,0	134,4	434,4

	SPINTA LUNGO LA Y		
	$V_i/2$ [kN]	$T_i (b-t)/\Omega$ [kN]	$V'_{yi}$ [kN]
	118,0	490,7	608,7
	232,7	1267,0	1499,6
	300,0	2111,4	2411,4

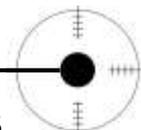
AZIONI DI RIFERIMENTO			
$z =$	2,96	[m]	
$f_{sd} =$	391	[MPa]	
$\lambda_c =$	2	[-]	
$V_{s,rd} =$	1046,6	[kN]	VERIFICATO
$V_{c,rd} =$	4024,416	[kN]	VERIFICATO

AZIONI DI RIFERIMENTO			
$z =$	4,176	[m]	
$f_{sd} =$	391	[MPa]	
$\lambda_c =$	2	[-]	
$V_{s,rd} =$	1476,6	[kN]	NON VERIFICATO
$V_{c,rd} =$	5677,6896	[kN]	VERIFICATO

NUOVA ARMATURA		
FERRI	4 $\phi$ 12	4,52
FERRI	6 $\phi$ 16	12,06
FERRI	6 $\phi$ 16	12,06

NUOVI VALORI		
$V_{s,rd} =$	1046,6	[kN]
$V_{s,rd} =$	2791,0	[kN]
$V_{s,rd} =$	2791,0	[kN]

NUOVE ARMATURE SETTI LUNGO LE Y		
4°	4 $\phi$ 12	4,52
3°	6 $\phi$ 16	12,06
2°	6 $\phi$ 16	12,06



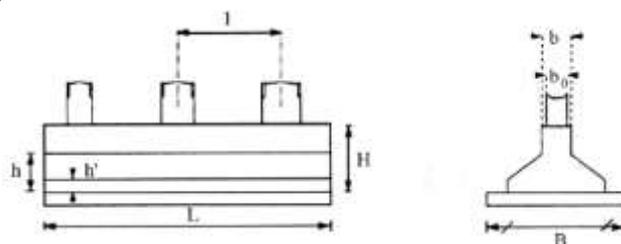
### 11.17 Dimensionamento e verifiche: Trave rovescia di fondazione

Le opere di fondazione hanno il compito di trasferire le sollecitazioni provenienti dalla struttura in elevazione al terreno. Tale trasferimento deve essere compatibile con la resistenza del terreno e le deformazioni che ivi si producono devono essere tali da non compromettere la stabilità e la funzionalità dell'edificio.

Sono sicuramente fondazioni con caratteristiche di rigidità superiore a quelle dei plinti isolati. In secondo luogo sono in grado di ripartire le sollecitazioni su superfici di terreno più ampie.

Predimensionamento:

- $H \geq L/4$  L interasse tra i pilastri
- $h \geq m (B - b)$  con  $m \approx 0.25$
- $h' \geq h/3$



Nel caso in esame si ha:

- $H \geq 87,5$  cm ( $H=100$  cm)
- $h \geq 15$  cm ( $h=40$  cm)
- $h' \geq 10$  cm ( $h'=10$  cm)

Il modello che maggiormente rispecchia il comportamento reale della struttura su trave rovescia è quello che prevede di disporre al di sotto della fondazione un letto di molle che "simula" l'interazione dell'edificio con il terreno (Modello di Winkler). La rigidità delle molle dipende, ovviamente dalle caratteristiche meccaniche del terreno, in particolare dal cosiddetto coefficiente di sottofondo K, dall'interasse delle molle e dalla base di appoggio della trave.

Luca = 700 cm ; E = 31.400 MPa ; I = 2.929.500 cm<sup>4</sup> ; K = 50 daN/cm<sup>3</sup> ; b = 90 cm

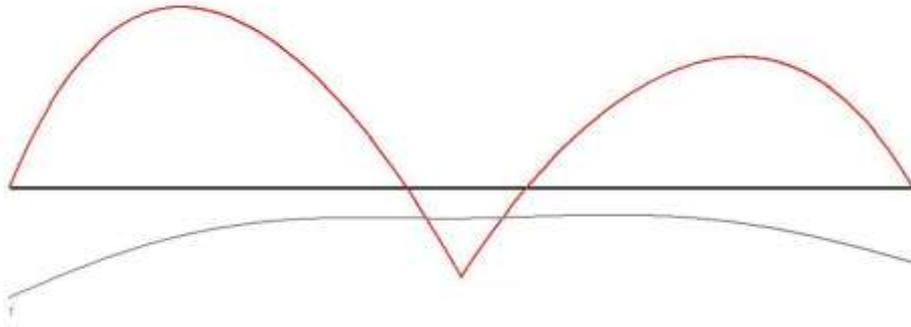


Fig.11.68 Andamento qualitativo dell'azione flettente

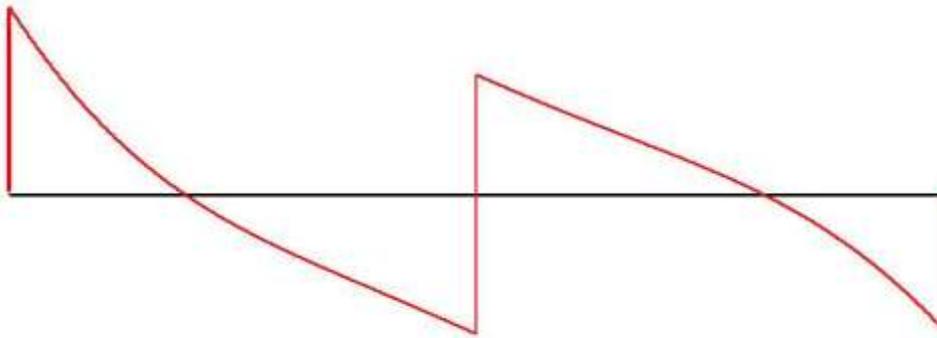


Fig.11.69 Andamento qualitativo del taglio

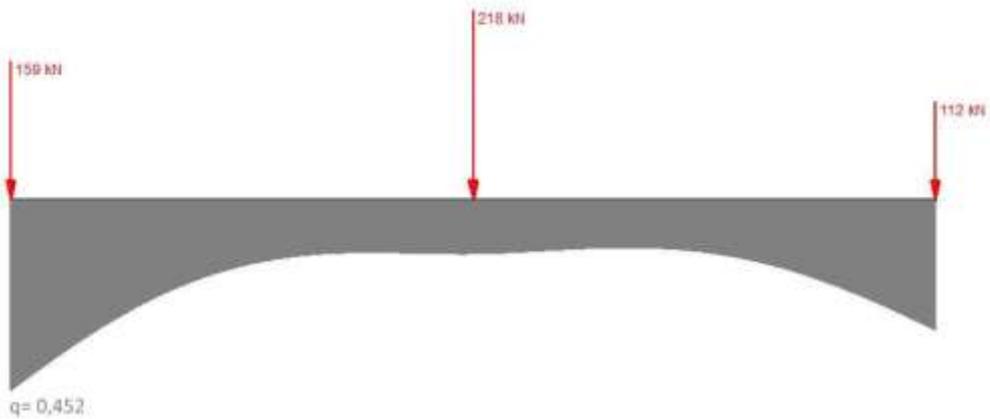
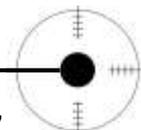
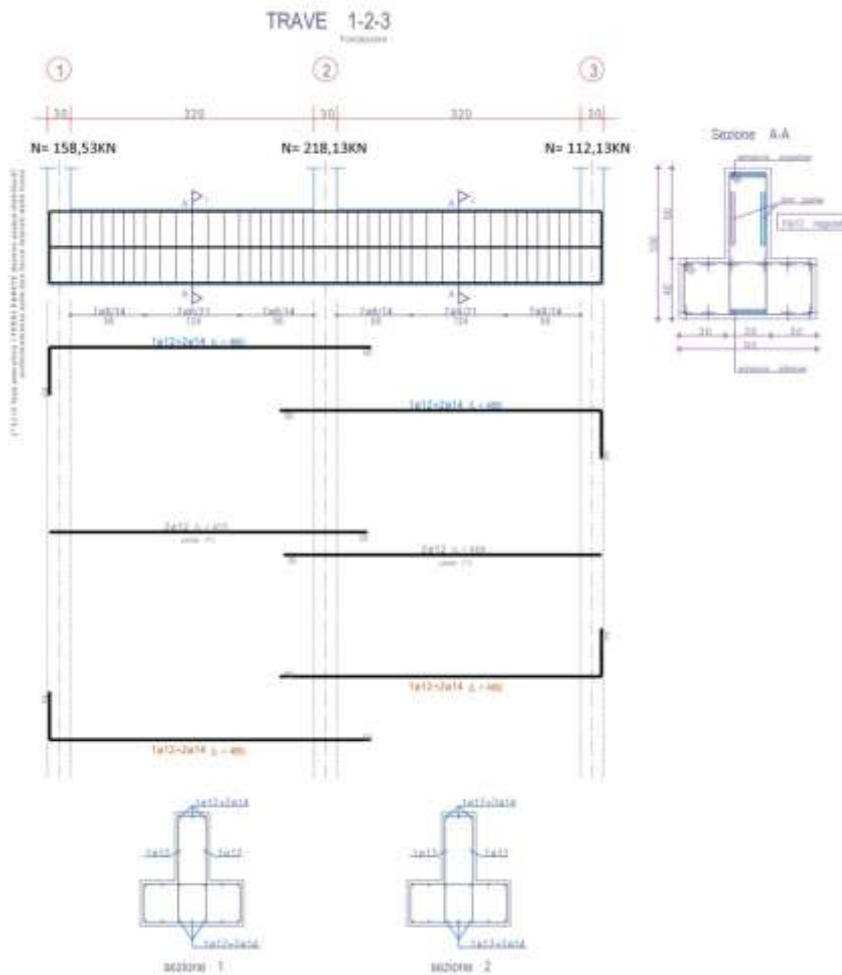


Fig.11.70 Andamento qualitativo degli sforzi





**Fig.11.71 Carpenteria: trave rovescia di fondazione**

Per le verifiche della trave rovescia di fondazione è stato utilizzato il software per il calcolo strutturale “Edilus”,Acca.

Si riportano di seguito 3 schede riguardanti i dati: caratteristiche dei materiali utilizzati, caratteristiche del terreno ipotizzato, caratteristiche della sezione soggetta a verifica. A seguire le verifiche.

Materiali

Materiali																				
N	Tipo	Descrizione	Sigla	Peso Specifico	Coeff. Dil. Termica	Modulo elastico		Rk	γ	γe	rid Fmk	Cat. Mur.	μ	Tipo Rot. Tag.		n	ft	fc	ε R	N Act
						E	G							M	F					
001	CA	Cls C25/30_B450C	C25/30	25,000	0,000010	31.447	13.103	30,00	1,50	-	-	-	-	-	-	15	1,19	3,07	0,14	002
002	AcT	Acciaio B450C	B450C	78.500	0,000010	210.000	80.769	450,00	1,15	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
003	CA	Calcestruzzo armato generico	C20/25	1	0,000010	30.200	12.583	25,00	1,50	-	-	-	-	-	-	15	1,06	2,72	0,31	002

LEGENDA Materiali

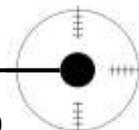
- N** Numero identificativo del materiale.
- Tipo** Tipologia del materiale: [CA] = Calcestruzzo armato - [AcT] = Acciaio in tondini - [AcP] = Acciaio per profilati - [AcB] = Acciaio per bulloni - [G] = Altri materiali - [M] = Muratura - [MA] = Muratura armata.
- Sigla** Sigla del materiale.
- Coeff. Dil. Termica** Coefficiente di dilatazione termica.
- E** Modulo elastico normale.
- G** Modulo elastico tangenziale.
- Rk** Resistenza caratteristica del materiale. Il valore riportato è "Rck" per il calcestruzzo, "Fyk" per fasciolo/bulloni, "fmk" per la muratura ed "Rk" nel caso di altro materiale.
- γ** Coefficiente di sicurezza allo Stato Limite Ultimo del materiale. Il valore riportato è "γc" per il calcestruzzo, "γf" per l'acciaio, "γM2" per i bulloni, "γm" per la muratura e "γg" in caso di altro materiale.
- γe** Coefficiente di sicurezza del modello.
- ridFmk** Percentuale di riduzione di Rfmk.
- Cat. Mur.** Categoria muratura (p.11.10 DM 14/01/2008).
- μ** Coefficiente di attrito.
- Tipo Rot. Tag.** Tipo rottura a taglio del materiale: 1=per scorrimento 2 = per fessurazione diagonale 3 = per scorrimento e fessurazione. colonna M: Maschi - colonna F: Fianco.
- n** Coefficiente di omogeneizzazione.
- ft** Il valore riportato è la "Resistenza di calcolo a trazione" per il calcestruzzo armato, la "Resistenza caratteristica a trazione" per la muratura, la "Resistenza caratteristica allo svennamento (t compreso tra 40mm e 80mm)" per l'acciaio, la "Resistenza caratteristica a rottura" per i bulloni.
- fc** Il valore riportato è la "Resistenza a rottura per flessione" per il calcestruzzo armato, la "Resistenza caratteristica a compressione orizzontale" per la muratura.
- ε R** Il valore riportato è la "Resistenza tangenziale di calcolo" per il calcestruzzo armato, la "Resistenza caratteristica a taglio in assenza di compressione - fvk0" per la muratura.
- N Act** Identificativo, nella tabella materiali, dell'acciaio utilizzato.

Terreni

Terreni														
N	Descrizione	Tipo	Peso Unità Volume	Angolo di Attrito	Coesione	Ed	Costante di sottofondo			σ t	σ t,ult	Coes Eff		
							X	Y	Z					
001	Calcare scarsamente fratturato	C	19,000	30	0,30	250	5	5	50	-	-	0,30		

LEGENDA Terreni

- N** Numero identificativo del terreno.
- Tipo** Categoria di appartenenza del suolo di fondazione secondo la classificazione proposta al punto 3.2.2 del DM 14 gennaio 2008: [A] = Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi - [B] = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti - [C] = Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti - [D] = Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti - [E] = Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m - [S1] = Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche - [S2] = Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.
- Ed** Modulo edometrico.
- Costante di sottofondo** Valori della costante di sottofondo del terreno nelle direzioni degli assi del riferimento globale X, Y, e Z.
- σ t** Tensione di compressione ammissibile per il terreno.
- σ t,ult** Tensione di compressione consentita per il terreno allo Stato Limite Ultimo.



