

Investimenti a favore della crescita e  
dell'occupazione FESR 2014-2020

Investitionen in Wachstum und Beschäftigung  
EFRE 2014-2020

# FESR LEGNATIVO

## REPORT Milestone 4.3 Specifiche tecnologiche e prestazionali

Partner | Projektpartner

**eurac**  
research

 **Fraunhofer**  
ITALIA

**ATRIUM**

Contatto | Kontakte: Riccardo Pinotti || [riccardo.pinotti@eurac.edu](mailto:riccardo.pinotti@eurac.edu)

Contatto | Kontakte: Roberto Lollini || [roberto.lollini@eurac.edu](mailto:roberto.lollini@eurac.edu)

# Contents

1. Introduzione.....	2
2. Specifiche tecnologiche e prestazionali.....	2
2.1. Struttura pannelli.....	2
3. Fisica dei materiali .....	4
3.1. Descrizione del modello.....	4
3.2. Proprietà dei materiali .....	4
3.3. Condizioni al contorno .....	5
3.4. Valutazione sulla presenza di condensa .....	6
3.5. Moisture content e RH 5 anni .....	6
3.6. Dettaglio T e RH di un anno .....	7
4. Ottimizzazione sulle integrazioni impiantistiche .....	8

# 1. Introduzione

In base alle ricerche condotte in letteratura e ai riferimenti individuati nel settore del risanamento e operazioni di retrofit di facciate esistenti con moduli prefabbricati, sono state individuate alcune tipologie di intervento più frequenti nel settore. Le più ricorrenti identificate nel Report 3.2, sono:

- Pannelli a telaio in legno con isolamento a bassa densità interposto tra i montanti
- Stratigrafia composta da pannelli di isolante a diversa densità
- Pannello CLT a tre strati

Successivamente queste tre tecnologie e strutture di pannello sono state valutate, individuando vantaggi e svantaggi delle singole tecnologie, e sintetizzate in una matrice che verrà presentata e descritta nel Report 5.1.

La matrice, che mette a confronto le tipologie di intervento con le caratteristiche morfologiche degli edifici oggetto di studio, ha guidato nel progetto LaegnAttivo nell'individuare la tecnologia più idonea per il contesto del parco edilizio studiato.

Alcuni tipi di struttura di pannello sono stati esclusi dal progetto a causa delle loro caratteristiche non idonee al progetto e identificate nella matrice del Report 5.1.

Un primo esempio è la struttura in montanti e traversi. Valutando i risultati della matrice pro-contro, è stata scartata, pur essendo la soluzione più utilizzata in operazioni di retrofit simili al progetto LegnAttivo. Sia in fase di prefabbricazione che in fase di installazione, con conseguenti adattamenti in cantiere per ovviare alle intolleranze che si possono riscontrare, risulta essere un tipo di pannello poco flessibile e dinamico.

Per quanto riguarda la soluzione in pannelli CLT è stata valutata, fin da un primo momento, come problematica in un contesto come quello oggetto di studio del progetto LegnAttivo, trattandosi di edifici risalenti agli anni 50-70 con stato strutturale e conservativo non sempre ottimale. Il peso di un rivestimento in CLT potrebbe, quindi, risultare eccessivo per un'operazione di risanamento delle facciate degli edifici di riferimento.

Una struttura stratificata a layer (seconda ipotesi) risulta essere la soluzione più flessibile in caso di prefabbricazione di pannelli di ridotte dimensioni e in caso di modifiche a posteriori in fase di cantiere.

## 2. Specifiche tecnologiche e prestazionali

### 2.1. Struttura pannelli

Nell'opzione del pannello con struttura in multistrato, per il progetto LegnAttivo, sono state valutate diverse ipotesi in base alle performance energetiche e ad una stima economica del costo al metro quadro di ogni pannello, grazie alla collaborazione dello studio Atrium:

- Una prima ipotesi (Figure 1), comune ad altri progetti simili, prevede uno strato di interfaccia di isolamento a bassa densità. Tale strato ha la funzione principale di compensare i difetti di non

complanarità presenti nella superficie esistente. Il modulo è irrigidito da un pannello in OSB e completato dallo strato isolante a media densità con finitura esterna in intonaco.

- Una seconda ipotesi (Figure 2) prevede stessa stratigrafia, ma con parete ventilata e cladding esterno.
- La terza ipotesi (Figure 3) introduce, al posto dell'OSB come strato irrigidente, un pannello LVL. Il microlamellare presenta caratteristiche superiori al CLT a parità di spessore. Questa soluzione permette un buon irrigidimento del modulo LegnAttivo, aumentando le proprietà meccaniche del pannello e limitandone lo spessore. Questa variante prevede l'assenza dello strato di adattamento, sostituito da un'intercapedine di aria ferma che si interfaccia con la superficie esistente.
- La quarta e ultima variante studiata (Figure 4) riprende le caratteristiche della terza, con il pannello irrigidente in LVL, reintroducendo lo strato isolante di adattamento. Questa ultima soluzione, selezionata per le sue proprietà tecnologiche ed il costo, è stata ulteriormente studiata da un punto di vista fisico del comportamento termo-igrometrico dei materiali.

