



Ricerca di Sistema elettrico

ECO-GREENROOF & VERTICAL GREENERY SYSTEM Eco-Sistemi Vegetali per l'Efficienza Energetica e il Risparmio di Energia negli Edifici Urbani

C.A. Campiotti, R. Di Bonito, G. Giagnacovo, R. Colletta, M. Scoccianti, C. Viola

ECO-GREENROOF & VERTICAL GREENERY SYSTEM - ECO-SISTEMI VEGETALI PER L'EFFICIENZA ENERGETICA E IL RISPARMIO DI ENERGIA NEGLI EDIFICI URBANI

C.A. Campiotti, R. Di Bonito, G. Giagnacovo, R. Colletta, M. Scoccianti, C. Viola (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Sviluppo e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologico

Responsabile del Progetto: arch. Gaetano Fasano., ENEA



Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	4
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	9
2.1 TEORIA SUGLI SCAMBI DI CALORE PER GLI INVOLUCRI EDILIZI.....	10
2.2 CALCOLO DELLA RADIAZIONE SOLARE PER UN SITO GENERICO.....	11
2.3 LA PARETE VERDE ED I SUOI EFFETTI: IL MODELLO “GREEN FACTOR”.....	14
2.4 ANALISI PROPOSTA PER UN EDIFICIO PRESSO ENEA CR CASACCIA.....	15
2.5 PROPOSTE PER LA REALIZZAZIONE DI SISTEMI VGS-GR PRESSO L’ENEA CASACCIA.....	18
3 CONCLUSIONI.....	41
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	41
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	42

Sommario

I contenuti di questo rapporto tecnico descrivono l'attività di collaborazione che il Servizio UTEE-AGR ha sviluppato in collaborazione con le Università di Pisa e di Bari, con le quali stati attivati rispettivamente due contratti di ricerca, sulla tematica di ricerca "Vertical Greenery System (VGS)" e "Green Roof" (GR). UTEE-AGR, in particolare, ha contribuito all'attività progettuale sulla base di un quadro generale della tecnologia del verde urbano nonché alla definizione dei flussi di energia che regolano gli scambi termici tra il "cuscino verde" e l'edificio. A questo proposito, UTEE-AGR si è occupata della definizione di un modello di calcolo sui principali flussi di energia che si stabiliscono tra la copertura vegetale e l'edificio. In particolare, sono riportate le equazioni matematiche per la definizione del *Green Factor* (costante verde) di diverse specie vegetali. Il rapporto tecnico contiene un quadro generale sulle piante di maggiore interesse per le coperture vegetali e in particolare le essenze adatte all'area climatica mediterranea. Sono, inoltre, illustrate le fattibilità tecniche sviluppate da UTEE-AGR per l'applicazione su strutture poste all'interno del Centro Ricerche ENEA Casaccia. Infine, viene descritta l'attività sperimentale di UTEE-AGR relativa allo studio delle caratteristiche bio-agronomiche e fenotipiche di piante per i VGS-GR, alla definizione di substrati di coltivazione, con il fine di migliorare il processo di crescita vegetale delle piante.

1 Introduzione

Il verde è da sempre un elemento di progetto nell'architettura, ma fino a poco tempo fa il suo utilizzo era soltanto a scopo decorativo. Oggi, invece, il verde viene considerato un vero e proprio componente edilizio. Mentre per parete verde (Vertical Greenery System) si intende un fronte edilizio ricoperto da specie vegetali, aventi caratteristiche rampicanti e/o ricadenti, aggrappate direttamente o indirettamente, tramite supporti verticali di sostegno alla muratura, la realizzazione di coperture vegetali o di giardini, con lo scopo di creare una barriera isolante tra il solaio esterno e lo spazio circostante, oltre che con funzione decorativa o alimentare, la copertura vegetalizzata degli edifici si definisce tetto verde (Green Roof). Le facciate verdi offrono diversi tipi di benefici a partire da quelli che riguardano i miglioramenti del microclima esterno fino ad arrivare a benefici riguardanti gli ambienti interni. L'ambiente esterno in ambito urbano, inoltre, è caratterizzato dalla presenza di molte sostanze inquinanti, derivanti dalle attività industriali, dai gas di scarico delle automobili, dai riscaldamenti degli edifici e dallo squilibrio termico generato dalla sostituzione del tessuto naturale con quello costruito, che può determinare la formazione di vere e proprie "isole di calore". La rapida urbanizzazione delle nostre comunità, infatti, ha comportato la realizzazione di estese superfici in cemento che oltre alla modificazione spesso negativa dell'ambiente urbano in termini sia di visione sia di vivibilità crea incrementi della temperatura soprattutto nei centri cittadini. Questo aumento della temperatura, associato alla presenza di inquinanti atmosferici e alla scarsa circolazione di aria, può provocare l'accumulo di smog, danni all'ambiente e alla salute dei cittadini oltre all'aumento del consumo di energia per raffreddare gli edifici nei periodi caldi e per il riscaldamento nei periodi freddi. Tale fenomeno, spesso definito come "Urban Heat Island" (UHI), è causato principalmente dall'assorbimento della radiazione solare da parte degli edifici e dei materiali da costruzione e dalla successiva ri-irradiazione nell'ambiente circostante. I sistemi VGF-GR contribuiscono a ridurre il fenomeno delle isole di calore e contribuiscono al miglioramento della qualità dell'aria e può fungere, inoltre, da elemento filtrante per polveri e gas [1]. L'effetto isolante del "cuscino verde" è dovuto allo strato d'aria che si crea tra superficie verde e la superficie muraria, il quale funge da cuscinetto isolante; inoltre una parte delle radiazioni infrarosse, irradiate dall'edificio, viene riflessa dalle foglie mentre un'altra parte viene assorbita (riduzione delle perdite di calore radiative dell'edificio); il cuscino di verde attenua anche i movimenti d'aria sulla superficie della costruzione così da ridurre le perdite di calore per convezione. Le pareti verdi proteggono le strutture opache dalla radiazione solare, evitando il surriscaldamento delle stesse, tutto ciò ovviamente influisce sia sui carichi di condizionamento che sul comfort termo-igrometrico dell'ambiente interno [2]. I rivestimenti vegetali posti davanti a pareti in muratura, possono contribuire alla loro protezione (contro gli