Sezioni aste

N	Tp	Label	Dimensioni										V	Area	A per Taglio			Inerzia		Sezioni aste	
			B	H	S.An	L.An	S.A10	L.A10	S.A11	L.A11	L.A12	L.A13			X	Y	X	Torsionale	Y	XY	Asi Pr.
001		TR-90/30x10	90	100	30	60	40	30	-	30	-	-	10	5.900,0	4.748,34	3.449,74	4.020.000	1.287.288	2.565.000	0	0,00
002		30x30	30	30	-	-	-	-	-	-	-	4	900,00	750,00	750,00	67.500	113.886	67.500	0	0,00	

LEGENDA Sezioni aste

- N** Numero identificativo della sezione.
- Tp** Identificativo del tipo di sezione.
- Label** Identificativo della sezione come indicato nelle carpenterie.
- B** Base/Diametro/Raggio.
- H** Altezza/Lato/Altezza di colmo.
- S.An** Spessore Anima.
- L.An** Lunghezza Anima.
- S.A10** Spessore Ala 0.
- L.A10** Lunghezza Ala 0.
- S.A11** Spessore Ala 1.
- L.A11** Lunghezza Ala 1.
- L.A12** Lunghezza Ala 2.
- L.A13** Lunghezza Ala 3.
- V** Nel caso di sezioni poligonali, indica il numero dei vertici della sezione.
- Area** Area della sezione.
- X, Y** Coppia di assi baricentrici di tipo ortogonale con x in direzione orizzontale.
- Area per Taglio X, Y** Area della sezione deformabile a Taglio lungo gli assi x e y.
- Inerzia: X, Y** Inerzia della sezione rispetto agli assi.
- Torsionale, Y, XY**
- Asi Pr.** Rotazione degli assi principali d'inerzia rispetto agli assi x, y, espresse in gradi sessadecimali.

Condizioni di carico

N	Condizioni Carico Utente		Tipologia Carico Accidentale						
	Descrizione	AgS	Alt	Descrizione	ψ 0	ψ 1	ψ 2	ψ 0i	ψ 2i
0001	Carico Permanente	-	NO	Carico Permanente	1,0	1,0	1,0	-	-
0002	Carico Verticale	-	ND	Abitazioni	0,7	0,5	0,3	-	-

LEGENDA Condizioni di carico

- N** Numero identificativo della condizione di carico.
- AgS** Indica se la condizione di carico considerata è Agente con il Sisma.
- Alt** Indica se la condizione di carico è Alternata (cioè considerata due volte con segno opposto) o meno.
- ψ 0** Coefficiente riduttivo dei carichi allo SLU e SLE (Carichi rari).
- ψ 1** Coefficiente riduttivo dei carichi allo SLE (Carichi frequenti).
- ψ 2** Coefficiente riduttivo dei carichi allo SLE (Carichi frequenti e quasi permanenti).
- ψ 0i** Nel caso di effettuazione dei calcoli secondo l'Ordinanza 3274/03 e s.m.i. è il coefficiente riduttivo dei carichi allo SLO.
- ψ 2i** Nel caso di effettuazione dei calcoli secondo l'Ordinanza 3274/03 e s.m.i. è il coefficiente riduttivo dei carichi allo SLU.

Sollecitazioni

Pil	L	CC	Pilastrati - Sollecitazioni per condizioni di carico												
			Estremo Inferiore						Estremo Superiore						
			M1	M2	M3	N	T2	T3	M1	M2	M3	N	T2	T3	
			(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kN)
Pilastrato 1	01	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	01	002	0	0	0	158.530	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Pilastrato: Pilastrato2												
Pilastrato 2	01	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	01	002	0	0	0	218	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Pilastrato: Pilastrato3												
Pilastrato 3	01	001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	01	002	0	0	0	112.300	0	0	0	0	0	0	0	0	0

LEGENDA Pilastrati - Sollecitazioni per condizioni di carico non sismiche

- Pil** Numero identificativo del pilastrato. L'eventuale lettera tra parentesi distingue i diversi tratti della pilastrato al livello considerato.
- L** Identificativo del livello, nella relativa tabella.
- CC** Identificativo della Condizione di Carico nella relativa tabella.
- Estremo Inferiore/Superiore** Le caratteristiche della sollecitazione sono relative al sistema di riferimento locale 1, 2, 3.

Travi - verifiche pressoflessione retta allo stato limite ultimo (fondazione)

Trave	%LLI [%]	Ns [N]	Mxs [Nm]	Ni [Nm]	Mxi [Nm]	Travi - Verifiche pressoflessione retta allo stato limite ultimo			
						Afs [cm <sup>2</sup> ]	Ali [cm <sup>2</sup> ]	CSs	CSi
<b>Fondazione</b>									
Trave 1-2	0%	-	-	339.716	179.484	4,21	4,21	-	1,97
	25%	-	-	339.716	22.618	4,21	4,21	-	15,60
	50%	339.716	73.869	-	-	4,21	4,21	3,69	-
	75%	339.716	139.601	-	-	4,21	4,21	2,28	-
	100%	339.716	122.936	-	-	8,42	8,42	3,45	-
Trave 2-3	0%	290.721	148.161	-	-	8,42	8,42	2,75	-
	25%	290.721	136.394	-	-	4,21	4,21	2,20	-
	50%	290.721	53.806	-	-	4,21	4,21	4,76	-
	75%	-	-	290.721	38.121	4,21	4,21	-	8,54
	100%	-	-	290.721	158.858	4,21	4,21	-	2,05

LEGENDA Travi - Verifiche pressoflessione retta allo stato limite ultimo

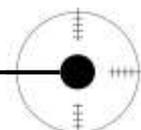
**Trave** Identificativo della trave. L'eventuale lettera tra parentesi distingue i diversi tratti della travata al livello considerato.  
**%LLI** Posizione della sezione per la quale vengono forniti i valori di sollecitazione e armature, valutata come % della lunghezza libera d'inflessione della trave (LLI), a partire dal suo estremo iniziale.  
**Ns, Mxs** Coppia M-N che dà origine alla massima armatura di trazione superiore.  
**Ni, Mxi** Coppia M-N che dà origine alla massima armatura di trazione inferiore.  
**Afs, Ali** Area delle armature esecutive superiori ed inferiori.  
**CSs, CSi** Coefficienti di sicurezza relativi rispettivamente, a "Ns", "Mxs", "Afs" e "Ni", "Mxi", "Ali" : [NS] = Non Significativo - Per valori di CS maggiori o uguali a 100.

Travi - verifiche a taglio per pressoflessione retta allo stato limite ultimo (fondazione)

Trave	%LLI [%]	Ty+ [N]	Ty- [N]	CS+ [N]	CS- [N]	Vcc+ [N]	Vcc- [N]	Vwd+ [N]	Vwd- [N]	N+ [N]	N- [N]	Vwp+ [N]	Vwp- [N]	Vr1+ [N]	Vr1- [N]	ctg θ+ [N]	ctg θ- [N]	Afe+ [cm <sup>2</sup> ]	Afe- [cm <sup>2</sup> ]	Afp+ [cm <sup>2</sup> ]	Afp- [cm <sup>2</sup> ]	Afd+ [cm <sup>2</sup> ]	Afd- [cm <sup>2</sup> ]
<b>Fondazione</b>																							
Trave 1-2	0%	-	-237	-	2,53	63079	63079	60756	60756	0	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
			-795			0	0	0	0									19	19	00	00	00	00
	25%	-	-156	-	3,89	63079	63079	60756	60756	0	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
			-306			0	0	0	0									19	19	00	00	00	00
	50%	-	-86	-	4,66	63079	63079	40504	40504	0	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
			960			0	0	0	0									79	79	00	00	00	00
75%	-	-29	-	26,8	63079	63079	60756	60756	0	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
		134			0	0	0	0									19	19	00	00	00	00	
100%	19,5	-	31,1	-	63079	63079	60756	60756	0	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
	%	14			0	0	0	0									19	19	00	00	00	00	
Trave 2-3	0%	19,1	-	31,6	-	63079	63079	60756	60756	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
		%	88			0	0	0	0								19	19	00	00	00	00	
	25%	59,4	-	10,2	-	63079	63079	60756	60756	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
		%	22			0	0	0	0									19	19	00	00	00	00
	50%	96,6	-	4,19	-	63079	63079	40504	40504	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	
		%	44			0	0	0	0									79	79	00	00	00	00
75%	132	-	4,57	-	63079	63079	60756	60756	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00		
	%	921			0	0	0	0									19	19	00	00	00	00	
100%	168	-	3,61	-	63079	63079	60756	60756	0	0	0	0	0	2,50	2,50	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00		
	%	450			0	0	0	0									19	19	00	00	00	00	

LEGENDA Travi - Verifiche a taglio per pressoflessione retta allo stato limite ultimo

**Trave** Identificativo della trave. L'eventuale lettera tra parentesi distingue i diversi tratti della travata al livello considerato.  
**%LLI** Posizione della sezione per la quale vengono forniti i valori di sollecitazione e armature, valutata come % della lunghezza libera d'inflessione della trave (LLI), a partire dal suo estremo iniziale.  
**Ty+, Ty-** Valori massimo e minimo della sollecitazione di taglio.  
**CS+, CS-** Coefficienti di sicurezza relativi alle sollecitazioni "Ty+" e "Ty-": [NS] = Non Significativo - Per valori di CS maggiori o uguali a 100.  
**Vcc+, Vcc-** Valori massimo e minimo del taglio ultimo, per conglomerato compresso.  
**Vwd+, Vwd-** Contributi dell'acciaio al taglio ultimo dovuto alle staffe, relativi alle sollecitazioni "Ty+" e "Ty-".  
**N+, N-** Sforzo Normale medio nella Sezione di Verifica.  
**Vwp+, Vwp-** Contributi dell'acciaio al taglio ultimo dovuti ai ferri piegati, relativi alle sollecitazioni "Ty+" e "Ty-".  
**Vr1+, Vr1-** Taglio Massimo in assenza di ARMATURA incrociata, relativi alle sollecitazioni "Ty+" e "Ty-".  
**ctg θ+, ctg θ-** Ctg(Theta) utilizzato nel calcolo di Vcc, Vwd e Vwp, relativi alle sollecitazioni "Ty+" e "Ty-".  
**Afe+, Afe-** Area di ferro per il taglio in un centimetro, relativi alle sollecitazioni "Ty+" e "Ty-".  
**Afp+, Afp-** Area di ferri piegati per il taglio in un centimetro, relativi alle sollecitazioni "Ty+" e "Ty-".  
**Afd+, Afd-** Area di Ferri incrociati nelle zone critiche, relativi alle sollecitazioni "Ty+" e "Ty-".



Travi - verifiche a torsione allo stato limite ultimo (fondazione)

Trave	%LLI [%]	Mt [kNm]	Mrcd [kNm]	Mxsd [kNm]	Mrd [kNm]	Ctg Θ [rad]	Pe [mm]	Travi - Verifiche a torsione allo stato limite ultimo				
								Be [mm <sup>2</sup> ]	Hs [mm]	AfSt [cm <sup>2</sup> ]	AfLp [cm <sup>2</sup> ]	
Fondazione												
Travata: Trave1-2-3												
Trave 1-2	0%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	2,26	
	25%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	2,26	
	50%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	2,26	
	75%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	2,26	
	100%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	4,52	
Trave 2-3	0%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	4,52	
	25%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	2,26	
	50%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	2,26	
	75%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	2,26	
	100%	0	0	0	0	2,50	0	0	0	0,0000	2,26	

LEGENDA Travi - Verifiche a torsione allo stato limite ultimo

- Trave: Identificativo della trave. L'eventuale lettera tra parentesi distingue i diversi tratti della travata al livello considerato.
- %LLI: Posizione della sezione per la quale vengono forniti i valori di sollecitazione e armature, valutata come % della lunghezza libera d'inflessione della trave (LLI), a partire dal suo estremo iniziale.
- Mt: Momento Torsante.
- Mrcd: Momento resistente del calcestruzzo.
- Mxsd: Momento resistente delle staffe.
- Mrd: Momento resistente dell'armatura longitudinale.
- Ctg Θ: Ctg(Theta) utilizzato nel calcolo di Mrcd, Mxsd e Mrd.
- Pe: Perimetro esterno in asse alle barre.
- Be: Area racchiusa da Pe.
- Hs: Spessore della sezione convenzionale resistente.
- AfSt: Area di ferro delle staffe per centimetro, aggiuntive a quanto calcolato per il taglio.
- AfLp: Area barre longitudinali di parete esecutive.

