



Ricerca di Sistema elettrico

Soluzioni progettuali per sistemi evaporativi urbani alimentati da fonti rinnovabili: Integrazione urbana, comfort e salute

A. Battisti, A. Calenzo, L. Calcagni,
V. Arezzo, M. Antonini



SOLUZIONI PROGETTUALI PER SISTEMI EVAPORATIVI URBANI ALIMENTATI DA FONTI RINNOVABILI: INTEGRAZIONE URBANA, COMFORT E SALUTE

A. Battisti (1), A. Calenzo (1), L. Calcagni (1), V. Arezzo (1), M. Antonini (1)

(1) Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura, Sapienza Università di Roma

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Local Energy District

Linea di attività: LA1.40

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sviluppo di soluzioni progettuali per sistemi evaporativi urbani e analisi del ruolo delle municipalità e delle imprese nei progetti di ricerca, sviluppo ed innovazione"

Responsabile scientifico ENEA: Michele Zinzi

Responsabile scientifico SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA: Alessandra Battisti

Si ringrazia Cristoforo Cattivera per aver contribuito nell'elaborazione del concept del plug-in urbano, Simona Casciaro e Giulia Ulpiani per il supporto fornito nell'impostazione delle simulazioni microclimatiche condotte sui siti individuati.

Indice

●	SOMMARIO	5
1	INTRODUZIONE	6
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	8
2.1	DEFINIZIONE DEL MODELLO STRUTTURALE E ARCHITETTONICO DEL PLUG-IN URBANO	8
2.1.1	<i>Descrizione tecnologica del plug-in</i>	11
2.1.2	<i>Schede: Elaborati grafici di progetto</i>	11
2.1.3	<i>Dispositivi tecnologici</i>	19
2.1.3.1	Schede: Dispositivi tecnologici	20
2.1.4	<i>Focus: Dispositivi di facciata plug and play</i>	23
2.1.4.1	Pannelli verdi	23
2.1.4.1.1	Pannello C2: Sistema idroponico a coltivazione orizzontale (Soluzione A)	24
2.1.4.1.2	Pannello C2: Sistema idroponico a coltivazione orizzontale (Soluzione B)	24
2.1.4.1.3	Pannello C3: Sistema a coltivazione verticale in terra	24
2.1.4.1.4	Pannello C4: Sistema a coltivazione verticale in terra su griglia	25
2.1.4.2	Pannelli con elementi ceramici	25
2.1.4.2.1	Pannello C5: Sistema a raffrescamento evaporativo in terracotta a tubi	26
2.1.4.2.2	Pannello C6: Sistema a raffrescamento evaporativo in ceramica a parete	26
2.1.4.2.3	Schede: Dispositivi di facciata plug and play	26
2.2	CASO STUDIO: LOCALIZZAZIONE INTERVENTO E ANALISI DEL SITO	44
2.3	GESTIONE DEL MANUFATTO	46
2.3.1	<i>Calcolo vita nominale del manufatto</i>	46
2.3.2	<i>Programma di manutenzione</i>	47
2.4	SOSTENIBILITÀ DELL'INTERVENTO	48
2.4.1	<i>Sostenibilità ambientale</i>	48
2.4.1.1	Analisi del ciclo di vita	49
2.4.1.1.1	Definizione degli obiettivi	51
2.4.1.1.2	Analisi dell'inventario per la fase di produzione e posa in opera	52
2.4.1.1.3	Analisi dell'inventario per la fase di utilizzo	53
2.4.1.1.4	Analisi dell'inventario per la fase di dismissione/recupero	53
2.4.1.1.5	Risultati relativi all'energia incorporata e alla CO2 incorporata dei materiali di costruzione	53
2.4.1.1.6	Interpretazione dei risultati relativi ai consumi idrici	57
2.4.1.1.7	Interpretazione dei risultati relativi ai consumi energetici	62
2.4.2	<i>Sviluppo di linee guida per progettazione partecipata e di protocolli di collaborazione con le P.A.</i>	64
2.5	SIMULAZIONI MICROCLIMATICHE DEL SITO INDIVIDUATO	67
2.5.1	<i>Definizione del modello di simulazione</i>	67
2.5.2	<i>Impostazioni</i>	67
2.5.3	<i>Definizione degli scenari di simulazione</i>	68
2.5.4	<i>Risultati delle simulazioni</i>	69
2.5.4.1	Scenario S0: Stato dei luoghi	70
2.5.4.2	Scenario S1: Plug-in urbano dotato di sistema nebulizzante	70
2.5.4.3	Scenario S2: Plug-in urbano dotato di sistema nebulizzante e dispositivi di facciata green	71
2.5.4.4	Scenario S0: Dati parametri climatici e grafici	72
2.5.4.5	Scenario S1: Dati parametri climatici e grafici	74
2.5.4.6	Scenario S2: Dati parametri climatici e grafici	76
2.5.4.7	Confronto scenari S0 – S1: Dati parametri climatici e grafici	78
2.5.4.8	Confronto scenari S1 – S2: Dati parametri climatici e grafici	79
2.5.4.9	Confronto scenari S0 – S2: Dati parametri climatici e grafici	80
2.5.4.10	Confronto scenari S0 – S1 – S2: Grafici a confronto	81
3	CONCLUSIONI	82
4	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	83

5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI..... 83

- **Sommario**

Il presente report descrive le attività riguardanti il progetto di ricerca sviluppato nell'ambito dell'accordo di programma MiSe-ENEA in collaborazione con il Dipartimento PDTA - Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura dell'Università Sapienza di Roma, nelle attività del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità.

La ricerca è incentrata sullo studio di soluzioni progettuali per l'integrazione di sistemi evaporativi da sperimentare in ambito urbano per la mitigazione dell'effetto isola di calore e il miglioramento delle condizioni microclimatiche.

Lo studio si è principalmente focalizzato sulla definizione di un prototipo architettonico, sull'integrabilità di dispositivi tecnologici di diversa natura e sulle simulazioni microclimatiche di differenti scenari di configurazione al fine di effettuarne una comparazione.

Oltre agli aspetti di sviluppo progettuale sono stati studiati anche gli aspetti riguardanti la fase di installazione del prototipo e la sua localizzazione in un sito scelto nella città di Roma.

Infine, è stato condotto uno studio sul ciclo di vita del manufatto e sono state elaborate alcune matrici di consumo idrico e energetico relative alle diverse configurazioni individuate al fine di valutare la sostenibilità ambientale del manufatto.

1 Introduzione

I cambiamenti climatici locali e globali incidono profondamente sulle condizioni del microclima urbano e anche all'interno degli edifici, con gravi conseguenze sul benessere e sulla salute degli abitanti [1]. Il fenomeno è destinato ad aumentare a livello planetario nei prossimi anni, a causa dell'effetto sinergico tra tasso di urbanizzazione, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, e innalzamento della temperatura [2].

Poiché sono le città a contribuire in larga misura ai problemi ambientali evidenziati, è proprio nelle aree urbane che occorre adottare strategie di mitigazione e adattamento climatico volte a incrementarne la resilienza. L'uso di tecnologie passive verdi e blu e di materiali riflettenti può contribuire a ridurre la temperatura dell'ambiente urbano *under canopy*, ma richiede investimenti consistenti per garantire il beneficio atteso [3]. Al contrario, è possibile intervenire puntualmente su scala ridotta, con interventi di agopuntura urbana, attraverso l'implementazione puntuale e locale di sistemi di raffrescamento evaporativo.

In questa direzione il presente studio si pone due obiettivi principali.

Il primo è la progettazione di una struttura modulare aperta - un plug-in urbano che incorpora un sistema di raffrescamento evaporativo, integrato da altre tecnologie passive - in grado di garantire buone condizioni di benessere psico-fisico e termico anche nelle condizioni microclimatiche più estreme di fruizione dello spazio pubblico, come nei periodi di surriscaldamento estivo o di forte freddo invernale.

Il secondo obiettivo era garantire che tale struttura fosse il più possibile autosufficiente sotto il profilo energetico e idrico, oltre che alimentata con energie rinnovabili.

A questo scopo è stata ideata una struttura di base sulla quale poter prevedere delle stratificazioni, aggiunte e addizioni di ulteriori componenti che permettessero prestazioni più performanti, da scegliersi di volta in volta a seconda del contesto di installazione, dei fondi a disposizione, delle funzioni da alloggiare e dei fruitori.

Pur trattandosi di un plug-in urbano ad uso temporaneo, da assemblare, dis-assemblare e ri-assemblare altrove, questa denotazione non ha condizionato le scelte dei materiali e dei componenti in un'ottica di precarietà e provvisorietà. Piuttosto si è data priorità alla durevolezza e alla solidità. In quest'ottica, è stata riservata particolare attenzione all'uso efficiente delle risorse, verificando le ricadute ambientali del manufatto tramite la valutazione dell'intero ciclo di vita.

Il documento fornisce quindi una visione d'insieme sulla tecnologia del raffrescamento passivo tramite nebulizzazione, impiego di verde integrato alla struttura (coltivazione in terra e/o idroponica), pannelli con componenti ceramici evaporativi e dispositivi per l'ombreggiamento (vegetazione e/o tende). Le tecnologie individuate apportano ciascuna una serie di benefici integrati: il miglioramento della qualità dell'aria, il benessere acustico, la mitigazione del surriscaldamento data dall'evaporazione e dall'ombreggiamento e in assoluto la condizione di riparo rispetto a condizioni climatiche avverse, quali pioggia e vento in inverno.

Da un punto di vista metodologico, la ricerca si è sviluppata secondo otto distinte fasi:

- **Individuazione di obiettivi e strategie connessi alla progettazione** di soluzioni progettuali per sistemi evaporativi urbani alimentati da fonti rinnovabili, integrati all'interno di un tessuto urbano e in grado di indurre situazioni di comfort e salute sugli abitanti;
- **Definizione del concept metaprogettuale** del plug-in urbano, attraverso lo sviluppo di una matrice spazio-funzionale che permettesse di individuare e confrontare diverse soluzioni di fruizione da parte degli utenti del modello base e delle variazioni di aggregazione morfologica;
- **Messa a punto delle diverse componenti tecnologiche** dei dispositivi implementabili plug and play sulla facciata e sulla copertura del modulo. La progettazione e modellazione della struttura è stata eseguita

mediante l'ausilio di un software BIM (Building Information Modeling) al fine di controllare e gestire al meglio il modello in tutti i suoi aspetti e parametri, con la possibilità di poter valutare in tempo reale le diverse soluzioni morfologiche anche in relazione ai fattori tecnico-economici, gestionali e manutentivi del manufatto;

- **Valutazione della sostenibilità ambientale** (studio sul ciclo di vita, Life Cycle Assessment) e **dei consumi energetici del plug-in** a seconda dei differenti scenari di configurazione. Scopo di questa fase è la messa a punto di una configurazione ottimale, rispetto ai consumi/prestazioni. del manufatto;
- **Elaborazione di linee guida per la progettazione partecipata** del manufatto e di protocollo di collaborazione con le pubbliche amministrazioni;
- **Scelta e studio del contesto di intervento** in cui applicare il progetto pilota. In questa fase il sito individuato è stato analizzato a diverse scale e sotto molteplici punti di vista, a partire da quello urbanistico-morfologico a quello sociale-culturale e microclimatico. Sono stati definiti e catalogati i materiali caratterizzanti le superfici orizzontali e verticali che compongono l'area individuata e collezionati i dati climatici relativi allo specifico sito;
- **Simulazioni microclimatiche ante e post operam** eseguite sul sito individuato. Sulla base dei dati e delle informazioni reperite nella fase precedente è stato definito il modello da simulare mediante l'utilizzo di software (ENVI-Met) per il calcolo di parametri microclimatici;
- **Discussione dei risultati** in cui sono stati illustrati gli esiti e argomentate le conclusioni dello studio condotto.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Definizione del modello strutturale e architettonico del plug-in urbano

In primo luogo è stata definita la struttura per il plug-in urbano. I principi che hanno guidato la definizione del modello strutturale-architettonico sono quelli di flessibilità, rapidità di installazione, economicità e reversibilità nell'ipotesi di poter dismettere e trasferire con facilità la struttura in altri contesti (Figura 1).

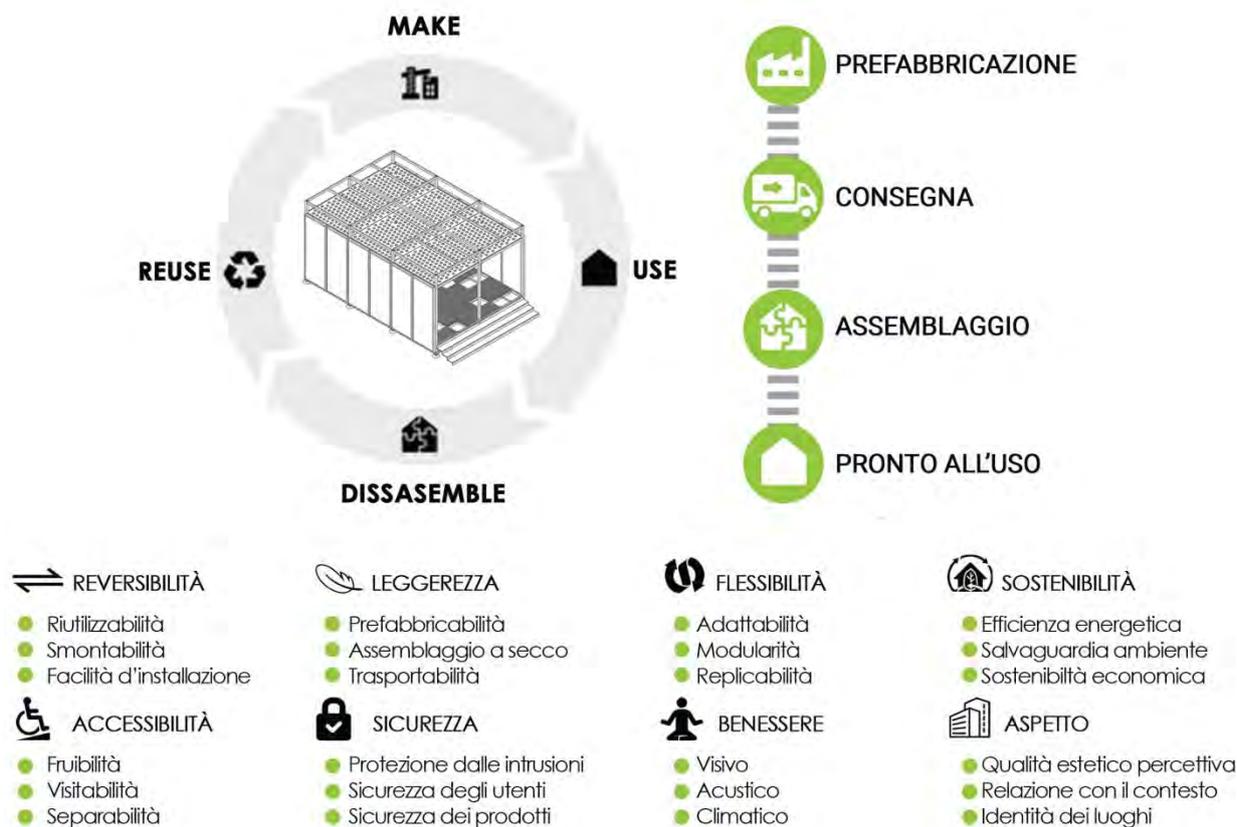
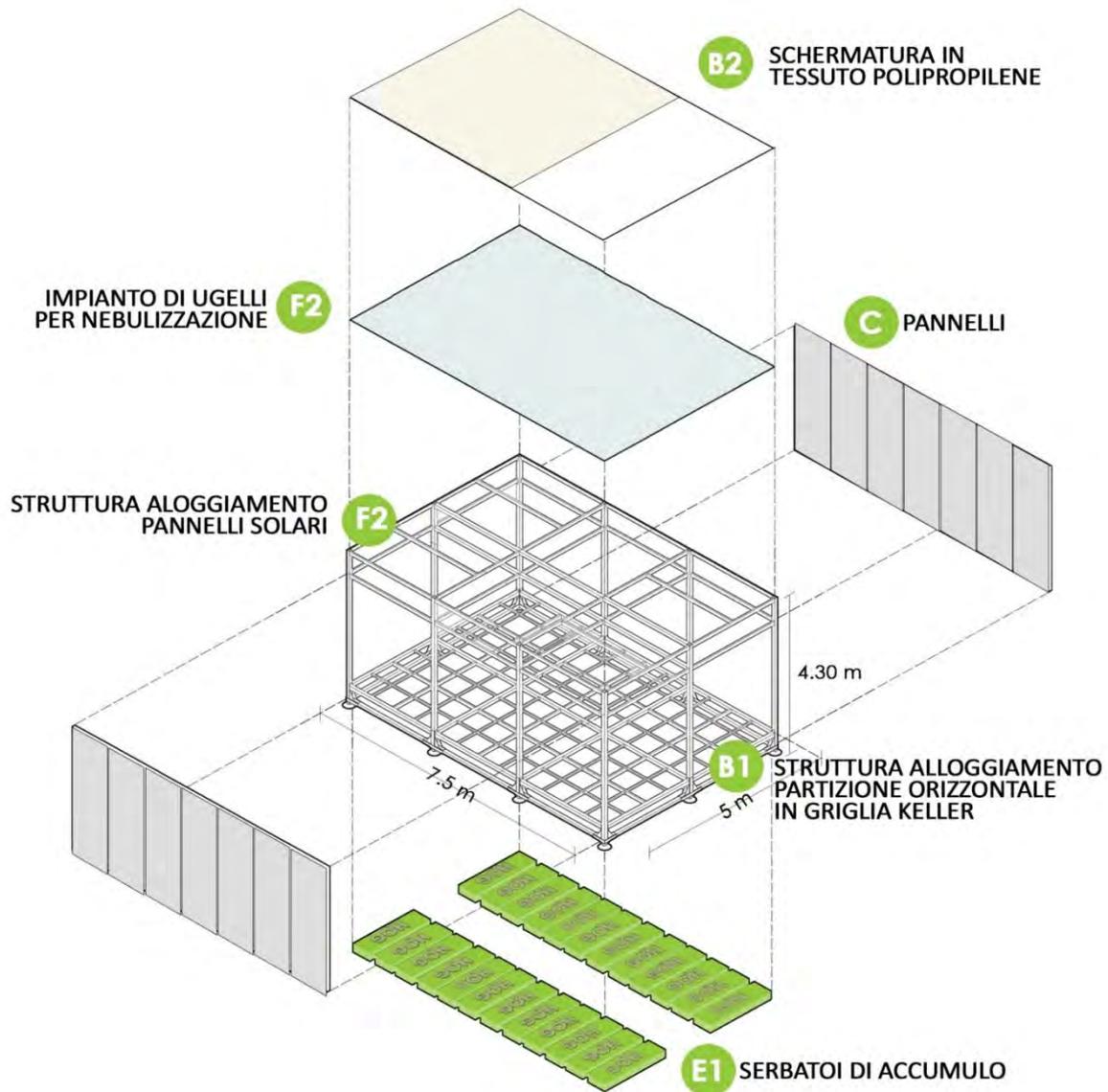


Figura 1. Concept e definizione degli obiettivi

La scelta è ricaduta sull'utilizzo di una struttura prefabbricata modulare composta da elementi strutturali facilmente assemblabili/smontabili e che preveda la possibilità di implementare, a seconda delle esigenze, differenti dispositivi tecnologici di diversa natura (Figure 2 e 3). Concettualmente la struttura si basa su multipli e sottomultipli del quadrato che definisce la griglia strutturale del manufatto di dimensioni pari a 2,50 x 2,50 metri. La configurazione base (ipotesi A – Figura 3) presenta dimensioni planimetriche pari a 7,50 x 5,00 metri per una superficie di circa 37,50 metri quadri e un'altezza complessiva di circa 4,50 metri rispetto alla quota di campagna (Figura 2). L'accostamento secondo il lato corto o lungo di due o più configurazione base del plug-in genera diverse soluzioni, riportate in sintesi nella matrice spaziale-funzionale in Figura 3. Le diverse tipologie partono da una superficie di circa 37,50 metri quadri del modulo singolo (ipotesi A), fino ad arrivare a 300 metri quadri impiegando sei moduli accostati (ipotesi F). Alle differenti configurazioni spaziali possono essere associate diverse funzioni che vanno da quelle legate ad un uso residenziale a quelle per uso pubblico, didattico, culturale, ricreativo, ecc... (Figura 4).



E1 SERBATOI RACCOLTA ACQUA

20 cm

30 cm

180 cm

180 cm

filtra
raccordo di grondaia
a gonfiato

presa d'aria
a gonfiato

connettori

tubo di uscita

224 kg
* volume pieno

187 litri
* capacità max

cisterne in polietilene collegate tra loro attraverso connettori

B1 PAVIMENTAZIONE

62,5 cm 62,5 cm

125 cm

125 cm

Partizione interna orizzontale in acciaio zincato tipo 'Keller' o simili per pavimentazione completa di telaio angolare

F2 PANNELLO FOTOVOLTAICO

105 cm

169 cm

400 Wp

Pannello fotovoltaico in silicio monocristallino a inclinazione regolabile alloggiato sulla griglia superiore della struttura per garantire l'autosufficienza sul piano energetico

Figura 2. Concept plug-in urbano: Componenti e dispositivi tecnologici (parte 1)

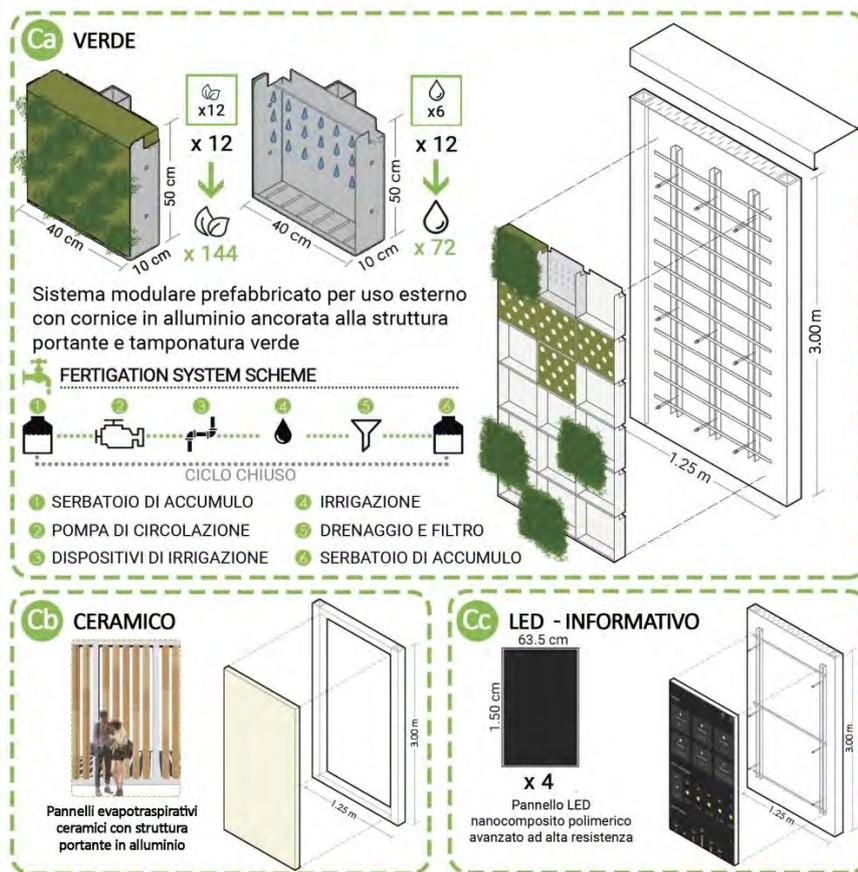


Figura 3. Concept plug-in urbano: Componenti e dispositivi tecnologici (parte 2)

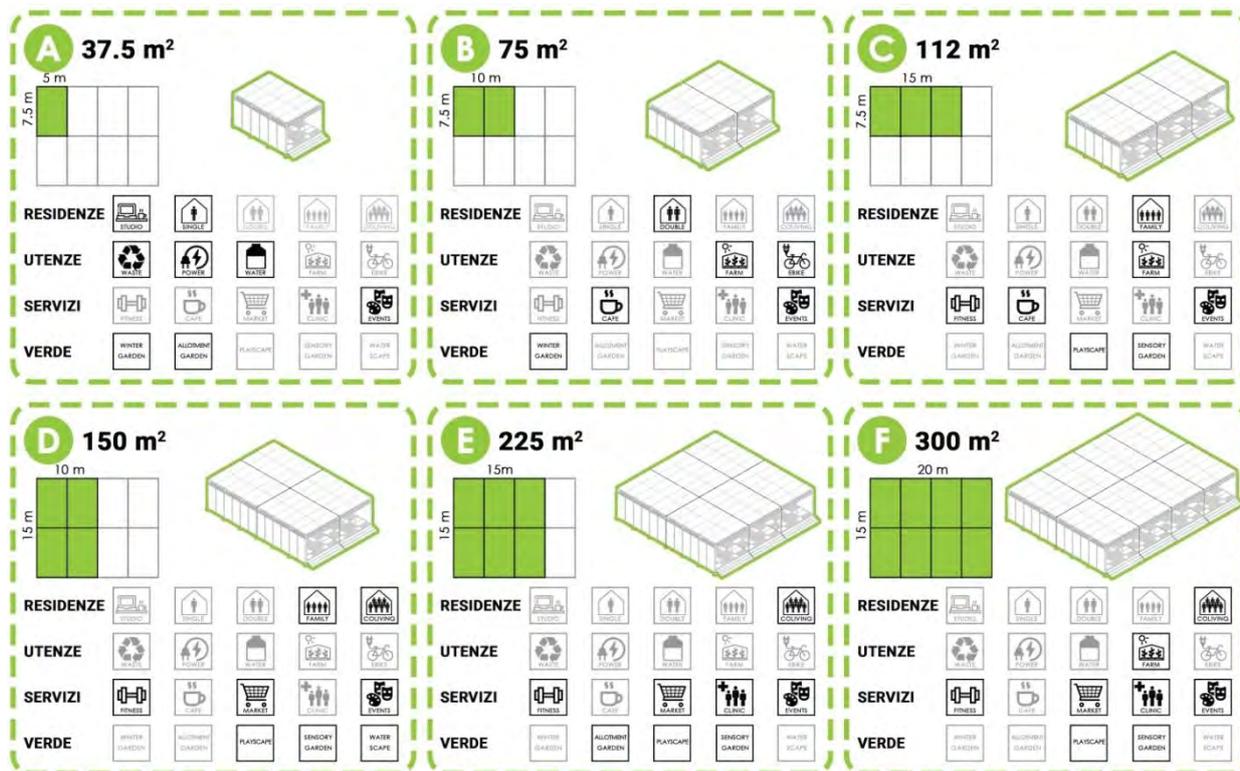


Figura 4. Concept plug-in urbano: Matrice spaziale e funzionale

2.1.1 Descrizione tecnologica del plug-in

Lo studio si concentra sulla configurazione B (Figura 4) che presenta dimensioni pari a 10,00 x 7,50 metri per una superficie di 75 metri quadri, composta da due moduli base accostati secondo il lato lungo. Questa configurazione per le sue dimensioni planimetriche si presta per essere facilmente inserita in piazze e spazi pubblici di medie dimensioni che si rivela essere la casistica più frequente.

In termini costruttivi, il plug-in si compone di profilati cavi in acciaio di sezione variabile collegati mediante piastre di ancoraggio e bullonature. Non sono stati previsti collegamenti per mezzo di saldature al fine di permetterne uno smontaggio completo e rapido. La struttura è assicurata al terreno mediante appoggi metallici posti in corrispondenza dei pilastri (Figura 5). Si tratta di appoggi di tipo telescopico capaci di adattarsi alla superficie di installazione e permettere la messa in piano della struttura senza dover ricorrere a lavorazioni aggiuntive di livellamento e/o costituzione di un piano di appoggio. La quota di calpestio principale del plug-in è rialzata rispetto a quella di campagna al fine di creare alla base della struttura un'intercapedine per l'alloggio dei dispositivi di sistema (box contenente dispositivi del sistema fotovoltaico, sistema nebulizzante, sistema illuminante, ecc..) e del sistema di raccolta delle acque piovane (composto da piastra di raccolta e cisterne di accumulo) (Figura 6). I dispositivi tecnologici sono affrontati in maniera più dettagliata nel paragrafo 2.1.3. Per permettere l'accessibilità alla quota principale rialzata (Figura 7) è stato pensato un modulo in acciaio ospitante la rampa di accesso da affiancare al plug-in. La pavimentazione interna del plug-in è composta da elementi in grigliato metallico di dimensioni pari a circa 125x62 centimetri l'uno, scelti per evitare ristagni d'acqua sulla pavimentazione in caso di perdite dovute a eventuali malfunzionamenti da parte del sistema nebulizzante. Altre motivazioni a sostegno di tale scelta sono state: la bassa manutenzione richiesta dal componente, l'alta resistenza meccanica degli elementi, e il rapido montaggio/smontaggio dell'intero manufatto.

Ad un'altezza di circa 3,00 metri rispetto alla quota di calpestio principale è collocato il sistema di nebulizzazione (Figura 8) composto da una griglia di profili metallici cavi, con un passo di 1,25x1,25 metri, in cui sono alloggiati gli ugelli nebulizzatori e il circuito di alimentazione e distribuzione dell'acqua. A concludere, un ultimo livello di travi in acciaio, posto alla quota più alta del manufatto, ospita il sistema oscurante, composto da tendaggi permeabili e mobili, sia del tipo manuale che meccanizzato a discrezione dell'utente (Figura 9 e 10). L'utilizzo di sistemi mobili composti da elementi permeabili e traspiranti risulta indispensabile al fine di permettere il corretto funzionamento del sistema nebulizzante. Lungo il perimetro del manufatto sono presenti gli alloggiamenti per i componenti modulari di facciata plug and play. Questi elementi possono essere di diversa tipologia: NBS (Nature Based Solutions), pannelli ceramici integrati con sistemi di raffrescamento evaporativo passivo, o componenti di facciata con schermo LED integrato per la proiezione e condivisione di contenuti multimediali e informativi.

Grazie all'utilizzo di software BIM è stato possibile, contestualmente alla modellazione architettonica-strutturale, ricavare il capitolato delle opere relativo alla struttura nella configurazione ipotizzata da circa 75 metri quadri di superficie. Con l'aggiunta delle voci relative ai costi unitari è stato in seguito elaborato un computo metrico estimativo al fine di fornire un'analisi preliminare dei costi. Il prezzario di riferimento per l'elaborazione del computo è quello della Regione Lazio aggiornato all'anno 2020. Le quantità e i costi per la realizzazione della configurazione base del plug-in urbano da 75 metri quadri sono riportate nel dettaglio nel report RdS/PTR(2020)/024. Il prezzo totale stimato per questa configurazione risulta essere di circa 37.368,00 €.

2.1.2 Schede: Elaborati grafici di progetto

Nelle seguenti pagine, sono riportati gli elaborati grafici di progetto relativi alla struttura del plug-in urbano.

Le planimetrie procedono dalla quota più bassa fino a quella più alta e ad ognuna è associata la rispettiva sezione longitudinale con evidenziata la quota di riferimento (Figure 5-10). Nella Figura 11 è rappresentato un esploso assonometrico in cui sono riportati i diversi dispositivi tecnologici ipotizzati.

PIANTA QUOTA + 0.20 m - Livello appoggi struttura

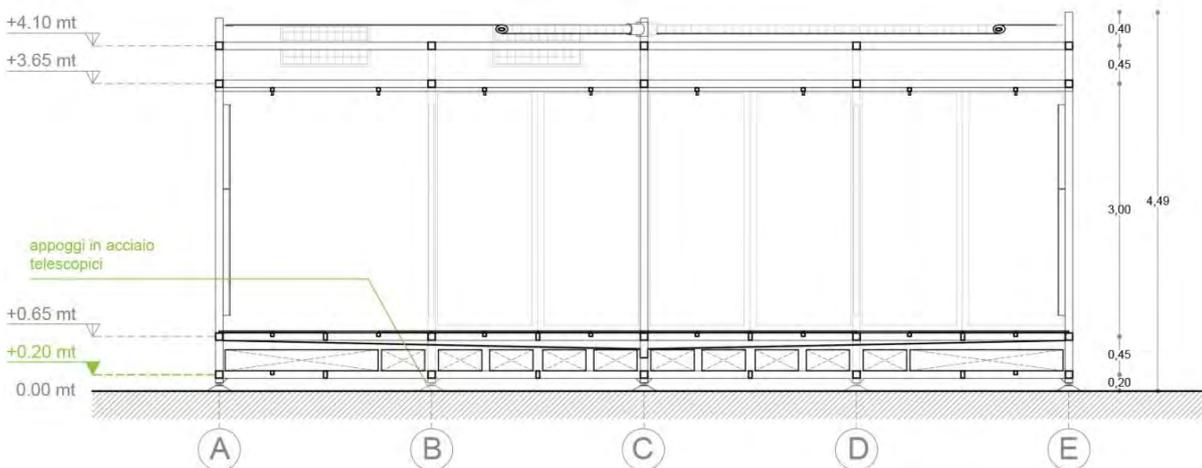
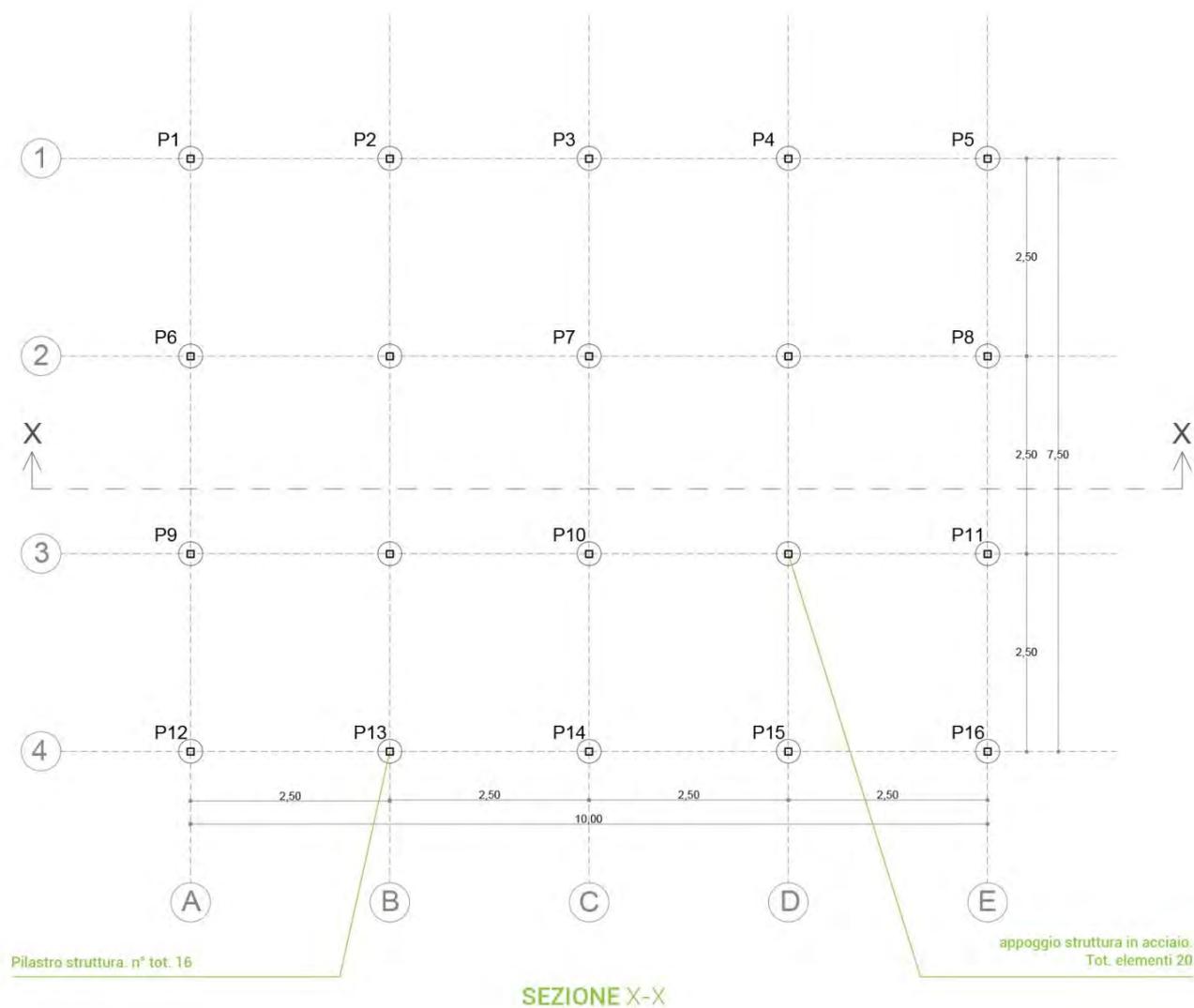
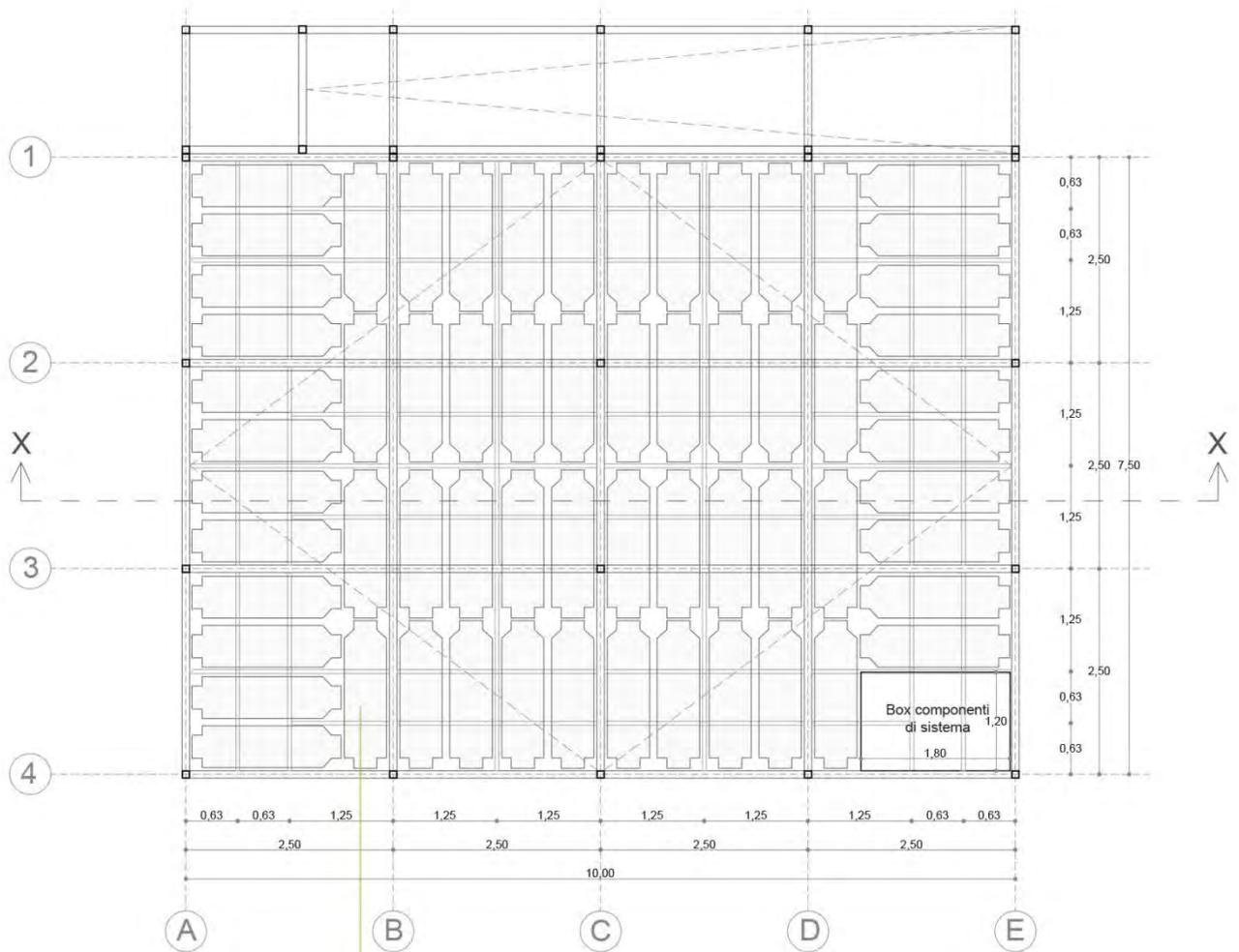


Figura 5. Planimetria quota +0.20 m. Livello appoggi struttura (in alto). Sezione (in basso)

PIANTA QUOTA + 0.55 - Livello sistema raccolta acque meteoriche



Cisterne di raccolta acqua piovana
dim. 180x50x25 cm. Tot. elementi 62 (max)