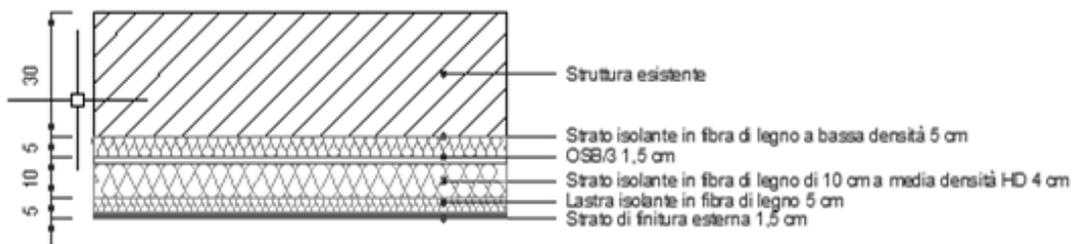


Figure 1 Pannello con strato irrigidente in OSB



Figure 2 Pannello con strato irrigidente in OSB e facciata ventilata

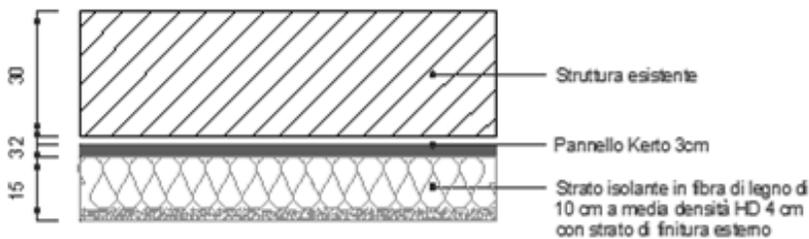


Figure 3 Pannello con strato irrigidente in LVL

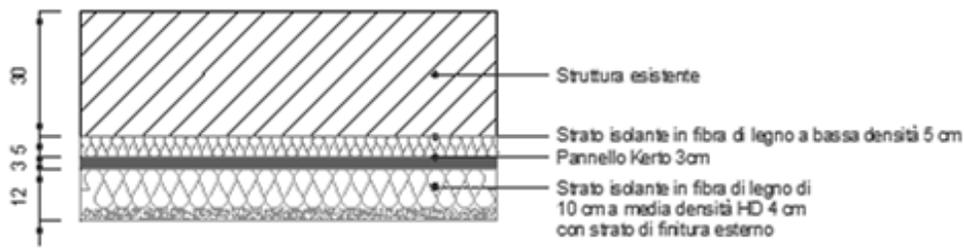


Figure 4 Pannello con strato irrigidente in LVL e strato di adattamento

## 3. Fisica dei materiali

### 3.1. Descrizione del modello

Dopo aver valutato le stratigrafie presentate sopra ed averne selezionata una con le caratteristiche tecnologiche desiderate, si è deciso di sviluppare un modello termo-igrometrico al fine di valutarne in modo preliminare le performance e scongiurare eventuali problemi di condensa all'interno del modulo. Quindi, il pannello selezionato è stato riportato in un modello al fine di simulare in più anni il suo comportamento termo-igrometrico. Per le simulazioni si è utilizzato il software Delphin 6 (Figura 1).

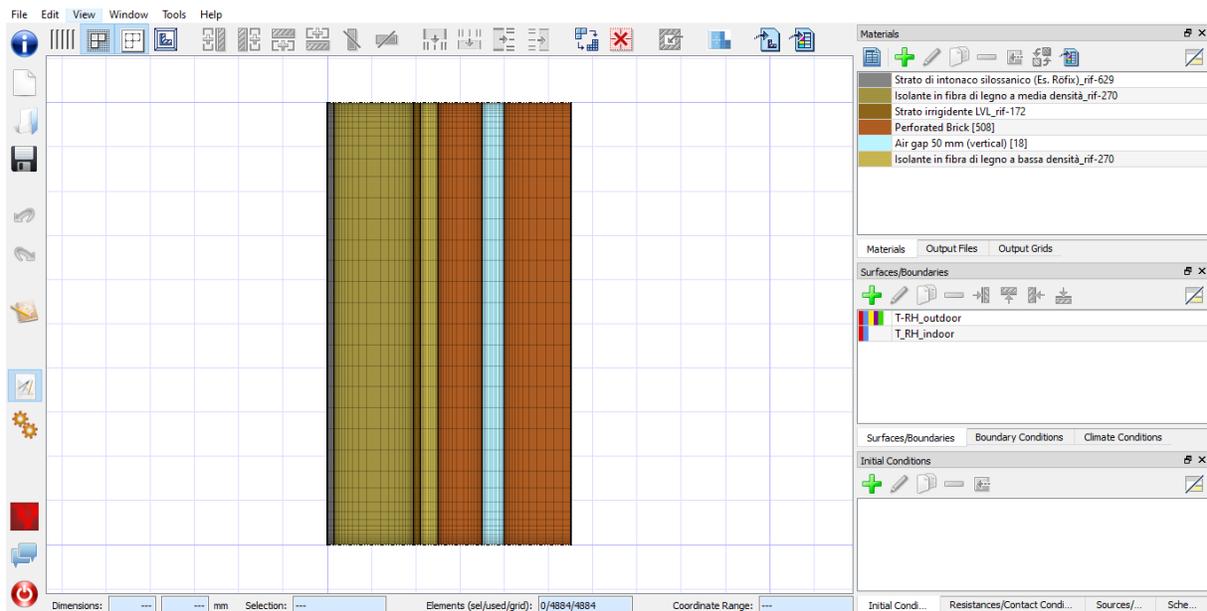


Figura 1 Struttura pannello in software Delphin

### 3.2. Proprietà dei materiali

Per la simulazione del modello energetico, sono stati riportati i principali strati del pannello selezionato per il progetto LegnAttivo: uno strato di adattamento con isolamento a bassa densità, un secondo strato irrigidente in microlamellare, il terzo strato composto da un isolamento di 18 cm, spessore sufficiente in

caso di presenza di sistemi di impianto e relative canalizzazioni e un ultimo strato di intonaco per la finitura esterna.