Travi - verifiche pressoflessione retta e deviata allo stato limite di esercizio (fondazione)

%LLI [%]	α ct [N/mm <sup>2</sup> ]	Trazione calcestruzzo			Compressione calcestruzzo			Trazione acciaio				
		N [N]	M3 [Nmm]	M2 [Nmm]	α cc [N/mm <sup>2</sup> ]	N [N]	M3 [Nmm]	M2 [Nmm]	α at [N/mm <sup>2</sup> ]	N [N]	M3 [Nmm]	M2 [Nmm]
Fondazione												
Travata: Trave1-2-3												
Trave: Trave 1-2	FRC=0,00 cm	AA=	PCA	CA=FQR wk=0,00 mm	α sm=0,00000	Ae=0,0 cm <sup>2</sup> sm=0 mm	CA=QPR wk=0,00 mm	α sm=0,00000	Ae=0,0 cm <sup>2</sup> sm=0 mm	CA=QPR wk=0,00 mm	α sm=0,00000	Ae=0,0 cm <sup>2</sup> sm=0 mm
0%	1,436	226.477	-119.656	-	-1,340	226.477	-119.656	-	19,893	226.477	-119.656	-
25%	0,539	226.477	-15.079	-	0,000	-	-	-	7,880	226.477	-15.079	-
50%	1,130	226.477	-49.246	-	-0,013	226.477	-49.246	-	16,371	226.477	-49.246	-
75%	1,576	226.477	-79.734	-	-0,274	226.477	-79.734	-	22,539	226.477	-79.734	-
100%	1,519	226.477	81.957	-	-0,264	226.477	81.957	-	21,723	226.477	81.957	-
Trave: Trave 2-3	FRC=0,00 cm	AA=	PCA	CA=FQR wk=0,00 mm	α sm=0,00000	Ae=0,0 cm <sup>2</sup> sm=0 mm	CA=QPR wk=0,00 mm	α sm=0,00000	Ae=0,0 cm <sup>2</sup> sm=0 mm	CA=QPR wk=0,00 mm	α sm=0,00000	Ae=0,0 cm <sup>2</sup> sm=0 mm
0%	1,691	193.814	98.774	-	-0,458	193.814	98.774	-	24,081	193.814	98.774	-
25%	1,486	193.814	77.596	-	-0,315	193.814	77.596	-	21,213	193.814	77.596	-
50%	0,875	193.814	35.871	-	0,000	-	-	-	12,635	193.814	35.871	-
75%	0,569	193.814	-25.414	-	-0,021	193.814	-25.414	-	8,180	193.814	-25.414	-
100%	1,259	193.814	-105.905	-	-1,198	193.814	-105.905	-	17,427	193.814	-105.905	-

LEGENDA Travi - Verifiche pressoflessione retta e deviata allo stato limite di esercizio

- Trave: Identificativo della trave. L'eventuale lettera tra parentesi distingue i diversi tratti della travata al livello considerato.
- %LLI: Posizione della sezione per la quale vengono forniti i valori di sollecitazione e armature, valutata come % della lunghezza libera d'inflessione della trave (LLI), a partire dal suo estremo iniziale.
- FRC: Freccia della trave [cm].
- AA: Identificativo dell'aggressività dell'ambiente: [PCA] = Poco aggressivo - [MDA] = Moderatamente aggressivo - [MLA] = Molto aggressivo.
- CA: Identificativo della Combinazione di Azione: [QPR] = Quasi Permanente - [FQR] = Frequente - [RAR] = Rara.
- α sm: Deformazione media nel calcestruzzo.
- Ae: Area efficace del calcestruzzo teso [mm<sup>2</sup>].
- sm: Distanza media tra le fessure [mm].
- wk: Apertura massima delle fessure [mm].
- α ct, N, M3, M2: Valori rispettivamente della tensione massima di trazione nel calcestruzzo e delle componenti della sollecitazione agenti che l'hanno generata.
- α cc, N, M3, M2: Valori rispettivamente della tensione massima di compressione nel calcestruzzo e delle componenti della sollecitazione agenti che l'hanno generata.
- α at, N, M3, M2: Valori rispettivamente della tensione massima di trazione nell'acciaio e delle componenti della sollecitazione agenti che l'hanno generata.

Verifiche a carico limite (fondazione)

Descrizione	CS	Dimensioni e orientazione		Prof	Falda	Comp. Terreno	Coef. Cor. Terzaghi			Coef. Calc. Terzaghi			QMax [kN/m <sup>2</sup> ]	Qd,Rd [kN/m <sup>2</sup> ]	
		X	Y				Rtz	per N <sub>1</sub>	per N <sub>2</sub>	per N <sub>3</sub>	per N <sub>1</sub>	per N <sub>2</sub>			per N <sub>3</sub>
		[m]	[m]				[°]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]			[m]
Trave 2-3	4,31	3,50	1,20	0,00	1,15	-	NON Coesivo	1,74	1,55	0,76	1,00	5,14	0,00	0,245	1,057
Trave 1-2	1,09	3,50	1,20	0,00	0,00	-	NON Coesivo	1,26	1,09	0,82	1,00	5,14	0,00	0,432	0,729

LEGENDA - Verifiche a carico limite

- Descrizione: Descrizione dell'oggetto di fondazione al quale è riferita la verifica.
- CS: Coefficiente di sicurezza [NS] = Non significativo.
- Dimensioni: Dimensioni dell'elemento di fondazione.
- Rtz: Angolo compreso tra l'asse X e il lato più lungo del minimo rettangolo che delimita il poligono della plates.
- Prof: Profondità di posa dell'elemento di fondazione dal piano campagna.
- Falda: Profondità di falda sotto l'elemento di fondazione dal piano campagna.
- Comp. Terreno: Classificazione del comportamento del terreno ai fini del calcolo.
- Coef. Cor. Terzaghi: Coefficienti correttivi per la formula di Terzaghi.
- Coef. Calc. Terzaghi: Coefficienti di calcolo per la formula di Terzaghi.
- QMax: Carico Massimo di Progetto allo SLU.
- Qd,Rd: Resistenza di progetto del terreno.

**CAPITOLO DODICESIMO**  
**IL PROGETTO ERGOTECNICO**

## **12.1 Premessa**

Nel presente capitolo ci si è posti il duplice obiettivo di:

- impostare un layout di massima del cantiere;
- analizzare il tema legato alla logica costruttiva per la messa in opera della stecca tipo all'interno del complesso residenziale.

Con tale trattazione vengono chiariti gli aspetti più generali che entrano in gioco nella progettazione ergotecnica, in altre parole lo studio si limita ad un livello "definitivo" senza entrare nei dettagli previsti per la redazione di progetto "esecutivo".

Per quanto riguarda il primo punto, l'obiettivo dichiarato nella definizione di un possibile layout di cantiere non ha la pretesa di svolgere un vero e proprio progetto del cantiere, come potrebbe comparire all'interno di un Piano di Sicurezza e Coordinamento, quanto piuttosto quello di prendere coscienza delle problematiche che la costruzione dell'edificio comporta, e individuarne una possibile risoluzione.

Per questo motivo, l'uso che si è fatto della normativa è stato limitato alla consultazione delle prescrizioni generali, al fine di definire un layout coerente dell'organizzazione degli spazi di cantiere.

Il riferimento principale, in termini normativi, cui si è attinto per l'impostazione del layout, è costituito dal D.Lgs. 81/2008 (e successive integrazioni/modifiche), testo legislativo all'interno del quale sono recentemente confluite quasi tutte le norme relative al tema della sicurezza sui luoghi di lavoro.

Per quanto riguarda il secondo punto si intende dare gli elementi base per giungere allo studio della corretta sequenza costruttiva comprendente le varie fasi di montaggio dell'opera.

### **12.1.1 Analisi delle competenze**

Con il termine progetto, s'intende la gestione complessiva delle fasi di progettazione, esecuzione e rilascio di un determinato edificio o di una determinata struttura. Poiché ognuna di queste fasi è in grado di influenzare in maniera rilevante lo svolgersi delle altre due, è fondamentale eseguire una corretta pianificazione dell'intero processo, al fine di avere un'anticipazione dei vincoli per soddisfare al meglio gli obiettivi "costi-tempi-qualità".

Tali vincoli sono interni al progetto stesso e stabiliscono legami d'interdipendenza reciproca tra le diverse attività. Si ritiene necessario dunque, per una loro immediata conoscenza e quindi gestione/risoluzione, coinvolgere il maggior numero di persone competenti durante l'attività progettuale, ognuna chiamata a esprimere i propri vincoli da tenere in conto durante la fase di realizzazione.

Per tali motivi, il primo compito per una corretta stesura di un piano di progetto, dovrà essere l'individuazione delle competenze.

Al fine di un corretto piano di progetto, sono stati individuate quelle che sono le figure ritenute necessarie per un buon sviluppo di progetto e per il raggiungimento degli obiettivi.

**a. Progettisti:** E' una squadra che nella prima fase si occupa della progettazione per il concorso; successivamente svolgeranno i ruoli di project manager e di responsabile dei lavori, assumendosi tutte le responsabilità legate alle procedure di gestione dell'intervento ed alla nomina dei professionisti.

**b. Ingegnere impiantista:** Figura necessaria fin dalle prime fasi di progettazione prima contribuendo alla progettazione, e poi facendo i calcoli completi e i disegni progettuali della parte impiantistica.

**c. Ingegnere strutturista:** Figura che partecipa a tutte le fasi del progetto (preliminare, definitivo ed esecutivo).

**d. Ingegnere acustico:** Figura chiamata in causa, circa a metà sviluppo del progetto, per avere un parere riguardo le soluzioni acustiche da adottare.

**e. Ingegnere energetico:** Figura chiamata in fase più avanzata del progetto al fine di verificare le proposte ed i calcoli preliminari del progettista.

**f. Designer d'interni:** Figura che interverrà in fase conclusiva per rivedere l'architettura degli interni.

**g. Consulente fotovoltaico:** Figura che aiuterà il progettista nel verificare e approfondire i calcoli del fotovoltaico.

**h. Impresa allestimento cantiere:** Impresa chiamata sin dall'inizio per l'allestimento e poi il successivo dismissione del cantiere.

**i. Impresa ponteggi:** Impresa chiamata sin dall'inizio per il montaggio ed il successivo smontaggio del ponteggio.

**j. Impresa movimento terre:** Impresa subappaltatrice che si occupa del lavoro degli scavi.

**k. Gru:** Impresa che si occupa del montaggio, utilizzo e smontaggio della gru di cantiere.

**l. Impresa struttura C.A.:** Impresa che si occupa della costruzione della parte strutturale in cemento armato.

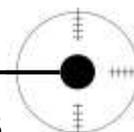
**m. Impresa carpenteria metallica:** Si occupa delle armature e delle strutture in acciaio presenti in cantiere.

**n. Impresa sottostrutture:** Impresa che si occupa del montaggio di tutte le sottostrutture in acciaio necessarie per la costruzioni di pareti (interne ed esterne) con sistema Struttura/Rivestimento.

**o. Impresa isolamenti:** Impresa che si occupa del montaggio dei vari isolamenti usati nel progetto.

**p. Impresa Impianto idrico:** Impresa che si occupa del montaggio degli impianti idrici.

**q. Impresa impianto elettrico:** Impresa che si occupa del montaggio dell'impianto elettrico



- r. Esperto di sismica:** Professionista che si occupa delle indagini sismiche del luogo.
- s. Impresa fotovoltaico:** Impresa che si occuperà del montaggio del fotovoltaico.
- t. Impresa pannelli radianti:** Impresa che si occuperà del montaggio dei pannelli radianti.
- u. Impresa rivestimento pareti interne:** Impresa che si occuperà del montaggio delle pareti interne in cartongesso.
- v. Impresa rivestimento pareti esterne in pietra:** Impresa che si occuperà del rivestimento esterno, sia in gabion wall che in pannelli di fibrocemento.
- w. Impresa tinteggiatura:** Impresa che collaborerà con quella dei rivestimenti interni ed esterni per rifinire le chiusure.
- x. Muratore:** Figura sempre presente in cantiere, che si occupa della posa delle chiusure, nonché dell'assemblaggio della logistica di cantiere.
- y. Impresa pavimenti:** Impresa che si occupa del montaggio dei pavimenti interni ed esterni.
- z. Impresa serramenti:** Impresa che si occupa della posa dei vari serramenti presenti nel progetto.
- aa Paesaggista:** Figura incaricata di progettare gli spazi esterni del parco, collaborando col progettista. Si occuperà, inoltre, in fase preliminare di presentare una relazione relativa all'impatto ambientale.
- bb. Giardiniere:** Figura che interverrà dopo la conclusione dei lavori e che si occuperà della sistemazione delle aree verdi.
- cc. Commercialista:** Figura che si occuperà della verifica dei bilanci e dei conti dello studio.
- dd. Direttore tecnico:** Figura chiamata a coordinare i diversi piani operativi di sicurezza redatti dai subappaltatori e a redigere quelli del proprio cantiere. Inoltre deve far sì che vengano rispettate tutte le misure di sicurezza previste.
- ee. Procurement manager:** Figura incaricata di coordinare l'arrivo e lo stoccaggio degli approvvigionamenti necessari per la realizzazione del progetto.
- ff. Computista:** Figura che interviene in fase esecutiva per riorganizzare i computi al fine di permettere successivamente al progettista di stilare il computo metrico estimativo completo.
- gg. Committente:** Nel nostro caso si ipotizza il Comune de L'Aquila
- hh. Responsabile del servizio prevenzione e protezione:** Figura che si occupa della prevenzione e protezione dei lavoratori.
- ii. Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione/esecuzione:** Figura che contribuisce all'integrazione in termini di sicurezza del progetto. Nel nostro caso viene designata dal Committente e redige il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) da trasmettere all'impresa prescelta, il cronoprogramma di cantierizzazione e il piano di manutenzione dell'opera in fase di progettazione.
- jj. Impresa:** Con impresa intendiamo l'impresa principale che vincerà la gara d'appalto.
- kk. Ingegnere geotecnico:** Figura incaricata di svolgere le indagini geologiche,

archeologiche in fase di progettazione e idrologiche.

## **12.2 Spazi di pertinenza del cantiere**

Si affronta di seguito un'analisi del sito di progetto finalizzata all'individuazione delle aree destinate al cantiere, allo scopo di definire gli spazi dedicati alla viabilità, alla logistica, allo stoccaggio e alle lavorazioni.

Sulla base di quanto affermato, la conformazione del layout di cantiere si è fondata sulla definizione dei seguenti elementi:

### **Delimitazione del cantiere**

Per l'intera durata dei lavori, il cantiere occupa tutta la porzione di lotto evidenziata in fig. 12.1 in rosso. L'area sorge all'interno del quartiere di nuova progettazione ed è accessibile dai versanti nord-est sud-est da Via della Crocetta, a pochi minuti dalla strada statale SS17bis.

La strada interna in giallo è realizzata a posteriori e viene adibita al traffico dei soli mezzi di cantiere, tale strada verrà successivamente destinata a servizio delle residenze e allestita con zone parcheggio pertinenziali ai diversi blocchi.

La fortuna di lavorare su un'area "vergine", priva di un contesto residenziale strettamente limitrofo, consente di non adottare eccessive misure cautelative e protettive quali recinzioni ad elevato isolamento o misure mitigatrici dell'eventuale impatto acustico: si predispongono, in corrispondenza dei limiti dell'area cantieristica, la presenza di elementi di delimitazione con lo scopo di segnalare la presenza del cantiere ed evitare l'accesso involontario allo stesso.

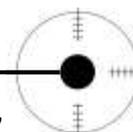
Tali delimitazioni raggiungeranno un elevato livello di isolamento e un grado di permeabilità nullo per la porzione che confina con la strada carrabile (Via Montorio al Vomano) a nord/nord-est: la loro funzione sarà infatti quella di impedire la proiezione di frammenti di materiale e oggetti al di fuori dell'area di cantiere, con il conseguente rischio di recare danno ad eventuali persone di passaggio.