SEZIONE X-X

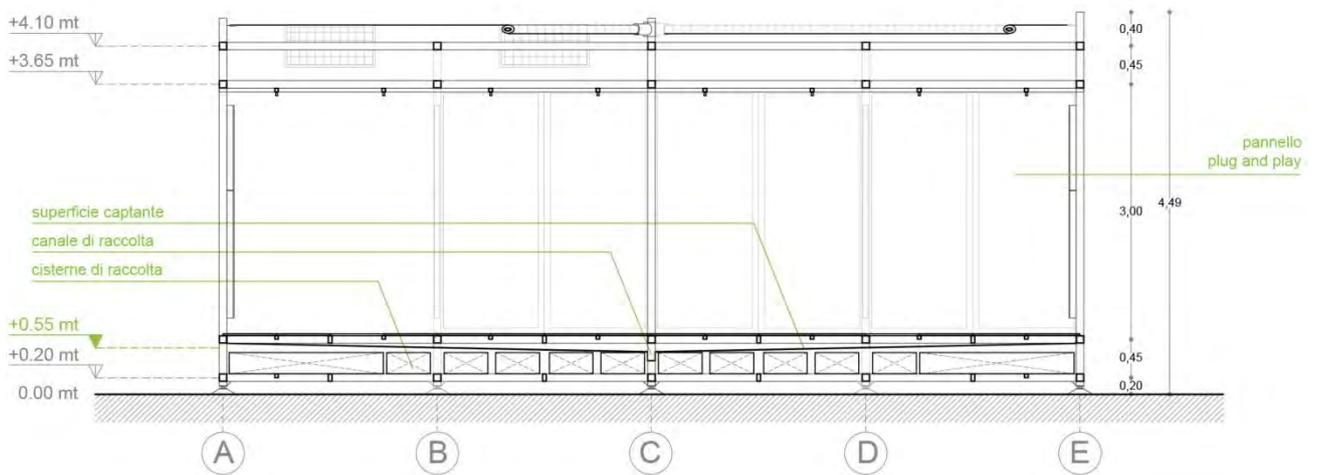
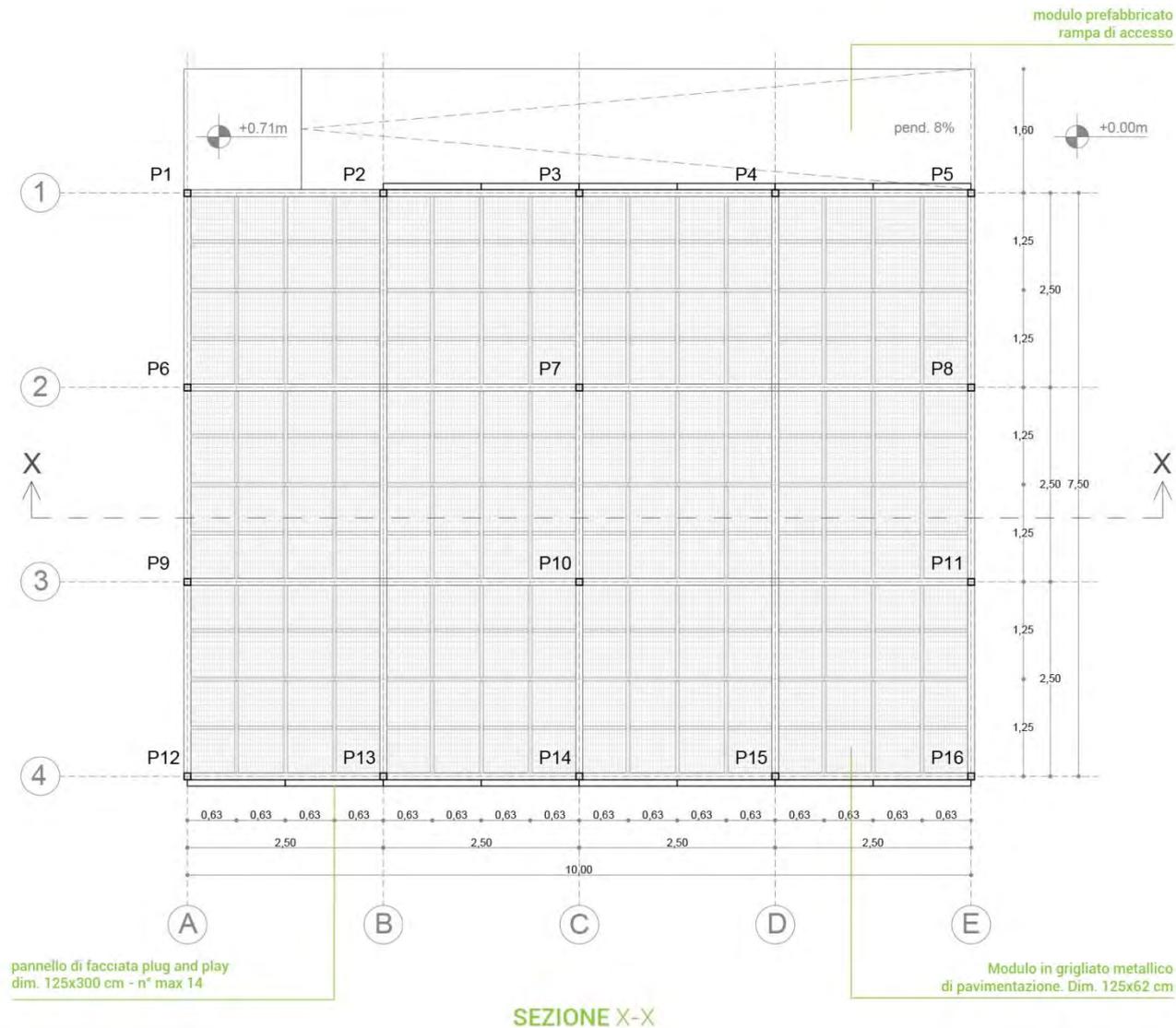


Figura 6. Planimetria quota +0.55 m. Livello sistema raccolta acque meteoriche (in alto). Sezione (in basso)

PIANTA QUOTA + 0.65 m - Livello calpestio plug-in



SEZIONE X-X

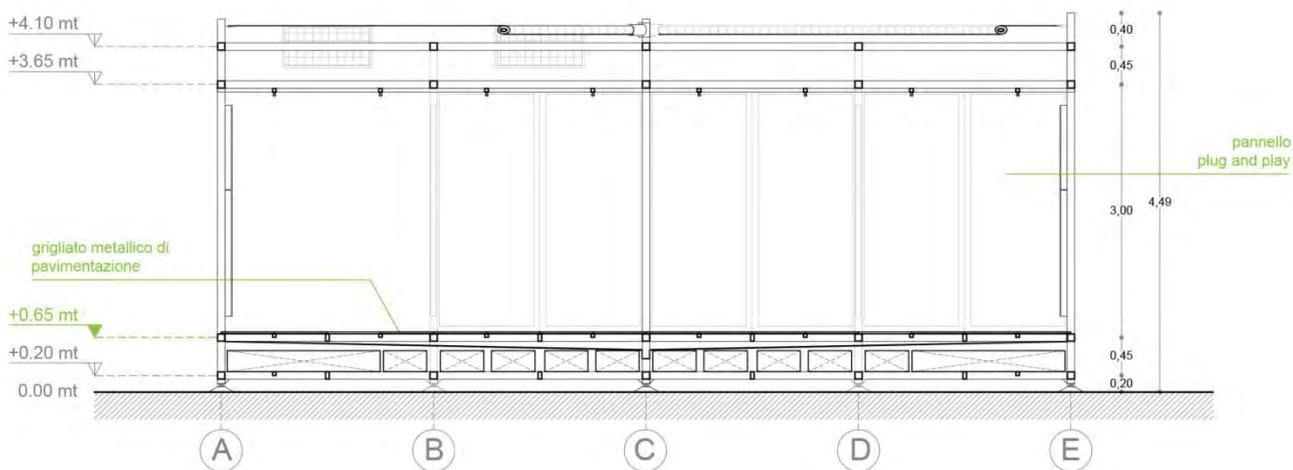


Figura 7. Planimetria quota +0.65 m. Livello calpestio principale plug-in urbano (in alto). Sezione (in basso)

PIANTA QUOTA + 3.65 m - Livello sistema nebulizzante

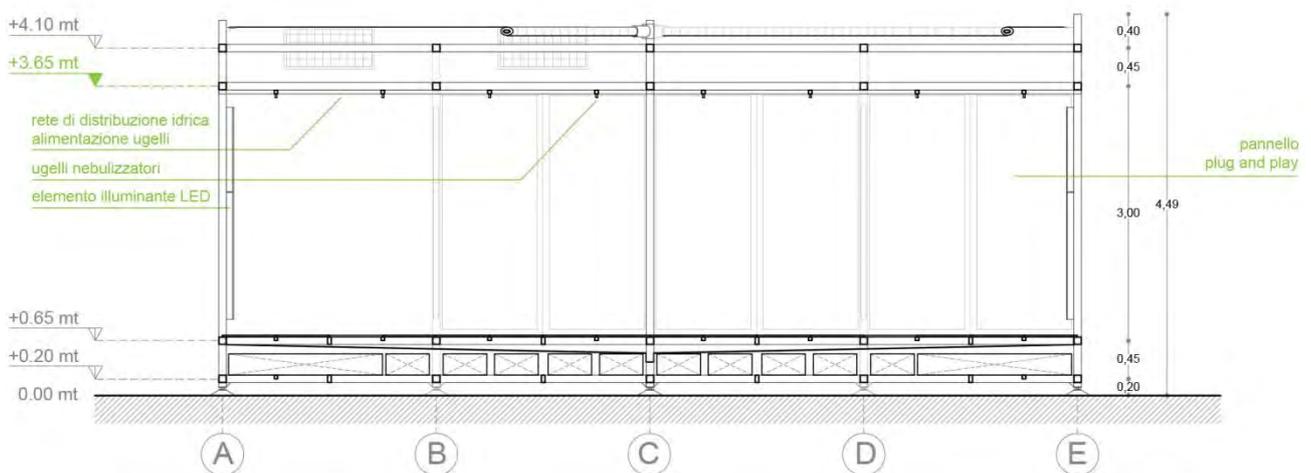
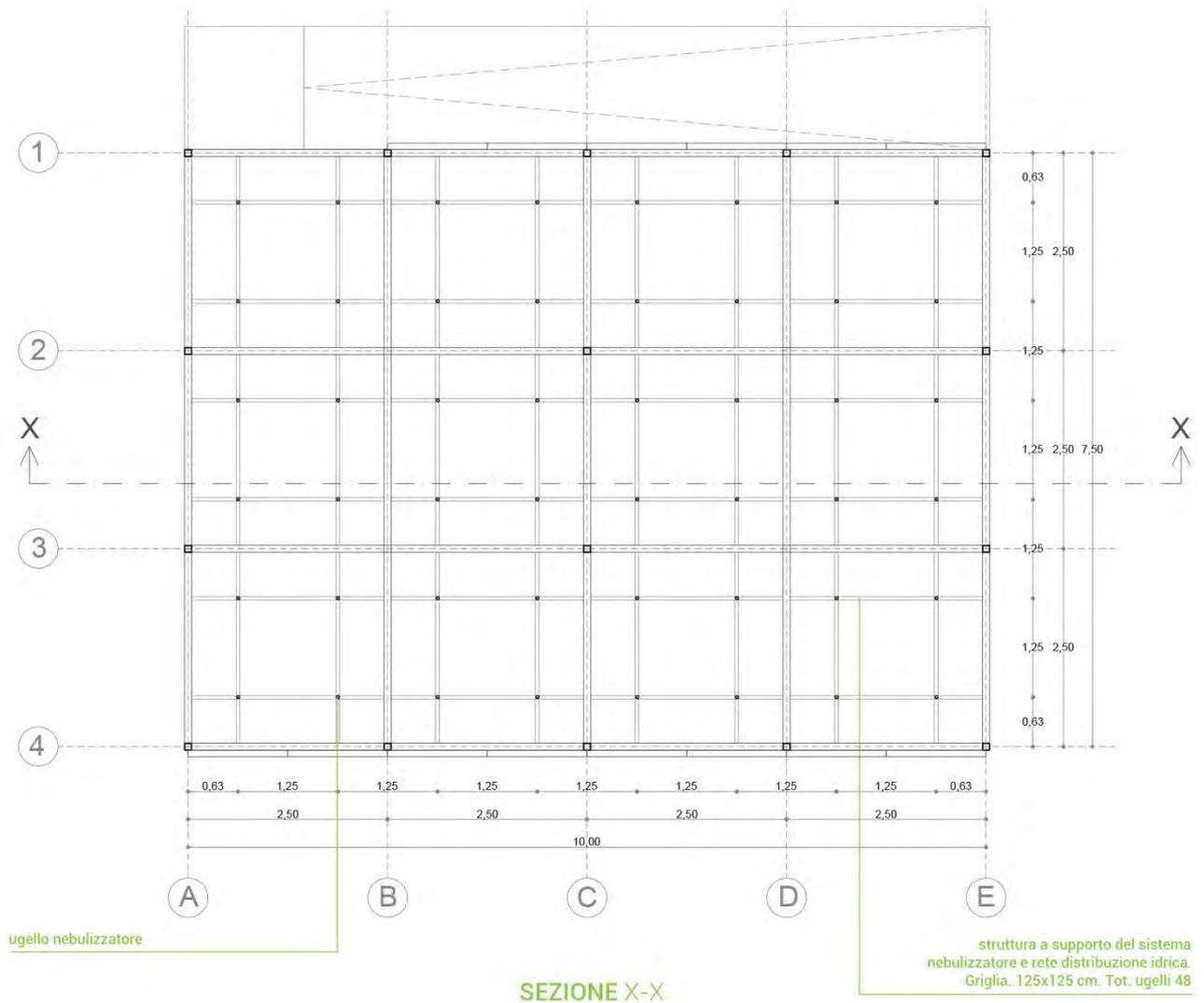


Figura 8. Planimetria quota +3.65 m. Livello sistema nebulizzante (in alto). Sezione (in basso)

PIANTA QUOTA + 4.10 m - Livello sistema oscurante (configurazione aperta) e fotovoltaico

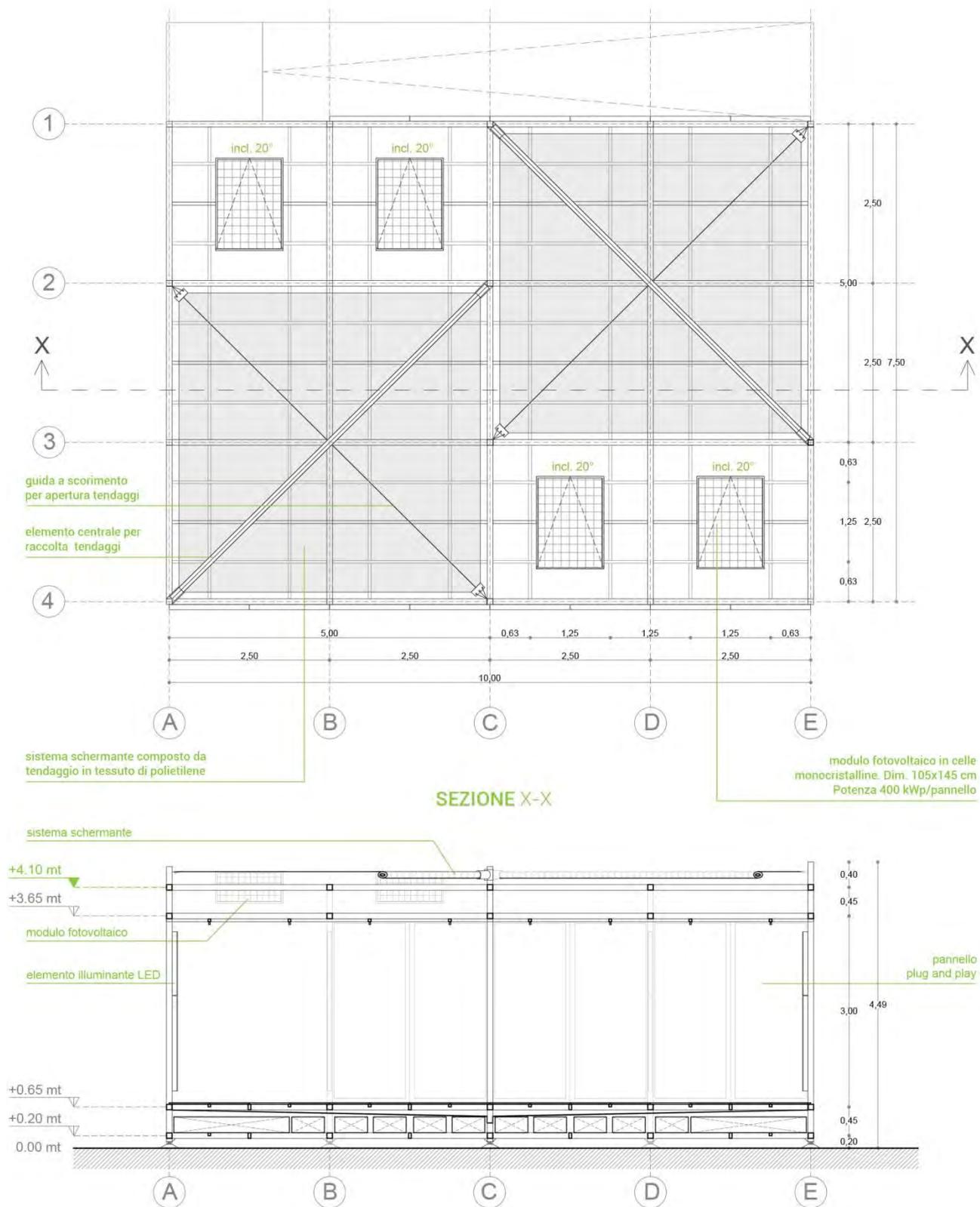


Figura 9. Planimetria quota +4.10 m. Sistema oscurante aperto e fotovoltaico (in alto). Sezione (in basso)

PIANTA QUOTA + 4.10 m - Livello sistema oscurante (configurazione chiusa) e fotovoltaico

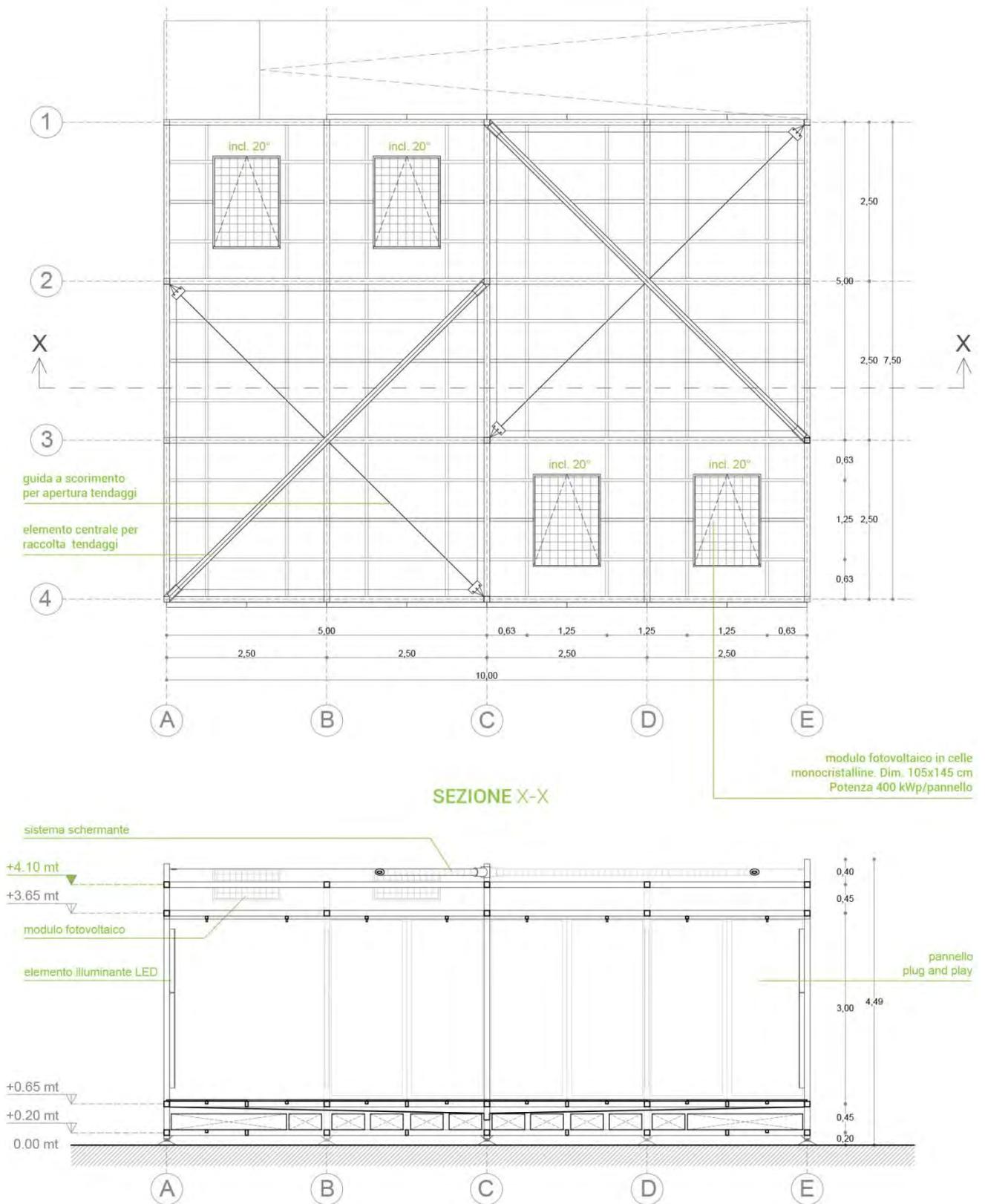


Figura 10. Planimetria quota +4.10 m. Sistema oscurante chiuso e fotovoltaico (in alto). Sezione (in basso)

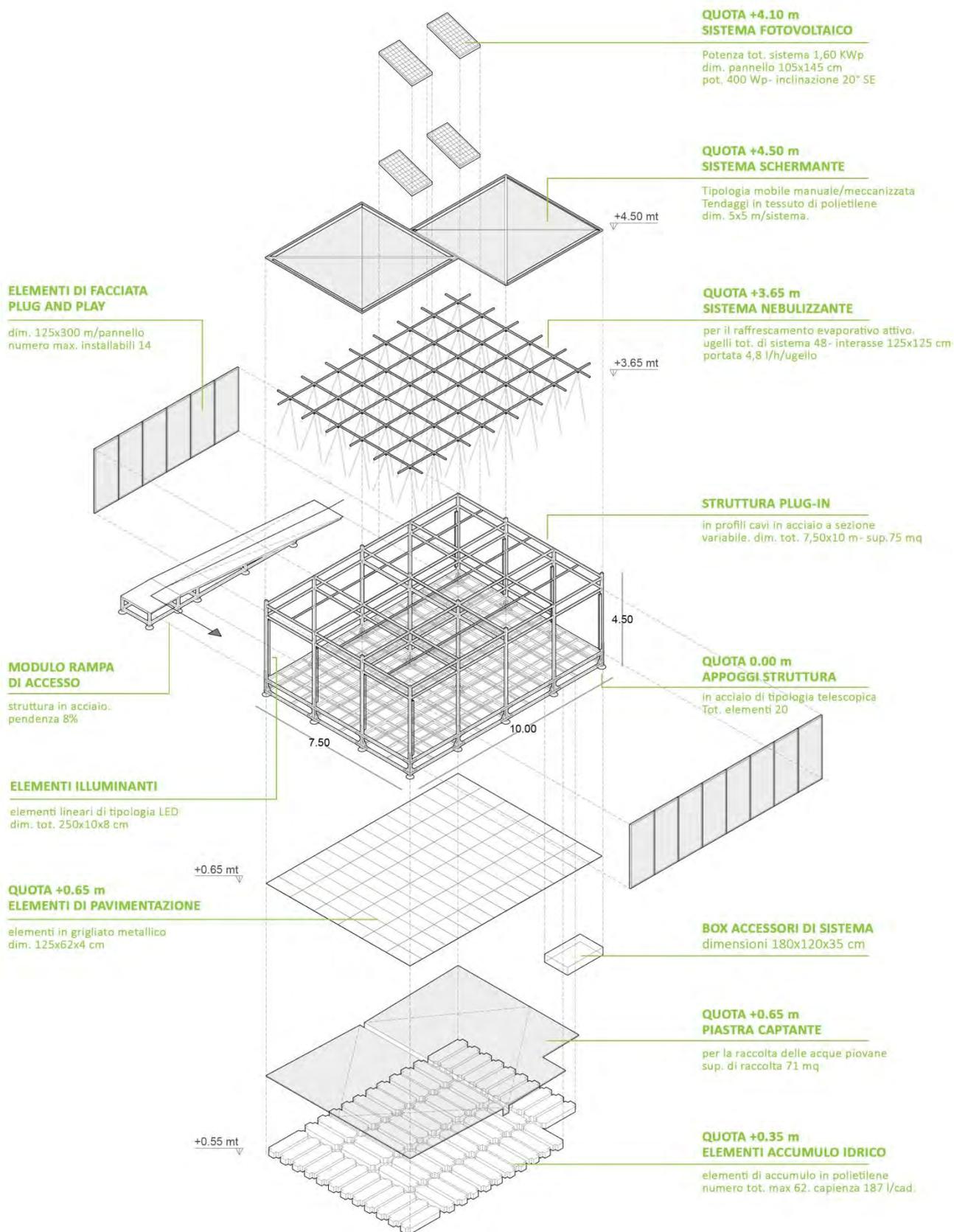


Figura 11. Esploso di progetto con identificazione componenti e dispositivi tecnologici ipotizzati

2.1.3 Dispositivi tecnologici

- **Sistema di raccolta e accumulo delle acque meteoriche**

Il sistema di accumulo delle acque meteoriche è posizionato interamente nell'intercapedine posta alla base della struttura. La superficie captante, sempre alla base della struttura, ma sopra la parte deputata all'accumulo, pari a circa 71 metri quadri nella configurazione in esame, si compone di due piastre metalliche ancorate alla struttura e inclinate con una pendenza di almeno il 2% verso l'asse centrale del manufatto. In questa sede è posizionato il canale di raccolta che conduce l'acqua captata alle cisterne di accumulo idrico poste al di sotto delle piastre captanti. Nello specifico, sono state ipotizzate delle cisterne in polietilene di dimensioni pari a circa 180 x 50 x 25 cm, ancorate alla struttura e disposte in l'una accanto all'altra. Questi elementi sono collegati attraverso dei connettori per permetterne il riempimento in serie e ognuna è in grado di contenere fino a 187 litri di acqua. Nella configurazione in esame è possibile installare fino a 62 elementi, per un totale di circa 12 000 litri accumulabili. Ogni elemento a massima capienza presenta un peso pari a circa 225 kg per un totale di quasi 14 tonnellate gravanti sulla struttura nella configurazione che presenta il numero massimo di serbatoi installati. Il sistema prevede l'ausilio di una piccola pompa elettrica di circolazione per permettere all'acqua stoccata nelle cisterne di raggiungere i canali di distribuzione. In particolare l'acqua sarà inviata ad un'altezza di circa 3,00 metri dalla quota di calpestio per permettere l'alimentazione degli ugelli del sistema di nebulizzazione e/o degli elementi modulari di facciata che necessitano di acqua per il loro funzionamento. Nello schema in Figura 12 è illustrato graficamente il sistema di raccolta delle acque meteoriche e la rete di distribuzione idrica. I dati relativi al fabbisogno idrico relativo alle diverse configurazioni di plug-in urbano sono riportati nel paragrafo 2.4.1.1.6 relativo ai consumi idrici.

- **Sistema di nebulizzazione per il raffrescamento evaporativo**

I dispositivi di sistema relativi all'impianto di nebulizzazione sono posizionati anch'essi nell'intercapedine posta alla base della struttura e alloggiati in un apposito box di sicurezza. In questa sede sono posizionati: il controller, che permette di regolare e monitorare le prestazioni dell'impianto di nebulizzazione e il sistema filtrante e di sanificazione dell'acqua che viene inviata nel circuito e le relative pompe di circolazione ad ausilio del sistema di distribuzione. Gli ugelli del sistema nebulizzante sono posizionati a una quota di circa 3,00 metri da quella di calpestio con un'emissione pari a circa 4,8 litri/ora cadauno. La configurazione in esame presenta 48 ugelli posti ad un'interasse di 1,25 metri, alloggiati in una struttura metallica in cui è posizionata la rete di distribuzione idrica di alimentazione. Il sistema di nebulizzazione e relativo circuito sono riportati in Figura 12. Anche in questo caso i dati relativi al fabbisogno idrico sono riportati nel paragrafo 2.4.1.1.6.

- **Sistema fotovoltaico per la produzione di energia elettrica**

Il plug-in è dotato di un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica posizionato e integrato sulla parte sommitale della struttura. I pannelli fotovoltaici sono dotati di un ancoraggio che ne consente la regolazione dell'angolo di inclinazione a seconda della latitudine di installazione del plug-in, al fine di raggiungere il massimo rendimento dell'impianto. Il sistema nella configurazione in esame, con una potenza complessiva di 1,6 kWp, si compone di 4 pannelli fotovoltaici con potenza nominale da 400Wp l'uno con celle di tipologia monocristallina, di dimensioni pari a circa 105 x 169 x 4 cm per una superficie di circa 1,7 metri quadri cadauno. I pannelli sono orientati verso sud/sud-est e posizionati con un'inclinazione dal piano orizzontale di circa 20° per sfruttare il più possibile, anche in relazione a esigenze estetiche e tecniche, l'irraggiamento solare. A completare il sistema, oltre le diverse componenti (quali inverter, cablaggio, ecc.), due batterie per l'accumulo dell'energia elettrica prodotta. Nella Figura 13 è illustrato graficamente il posizionamento dell'impianto e delle relative componenti. I dati relativi alla produzione e al fabbisogno di energia elettrica sono riportati nel paragrafo 2.4.1.1.7 relativo ai consumi di energia elettrica.

- **Sistema illuminante**

Il plug-in è dotato di un sistema di illuminazione per consentire l'eventuale utilizzo dello spazio anche durante le ore serali. Il sistema si compone di corpi illuminanti lineari di tipo LED posizionati lungo i pilastri esterni della struttura ed orientati verso il centro dello spazio. Sono esclusi i pilastri centrali (P7 e P10 – Figura 12) destinati al passaggio della rete di distribuzione idrica di alimentazione del sistema nebulizzante e dei pannelli di facciata plug and play.

Nello specifico, il sistema si compone di 28 elementi illuminanti totali ancorati in coppia ai 14 pilastri esterni, per un totale di 2 elementi lineari affiancati per ogni pilastro. Gli elementi hanno rispettivamente dimensioni di circa 1,50 metri e 1,00 metro, per un totale di 2,50. Ogni coppia è ancorata al rispettivo pilastro al fine di coprirne il più possibile l'altezza nella porzione che intercorre tra la quota della pavimentazione del plug-in (quota +0.65 m) e quella del sistema nebulizzante (quota +3.65 m), pari a circa 2,80 metri. Nella Figura 13 è illustrato graficamente il posizionamento del sistema illuminante e dei relativi componenti. I consumi relativi al sistema, nelle differenti configurazioni di utilizzo del plug-in urbano, sono riportati anche in questo caso nel paragrafo 2.4.1.1.7.

- **Sistema schermante**

Sulla parte sommitale della struttura è posizionato il sistema schermante consistente in tende di tipologia mobile (manuali o meccanizzate). Per necessità tecniche e estetiche sono stati implementati nella struttura due sistemi oscuranti affiancati, montati ognuno su 4 pilastri perimetrali a formare un quadrato di dimensioni pari a circa 5,00x5,00 metri e traslati tra loro di 2,50 metri al fine di definire due porzioni di copertura non interessate dal sistema oscurante da destinare all'installazione dei pannelli fotovoltaici. L'intero sistema copre una superficie pari a 50,00 metri quadri su 75,00 di superficie totale del plug-in. Gli elementi schermanti consistono in tendaggi di forma triangolare avvolti intorno ad un fusto centrale, che determina la base dei teli triangolari, disposto diagonalmente rispetto ai 4 pilastri di installazione. I vertici opposti alla base dei tendaggi sono collegati a un sistema di cavi in acciaio che, scorrendo in direzione opposta lungo una guida, permettono la totale apertura delle due porzioni triangolari della tenda.

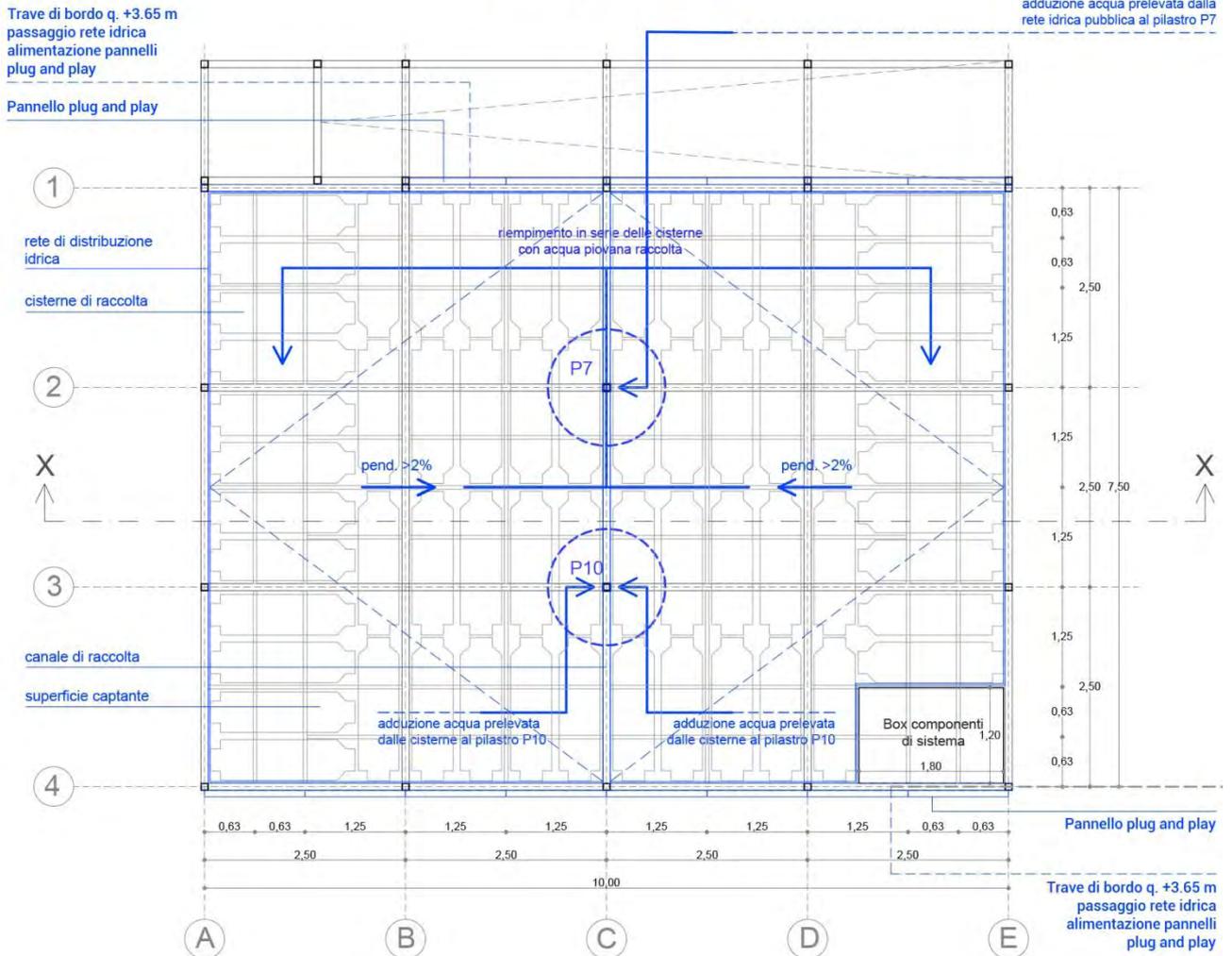
I tendaggi sono composti da tessuto di polipropilene con maglia mediamente fitta in grado di permettere un adeguato grado di permeabilità degli elementi ed, in caso di utilizzo simultaneo rispetto al sistema nebulizzante, evitare il verificarsi di condizioni che determinino il non corretto funzionamento dello stesso. Nelle Figure 9 e 10 è illustrato il sistema nelle due configurazioni aperto-chiuso.

2.1.3.1 Schede: Dispositivi tecnologici

Nelle seguenti pagine, alle Figure 12 e 13, sono riportati gli schemi di progetto relativi al circuito idrico, composto dal sistema nebulizzante per il raffrescamento evaporativo e dal sistema di raccolta delle acque meteoriche, e al circuito elettrico, con illustrato il sistema illuminante e le sue componenti e il sistema fotovoltaico per la produzione di energia elettrica.

CIRCUITO IDRICO: Sistema raccolta acque meteoriche, sistema nebulizzante, moduli di facciata plug and play

Pianta quota +0.55 m



SEZIONE X-X

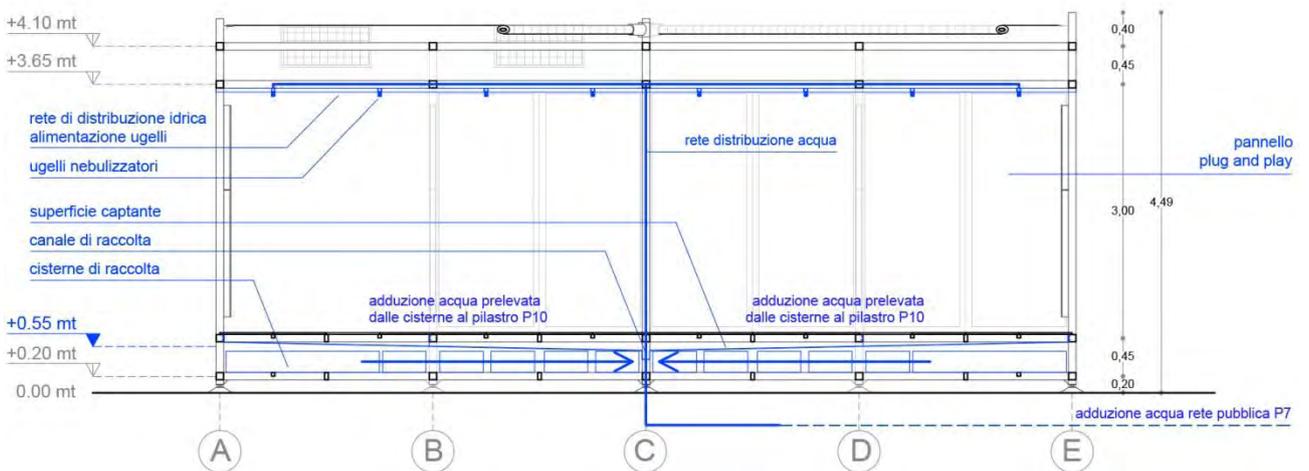


Figura 12. Circuito idrico. Raccolta acque meteoriche, sistema di nebulizzazione, moduli di facciata plug and play

CIRCUITO ELETTRICO: Sistema illuminante e sistema fotovoltaico
 Pianta quota +0.65 m

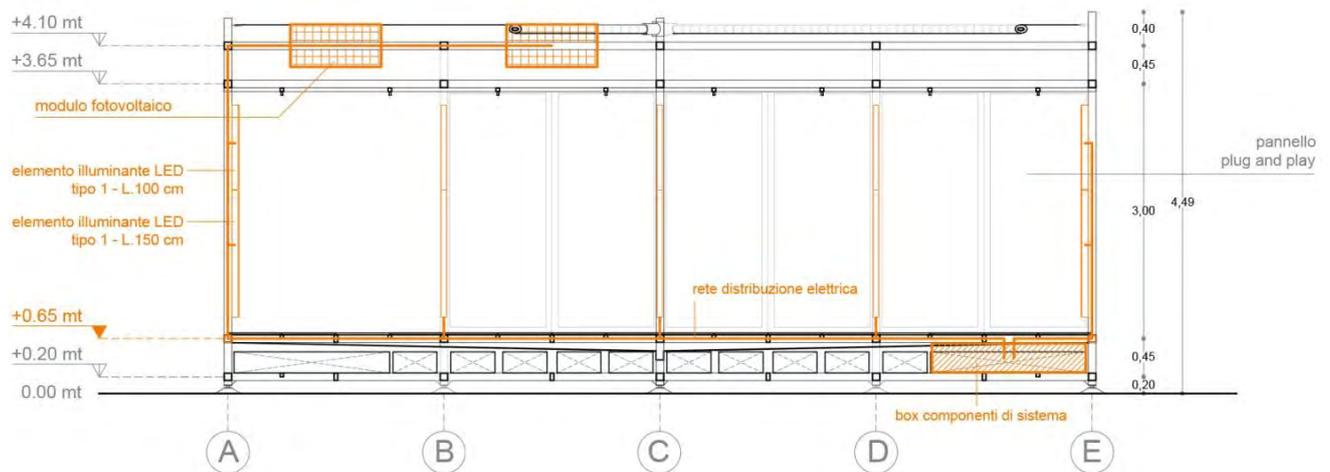
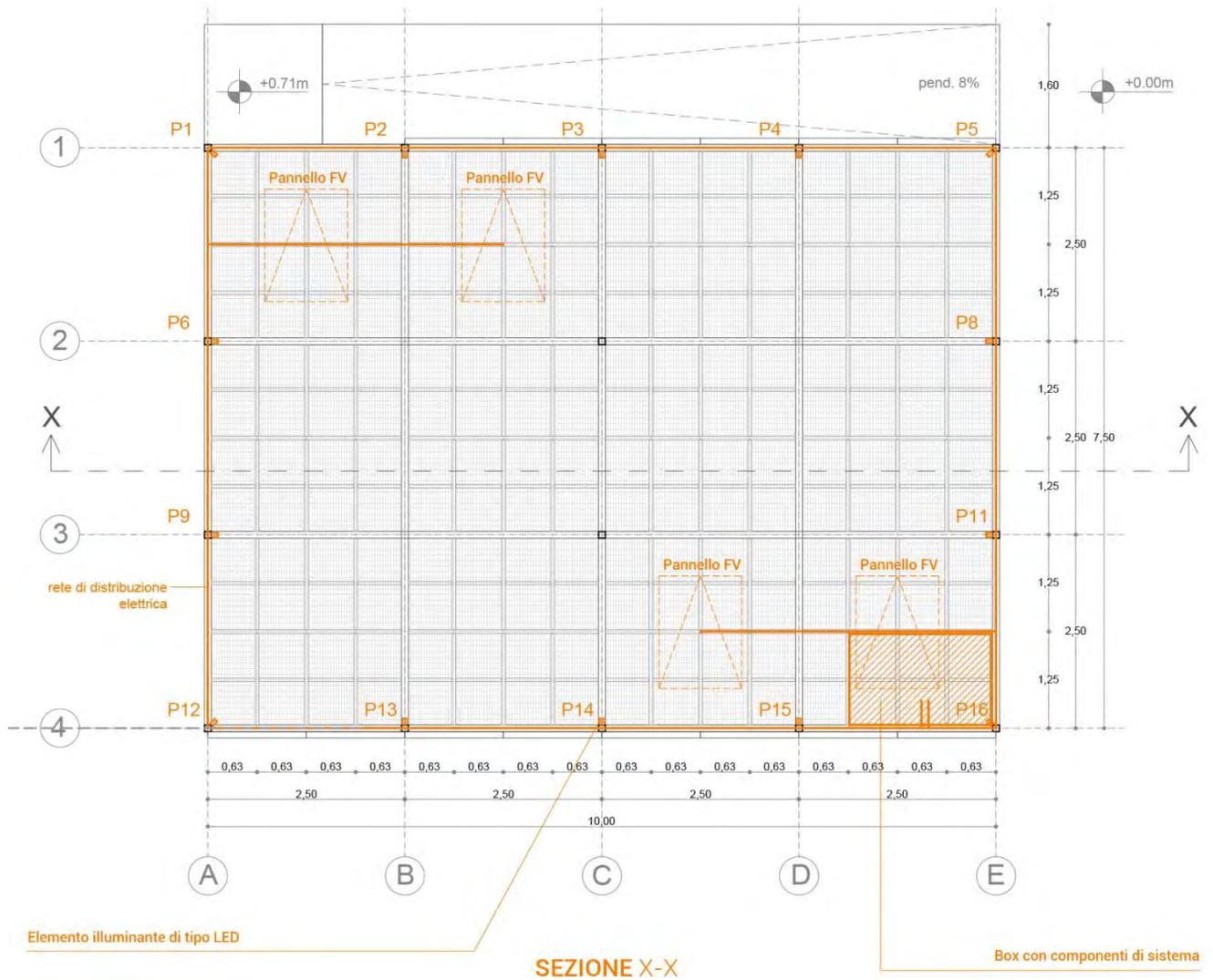


Figura 13. Circuito elettrico. Sistema illuminante e impianto fotovoltaico

2.1.4 Focus: Dispositivi di facciata plug and play

La scelta di introdurre il sistema tecnologico plug and play come integrazione al progetto del plug-in urbano deriva dalla necessità di migliorare l'efficienza energetica dell'elemento architettonico, in modo da ottimizzare il rapporto tra immissione di energia e rendimento in termini di produzione e di consumi, ed incrementare il raffrescamento dell'ambiente circostante. Il sistema plug and play consente un montaggio e smontaggio semplice degli elementi e dunque un'installazione veloce, controllata e sicura dell'elemento, che può così essere trasportato da un ambiente ad un altro senza difficoltà. Inoltre, la facile manutenzione delle chiusure verticali si somma alle numerose proprietà del progetto, insieme ad un costo ridotto dei materiali utilizzati e delle tecnologie impiegate.