Entrambi gli strati di isolamento sono in fibra di legno: lo strato di interfaccia di 4 cm presenta una densità di 60 kg/m<sup>3</sup> e  $\lambda$  di 0,04 W/m<sup>2</sup>K, mentre lo strato di isolamento principale di 18 cm di media densità presenta una densità 160 kg/m<sup>3</sup> e  $\lambda$  di 0,05 W/m<sup>2</sup>K, si distinguono quindi solo per densità. Entrambi gli strati isolamento di densità differenti presentano gli stessi valori di permeabilità al vapore  $\mu=5$ .

Lo strato di isolamento esterno presenta lo strato di finitura di intonaco di  $\lambda=0,7$  W/m<sup>2</sup>K e  $\mu=10$  come riportato in Tabella 1.

I tre pacchetti sandwich selezionati si distinguono unicamente per la tipologia del pannello di irrigidimento in LVL (microlamellare), compensato marino (pino) e in multistrato di abete.

	Spessore [cm]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	Permeabilità al vapore $\mu$	Costo indicativo [€/m <sup>2</sup> ]
<b>rigidente LVL</b>					
Strato isolante in fibra di legno a bassa densità (es. Isocell)	4	60	0.04	5	17.5
<b>Kerto LVL panel</b>	1.5	500	0.13	200	27
OSB 172 delphin		630	0.13	280	
<b>Strato isolante in fibra di legno a media densità</b>	18	160	0.05	5	30
Strato di intonaco silossanico (Es. Röfix)	1.5	1300	0.7	10	6.5
<b>Totale</b>	<b>25</b>				<b>81</b>
<b>rigidente compensato marino (pino)</b>					
Strato isolante in fibra di legno a bassa densità (es. Isocell)	4	160	0.04	5	17.5
<b>Compensato marino (pino)</b>	1.5	540	0.13	187	34
<b>Strato isolante in fibra di legno a media densità</b>	18	250	0.05	5	30
Strato di intonaco silossanico (Es. Röfix)	1.5	1300	0.7	10	6.5
<b>Totale</b>	<b>25</b>				<b>88</b>
<b>rigidente multistrato abete</b>					
Strato isolante in fibra di legno a bassa densità (es. Isocell)	4	160	0.04	5	17.5
<b>Multistrato abete_colla fenolica</b>	1.5	460			30
<b>Strato isolante in fibra di legno a media densità</b>	18	250	0.05	5	30
Strato di intonaco silossanico (Es. Röfix)	1.5	1300	0.7	10	6.5

Tabella 1 Ipotesi di pannelli

### 3.3. Condizioni al contorno

Per le condizioni al contorno della simulazione è stato usato il file climatico di Bolzano creato tramite software Meteonorm. I dati utilizzati per creare il file fanno riferimento alla stazione meteo situata presso l'aeroporto di Bolzano, stazione più vicina al contesto che si voleva analizzare, essendo gli edifici presi come riferimento per il progetto Legnattivo nell'intorno di Merano, provincia di Bolzano.

Il periodo preso in considerazione per le simulazioni è di 5 anni. Questo periodo di analisi consente di avere una valutazione del comportamento termo-igrometrico in modo sufficientemente protratto nel tempo.

### 3.4. Valutazione sulla presenza di condensa

Per prima cosa è stato valutato il contenuto di acqua rispetto all'equilibrio igroscopico dei materiali e quindi il rischio di formazione di condensa tra gli strati del pannello. Il software identifica la presenza di contenuto over-igroscopico quando l'umidità relativa raggiunta dal materiale supera il 95%. Come si può vedere dai risultati (Figura 3) il contenuto (kg/mc) di acqua in eccesso risulta essere nullo per l'intero periodo analizzato.

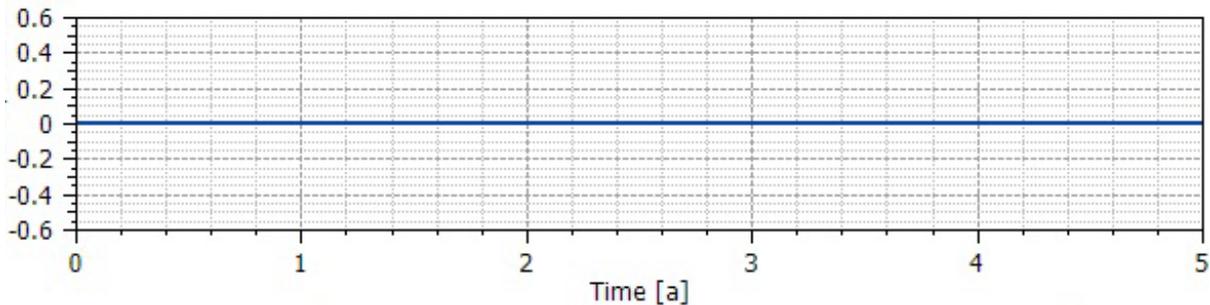


Figura 2 Contenuto igroscopico nel pannello

### 3.5. Moisture content e RH 5 anni

Successivamente è stato calcolato il contenuto di umidità relativa del pacchetto rispetto all'umidità relativa esterna (Figura 4) e rispetto alle precipitazioni (Figura 5).