Viene prevista inoltre l'affissione della corretta segnaletica e della cartellonistica di cantiere. La segnaletica di sicurezza ha lo scopo di avvertire di un pericolo persone esposte; vietare comportamenti che potrebbero causare pericolo; prescrivere determinati comportamenti necessari ai fini della sicurezza; fornire altre indicazioni in materia di prevenzione e sicurezza.

### **Accessi e percorsi pedonali e carrabili**

Sulla base della conformazione del lotto e data la natura del cantiere, si rende necessaria la predisposizione di due accessi carrabili, entrambi a doppio senso di marcia, che permettano la possibilità di entrata e uscita dei mezzi, lungo un percorso rettilineo.

La dimensione dell'accesso/uscita dal cantiere viene definita prevedendo un margine che garantisca il passaggio delle persone unitamente ai mezzi d'opera, senza scendere dunque oltre la minima larghezza di 5 metri. Inoltre, in corrispondenza di tali aperture carrabili vengono predisposti due accessi



pedonali di larghezza minima pari a 1,2 metri. Entrambi, accessi veicolari e accessi pedonali, dovranno avere senso di apertura verso l'interno e dovranno essere mantenuti costantemente chiusi per tutta la durata dei lavori, pur garantendo la loro facile e immediata apertura dall'interno del cantiere per l'evacuazione delle maestranze in caso di emergenza. Saranno inoltre opportunamente segnalati all'esterno con idonei cartelli per l'interdizione ai non addetti e dovranno essere costantemente vigilati per impedire l'entrata di uomini e mezzi estranei al cantiere.

In corrispondenza dell'accesso carrabile si ritiene necessario il posizionamento di una presa dell'acqua, al fine di poter procedere alle operazioni di lavaggio e pulitura dell'autobetoniera nelle fasi immediatamente successive al suo utilizzo. Per quanto riguarda le pavimentazioni, si prevede di operare al fine di evitare il ristagno di acqua e la possibilità che possano essere una fonte di incidenti, attuando le pratiche utili a garantire un corretto drenaggio del terreno. Il terreno destinato al passaggio dei mezzi meccanici e dei lavoratori non deve presentare buche o sporgenze pericolose. La viabilità veicolare e le aree di manovra, in corrispondenza delle aree di stoccaggio (segnalate con appositi cartelli), dovranno essere realizzate con strato di 20 cm di ghiaia di granulometria 15-30 mm ed essere mantenute in efficienza per tutta la durata dei lavori attraverso manutenzione mensile per garantire le condizioni di sicurezza ed esercizio.

Ai percorsi per gli operatori di cantiere, fisicamente distinti da quelli riservati agli automezzi, va riservato un franco di almeno 70 cm, calcolati a partire dai margini dell'area adibita al transito veicolare.

Ogni 20 m, inoltre, si prevede una piazzuola di sosta dove gli operatori di cantiere possano trovare riparo al passaggio degli automezzi.



Fig.12.1 Individuazione area di cantiere, viabilità e accessi

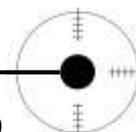
### Baracche di cantiere e spazi per la logistica

Le baracche di cantiere legate alle attività di logistica vengono predisposte sul confine est dell'area (in prossimità degli accessi allo stesso), in prossimità della strada carrabile interna, in modo tale da rendere più semplice il controllo dei mezzi e degli addetti in entrata. Tali aree sono inoltre vicine e facilmente raggiungibili dalle zone dove si eseguono le lavorazioni e da quelle di stoccaggio permettendo dunque la loro immediata praticabilità. La zona dedicata alla logistica si trova in posizione centrale e prevede:

- baracca per uffici direzionali di cantiere
- baracca per uffici fornitori
- mensa per gli addetti ai lavori
- spogliatoi
- area toilette chimiche

Inoltre, vista l'estensione dell'area, sono presenti due aree con baracche per spogliatoi e aree wc in prossimità degli accessi.

Le dimensioni delle baracche sono da stimarsi in funzione del numero di utenti e della loro destinazione d'uso. Indicativamente, si ipotizzano moduli di dimensioni pari a 2,4 x 4,8 metri. Inoltre deve essere garantita un'altezza



minima interna di 2,4 metri per assicurare le condizioni di permanenza accettabili per i lavoratori. Gli ambienti dovranno essere allestiti completi di ogni attrezzatura necessaria per il conseguimento di condizioni ambientali confortevoli e l'utilizzo per il quale sono destinate sicuro. La posa ed l'utilizzo devono avvenire nel rispetto delle normative vigenti: in generale, i servizi logistici dovranno essere locali chiusi, areati e illuminati a sufficienza, sollevati da terra (al fine di evitare infiltrazioni), riscaldati in inverno e raffrescati in estate.

**Aree di carico e scarico dei mezzi, di sosta e di stoccaggio**

L'area di carico/scarico mezzi definisce lo spazio dove si prevede che i mezzi sostino durante le operazioni di carico/scarico dei materiali. La zona deve essere collocata entro il raggio di azione della gru, in quanto deve essere prevista una efficiente movimentazione aerea dei materiali dalle aree di stoccaggio alle zone in cui si eseguiranno le lavorazioni.

Bisogna quindi tenere in considerazione, nel posizionamento dell'area di carico/scarico, che i movimenti della gru devono avvenire secondo regole ben definite, e nel rispetto delle prescrizioni imposte dalle normative.

Si individuano pertanto cinque aree di scarico/sosta posizionate in modo da "servire" tutti i blocchi residenziali in fase di costruzione.

Nel caso specifico, le aree di carico/scarico sono posizionate sempre sul versante est in posizione intermedia tra la sosta dei mezzi in entrata e l'area di stoccaggio.

In corrispondenza degli accessi del cantiere sono previste due aree di sosta per i mezzi, con funzioni differenti:

- una permette la sosta nel momento in cui altri mezzi d'opera stiano occupando l'area di carico/scarico.
- l'altra consente invece le operazioni di pulitura degli automezzi prima dell'immissione sulla viabilità ordinaria.

Lo stoccaggio dei materiali è previsto in un'ampia zona centrale del cantiere e in aree minori (una per ogni gru presente), entro il raggio d'azione delle gru e nelle immediate vicinanze dell'area di carico/scarico dei mezzi. Tuttavia, data la natura del progetto e le scelte tecnologiche effettuate, si prevede che molte lavorazioni avvengano *just in time*, riducendo lo stoccaggio dei materiali.

Per quanto riguarda le aree di stoccaggio l'allestimento dovrà essere eseguito tenendo conto dei seguenti aspetti:

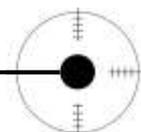
- tipologia dell'area
- idoneità statica delle superfici d'appoggio
- ampiezza degli spazi disponibili in relazione alle quantità da approvvigionare ed alle caratteristiche di stoccaggio dei materiali
- agibilità degli spazi disponibili
- modalità di stoccaggio in relazione alle condizioni di stabilità, inclinazione
- contenimento laterale ed al piede, al fine di prevenire crolli, cedimenti, slittamenti, rotolamenti e simili

- transitabilità nelle corsie di stoccaggio (larghezza dei passaggi di almeno di 0,60 m per i soli addetti, 1,20 m per il trasporto manuale dei materiali)
- Facilità di prelievo o deposito dei materiali e delle attrezzature per gli addetti mediante idonei sistemi di elevazione del personale (impalcati temporanei, scalette autostabili, scale a mano, ecc.)
- facilità di prelievo o deposito per i mezzi di movimentazione del cantiere
- tossicità, nocività, infiammabilità o rischio di esplosione associate ai materiali

La copertura delle aree di stoccaggio, ove necessaria per alcuni tipi di materiali, come riportato nelle schede tecniche dei prodotti, deve essere realizzata mediante un impalcato realizzato a non più di 3 m da terra con assi da ponte, sostenute da una struttura opportunamente controventata e vincolata al terreno, dotata della giusta pendenza secondo normativa.

Per quanto riguarda gli stoccaggi in ambienti interni dovranno essere garantite condizioni di ventilazione ed illuminazione sufficienti alle necessità di prelievo e movimentazione. Per sostanze particolarmente infiammabili, lo stoccaggio dovrà avvenire rigorosamente all'esterno.

Tutte le azioni di approvvigionamento, carico, scarico e stoccaggio dei materiali, dovranno essere supervisionate da personale appositamente formato dall'appaltatore. Poiché gran parte delle lavorazioni avvengono "just in time", si ritiene che la dimensione delle aree di stoccaggio possa essere piuttosto limitata.

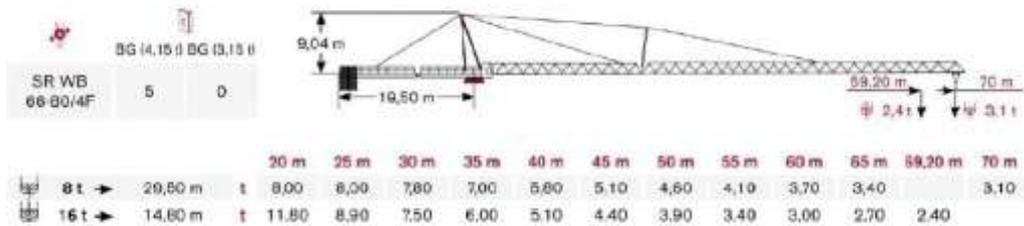


**Dispositivi di movimentazione aerea**

Per quanto riguarda la movimentazione aerea, si prevede il posizionamento di cinque gru a torre che coprano le aree in cui avverrà lo spostamento dei materiali sia per lo scarico dai mezzi nelle zone di stoccaggio che per il trasferimento dalle stesse zone di stoccaggio alle aree in cui avverranno le lavorazioni. Le gru non interferiscono l'una con l'altra.

Considerando l'ampiezza del cantiere, si richiedono gru con braccio da 45 a 60 metri di lunghezza; per il posizionamento e la dimensione delle gru si rimanda alla Tav.12.1.

Per quanto riguarda i carichi, si consideri che gli elementi più gravosi da movimentare sono i pilastri in acciaio (profili HEB 200) per un peso in media massimo da movimentare di 200 kN. Va inoltre considerata la possibilità di eseguire i getti di calcestruzzo mediante benna: in tal caso si ipotizza una benna della capacità di 1000 litri per un peso totale, a pieno carico, di 2500 kg. Si riporta di seguito una scheda tecnica di una gru a torre:



Per una scelta più accurata dei dispositivi di movimentazione aerea si rimanda ad una più dettagliata analisi delle specifiche lavorazioni e dei relativi costi.

<b>Getto strutture in c.a.</b>	
Massa della benna a vuoto [kg]	125
Capacità della benna [m <sup>3</sup> ]	1
Densità del cls [kg/m <sup>3</sup> ]	2500
Massa totale da movimentare [kg]	2500

### **Rampa di accesso allo scavo**

La rampa di accesso allo scavo deve consentire l'accesso al fondo dello scavo da parte dei mezzi di movimentazione terre e della manodopera di cantiere. Si ritiene possa quindi avere una larghezza minima pari a quella degli accessi, permettendo quindi il contemporaneo passaggio di mezzi d'opera e maestranze. Se ne suppone pertanto una larghezza minima non inferiore a 3,2 metri. La pendenza massima della rampa si ipotizza pari al 20%, per permettere la discesa e la salita dei mezzi pesanti.

### **Opere provvisorie**

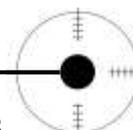
In relazione al riferimento normativo in materia di sicurezza dei cantieri edili (D.lgs. n° 81 2008 titolo IV) il ponteggio adottato, data l'assenza di situazioni costruttive particolari, si prevede rispetti lo schema tipo certificato dal produttore: non si dovrà quindi procedere ad un progetto comprendente il disegno esecutivo ed il calcolo eseguito secondo le istruzioni approvate nell'autorizzazione ministeriale, ad opera di un tecnico abilitato.

Si stabilisce che il controllo generale delle opere provvisorie si debba tenere ad intervalli periodici (almeno mensili) e, comunque dopo il verificarsi di eventi atmosferici o prolungate interruzioni dei lavori con successiva formalizzazione su apposito modulo dell'avvenuto controllo e del suo esito. Gli elementi d'impalcato dovranno essere fissati alla struttura.

Gli impalcati di ponteggio devono essere protetti su tutti i lati verso il vuoto da un parapetto costituito da due correnti, il cui margine superiore deve essere posto a non meno di 1 m dal piano di calpestio, e da una tavola fermapièdi alta almeno 20 cm, messa di costa e aderente al tavolato.

Sull'ultimo impalcato del ponteggio deve essere predisposto un ulteriore parapetto resistente e bene ancorato ai montanti, cieco o con struttura a maglia massimo 15x15 cm.

Si allega il layout generale di cantiere vedi Tav.12.1.



### **12.3 Fasi di vita del cantiere**

Le caratteristiche del cantiere e la sua organizzazione interna sono strettamente connesse:

- alla natura dell'edificio e quindi alle tecnologie costruttive adottate, alla configurazione spaziale dell'edificio e alle scelte architettoniche.
- alle condizioni al contorno (il contesto).

Sulla base di questi fattori si determinano le differenti fasi di lavoro, e quindi le diverse fasi di cantiere.

Per fasi di vita di un cantiere si intendono quei differenti momenti nei quali il cantiere si differenzia per spostamento, modifica ovvero incremento degli elementi del sistema dettati da esigenze costruttive.

Si descrivono di seguito le sei fasi significative di vita del cantiere:

**FASE 1:** Allestimento cantiere e scavi (vedi layout di cantiere Tav.12.2).

Elenco delle lavorazioni:

- allestimento cantiere
- tracciamento del perimetro di scavo
- definizione dei declivi da realizzare
- delimitazione di eventuali zone pericolose
- realizzazione diaframmi in cls
- scolturamento
- sbancamento generale ed infine il livellamento del fondo dello scavo eseguito con livella laser su treppiede

Specifiche:

Viene effettuata la recinzione dell'intera area di cantiere e l'allacciamento all'impianto elettrico e idrico. Si procede all'installazione dei baraccamenti di cantiere, dimensionati tenendo conto dei requisiti minimi in funzione del numero medio di utenti previsto ed alle esigenze di igiene e sicurezza delle maestranze e dei tecnici. In seguito all'allestimento si effettuano le fasi di scolturamento e scavo.

**FASE 2:** Getto delle opere di fondazione in c.a. e operazioni di allacciamento alle reti (vedi layout di cantiere Tav.12.3).