Le caratteristiche peculiari del sistema plug and play si possono riassumere in sei punti: comfort, flessibilità, sicurezza, estetica, reversibilità ed efficientamento.

Gli scenari di tema e variazione di facciata si articolano su due macrosistemi: a coltivazione vegetale e a raffrescamento evaporativo ceramico. I due macrosistemi a loro volta si suddividono in: sistemi idroponici, ceramici e di terra. Questi sistemi sono applicati alle chiusure verticali del progetto del plug-in urbano in modo da caratterizzarlo, a seconda della modularità strutturale scelta, in componenti di dimensioni uguali, ma numero diverso, per garantire una migliore facilità nell'utilizzo del manufatto e allo stesso tempo ottenere una regolarità progettuale.

2.1.4.1 Pannelli verdi

La decisione di immettere componenti tecnologici che comprendono essenze vegetali deriva dalla moltitudine di benefici che le piante offrono. Le piante filtrano le particelle sottili presenti nell'aria e trasformano l'anidride carbonica in ossigeno, assorbono la luce solare garantendo ombreggiamento e un conseguente abbassamento significativo della temperatura radiante delle superfici circostanti. Il tema di contenere l'eccessivo consumo idrico è stato uno dei punti focali del progetto. A tale scopo sono state pensate due tipologie di pannelli vegetali, uno realizzato tramite colture e sistemi idroponici, e l'altro con sistemi di vegetazione a terra. Il sistema idroponico permette di riuscire ad avere essenze vegetali in assenza di suolo. Poiché in questa tipologia le piante non hanno necessità di estendere molto le proprie radici non dovendo consumare energia alla ricerca di nutrienti, è possibile minimizzare il consumo idrico e recuperare, tramite un ricircolo continuo a goccia, l'acqua utilizzata. Il sistema di vegetazione a terra condivide tutti i benefici del sistema idroponico, ma differisce da quest'ultimo per la quantità di terra necessaria a far crescere le piante, fattore che influisce negativamente sul peso. Come riferimento sono stati presi due progetti: il padiglione degli USA all'Expo di Milano del 2015 ed il Regen Village nei Paesi Bassi del 2016 (Figura 14). Entrambi i progetti presentano coltivazioni idroponiche sviluppate del tipo 'vertical farm', basate su un concetto di autoproduzione e gestione delle risorse, attento al comfort e all'impatto sull'ambiente.

Pannello C1: Sistema idroponico a coltivazione verticale

Il sistema idroponico a coltivazione verticale ha numerosi benefici. In primo luogo rende dalle 2 alle 7 volte in più rispetto allo standard dell'industria agricola. Dal punto di vista ambientale, consente di ridurre in modo significativo i consumi idrici, utilizzando il 90% di acqua in meno rispetto alle coltivazioni tradizionali. Il sistema impiega 1/3 dell'energia di un sistema tradizionale di pari produzione, con un bisogno del 40% in meno di manodopera addetta alla manutenzione e/o sostituzione di parti danneggiate, risultando così economicamente vantaggioso e veloce e facile da installare.

Le 6 torri verticali, inserite nella struttura principale a cornice del pannello, sono costituite da un involucro rigido che contiene uno strato multifunzionale di coltivazione, un filtro meccanico e uno biologico (Figure 15 e 16). La matrice all'interno di ogni torre è una componente essenziale, la cui superficie è più grande rispetto a qualsiasi altro inerte, consentendo un maggiore potere nitrificante e filtrante. Il pannello C1 è composto da una struttura portante costituita da quattro profilati cavi in PVC rigido o plastica riciclata, due

lunghe 125 cm e due 276 cm con spessore di 3 mm, a cui sono saldate 12 piastre con gancio ad incastro per sorreggere le torri di coltivazione verticale a sezione quadrata cava, in PVC rigido o plastica riciclata, di dimensioni 10x10x274 cm con spessore di 3 mm. Lo strato di coltivazione interno alle torri è costituito da sei strisce di fibra non tessuta in PET-1 ottenute da bottiglie di plastica riciclata e sei strisce traspiranti in poliestere non tessuto, *wicking strips*. Il sistema di irrigazione a goccia in tubi in PVC di diametro 1 cm è controllato da una pompa di riciclo che garantisce un minimo dispendio di energia e acqua. Il sistema si presenta come una parete a minimo impatto ambientale ed energetico in grado di massimizzare l'estensione della superficie vegetale.

2.1.4.1.1 Pannello C2: Sistema idroponico a coltivazione orizzontale (Soluzione A)

Il sistema NFT è un impianto per la coltivazione idroponica. La sigla NFT è il diminutivo di *Nutrient Film Technique* (Tecnica del Film Nutritivo). Si tratta di un sistema di coltivazione idroponica in cui le radici delle piante sono alimentate tramite una soluzione nutritiva, che scorre continuamente nella zona circostante le radici. La tecnica idroponica NFT, su cui si basa l'impianto prevede che le piante siano inserite in cubi di lana di roccia, in modo tale che possano radicarsi intorno a questi non appena impiantate, mantenendo una buona stabilità anche in mancanza di argilla espansa o di substrato. Quando le piante avranno radicato, è possibile appoggiarle sullo scivolo che, grazie ad una pompa, fa scorrere la soluzione nutritiva, o film nutritivo, permettendogli di crescere e fiorire. Per velocizzare il processo si possono utilizzare dei tappeti in TNT, tessuto non tessuto, che favoriscono l'espansione delle radici. Il pannello C2 a coltivazione idroponica orizzontale (Figure 17 e 18) appartiene al macrosistema della coltivazione vegetale e si caratterizza per il facile montaggio e smontaggio degli elementi e la leggerezza. Infatti la struttura portata ha un peso molto limitato essendo composta da 11 moduli a sezione rettangolare cava in PVC rigido o plastica riciclata di dimensioni 8x10x106 cm con spessore di 3 mm e da una sottile lastra in piombo, inserita nella parte inferiore, di 0,2 cm di spessore, e da 22 perni saldati con gancio a incastro in PVC rigido di dimensioni 2x2x5,8 cm. Inoltre, lo strato di coltivazione all'interno è ancora più leggero con i suoi 55 moduli di dimensioni 5x5x5 cm di lana di roccia orticola contenenti il germoglio, le 11 strisce di film per il nutrimento delle piante e le 11 griglie in PVC che permettono lo scolo dell'acqua nella parte interna dei due profilati cavi rettangolari, 6x10x276 cm con spessore di 3 mm, in PVC rigido o plastica riciclata che compongono il lato lungo della struttura portante.

Il lato corto della struttura, invece, è composto da altrettanti profilati cavi rettangolari, 12x10x125 cm con spessore di 3 mm, che contengono al loro interno parte del sistema di irrigazione ad allagamento temporizzato, con il recupero dell'acqua effettuato attraverso una pompa di ricircolo che ha un consumo di 25 W/h.

2.1.4.1.2 Pannello C2: Sistema idroponico a coltivazione orizzontale (Soluzione B)

La differenza della soluzione B rispetto alla soluzione A del pannello C2 riguarda la struttura apribile presente nella parte superiore ed anteriore del pannello, che permette di realizzare un'ulteriore schermatura solare e uno spazio d'ombra e di sosta a ridosso del plug-in urbano (Figure 19 e 20). Questa è integrata con due pistoni in acciaio saldati alla struttura portante e allo stesso telaio cavo rettangolare in PVC rigido, di dimensioni 113x8x190 cm con spessore di 2 mm, e una cerniera in PVC rigido che copre la larghezza del telaio.

2.1.4.1.3 Pannello C3: Sistema a coltivazione verticale in terra

Il sistema a coltivazione verticale in terra rappresenta una soluzione semplice da un punto di vista costruttivo e meccanico. Le piante per fotosintesi producono umidità e ossigeno assorbendo la CO₂, riducono la presenza delle polveri sottili causate dall'inquinamento urbano, proteggono gli ambienti interni dall'irraggiamento estivo, permettendo di ottenere un ambiente piacevole e un risparmio energetico. Un modulo verticale inoltre agisce come barriera sonora per il manufatto, assorbendo il suono fino al 41% in

più rispetto ad una facciata tradizionale. Le vasche che accolgono le essenze sono pensate per essere singolarmente sostituibili e facilmente agganciabili su delle piastre. Le essenze al loro interno vengono proposte sia come essenze edibili sia terapeutiche (Figura 25). La struttura portante del pannello è costituita da 2 profilati cavi rettangolari in alluminio riciclato di dimensioni 10x12x125 cm per 3 mm di spessore e due profilati della stessa forma e dello stesso materiale di dimensioni 6x10x276 cm con spessore di 3 mm (Figure 21 e 22). La struttura portata comprende 4 elementi a torre in alluminio riciclato, ciascuno collegato alla struttura portante con ganci ad L, 3 mensole di dimensioni 1x20x20 cm, due profilati verticali di dimensioni 1x2x274 cm saldati alle piastre e alle mensole. I contenitori, pensati come moduli cubici di dimensioni 20x20x20 cm con spessore di 5 mm, accolgono una piastra di ancoraggio in plastica riciclata e la terra per lo strato di coltivazione. I vasi sono bloccati attraverso viti a scomparsa. Il sistema di irrigazione è automatico, composto da tubi in PVC con diametro 1 cm e annessi terminali.

2.1.4.1.4 Pannello C4: Sistema a coltivazione verticale in terra su griglia

Il sistema a coltivazione verticale in terra su griglia, facendo parte dei sistemi che utilizzano la vegetazione come elemento principale, presenta tutte le caratteristiche benefiche che contraddistinguono i sistemi verdi verticali capaci di apportare numerosi benefici non solo all'ambiente circostante, ma anche alla salute dei cittadini e al loro comfort abitativo. Tra gli impatti ambientali dei sistemi verdi verticali figura la riduzione del calore urbano, il miglioramento della qualità dell'aria attraverso l'assorbimento ed il filtraggio da parte delle piante di particelle chimiche presenti nell'aria come la CO₂, l'ottimizzazione del risparmio energetico grazie alla riduzione della trasmissione del calore e della temperatura delle superfici circostanti, e la riduzione del rumore. Il pannello si sviluppa attorno a una struttura portante composta da due profilati cavi rettangolari in alluminio di dimensioni 12x10x125 cm, due profilati cavi rettangolari in alluminio di dimensioni 6x10x276 cm, due profilati pieni rettangolari di alluminio di dimensioni 2x24x113 cm ed un profilato cavo rettangolare in alluminio di dimensioni 6x10x113 cm, tutti con uno spessore di 3 mm (Figure 23 e 24). Sono presenti due parti, una fissa secondaria e una mobile che permette al pannello di creare ombreggiamento. La struttura apribile, tramite cerniere, è composta da un telaio pieno rettangolare in alluminio, con dimensioni pari a 125x2x147 cm, contenente una griglia irregolare in alluminio su cui si arrampica la pianta. La struttura fissa sottostante è composta dalla medesima maglia irregolare della parte apribile, ma fissata in maniera permanente. I contenitori in PVC rigido che accolgono la vegetazione sono posti uno in sommità e uno alla base del pannello e hanno dimensioni pari a 21x20x109 cm con uno spessore di 5 mm. Il sistema di irrigazione è automatizzato, composto da tubi in PVC con diametro 1 cm dotati di terminali.

2.1.4.2 Pannelli con elementi ceramici

La tecnologia che impiega componenti ceramici per operare il raffrescamento evaporativo è concepita con elementi modulari ceramici capaci di assorbire l'acqua per porosità. L'acqua presente nell'elemento ceramico tende a evaporare raffrescando l'aria e di conseguenza la temperatura interna del manufatto. Il sistema modulare ceramico, oltre a garantire un raffrescamento, permette una velocità di assemblaggio in cantiere e una facile manutenzione. Il principio del raffrescamento evaporativo può essere messo in atto tramite l'utilizzo di acqua costantemente presente all'interno dei moduli o tramite un'irrorazione ciclica, definendo due tipologie di pannello distinte. L'utilizzo di elementi modulari permette inoltre la fabbricazione tramite stampa 3D, con l'immissione di terracotta liquida all'interno del macchinario, raggiungendo tempi di costruzione estremamente ridotti. A riferimento sono stati presi due progetti, uno studio dell'Università di Cambridge del 2015 e il Padiglione Spagnolo per l'esposizione internazionale dell'acqua realizzato in Spagna nel 2008 (Figura 26).

2.1.4.2.1 Pannello C5: Sistema a raffrescamento evaporativo in terracotta a tubi

Il pannello C5, a raffrescamento evaporativo in ceramica, ha la struttura portante composta dagli stessi elementi degli altri pannelli del progetto plug and play ma con diverso materiale, due profilati cavi rettangolari con dimensioni 12x10x125 cm e due profilati cavi rettangolari con dimensioni 6x10x276 cm in alluminio (Figure 27 e 28). La scelta di questo materiale è stata dettata dall'esigenza di avere una struttura solida, ma allo stesso tempo leggera ed elastica, che riesca a sostenere il peso della ceramica. Per irrigidire il telaio è presente una struttura portata di completamento definita da cinque profilati cavi circolari che hanno un diametro di 5 cm e uno spessore della lamina di 5 mm. In ciascun profilato ci sono due piastre circolari di 11 cm di diametro e 3 mm di spessore di lamina, saldate alle estremità e bullonate alla struttura principale. Questo sistema in alluminio permette di avere nel pannello un sistema modulare di raffrescamento evaporativo a nebulizzazione composto da 26 elementi in terracotta preparata con argille fabbricate per estrusione e cotte lentamente in un forno a tunnel, con sezione semicircolare di raggio 7,5 cm, altezza 91 cm e spessore 15 mm, fissati alla struttura di sostegno attraverso delle staffe in alluminio e 8 elementi in ceramica, con sezione semicircolare di raggio 7,5 cm, altezza 45,6 cm e spessore 15 mm, fissate allo stesso modo. Il sistema d'irrigazione consiste di una pompa di ricircolo inserita all'interno del profilato cavo rettangolare inferiore connessa con una rete di tubi in PVC e terminali fissati al sistema modulare, il sistema viene irrorato con i nebulizzatori che grazie all'evaporazione dell'acqua assicurano l'abbassamento della temperatura.

2.1.4.2.2 Pannello C6: Sistema a raffrescamento evaporativo in ceramica a parete

Nel sistema a blocchi o a parete l'evaporazione dell'acqua che passa all'interno raffredda l'aria. I blocchi che compongono la parete sono cavi all'interno. Questo sistema a doppio strato consente a ciascun modulo di agire come un mini-zeer-pot, un antico sistema di raffrescamento che utilizzava il raffreddamento evaporativo facendo uso di vasi a doppia parete riempiti di sabbia bagnata nello spazio interstiziale. Lo spazio interstiziale dei blocchi è riempito con acqua. I blocchi realizzati in ceramica smaltata, estremamente porosa, assorbono l'acqua che evapora mentre l'aria calda passa attraverso l'intercapedine, raffrescando la stessa. Questo sistema è adottato nel pannello C6, dove gli elementi modulari compongono il sistema di raffrescamento evaporativo a riempimento (Figure 29 e 30). Si tratta di 219 blocchi di dimensioni 12x11,9x10 cm e spessore di 3 mm realizzati attraverso stampa 3D e 22 blocchi di dimensioni 12x6x10 cm e spessore di 3 mm realizzati attraverso stampa 3D. Ciascun blocco presenta due denti laterali che permettono un incastro maschio/femmina a T, precisamente 207 blocchi con un incastro maschio/maschio a T e 12 blocchi con due denti, di 2 cm di diametro cavi per 1,4 cm, nella parte inferiore per realizzare un incastro maschio/femmina con i moduli sottostanti o con la struttura portante. La parete ceramica si inserisce nelle dimensioni del pannello e degli elementi di alluminio che compongono il telaio di facciata: due profilati cavi rettangolari con dimensioni 12x10x125 cm e due profilati cavi rettangolari con dimensioni 6x10x276 cm.

2.1.4.2.3 Schede: Dispositivi di facciata plug and play

Nelle seguenti pagine (da Figura 14 a 30) sono riportati gli elaborati relativi allo studio condotto sui moduli di facciata plug and play con l'approfondimento relativo ad ogni singolo pannello precedentemente trattato, con la descrizione delle caratteristiche tecniche, dei materiali impiegati e dei relativi consumi. Nella parte che precede le varie tipologie di pannello è riportata l'analisi condotta sui riferimenti progettuali individuati per i moduli dotati di elementi vegetali (Figura 14) e di componenti ceramici (Figura 26), mentre in coda agli elaborati, l'analisi relativa allo studio delle essenze vegetali implementabili nei moduli e valutate in base a diversi fattori (Figura 25).

RIFERIMENTI PROGETTUALI | CHIUSURE VERTICALI

PADIGLIONE STATI UNITI D'AMERICA, EXPO MILANO 2015



Il padiglione è concepito come un'interpretazione contemporanea e tecnologicamente avanzata di un finiele adiacente a una vertical farm, accompagnato da una passerella in legno con alcuni food truck. Si distingue per apertura e trasparenza, immerso in un contesto attraente e ricco di riferimenti alla cultura americana. L'elemento cardine della struttura è la fattoria verticale motorizzata la cui superficie è circa 7000 mq e occupa un intero lato del padiglione. Essendo stato concepito come un campo verticale con una valenza didattica, gli architetti hanno scelto ZipGrow Towers, un sistema di tecnologia agricola progettato dalla start-up americana Bright Agrotech per realizzare oltre 2000 metri quadrati di facciata idroponica. Utilizzando moduli realizzati con bottiglie d'acqua riciclate, verranno coltivate 42 varietà di piante con zolle di radice, come ortaggi, frutta e cereali, irrigate con un sistema a goccia e raccolte ogni due settimane durante l'esposizione.



Lo strato multifunzionale Matrix media ha un'elevata superficie biologica ed è costituito al 93% di spazio vuoto, agendo come filtro.



Un sistema di pompaggio permette alla soluzione d'acqua di raggiungere la sommità della torre e gocciolare attraverso gli ugelli.

REGEN VILLAGE, ALMERE, PAESI BASSI 2016



Un nuovo modello abitativo innovativo soprannominato ReGen Village è stato sviluppato in risposta ad alcune delle questioni ambientali, sociali ed economiche più urgenti del mondo. Il concetto combina una varietà di tecnologie innovative, come case a energia positiva, energia rinnovabile, accumulo di energia, produzione di alimenti biologici, idroponica per l'agricoltura verticale ed orizzontale, gestione dell'acqua e sistemi di smaltimento dei rifiuti. Lo studio d'architettura danese EFTEKT ed i collaboratori del progetto J. Ehrlich, Holding BV hanno dichiarato che "ReGen Villages è tutto basato sulla tecnologia applicata. Stiamo semplicemente applicando le tecnologie già esistenti in un progetto comunitario integrato, fornendo energia pulita, acqua e cibo a portata di mano". Il villaggio ecologico avrà una dimensione di 15.500 m² e sarà caratterizzato dalla presenza di abitazioni costruite secondo il modello delle Passivhaus. Ogni aspetto è progettato per trarre il massimo dalle risorse presenti.



Il sistema NFT è un sistema di coltivazione idroponica che utilizza canali con flusso di soluzione nutritiva. Questo risulta molto superficiale ma contiene tutti i nutrienti disciolti necessari per la crescita delle piante.



Il film sottile SPREADER MAT assicura che la parte superiore delle radici rimanga asciutta e abbia accesso all'ossigeno. Invece il modulo di lana di roccia GRODAN permette la crescita sicura del germoglio.

Figura 14. Riferimenti per la progettazione dei moduli di facciata plug and play con essenze vegetali

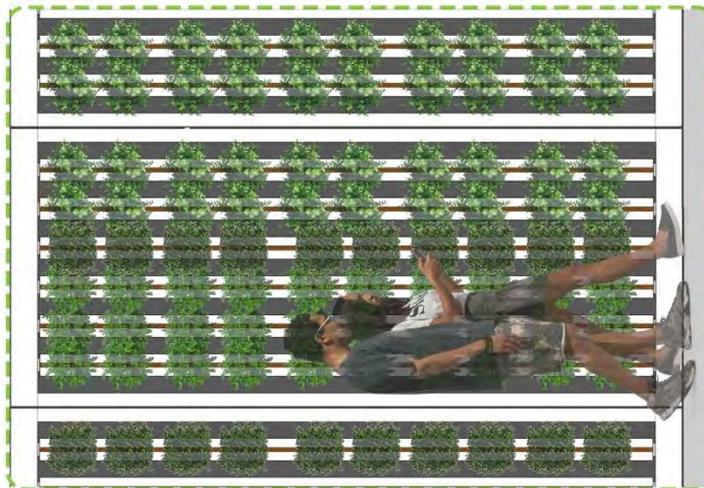
PANNELLO C1 | SISTEMA IDROPONICO A COLTIVAZIONE VERTICALE



Figura 15. Pannello C1 - Sistema idroponico a coltivazione verticale (parte 1)

PANNELLO C1 | SISTEMA IDROPONICO A COLTIVAZIONE VERTICALE

VISTA RENDERIZZATA



PESO COMPLESSIVO ~ 70 Kg a pannello
 CONSUMO D'ACQUA ~ 40 l/g
 NUMERO ESSENZE VEGETALI   
 COSTO PANNELLO € € €

ESPLOSO ASSONOMETRICO

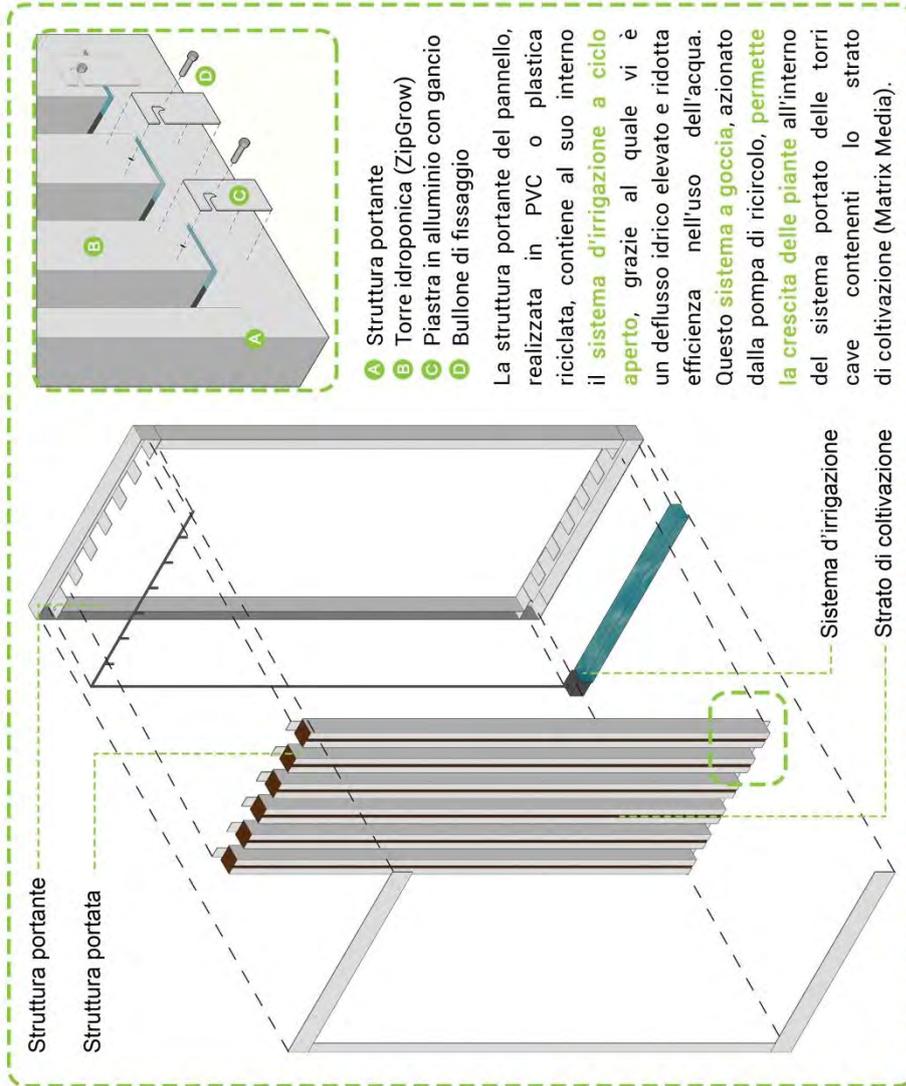


Figura 16. Pannello C1 - Sistema idroponico a coltivazione verticale (parte 2)

PANNELLO C2 | SISTEMA IDROPONICO A COLTIVAZIONE ORIZZONTALE - SOLUZIONE A



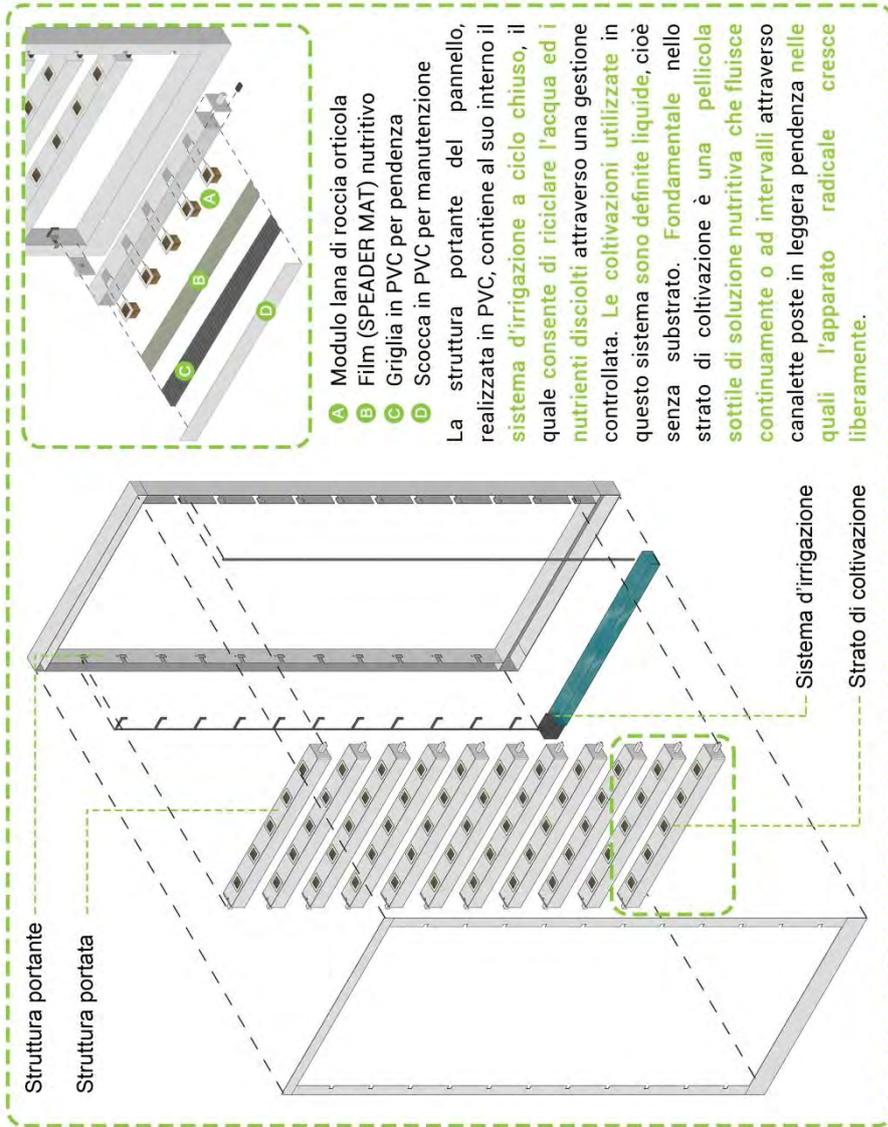
Figura 17. Pannello C2 - Sistema idroponico a coltivazione orizzontale (Soluzione A) (parte 1)

PANNELLO C2 | SISTEMA IDROPONICO A COLTIVAZIONE ORIZZONTALE - SOLUZIONE A

VISTA RENDERIZZATA



ESPLOSO ASSONOMETRICO



PESO COMPLESSIVO ~ 80 Kg a pannello
 CONSUMO D'ACQUA ~ 45 l/g
 NUMERO ESSENZE VEGETALI   
 COSTO PANNELLO € € €

Figura 18. Pannello C2 - Sistema idroponico a coltivazione orizzontale (Soluzione A) (parte 2)

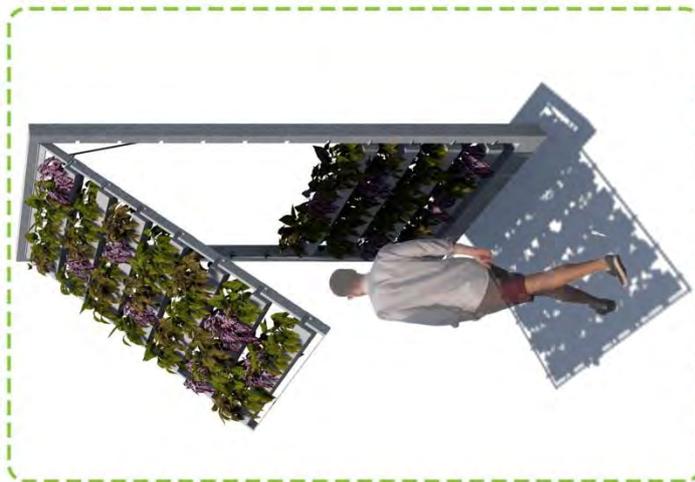
PANNELLO C2 | SISTEMA IDROPONICO A COLTIVAZIONE ORIZZONTALE - SOLUZIONE B



Figura 19. Pannello C2 - Sistema idroponico a coltivazione orizzontale (Soluzione B) (parte 1)

PANNELLO C2 | SISTEMA IDROPONICO A COLTIVAZIONE ORIZZONTALE - SOLUZIONE B

VISTA RENDERIZZATA



PESO COMPLESSIVO ~ 100 Kg a pannello
 CONSUMO D'ACQUA ~ 45 l/g
 NUMERO ESSENZE VEGETALI 🌿🌿🌿
 COSTO PANNELLO € € €

ESPLOSO ASSONOMETRICO

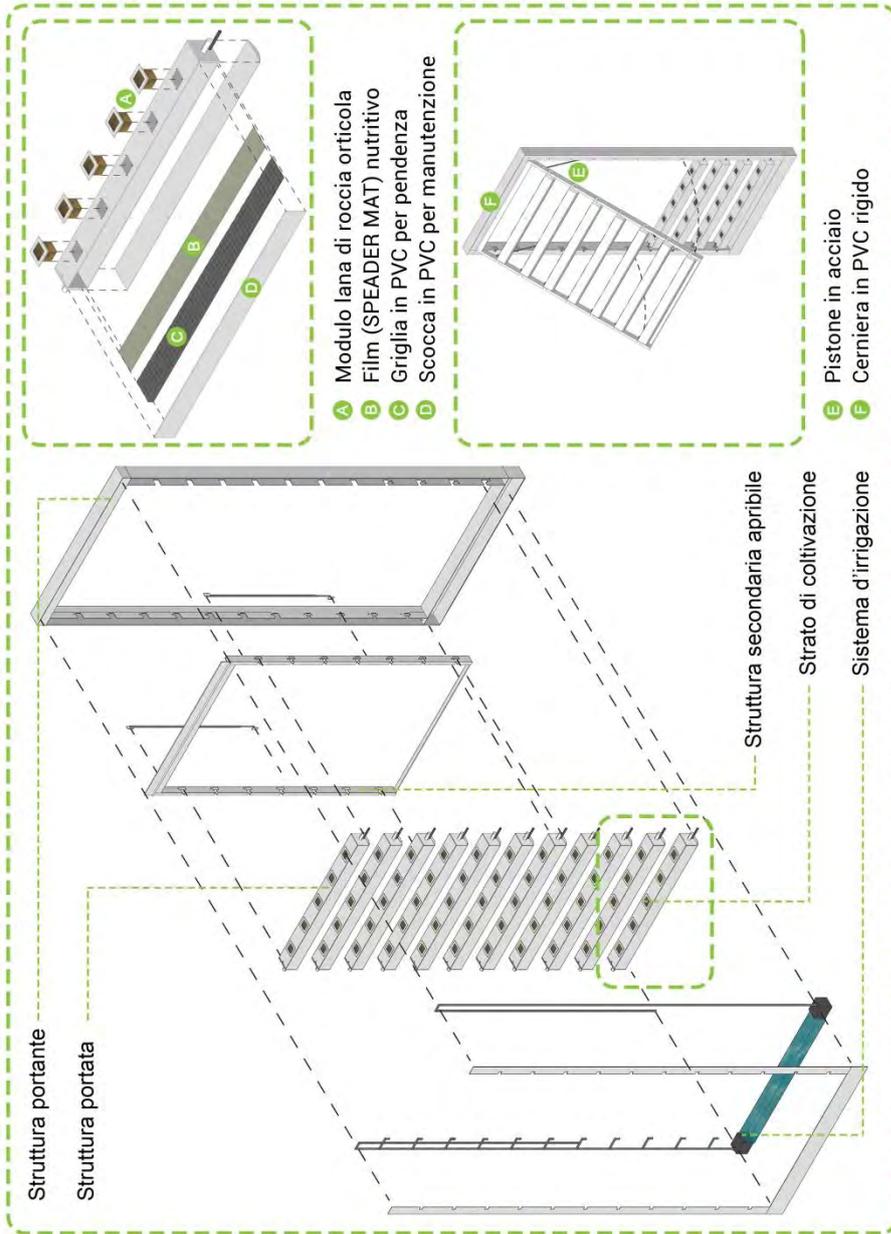


Figura 20. Pannello C2 - Sistema idroponico a coltivazione orizzontale (Soluzione B) (parte 2)

PANNELLO C3 | SISTEMA A COLTIVAZIONE VERTICALE IN TERRA

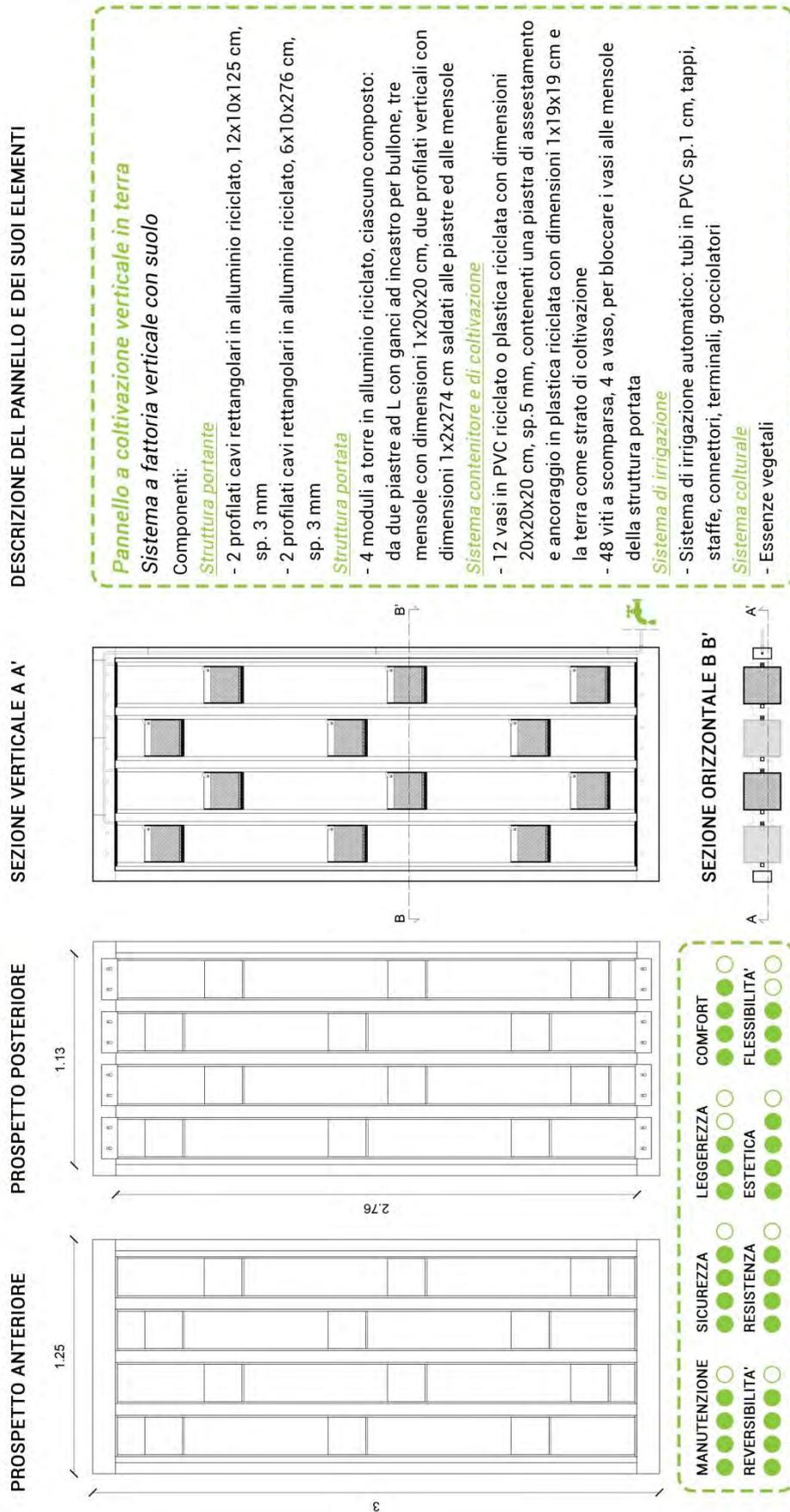


Figura 21. Pannello C3 - Sistema a coltivazione verticale in terra (parte 1)

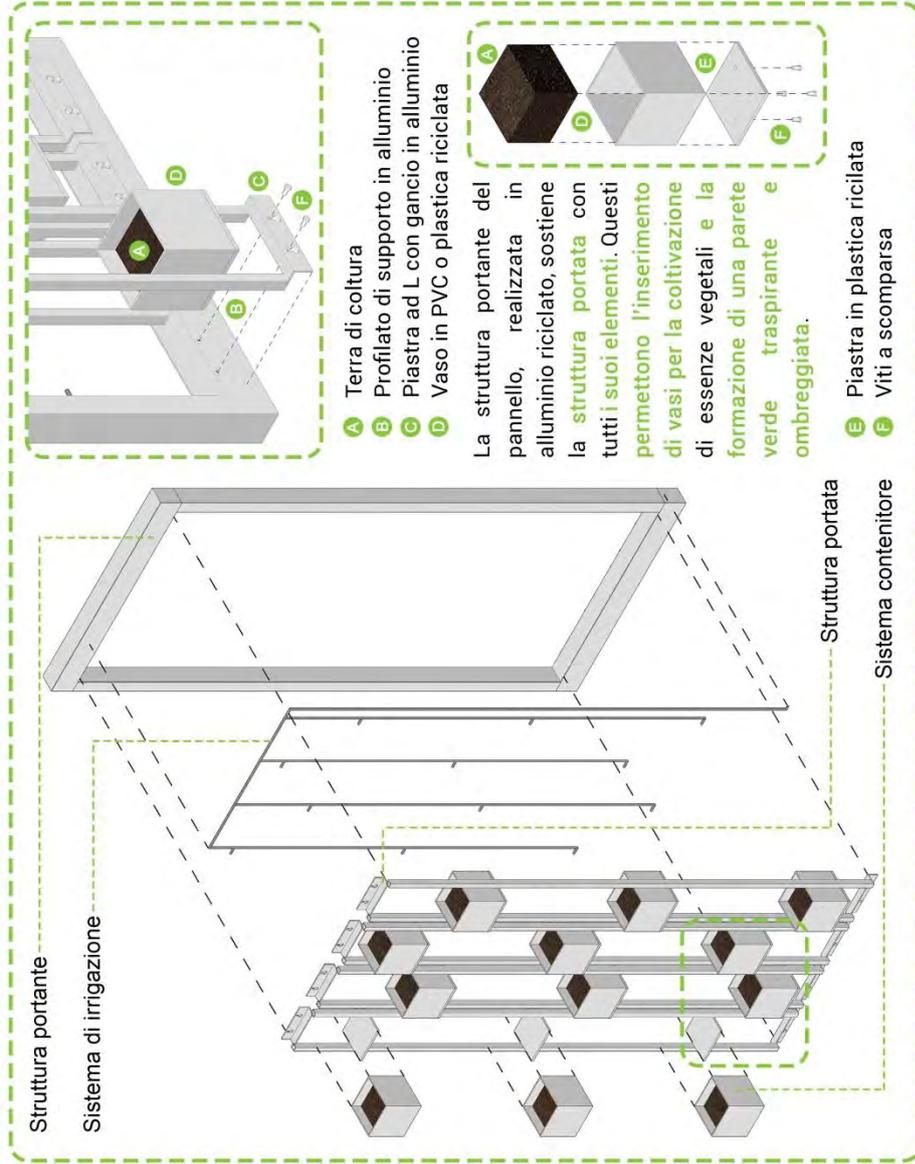
PANNELLO C3 | SISTEMA A COLTIVAZIONE VERTICALE IN TERRA

VISTA RENDERIZZATA



PESO COMPLESSIVO ~ 190 Kg a pannello
 CONSUMO D'ACQUA 20 l/g
 NUMERO ESSENZE VEGETALI   
 COSTO PANNELLO € € €

ESPLOSO ASSONOMETRICO



Struttura portante

Sistema di irrigazione

Struttura portata

Sistema contenitore

- A** Terra di coltura
- B** Profilato di supporto in alluminio
- C** Piastra ad L con gancio in alluminio
- D** Vaso in PVC o plastica riciclata

La struttura portante del pannello, realizzata in alluminio riciclato, sostiene la **struttura portata** con tutti i suoi elementi. Questi permettono l'inserimento di vasi per la coltivazione di essenze vegetali e la formazione di una parete verde traspirante e ombreggiata.