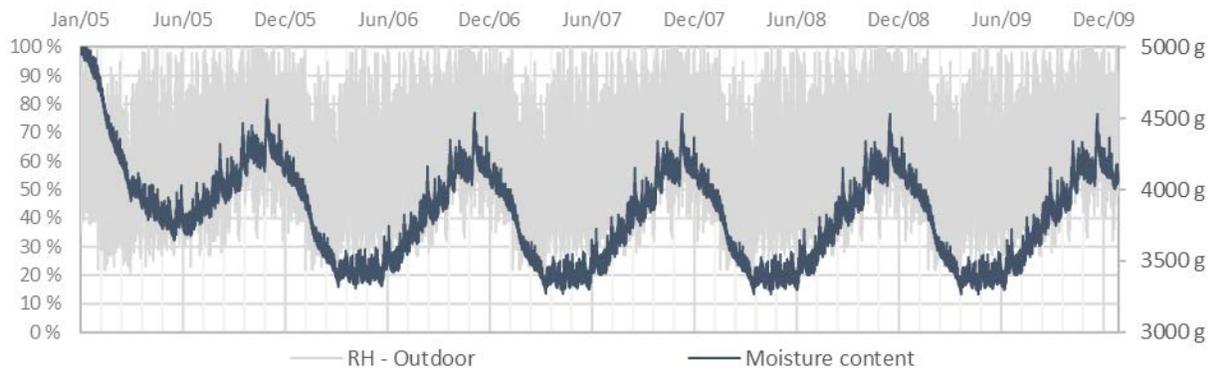


Figura 3 Contenuto di umidità relativa rispetto all'umidità relativa esterna

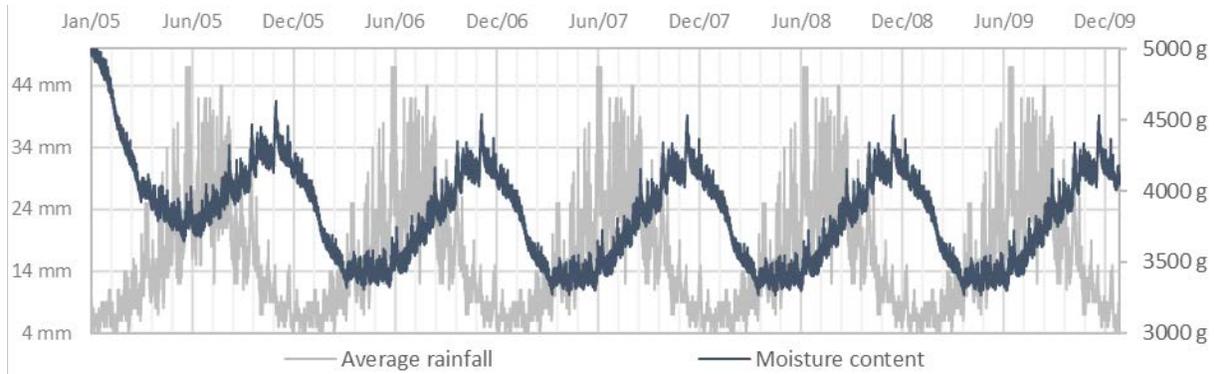


Figura 4 Contenuto di umidità relativa rispetto alle precipitazioni

Si può notare che il contenuto di umidità nel corso dei 5 anni ha un andamento periodico che consente di pensare che all'interno della stratigrafia non vi siano accumuli di condensa interstiziale.

### 3.6. Dettaglio T e RH di un anno

Nei seguenti grafici sono riportate le temperature ed umidità in alcuni layer rappresentativi della stratigrafia:

- Layer 1: strato tra l'intonaco esterno e l'isolante principale del prefabbricato.
- Layer 2: strato tra isolante principale e LVL
- Layer 3: strato tra isolante di adattamento e muro esistente.

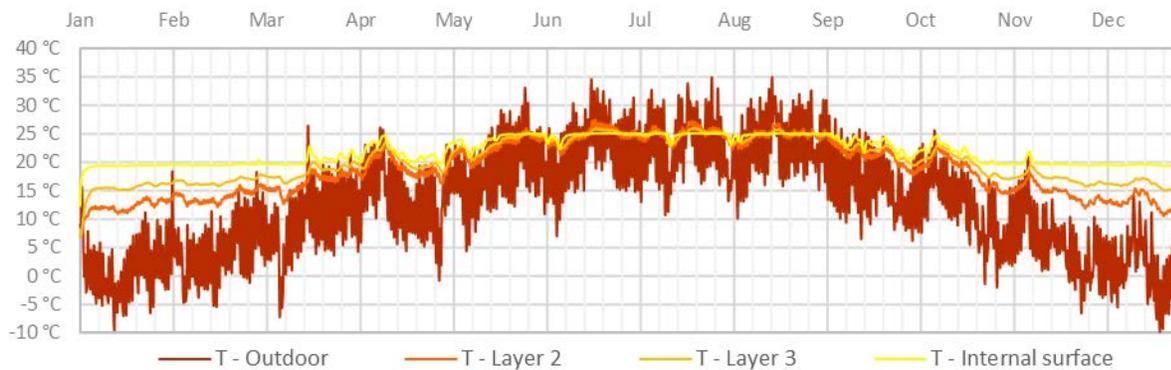


Figura 5 Andamento annuale temperature nella stratigrafia

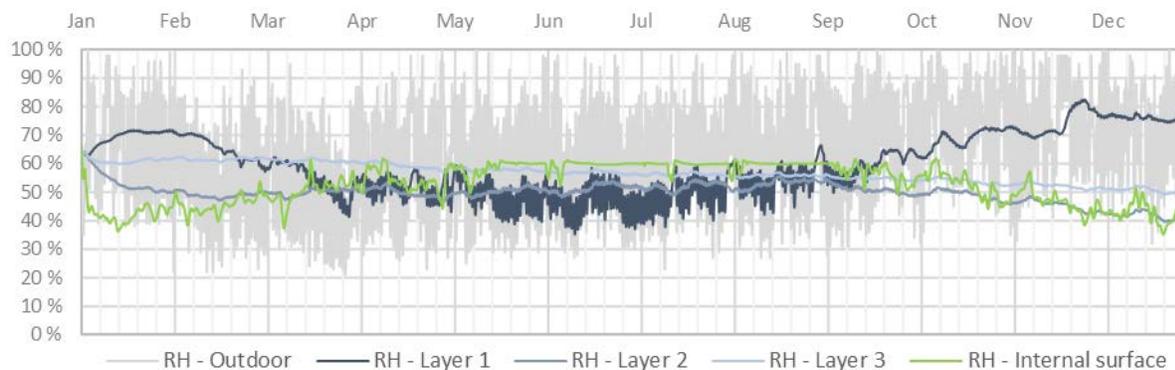


Figura 6 Andamento annuale delle umidità relative nel pacchetto

Infine, vengono presentati gli andamenti delle umidità relative medie nei 5 anni di simulazione per gli strati principale del modulo prefabbricato: isolante principale, LVL ed isolante di adattamento.