Elenco delle lavorazioni:

- getto fondazioni e muri portanti delle due zone interrate/parzialmente interrate (locale tecnico/vano scala e parte del locale comune a servizio dell'edificio);
- operazioni di predisposizione degli allacciamenti alla rete fognaria, idrica, elettrica.

Specifiche:

Dopo l'esecuzione degli scavi avviene la realizzazione in c.a. dei pozzi perdenti e delle travi rovesce di fondazione. Infine, verrà predisposto un parziale rinterro

e si predisporranno i macchinari per il montaggio delle strutture oltre che le aree di stoccaggio dei materiali.

**FASE 3:** Montaggio delle strutture (vedi layout di cantiere Tav.12.4).

Elenco delle lavorazioni:

- montaggio dei pilastri
- allestimento ponteggi
- montaggio travi primarie e secondarie
- posizionamento lamiera grecate
- getto collaborante per la realizzazione delle solette.

Specifiche:

Il montaggio delle strutture partirà non appena trascorso il tempo di maturazione del getto delle fondazioni. Verranno per prima cosa montati i pilastri, quindi, dopo il montaggio dei ponteggi, seguirà l'allestimento della doppia orditura di travi primarie e secondarie. Successivamente verranno posizionate le lamiera grecate ed eseguite le operazioni di getto per i solai.

**FASE 4:** Realizzazione della copertura

Elenco delle lavorazioni:

- stoccaggio materiale al piano
- montaggio sottostrutture metalliche
- realizzazione pacchetto di copertura e serramenti
- realizzazione manto di copertura e lattone ria
- realizzazione dell'impianto fotovoltaico

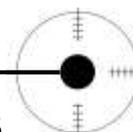
Specifiche:

Dopo aver conferito in discarica le macerie derivanti dagli sfridi dovuti al montaggio delle strutture le postazioni di lavoro per la lavorazione del ferro e dei casseri sono smantellate. Il materiale viene stoccato al piano sottostante la copertura si posizionano i travetti in acciaio quindi lo strato portante, dopodiché si procede al posizionamento dei lucernari e quindi all'isolamento a cappotto. Successivamente si procede al posizionamento dei montati per il tetto ventilato e al fissaggio del manto di copertura e la lattoneria.

**FASE 5:** Montaggio chiusure verticali

Elenco delle lavorazioni:

- stoccaggio materiale chiusure
- montaggio sottostrutture metalliche
- montaggio serramenti
- inserimento isolanti
- rivestimento esterno
- realizzazione ballatoio
- smontaggio ponteggi



Specifiche:

Vengono previsti gli spazi per lo stoccaggio dei materiali e delle postazioni fisse di lavoro (banco di taglio e piegatura, area di lavorazione falegnameria, postazione sega circolare). Si procede quindi con la realizzazione delle chiusure verticali fino alla pannellatura con il fibrocemento e i gabion-wall. Successivamente verrà realizzato il ballatoio di accesso sul lato nord e quindi smontati i ponteggi.

**FASE 6:** Realizzazione delle partizioni e degli impianti

Elenco delle lavorazioni:

- realizzazione delle partizioni interne
- predisposizione impiantistica a pavimento e massetto di riempimento
- posizionamento pannelli radianti e sottofondo
- montaggio dei controsoffitti
- cartongesso

Specifiche:

Nell'area di stoccaggio vengono portati materiali e attrezzature da impiegare per la realizzazione delle partizioni e gli impianti. Vengono costruite le tamponature interne e allestiti tutti gli impianti passanti nelle partizioni, nei controsoffitti e nel pavimento. Vengono inseriti inoltre cablaggi elettrici e allacciature per la rete idrico – fognaria.

**FASE 7:** Realizzazione delle finiture e dismissione cantiere

Elenco delle lavorazioni:

- realizzazione pavimenti e rivestimenti
- tinteggiatura interna
- montaggio porte
- montaggio sanitari
- cablaggi, allacciamenti e collaudi
- dismissione cantiere

Specifiche:

Una volta ultimata la realizzazione di partizioni interne e controsoffitti si procede con la posa dei pavimenti e dei rivestimenti, quindi alla tinteggiatura delle pareti interne e al montaggio di porte e sanitari. Si prosegue con i cablaggi elettrici, gli allacciamenti alle reti e il collaudo degli impianti.

**FASE 8:** Opere di urbanizzazione e giardinaggio

Elenco delle lavorazioni:

- realizzazione delle strade di accesso
- pavimentazione dei camminamenti pedonali
- pavimentazione dei percorsi nel verde
- piantumazione degli alberi

### **12.3.1 Approfondimento FASE 3**

In seguito al getto delle opere in c.a., e quindi fondazioni, i muri contro terra e il nucleo di controvento del vano scale, si prevede di eseguire il montaggio della struttura in acciaio e il getto dei solai collaboranti su lamiera grecata in macrofasi: si realizza dapprima l'ossatura in acciaio costituita da travi e pilastri per ciascun piano, poi si passa al montaggio della lamiera grecata ed infine all'esecuzione del getto collaborante dei relativi solai.

Definiti i vincoli e le priorità, si analizzano di seguito le fasi costruttive della residenza, a partire dalla realizzazione delle strutture fino all'esecuzione delle finiture.

#### **Fase di montaggio 1**

Si prevede la realizzazione delle opere di fondazione in calcestruzzo armato. Queste comprendono:

- le travi rovesce
- i plinti di fondazione in corrispondenza dei pilastri delle serre e delle due pareti oblique dell'edificio connessi alla struttura principale di fondazione mediante cordoli in c.a. 30x50.
- i muri portanti (in c.a.) della porzione interrata del locale tecnico, del vano scala controventante e del locale di servizio nella zona comune più ad est.

#### **Fase di montaggio 2**

Si erigono i pilastri continui in acciaio con profilo HEB 200 per la successiva messa in opera delle travi.

Si erigono i pilastri delle serre HEA 160 del livello 0-1.

#### **Fase di montaggio 3**

Vengono montate le travi (primarie HEA 180 e HEA 200 e secondarie HEA 160 e HEA 180 rispettivamente per la porzione di solaio interpiano e copertura praticabile) in acciaio del livello 0-1.

Vengono montate le travi HEA 140 delle serre del livello 0-1.

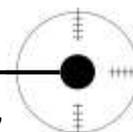
#### **Fase di montaggio 4**

Montaggio delle lamiere grecate e posizionamento delle reti elettrosaldate e dei pioli connettori in acciaio per la realizzazione dei solai in lamiera grecata con getto collaborante. Il getto avviene in una fase successiva.

(Ad eccezione della porzione ad est con la copertura inclinata completamente stratificata a secco)

#### **Fase di montaggio 5**

Completamento dei solai in lamiera grecata con il getto di calcestruzzo collaborante.



Le fasi **3-4-5** si ripetono per il piano secondo.

(Ad eccezione della porzione ad est con la copertura inclinata per cui sono previsti profili HEA 160 e HEA 140 rispettivamente per travi primarie e secondarie)

#### **Fase di montaggio 6**

Vengono montate le travi (HEA 160 e HEA 140) in acciaio del livello 3 che realizzano la doppia falda di copertura (con inclinazione 18° a sud e 22° a nord).

#### **12.4 Stima dei tempi di realizzazione dell'edificio tipo**

In ultimo è stata effettuata una stima delle tempistiche necessarie alla realizzazione del singolo edificio: tramite il supporto del software Project è stato compilato il diagramma di Gantt.

Tale diagramma permette la rappresentazione grafica di un calendario di attività, utile al fine di pianificare, coordinare e tracciare specifiche attività in un progetto dando una chiara illustrazione dello stato d'avanzamento del progetto rappresentato.

L'obiettivo della programmazione dei tempi delle lavorazioni di cantiere è quello di pianificare i tempi di evoluzione delle operazioni costruttive; questo, per permettere di prevenire l'insorgere di sovrapposizioni, interferenze, connessioni lavorative che possano aumentare situazioni di pericolo in cantiere.

La sequenza delle fasi lavorative del cantiere è stata progettata seguendo criteri di valutazione e prevenzione del rischio, tenendo conto delle logiche tecniche e costruttive necessarie alla realizzazione dell'opera.

Si stima quindi che il singolo edificio venga realizzato nell'arco di un anno, vedi Tav.12.5.

Si ipotizza inoltre che il cantiere venga suddiviso in cinque sottocantieri, ciascuno di essi comprendente 3 blocchi residenziali e servito da una gru pertinenziale. Le fasi realizzative di ciascuno dei tre blocchi si susseguono con il medesimo criterio con un gap temporale tra l'inizio della costruzione di una stecca e della successiva della sola fase di realizzazione delle opere in c.a.:

dopo aver effettuato lo scavo di sbancamento si procede alla realizzazione delle fondazioni e delle opere in c.a. della prima stecca, terminata questa fase l'impresa dei calcestruzzi passerà ad operare sulla stecca successiva, mentre sulla prima si prosegue con la realizzazione della struttura in acciaio, analogamente per la terza.

Si suppone dunque che la durata dell'intero cantiere venga determinata dalla durata di uno dei lotti B, C, D o E (comprendenti tre blocchi residenziali), in particolare dalla durata della costruzione del primo edificio più le durate delle fasi di cui si è sfasata la costruzione delle stecche due e tre. Poiché l'arco temporale necessario alla costruzione della singola stecca è di circa un anno e la fase di realizzazione delle fondazioni e delle opere in c.a. è di circa un mese, si stima che gli edifici di ogni lotto vengano realizzati nell'arco di circa 13 mesi.

### Conclusioni

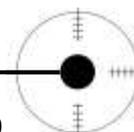
Il fine di questa tesi è stato dimostrare come sia possibile, attraverso un percorso fatto di ragionamenti e obiettivi mirati, dare forma ad un progetto completo sotto tutti i punti di vista: urbanistico, architettonico, tecnologico, impiantistico, strutturale, ergotecnico e così via.

La terribile scossa del 6 aprile 2009 a L'Aquila ha prodotto, alla luce degli interventi di ricostruzione fino ad ora realizzati, profonde trasformazioni territoriali, urbane e sociali.

Il piano C.A.S.E. per la costruzione di alloggi ha permesso la realizzazione di numerose nuove abitazioni per ospitare i cittadini rimasti senza tetto in seguito al terremoto. Lo stato di emergenza e il bisogno di intervenire in tempi brevi ha però portato a numerose problematiche tuttora non risolte: l'assetto urbanistico dei nuovi quartieri residenziali, la loro integrazione con il tessuto urbano esistente e i servizi di prima necessità, strutture per l'aggregazione e la socializzazione e la collocazione dei principali esercizi commerciali, del tutto assenti nel breve e medio raggio. E' chiaro, dunque, il mancato processo di progettazione urbana attraverso cui caratterizzare e dare un'identità a questi nuovi quartieri. Partendo da queste considerazioni si è cercato di mostrare come si sarebbe potuto affrontare il problema della ricostruzione in maniera più ragionata e consapevole offrendo non solo residenze, ma una struttura urbana completa, pensata e progettata come lo sviluppo organico del tessuto urbano preesistente, capace di connettersi e integrarsi, ma non sostituirsi al centro storico. A differenza del piano C.A.S.E. che prevedeva 19 New Town sparse sul territorio, l'area di progetto è stata infatti scelta in prossimità del centro, luogo di riferimento e riconoscimento della popolazione e sede delle radici e dei rapporti sociali in modo tale da coniugare la conservazione dei luoghi della memoria storica, il recupero urbanistico della città e la progettazione di nuove aree insediative che si inseriscano coerentemente. Ben presto, dopo la ricostruzione, si spera che la città de L'Aquila possa tornare ad essere il centro abitato di una volta, ed è in questo contesto che bisogna immaginare il nuovo ambito di progettazione.

Questo è il principio alla base del progetto: la riappropriazione da parte degli aquilani del loro centro storico, sede della propria identità e della memoria collettiva.

La riconquista della qualità degli spazi abitativi e la possibilità di riaggregazione degli isolati urbani nell'ottica della ricostruzione "sociale" sono state le principali linee guida nello sviluppo del progetto al fine di migliorare le condizioni di vita delle popolazioni colpite dal sisma e preservarne il senso di comunità ed appartenenza sociale.



## CONCLUSIONI

L'inserimento di un nuovo progetto a scala di quartiere, all'interno di una maglia storica, porta con se interrogativi e paure riguardanti la sua integrazione nell'ecosistema urbano esistente.

Attraverso considerazioni e schemi progettuali si è giunti alla definizione del masterplan.

Il procedimento di realizzazione ha avuto una duplice valenza:

- Una valenza oggettivo - scientifica: in sintesi l'idea è stata quella di riproporre la regola consolidata della tradizione abruzzese, rispettarne i ritmi, i rapporti e la scansione, adattarla alla morfologia e orografia dell'area in esame rispettando le regole del buon senso e dell'ecosostenibilità attraverso orientamenti ed esposizioni e tenendo presente sempre la normativa vigente (per ovvie ragioni diversa da quella presente ai tempi delle diverse stratificazioni urbanistiche della città).

Ogni scelta ne ha condizionato un'altra e viceversa.

- Ed una soggettivo/sentimentale, sia indiretta che si è manifestata mediante le risposte alle esigenze riscontrate dialogando con la popolazione del luogo e con quella che oggi è insediata nei lotti del progetto C.A.S.E., sia diretta immedesimandoci nei futuri fruitori dell'area, per capire cosa in primis necessita il luogo, quali devono essere i caratteri connotanti del progetto, come sarà possibile muoversi e raggiungere le diverse funzioni, come rendere più vivace e accogliente l'intero quartiere.

Si è voluto inoltre incentivare la qualità ambientale e la sua interconnessione all'interno di un quadro più ampio attraverso l'introduzione di giardini tematici di pertinenza delle residenze e altri ad uso pubblico; mediante l'inserimento di parchi per la sosta e per il gioco, di percorsi ciclo-pedonali immersi nel verde, di spazi per le attività sportive.

Oltre ai suddetti aspetti, la progettazione del nuovo quartiere ha dimostrato come sia ammissibile conciliare un'architettura piacevole e basata sui principi del comfort ambientale alle regole del risparmio energetico, mediante l'utilizzo di tecnologie innovative in grado di abbattere lo spreco di risorse e ottimizzarne il consumo razionale.

La qualità architettonica è stata ottenuta innanzitutto grazie al sistema costruttivo S/R, che ha dato la possibilità di una libera composizione, volta all'armonizzazione del costruito con il contesto e del costruito con l'utenza, cercando di stimolare sensazioni piacevoli nelle persone che ne usufruiranno.