- E** Piastra in plastica riciclata
- F** Viti a scomparsa

Figura 22. Pannello C3 - Sistema a coltivazione verticale in terra (parte 2)

PANNELLO C4 | SISTEMA A COLTIVAZIONE VERTICALE IN TERRA SU GRIGLIA

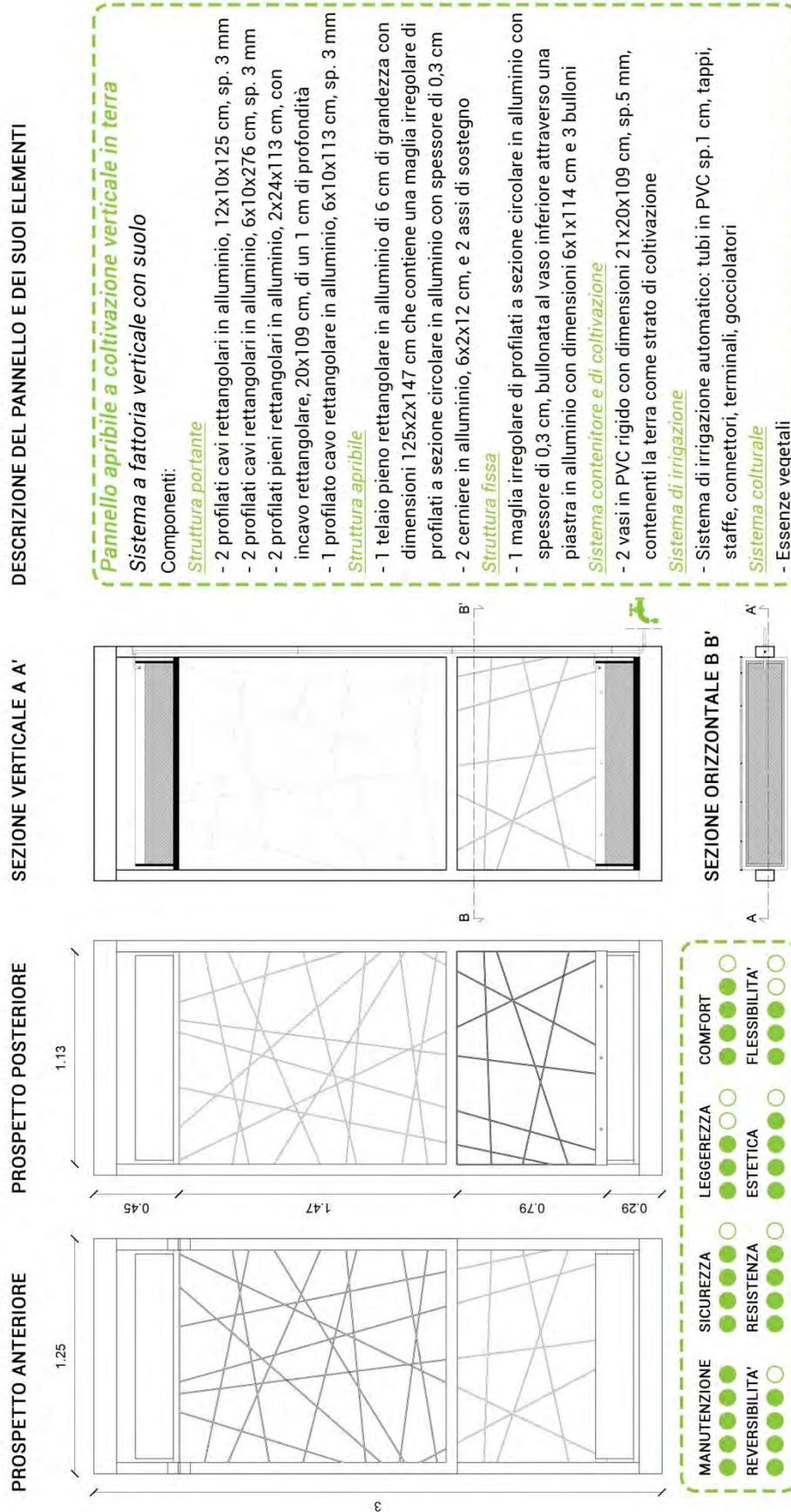
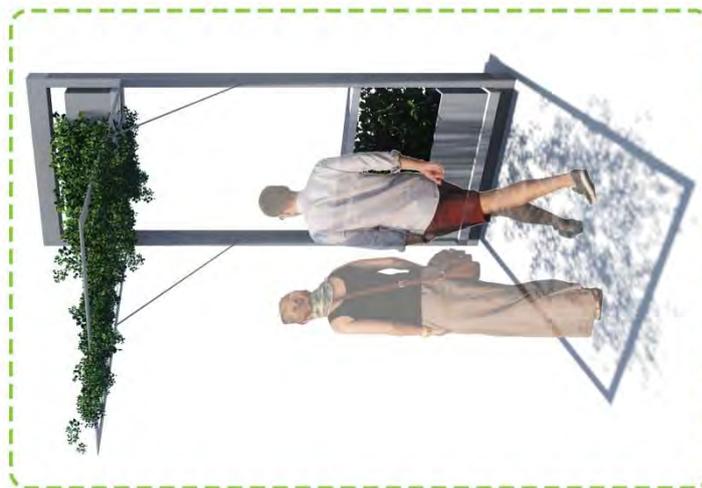


Figura 23. Pannello C4 - Sistema a coltivazione verticale in terra su griglia (parte 1)

PANNELLO C4 | SISTEMA A COLTIVAZIONE VERTICALE IN TERRA SU GRIGLIA

VISTA RENDERIZZATA



PESO COMPLESSIVO ~ 160 Kg a pannello
 CONSUMO D'ACQUA ~ 25 l/g
 NUMERO ESSENZE VEGETALI    
 COSTO PANNELLO € € €

ESPLOSO ASSONOMETRICO

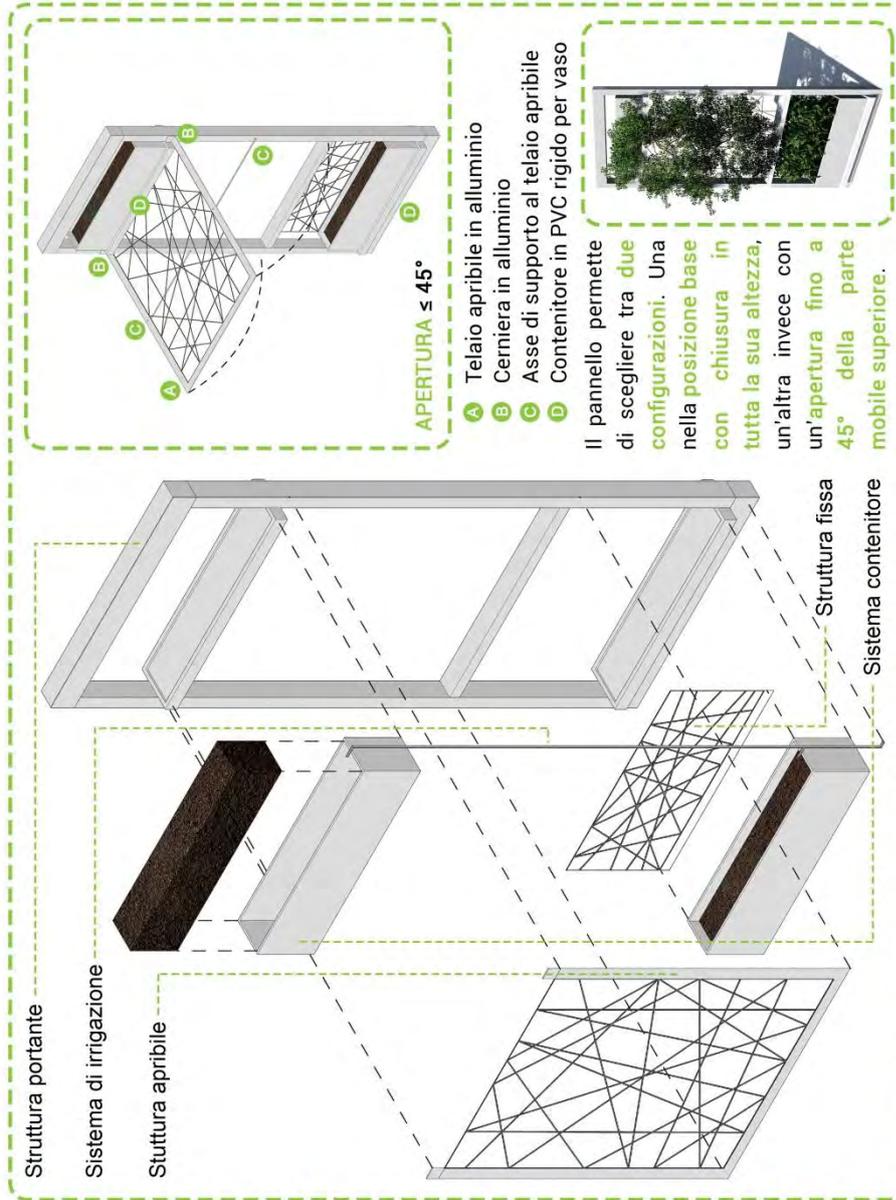


Figura 24. Pannello C4 - Sistema a coltivazione verticale in terra su griglia (parte 2)

ABACO DELLE ESSENZE | EDIBILI E NON EDIBILI

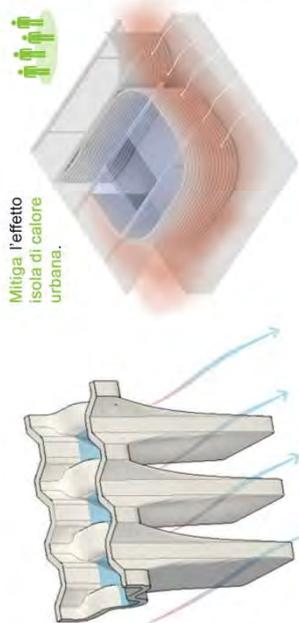
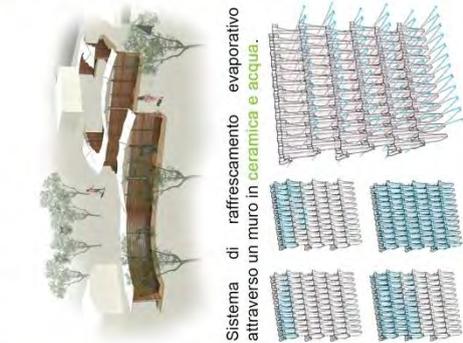
Essenze edibili		Essenze non edibili	
	<p><i>Origanum vulgare</i> L. (Origano comune) Famiglia: Lamiaceae Forma Biologica: Pianta perennanti con gemme poste a livello del terreno Descrizione: Pianta perenne, cespugliosa, che a maturità diviene semiarbustiva, estremamente variabile nell'aspetto e gradevolmente profumata. Grado di allergenicità: Alta</p>		<p><i>Ficus benjamina</i> (Ficus) Famiglia: Moraceae Forma Biologica: Pianta perenne con il massimo grado di evoluzione Descrizione: Pianta che raggiunge in natura i 30 m di altezza, fusti con corteccia grigio-beige, lievemente arcuati, rami sottili e foglie ovate. Grado di allergenicità: Alta</p>
	<p><i>Salvia rosmarinus</i> Spenn. (Rosmarino) Famiglia: Lamiaceae Forma Biologica: Pianta legnosa con gemme tra 20cm e 2m dal suolo Descrizione: Arbusto legnoso perenne sempreverde, ramosissimo con portamento prostrato, alto fino a 2 metri, con corteccia bruno chiara. Grado di allergenicità: Alta</p>		<p><i>Bougainvillea spectabilis</i> Willd. (Bougainvillea) Famiglia: Nyctaginaceae Forma Biologica: Pianta legnosa con portamento rampicante Descrizione: È una pianta perenne, rampicante. Essa arriva a misurare 12 metri di altezza e 7 metri di larghezza, foglie ovali e opposte l'una dall'altra. Grado di allergenicità: Alta</p>
	<p><i>Thymus vulgaris</i> L. (Timo maggiore) Famiglia: Lamiaceae Forma Biologica: Pianta perenni con fusti legnosi, di modeste dimensioni Descrizione: Pianta frutice perenne, odorosa, alta 10-60 cm, con fusti eretti, ramosissimi, che tendono a lignificare formando densi cespugli. Grado di allergenicità: Media</p>		<p><i>Hibiscus syriacus</i> (Ibisco cinese) Famiglia: Malvaceae Forma Biologica: Pianta perennanti con gemme poste a livello del terreno Descrizione: Pianta resistente al freddo, foglie decidue, dalla ricca fioritura estiva con fiori bianchi, rosa, viola e lilla. Grado di allergenicità: Alta</p>
	<p><i>Ocimum basilicum</i> L. (Basilico) Famiglia: Lamiaceae Forma Biologica: Pianta annue con asse florale allungato Descrizione: Pianta erbacea annuale, molto aromatica, alta 20-40 cm, con fusti eretti molto ramificati e che tendono a diventare legnosi alla base. Grado di allergenicità: Alta</p>		<p><i>Platyodon grandiflorus</i> (Jacq.) A. DC. (Campanula cinese) Famiglia: Campanulaceae Forma Biologica: Pianta perennanti con gemme poste a livello del terreno Descrizione: Pianta fino a 60 centimetri in altezza e 12 in larghezza, ha foglie verde scuro e fiori azzurri nella tarda estate. Grado di allergenicità: Alta</p>
	<p><i>Lactuca sativa</i> L. (Lattuga) Famiglia: Asteraceae Forma Biologica: Pianta annue con semi avvolti da frutto Descrizione: Pianta biennale, foglie basali di varia forma, ovate o allungate, colore verde o rossastro; formano un grumolo più o meno compatto. Grado di allergenicità: Alta</p>		<p><i>Vinca major</i> L. (Pervinca maggiore) Famiglia: Apocynaceae Forma Biologica: Pianta con gemme perennanti poste a 20 cm dal suolo Descrizione: Pianta erbacea sempreverde, con lunghi stoloni (fino a 100 cm) prostrato-striscianti, fusti fioriferi erbacei, eretti, alti fino a 50 cm. Grado di allergenicità: Alta</p>
	<p><i>Salvia officinalis</i> L. (Salvia domestica) Famiglia: Lamiaceae Forma Biologica: Pianta con fusti legnosi solo alla base Descrizione: Pianta perenne suffruticosa di 2-4 dm, grigio tomentoso con odore aromatico, foglie con lamina lanceolata (1 x 2-3 cm). Grado di allergenicità: Alta</p>		<p><i>Thunbergia grandiflora</i> (Vite del Bengala) Famiglia: Acanthaceae Forma Biologica: Pianta perennanti con gemme poste a livello del terreno Descrizione: Pianta che può raggiungere i 20 metri, i fiori da blu a malva hanno un diametro di 8 cm con un tubo lungo 4 cm di colore giallo pallido. Grado di allergenicità: Alta</p>
	<p><i>Brassica nigra</i> (L.) W.D.J. Koch (Senape nera) Famiglia: Brassicaceae Forma Biologica: Pianta annue con asse florale allungato privo di foglie Descrizione: Pianta annua, erbacea, con fusti eretti, semplici o ramificati, ispidi, solcato-angolosi, fistolosi; alta 30÷150 cm. Grado di allergenicità: Media</p>		<p><i>Clematis vitalba</i> L. (Vitalba) Famiglia: Ranunculaceae Forma Biologica: Pianta legnosa con portamento rampicante Descrizione: Pianta perenne, rampicante e vigorosa, può raggiungere anche i 15 m di lunghezza, infiorescenza riunita a pannocchie multiflore. Grado di allergenicità: Media</p>

Figura 25. Abaco delle essenze edibili e non edibili implementabili nei moduli di facciata verdi

RIFERIMENTI PROGETTUALI | CHIUSURE VERTICALI

COLD SPOT: Evaporative Cooling through Ceramics, CAMBRIDGE, STATI UNITI 2015

Cold Spot: Evaporative Cooling through Ceramics è un progetto di ricerca-costruzione che **indaga le strategie di raffreddamento passivo** sviluppate dal team multidisciplinare di A. Akkineni, A. Jacobson, C. Papadopoulou e J. Schecter hanno vinto "Urban Heat Island Effect 2015", una competizione ospitata dal MIT Climate CoLab. **Sviluppato originariamente presso la Harvard Graduate School of Design, Cold Spot si concentra sulla possibilità di utilizzare la terracotta come materiale unico ed economico per i sistemi di raffreddamento evaporativo.** I professori L.A. Villoria e C.F.R. Galli hanno guidato il progetto attraverso fabbricazione, mentre il professor Salmaan Craig e l'Harvard Ceramics Lab si sono consultati sulla meccanica del raffreddamento evaporativo e sulle proprietà del materiale. **Cold Spot, una serie di schermi composti da mattoni di terracotta appositamente progettati, modifica la temperatura e l'umidità dell'aria circostante attraverso il raffreddamento per evaporazione.**



La terracotta consente all'acqua di passare attraverso il muro di mattoni e nell'aria. Creando un **effetto rinfrescante per evaporazione.** **Cold Spot** ha anche la capacità di **arricchire gli spazi pubblici.** Genera un microclima fresco che incoraggia le persone a riunirsi.

PADIGLIONE SPAGNOLO PER L'ESPOSIZIONE INTERNAZIONALE DELL'ACQUA, SARAGOZZA, SPAGNA 2008

I criteri che hanno guidato e ispirato la costruzione del padiglione erano in qualche modo già presenti nel progetto stesso. **Evocare lo spazio di una foresta, o di un grappolo di bambù su una superficie d'acqua.** è stata l'idea alla base del progetto Francisco Mangado per l'architetto spagnolo. Da un lato c'era il desiderio di **creare un meccanismo costruttivo** che potesse creare incredibili possibilità **dal punto di vista della logica energetica e della consapevolezza ambientale**, un'aspirazione essenziale e simbolica per il futuro Padiglione Spagnolo all'Esposizione Internazionale di Saragozza. Le foreste sono spazi mutevoli, ricchi di accenni e sfumature, dove concetti come verticalità e profondità giocano un ruolo fondamentale. **La scelta di materiali modesti è stata parte di un tentativo di rendere il padiglione l'espressione formale costruita di un adeguato rapporto tra mezzi e fini, nonché un tentativo di dare al padiglione un certo grado di indipendenza dall'immediato contesto economico imposto dall'Expo.**



Le **piastrelle** sono di **terracotta preparata con argille,** fabbricate per estrusione e cotte a fuoco lento in un forno a tunnel. Sono eseguiti in **sezioni semicircolari** senza piani di dettaglio e di spessore 15 mm. Le **piastrelle di terracotta sono fissate alle superfici con una sottostruttura di pezzi di alluminio a forma di L e T ancorata al nucleo.** Un **pezzo a doppio piolo** consente un alto grado di **precisione nell'esecuzione.**



Figura 26. Riferimenti per la progettazione dei moduli di facciata plug and play con elementi ceramici

PANNELLO C5 | SISTEMA A RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO IN CERAMICA A TUBI

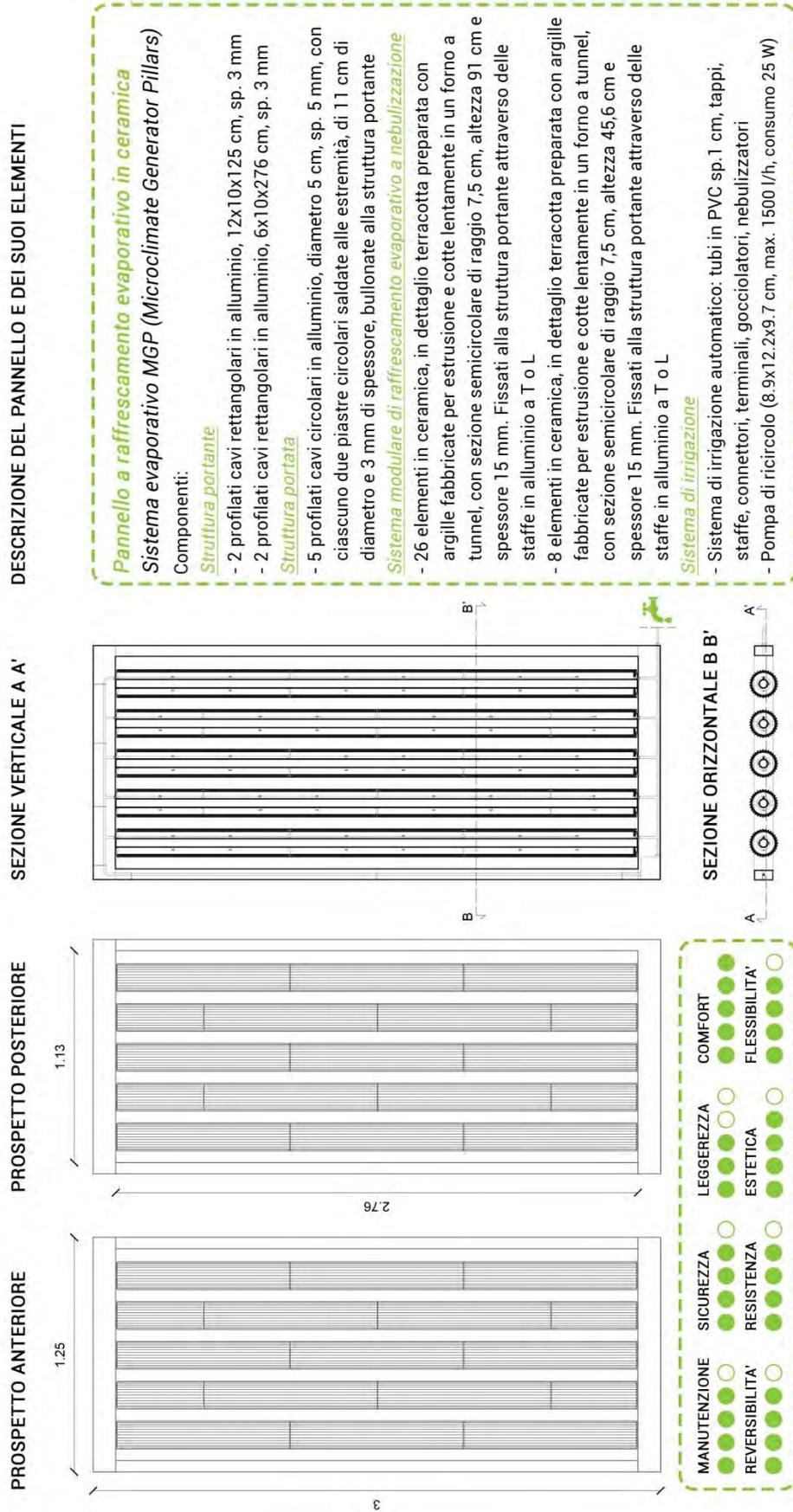


Figura 27. Pannello C5 - Sistema con elementi ceramici cavi verticali (parte 1)

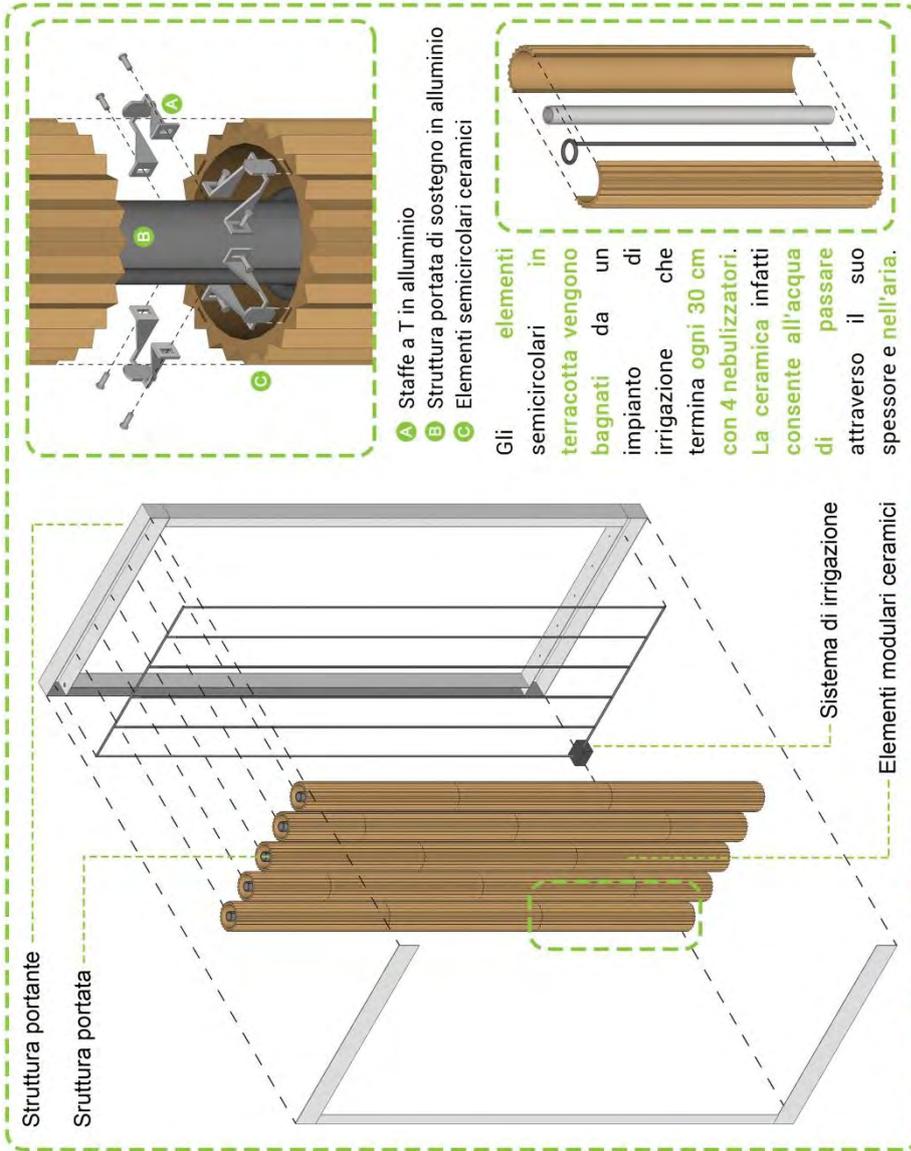
PANNELLO C5 | SISTEMA A RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO IN CERAMICA A TUBI

VISTA RENDERIZZATA



PESO COMPLESSIVO ~ 150 Kg a pannello
 CONSUMO D'ACQUA ~ 50 l/g
 NUMERO ELEMENTI MODULARI   
 COSTO PANNELLO € € €

ESPLOSO ASSONOMETRICO

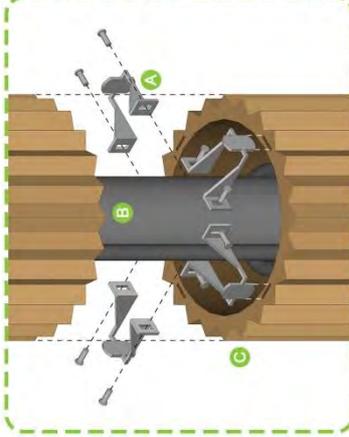


Struttura portante

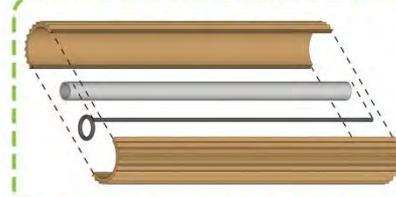
Struttura portata

Sistema di irrigazione

Elementi modulari ceramici



- A** Staffe a T in alluminio
- B** Struttura portata di sostegno in alluminio
- C** Elementi semicircolari ceramici



Gli elementi in semicircolari in terracotta vengono bagnati da un impianto di irrigazione che termina ogni 30 cm con 4 nebulizzatori. La ceramica infatti consente all'acqua di passare attraverso il suo spessore e nell'aria.

Figura 28. Pannello C5 - Sistema con elementi ceramici cavi verticali (parte 2)

PANNELLO C6 | SISTEMA A RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO IN CERAMICA A PARETE

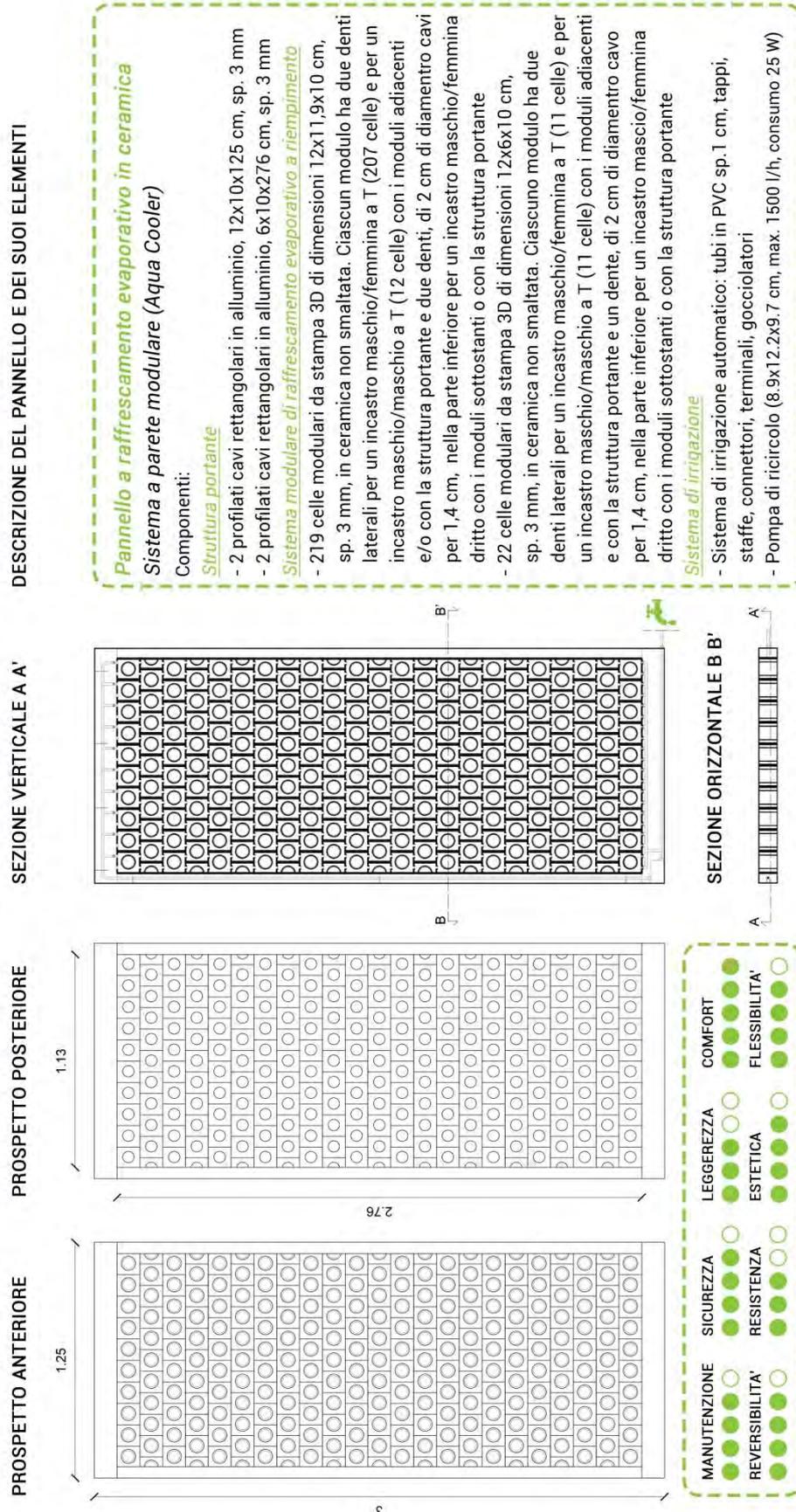
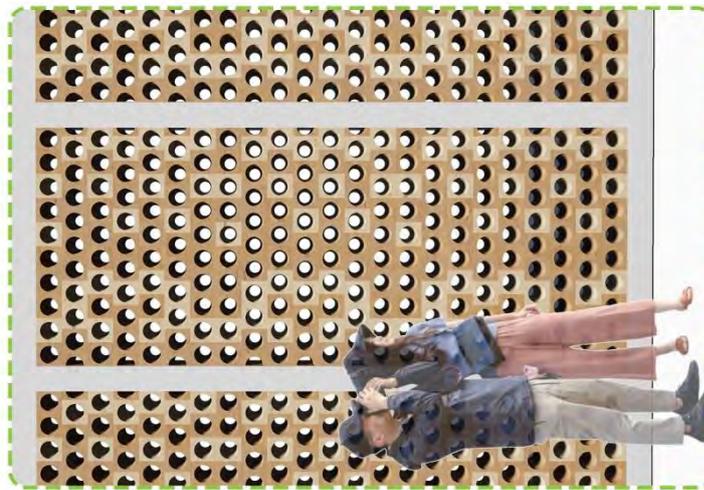


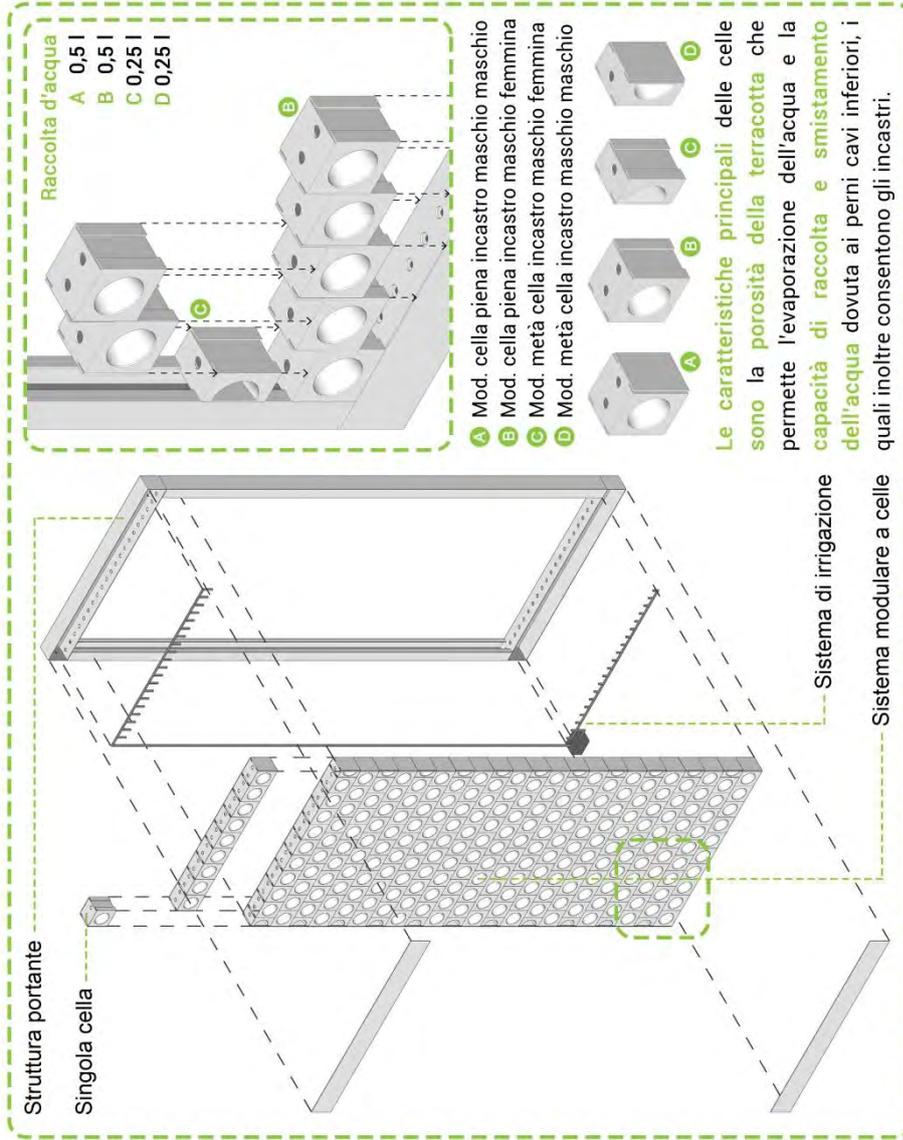
Figura 29. Pannello C6 - Sistema con elementi ceramici modulari (parte 1)

PANNELLO C6 | SISTEMA A RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO IN CERAMICA A PARETE

VISTA RENDERIZZATA



ESPLOSO ASSONOMETRICO



PESO COMPLESSIVO ~ 150 Kg a pannello
CONSUMO D'ACQUA ~ 30 l/g
NUMERO CELLE MODULARI 241
COSTO PANNELLO € € €

Figura 30. Pannello C6 - Sistema con elementi ceramici modulari (parte 2)

2.2 Caso studio: Localizzazione intervento e analisi del sito

Si è scelto di localizzare il manufatto edilizio nel cuore del centro storico di Roma, proprio laddove, durante l'estate, è più evidente il surriscaldamento estivo, in particolare a piazza di San Silvestro. La piazza è stata scelta, oltre che per la sua grande rilevanza sociale e culturale, per la sua posizione estremamente centrale adiacente ad alcune delle arterie principali del centro storico della città (Via del Corso e Via del Tritone), alle principali attrazioni turistico-commerciali (piazza di Spagna, fontana di Trevi, Pantheon), nonché a diverse fermate del trasporto pubblico locale (fermate della Metropolitana Spagna e Barberini e fermate delle linee di autobus che servono il centro storico) (Figura 31).

La piazza (Figura 32), totalmente dedicata al traffico pedonale, presenta una forma quadrangolare di dimensioni pari a circa 80 x 60 metri. La superficie è pavimentata con blocchi in basalto di uso comune nel centro storico di Roma. Gli edifici circostanti posti lungo il perimetro della piazza, di 4-5 piani per un'altezza media pari a circa 30 metri, presentano materiali di finitura tipici degli edifici storici. Lo spazio, che è stato oggetto di riqualificazione nel 2011, è diviso in due porzioni; una prima sul lato ovest di forma rettangolare con sedute disposte agli angoli, una seconda verso il lato est, caratterizzata da lunghe sedute in marmo disposte secondo un andamento ellittico. Il progetto di riqualificazione della piazza prevedeva inizialmente l'integrazione di vegetazione e di una fontana d'acqua posta al centro dell'ellisse, ma né la vegetazione, né la fontana sono state inserite. La mancata realizzazione dell'integrazione di queste componenti ha inciso in maniera significativa sulle condizioni microclimatiche estive della piazza, che al momento della simulazione e ancora oggi non presenta alcuna tipologia di vegetazione o presenza di acqua (Figura 32).

I dati climatici impiegati per le simulazioni microclimatiche sono stati acquisiti dalle misurazioni effettuate dalla stazione climatica sita in Largo Pietro di Brazzà, posizionata in linea d'aria a circa 350 metri dal sito in esame. Le misurazioni acquisite sono relative al periodo che va dal 1 gennaio 2014 al 31 dicembre 2017.