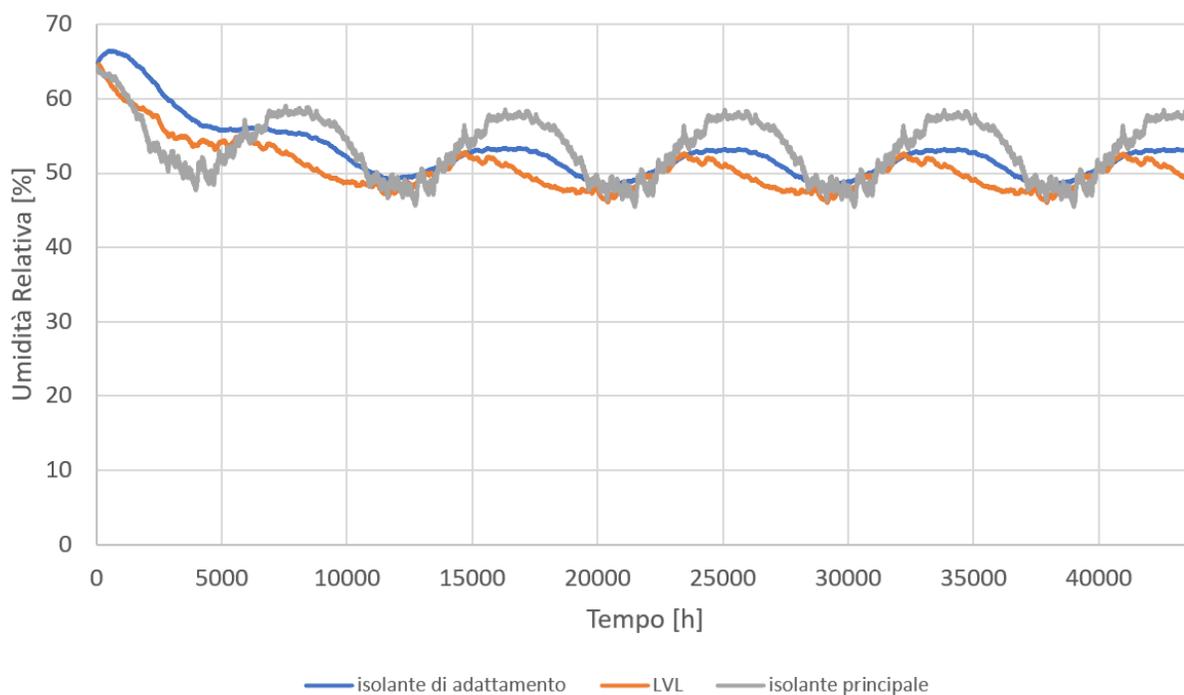


Figura 7 andamento umidità relative nel pannello prefabbricato

Dagli andamenti si evince che nel corso dei 5 anni di simulazione non si presentano livelli di umidità relativa critici per i materiali della stratigrafia. L'umidità relativa infatti non supera infatti il 60%.

## 4. Ottimizzazione sulle integrazioni impiantistiche

In questo capitolo vengono riportati i risultati dell'ottimizzazione sul posizionamento dei moduli fotovoltaici ed uso di batteria nel caso studio preso in considerazione (Edificio di Piazza San Viglio).

L'ottimizzazione, svolta tramite un software interno di Eurac Research ha consentito di determinare preliminarmente la posizione ed il numero di moduli fotovoltaici in facciata che, in combinazione ad una

batteria, consentano di alimentare le macchine di ventilazione meccanica necessarie all'edificio in questione per garantire adeguatamente i ricambi ora d'aria negli appartamenti.

In particolare, sono state svolte due tipologie di simulazioni:

- In un caso l'area di fotovoltaico è stata "imposta" nel modello ed è stata variata la taglia della batteria utilizzata. Si è valutata la percentuale annuale di auto-sufficienza del sistema considerando la presenza del carico dato dalle macchine di ventilazione.
- Nel secondo caso, è stata svolta una vera e propria ottimizzazione sul posizionamento dei moduli fotovoltaici in facciata minimizzando il costo dell'energia legato all'intervento e valutando un range di percentuale di auto-sufficienza nella copertura del carico (da 60% a 90%).

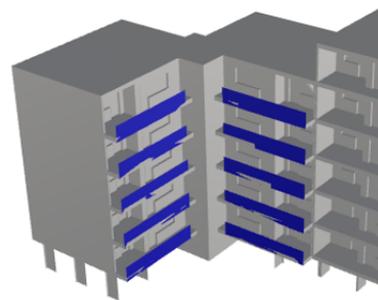
Di seguito vengono riportati i risultati dell'analisi per il caso San Vigilio. Lo studio è stato suddiviso a seconda delle aree di facciata relative ad appartamenti verticalmente adiacenti.

Nelle successive pagine, ognuna dedicata ad una specifica area di facciata vengono messi a confronto i risultati complessivi delle due tipologie di simulazione. In giallo, viene evidenziata la riga coi risultati relativi alla copertura percentuale del carico, mentre nelle immagini viene schematizzato il posizionamento dei moduli PV in facciata.