La scelta di una tecnologia stratificata a secco è stata inoltre giustificata analizzando le proprietà del "drywalling" in ambito sismico. Le caratteristiche proprie di questa tipologia costruttiva definiscono una risposta ottimale alle azioni orizzontali generate da un terremoto; non solo: grazie alla tecnologia S/R tutte le operazioni di montaggio sono rapide e semplici e l'impiego ridotto di

## CONCLUSIONI

manodopera lascia risorse per l'impiego di operai specializzati in grado di garantire la qualità del sistema.

L'utilizzo di materiali locali, testimonianza anche del ricordo e del superamento del tragico evento, reinventati e accostati a materiali innovativi dalle cromie particolari, porta alla realizzazione di un polo d'attrazione urbano dai forti aspetti connotanti e dal mix funzionale.

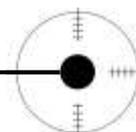
L'idea di orientare il complesso conciliando gli assi di attraversamento esistenti con la posizione del sole nella volta celeste è stata vincente, poiché ha portato guadagni solari ingenti e facilmente controllabili, oltre ad una spiccata luminosità negli ambienti di vita e un maggiore raccoglimento in quelli di riposo, posizionati sempre a nord.

Dal punto di vista energetico i risultati ottenuti sono importanti. Grazie al contenimento dei consumi, all'elevato rendimento degli impianti installati e allo sfruttamento di energie rinnovabili e gratuite, il complesso progettato è autosufficiente nella quota del 60% rispetto al fabbisogno complessivo di energia termica e di elettricità. Ciò è stato possibile grazie all'abbattimento dei fabbisogni di energia di riscaldamento e raffrescamento operato dall'involucro estremamente prestante (trasmittanza media pari a  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), e dall'installazione dell'impianto fotovoltaico sull'ampia copertura.

Il dimensionamento dei suddetti moderni apparati impiantistici hanno definitivamente condotto alla progettazione di un edificio che, in base alle "Linee Guida Nazionali per la certificazione energetica" del D.M. 26 giugno 2009, risulta in classe energetica A, con un ETh (indice di prestazione energetica invernale ed estiva) minore di  $15 \text{ kWh/m}^2$  annuo.

La tecnologia utilizzata, fondata sulla semplicità, ha consentito un controllo totale del progetto in tutte le sue fasi. La scelta di realizzare la struttura in acciaio, oltre che garantire un ottimo comportamento sia in presenza che in assenza di sisma, ha permesso di ridurre notevolmente il numero e la durata della lavorazioni da fare in cantiere, offrendo un minore tempo di costruzione, minore manodopera impiegata e una maggiore sicurezza sul lavoro. Anche il solaio collaborante è risultato vantaggioso: i solai sono agibili dagli operai immediatamente dopo la posa della lamiera e il getto non dovendo essere disarmato può maturare senza interrompere i lavori, garantendo, tra l'altro, notevole rigidità alla struttura.

Possiamo dunque concludere che una buona progettazione urbana e architettonica, innovativa dal punto di vista tecnologico e sensibile alle tematiche energetiche, oltre che solida nel suo assetto strutturale, non può che divenire una tipologia rappresentativa e un modello da seguire per le costruzioni future nell'ottica di uno sviluppo umano sostenibile.



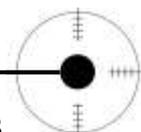
## **BIBLIOGRAFIA**

### **Bibliografia**

- Alessandro Martelli, Umberto Sannino, et al. (2008). "Moderni Sistemi e Tecnologie Antisismici. Una Guida per il Progettista." 21mo Secolo, R. Irsuti, ed., Milano.
- Anzalone, M. "Urbanistica dell'Emergenza\_progettare la flessibilità degli spazi urbani." Alinea Editrice.
- Ballio, G. e C. Bernuzzi (2004). "Progettare costruzioni in acciaio." Ulrico Hoepli Editore, Milano.
- Ballio, G. e F. M. Mazzolani (1982). "Strutture in acciaio.", Mondadori, Milano.
- Bernardi, M. R., U. Dante, et al. "Breve storia dell'Aquila." Editore Pacini.
- Bernuzzi, C. e F. Mazzolani (2005). "Edifici in acciaio." Ulrico Hoepli Editore, Milano.
- Botta, M. e P. Crepet (2007). "Dove abitano le emozioni." Einaudi.
- Botta, M. e P. Crepet (2007). "Dove abitano le emozioni." Einaudi, Torino.
- Butera, F. M. (1995). "Architettura e ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici." Etas Libri, Milano.
- Cecchini, M. e L. Lopez "L'Aquila città del novantanove." Edizioni Laterza.
- Chopra, A. k. "Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering."
- Clementi, A. "Storia dell'Aquila dalle origini alla prima guerra mondiale." Edizioni Laterza.
- Clementi, A. e E. Piroddi "Le città nella storia d'Italia." Edizioni Laterza.
- Di Sopra, L. (1998). "Il modello Friuli. Gestione dell'emergenza e ricostruzione del Friuli dopo il sisma del 1976." Amministrazione provinciale di Udine.
- Gottfried, A. e M. L. Trani (2002). "Manuale di sicurezza nei cantieri edili." Ulrico Hoepli Editore, Milano.
- Imperadori, M. (2006). "La progettazione con tecnologia stratificata a secco." Il Sole 24 Ore, Milano.
- Imperadori, M. (2010). "La meccanica dell'architettura, la progettazione con tecnologia stratificata a secco .". Il Sole 24 Ore, Milano.
- Jacobs, J. (2007). "Vita e morte delle grandi città." Einaudi.
- Mantini, P. L. "Il diritto pubblico dell'emergenza e della ricostruzione in Abruzzo." Cedam.
- Mauro Dolce, Alessandro Martelli, et al. (2005). "Proteggersi dal Terremoto: le Moderne Tecnologie e Metodologie e la Nuova Normativa Sismica." 21mo Secolo, Milano.
- Mauro Dolce, Alessandro Martelli, et al. (2006). "Moderni Metodi di Protezione dagli Effetti dei Terremoti." 21mo Secolo, Milano.
- Palazzo, D. "Urban Design\_Un processo per la progettazione." Mondadori Università.
- Piano, R. (1997). "Giornale di bordo." Passigli

## **BIBLIOGRAFIA**

- Scudo, G. (2007). "Edilizia residenziale pubblica e sostenibilità, L'abitazione sociale." Unicopli
- Toniolo, G. (1979). "Appunti di tecnica delle costruzioni: elementi strutturali in acciaio." Masson, Milano.
- Toniolo, G. (2000). "Cemento armato: calcolo agli stati limite, Vol. 2B." Zanichelli, Bologna.
- Toniolo, G. (2002). "Calcolo strutturale: i telai." Zanichelli, Bologna.
- Touring Club Italiano "L'Italia – Abruzzo e Molise." Editore Touring.
- Trivelli, A. "Edilizia residenziale innovativa\_Progettare l'Housing contemporaneo." Maggioli editore.
- Umberto Sannino, Horea Sandi, et al. "Modern Systems for Mitigation of Seismic Action – Proceedings of the Symposium Held at Bucharest, Rumania, on October 31, 2008." AGIR Publishing House, Bucarest.
- Zambelli, E., P. Vanoncini, et al. (2001). "Costruzione stratificata a secco: tecnologie edilizie innovative e metodi per la gestione del progetto." Maggioli Editore, Milano.



**Siti Internet**

<http://www.europaconcorsi.com>  
<http://www.theoptimizer.it/velux>  
[http://www.cetemps.aquila.infn.it/tempaq/dati\\_storici.html](http://www.cetemps.aquila.infn.it/tempaq/dati_storici.html)  
<http://www.knauf.it>  
<http://www.protezionecivile.gov.it>  
<http://www.comuni-italiani.it>  
<http://www.comune.l'aquila.it>  
<http://www.flickr.com>  
<http://www.oppo.it>  
[http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/software/programmi\\_studenti.html](http://dicata.ing.unibs.it/gelfi/software/programmi_studenti.html)  
<http://www.anit.it>  
<http://www.regione.abruzzo.it>  
<http://www.artaabruzzo.it>  
<http://www.agenziacasaclima.it>  
<http://www.unioncamereabruzzo.it>  
<http://www.ilcapoluogo.it>  
<http://www.provinciadellaquila.it>  
<http://www.ingv.it/>  
<http://www.ilcentro.gelocal.it/laquila>  
<http://www.ilcapoluogo.com/News/Attualita>  
<http://laquilarinasce.org>  
<http://www.istat.it>  
<http://zonesismiche.mi.ingv.it>  
<http://ilmiopaesealtrove.blogspot.com/2009/04/terremoto-laquila-falsato-il-rischio.html>  
[http://www.centrocberuce.it/i\\_compiti.htm](http://www.centrocberuce.it/i_compiti.htm)

### **Normative Nazionali ed Europee**

#### *Progettazione urbanistica*

D.M. 2/04/1968 n. 1444, Limiti inderogabili di densità edilizia, di altezza, di distanza tra i fabbricati e i rapporti massimi tra spazi destinati agli insediamenti residenziali produttivi e spazi pubblici o riservate alle attività collettive, al verde pubblico o a parcheggi da osservare ai fini della formazione dei nuovi strumenti urbanistici o della revisione di quelli esistenti, ai sensi dell'art. 17 della legge 6 agosto 1967 n. 765.

#### *Progettazione tecnologica e impiantistica*

D.M. 26/06/2009, Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

D. Lgs. 29/12/2006 n. 311, Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

UNI 10350:1999, Componenti edilizi e strutture edilizie, prestazioni igrotermiche, stima della temperatura superficiale interna per evitare umidità critica superficiale e valutazione del rischio di condensazione interstiziale.

UNI 10351:1994, Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore.

UNI EN ISO 6946, Componenti ed elementi per edilizia, resistenza termica e trasmittanza termica, metodo di calcolo.

UNI 8290-2:1983, Edilizia residenziale, sistema tecnologico, analisi dei requisiti.

UNI 13947:2007, Prestazione termica delle facciate continue, calcolo della trasmittanza termica

UNI 10349:1995, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici, dati climatici.

UNI TS 11300-Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

UNI TS 11300-Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

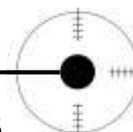
#### *Illuminotecnica*

UNI 10840: Luce e illuminazione-Locali scolastici-criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale.

UNI 10380: Illuminazione residenze

#### *Calcolo strutturale*

D.M. 14/01/2008, Norme tecniche per le costruzioni.



## ***NORMATIVE NAZIONALI ED EUROPEE***

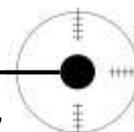
Circolare ministeriale 2 Febbraio 2009 n. 617, Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

EN 1993-1-1: Eurocodice 3: Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-1. Regole generali e regole per gli edifici, CEN, European Committee for Standardization.

EN 1998-1: Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici, CEN, European Committee for Standardization.

### Indice delle figure

Fig.1.1 Localizzazione territoriale .....	7
Fig.1.2 Assetto territoriale in epoca romana che si stabilizza con la realizzazione della Claudia Nova, un nuovo asse viario territoriale. Il sistema insediativo si riorganizza polarizzandosi attorno all'asse e ai centri principali lasciando sopravvivere comunque la rete di viabilità minore precedente.....	8
Fig.1.3 Fenomeno dell'Incastellamento in epoca normanna. Il sistema dei feudi e suffeudi si organizza in aderenza alle strutture territoriali urbane ma con anche significative irradiazioni in modo da poter superare le barriere montuose principali.....	9
Fig.1.4 Sito su cui sorge la città, la posizione dominante che controlla l'unica strettoia naturale della vallata, l'abbondanza di acque sorgive, la confluenza dei percorsi trasversali e longitudinali legati anche alla pastorizia costituiscono importanti fattori di localizzazione per la costruzione della città. ....	10
Fig.1.5 Elementi costitutivi della città organica. La città organica (sino al 1259) è riconoscibile nelle connessioni tra le quali emerge la piazza, secondo percorsi che sfruttano l'andamento del terreno. I tracciati in quota e di compluvio determinano una prima trama urbana tipicamente naturalistica ed ancora oggi riconoscibile. ....	11
Fig.1.6 La grande maglia della lottizzazione angioina (1266-1315) si sovrappone alla traccia della città organica senza cancellarla, proponendo però nuove assialità che saranno dominanti rispetto a tutte le altre successive fasi dello sviluppo urbano. Risulta evidente che nella nuova ordinatura la piazza assume un ruolo marginale.....	11
Fig.1.7 Suddivisione della città dell'Aquila in quartieri. In particolare si mette in evidenza la suddivisione in Locali Inities nella prima immagine, la suddivisione in Locali Extra nella seconda immagine e l'ultima suddivisione in Quartieri nella terza immagine.....	12
Fig.1.8 Sezione storica al 1315; in evidenza le opere di urbanizzazione (acquedotto, fontane, cloaca, parziale selciatura della rete viaria) e quelle di difesa (le mura), che costituiscono il supporto di un'edilizia ancora di modesta consistenza.....	13
Fig.1.9 Pianta dell'Aquila del Fonticulanò del 1575, la prima rappresentazione "topografica della città, supporto tecnico ideologico delle successive rappresentazioni, fino a quella del Vandi nel 1753. Viene qui riportata la rete stradale e delle piazze mentre per la parte edificata si limita ad indicare l'occupazione del suolo. Tale rappresentazione, infatti, si incentra principalmente sulla rappresentazione degli edifici ecclesiastici presenti nella città al tempo. ....	14
Fig.1.10 Spostamenti e direzioni delle faglie attive nell'area aquilana. La direzione dell'allineamento della sismicità è consistente con la direzione delle principali faglie note nella zona. ....	17