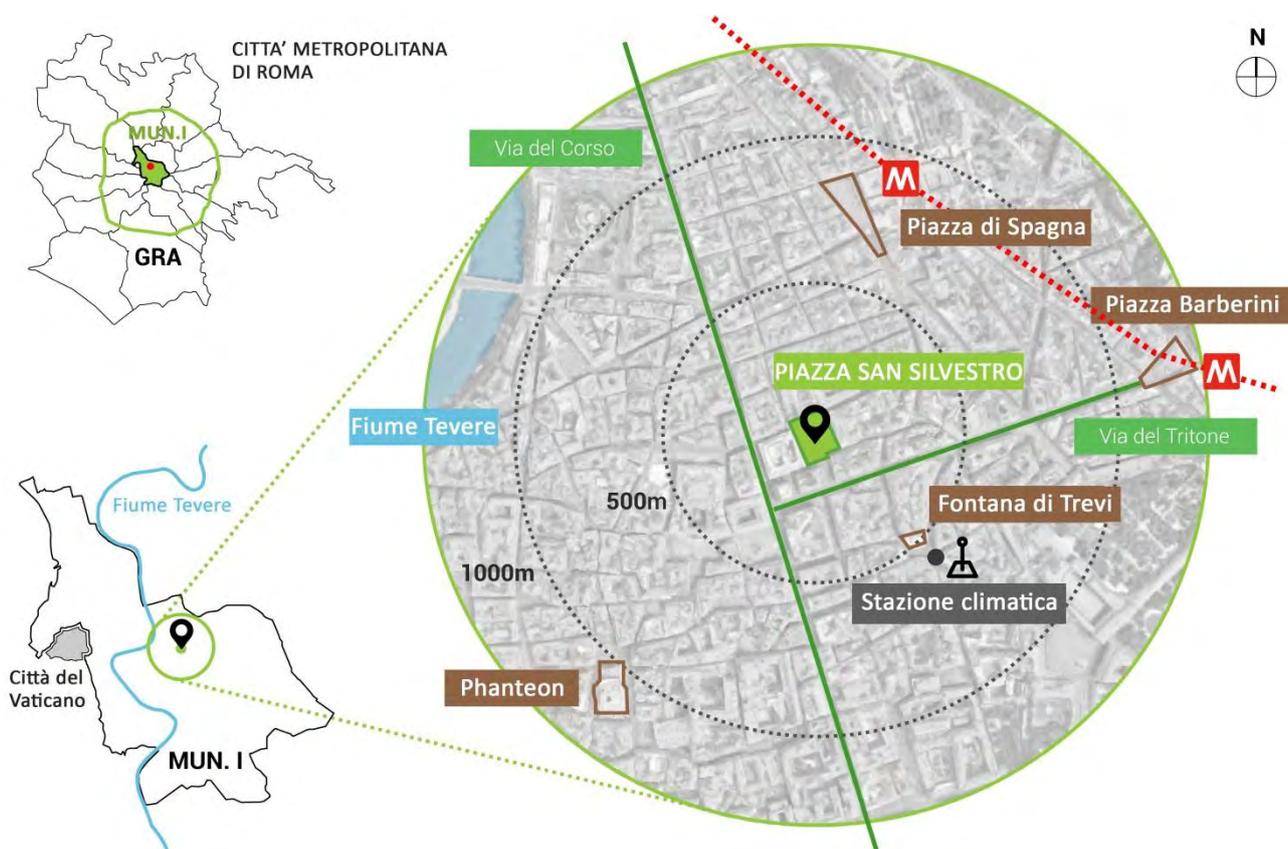


Figura 31. Inquadramento urbanistico dell'area di intervento



Figura 32. Vista di piazza San Silvestro. Fonte: GoogleMaps

Il clima del sito in esame, secondo la classificazione di Koppen-Geiger del tipo CSA, è secco-subtropicale. Dall'osservazione dell'analisi del soleggiamento (Figura 33) condotto nel giorno 2 agosto 2017, si evince che nelle ore centrali della giornata la piazza è quasi per la totalità interessata da irraggiamento solare che determina un eccessivo surriscaldamento dell'area. Difatti, data l'assenza di vegetazione e/o dispositivi di ombreggiamento di qualsiasi tipologia, la piazza può beneficiare soltanto di modeste zone d'ombra generate dagli edifici stessi (quelli posti sul fronte est e ovest), ombre rinvenibili nelle analisi di rilevazione all'inizio e alla fine della giornata nelle parti perimetrali della piazza e non sono sufficienti a garantire livelli di ombreggiamento accettabili.

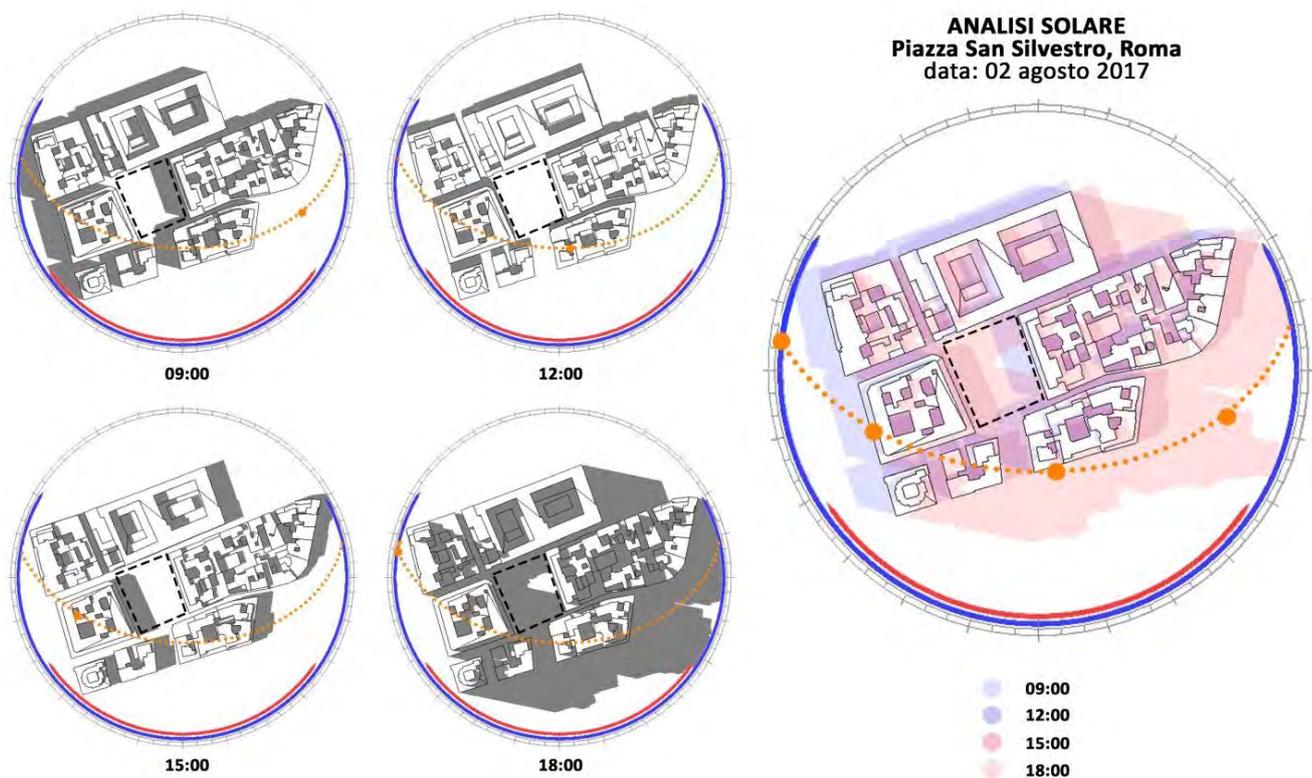


Figura 33. Analisi solare eseguita su piazza San Silvestro negli orari 09:00, 12:00, 15:00, 18:00

2.3 Gestione del manufatto

2.3.1 Calcolo vita nominale del manufatto

Secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018, DM 17 gennaio 2018), la vita nominale (Vn) di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. I valori minimi di vita nominale da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati in Tabella 1. Secondo la norma, non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate. Per questo motivo, visti i presupposti di smontaggio e trasferimento in altri contesti del plug-in urbano ipotizzato, la struttura in esame è stata considerata come tipologia con livelli di prestazione ordinaria. La struttura portante ipotizzata presenta elementi in acciaio di diverse sezioni (pilastri 90x90 mm, travi principali 90x90 mm, travi secondarie 90x45 mm, travi di collegamento 45x45 mm) di uno spessore interno della lamiera pari a 3 mm. Il trattamento esterno previsto consiste in una zincatura a caldo realizzata secondo la norma UNI EN ISO 1461. La stessa norma definisce, in base allo spessore del metallo costituente la struttura, diverse soglie di spessori minimi da garantire (Tabella 2).

Per determinarne la durata in anni del trattamento protettivo ipotizzato è necessario identificare la Classe di Corrosività Ambientale del sito di installazione. Ad ogni classe di corrosività corrisponde un tasso di corrosione espresso in $\mu\text{m}/\text{anno}$ (Tabella 3). Ipotizzando il posizionamento della struttura nel contesto di piazza di San Silvestro a Roma, il sito ricade in classe C3 e presenta un valore medio di perdita annuo pari a $1,4 \mu\text{m}/\text{anno}$. Con tutti i dati necessari a disposizione, la norma permette di determinare la durata in anni del trattamento eseguito sulla struttura in acciaio (Vd), dividendo il valore dello spessore minimo di lega zinco-acciaio (μm) per la perdita di spessore annuo ($\mu\text{m}/\text{anno}$). Nel caso in esame il calcolo è impostato come segue:

$$Vd = 70 \mu\text{m} / 1,4 \mu\text{m}/\text{anno} = 50 \text{ anni}$$

Per soddisfare il requisito è necessario che il rapporto $Vd \geq Vn$ sia verificato. Nel caso in esame il valore minimo di vita nominale (Vn) da garantire secondo la norma è pari a 50 anni. Il trattamento previsto per la struttura (Vd) risulta da calcolo garantire una durata di 50 anni. Il rapporto risulta dunque verificato e la struttura, con le caratteristiche previste, sarà in grado di garantire nel tempo richiesto la sua integrità e prestazioni.

Tipo di costruzione	Valore minimo Vn (anni)
temporanee e provvisorie	10
con livelli di prestazioni ordinari	50
con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 1. Valori minimi vita nominale (Vn) per i diversi tipi di costruzione (DM 17/01/2018)

Spessore acciaio costituente il manufatto (mm)	Valore medio minimo di lega zinco-acciaio (μm)
< 1,5	45
> 1,5 mm < 3	55
> 3 mm < 6	70
> 6	85

Tabella 2. Valori minimi lega in relazione allo spessore dell'acciaio costituente il manufatto (UNI EN ISO 1461)

Classe di corrosività	Descrizione ambiente	Perdita di spessore (µm/anno)
C1	interno edifici riscaldati con atmosfera pulita	< 0,1
C2	ambienti con basso livello di inquinamento. Aree naturali	da 0,1 a 0,7
C3	ambienti urbani e industriali con modesto livello di inquinamento	da 0,7 a 2,1
C4	aree industriali e zone costiere con moderata salinità	da 2,1 a 4,2
C5-I	aree industriali con alta umidità e atmosfera aggressiva	da 4,2 a 8,4
C5-M	zone costiere con alta salinità	da 4,2 a 8,4
Im-1	immersione in acqua dolce	20
Im-2	immersione in acqua salmastra/marina	da 15 a 25

Tabella 3. Valori annui perdita spessore in relazione alla classe di corrosività ambientale (UNI EN ISO 1461)

2.3.2 Programma di manutenzione

Al fine di preservare l'integrità e le prestazioni di struttura, componenti e dispositivi nel tempo, è stato elaborato un programma di manutenzione. Lo schema di seguito (Figure 35 e 34) riporta, in riferimento alle diverse componenti del manufatto, interventi e controlli da eseguire con indicata la relativa periodicità.

ELEMENTO/DISPOSITIVO	controlli/interventi da condurre	cadenza
STRUTTURA PORTANTE Struttura in acciaio zincato a caldo in profili Fe350b cavi delle seguenti dimensioni: Pilastrini: 90x90x3 mm Travi principali: 90x90x3 mm Travi secondarie: 90x45x3 mm Travi di collegamento: 45x45x3 mm	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo perpendicolarità struttura, condizione elementi (travi/pilastrini) e livello di serraggio degli elementi costituenti le giunzioni/nodi ● Controllo dello strato protettivo e della presenza di possibili corrosioni dell'acciaio, ruggine e imbozzamenti locali. ● Applicazione di prodotti per conservazione/ripristino dello strato protettivo ● Pulizia superfici metalliche tramite sabbiature e/o spazzolature da effettuarsi manualmente o mediante utilizzo di mezzi meccanici ● Sostituzione eventuali elementi danneggiati/deformati 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● all'occorrenza
GRIGLIATO DI PAVIMENTAZIONE Grigliato di pavimentazione in acciaio zincato in elementi delle seguenti dimensioni: 1250x625x40 mm	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo degli elementi di ancoraggio e della complanarità del pannello ● Esame dell'aspetto e del degrado dell'elemento, controllo dello strato protettivo e della verniciatura. ● Applicazione di eventuali prodotti per la conservazione/ripristino dell'elemento ● Pulizia elementi da effettuarsi manualmente o mediante utilizzo di mezzi meccanici ● Sostituzione eventuali elementi danneggiati/deformati 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● all'occorrenza
PANNELLI IN LAMIERA MICROFORATA Pannelli microforati in acciaio zincato a sostegno del circuito dei waterspray in elementi delle seguenti dimensioni: Tipo 1: 125x60 mm, Tipo 2: 80x60 mm	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo elementi di ancoraggio con la struttura ● Esame dell'aspetto e del degrado dell'elemento, controllo dello strato protettivo e della verniciatura. ● Applicazione di eventuali prodotti per la conservazione/ripristino dell'elemento ● Pulizia elementi da effettuarsi manualmente o mediante utilizzo di mezzi meccanici ● Sostituzione eventuali elementi danneggiati/deformati 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● all'occorrenza
SISTEMA SCHERMANTE Tende a rullo in tessuto/PVC del tipo manuale/-motorizzata Numero: 6 Dimensioni: 2,50x5,00 m	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo bullonatura ed elementi di ancoraggio con la struttura ● Verifica meccanismo di apertura/chiusura e allineamento delle guide di scorrimento ● Pulizia delle componenti e del tendaggio previo smontaggio ● Sostituzione eventuali elementi danneggiati ● Controllo del sistema elettrico (solo in caso di tipologia motorizzata) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● all'occorrenza ● 3 anni/all'occorrenza
SERBATOI PER ACCUMULO IDRICO Serbatoi di accumulo in polietilene per raccolta acqua piovana. Numero: 62~124 Capacità max: circa 187 litri	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo ancoraggio elementi alla struttura portante ● Pulizia interna dei serbatoi in polietilene ● Sostituzione eventuali elementi danneggiati/deteriorati ● Controllo sul circuito di distribuzione dell'acqua e della pompa di circolazione 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno/all'occorrenza ● 3 anni/all'occorrenza ● all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza

Figura 34. Programma di manutenzione per la struttura ipotizzata (parte 1)

<p>IMPIANTO DI NEBULIZZAZIONE Impianto per nebulizzazione dell'acqua composto da 48 ugelli posti a un interasse di 1,25 m. Completano l'impianto il sistema di sanificazione, filtro, pompa di circolazione e impianto di distribuzione.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo ancoraggio ugelli alla struttura di alloggio (pannelli in lamiera microforata) ● Controllo dello stato degli ugelli e pulizia ● Controllo e pulizia del sistema filtrante ● Controllo del sistema di sanificazione dell'acqua ● Controllo e riparazione di eventuali perdite nel sistema di distribuzione ● Controllo e verifica del funzionamento della pompa di circolazione ● Sostituzione elementi danneggiati/non funzionanti 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● all'occorrenza
<p>IMPIANTO FOTOVOLTAICO Impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica composto da 4 pannelli FV di potenza 400 Wp l'uno, per un totale di 1,6 kWp di potenza totale. Completano il sistema n°2 batterie di accumulo, inverter e cablaggio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo e serraggio delle bullonerie di ancoraggio dei moduli alla struttura ● Controllo dei cavi, del funzionamento inverter e batterie di accumulo, controllo integrità del vetro dei moduli solari ● Pulizia delle apparecchiature e lavaggio dei pannelli con macchina idropulitrice ● Verifica della produzione dell'impianto ● Sostituzione componenti danneggiate dell'impianto (pannelli, inverter, cablaggio) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno ● 1 anno ● 3 anni ● 1 anno ● all'occorrenza
<p>IMPIANTO ELETTRICO Impianto elettrico per l'alimentazione delle apparecchiature di sistema, circuito impianto di nebulizzazione, dispositivi illuminanti di tipo LED.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo messa a terra con strumentazione specializzata ● Controllo su quadro elettrico e componenti del sistema di distribuzione/cablaggio ● Controllo dispositivi illuminanti ● Sostituzione componenti danneggiate/non funzionanti 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno ● 1 anno ● 1 anno ● all'occorrenza
<p>PANNELLI MODULARI DI FACCIATA GREEN D 01: Sistema idroponico verticale D 02: Sol A - Sistema idroponico orizzontale D 02: Sol. B - Sistema idroponico orizzontale apribile D 03: Sistema di coltivazione in terra D 04: Sistema di coltivazione in terra apribile</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo ancoraggio pannello alla struttura ● Controllo e serraggio delle bullonerie di ancoraggio interne al pannello ● Controllo del sistema di irrigazione e riparazione di eventuali perdite ● Pulizia contenitori per la coltivazione in terra (solo P04, P05) ● Pulizia contenitori per la coltivazione idroponica (solo P01, P02, P03) ● Controllo sulla vegetazione ● Sostituzione componenti danneggiati/deteriorati 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno ● 1 anno ● 1 anno/all'occorrenza ● 3 anni/all'occorrenza ● 3 anni/all'occorrenza ● all'occorrenza ● all'occorrenza
<p>PANNELLI MODULARI DI FACCIATA CON COMPONENTI CERAMICI D 05: Sistema con elementi verticali cavi D 06: Sistema a parete con elementi modulari</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Controllo ancoraggio pannello alla struttura ● Controllo e serraggio delle bullonerie di ancoraggio interne al pannello ● Pulizia delle superfici ceramiche con idropulitrice ● Controllo del sistema di distribuzione acqua e riparazione di eventuali perdite ● Sostituzione componenti danneggiati/deteriorati 	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 anno ● 1 anno ● 1 anno/all'occorrenza ● 1 anno/all'occorrenza ● all'occorrenza

Figura 35. Programma di manutenzione per la struttura ipotizzata (parte 2)

2.4 Sostenibilità dell'intervento

Il ruolo della cultura tecnologica del progetto rispetto alle tre grandi sfide poste dalle questioni ambientali ed energetiche del nostro tempo, cambiamenti climatici, limitatezza delle risorse e eccessivo consumo di energia, è centrale e imprescindibile per affrontare consapevolmente la ricerca di una rinnovata dimensione delle condizioni dell'ambiente urbano. La ricerca, pertanto, si inserisce nell'ambito di un tema emergente e sempre più impellente sia nel campo della ricerca nazionale e internazionale sia in quello della politica tecnica, ovvero la transizione circolare del progetto secondo un modello di crescita orientato ad una sostenibilità ambientale che tiene conto dei valori ambientali, sociali ed economici.

2.4.1 Sostenibilità ambientale

La struttura urbana descritta mira a costituire una risposta efficace alla sempre più diffusa esigenza di disporre di spazi con durata funzionale o tempo di localizzazione limitati nel tempo, delineando una soluzione connotata dalla temporaneità. Contestualmente al requisito di temporaneità, una struttura di questo tipo deve soddisfare la necessità sempre più stringente di orientare le scelte progettuali nella direzione della riduzione dei consumi di energia, risorse e impatti ambientali. Temporaneo non significa vita utile ridotta, precarietà e spreco. Per contrastare questa deriva occorrono attenzioni progettuali volte a collocare il tema della temporaneità in una prospettiva di uso efficiente delle risorse, verificandone le ricadute ambientali tramite la valutazione dell'intero ciclo di vita. In questo contesto, la reversibilità costruttiva, la circolarità dei materiali, l'autosufficienza sul piano energetico sembrano fornire una risposta orientata alla sostenibilità ambientale, pur in una logica di temporaneità d'uso.

2.4.1.1 Analisi del ciclo di vita

La valutazione Life Cycle Assessment (LCA) applicata al manufatto prende in considerazione tutto il processo edilizio: la fase di estrazione, trasporto e lavorazione delle materie prime, la fase di fabbricazione dei componenti edilizi, stimando anche le emissioni legate ai processi produttivi e al trasporto, la loro distribuzione, l'uso della struttura, la manutenzione fino al recupero, ossia la possibilità di reimpiegare il materiale al termine della vita utile della struttura, e lo smaltimento finale dei rifiuti residui (Tabella 4).

Fase		Codice modulo	Modulo
I	Produzione	A1	Fornitura di materie prime
		A2	Trasporto
		A3	Produzione
II	Costruzione	A4	Trasporto
		A5	Costruzione - installazione in sito
III	Utilizzo	B1	Uso
		B2	Manutenzione
		B3	Riparazione
		B4	Sostituzione
		B5	Ristrutturazione
		B6	Consumo energetico operativo
		B7	Consumo idrico operativo
IV	Fine vita	C1	Demolizione- <u>disassemblaggio</u>
		C2	Trasporto
		C3	Smaltimento rifiuti
		C4	Smaltimento definitivo

Tabella 4. Fasi del ciclo di vita di una struttura basate sul CEN/TC350 Standard, EN 15643-2 Sustainability of construction works – Environmental products declaration – Product category rules

La metodologia LCA consente di evidenziare le fasi del processo a maggiore impatto e di confrontare soluzioni alternative. Occorre ricordare che in quanto metodo quantitativo, prende in considerazione solo elementi quantificabili escludendo gli aspetti qualitativi, e se da un lato ciò consente una valutazione oggettiva, dall'altro esclude le verifiche di tipo macro-ambientale relative al corretto rapporto tra struttura e contesto.

Per l'impostazione del lavoro si è fatto riferimento alla metodologia LCA applicata livello internazionale regolamentata dalle norme ISO della serie 14040, in base alle quali uno studio di Life Cycle Assessment (LCA) viene strutturato sulla base di quattro fasi di lavoro: definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'analisi; compilazione di un inventario degli input e degli output del sistema; valutazione del potenziale impatto ambientale correlato a tali input e output; interpretazione dei risultati.

Classe di U.T.	Cod.	Descrizione	Materiale	Peso (kg)	EE (MJ/kg)	ECO2 (kgCO2eq/kg)	Tot. EE	Tot. ECO2
A Struttura portante	A1	Struttura portante di elevazione verticale puntiforme in pilastri a sezione quadrata cava in acciaio	acciaio	2758,86	20,1	1,46	55453,09	4027,94
	A2	Struttura portante di elevazione orizzontale puntiforme in travi a sezione quadrata cava in acciaio (su 4 quote: +0,20; +0,65; +3,65; +4,10)	acciaio	10964,7	20,1	1,46	220390,47	16008,46
B Partizioni interne	B1	Partizione interna orizzontale in grigliato in acciaio zincato tipo 'Keller' o simili per pavimentazione completo di telaio angolare	acciaio	206,875	20,1	1,46	4158,19	302,04
	B2	Tende da sole in tessuto	polipropilene	37,536	95,4	4,98	3580,93	186,93
	B3	Partizione interna inclinata (rampa): struttura portante in profilati cavi in acciaio zincato	acciaio	393	20,1	1,46	7899,30	573,78
	B3	Partizione interna inclinata (rampa): gradini e pianerottolo in grigliato in acciaio zincato tipo 'keller' o simili	acciaio	516,36	20,1	1,46	10378,84	753,89
C Chiusura verticale	C1	Pannello di chiusura verticale Zipgrow: telaio in PVC	PVC	20	77,2	3,1		62,00
		Pannello di chiusura verticale Zipgrow: 6 torri in PVC	PVC	42	77,2	3,1	3242,40	130,20
		Pannello di chiusura verticale Zipgrow: motorino ricircolo	/	2	20,1	1,46	40,20	130,20
	C2	Pannello di chiusura verticale NFT: struttura in PVC	PVC	20	77,2	3,1	1544,00	62,00
		Pannello di chiusura verticale NFT: 11 moduli in PVC	PVC	49,5	77,2	3,1	3821,40	153,45
		Pannello di chiusura verticale NFT: lastra in piombo	piombo	2	10	0,58	20,00	1,16
		Pannello di chiusura verticale NFT: lana di roccia	lana di roccia	1,05	15,7	0,15	16,49	0,16
	Pannello di chiusura verticale NFT: motorino ricircolo	acciaio inox	2	20,1	1,46	40,20	2,92	

Tabella 5a. Inventario componenti e rispettivi valori di Energia Incorporata (EE) e CO2 Incorporata (ECO2). Parte 1

	C3	Pannello di chiusura verticale in terra (cubi): struttura principale e secondaria in pvc	PVC	30	77,2	3,1	2316,00	93,00
		Pannello di chiusura verticale in terra (cubi): 12 vasi in alluminio	alluminio	12	155	9,16	1860,00	109,92
		Pannello di chiusura verticale in terra (cubi): terra	terra	168	0,1	0,74	16,80	124,32
	C4	Pannello di chiusura verticale in terra (griglia): struttura principale e secondaria in alluminio	alluminio	23	159	9,22	3657,00	212,06
		Pannello di chiusura verticale in terra (griglia): 2 vasi in PVC	PVC	5	77,2	3,1	386,00	15,50
		Pannello di chiusura verticale in terra (griglia): griglia in alluminio	alluminio	15	155	9,16	2325,00	137,40
	C5	Pannello di chiusura verticale ceramico: struttura principale e secondaria in alluminio	alluminio	20	155	9,16	3100,00	183,20
		Pannello di chiusura verticale ceramico : sistema modulare ceramico	ceramica	130	10	0,7	1300,00	91,00
	C6	Pannello di chiusura verticale ceramico: struttura principale e secondaria in alluminio	alluminio	15	155	9,16	2325,00	137,40
		Pannello di chiusura verticale ceramico : sistema modulare ceramico	ceramica	130	10	0,7	1300,00	91,00
C7	Pannello di chiusura verticale informativo: struttura principale in alluminio	alluminio	20	155	9,16	3100,00	183,20	
D Elementi di ancoraggio	D1	Piedini di ancoraggio in alluminio con disco in lega di alluminio e perno filettato in acciaio zincato Ø 90 mm.	alluminio	81	155	9,16	12555,00	741,96
E Elementi accessori	E1	Serbatoi di accumulo in polietilene lineare ad alta densità idoneo al contenimento di liquidi alimentari e specifico per l'interro. Capacità max cad. 187 litri (224 kg a massimo carico)	polietilene ad alta densità	4239,87	76,7	1,93	325198,03	8182,95
F Elementi impiantistici	F1	Pannelli fotovoltaici monocristallini	vari	76	4750	242	33630,00	1713,36
	F2	Ugelli	acciaio inox	1409,8656	20,1	1,46	3,59	0,26

Tabella 5b. Inventario componenti e rispettivi valori di Energia Incorporata (EE) e CO2 Incorporata (ECO2). Parte 2

2.4.1.1.1 Definizione degli obiettivi

L'obiettivo dello studio di LCA è di mostrare l'influenza di tutte le variabili sull'impatto ambientale della struttura, evidenziando il potenziale risparmio energetico, esteso all'intero ciclo di vita del manufatto, al fine di selezionare lo scenario più appropriato per una costruzione sostenibile.

La metodologia LCA offre uno strumento di valutazione oggettiva del risparmio energetico per decisori, utenti finali e professionisti.

Il campo di applicazione è definito dalla scheda di descrizione dell'organismo edilizio. Tutte le quantità riportate si riferiscono all'intera struttura. Le unità di processo incluse nello studio sono quelle concepite dal sistema di classificazione funzionale del sistema tecnologico adottato per gli edifici secondo la norma UNI 8290 part. 1. Sistema tecnologico (Tabella 5). Per semplificare la valutazione, il sistema è stato suddiviso in quattro fasi, a loro volta articolate in sottosistemi (Tabella 4) e si è tenuto conto soltanto dei componenti architettonico-strutturali e non dei dispositivi impiantistici (illuminazione, pannelli fotovoltaici, pompa di circolazione per nebulizzazione e controller), fatta eccezione per il bilancio energetico.

2.4.1.1.2 Analisi dell'inventario per la fase di produzione e posa in opera

In questa fase sono state considerate la fornitura di materie prime, le relative esigenze di trasporto e i processi di fabbricazione di tutti i materiali utilizzati per la costruzione della struttura. I dati relativi ai materiali di costruzione sono stati estratti dal computo metrico estimativo e dagli elaborati grafici di progetto. Il metodo prevede una valutazione di tutte le risorse in ingresso (energia, materiali, acqua), e tutte le emissioni in uscita (in aria, acqua, suolo). Dall'estrazione alla produzione dei materiali, le risorse in ingresso vengono definite energia incorporata (EE), mentre le emissioni in uscita, CO₂ incorporata (ECO₂). Per quanto riguarda la fase di trasporto, dallo stabilimento all'area di accoglienza, i valori di energia primaria rinnovabile e non sono definiti dalla sigla PEI, mentre i valori dell'effetto serra, con la sigla GWP (Tabella 5) Per i valori di CO₂ e Energia incorporata dei materiali si è fatto riferimento alla BSRIA guide "Embodied Carbon The Inventory of Carbon and Energy" [4].

Tali analisi sono state condotte su ciascuno dei 6 layout. I layout si differenziano in base al numero di pannelli di chiusura verticale integrati alla struttura e sono classificati in due scenari. Il primo scenario prevede che il 50% dei moduli verticali perimetrali della struttura sia dotato di un pannello, per un totale di 14 pannelli, il secondo prevede invece una chiusura della struttura del 20% con l'installazione di 6 pannelli. I layout 1.1. e 1.2. attengono allo scenario 1. Il layout 1.1. rappresenta la soluzione base con 2 pannelli di ciascuna tipologia verde, 2 pannelli di ciascuna tipologia ceramica e 2 pannelli LED informativi. Il layout 1.2. costituisce la soluzione a basso consumo idrico e ibrida con 6 pannelli verdi della tipologia C3 e 6 pannelli ceramici della tipologia C5 e 2 pannelli informativi. I layout 2.1., 2.2., 2.3. e 2.4. ineriscono invece allo scenario 2. Il 2.1 è una soluzione verde a basso consumo idrico con 1 pannello per ciascuna tipologia verde e 1 pannello per ciascuna tipologia ceramica. Il 2.2. offre una soluzione ibrida prevedendo l'impiego di entrambe le tecnologie, verde e ceramica, nelle versioni a consumo idrico inferiore (C3, C4, C5 e C6). Infine, il layout 2.3 rappresenta la soluzione verde a basso consumo idrico con l'impiego di 3 pannelli C3 e 3 pannelli C4, e il layout 2.4 la soluzione ceramica a basso consumo idrico con 3 pannelli C5 e 3 pannelli C6.

Per quanto attiene alla fase di costruzione, per il trasporto, laddove possibile le aziende selezionate sono state scelte il più vicino possibile al sito di costruzione individuato anche per le simulazioni, piazza di San Silvestro a Roma, ipotizzando una distanza media dall'azienda al cantiere di 50 km con valori sempre intorno ai 5-10 km, fatta eccezione per il produttore dei componenti ceramici dei pannelli distante oltre 380 km dal sito. Tutti i componenti sono stati progettati in modo tale da consentire di percorrere tali distanze con camion alimentato a diesel con portata di 16 t. Trattandosi di una struttura temporanea, realizzabile in siti diversi a seconda delle esigenze, le aziende scelte per la produzione dei componenti assemblati in loco dovranno essere di volta in volta in base al raggio di 50 km rispetto al sito in questione, per ottenere risultati analoghi.

Per la costruzione in sito non è previsto alcuno scavo né relativi consumi energetici per l'escavatore o impatto dovuto all'occupazione o trasformazione di suolo.

L'assemblaggio della struttura è interamente a secco, attraverso tecnologie di giunzione di tipo meccanico, prevalentemente bullonature, rese solidali attraverso una precisa logica costruttiva. Tale tecnica permette di ridurre i tempi di costruzione e i consumi elettrici e poiché prevede l'uso di prodotti nati da processi industriali controllati e certificati, le prestazioni effettive dell'opera sono quelle previste fin dal progetto.

Inoltre, ciascun elemento è ispezionabile, sostituibile o implementabile nel tempo garantendo un alto grado di reversibilità e re-impiegabilità.

2.4.1.1.3 Analisi dell'inventario per la fase di utilizzo

L'uso dell'edificio include tutti gli impatti associati al funzionamento e alla manutenzione dell'edificio durante la sua vita utile. Il consumo di energia riguarda il raffrescamento operato tramite nebulizzazione attraverso appositi ugelli, l'irrigazione dei pannelli verdi di chiusura verticale e l'illuminazione mentre il consumo di acqua è legato al raffrescamento tramite nebulizzazione e all'irrigazione dei pannelli verdi.

I consumi elettrici legati al raffrescamento includono la pompa di circolazione per l'acqua nebulizzata, il controller e l'inverter. I consumi elettrici legati all'irrigazione sono dovuti alla pompa di circolazione per l'irrigazione.

La valutazione dell'impatto associato al consumo energetico è stata condotta sul layout 1 (6 pannelli) e sul layout 2 (14 pannelli) considerando una media dei valori di consumo dei pannelli. Il valore dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, tramite sistema fotovoltaico, è stato detratto dai consumi totali, tanto da ottenere energia in esubero, da poter destinare a eventuali ricariche di bici elettriche, smartphone, schermi LED informativi ed altri dispositivi a discrezione degli stakeholder.

Per quanto attiene alla manutenzione della struttura è stata inclusa solo la sostituzione dei pannelli di chiusura verticali verdi e ceramici, progettati in modo da essere sostituibili singolarmente o nei loro elementi specifici.

Il consumo idrico totale della struttura invece comprende il consumo di acqua relativo all'impianto di nebulizzazione e il consumo per irrigazione dei pannelli di chiusura verticali verdi o ceramici. Per il calcolo di consumo annuo è stato ipotizzato un tempo di esercizio di 4 ore in media al giorno per 53 giorni all'anno, corrispondenti ai giorni di giugno, luglio e agosto con temperature che superano i 26°C, considerata la temperatura di comfort ideale. Per il calcolo dei giorni è stato preso come riferimento l'anno 2019.

2.4.1.1.4 Analisi dell'inventario per la fase di dismissione/recupero

Trattandosi di un assemblaggio interamente a secco, la fase costruttiva non ha previsto l'impiego di materiali di connessione destinati a consolidarsi dopo la posa, come collanti e sigillanti, e pertanto anche il disassemblaggio è garantito al 100%.

Inoltre, l'assemblaggio a secco favorisce un alto grado di reversibilità e consente di re-impiegare, in un secondo momento, sistemi e componenti altrove, rispondendo perfettamente a uno dei principali obiettivi del progetto, ovvero la collocazione temporanea in diverse zone di diverse città a seconda delle necessità di cittadini e stakeholder e in funzione del microclima locale.

Il solo consumo di energia nella fase di dismissione e recupero è legato al trasporto dei componenti disassemblati al nuovo sito di costruzione, e rientra dunque nella fase II del nuovo sistema a carico dell'utente successivo.

2.4.1.1.5 Risultati relativi all'energia incorporata e alla CO2 incorporata dei materiali di costruzione

Considerando il layout 1.1. (Figura 36) il peso totale dei materiali da costruzione è di 21 957 kg. I materiali metallici a base di acciaio o alluminio, utilizzati principalmente per gli elementi portanti e per i solai, costituiscono la maggioranza del peso con il 75% del totale (74% acciaio e 1% alluminio), seguiti dai materiali plastici, come il PVC o il polietilene, utilizzati per le tamponature e per i serbatoi, che rappresentano il 19% del peso totale. I materiali restanti costituiscono il restante 7% del peso complessivo della struttura. I materiali che presentano valori maggiori di energia incorporata sono in prima misura il polietilene con il 52% sul totale, seguito dall'acciaio (39%), dall'alluminio e dal PVC. Per quanto attiene invece alle emissioni in uscita, ovvero alla CO2 incorporata, sempre in termini generali, l'acciaio è responsabile di circa due terzi del totale.

Se si esamina il layout 1.2. (Figura 37), il quadro complessivo cambia di poco. Il peso totale dei materiali da costruzione è leggermente superiore, 22 768 kg. I materiali a base di acciaio/alluminio costituiscono sempre la maggioranza del peso con il 71% del totale, seguiti sempre dai materiali plastici, come il PVC o il polietilene con il 19% del peso totale. I materiali restanti costituiscono il restante 10% del peso complessivo della struttura. Per quanto riguarda i valori di EE e ECO2 restano pressoché invariati rispetto al layout 1.1.. Il layout 2.1. (Figura 38) per quanto concerne il peso dei materiali, è analogo ai layout 1.1 e 1.2., mentre presenta alcune differenze per quanto riguarda l'EE e l'ECO2, con valori EE del 3/4% in più rispetto ai layout precedenti e valori ECO2 del 1/2% in più. Il quadro complessivo del layout 2.2. (Figura 39) è quasi invariato rispetto a quello del layout 2.1.. Il layout 2.3. (Figura 40) presenta valori in linea con i layout 2.1. e 2.2. con alcune variazioni legate all'ECO2 dell'acciaio, leggermente inferiore e l'ECO2 dell'alluminio leggermente superiore. Infine il layout 2.4. (Figura 41) ha una distribuzione del peso dei materiali equivalente al layout 2.1., 2.2. e 2.3., e valori di EE e ECO2 analoghi al layout 2.2. Il trasporto di tutti i materiali e le attrezzature dalla fabbrica al luogo prescelto per la collocazione della struttura avviene su strada, tramite camion da 16 t. Trattandosi tutti di elementi di materiali facilmente reperibili e fabbricati in tutto il territorio nazionale, a seconda del luogo individuato per la costruzione del plug-in urbano, i componenti saranno prodotti e dunque trasportati dall'azienda più vicina al luogo dove si intende costruire la struttura, entro un raggio preferibilmente di 50 km.