Dai dati riportati qui sotto (Figura 8, Figura 9, Figura 10 e Figura 11), si può vedere che le soluzioni ottimizzate hanno meno PV rispetto alla soluzione ipotizzata inizialmente (quella in cui i moduli fotovoltaici sono posizionati su tutte le aree disponibili in facciata), pur raggiungendo anche uguale performance nel coprire i consumi (vedere riga evidenziata in giallo "self-sufficiency") e migliore NPV.

SVigilio 1

PV module efficiency	0.133			
Forced battery capacity [kWh]	5	6	7	8
Total PV capacity [kWp]	14.01212	14.01212	14.01212	14.01212
Total PV area [m <sup>2</sup> ]	105.3543	105.3543	105.3543	105.3543
Battery capacity [kWh]	5	6	7	8
Cycles of the battery in the first year	1521.859	1494.958	1487.437	1339.424
System cost [€]	30524.24	31024.24	31524.24	32024.24
Expected NPV [€] at 25th year	-31947.1	-31915.2	-31982.9	-32491.9
Expected payback time	Solution with NPV=0 after 25 not found.			
Expected self-consumed-LCOE [€/kWh]	0.871273	0.812395	0.76906	0.755605
Expected LCOE [€/kWh]	0.224509	0.227657	0.230755	0.233704
Self-consumption at year 0 [%]	22.3408	24.65741	26.14251	26.97917
Self-sufficiency at year 0 [%]	78.14579	86.24908	91.44379	94.37036
Annual cumulative production [kWh]	9527.036	9527.036	9527.036	9527.036
Annual cumulative balance production/consumption	3.497897	3.497897	3.497897	3.497897
Specific emissions of the whole produced electricity [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	213.02	211.37	209.75	208.1
Specific emission of self-consumed electricity only [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	826.7	754.26	699.07	672.82
value of the fitness function	-10963	-12045.4	-13028.2	-13569.7
Annual cumulative consumption [kWh]	2723.647	2723.647	2723.647	2723.647
Average self-use [kWh]	1969.994	2164.492	2341.096	2438.393
Average self-sold [kWh]	5675.136	5559.507	5461.302	5445.356



PV module efficiency	0.133				
Minimize LCOE at self-sufficiency...	60%	70%	80%	90%	
	2.942545	3.643151	3.923394	5.464727	Total PV capacity [kWp]
	22.1244	27.39212	29.4992	41.08817	Total PV area [m <sup>2</sup> ]
	4.73327	5.63327	6.93327	9.23327	Battery capacity [kWh]
	1054.835	1023.228	1014.927	1004.455	Cycles of the battery in the first year
	8251.726	10102.94	11313.42	15546.09	System cost [€]
	-4428.47	-5934.34	-6783.18	-11219.9	Expected NPV [€] at 25th year
25 years 0 months 0 days	25 years 0 months 0 days	25 years 0 months 0 days	25 years 0 months 0 days	25 years 0 months 0 days	Expected payback time
0.339234	0.357748	0.359316	0.412295	Expected self-consumed-LCOE [€/kWh]	
0.228422	0.229307	0.243199	0.246486	Expected LCOE [€/kWh]	
63.00192	60.15152	64.30792	53.51373	Self-consumption at year 0 [%]	
60.34925	70.17181	80.30318	90.01021	Self-sufficiency at year 0 [%]	
2608.969	3177.363	3401.098	4581.18	Annual cumulative production [kWh]	
0.957895	1.166584	1.248729	1.682002	Annual cumulative balance production/consumption	
158.16	160.85	163.07	167.86	Specific emissions of the whole produced electricity [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	
234.89	250.95	240.92	280.78	Specific emission of self-consumed electricity only [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	
1761.632	1703.419	1659.711	1517.955	value of the fitness function	
2723.647	2723.647	2723.647	2723.647	Annual cumulative consumption [kWh]	
1518.763	1756.402	1984.608	2365.881	Average self-use [kWh]	
736.7821	983.8066	947.5658	1591.5	Average self-sold [kWh]	

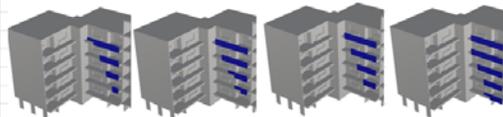
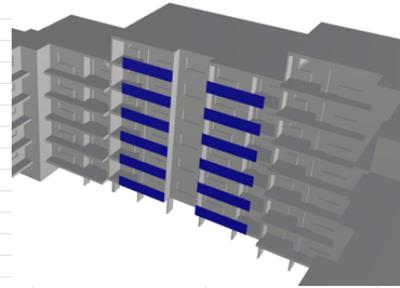


Figura 8 Self-sufficiency San Vigilio 1 - confronto ottimizzazioni

SVigilio 2				
PV module efficiency	0.133			
Forced battery capacity [kWh]	5	6	7	8
Total PV capacity [kWp]	13.45164	13.45164	13.45164	13.45164
Total PV area [m <sup>2</sup> ]	101.1401	101.1401	101.1401	101.1401
Battery capacity [kWh]	5	6	7	8
Cycles of the battery in the first year	1420.1	1589.69	1573.085	1525.01
System cost [€]	29403.27	29903.27	30403.27	30903.27
Expected NPV [€] at 25th year	-29470.6	-29137.4	-28724.8	-28592.1
Expected payback time	Solution with NPV=0 after 25 not found.			
Expected self-consumed-LCOE [€/kWh]	0.772338	0.70965	0.65522	0.621306
Expected LCOE [€/kWh]	0.181123	0.184969	0.188714	0.191865
Self-consumption at year 0 [%]	20.33622	22.67377	24.90386	26.95053
Self-sufficiency at year 0 [%]	61.53354	68.60651	75.35432	81.54715
Annual cumulative production [kWh]	11383.93	11383.93	11383.93	11383.93
Annual cumulative balance production/consumption	3.025809	3.025809	3.025809	3.025809
Specific emissions of the whole produced electricity [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	171.07	170.82	170.5	169.69
Specific emission of self-consumed electricity only [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	729.48	655.36	591.99	549.5
value of the fitness function	-11933.2	-13316.9	-14780	-15963.2
Annual cumulative consumption [kWh]	3762.275	3762.275	3762.275	3762.275
Average self-use [kWh]	2144.333	2392.971	2655.889	2868.492
Average self-sold [kWh]	6999.469	6787.86	6565.428	6420.393