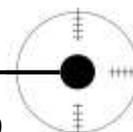


## INDICE DELLE FIGURE

Fig.1.11 Mappa delle faglie attive nell'area aquilana. La direzione dell'allineamento della sismicità è consistente con la direzione delle principali faglie note nella zona.....	18
Fig.1.12 Tabella riportante la storia sismica dell'Aquila .....	19
Fig.1.13 Rappresentazione della sismicità storica dell'aquilano a partire dal 1300 .....	20
Fig.1.14 Stralcio del centro storico dell'Aquila con evidenziate le zone danneggiate dal sisma del 1703 .....	22
Fig.1.15 Vista Gran Sasso e Maiella .....	23
Fig.1.16 Il capoluogo de L'Aquila (fonte: elaborazione su cartografia IGM del 1954) .....	24
Fig.1.17 Sistema insediativo previsto dal Piano Regolatore Generale del 1975	26
Fig.1.18 Evoluzione del sistema insediativo aquilano dal 1954 al 2004 (fonte: elaborazione cartografica in ambiente Gis sulla base della carta IGM 1954 e della CTR 2004). .....	26
Fig.1.19 Piante della strutturazione urbana de L'Aquila, Paganica, Bazzano, San Gregorio, Navelli e Onna .....	29
Fig.2.1 Modello Nazionale adottato in caso di emergenza .....	34
Fig.2.2 Modello Nazionale in caso di emergenza .....	35
Fig.2.3 Funzioni e Responsabilità delle Istituzioni nazionali.....	36
Fig.2.4 Catena di controllo attivata in caso di emergenza .....	37
Fig.2.5 Esigenze della popolazione sinistrata .....	39
Fig.3.1 Prima classificazione dei comuni italiani.....	49
.....	49
Fig.3.2 Classificazione sismica vigente dal 1984 .....	49
Fig.3.3 Zone sismiche aggiornate dall'OPCM 3274/2003 e recepite dalle Regioni .....	49
.....	49
Fig.3.4 Mappa di pericolosità sismica MPS04. Accelerazione massima attesa su suolo rigido con una probabilità del 10% in 50 anni .....	49
Fig.3.5 Verifica di agibilità. Numero di edifici inagibili in seguito agli eventi del 6 aprile 2009 (fonte: elaborazione dei dati della Protezione Civile_Gis) .....	51
Fig.3.6 Confronto tra il prima e il dopo sisma in Friuli.....	56
Fig.3.7 Piazza Duomo, L'Aquila prima del sisma ed esempio di New Town (Coppito).....	56
Fig.3.8 Densità abitativa prima del terremoto .....	58
Fig.3.9 Densità abitativa dopo il terremoto .....	59
Fig.4.1 Schema delle distanze di percorrenza .....	64
Tab.4.2 analisi della percentuale della popolazione divisa per fasce d'età .....	65
Fig.4.3 Assi e direttrici principali.....	70
Fig.4.4 Asse storico ed edifici di rilevanza storica .....	71
Fig.4.5 Evoluzione della città nei secoli e coerenze morfologiche .....	72
Fig.4.6 Esempio di viale alberato tra Porta Napoli Est e Porta Napoli Ovest ....	73
Fig.4.7 Aree Verdi.....	74
Fig.4.8 FDOM_Collocazione territoriale .....	75
Fig.4.9 FDOM_Qualità della vita .....	76

## INDICE DELLE FIGURE

Fig.4.10 FDOM_Popolazione e Occupazione .....	76
Fig.4.11 FDOM_Risorse storico culturali e ambientali .....	77
Fig.4.12 FDOM_Mobilità e Trasporti .....	77
Fig.4.13 FDOM_Industria e Artigianato .....	78
Fig.4.14 FDOM_Agricoltura e Agrindustria .....	79
Fig.4.15 FDOM_Turismo e Attrattività .....	80
Fig.4.16 Quadro generale PRG, '42 e successive modifiche .....	82
Fig.4.17 Area di progetto da PRG, '42 e successive modifiche .....	82
Fig.4.18 Area di progetto da PRG, '42 e successive modifiche .....	83
Fig.4.19 FDOM_Schema .....	85
Fig.4.20 Foto 1 .....	91
Fig.4.21 Foto 2 .....	91
Fig.4.22 Foto 3 .....	92
Fig.4.23 Foto 4 .....	92
Fig.4.24 Foto 5 .....	93
Fig.4.25 Foto 6 .....	93
Fig.4.26 Foto 7 .....	93
Fig.4.27 Foto 8 .....	94
Fig.4.28 Foto A .....	94
Fig.4.29 Foto B .....	94
Fig.4.30 Foto C .....	95
Fig.4.31 Foto D .....	95
Fig.4.32 Foto E .....	95
Fig.4.33 Foto F .....	95
Fig.5.1 Contorno area di progetto .....	97
Fig.5.2 Caratteristiche del contesto .....	98
Fig.5.3 Basilica di S.Maria di Collemaggio .....	99
Fig.5.4 Scuola dello Sport Coni Abruzzo .....	100
Fig.5.5 Borgo antico .....	101
Fig.5.6 Rapporti con il contesto .....	101
Fig.5.7 Modello adottato .....	103
Fig.5.8 Scansione dei macro distretti .....	104
Fig.5.9 Criterio progettuale .....	105
Fig.5.10 Accessibilità carrabile .....	107
Fig.5.11 Analisi dei servizi di quartiere .....	108
Fig.5.12 Concept 1_Funzioni .....	109
Fig.5.13 Schizzi di progetto .....	110
Fig.5.14 Concept 1_Edifici .....	111
Fig.5.15 Concept 3_Verde .....	112
Fig.5.16 Riferimento progettuale: Place D'Youville. Montreal, Canada .....	114
Fig.5.17 Riferimento progettuale: The beautiful Deichmann. Beer sheba,Israel .....	114
Fig.5.18 Concept 4_Sistema di piazze .....	115
Fig.5.19 Esempio di visibilità e controllo delle strade .....	118

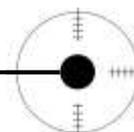


## INDICE DELLE FIGURE

Fig.5.20 Esempio di camminamenti porticati, L'Aquila .....	122
Fig.5.21 Esempio di un borgo medievale abruzzese .....	123
Fig.5.22 Pianta tipo edifici in linea .....	124
Fig.5.23 Il metodo .....	125
Fig.5.24 Esigenze sociali e multiscalarità dei requisiti .....	126
Fig.5.25 Esigenze economiche e multiscalarità dei requisiti .....	126
Fig.5.26 Esigenze ambientali e multiscalarità dei requisiti .....	127
Fig.6.1 Classi di flessibilità .....	131
Fig.6.2 UNI 8289 Edilizia, esigenze dell'utenza finale .....	133
Fig.6.3 Ergonomia_zona giorno_Trivelli&Associati .....	134
Fig.6.4 Ergonomia_zona giorno notte bagno_Trivelli&Associati .....	135
Fig.6.5 Superfici minime per le attività principali_Trivelli&Associati .....	136
Fig.6.6 Superfici minime per le attività principali_Trivelli&Associati .....	137
Fig.6.7 Adelaide Wharf, London .....	138
Fig.6.8 BedZED, London .....	139
Fig.6.9 Donnybrook Quarter, London .....	141
Fig.6.10 Casa 100K .....	142
Fig.6.11 Housing at Ortutxueta .....	143
Fig.6.12 Sonnenshiff, Friburgo .....	144
Fig.6.13 Sonnenshiff, Friburgo .....	146
Fig.6.15 Concept doppio affaccio e verde .....	153
Fig.6.16 Schema strutturale .....	154
Fig.6.17 Profili di utenza .....	156
Fig.6.18 Concept Architettonico .....	157
Tab.7.1 Dati climatici città de L'Aquila .....	160
Tab.7.2 Andamento delle temperature nella città da L'Aquila .....	162
Fig.7.3 Temperature massime e minime medie mensili nel 2008 .....	163
Fig.7.4 Confronto tra le escursioni termiche massime e minime mensili nel 2008 .....	163
Fig.7.5 Confronto tra le temperature medie massime negli anni 2004, 2006, 2008 .....	164
Fig.7.6 Confronto tra le temperature medie minime negli anni 2004, 2006, 2008 .....	164
Fig.7.7 Confronto tra le temperature medie massime del 2008 e quelle tra il 1968 e il 2005 .....	165
Fig.7.8 Confronto tra le temperature medie minime del 2008 e quelle tra il 1968 e il 2005 .....	165
Fig.7.9 Confronto tra le altezze mensili medie di precipitazione nel 2010 .....	166
Fig.7.10 Confronto tra le altezze mensili medie di precipitazione nel 2010 e quelle del periodo tra il 1961 e il 1990 .....	167
Tab.7.11 Dati sulla variazione oraria dell'umidità relativa media mensile per l'anno 2010 .....	168
Fig.7.12 Valori di umidità relativa giornaliera per i primi sei mesi del 2010 .....	169
Fig.7.13 Valori di umidità relativa giornaliera per i secondi sei mesi del 2010 .....	169
Tab.7.14 Dati relativi alla velocità mensile del vento .....	170

## INDICE DELLE FIGURE

Fig.7.15 Velocità media mensile del vento .....	170
Tab.7.16 Dati relativi ai valori della radiazione solare diretta media oraria....	172
Tab.7.17 Dati relativi ai valori della radiazione solare diretta media mensile	172
Fig.8.1 Alloggi popolari a Montpellier di Edouard Francois & Associès. Dall'alto, vista parziale della facciata e schemi delle fasi di esecuzione dei gabbioni ....	184
.....	186
Fig.8.2 Casa privata a Stadtbergen di Titus Bernhard. Dall'alto, vista del fronte principale e immagini delle fasi esecutive dell'involucro in gabbioni .....	186
Tab.9.1 Energia dispersa per trasmissione dall'involucro edilizio (kWh) .....	201
Tab.9.2. Valori relativi all' area lorda e alla trasmittanza termica di ciascun componente uniforme della struttura che separa la zona interna da quella circostante e valori della trasmittanza termica lineica di ogni ponte termico, basata sulle dimensioni esterne e alla relativa lunghezza caratteristica.....	203
Tab.9.3 Valore mensile del coefficiente di scambio termico Ht .....	203
Tab.9.4 Coefficiente di scambio termico per ventilazione, HV,S, tra la zona climatizzata o a temperatura controllata e lo spazio soleggiato .....	205
Tab.9.5 Coefficiente di scambio termico per trasmissione tra interno e spazio soleggiato Hi.....	205
Tab.9.6 Coefficiente di scambio termico per trasmissione tra spazio soleggiato ed esterno .....	205
Tab.9.7 Coefficiente di scambio termico per trasmissione tra la zona interna e l'ambiente esterno attraverso la zona soleggiata.....	205
Tab.9.8 Valori mensili di dispersione per trasmissione attraverso serre solari	206
Tab.9.9 Valore del coefficiente di scambio termico per ventilazione HV.....	207
Tav.9.10 Valori mensili di energia termica di riferimento scambiata convenzionalmente per ventilazione naturale, aerazione e infiltrazioni QV ..	207
Tab.9.11 Valori globali degli apporti interni, Qa (fonte: UNI TS 11300-1:2008) .....	208
.....	208
Tab.9.12 Valori di Qa per tipologia abitativa .....	208
Tab.9.13 Fattore di riduzione fshd per le schermature mobili (Fonte: UNI TS 11300-1:2008) .....	210
Tab.9.14 Coefficienti correttivi Fgl per diverse tipologie di vetrate (Fonte:A.Roos et al. 2000).....	210
Tab.9.15 Valori convenzionali di $t_{e,B}$ , $\rho_{e,B}$ , $\alpha_{e,B}$ normali (Prospetto XXII UNI EN 13363- 1:2008) .....	211
Tab.9.16 Apporti solari attraverso superfici trasparenti del prospetto Sud....	212
Tab.9.17 Apporti solari attraverso superfici trasparenti del prospetto Nord .	212
Tab.9.18 Apporti solari attraverso superfici trasparenti del prospetto Est.....	213
Tab.9.19 Apporti solari attraverso superfici trasparenti della copertura.....	213
Tab.9.20 Valori mensili degli apporti solari attraverso le superfici trasparenti dell'intero edificio .....	214
Tab.9.21 Valori del fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente della parete opaca rivolta verso l'esterno, $\alpha$ , e coefficiente di	

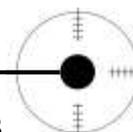


## INDICE DELLE FIGURE

riduzione che tiene conto dell'incidenza del flusso radiativo emesso dalla superficie verso la volta celeste, Fer (Prospetto XXIII UNI TS 11300.1:2008) ..	214
Tab.9.22 Apporti solari attraverso superfici opache del prospetto Sud .....	215
Tab.9.23 Apporti solari attraverso superfici opache del prospetto Nord .....	215
Tab.9.24 Apporti solari attraverso superfici opache del prospetto Est .....	216
Tab.9.25 Apporti solari attraverso superfici opache del prospetto Ovest .....	216
Tab.9.26 Apporti solari attraverso superfici opache della copertura .....	217
Tab.9.27 Valori mensili degli apporti solari attraverso superfici opache dell'intero edificio.....	217
Tab.9.28 Apporto solare indiretto attraverso al surriscaldamento degli spazi soleggiati.....	219
Tab.9.29 Apporto solare diretto dovuto al surriscaldamento degli spazi soleggiati.....	219
Tab.9.30 Calcolo del fattore di utilizzazione.....	221
Tab.9.31 Valore del fabbisogno di energia termica sensibile di riferimento per il riscaldamento invernale (senza considerare gli apporti delle serre solari) .....	222
Tab.9.32 Valore dell'indicatore di prestazione termica ETH.....	222
Tab.9.33 Calcolo del fattore di utilizzazione.....	223
Tab.9.34 Valore del fabbisogno di energia termica sensibile di riferimento per il riscaldamento invernale considerando gli apporti delle serre solari .....	223
Tab.9.35 Calcolo del fattore di utilizzazione.....	225
Tab.9.36 Valore del fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento estivo.....	225
Tab.9.37 Valore dell'indicatore di prestazione termica ETH.....	226
Tab.9.38 Calcolo della temperatura all'interno delle serre solari.....	227
Tab.9.39 Consumo medio degli elettrodomestici più comuni .....	229
Tab.9.40 Consumo annuo per l'illuminazione relativo all'unità da 42m <sup>2</sup> .....	230
Tab.9.41 Consumo annuo per l'illuminazione relativo all'unità da 73,6 m <sup>2</sup> ...	230
Tab.9.42 Fabbisogno annuale per elettrodomestici e illuminazione .....	230
Fig.9.43 Schema di funzionamento di VMC a doppio flusso con recuperatore di calore. ....	231
Tab.9.44 Calcolo del volume lordo per ogni piano.....	232
Tab.9.45 Calcolo della portata d'aria necessaria al ricambio dell'interno edificio .....	232
Fig.9.46 Scheda tecnica Zehnder ComfoAir 550.....	233
Fig.9.47 Scheda tecnica Zehnder ComfoAir 550.....	234
Fig.9.48 Scheda tecnica Zehnder ComfoAir 350.....	235
Fig.9.49 Scheda tecnica Zehnder ComfoAir 350.....	236
Tab.9.50 Unità servite da ComfoAir 550 .....	237
Tab.9.51 Unità servite da ComfoAir 350 .....	237
Tab.9.52 Consumo mensile e annuo ComfoAir 550 in kWh.....	237
Tab.9.53 Consumo mensile e annuo ComfoAir 350 in kWh.....	238
Tab.9.54 Calcolo del flusso termico disperso attraverso l'involucro (W).....	238
Tab.9.55 Calcolo del carico termico di picco invernale .....	239
Tab.9.56 Calcolo della potenza richiesta all'impianto per il riscaldamento.....	239