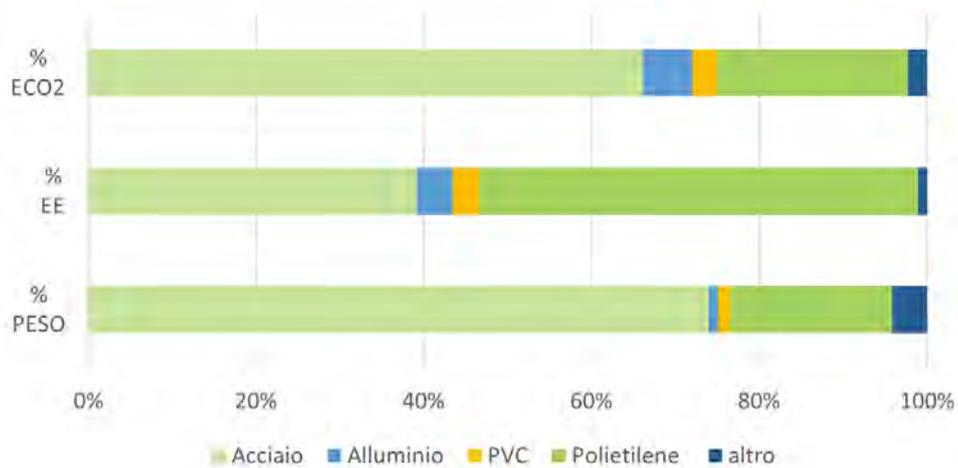


Figura 36. Valori di energia incorporata (EE) e CO2 incorporata (ECO2). Layout 1.1

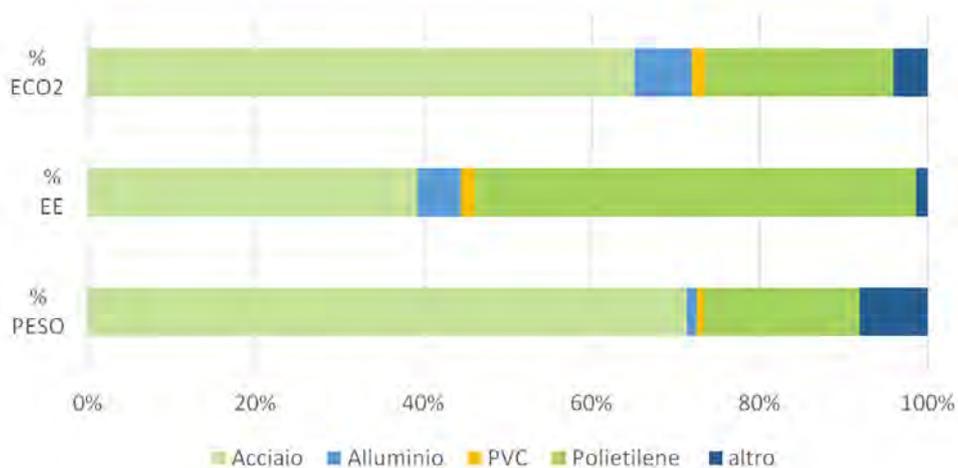


Figura 37. Valori di energia incorporata (EE) e CO2 incorporata (ECO2). Layout 1.2

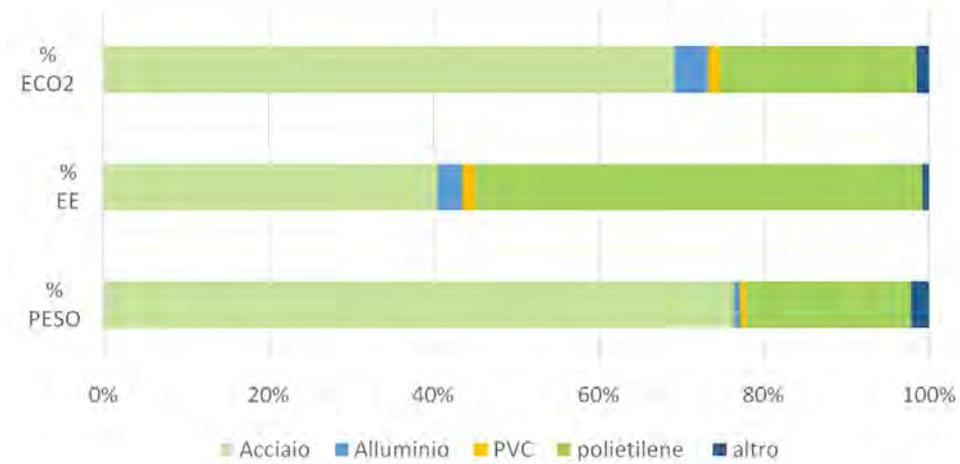


Figura 38. Valori di energia incorporata (EE) e CO2 incorporata (ECO2). Layout 2.1

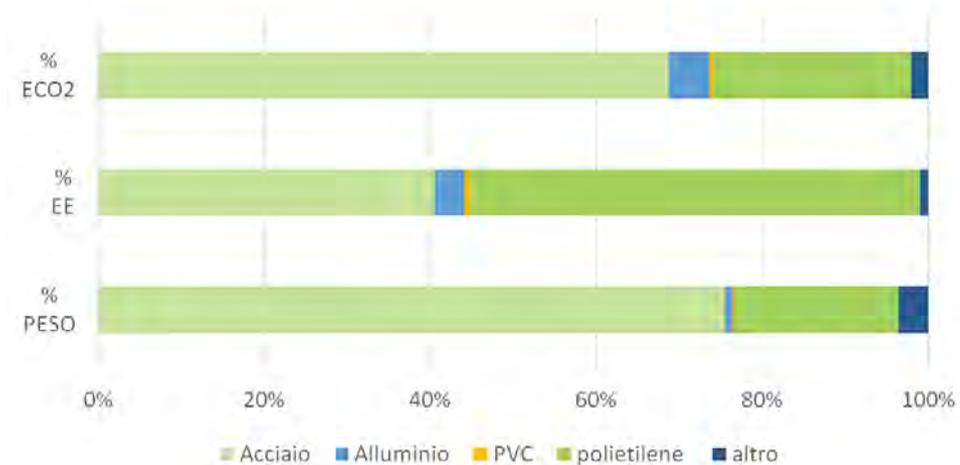


Figura 39. Valori di energia incorporata (EE) e CO2 incorporata (ECO2). Layout 2.2

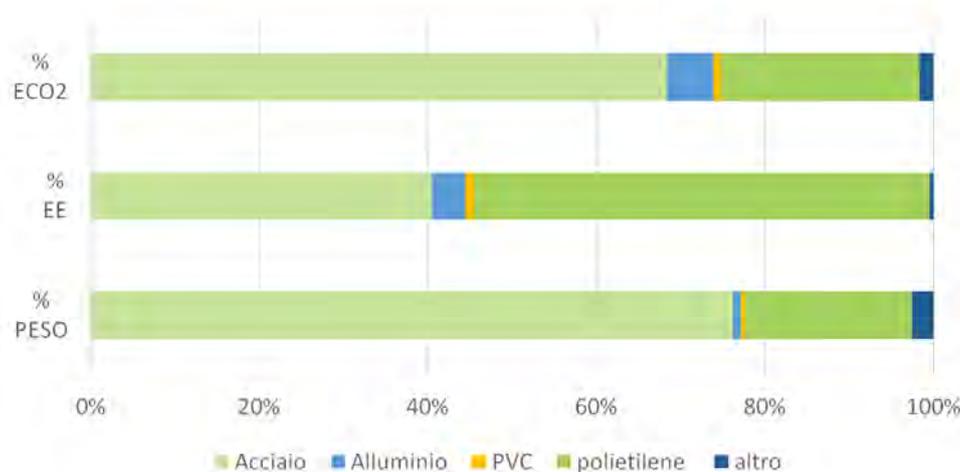


Figura 40. Valori di energia incorporata (EE) e CO2 incorporata (ECO2). Layout 2.3

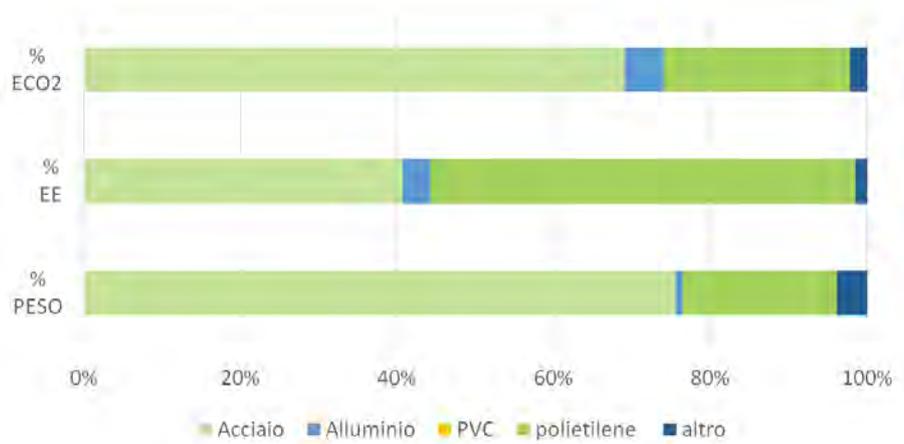


Figura 41. Valori di energia incorporata (EE) e CO2 incorporata (ECO2). Layout 2.4

Per quanto riguarda la fase di trasporto, dallo stabilimento all'area di assemblaggio, le categorie di impatto considerate in questo studio sono state la domanda di energia primaria in MJEq e il GWP (Global Warming Potential) in kg CO2-Eq (Figura 42).

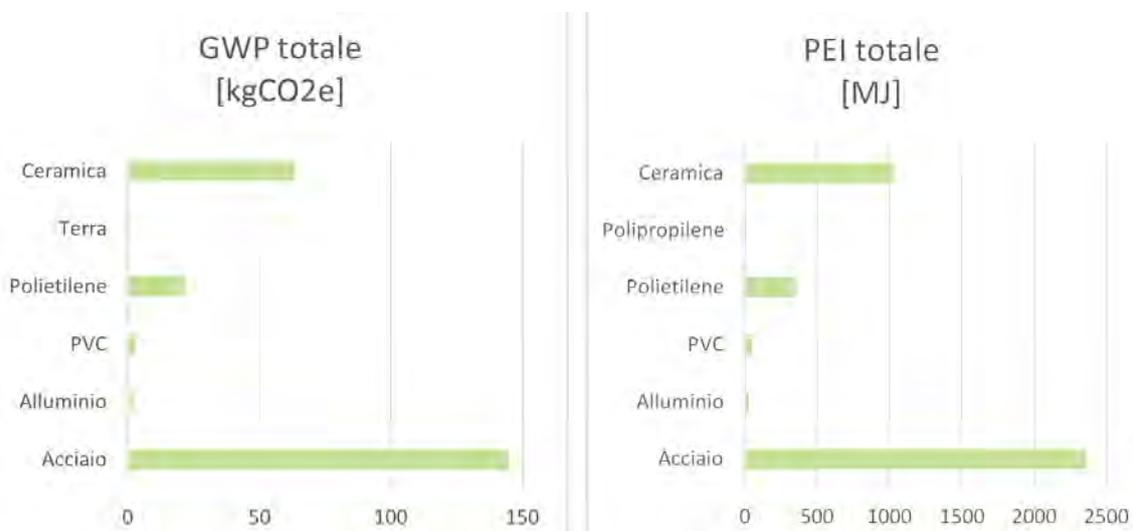


Figura 42. Valori GWP e PEI totale per materiale. Layout 1.1 – Piazza San Silvestro, Roma

La stima dei valori di PEI e GWP riguardanti il trasporto fanno riferimento alla stessa località in cui sono state effettuate le analisi microclimatiche, piazza di San Silvestro a Roma sulla base del layout 1.1. (Tabella 6). La stessa matrice è valida per effettuare le analisi su tutti gli altri layout.

Piazza di San Silvestro, Roma											
Materiale	Peso [t]	EE [MJ]	ECO2 [kgCO2eq]	Luogo Azienda Produttrice	Dist. [km]	Tipo di trasporto (camion)	Trasporto [tkm]	PEI tot [MJ/tkm]	PEI tot [MJ]	GWP [kgCo2e/tkm]	GWP [kgCO2e]
Acciaio	16,25	326698,58	23730,34	Monterotondo (RM)	28	16 t	455,10	5,19	2361,07	0,32	144,72
Alluminio	0,23	35867,00	2119,62	Roma (RM)	22	16 t	5,09	5,19	26,41	0,32	1,62
PVC	0,33	25707,60	1032,30	Monterotondo (RM)	28	16 t	9,32	5,19	48,37	0,32	2,97
PE	4,24	436706,61	8182,95	Roma (RM)	16	16 t	67,84	5,19	351,94	0,32	21,57
PP	0,04	3580,93	186,93	Roma (RM)	8	16 t	0,30	5,19	1,56	0,32	0,10
Piombo	0,00	40,00	2,32	Roma (RM)	6	16 t	0,02	5,19	0,12	0,32	0,01
Lana di roccia	0,00	32,97	0,32	Roma (RM)	8	16 t	0,02	5,19	0,09	0,32	0,01
Terra	0,34	33,60	248,64	Roma (RM)	6,5	16 t	2,18	5,19	11,33	0,32	0,69
Ceramica	0,52	5200,00	364,00	Massa Lombarda (RA)	381	16 t	198,12	5,19	1027,85	0,32	63,00

Tabella 6. Valori PEI e GWP fase di trasporto. Layout 1.1 - Piazza di San Silvestro, Roma

Per mettere a confronto la fase di produzione e di trasporto, i valori considerati sono: l'energia incorporata dei materiali e il valore di PEI non rinnovabile, per quanto riguarda la quantità di risorse necessarie al processo; mentre sono stati rilevati i valori di CO2 incorporata e GWP per quanto riguarda la quantità di emissioni generate. Indifferentemente dal tipo di materiale, l'energia utilizzata per produrre i componenti necessari è di gran lunga maggiore di quella necessaria per il trasporto degli stessi e lo stesso vale per quanto riguarda le emissioni, la fase di produzione impatta molto di più di quella di trasporto. Questo è dovuto essenzialmente alla scelta di rifornirsi da produttori locali che distano tra gli 8 e i 28 km dal sito di costruzione. All'interno della manutenzione della struttura, è stata inclusa solo la sostituzione dei pannelli di tamponatura verdi e ceramici. Secondo i calcoli di fine vita si considera uno scenario di smaltimento finale che prevede il reimpiego di tutti i componenti e dunque un riuso del 100%.

2.4.1.1.6 Interpretazione dei risultati relativi ai consumi idrici

Il consumo idrico totale della struttura è riportato nelle Tabelle 7-12. Per quanto attiene al sistema di nebulizzazione, il consumo idrico ammonta a 921,6 litri al giorno considerando un tempo di esercizio medio di 4 ore al giorno e un numero di giorni pari a 53 (vedi capitolo 2.4.1.1.3.). Il fabbisogno idrico per garantire il raffrescamento tramite nebulizzazione è dunque pari a 48 844,8 litri l'anno.

Per quanto riguarda l'irrigazione dei pannelli di chiusura verticale, sono stati ipotizzati e valutati i 6 layout, precedentemente descritti per considerare le varie combinazioni determinate dalle possibili configurazioni dei pannelli. Questa analisi comparativa dei diversi layout consente di valutare contestualmente i consumi idrici associati all'impatto ambientale, all'efficacia bioclimatica, alla restituzione estetica e ai rispettivi costi. Il layout 1.1. richiede un consumo annuo pari a oltre 5 milioni di litri, un consumo di gran lunga superiore rispetto agli altri layout. L'1.2, ad esempio, consente di ridurre i consumi a 46 297 l annui garantendo ugualmente una copertura del 50% dei moduli, ma dovendo rinunciare alla varietà di soluzioni tecnologiche presenti nel layout precedente.

Il layout 1.1. richiede un consumo annuo pari a oltre 5 milioni di litri, un consumo di gran lunga superiore rispetto agli altri layout. L'1.2, ad esempio, consente di ridurre i consumi a 46 297 l annui garantendo ugualmente una copertura del 50% dei moduli, ma dovendo rinunciare alla varietà di soluzioni tecnologiche presenti nel layout precedente.

Il layout 2.3. richiede un consumo idrico pressoché analogo allo scenario 1.2. ma realizzato con la metà dei pannelli.

La configurazione 2.1. consente di dimezzare i consumi rispetto allo scenario 1.1. pur mantenendo l'intera gamma delle tipologie, ma entrambi necessitano l'allaccio alla rete idrica locale, poiché la raccolta dell'acqua piovana non è sufficiente. Il 2.4., però, consente di ridurre al minimo i consumi idrici (13 074 l annui) ma ha un impatto decisamente ridotto sul microclima considerando 6 pannelli evaporativi, contro i 12 dei layout 1.1. e 1.2. Infine, lo scenario 2.2. (28 499 litri/anno) costituisce una valida alternativa per ridurre i consumi idrici in modo drastico rispetto agli scenari con 14 pannelli, riuscendo a garantire la completa autonomia della struttura sul piano idrico, ma contemplando una varietà di soluzioni tecnologiche. Pertanto, il consumo per irrigazione dei pannelli di chiusura verticali verdi e ceramici è interamente coperto attraverso il recupero delle acque piovane nel caso degli scenari 1.2., 2.2., 2.3. e 2.4.. Negli altri due casi (1.1. e 2.1) sarà necessario fare affidamento anche alla rete pubblica locale.

Con l'intento di garantire l'autonomia idrica della struttura, per quanto riguarda i pannelli evaporativi verdi e ceramici, è stata prevista una lastra per la raccolta delle acque meteoriche di 71 mq, che considerando i valori di precipitazione a Roma, è in grado di raccogliere fino a circa 60 000 litri annui. È stato previsto un sistema di serbatoi integrati alla base della struttura con una capienza complessiva di circa 12 000 litri. Per valutare in modo immediato la configurazione ottimale più idonea a seconda del sito individuato per la collocazione della struttura, è stata realizzata una matrice che consente di variare il numero e la tipologia di pannelli di chiusura e di ottenere i rispettivi consumi idrici.

Una volta individuato il luogo per la collocazione della struttura, in prima istanza, occorre dunque tenere in considerazione se è garantito o meno l'allaccio diretto alla rete idrica locale. I serbatoi di accumulo garantiscono un'autosufficienza della struttura fino a 12 000 litri, che viene riempito dal sistema di raccolta dell'acqua meteorica per integrare in fieri il volume d'acqua che gradualmente viene impiegato.

Naturalmente, a diversi luoghi geografici, anche nel contesto nazionale, corrispondono diversi valori della resa della pioggia, considerando la medesima superficie di raccolta pari a circa 71 mq.

Pertanto, la scelta della configurazione e del numero di pannelli di chiusura verticale, frutto di un processo partecipato tra cittadini, tecnici e pubblica amministrazione o privati, dovrà fare riferimento alle risorse presenti sul posto e alla resa della pioggia locale.

Nell'eventualità in cui non fosse possibile l'allaccio alla rete idrica pubblica locale, ipotizzando di impiegare il serbatoio esclusivamente per supplire al fabbisogno idrico del sistema di nebulizzazione, sarà necessario riempire il serbatoio circa 4 volte nell'arco dei tre mesi in cui il sistema è in funzione.

Nell'ipotesi in cui il sistema di nebulizzazione fosse alimentato direttamente dalla rete idrica locale, i serbatoi assolverebbero alla funzione di accumulo (integrati dalla raccolta delle acque meteoriche in loco), attraverso apposita lastra di raccolta, e potrebbero sopperire al fabbisogno annuo di irrigazione di diversi scenari (1.2., 2.1, 2.2., 2.3., 2.4) senza bisogno di ulteriori riempimenti.

Dispositivo	n° di dispositivi	consumo acqua l/ h (cad.)	consumo acqua l/ h totale	consumo acqua l/ giorno	consumo acqua l/ anno
Ugelli	48	4,8	230,4	921,6	48844,8
TOT. NEBULIZZAZIONE					48844,8
Pannello verde C1	2	300	600	14400	5256000
Pannello verde C2	2	60	120	120	43800
Pannello verde C3	2	20	40	40	14600
Pannello verde C4	2	25	50	50	18250
Pannello ceramico C5	2	0,19	0,38	2,28	832,2
Pannello ceramico C6	2	1,8	3,6	21,6	7884
TOT. IRRIGAZIONE					5341366
TOT. CONSUMO ACQUA					5390211
Acqua recuperabile					
superficie di raccolta [mq]		Valori di precipitazione [mm]		Resa annuale della pioggia [litri]	
71		837		59427	
Consumo acqua totale annuale [l]			5390211		
Recupero annuale di acqua [l]			59427		
Acqua recuperata in eccesso [l]			-5281939		
Acqua dalla rete pubblica [l]			5330784		

Tabella 7. Consumo idrico e recupero acque meteoriche. Layout 1.1

Dispositivo	n° di dispositivi	consumo acqua l/ h (cad.)	consumo acqua l/ h totale	consumo acqua l/ giorno	consumo acqua l/ anno
Ugelli	48	4,8	230,4	921,6	48844,8
TOT. NEBULIZZAZIONE					48844,8
Pannello verde C1	0	300	0	0	0
Pannello verde C2	0	60	0	0	0
Pannello verde C3	6	20	120	120	43800
Pannello verde C4	0	25	0	0	0
Pannello ceramico C5	6	0,19	1,14	6,84	2496,6
Pannello ceramico C6	0	1,8	0	0	0
TOT. IRRIGAZIONE					46297
TOT. CONSUMO ACQUA					95141
Acqua recuperabile					
superficie di raccolta [mq]		Valori di precipitazione [mm]		Resa annuale della pioggia [litri]	
71		837		59427	
Consumo acqua totale annuale [l]			95141		
Recupero annuale di acqua [l]			59427		
Acqua recuperata in eccesso [l]			13130		
Acqua dalla rete pubblica [l]			35714		

Tabella 8. Consumo idrico e recupero acque meteoriche. Layout 1.2

Dispositivo	n° di dispositivi	consumo acqua l/ h (cad.)	consumo acqua l/ h totale	consumo acqua l/ giorno	consumo acqua l/ anno
Ugelli	48	4,8	230,4	921,6	48844,8
TOT. NEBULIZZAZIONE					48844,8
Pannello verde C1	1	300	300	7200	2628000
Pannello verde C2	1	60	60	60	21900
Pannello verde C3	1	20	20	20	7300
Pannello verde C4	1	25	25	25	9125
Pannello ceramico C5	1	0,19	0,19	1,14	416,1
Pannello ceramico C6	1	1,8	1,8	10,8	3942
TOT. IRRIGAZIONE					2670683
TOT. CONSUMO ACQUA					2719528
Acqua recuperabile					
superficie di raccolta [mq]		Valori di precipitazione [mm]		Resa annuale della pioggia [litri]	
71		837		59427	
Consumo acqua totale annuale [l]			2719528		
Recupero annuale di acqua [l]			59427		
Acqua recuperata in eccesso [l]			-2611256		
Acqua dalla rete pubblica [l]			2660101		

Tabella 9. Consumo idrico e recupero acque meteoriche. Layout 2.1

Dispositivo	n° di dispositivi	consumo acqua l/ h (cad.)	consumo acqua l/ h totale	consumo acqua l/ giorno	consumo acqua l/ anno
Ugelli	48	4,8	230,4	921,6	48844,8
TOT. NEBULIZZAZIONE					48844,8
Pannello verde C1	0	300	0	0	0
Pannello verde C2	0	60	0	0	0
Pannello verde C3	2	20	40	40	14600
Pannello verde C4	1	25	25	25	9125
Pannello ceramico C5	2	0,19	0,38	2,28	832,2
Pannello ceramico C6	1	1,8	1,8	10,8	3942
TOT. IRRIGAZIONE					28499
TOT. CONSUMO ACQUA					77344
Acqua recuperabile					
superficie di raccolta [mq]		Valori di precipitazione [mm]		Resa annuale della pioggia [litri]	
71		837		59427	
Consumo acqua totale annuale [l]			77344		
Recupero annuale di acqua [l]			59427		
Acqua recuperata in eccesso [l]			30928		
Acqua dalla rete pubblica [l]			17917		

Tabella 10. Consumo idrico e recupero acque meteoriche. Layout 2.2

Dispositivo	n° di dispositivi	consumo acqua l/ h (cad.)	consumo acqua l/ h totale	consumo acqua l/ giorno	consumo acqua l/ anno
Ugelli	48	4,8	230,4	921,6	48844,8
TOT. NEBULIZZAZIONE					48844,8
Pannello verde C1	0	300	0	0	0
Pannello verde C2	0	60	0	0	0
Pannello verde C3	3	20	60	60	21900
Pannello verde C4	3	25	75	75	27375
Pannello ceramico C5	0	0,19	0	0	0
Pannello ceramico C6	0	1,8	0	0	0
TOT. IRRIGAZIONE					49275
TOT. CONSUMO ACQUA					98120
Acqua recuperabile					
superficie di raccolta [mq]		Valori di precipitazione [mm]		Resa annuale della pioggia [litri]	
71		837		59427	
Consumo acqua totale annuale [l]			98120		
Recupero annuale di acqua [l]			59427		
Acqua recuperata in eccesso [l]			10152		
Acqua dalla rete pubblica [l]			38693		

Tabella 11. Consumo idrico e recupero acque meteoriche. Layout 2.3

Dispositivo	n° di dispositivi	consumo acqua l/ h (cad.)	consumo acqua l/ h totale	consumo acqua l/ giorno	consumo acqua l/ anno
Ugelli	48	4,8	230,4	921,6	48844,8
TOT. NEBULIZZAZIONE					48844,8
Pannello verde C1	0	300	0	0	0
Pannello verde C2	0	60	0	0	0
Pannello verde C3	0	20	0	0	0
Pannello verde C4	0	25	0	0	0
Pannello ceramico C5	3	0,19	0,57	3,42	1248,3
Pannello ceramico C6	3	1,8	5,4	32,4	11826
TOT. IRRIGAZIONE					13074
TOT. CONSUMO ACQUA					61919
Acqua recuperabile					
superficie di raccolta [mq]		Valori di precipitazione [mm]		Resa annuale della pioggia [litri]	
71		837		59427	
Consumo acqua totale annuale [l]			61919		
Recupero annuale di acqua [l]			59427		
Acqua recuperata in eccesso [l]			46353		
Acqua dalla rete pubblica [l]			2492		

Tabella 12. Consumo idrico e recupero acque meteoriche. Layout 2.4

2.4.1.1.7 Interpretazione dei risultati relativi ai consumi energetici

Tra gli obiettivi della ricerca vi era quello di realizzare una struttura completamente autonoma sul profilo energetico. Il consumo di energia della struttura è legato al funzionamento del sistema di nebulizzazione (pompa di circolazione e controller), al sistema di irrigazione dei pannelli, che varia in base allo scenario 1 e 2, e al sistema di illuminazione LED. Il tempo di esercizio del sistema di nebulizzazione corrisponde ai 53 giorni individuati nel capitolo 2.4.1.1.3.. Dal momento che la temperatura varia nell’arco della giornata, il numero di ore di funzionamento del sistema è pari a 4, considerando una media tra i mesi in cui l’impianto è in funzione. Il consumo annuale complessivo è pari dunque a 243,8 kWh.

Per quanto attiene invece al sistema di irrigazione dei pannelli verdi e ceramici sono stati studiati in via generale i layout 1 e 2, considerando una media dei consumi di acqua dei diversi layout (1.1 e 1.2. per il layout generale 1 e 2.1., 2.2., 2.3. e 2.4. per il layout generale 2). Inoltre si è tenuto conto del fatto che mentre i pannelli verdi esigono un’irrigazione 365 giorni l’anno, i pannelli ceramici solo per il tempo in cui sono in funzione, ovvero gli stessi 53 giorni l’anno identificati nel paragrafo 2.4.1.1.3..

Pertanto, il consumo annuale medio del layout 1 è pari a 282 kWh, mentre il consumo annuale medio del layout 2 equivale a 122, 75 kWh. Infine, il sistema di illuminazione, in funzione tutto l’anno, con una media di 5,5 ore al giorno, considerando una media annuale delle ore di buio fino alle 24:00 (dalle 16:30 a dicembre alle 20:40 a giugno) consuma 1796,7 KWh annui. Complessivamente il fabbisogno energetico varia da 2322,51 kWh a 2163,26 kWh, valori relativi rispettivamente al layout 1 (Tabella 13) e 2 (Tabella 14). Considerato il fabbisogno energetico, è stato ipotizzato un impianto fotovoltaico costituito da 4 pannelli in silicio monocristallino di dimensioni 1050 x 1690 mm ciascuno con una potenza nominale di 400Wp (Figura 43), per produrre l’energia elettrica necessaria non solo a garantire l’autonomia sul piano energetico dell’intero plug-in urbano, ma anche per eventuali altri dispositivi integrati, dagli schermi LED informativi alle postazioni di ricarica per smartphone e laptop.

Consumo di energia	ore di esercizio al giorno	giorni di esercizio all'anno	numero dispositivi	KW		KWh annuale	
Pompa di circolazione per nebulizzazione	4	53	1	1,100		233,200	
Controller	4	53	1	0,050		10,600	
Pompa di circolazione per irrigazione (pannelli ceramici)	4	53	da 4 a 6	0,025		26,500	
Pompa di circolazione per irrigazione (pannelli verdi)	4	365	da 6 a 8	0,025		255,500	
Illuminazione LED (20 dispositivi)	5,5	365	20	0,036		1429,340	
Illuminazione LED (10 dispositivi)	5,5	365	10	0,018		367,373	
Totale energia consumata						2322,513	
Produzione di energia	Luogo	Potenza pannello [Wp]	numero pannelli	Tecnologia FV	Potenza FV di picco [KWp]	Inclinazione pannelli	Produzione annuale [kWh]
Sistema fotovoltaico	Piazza S.Silvestro, Roma	400	4	silicio monocristallino	1,6	20°	2426,74
Totale energia rinnovabile prodotta							2426,74
Totale energia necessaria per raggiungere autosufficienza energetica							2322,51
Totale energia restante per ricarica bici elettriche e <u>smartphone</u>							104,23

Tabella 13. Fabbisogno e consumo energetico finale della struttura. Layout 1

Consumo di energia	ore di esercizio al giorno	giorni di esercizio all'anno	numero dispositivi	KW		KWh annuale	
Pompa di circolazione per nebulizzazione	4	53	1	1,100		233,200	
Controller	4	53	1	0,050		10,600	
Pompa di circolazione per irrigazione (pannelli ceramici)	4	53	da 0 a 6	0,025		13,250	
Pompa di circolazione per irrigazione (pannelli verdi)	4	365	da 0 a 6	0,025		109,500	
Illuminazione LED (20 dispositivi)	5,5	365	20	0,036		1429,340	
Illuminazione LED (10 dispositivi)	5,5	365	10	0,018		367,373	
Totale energia consumata						2136,260	
Produzione di energia	Luogo	Potenza pannello [Wp]	numero pannelli	Tecnologia FV	Potenza FV di picco [KWp]	Inclinazione pannelli	Produzione annuale [kWh]
Sistema fotovoltaico	Piazza S.Silvestro, Roma	400	4	silicio monocristallino	1,6	20°	2426,74
Totale energia rinnovabile prodotta							2426,74
Totale energia necessaria per raggiungere autosufficienza energetica							2163,26
Totale energia restante per ricarica bici elettriche e <u>smartphone</u>							263,48

Tabella 14. Fabbisogno e consumo energetico finale della struttura. Layout 2

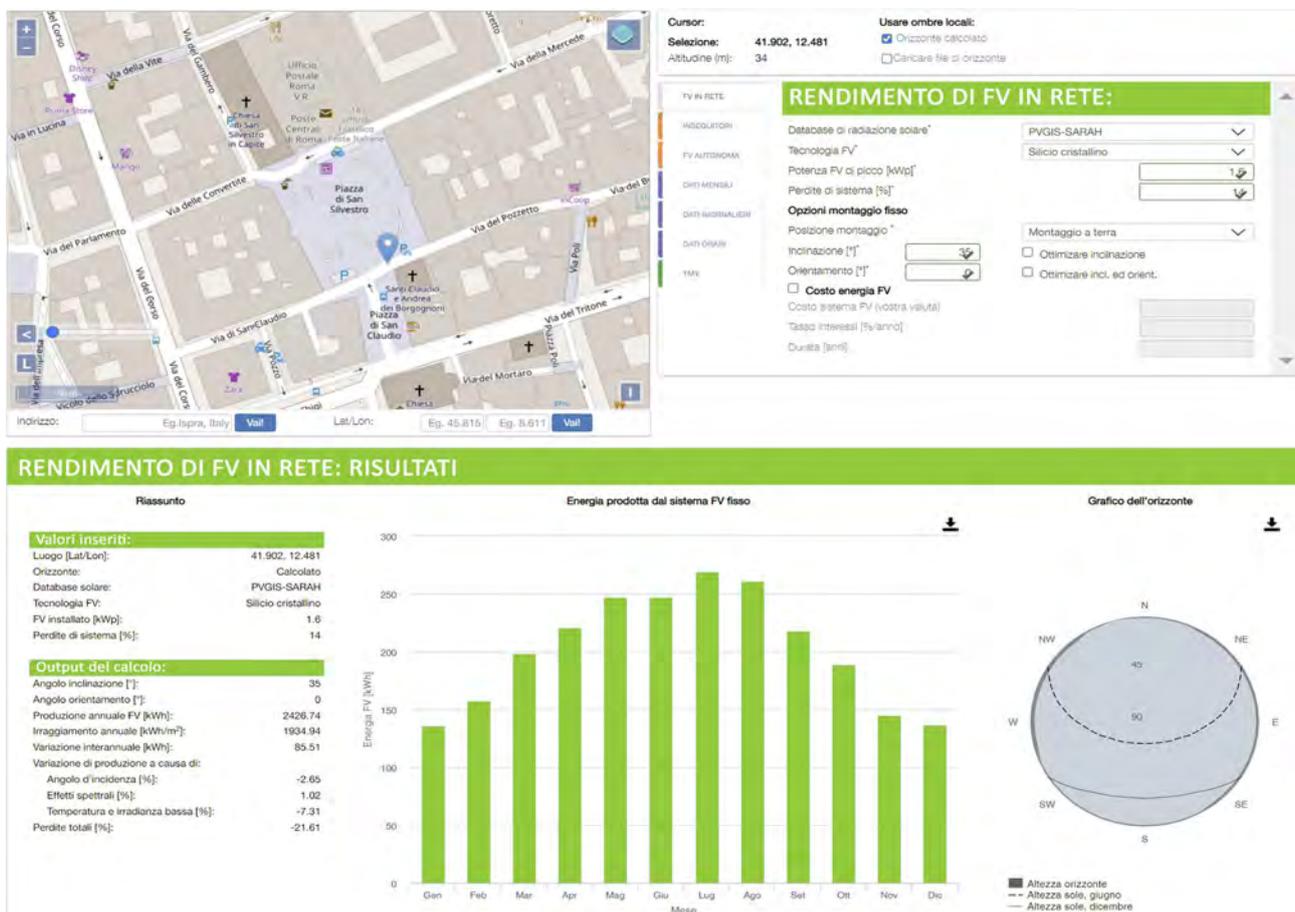
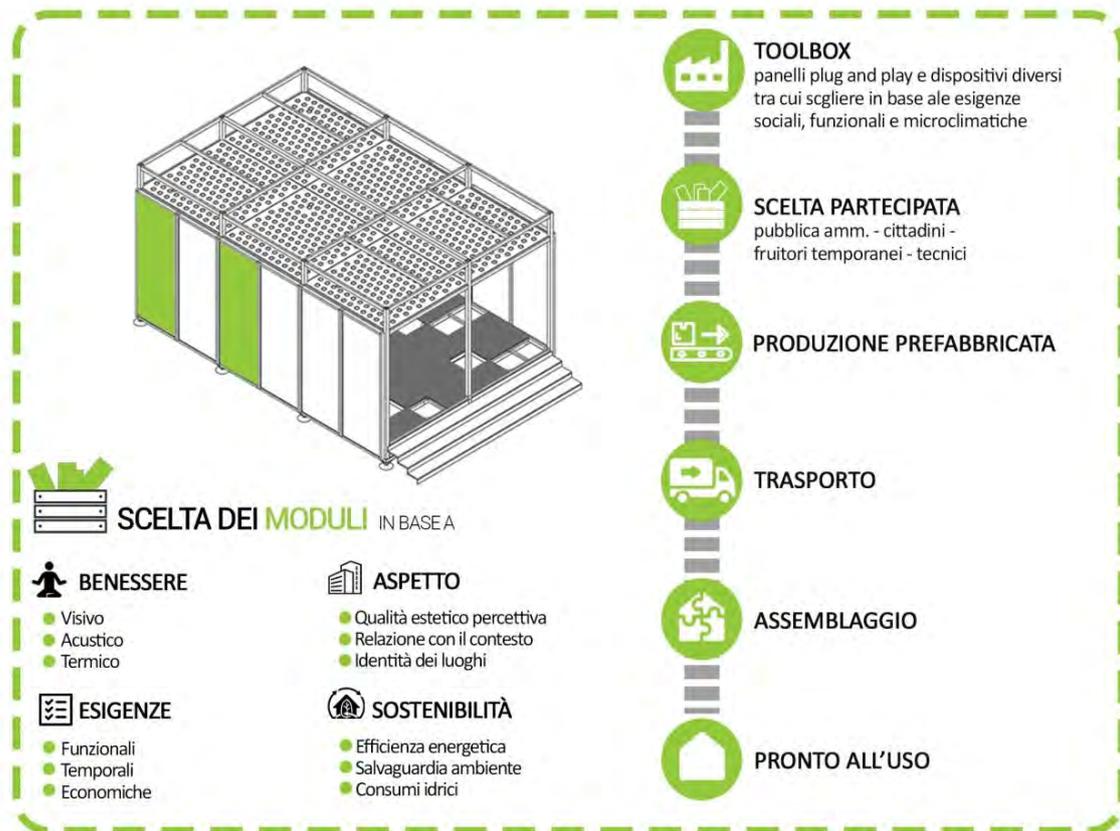


Figura 43. Interfaccia software di simulazione PVGIS Simulation Tool: dati di input e dati di output

2.4.2 Sviluppo di linee guida per progettazione partecipata e di protocolli di collaborazione con le P.A.

Poiché le esigenze degli utenti possono variare nel tempo, nei diversi contesti socio-culturali e nel microclima specifico del sito scelto per la struttura, è previsto un toolbox delle molteplici configurazioni che è possibile implementare (Figura 44). La modularità della maglia strutturale consente di adattare la configurazione delle chiusure verticali e delle coperture alle esigenze dei cittadini o degli operatori, ponendo le basi per una progettazione partecipata. La progettazione partecipata è la base di un processo bottom-up, fondamentale per l'efficacia e il successo di strutture come quella oggetto di ricerca (Figura 44). Le possibili configurazioni prevedono pannelli composti dalla medesima struttura portante ma con caratteristiche bioclimatiche, estetiche e funzionali diverse: pannello verde a coltivazione idroponica verticale; pannello verde a coltivazione idroponica orizzontale e pannello ceramico a raffrescamento evaporativo indiretto. L'intelaiatura portante dei pannelli in profilati cavi rettangolari in PVC rigido, di dimensioni 125 x 300 cm, consente di essere applicata come tamponatura in qualunque parte della griglia strutturale dell'organismo di base. Il modulo base può essere ripetuto 28 volte all'interno della maglia strutturale verticale perimetrale dell'organismo e pertanto le potenziali configurazioni sono 19.656. La stessa libertà funzionale e flessibilità è garantita all'interno del sistema evaporativo urbano, per la cui costruzione plug and play di varia natura possono essere scelti dagli utenti e collocati in modo diverso. Tra i plug and play in questione si annoverano dispositivi di seduta, di appoggio, portaoggetti e tecnologico-informativi. Il processo partecipativo prevede il coinvolgimento di una serie di attori, tra i quali i rappresentanti delle pubbliche amministrazioni e la cittadinanza, che sarà coinvolta attraverso la richiesta di compilazione di questionari anonimi, in un'indagine preliminare che ha lo scopo di raccogliere il maggior numero di suggestioni e suggerimenti riguardanti la configurazione più idonea in relazione all'area e al contesto in cui il sistema sarà inserito. La figura 45 rappresenta un cronoprogramma in cui sono indicate per ogni fase di implementazione le diverse azioni effettuate dagli attori coinvolti nell'intero processo (utenti, pubblica amministrazione/committente, progettista e costruttore). La fase 0 costituisce il pre-evento, ovvero il lavoro sviluppato fino ad ora, la progettazione del plug-in urbano, che a partire dal primo evento per il quale è impiegato, costituisce la base per le fasi successive. Lo schema evidenzia come i diversi attori partecipino in modalità e tempi differenti in relazione alle diverse fasi. Terminata la fase 4, la fase di utilizzo, i componenti vengono stoccati in attesa di essere reimpiegati per un nuovo evento, a partire dal quale ricomincerà la fase 1.



CONFIGURAZIONI POTENZIALI 19656

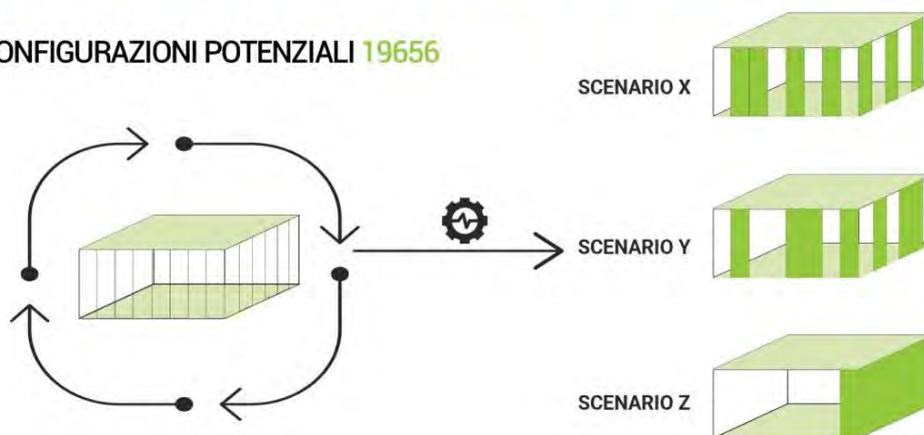


Figura 44. Progettazione partecipata: flessibilità costruttiva e funzionale a seconda degli utenti e del sito

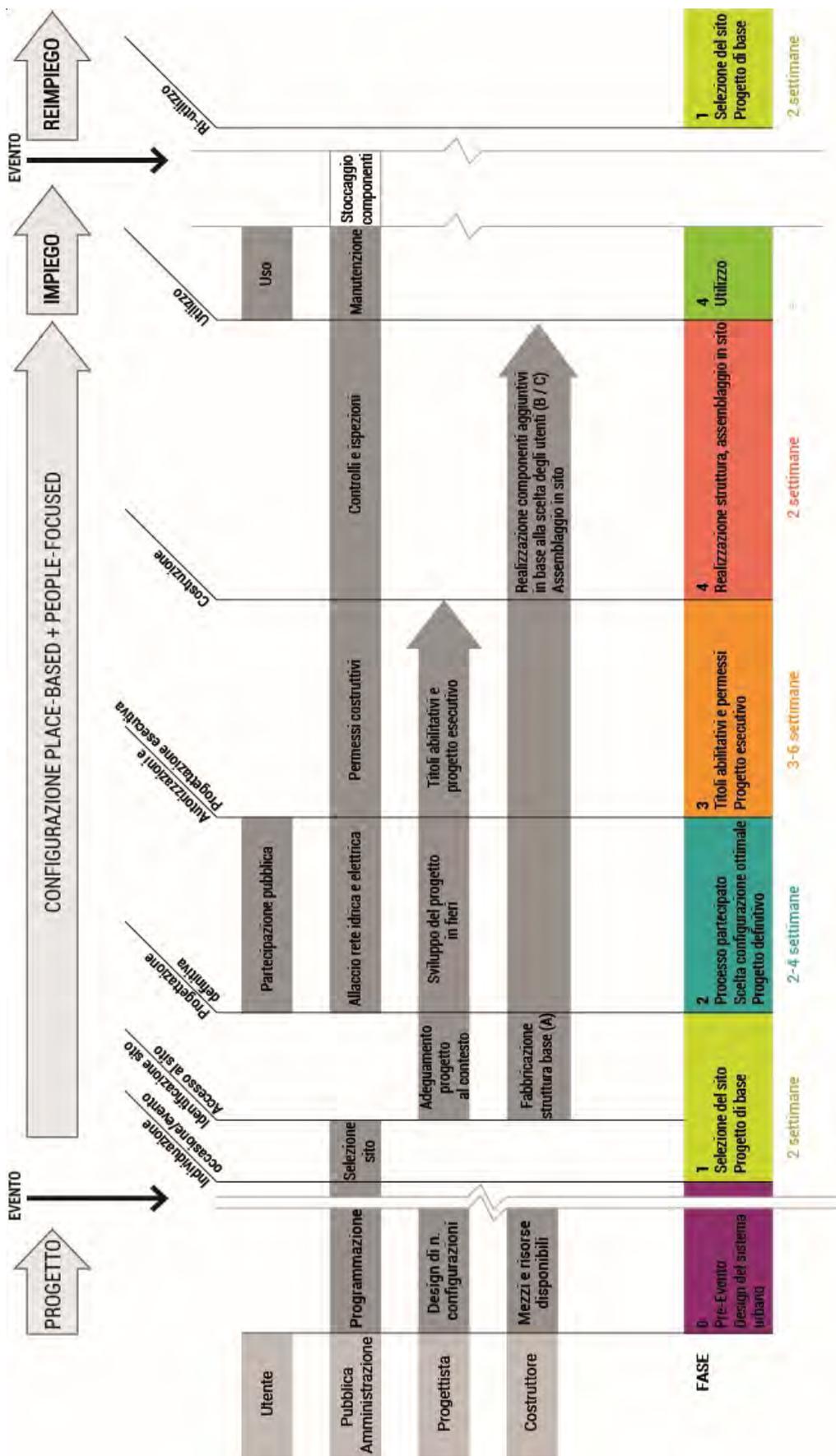


Figura 45. Workflow progettazione partecipata: processo di realizzazione del plug-in urbano

2.5 Simulazioni microclimatiche del sito individuato

2.5.1 Definizione del modello di simulazione

Piazza di San Silvestro presenta dimensioni planimetriche di circa 60 x 80 metri. Al fine di condurre una corretta simulazione è stata delimitata un'area più vasta comprendente la piazza per tener conto di tutti gli elementi significativi che incidono in maniera diretta o indiretta sul microclima di piazza di San Silvestro.