PV module efficiency	0.133				
Minimize LCOE at self-sufficiency...	60%	70%	80%	90%	
	3.923394	4.904242	5.604848	7.566545	Total PV capacity [kWp]
	29.4992	36.874	42.14172	56.89132	Total PV area [m <sup>2</sup> ]
	6.57985	7.87985	9.37985	11.27985	Battery capacity [kWh]
	1150.34	1076.416	1104.717	1030.82	Cycles of the battery in the first year
	11136.71	13748.41	15899.62	20773.02	System cost [€]
	-5983.43	-8009.24	-9524.69	-14321.6	Expected NPV [€] at 25th year
25 years 0 months 0 days	25 years 0 months 0 days	25 years 0 months 0 days	25 years 0 months 0 days	25 years 0 months 0 days	Expected payback time
0.338693	0.355167	0.360348	0.40107	0.40107	Expected self-consumed-LCOE [€/kWh]
0.221873	0.220425	0.225641	0.220084	0.220084	Expected LCOE [€/kWh]
62.16879	58.51468	59.12168	49.93224	49.93224	Self-consumption at year 0 [%]
60.05636	70.06377	80.40016	90.02834	90.02834	Self-sufficiency at year 0 [%]
3634.436	4504.838	5116.355	6783.42	6783.42	Annual cumulative production [kWh]
0.966021	1.197371	1.35991	1.80301	1.80301	Annual cumulative balance production/consumption
151.48	152.68	154.17	156.21	156.21	Specific emissions of the whole produced electricity [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]
231.24	246.01	246.2	284.67	284.67	Specific emission of self-consumed electricity only [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]
1783.913	1737.34	1706.517	1609.909	1609.909	value of the fitness function
3762.275	3762.275	3762.275	3762.275	3762.275	Annual cumulative consumption [kWh]
2061.603	2416.656	2765.836	3209.874	3209.874	Average self-use [kWh]
1085.475	1477.261	1651.188	2639.643	2639.643	Average self-sold [kWh]

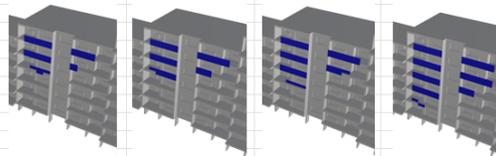
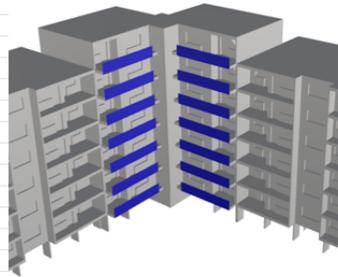


Figura 9 Self-sufficiency San Vigilio 2 - confronto ottimizzazioni

**SVigilio 3**

PV module efficiency	0.133			
	5	6	7	8
<b>Forced battery capacity [kWh]</b>				
Total PV capacity [kWp]	19.61697	19.61697	19.61697	19.61697
Total PV area [m <sup>2</sup> ]	147.496	147.496	147.496	147.496
Battery capacity [kWh]	5	6	7	8
Cycles of the battery in the first year	1256.608	1279.63	1320.85	1349.622
System cost [€]	41733.94	42233.94	42733.94	43233.94
Expected NPV [€] at 25th year	-45153.4	-44940.4	-44702.8	-44858.2
Expected payback time	Solution with NPV=0 after 25 not found.			
Expected self-consumed-LCOE [€/kWh]	1.006638	0.932929	0.869964	0.836469
Expected LCOE [€/kWh]	0.233858	0.237605	0.241078	0.243696
Self-consumption at year 0 [%]	20.29428	22.47319	24.59285	26.69332
Self-sufficiency at year 0 [%]	64.00245	70.8741	77.55894	84.1832
Annual cumulative production [kWh]	12025.46	12025.46	12025.46	12025.46
Annual cumulative balance production/consumption	3.153719	3.153719	3.153719	3.153719
Specific emissions of the whole produced electricity [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	229.13	229.06	228.74	227.65
Specific emission of self-consumed electricity only [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	986.28	899.37	825.46	781.4
value of the fitness function	-12819.7	-14083.2	-15371.3	-16266.4
Annual cumulative consumption [kWh]	3813.106	3813.106	3813.106	3813.106
Average self-use [kWh]	2303.632	2530.679	2762.143	2922.983
Average self-sold [kWh]	7612.309	7405.744	7205.449	7109.948