## INDICE DELLE FIGURE

Tab.9.57 Fabbisogno termico per la produzione di A.C.S. per l'unità da 73,6 m2 .....	239
Tab.9.58 Fabbisogno termico per la produzione di A.C.S. per l'unità da 42 m2 .....	240
Tab.9.59 Fabbisogno termico per la produzione di A.C.S. dell'intero edificio .....	240
Fig.9.60 Scheda tecnica Templari Polar8 .....	241
Tab.9.61 Calcolo dell'energia assorbita dalla pompa di calore (kWh).....	241
Tab.9.62 Confronto tra energia termica fornita e fabbisogno termico .....	242
Tab.9.63 Energia prodotta dall'impianto disposto sulla falda Sud .....	245
Tab.9.64 Energia prodotta dall'impianto disposto sulla falda orizzontale .....	245
Tab.9.65 Energia totale prodotta .....	245
Tab.9.66 Bilancio dei consumi energetici dell'edificio .....	246
Fig.10.1 Rappresentazione delle componenti della luce .....	249
Fig.10.2 FLD e sue componenti .....	250
Fig.10.3 Andamento del FLD in ambienti con aperture verticali ed orizzontali .....	250
Fig.10.4 Andamento del FLD in ambienti con aperture verticali ed orizzontali .....	251
Fig.10.5 Localizzazione in prospetto delle unità prese in esame .....	256
Fig.10.6 Appartamento 1 – valori del fattore di luce diurna .....	256
Fig.10.7 Appartamento 2 – valori del fattore di luce diurna .....	257
Fig.10.8 Sala lettura – valori del fattore di luce diurna.....	257
Fig.11.1 Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano.....	276
Fig.11.2 Classificazione sismica del territorio italiano .....	277
Fig.11.3 Quadro schematico delle principali linee di faglia che attraversano il Mediterraneo e che delimitano la placca africana e quella euroasiatica.....	279
Fig.11.4 Numero di vittime attese sia in aree italiane ad elevata pericolosità sismica, che, a parità di popolazione colpita, in Giappone e a livello mondiale .....	280
Fig.11.5 Quadro schematico delle tre componenti che determinano il rischio sismico .....	281
Fig.11.6 Faglia di 40 km che ha distrutto L'Aquila .....	282
Fig.11.7 Mappa di scuotimento: isosismiche riferite alla scala Mercalli .....	282
Fig.11.8 Report sequenza sismica, INGV .....	283
Fig.11.9 Report Palazzo del Governo e Cupola della Chiesa delle Anime Sante .....	284
Fig.11.10 La Casa dello Studente.....	284
Fig.11.11 Report fotografico realizzato durante il sopralluogo promosso dal Politecnico di Milano, 1 Marzo 2010, Zona rossa, L'Aquila .....	286
Fig.11.12 Edifici in acciaio dopo il sisma, L'Aquila.....	287
Fig.11.13 Livelli prestazionali di progetto_NTC'08.....	289
Fig.11.14 Schematizzazione del legame costitutivo dell'acciaio.....	290
Tab.11.15 Vita nominale in relazione al tipo di edificio.....	292
Tab.11.16 Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici .....	300

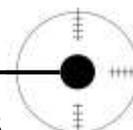


## INDICE DELLE FIGURE

Tab.11.17 Valori dei parametri $v_{b,0}$ , $a_0$ , $k_a$ .....	302
Tab.11.18 Classi di rugosità del terreno .....	303
Tab.11.19 Definizione delle categorie di esposizione .....	304
Tab.11.20 Parametri per la definizione del coeff. di esposizione .....	304
Tab.11.21 Andamento del coefficiente di esposizione con la quota .....	305
Fig.11.22 Coeff. di forma per gli edifici.....	307
Fig.11.23 Schema strutturale semplificato: distribuzione della pressione del vento in condizione 1.....	310
Fig.11.24 Schema strutturale semplificato: distribuzione della pressione del vento in condizione 3.....	310
Fig.11.25 Individuazione delle aree di influenza della pressione del vento.....	311
Fig.11.27 Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione .....	313
Fig. 11.28 Coefficienti di forma per le coperture .....	314
Tab.11.29 Valori del coefficiente di forma .....	314
Fig.11.30 Condizione di carico per copertura a una falda .....	315
Fig.11.31 Coefficienti di forma in prossimità di parapetti e pareti verticali.....	316
Fig.11.32 Carico da neve in copertura a due falde .....	317
Fig.11.33 Classificazione dei suoli in base alla $V_{s,30}$ .....	320
Fig.11.34 Categorie topografiche .....	321
Fig.11.37 Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLO .....	331
Fig.11.38 Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLD .....	332
Fig.11.39 Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLV .....	333
Fig.11.40 Spettri di risposta (componenti orizzontali e verticali) per lo stato limite: SLC .....	334
Fig.11.41 Schematizzazione del sistema edificio e delle forze orizzontali sismiche agenti sui vari impalcati .....	348
Fig. 11.42 Area di influenza della trave secondaria soggetta a verifica .....	359
Fig.11.43 Profilo soggetto ad instabilità flesso-torsionale .....	374
Fig.11.44 Determinazione della curva di instabilità .....	375
Fig.11.45 Determinazione del fattore di imperfezione .....	375
Fig.11.46 Area di influenza della trave primaria soggetta a verifica .....	380
Tab.11.47 Valori del fattore di imperfezione $\alpha$ .....	397
Fig.11.48 Diagramma dei carichi agenti .....	399
Fig.11.49 Deformata qualitativa .....	399
Fig.11.50 Diagramma dei carichi agenti .....	400
Fig.11.51 Diagramma dell'azione flettente .....	400
Fig.11.53 Scheda tecnica profilo a L 60x60x6 .....	402
Fig.11.54 Coefficienti di interazione per la verifica di stabilità a pressoflessione di elementi con modesta deformabilità torsionale.....	403
Fig.11.55 Prescrizioni sulla conformità di bulloni per giunzioni ad attrito.....	405
Fig.11.56 Tensioni di snervamento $f_{yb}$ e di rottura $f_{tb}$ di bulloni di diversa classe.....	405

## INDICE DELLE FIGURE

Fig.11.57 Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni .....	406
Fig.11.58 Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate .....	406
Fig.11.59 Disposizione dei fori per la realizzazione di unioni bullonate o chiodate.....	407
Fig.11.60 Unione bullonata trave primaria-secondaria .....	407
Fig.11.61 Unione bullonata trave primaria-pilastro.....	413
Fig.11.62 Eccentricità: Baricento delle masse impalcato 2 e baricentro delle rigidzze .....	417
Fig.11.63 Eccentricità: Baricento delle masse impalcato 3 e baricentro delle rigidzze .....	417
Fig.11.64 Eccentricità: Baricento delle masse impalcato 4 e baricentro delle rigidzze .....	417
Fig.11.65 Eccentricità: Baricento delle masse impalcato 2 e baricentro delle rigidzze .....	418
Fig.11.66 Eccentricità: Baricento delle masse impalcato 3 e baricentro delle rigidzze .....	418
Fig.11.67 Eccentricità: Baricento delle masse impalcato 4 e baricentro delle rigidzze .....	418
Fig.11.68 Andamento qualitativo dell'azione flettente .....	427
Fig.11.70 Andamento qualitativo degli sforzi .....	427
Fig.11.71 Carpenteria: trave rovescia di fondazione .....	428
Fig.12.1 Individuazione area di cantiere, viabilità e accessi .....	439



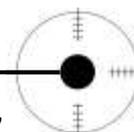
**Indice delle Schede**

Scheda 1A\_Assergi  
Scheda 1B\_Assergi  
Scheda 1C\_Assergi  
Scheda 2A\_Bazzano  
Scheda 2B\_Bazzano  
Scheda 2C\_Bazzano  
Scheda 3A\_Camarda  
Scheda 3B\_Camarda  
Scheda 3C\_Camarda  
Scheda 4A\_Collebrincioni  
Scheda 4B\_Collebrincioni  
Scheda 4C\_Collebrincioni  
Scheda 5A\_Coppito  
Scheda 5B\_Coppito  
Scheda 5C\_Coppito  
Scheda 5D\_Coppito  
Scheda 6A\_Cese  
Scheda 6B\_Cese  
Scheda 7A\_Paganica  
Scheda 7B\_Paganica  
Scheda 7C\_Paganica  
Scheda 7D\_Paganica  
Scheda 8A\_Pagliare  
Scheda 8B\_Pagliare  
Scheda 8C\_Pagliare  
Scheda 9A\_Roio  
Scheda 9B\_Roio  
Scheda 9C\_Roio  
Scheda 9D\_Roio  
Scheda 10A\_S.Antonio  
Scheda 10B\_S.Antonio  
Scheda 10C\_S.Antonio  
Scheda 11A\_Grignano  
Scheda 11B\_Grignano  
Scheda 11C\_Grignano  
Scheda 12A\_S.Elia  
Scheda 12B\_S.Elia  
Scheda 13A\_Tempera  
Scheda 13B\_Tempera  
Scheda 13C\_Tempera

## INDICE DELLE TAVOLE

### Indice delle Tavole

Tav. 4.1 Sistema dei servizi diffusi	
Tav. 4.2 Sistema dei servizi principali	
Tav. 4.3 Criticità New-Town	
Tav. 4.5 Analisi del contesto	1:2000
Tav. 4.6 Carta qualitativa	1:10000
Tav. 4.7 Rilievo fotografico	
Tav. 5.1 Scansione grande città	1:5000
Tav. 5.2 Verde di progetto	1:10000
Tav. 5.3 Sezioni ambientali	1:5000
Tav. 5.4 Concept	1:5000
Tav. 5.5 MP	1:1600
Tav. 5.6 Biblio-Cappella-Mercato	
Tav. 5.7 Edificio polo sportivo	
Tav. 5.8 Edificio servizi	
Tav. 6.1 SOCIAL_pianta pt	1:100
Tav. 6.2 SOCIAL_pianta p1	1:100
Tav. 6.3 SOCIAL_pianta p2	1:100
Tav. 6.4 SOCIAL_pianta p3	1:100
Tav. 6.5 SOCIAL_copertura	1:100
Tav. 6.6 SOCIAL_prospetto sud	1:100
Tav. 6.7 SOCIAL_prospetto nord	1:100
Tav. 6.8 SOCIAL_prospetti est ovest	1:100
Tav. 6.9 PRIVATA_pianta pt	1:100
Tav.6.10 PRIVATA_pianta p1	1:100
Tav.6.11 PRIVATA_pianta p2	1:100
Tav.6.12 PRIVATA_pianta p3	1:100
Tav.6.13 PRIVATA_pianta copertura	1:100
Tav.6.14 PRIVATA_prospetto Sud	1:100
Tav.6.15 PRIVATA_prospetto Nord	1:100
Tav.6.16 PRIVATA_prospetti est ovest	1:100
Tav.6.17_ Render	
Tav.8.1_Comportamento energetico estivo	
Tav.8.2_Comportamento energetico invernale	
Tav.8.3_SOCIAL_sezione	1:50
Tav.8.4_NV1	1:10
Tav.8.5_NV2	1:10
Tav.8.6_NV3	1:10
Tav.8.7_NV4	1:10
Tav.8.8_NV5	1:10



## **INDICE DELLE TAVOLE**

Tav.8.9_NV6	1:10
Tav.8.10_NV7	1:10
Tav.8.11_NV8	1:10
Tav.8.12_PRIVATO_sezione	1:50
Tav.8.13_NV9	1:10
Tav.8.14_NV10	1:10
Tav.8.15_NV11	1:10
Tav.8.16 Blow up facciata nord	1:10
Tav.8.17 Blow up facciata sud	1:10
Tav. 9.1_Sezione impiantistica	
Tav. 11.1 Pianta strutturale_fondazioni	1:100
Tav. 11.2 Pianta strutturale_impalcato	1 1:100
Tav. 11.3 Pianta strutturale_impalcato 2	1:100
Tav. 11.4 Pianta strutturale_impalcato 3	1:100
Tav. 11.5 Pianta strutturale_impalcato 4	1:100
Tav.12.1_Layout generale di cantiere	
Tav.12.2_Layout scavi	1:100
Tav.12.3_Layout fondazioni	1:100
Tav.12.4_Layout struttura	1:100
Tav.12.5_Gantt	

### **Ringraziamenti**

Ringraziamo tutti i professori che nel corso di questi anni di studio ci hanno guidato nell'apprendimento delle diverse discipline studiate. In particolare i nostri ringraziamenti vanno a coloro che ci hanno aiutato più da vicino nello sviluppo della tesi: il nostro relatore, Prof. Massimo Tadi che con la sua energia e competenza è stato fondamentale nello spronarci e nell'indirizzare nella direzione giusta i nostri sforzi, nel perseguire i nostri obiettivi, aiutandoci ad acquisire un metodo nella composizione architettonica dalla scala urbana fino a quella di dettaglio. Il Prof. Danilo Palazzo che nel corso di Progettazione Urbana ci ha trasmesso la passione verso la sua disciplina e l'importanza di una progettazione integrata ad ampia scala, motore della scelta del nostro tema di tesi. L'Arch. M. Camplani, per la sua pazienza e per averci guidato a muovere i primi passi nella progettazione, dispensandoci preziosi consigli.

Il Prof. G. Masera per la sua simpatia, concretezza ed esperienza, per averci aiutato a porci importanti interrogativi, e indirizzato nella risoluzione dei problemi tecnologici.

Il Prof. M. Colombo per le consulenze riguardanti il calcolo strutturale in generale e per aver risposto sempre con grande serietà a dubbi e domande inerenti la progettazione antisismica, uno degli approfondimenti di tesi.