L'area è stata modellata con il software ENVI-Met mediante l'utilizzo dell'applicativo Spaces. ENVI-Met è un software utilizzato per condurre analisi ambientali e simulazioni microclimatiche ed è basato sulla definizione di un'area virtuale e tridimensionale di simulazione all'interno della quale il software calcola le condizioni microclimatiche dato un modello di partenza e dei dati climatici di input.

Sulla scorta delle precedenti considerazioni, è stata definita una griglia di simulazione pari a 200x200x60 celle, ognuna con una dimensione 1x1x1 metro, che ha generato un'area reale di simulazione pari a 200 x 200 x 60 metri (Figura 46). Il modello è stato inoltre georeferenziato e orientato secondo i relativi punti cardinali e in seguito validato in termini formali con il tool Model Analyser presente nel software che ha permesso di individuare e correggere eventuali problematiche di impostazione per una corretta simulazione, come ad esempio l'adeguato numero di celle in altezza e/o celle perimetrali aggiuntive. A tal proposito, l'altezza in metri dell'area di simulazione è stata impostata pari al doppio dell'altezza dell'edificio più alto presente nell'area in esame.

Definito formalmente il modello, si è proceduto alla definizione dei materiali caratterizzanti le diverse superfici sulla base dei materiali presenti nel Database Manager del software. Per gli edifici circostanti, con tipologia muraria tipica degli edifici storici è stata utilizzata una muratura in mattoni senza la presenza di strato isolante termico, mentre per le coperture una tipologia tradizionale con coppi. Per le strade carrabili è stato utilizzato l'asfalto e per le diverse tipologie di pavimentazioni presenti il basalto e elementi in cemento grigio (Figura 47).

Uno degli aspetti centrali della modellazione è stata la definizione degli ugelli che compongono il sistema di nebulizzazione (Figura 46). Sono stati modellati definendo un elemento ex novo all'interno del Database Manager a partire dall'elemento di default presente nel software denominato sorgente (source). Al nuovo elemento sorgente è stata associata la tipologia water spray (Special ID pari al valore 2), modellata con un'emissione pari a 4,8 litri/ora costanti per la durata della simulazione e con una geometria della sorgente di tipo puntuale con altezza pari a 3,00 metri, come prevista dal modello architettonico. Il posizionamento degli elementi è stato semplificato secondo la griglia 1 x 1 metro impostata dal programma, generando così una griglia pari alla grandezza del plug-in urbano in cui gli ugelli sono posti a 1 metro l'uno dall'altro.

Gli elementi di facciata plug and play, nello specifico quelli composti da pannelli ospitanti essenze vegetazionali, sono stati invece discretizzati e modellati come elementi di vegetazione presenti nel Database Manager del software. Più precisamente, sono stati impiegati elementi siepe (hedge) di default, modificati nel parametro altezza al fine di modellarli come elementi alti 3,00 metri, così come ipotizzato nel modello architettonico. Questi elementi, complessivamente di numero 14, sono stati posizionati secondo i due lati lunghi del manufatto, esposti a sud-ovest e nord-est, ipotizzando il completo riempimento dei fronti con gli elementi di facciata.

2.5.2 Impostazioni

I parametri climatici relativi a piazza di San Silvestro sono stati acquisiti dalle misurazioni effettuate dalla stazione climatica sita in Largo Pietro di Brazzà, distante neanche 500 metri dal sito in esame. Il dataset in questione, che comprende temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità e direzione del vento, è riferito al periodo che va dal 1 gennaio 2014 al 31 dicembre 2017. In questo range temporale sono stati individuati il giorno e l'orario in cui la temperatura esterna raggiunge i valori massimi. Questa condizione è stata osservata nella giornata del 2 agosto 2017, ore 15:00, e i parametri climatici relativi a tale giorno sono stati inseriti nel software come dati di input.

La simulazione è stata condotta per 10 ore assumendo come orario centrale le ore 15:00. L’orario di inizio simulazione corrisponde alle ore 09:00, mentre quello di fine alle ore 19:00. Nel caso delle simulazioni eseguite con l’aggiunta del sistema nebulizzatore, è stato previsto un orario di esercizio dello stesso pari alle 10 ore totali di simulazione (Figura 46).

DATI STAZIONE CLIMATICA DI RILEVAMENTO (Largo P. Brazzà, Roma)

Periodo del dataset	1 gennaio 2014 - 21 dicembre 2017
Parametri dataset	T. aria [°C], UR [%], velocità vento [m/s]
Giorno critico individuato <small>(Temp. massima/dataset)</small>	2 agosto 2017
Orario critico individuato <small>(Temp. massima/giorno critico)</small>	15:00

IMPOSTAZIONI DI SIMULAZIONE (ENVI-Met)

Data e orario di inizio simulazione	2 agosto 2017, ore 09:00
Ore totali di simulazione	10 ore
Velocità del vento a 10 mt	1,50 m/s
Direzione del vento	225° N
Temperatura aria (min-max)	25,00 °C - 41,00 °C
Umidità relativa (min-max)	20,00% - 52,20%

IMPOSTAZIONI GRIGLIA SIMULAZIONE

Numero di celle asse x	200
Numero di celle asse y	200
Numero di celle asse z	60
Dimensioni singola cella	1x1x1 mt
Dimensioni area di simulazione	200x200x60 mt

IMPOSTAZIONI WATER SPRAY

Tipo di sorgente	Water spray (Special ID 2)
Altezza	3,00 mt
Geometria sorgente	Puntuale
Emissione	4,80 l/h
Durata	10 ore totali di simulazione

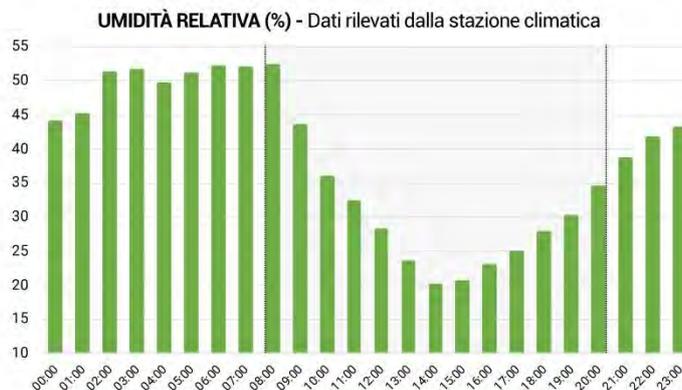


Figura 46. Dati di input utilizzati per le simulazioni microclimatiche relative a piazza S. Silvestro, Roma

2.5.3 Definizione degli scenari di simulazione

Al fine di analizzare e comparare la variazione dei parametri microclimatici - come temperatura, umidità relativa, velocità del vento, ecc.. - e degli indici di comfort termico - come, ad esempio, l’UTCI (Universal Thermal Climate Index) - prima e dopo l’installazione del plug-in urbano (ipotizzato a sua volta in diverse configurazioni), è stata necessaria la definizione di diversi scenari di simulazione (Figura 47).

Gli scenari, differenziati con una specifica sigla, sono stati impostati come segue e simulati secondo le medesime impostazioni riportate nel paragrafo 2.5.2:

- **Scenario S0** – Simulazione effettuata su piazza di San Silvestro allo stato dei luoghi, senza l’installazione del plug-in urbano ipotizzato;
- **Scenario S1** – Simulazione effettuata sulla piazza con l’aggiunta del plug-in urbano, dotato unicamente del sistema di nebulizzazione in esercizio per le 10 ore totali di simulazione;
- **Scenario S2** – Simulazione effettuata sulla piazza con l’aggiunta del plug-in urbano, dotato del sistema di nebulizzazione in esercizio per le 10 ore totali di simulazione e di dispositivi di facciata green.

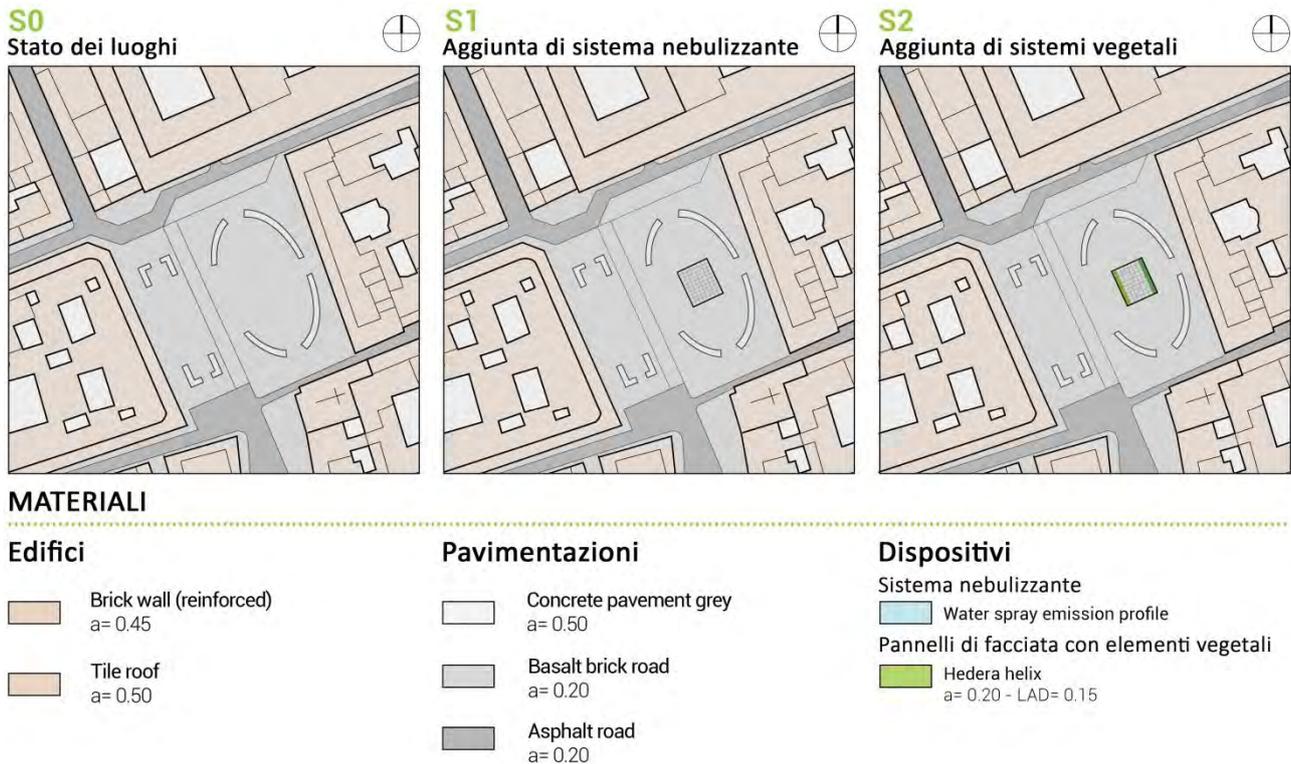


Figura 47. Quadro di sintesi definizione materiali e scenari di simulazione

2.5.4 Risultati delle simulazioni

Al termine delle simulazioni sono stati estratti dai dataset di output di ogni scenario i parametri relativi a temperatura potenziale dell'aria (°C), umidità relativa (%), velocità del vento (m/s) e UTCI (°C) al fine di osservare la variazione dei rispettivi parametri microclimatici.

Come anticipato, l'indice di comfort termico di riferimento scelto è l'UTCI (Universal Thermal Climate Index). Questo indice nasce dall'approccio proposto dalla commissione dell'International Society of Biometeorology (ISB) nel 2000 ed è stato ulteriormente integrato negli anni successivi dal COST - European Cooperation in Scientific and Technical Research – "Action 730" con l'obiettivo di sviluppare un modello universale per la valutazione delle condizioni termiche di un determinato ambiente. L'UTCI è considerato uno degli indici più completi per la valutazione dello stress termico per gli spazi outdoor [5] e si basa sui recenti progressi scientifici nella modellazione termo-fisiologica correlata alla risposta umana. I dati di input per il calcolo dell'indice comprendono fattori meteorologici - come temperatura dell'aria a bulbo secco, umidità relativa, temperatura media radiante e velocità del vento - e non meteorologici, come il metabolismo dell'individuo, differente in base al sesso, costituzione e età, e la resistenza termica dell'abbigliamento indossato. L'indice si suddivide in 10 classi che vanno da disagio termico da caldo estremo a quello da freddo estremo come riportato nella seguente tabella (Tabella 15).

UTCI (°C)	oltre 46	da 38 a 46	da 32 a 38	da 26 a 32	da 9 a 26	da 0 a 9	da 0 a -13	da -13 a -27	da -27 a -40	oltre -40
Classe di disagio termico	disagio da calore estremo	disagio da calore molto forte	disagio da calore forte	disagio da calore moderato	nessun disagio termico	disagio da freddo leggero	disagio da freddo moderato	disagio da freddo forte	disagio da freddo molto forte	disagio da freddo estremo

Tabella 15. Classi di stress termico in relazione ai valori dell'UTCI (Universal Thermal Climate Index). Glossary of Terms for Thermal Physiology (2003). Journal of Thermal Biology 28, 75-106

Il valore dell'UTCI per gli scenari definiti è stato calcolato mediante il software ENVI-Met con l'applicativo BIO-Met e il soggetto ipotizzato ai fini della simulazione dell'indice corrisponde ad un uomo di 35 anni, alto 1,75 metri e con un peso di 75 kg. In merito al parametro relativo all'isolamento degli indumenti (clo) è stato scelto un coefficiente pari a 0,90, valore di default del software in riferimento ad un abbigliamento estivo.

Tutti i parametri estratti dal dataset di output delle simulazioni (temperatura, umidità relativa, velocità del vento, UTCI) sono relativi al giorno 2 agosto 2017 per il range orario che va dalle 09:00 al 19:00 e sono stati estratti ad un'altezza dal suolo pari a 1,50 metro e in un punto sulla piazza dove è stato ipotizzato il posizionamento del plug-in (punto A – coordinate sul modello 153-138) al fine di comparare le condizioni microclimatiche ante e post installazione del plug-in nelle sue diverse configurazioni (S0 – S1/S2).

La lettura dei dati è stata condotta mediante l'applicativo Leonardo del software ENVI-met. Ciò ha permesso, oltre l'estrazione dell'intero database dei parametri climatici nel punto in esame, la creazione di mappe tematiche per osservare in veste grafica la distribuzione dei parametri climatici sulla porzione di città individuata. Le mappe in questione, elaborate per ciascun scenario, riportano i dati relativi alle ore 15:00 del giorno 2 agosto 2017, individuato in fase di analisi come giorno e orario in cui la temperatura assume i valori massimi.

Per semplificazione, le schede con dati di simulazione dei parametri climatici relativi ai diversi scenari sono riportati nei paragrafi 2.5.4.4 – 2.5.4.5 -2.5.4.6 a seguito dei seguenti paragrafi dedicati alla trattazione dei risultati di ciascun scenario. In prosecuzione, ai paragrafi 2.5.4.7, 2.5.4.8, 2.5.4.9, 2.5.4.10, sono riportati dati e grafici relativi al confronto effettuato tra i diversi scenari (S0-S1, S1-S2, S0-S2).

2.5.4.1 Scenario S0: Stato dei luoghi

Dal profilo climatico relativo allo scenario S0 riportato nella Figura 48 è possibile osservare l'andamento dei parametri climatici durante le 10 ore di simulazione effettuata nel punto di rilevazione – Punto A.

Dal grafico della temperatura si evince che il parametro presenta durante l'arco della giornata una distribuzione parabolica con valori massimi nelle ore centrali e minimi a inizio e fine giornata. Le temperature sono per la maggior parte superiori ai 35 °C (8 su 10 ore totali analizzate) e il picco massimo, di 39,39 °C, si registra alle ore 15:00. L'umidità relativa si attesta su valori che oscillano tra il 25-35%, con valori minori durante le ore centrali della giornata e picco minimo del 23% alle ore 15:00. Osservando il grafico dell'UTCI invece, notiamo che alle ore 17:00 si registra, rispetto all'ora precedente, un abbattimento dei valori di circa 9,5 unità (da 46,51 a 37,13°C). La variazione dei valori dell'UTCI, non registrata in maniera così evidente nell'andamento delle temperature, è dovuta all'ombra proiettata dall'edificio posto sul fronte ovest della piazza che, da circa le ore 16:30 in poi, interessa la porzione di piazza dove è stato ipotizzato il posizionamento del plug-in (e di conseguenza dove è posizionato il punto di rilevazione dei dati Punto A). Il picco massimo del valore dell'UTCI è registrato alle ore 15:00 con un valore pari a 46,92 °C. La velocità del vento presenta valori costanti e molto bassi, pari a circa 0,40 metri al secondo, dovuti alla rugosità e alla conformazione tipica del tessuto del centro storico in cui insiste la piazza oggetto di studio.

Dalle mappe climatiche è possibile osservare la distribuzione dei parametri alle ore 15:00 sulla porzione di piazza 200x200 metri individuata in fase di modellazione (Figure 49 e 50). Dall'osservazione si evince che l'intera area è interessata da temperature distribuite in maniera piuttosto omogenea che oscillano in media tra i 38 e i 39 °C. In accordo con lo studio solare, è possibile individuare in corrispondenza della base degli edifici modeste aree dove la temperatura è leggermente inferiore (circa 37 °C) per via delle zone d'ombra generate dagli edifici stessi. Dalla figura è possibile individuare la porzione di ombra generata dall'edificio posto sul fronte ovest della piazza che, con il calare del sole nelle ore pomeridiane, si espande fino all'area della piazza coperta dal plug-in. Al contrario, nelle zone centrali della piazza maggiormente esposte al soleggiamento si registrano picchi di temperatura fino a 40°C.

2.5.4.2 Scenario S1: Plug-in urbano dotato di sistema nebulizzante

Osservando il profilo climatico giornaliero relativo allo scenario S1 (Figura 51), notiamo che l'andamento dei parametri climatici è il medesimo dello scenario S0, registrando però valori inferiori per temperatura e UTCI e maggiori per l'umidità relativa, per via dell'introduzione in questo scenario del plug-in dotato del sistema di nebulizzazione. I valori della velocità del vento restano pressoché invariati rispetto allo Scenario S0. Dalle mappe climatiche (Figure 52 e 53) è possibile osservare in maniera immediata che nei pressi del punto A, dove è posizionato il plug-in urbano, si registrano notevoli diminuzioni di temperatura e UTCI e un aumento significativo dell'umidità relativa, dovuti all'azione puntuale del sistema di nebulizzazione. Allontanandosi dalla porzione di piazza occupata dal plug-in le condizioni microclimatiche si rivelano essere le medesime dello scenario S0. Nel punto A la temperatura raggiunge il suo massimo picco alle ore 15:00 con un valore pari a 37,96°C. Osservando i dati relativi all'UTCI notiamo un andamento identico tra le ore 16:00 e 17:00 per via dell'ombra portata degli edifici sulla porzione di piazza dove insiste il punto A di rilevamento. Il picco massimo registrato per l'UTCI è di 46,06°C alle ore 15:00.

Nella Figura 57, è possibile osservare il confronto tra i dati rilevati nei due scenari, S0 e S1. Nella tabella in alto, relativa ai parametri climatici, i valori negativi indicano una diminuzione del parametro dello scenario S1 rispetto a quello S0, quelli positivi un aumento. Dall'osservazione del profilo climatico giornaliero di confronto si evince che le temperature dello scenario S1 sono minori di circa 1,50-1,80 °C nelle ore centrali, e di circa 2,00-2,50 °C a inizio e fine giornata, registrando anche diminuzioni di circa 3,00°C nelle ore serali. Nell'area interessata dal plug-in si registrano valori della temperatura maggiori a 35°C in un numero di ore minore rispetto allo scenario precedente (circa 5 ore nello scenario S1 contro le 8 ore dello scenario S0), con picco alle 15:00 pari a 37,96°C contro i 39,39°C dello scenario S0 (-1,70°C). Lo stesso emerge dal confronto dei dati relativi all'UTCI, con diminuzione di valori di circa 0,90-1,20 °C nelle ore centrali e maggiori di 1,50 °C nelle ore serali, riportando lo stesso andamento tra le ore 16:00 e le 17:00 dello scenario S0, dovuto al sopraggiungere dell'ombra portata dagli edifici circostanti. L'umidità relativa invece, grazie all'intervento del sistema nebulizzante, registra aumenti di circa il 5% nelle ore centrali e tra l'8 e il 12% ad inizio e fine giornata.

2.5.4.3 Scenario S2: Plug-in urbano dotato di sistema nebulizzante e dispositivi di facciata green

Nella Figura 54 è riportato il profilo climatico relativo allo scenario di simulazione S2. Dai grafici relativi allo scenario S2 si evince un andamento simile a quello osservato nei precedenti scenari, mentre dai dati, un'ulteriore diminuzione dei valori relativi a temperatura e UTCI e un aumento dei valori di umidità relativa, dovuti all'introduzione di componenti vegetazionali associati all'azione del sistema nebulizzante. I valori della velocità del vento restano anche in questo caso grossomodo invariati rispetto agli scenari precedenti. Nello scenario in esame la temperatura raggiunge il suo picco massimo ugualmente alle ore 15:00 e assume un valore di circa 36,72°C, registrando un decremento di 0,97°C rispetto lo scenario S1 (Figura 58), e di -2,67°C rispetto allo scenario iniziale allo stato dei luoghi S0 (Figura. 57). Come nei precedenti scenari i valori della temperatura diminuiscono allontanandosi dalle ore centrali, con i valori minimi registrati nel pomeriggio-sera. L'introduzione di componenti vegetali ha favorito un ulteriore aumento dei valori dell'umidità relativa, registrando rispetto allo scenario S1 un aumento di circa il 3% nelle ore centrali della giornata e del 7% nelle ore serali. Rispetto allo scenario S0 questo incremento è invece dell'ordine di circa il 7-8% nelle ore centrali aumentando fino al 18-19% nelle ore serali.

In merito all'UTCI lo scenario in questione presenta il medesimo andamento dei precedenti scenari di simulazione, registrando un'ulteriore diminuzione dei valori rispetto allo scenario S1. Anche per questo parametro valore massimo, pari a 45, 44°C (-0,60 °C rispetto allo scenario S1 e -1,48°C rispetto allo scenario iniziale S0) si registra alle ore 15:00, mentre i valori minimi anche in questo caso durante le ore serali.

Le mappe climatiche relative allo scenario in esame sono riportate nelle Figure 55 e 56, mentre nelle Figure 57-60, un confronto tra i diversi scenari di simulazione.

2.5.4.4 Scenario S0: Dati parametri climatici e grafici

SCENARIO S0 - PARAMETRI CLIMATICI DATA 02/08/2017 H misurazione = 1,50 mt												
Punto	Parametro	u	Orario									
			10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
A	Temperatura	°C	32,22	34,32	35,94	37,53	38,81	39,39	39,09	37,44	36,26	34,95
	Umidità relativa	%	36,37	32,16	29,25	26,49	23,98	23,11	23,90	26,38	28,54	30,74
	Velocità del vento	m/s	0,38	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39
	UTCI	°C	38,85	40,35	41,95	43,78	45,71	46,92	46,51	37,13	35,21	32,83

GRAFICI ANDAMENTO PARAMETRI CLIMATICI

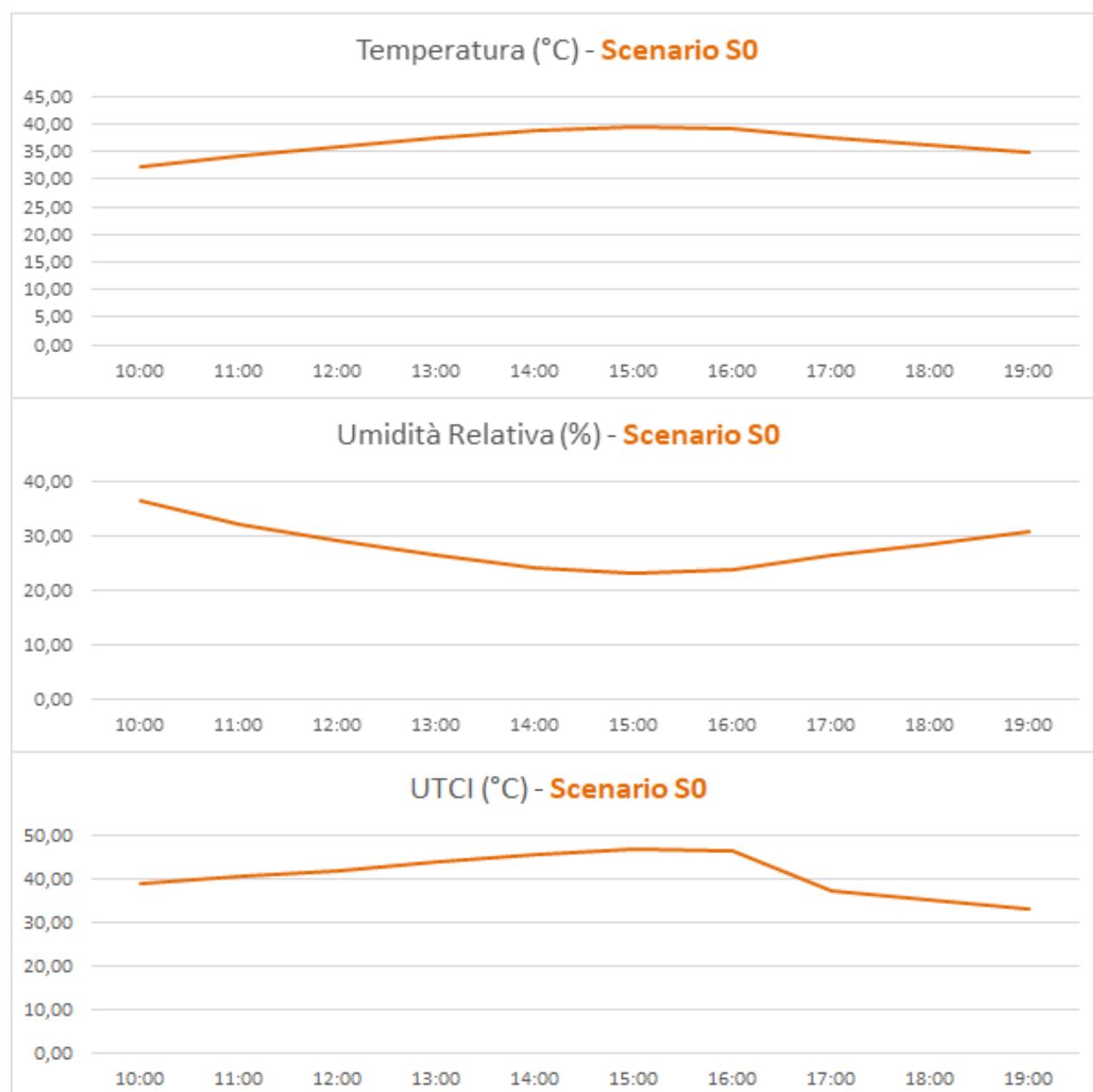


Figura 48. Distribuzione parametri climatici nel punto A (in alto); grafici di andamento parametri climatici (in basso)

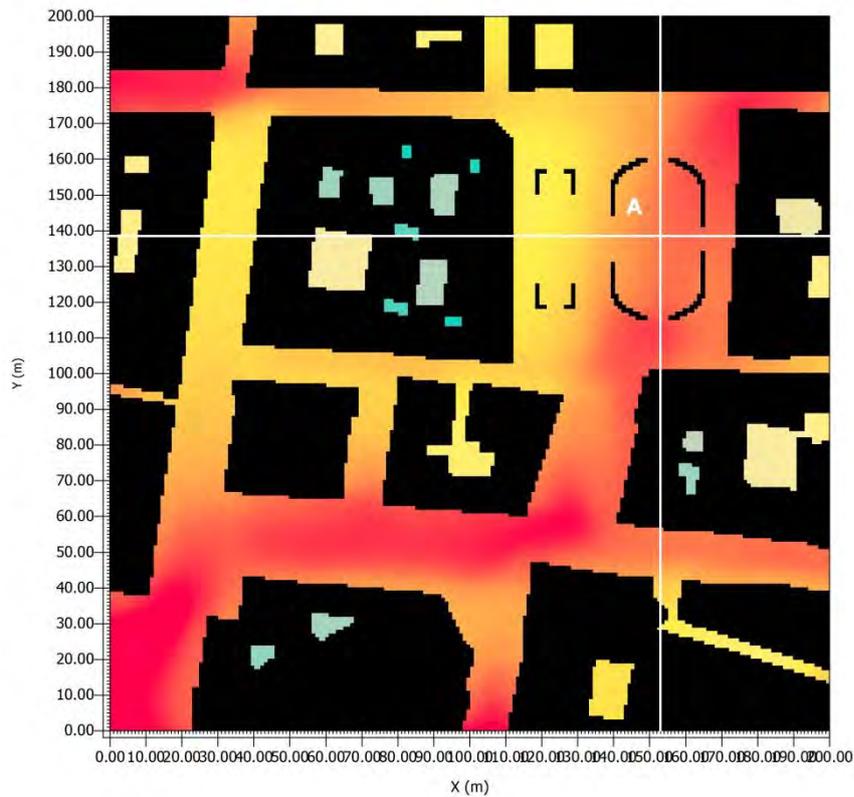


Figura 49. Output grafico distribuzione temperatura (°C) nello scenario di simulazione S0

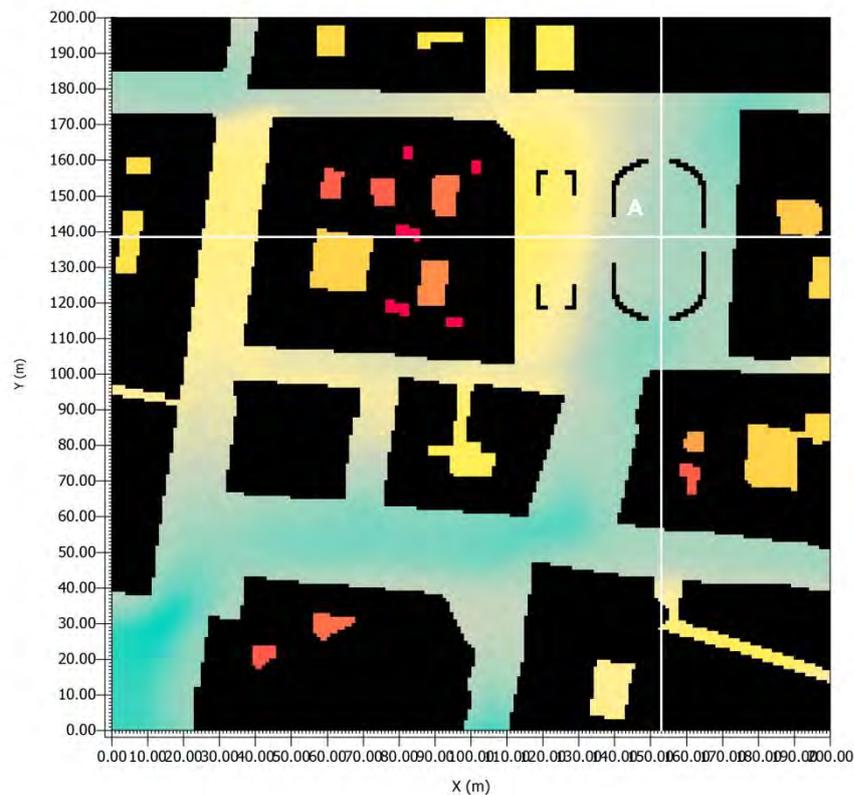


Figura 50. Output grafico distribuzione umidità relativa (%) nello scenario di simulazione S0

2.5.4.5 Scenario S1: Dati parametri climatici e grafici

SCENARIO S1 - PARAMETRI CLIMATICI DATA 02/08/2017 H misurazione = 1,50 mt												
Punto	Parametro	u	Orario									
			10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
A	Temperatura	°C	29,87	32,02	34,09	35,98	37,30	37,69	36,91	34,85	33,34	31,90
	Umidità relativa	%	45,65	40,36	35,30	31,19	28,21	27,75	29,95	34,42	38,29	42,00
	Velocità del vento	m/s	0,38	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,37
	UTCI	°C	37,71	39,27	40,97	42,91	44,84	46,04	45,31	35,50	33,24	30,98

GRAFICI ANDAMENTO PARAMETRI CLIMATICI

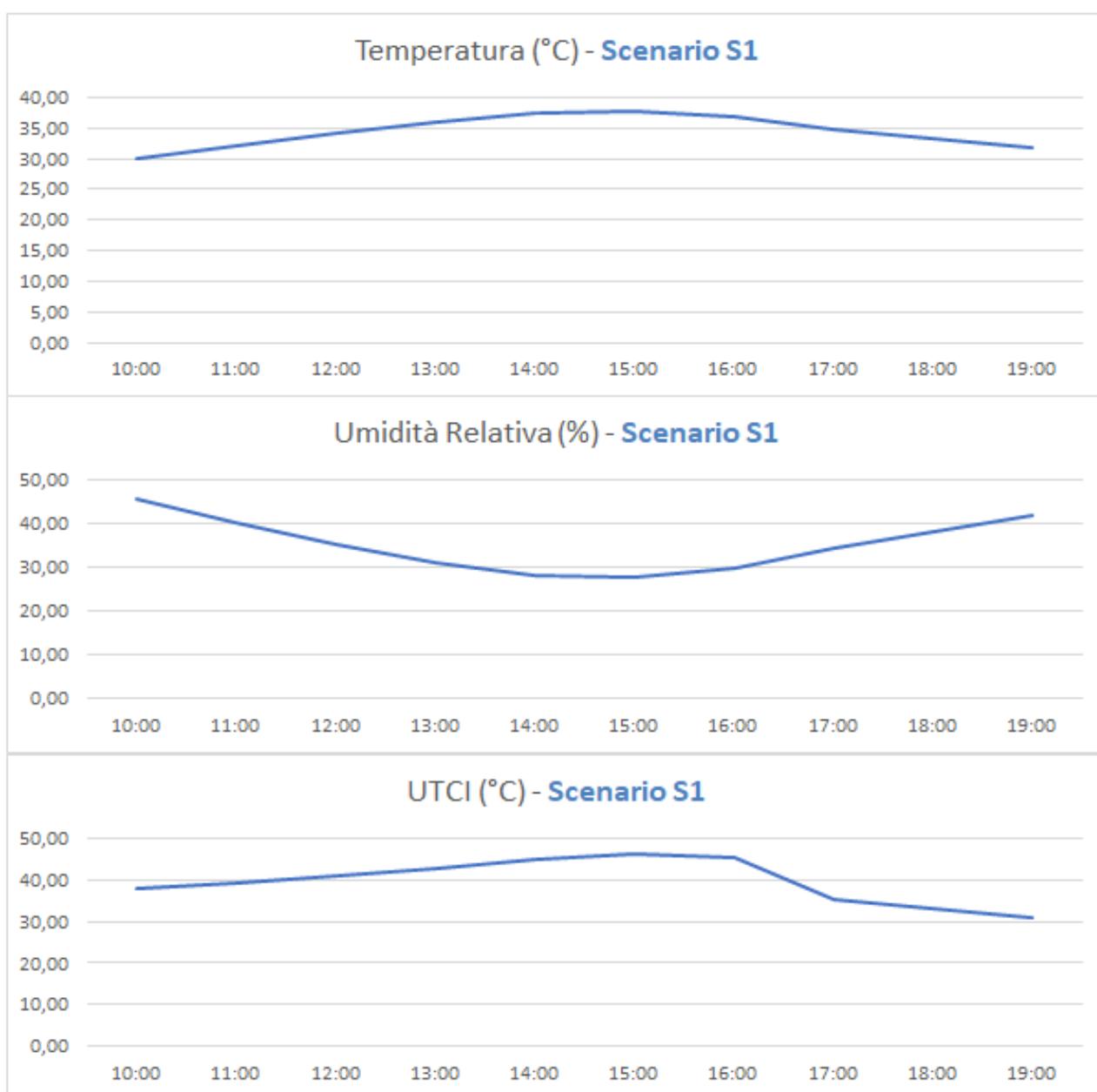
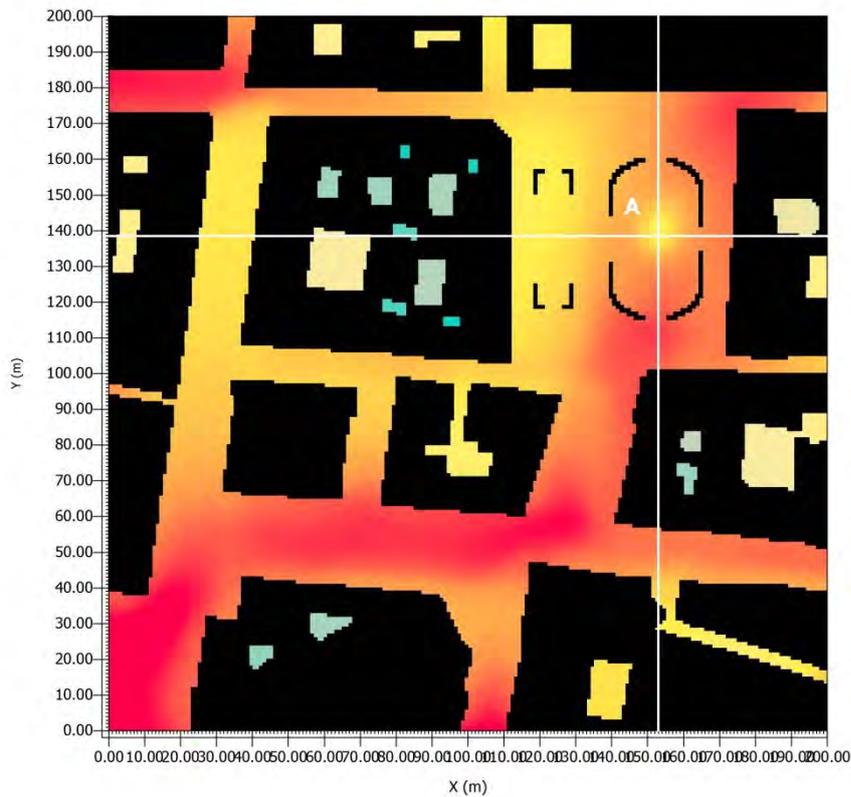


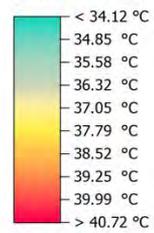
Figura 51. Distribuzione parametri climatici nel punto A (in alto); grafici di andamento parametri climatici (in basso)



SCENARIO S1
H: 15:00:01
data: 02.08.2017
cut at k = 5 (1.50 m)



Potential Air Temperature

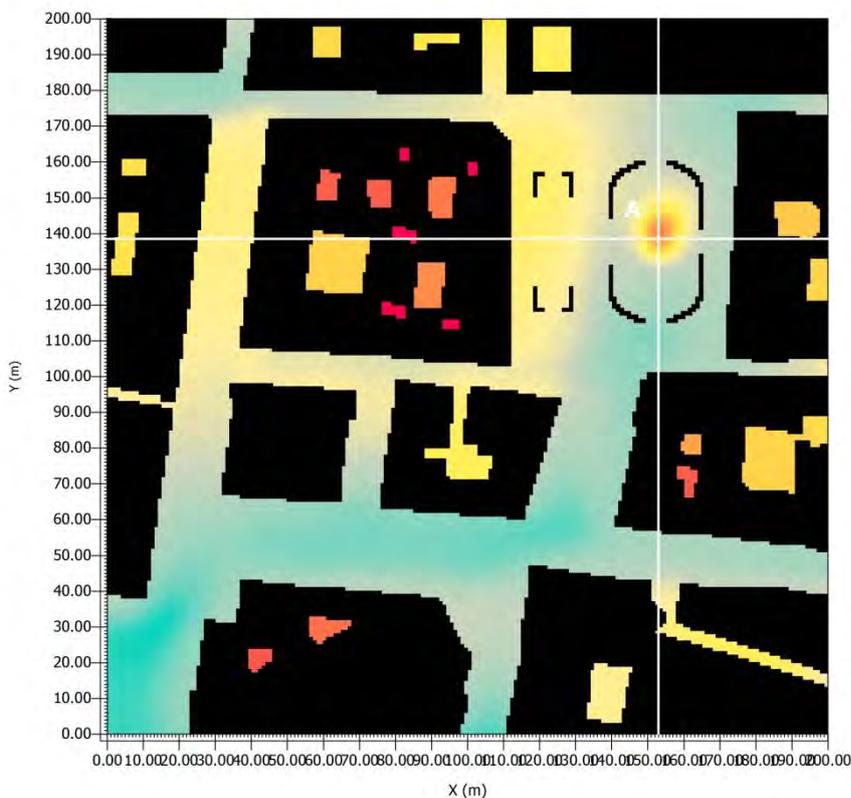


Min: 34.12 °C
Max: 41.45 °C

Misurazione nel punto A

A 37.69 °C

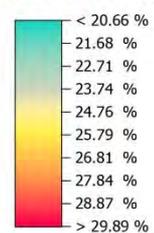
Figura 52. Output grafico distribuzione temperatura (°C) nello scenario di simulazione S1



SCENARIO S1
H: 15:00:01
data: 02.08.2017
cut at k = 5 (1.50 m)