PV module efficiency	0.133				Total PV capacity [kWp]
	60%	70%	80%	90%	
<b>Minimize LCOE at self-sufficiency...</b>					Total PV area [m <sup>2</sup> ]
	4.343757	5.324606	6.165333	8.687515	Battery capacity [kWh]
	32.65983	40.03463	46.35589	65.31966	Cycles of the battery in the first year
	6.890538	8.390538	9.790538	12.29054	System cost [€]
	1005.32	1052.373	1065.966	992.7349	Expected NPV [€] at 25th year
	12132.78	14844.48	17225.94	23520.3	Expected payback time
	-7309.18	-9535.89	-11451.6	-17907	
25 years 0 months 0 days	0.362822	0.378815	0.388098	0.439803	Expected self-consumed-LCOE [€/kWh]
	0.250545	0.257233	0.264049	0.268986	Expected LCOE [€/kWh]
	65.35817	64.32343	64.59102	54.67382	Self-consumption at year 0 [%]
	60.03863	70.53848	80.28156	90.05036	Self-sufficiency at year 0 [%]
	3502.755	4181.535	4739.391	6280.366	Annual cumulative production [kWh]
	0.918609	1.096622	1.242921	1.647047	Annual cumulative balance production/consumption
	174.28	179.33	183.61	194.08	Specific emissions of the whole produced electricity [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]
	252.38	264.09	269.87	317.34	Specific emission of self-consumed electricity only [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]
	1630.344	1572.209	1533.397	1410.857	value of the fitness function
	3813.106	3813.106	3813.106	3813.106	Annual cumulative consumption [kWh]
	2085.028	2441.733	2767.788	3297.74	Average self-use [kWh]
	934.3634	1154.098	1300.287	2094.195	Average self-sold [kWh]

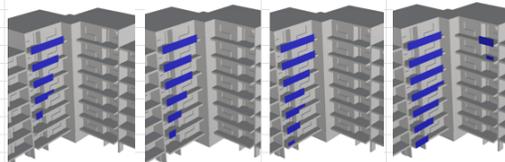
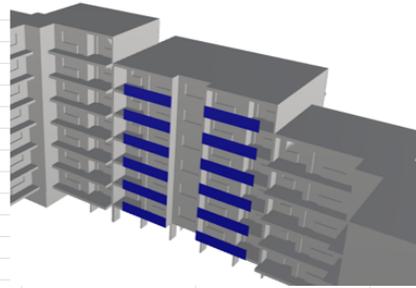


Figura 10 Self-sufficiency San Vigilio 3 - confronto ottimizzazioni

SVigilio 4				
PV module efficiency	0.133			
Forced battery capacity [kWh]	5	6	7	8
Total PV capacity [kWp]	13.45164	13.45164	13.45164	13.45164
Total PV area [m <sup>2</sup> ]	101.1401	101.1401	101.1401	101.1401
Battery capacity [kWh]	5	6	7	8
Cycles of the battery in the first year	1371.737	1246.488	1132.39	1139.482
System cost [€]	29403.27	29903.27	30403.27	30903.27
Expected NPV [€] at 25th year	-29890.6	-29685.1	-29535.2	-29470.5
Expected payback time	Solution with NPV=0 after 25 not found.			
Expected self-consumed-LCOE [€/kWh]	0.800519	0.740087	0.693235	0.657486
Expected LCOE [€/kWh]	0.283087	0.292332	0.301097	0.309576
Self-consumption at year 0 [%]	33.15215	36.77575	40.14023	43.43196
Self-sufficiency at year 0 [%]	60.28606	66.87546	72.99364	78.97955
Annual cumulative production [kWh]	6841.569	6841.569	6841.569	6841.569
Annual cumulative balance production/consumption	1.818466	1.818466	1.818466	1.818466
Specific emissions of the whole produced electricity [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	267.38	269.97	272.04	273.8
Specific emission of self-consumed electricity only [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]	756.1	683.46	626.33	581.5
value of the fitness function	-11513.1	-12769.2	-13969.5	-15084.7
Annual cumulative consumption [kWh]	3762.275	3762.275	3762.275	3762.275
Average self-use [kWh]	2068.847	2294.555	2510.247	2710.646
Average self-sold [kWh]	3781.482	3514.498	3269.261	3046.297



PV module efficiency	0.133				
Minimize LCOE at self-sufficiency...	60%	70%	80%	90%	
	6.445576	7.566545	9.388121		Total PV capacity [kWp]
	48.46297	56.89132	70.58737		Total PV area [m <sup>2</sup> ]
	7.080498	8.680498	10.1805		Battery capacity [kWh]
	1175.383	1046.96	941.9094		Cycles of the battery in the first year
	16431.4	19473.34	23866.49		System cost [€]
	-13350.4	-16095.2	-20343.5		Expected NPV [€] at 25th year
25 years 0 months 0 days	0.483051	0.490797	0.513228		Expected payback time
	0.332212	0.339291	0.339089		Expected self-consumed-LCOE [€/kWh]
	64.96308	65.12788	60.80145		Expected LCOE [€/kWh]
	60.07786	70.15489	80.1677	SS can not be achieved	Self-consumption at year 0 [%]
	3479.352	4052.673	4960.621		Self-sufficiency at year 0 [%]
	0.9248	1.077187	1.318516		Annual cumulative production [kWh]
	257.7	260.15	263.93		Annual cumulative balance production/consumption
	374.7	376.32	399.47		Specific emissions of the whole produced electricity [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]
	1226.597	1204.691	1173.271		Specific emission of self-consumed electricity only [kg CO <sub>2</sub> -eq/MWh]
	3762.275	3762.275	3762.275		value of the fitness function
	2050.345	2400.499	2799.938		Annual cumulative consumption [kWh]
	930.9488	1071.908	1437.904		Average self-use [kWh]
					Average self-sold [kWh]

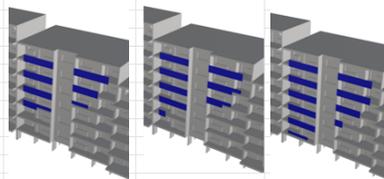


Figura 11 Self-sufficiency San Vigilio 4 - confronto ottimizzazioni