Relative Humidity



Min: 20.66 %
Max: 30.92 %

Misurazione nel punto A

A 27.75 %

Figura 53. Output grafico distribuzione umidità relativa (%) nello scenario di simulazione S1

2.5.4.6 Scenario S2: Dati parametri climatici e grafici

SCENARIO S2 - PARAMETRI CLIMATICI DATA 02/08/2017 H misurazione = 1,50 mt												
Punto	Parametro	u	Orario									
			10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
A	Temperatura	°C	27,98	30,48	32,83	34,83	36,28	36,72	35,91	33,61	31,76	29,96
	Umidità relativa	%	52,77	45,51	40,62	34,87	31,22	30,89	34,01	39,26	43,81	49,04
	Velocità del vento	m/s	0,37	0,36	0,37	0,38	0,38	0,38	0,37	0,38	0,37	0,37
	UTCI	°C	35,99	38,19	40,09	42,14	44,24	45,44	44,55	34,35	31,55	28,75

GRAFICI ANDAMENTO PARAMETRI CLIMATICI

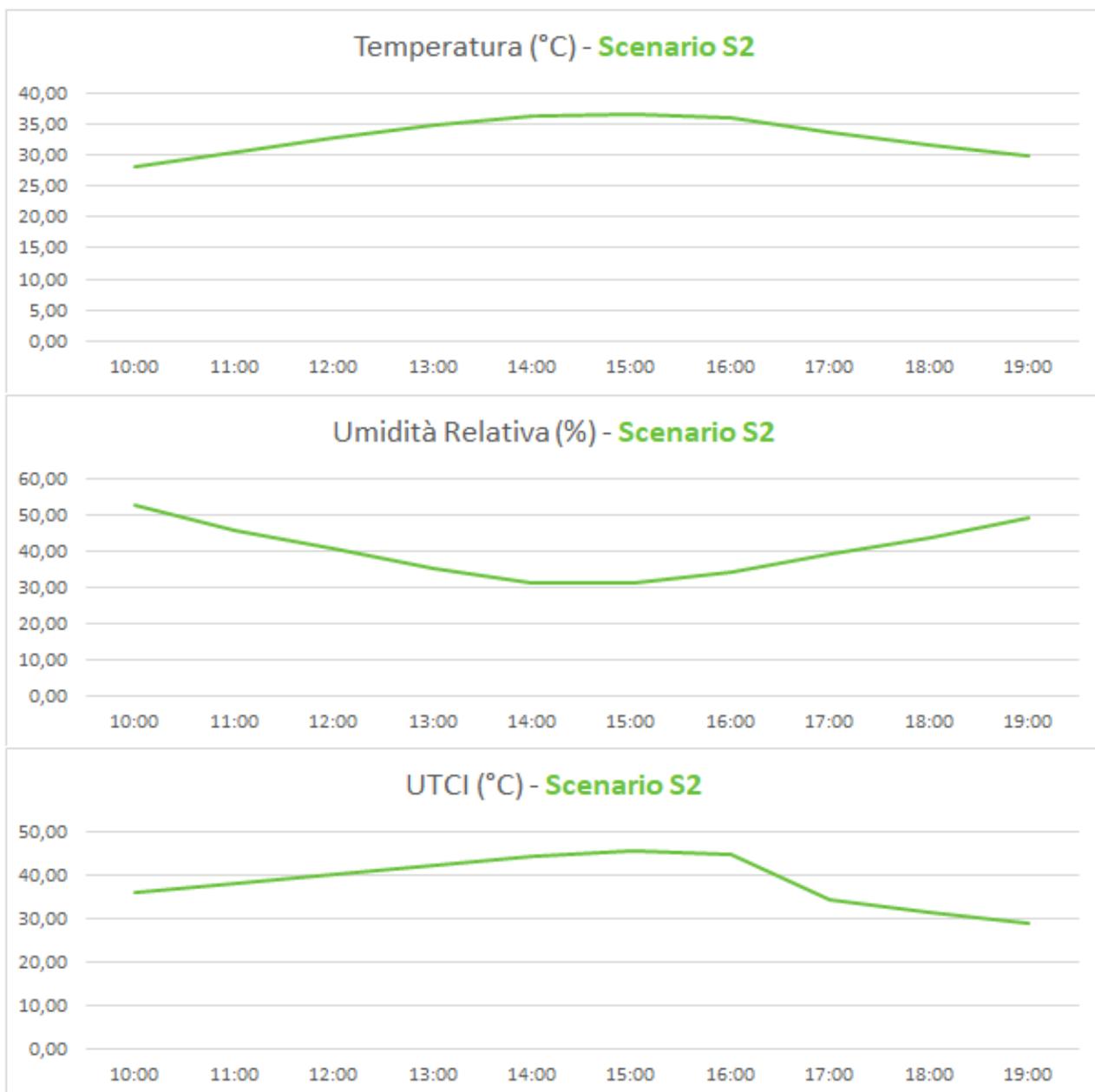
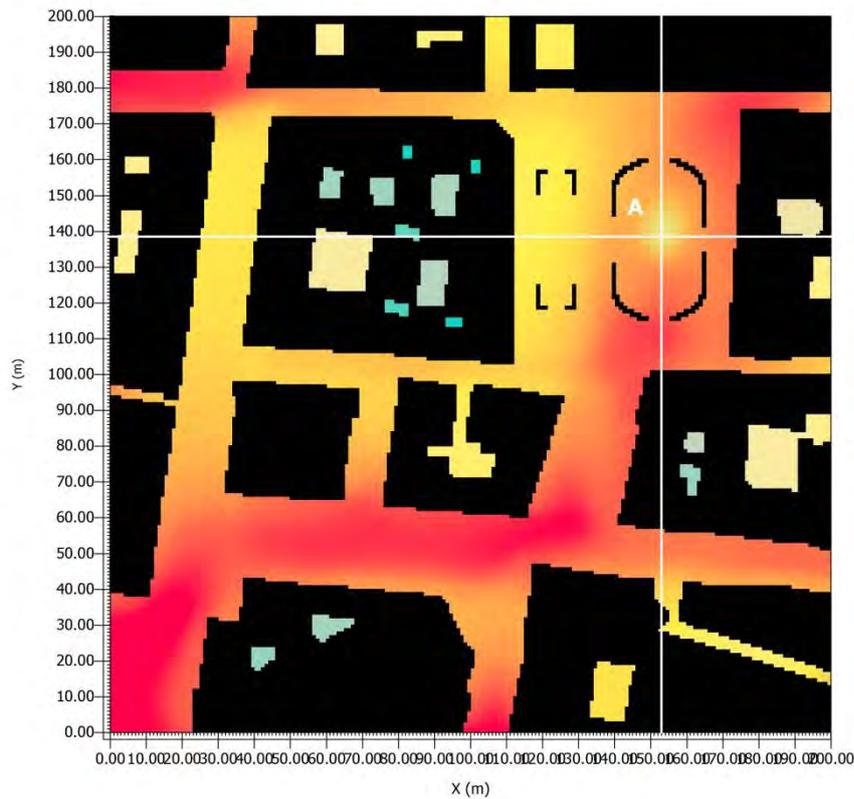


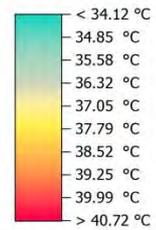
Figura 54. Distribuzione parametri climatici nel punto A (in alto); grafici di andamento parametri climatici (in basso)



SCENARIO S2
H: 15:00:01
data: 02.08.2017
cut at k = 5 (1.50 m)



Potential Air Temperature



Min: 34.12 °C
Max: 41.45 °C

Misurazione nel punto A

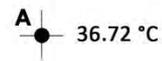
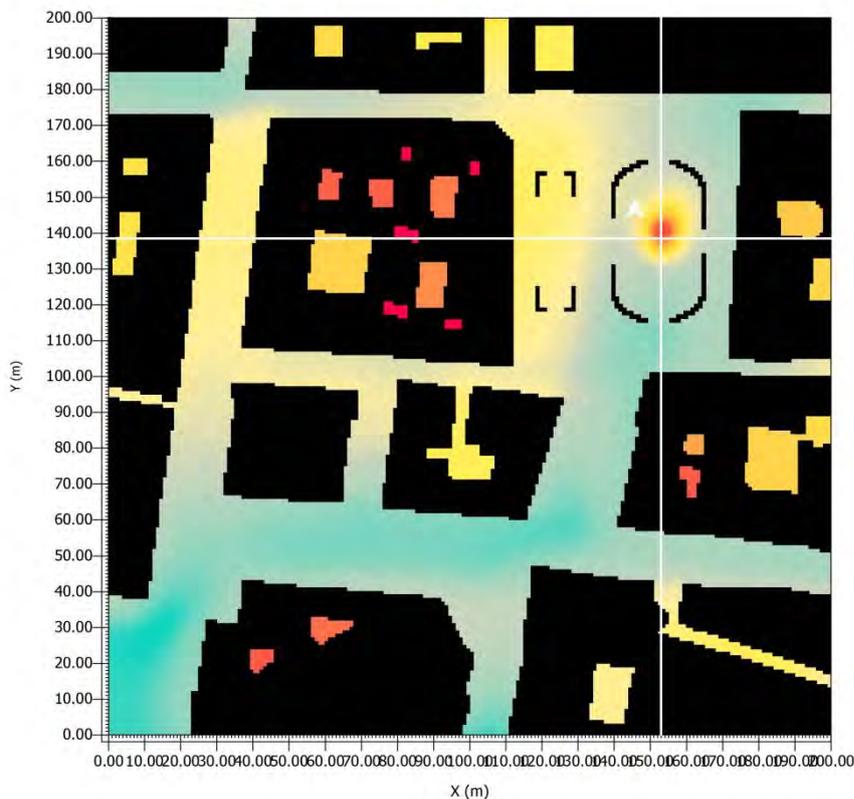


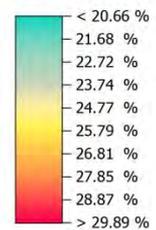
Figura 55. Output grafico distribuzione temperatura (°C) nello scenario di simulazione S2



SCENARIO S2
H: 15:00:01
data: 02.08.2017
cut at k = 5 (1.50 m)



Relative Humidity



Min: 20.66 %
Max: 30.94 %

Misurazione nel punto A

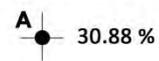


Figura 56. Output grafico distribuzione umidità relativa (%) nello scenario di simulazione S2

2.5.4.7 Confronto scenari S0 – S1: Dati parametri climatici e grafici

CONFRONTO SCENARI S1-S0 - PARAMETRI CLIMATICI DATA 02/08/2017 H misurazione = 1,50 mt												
Punto	Parametro	u	Orario									
			10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
A	Temperatura	°C	-2,35	-2,30	-1,86	-1,55	-1,51	-1,70	-2,18	-2,59	-2,92	-3,05
	Umidità relativa	%	9,28	8,20	6,06	4,71	4,23	4,64	6,05	8,04	9,75	11,26
	Velocità del vento	m/s	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
	UTCI	°C	-1,14	-1,08	-0,98	-0,87	-0,87	-0,88	-1,20	-1,63	-1,97	-1,85

GRAFICI ANDAMENTO PARAMETRI CLIMATICI

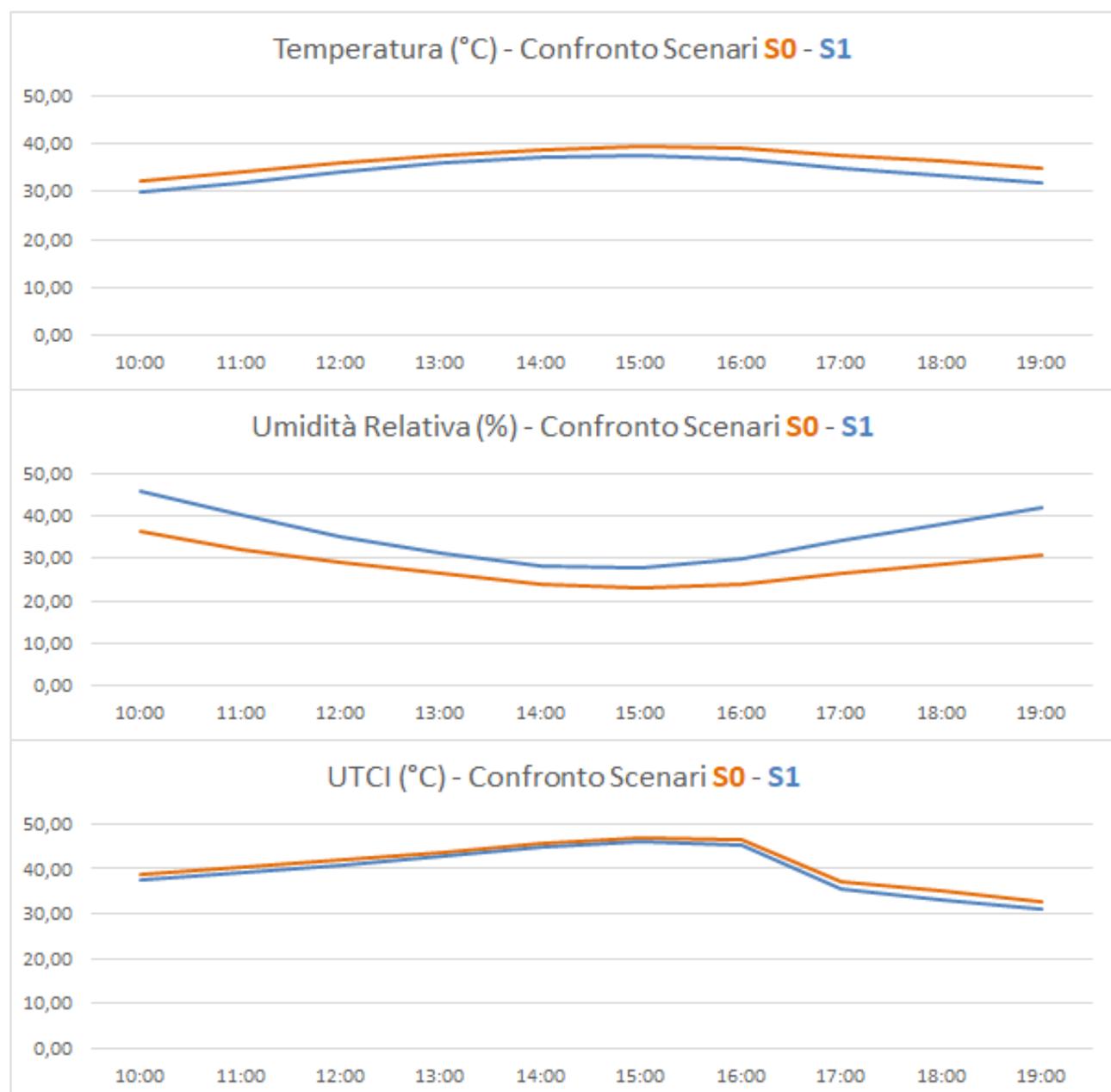


Figura 57. Distribuzione parametri climatici nel punto A (in alto); grafici di andamento parametri climatici (in basso)

2.5.4.8 Confronto scenari S1 – S2: Dati parametri climatici e grafici

CONFRONTO SCENARI S2-S1 - PARAMETRI CLIMATICI DATA 02/08/2017 H misurazione = 1,50 mt												
Punto	Parametro	u	Orario									
			10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
A	Temperatura	°C	-1,89	-1,54	-1,26	-1,15	-1,02	-0,97	-1,00	-1,24	-1,58	-1,94
	Umidità relativa	%	7,12	5,15	5,32	3,68	3,01	3,14	4,06	4,84	5,52	7,04
	Velocità del vento	m/s	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00
	UTCI	°C	-1,72	-1,08	-0,88	-0,77	-0,60	-0,60	-0,76	-1,15	-1,69	-2,23

GRAFICI ANDAMENTO PARAMETRI CLIMATICI

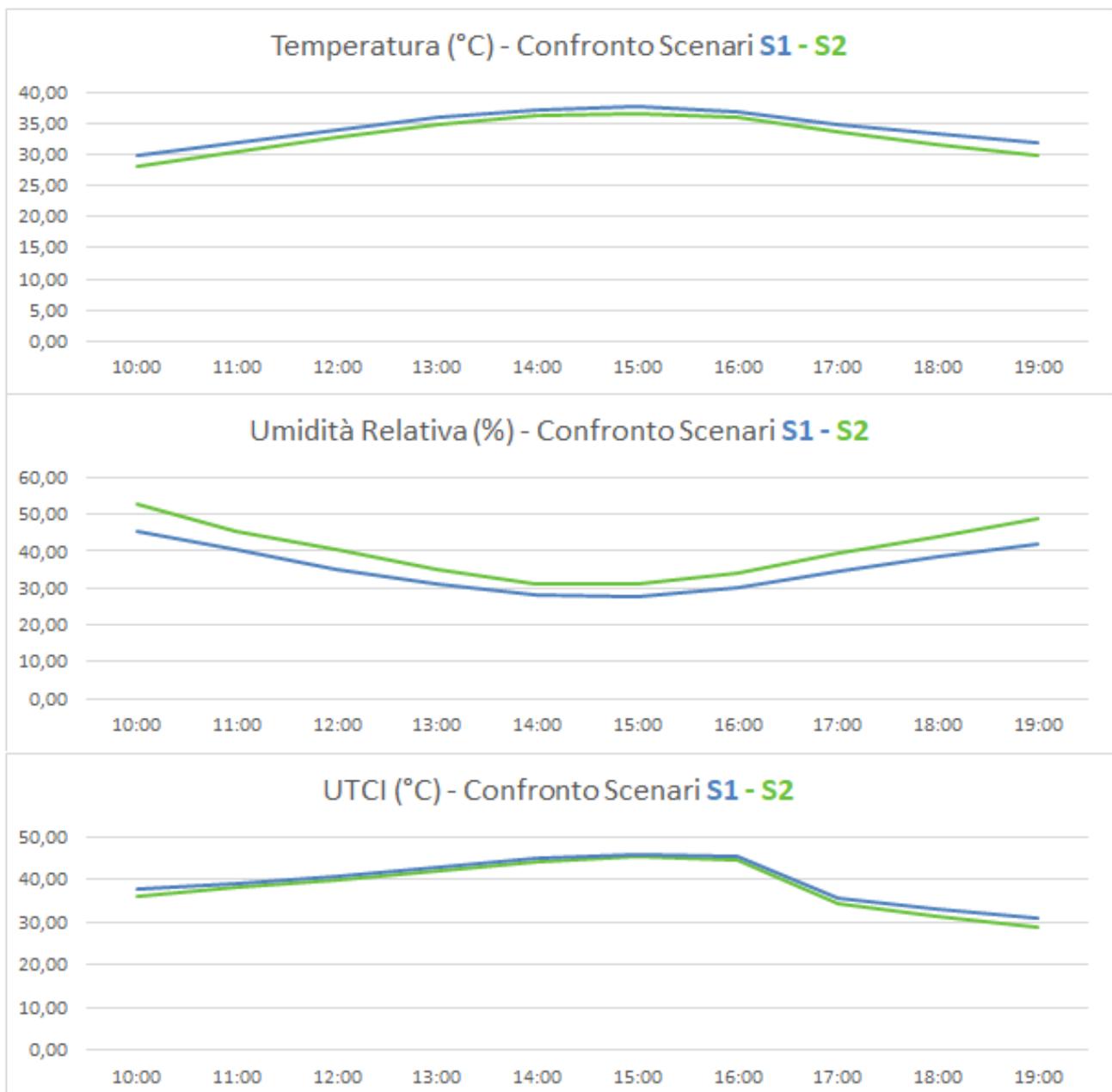


Figura 58. Distribuzione parametri climatici nel punto A (in alto); grafici di andamento parametri climatici (in basso)

2.5.4.9 Confronto scenari S0 – S2: Dati parametri climatici e grafici

CONFRONTO SCENARI S2-S0 - PARAMETRI CLIMATICI DATA 02/08/2017 H misurazione = 1,50 mt												
Punto	Parametro	u	Orario									
			10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
A	Temperatura	°C	-4,24	-3,84	-3,11	-2,70	-2,53	-2,67	-3,18	-3,83	-4,50	-4,99
	Umidità relativa	%	16,40	13,35	11,37	8,39	7,24	7,78	10,11	12,88	15,27	18,30
	Velocità del vento	m/s	-0,01	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02
	UTCI	°C	-2,86	-2,16	-1,86	-1,64	-1,47	-1,48	-1,96	-2,78	-3,66	-4,08

GRAFICI ANDAMENTO PARAMETRI CLIMATICI

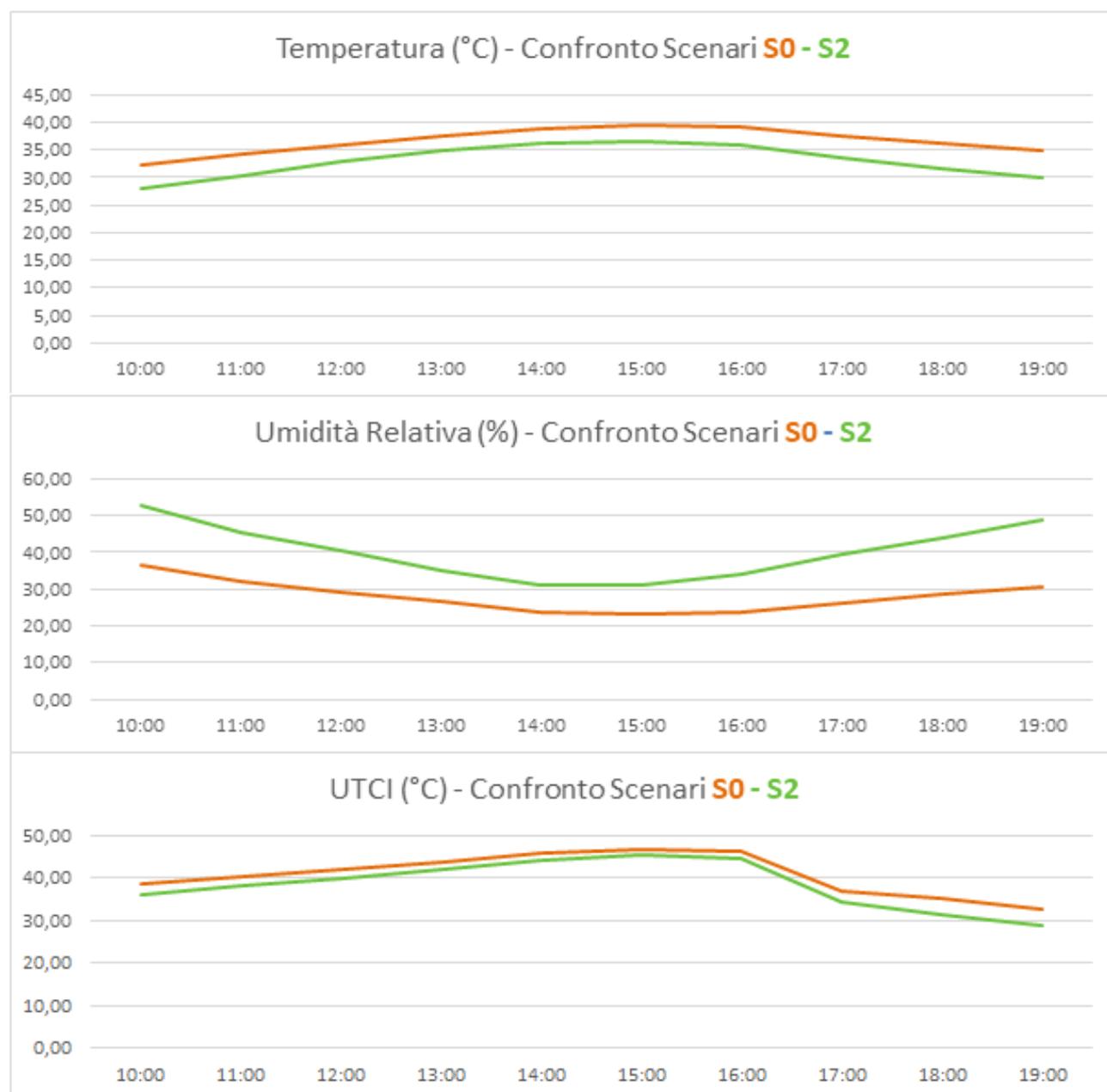


Figura 59. Distribuzione parametri climatici nel punto A (in alto); grafici di andamento parametri climatici (in basso)

2.5.4.10 Confronto scenari S0 – S1 – S2: Grafici a confronto

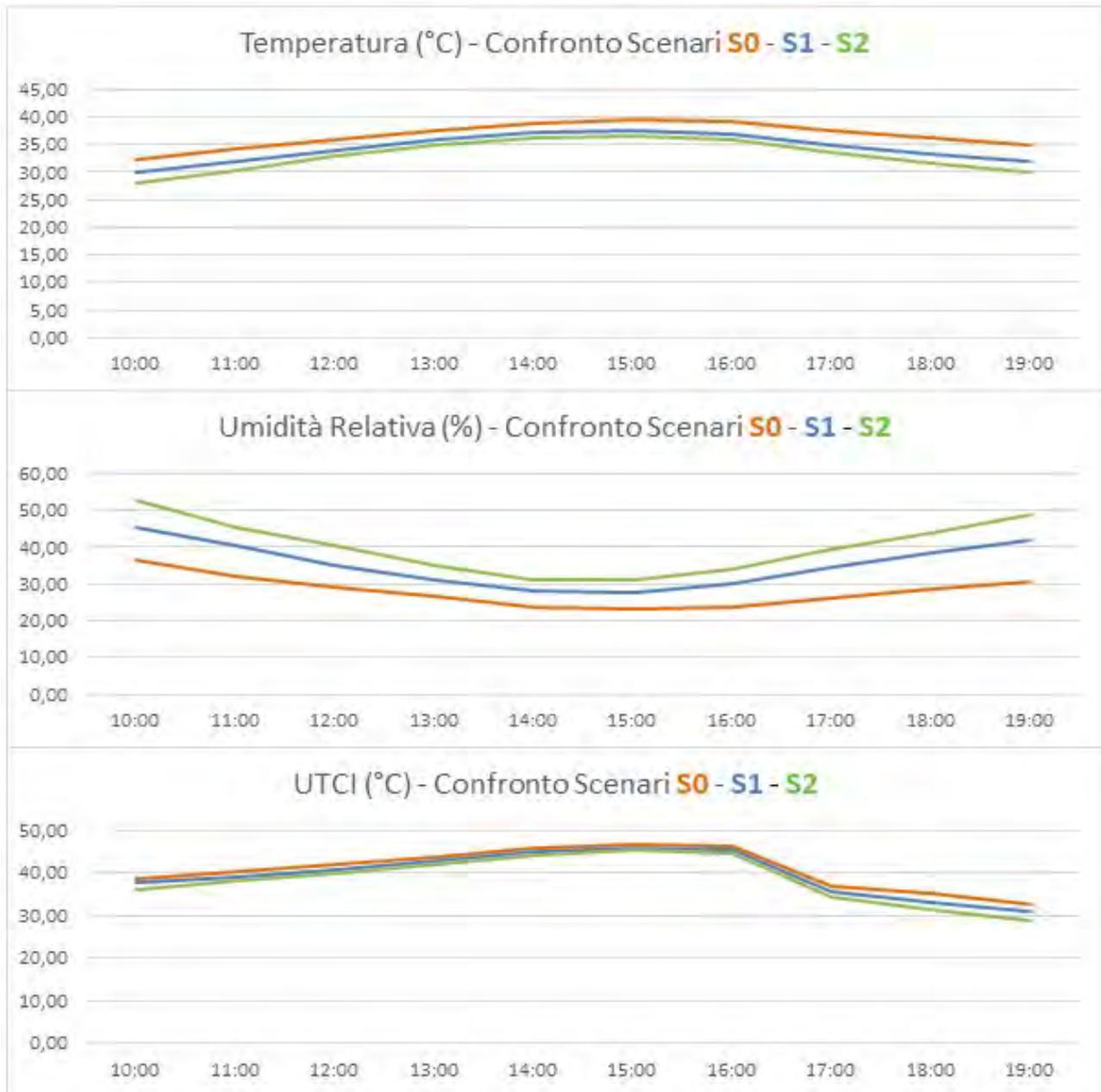


Figura 60. Grafici parametri climatici scenari S0, S1 e S2 a confronto

3 Conclusioni

Dallo studio emerge che la struttura ipotizzata presenta una notevole flessibilità sia in termini spaziali che funzionali-prestazionali. Grazie alle diverse connotazioni possibili di spazi, funzionalità e dispositivi a struttura si presta ad essere molto versatile in termini di riconfigurazione in base alle esigenze dell'utente finale. Infatti, a seconda del luogo in cui si intende installare il plug-in è possibile comporre la configurazione più idonea all'utilizzo richiesto. Tutti i dispositivi ipotizzati sono anche stati pensati per adattarsi in maniera ottimale in termini di morfologia e clima al luogo di installazione prescelto.

La fase di maggiore impatto è quella di produzione e trasporto, che dipende dalla distanza tra le aziende produttrici e il sito di costruzione. La fase di utilizzo è unicamente legata alla manutenzione e ai consumi idrici per la nebulizzazione e l'irrigazione, essendo la struttura completamente autonoma sotto il profilo energetico. Poco significative sono le fasi di costruzione essendo il manufatto prefabbricabile con tecnologie interamente a secco, e di fine vita, dal momento che la struttura è concepita per essere disassemblata e reimpiegata nuovamente diverse volte prima di essere definitivamente dismessa. Infatti, la vita utile della struttura è strettamente correlata al fine vita dei materiali impiegati. Se da un lato l'acciaio e l'alluminio sono materiali riciclabili al 100%, che possono essere riciclati infinite volte senza perdere alcuna proprietà originaria, dall'altro si ipotizza che per questioni di usura la vita utile di questi materiali per strutture di questo tipo sia di circa 50 anni.

Il plug-in urbano risulta essere completamente autosufficiente sul piano energetico. Relativamente ai consumi idrici, il plug-in è autonomo per quanto riguarda l'utilizzo dei moduli di facciata plug and play di tipo verde o con componenti ceramici, ma non lo è per il sistema di nebulizzazione, in quanto richiede ingenti quantitativi di acqua per il funzionamento. Le matrici sviluppate relative sia ai consumi energetici e idrici che all'impatto ambientale dei componenti del plug-in forniscono un quadro d'insieme della struttura e consentono di valutare la soluzione integrata di volta in volta migliore in base alle condizioni del sito.

Gli effetti apportati dall'introduzione del plug-in urbano, come osservato nel caso studio di piazza di San Silvestro, sono di tipo puntuale. Dall'osservazione dei dati e degli output di simulazione, fatta eccezione per l'area interessata dal manufatto dove si verificano variazioni dei parametri climatici rispetto allo scenario di partenza S0, si evince che il resto dell'area presenta le medesime condizioni microclimatiche in tutti gli scenari. Dagli stessi dati è possibile però quantificare la diminuzione della temperatura e dell'UTCI, assunto come indice di comfort termico per la comparazione dei risultati. Assumendo come orario critico per il surriscaldamento dell'area le ore 15:00, notiamo che con l'attivazione dell'impianto di nebulizzazione (Scenario S1) la temperatura diminuisce di circa 2°C mentre l'UTCI di circa 1°C, mentre aggiungendo soluzioni NBS (Scenario S2), la temperatura e UTCI diminuiscono, rispetto allo Scenario S0, rispettivamente di circa 2,70°C e 1,5°C. In merito all'UTCI si verifica il passaggio ad una classe inferiore di disagio termico dell'indice, passando dalla classe "disagio da caldo estremo" a "disagio da caldo molto forte" nelle ore centrali. Il decremento di questi parametri continua a crescere man mano che ci si allontana dall'orario critico (ore 15:00). Nel caso specifico di piazza di San Silvestro, il sopraggiungere dell'ombra portata dall'edificio posto ad ovest sull'area interessata dal plug-in da circa le ore 16:30 in poi, permette di diminuire sensibilmente l'orario di utilizzo dell'impianto di nebulizzazione, imputato come il sistema richiedente il maggior quantitativo di risorse idriche per il funzionamento e impiegare l'acqua risparmiata in maniera più strategica. Osservando i dati, infatti, grazie al verificarsi di queste condizioni, con il solo sistema nebulizzante alle ore 17:00 si registra un abbattimento dei valori dell'UTCI di circa 9 unità, rendendo superfluo l'utilizzo dell'impianto a pieno regime. Lo spazio, oltre al miglioramento delle condizioni di comfort microclimatico, offre dunque tutta una serie di servizi integrati che spaziano – nella configurazione presa in esame da 75 metri quadri - dalla semplice sosta/relax, alla possibilità di usufruire di postazioni di lavoro per lo smart working con connessione wi-fi gratuita, ricarica smartphone, minieventi, ecc., apportando così un plus-valore anche in termini sociali.

4 Riferimenti bibliografici

1. SNPA, FOCUS XV Rapporto sulla qualità dell'ambiente Urbano. Cambiamenti climatici, ambiente e salute, città circolari - Edizione 2019, Report SNPA n. 14/2020 (2020).
2. Zhongming, Z., Linong, L., Wangqiang, Z., & Wei, L. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis, (2021), IPCC.
3. Musco, F., Zanchini, E. Le città cambiano il Clima. Atti di convegno Climate change cities_Conference on climate adaptation in urban areas. (2013), IUAV, Venezia.
4. Hammond G., Jones C.A., BSRIA guide. Embodied Carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE), (2011), BSRIA, Bracknell.
5. Blazejczyk, K., 1994. New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales. Zesz. IgiPZ PAN 28, 27–58.

Sitografia di riferimento per lo studio sui componenti di facciata plug and play:

1. [Riferimento progettuale per modulo con elementi ceramici \(parte 1\)](#)
2. [Riferimento progettuale per modulo con elementi ceramici \(parte 2\)](#)
3. [Riferimento progettuale per modulo con elementi ceramici \(parte 3\)](#)
4. [Riferimento progettuale per modulo con elementi verdi e tecnologia ZipGrow](#)

5 Abbreviazioni ed acronimi

PA	Pubblica Amministrazione
BIM	Building Information Modeling
ECO2	Embodied Carbon Dioxide
EE	Embodied Energy
GWP	Global Warming Potential
LCA	Life Cycle Assessment
LED	Light Emitting Diode
NBS	Nature Based Solutions
NTF	Nutrient Film Technique
PEI	Primary Energy Intensity
TNT	Tessuto Non Tessuto
UTCI	Universal Thermal Climate Index

Curriculum Vitae del Gruppo di Lavoro

REFERENTE SCIENTIFICO

Prof. Alessandra Battisti

alessandra.battisti@uniroma1.it

Professore Ordinario di Tecnologia dell'Architettura presso la Facoltà di Architettura Università degli Studi di Roma La Sapienza. Laurea in Architettura, Facoltà di Architettura, Università degli Studi di Roma La Sapienza, Voto: 110 e lode. Diploma di Maturità Classica presso il Liceo Classico Statale Pilo Albertelli, Voto: 60/60. Presidente del Corso di Laurea Magistrale in Architettura del Paesaggio della Facoltà di Architettura de La Sapienza di Roma (dal 2016). Presidente del Corso di Laurea Magistrale in Architettura Rigenerazione Urbana della Facoltà di Architettura de La Sapienza di Roma (2019). Direttore del Master Universitario di II livello ACT. Valorizzazione e gestione dei centri storici minori. Ambiente Cultura e Territorio Azioni integrate (dal 2013). Ha fatto parte del Gruppo di lavoro per la redazione delle Linee di indirizzo per l'uso efficiente dell'energia nel patrimonio culturale istituito nel settembre 2013 dal MiBAC. Coordinatore scientifico Erasmus della Facoltà di Architettura de La Sapienza (2005-2010). È membro del Collegio dei Docenti del Dottorato di Pianificazione Design Tecnologia dell'Architettura curriculum di Progettazione Ambientale dal 2013, è stata membro del Collegio dei Docenti del Dottorato di Progettazione Ambientale dal 2007-2013 Docente del Master Universitario di II livello in Architettura Bioecologica e Tecnologie Sostenibili per l'Ambiente dal 2000-2015. Docente del Master Universitario di II livello in Environmental Technological Design presso Sapienza Università di Roma.

GRUPPO DI LAVORO

Arch. Alberto Calenzo

alberto.calenzo@uniroma1.it

Architetto e dottorando in Progettazione Tecnologica Ambientale presso il Dipartimento PDTA – Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura di Sapienza, Università di Roma. Nel 2018 si laurea in Architettura presso la stessa Università con una tesi incentrata sulla riqualificazione architettonica, ambientale e energetica di un quartiere situato nella periferia di Roma tramite la progettazione ex-novo di un edificio ad uso misto con tecnologia X-LAM. Dopo la laurea è stato selezionato per partecipare alla sesta edizione dell'ENEA Summer School in Efficienza Energetica in collaborazione con il Ministero dello Sviluppo Economico. Dal 2018 inizia la sua carriera da architetto e al contempo a collaborare con un gruppo interdisciplinare di ricerca-azione focalizzato sul tema della salute urbana e caratterizzato da un approccio community-based. In questo contesto contribuisce ad un capitolo contenuto all'interno del libro intitolato "Urban Health". Nel 2020 conclude il percorso del Master Universitario di secondo livello intitolato "ACT - Valorizzazione e gestione dei centri storici minori. Ambiente Cultura Territorio. Azioni integrate". Nello stesso anno, dopo aver vinto un incarico di lavoro autonomo presso il Dipartimento PDTA della Sapienza, collabora come tutor universitario presso il Laboratorio di Progettazione Tecnologica e Ambientale e a diverse ricerche. Nel 2021 inizia il suo percorso di dottorato.

Arch. Livia Calcagni

livia.calcagni@uniroma1.it

Architetto e dottoranda in Progettazione Tecnologica Ambientale all'Università La Sapienza. Si laurea cum laude e dignità di pubblicazione nel 2020 in Architettura con una tesi magistrale incentrata sui sistemi termo-attivi plug and play nell'ambito di una rigenerazione architettonica di un'area marginale di Roma. Il suo curriculum accademico di cinque anni le è valso il titolo di Laureata Eccellente, conferitole dalla Magnifica Rettore. Nel 2018-2019 ha frequentato il primo anno di Master presso la Technische Universität München, affinando le sue conoscenze sulla progettazione clima-adattiva e bioclimatica. Dal 2015 al 2021 ha vinto 8 borse di studio e 2 borse di ricerca. Dal 2019 svolge attività di ricerca, didattica e sperimentazione su temi quali l'innovazione tecnologica per la progettazione architettonica ambientale, l'efficienza ecologica ed energetica degli edifici, l'approccio bioclimatico nella progettazione e la sostenibilità ambientale, la rigenerazione e la salute urbana. Collabora all'interno di un gruppo di Ricerca-Azione interdisciplinare di comunità dell'Università La Sapienza sul tema della Salute Urbana. Dal 2021 fa parte di un gruppo di ricerca focalizzato sui sistemi evaporativi urbani in collaborazione con l'Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile per conto del Ministero dello Sviluppo Economico. È stata relatrice in convegni internazionali e tutor di workshop. Attualmente svolge attività di supporto alla didattica presso il Laboratorio di Progettazione Tecnologica della Facoltà di Architettura della Sapienza ed è co-relatore di diverse tesi di laurea magistrale.

Arch. Vincenzo Arezzo

arezzo.1586044@studenti.uniroma1.it

Architetto e masterizzando di secondo livello in "ACT - Valorizzazione e gestione dei centri storici minori, azioni integrate. AmbienteCulturaTerritorio" presso il Dipartimento PDTA, Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura di Sapienza Università di Roma. Ha conseguito la Laurea triennale in Scienze dell'architettura e la Laurea magistrale in Architettura – Rigenerazione urbana presso Sapienza Università di Roma, affrontando le tematiche della riqualificazione e della rigenerazione urbana attraverso la progettazione tecnologica e ambientale. Contestualmente al Master di secondo livello sta collaborando con la Confcommercio della città di Alessandria per sviluppare delle proposte a supporto del Distretto Urbano del Commercio per la città di Tortona e sta approfondendo temi e modelli di innovazione progettuale e sostenibile per una visione di ricerca multidisciplinare. Ha collaborato alle attività di supporto alla didattica per il Laboratorio di Progettazione Tecnologica per la Rigenerazione Urbana e ha partecipato al progetto di Ricerca – Azione a Siracusa prendendo parte al workshop e alle attività di ricerca attraverso l'uso di programmi di simulazione. Dopo il percorso di laurea ha lavorato per lo studio di architettura, paesaggio e urbanistica "Atenastudio" come collaboratore alla progettazione per un concorso di progettazione internazionale.

Dott. Marco Antonini

antonini.1345037@studenti.uniroma1.it

Dottore in Architettura, ha conseguito la Laurea triennale in Scienze dell'Architettura, sviluppando una tesi avente come oggetto la riqualificazione del lungomare di Focene e la Laurea magistrale in Architettura – Rigenerazione urbana presso Sapienza Università di Roma, approfondendo il tema della rigenerazione sulla città di Siracusa attraverso la progettazione tecnologica ed ambientale. Ha partecipato al progetto di Ricerca-Azione Siracusa, prendendo parte al workshop e alle attività di ricerca attraverso l'utilizzo di programmi di simulazione. Ha collaborato alle attività di supporto alla didattica per il Laboratorio di Progettazione Tecnologica per la Rigenerazione Urbana. Attualmente sta proseguendo il suo percorso di studi in Sapienza frequentando il Master di secondo livello "ACT – Valorizzazione e Gestione dei Centri storici Minori. AmbienteCulturaTerritorio. Azioni integrate". Contestualmente sta collaborando con la Confcommercio della città di Alessandria per sviluppare delle proposte a supporto del Distretto Urbano del

Commercio per la città di Tortona. Dopo il percorso di laurea ha collaborato con lo studio di architettura, paesaggio e urbanistica "Atenastudio" come collaboratore alla progettazione per un concorso internazionale avente come oggetto lo sviluppo dell'Ambasciata italiana a Nairobi.