agenti atmosferici) e quindi aumentarne la durata nel tempo [3]. Generalmente i benefici derivanti dalle pareti verdi vengono suddivisi in due grandi categorie: pubblici e privati, visto che alcuni riguardano esclusivamente gli abitanti degli edifici interessati, mentre altri riguardano l'intera comunità dei cittadini (Tabella 1).

Benefici pubblici

Riduzione del fenomeno delle isole di calore (la vegetazione raffredda gli edifici e i dintorni attraverso processi di ombreggiatura, riducendo il calore riflesso, e tramite l'evapotraspirazione).

Miglioramento della qualità dell'aria (assorbimento delle polveri sottili e di sostanze nocive presenti nell'aria).

Produzione di ossigeno - assorbimento di CO₂.

Miglioramento dell'ambiente dal punto di vista estetico (riqualificazione degli edifici).

Benefici privati

Efficienza energetica (miglioramento della capacità di isolamento termico attraverso la regolazione della temperatura esterna; questo può incidere sia sul raffreddamento che sul riscaldamento).

Protezione degli edifici dall'erosione dovuta ai fenomeni climatici.

Miglioramento della qualità dell'aria interna (acquisisce inquinanti nell'aria come polvere e polline ed altri composti organici volatili provenienti dai mobili presenti all'interno dell'edificio).

Isolamento/assorbimento acustico.

Possibilità di acquisizione dei certificati bianchi (TEE: titoli di efficienza energetica).

Il miglioramento dell'estetica può aiutare a far aumentare il valore dell'edificio.

Tabella 1. Benefici associati alle pareti verdi

Per l'oggettiva valutazione degli effetti del verde parietale sui carichi termici delle pareti sono tuttavia essenziali delle analisi di tipo quantitativo che ci permettono di valutare il risparmio energetico attribuibile a questo particolare tipo di architettura. A questo scopo, UTEE-AGR ha contribuito allo sviluppo di un modello matematico per quantificare la riduzione di energia entrante nell'edificio su cui si progetta la realizzazione della la parete verde. L'applicazione di sistemi VGS-GR in un edificio si inserisce in una strategia progettuale che si pone l'obiettivo di diminuire l'impatto ambientale dell'edificio rispetto allo spazio circostante. In altri termini, l'edificio viene valutato rispetto alle sue caratteristiche sia energetiche e sia ambientali. In generale, sono attivi diversi protocolli nazionali e internazionali che si riferiscono alle caratteristiche di sostenibilità di un edificio [4]. Di seguito si riportano le diverse tipologie di edifici:

- 1. Ad alta dispersione termica** (con conseguente alto fabbisogno energetico): sono gli edifici costruiti fino a ieri senza vincoli riguardo alla coibentazione delle strutture.
- 2. A bassa dispersione termica:** sono gli edifici costruiti secondo precisi criteri sia di coibentazione sia relativamente ai rendimenti minimi degli impianti termici previsti dalla Legge n. 373/1976 e la più recente Legge n. 10/1991.
- 3. A basso consumo energetico:** dotati di sistemi solari attivi e di un'impiantistica evoluta, consentono elevati risparmi energetici (65 kWh per m²). Sono edifici ancora poco diffusi ma rappresentano l'evoluzione più probabile nel prossimo futuro delle nostre abitazioni.
- 4. Passivi:** caratterizzati da uno standard energetico che rende il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento ancora più basso di quello degli edifici a basso consumo energetico. Lo standard che prevede un fabbisogno energetico residuo < 15 kWh/m² si ottiene tramite i seguenti dispositivi:
 - orientamento dell'edificio verso il sole (verso sud).
 - ottimale rapporto tra superficie dell'involucro e volumetria ($S/V < 0,6$).
 - efficace isolamento termico dell'involucro edilizio ($U < 0,15$ W/K).
 - alta impermeabilità dell'involucro edilizio.
 - finestre con vetri e telai altamente isolanti ($U < 0,8$ W/m²K).

- riduzione al minimo delle perdite dovute alla ventilazione con recupero di calore (> 80%) dall'aria in uscita.

5. Edifici energeticamente autonomi: a zero consumo energetico, utilizzano unicamente fonti rinnovabili e tecnologie costruttive d'avanguardia.

Per quanto riguarda la riduzione dell'UHI, i sistemi VGS-GR possono avere un ruolo importante nei topoclimi (cioè i climi locali) della città e modificare il microclima del singolo edificio. Proprio per questo motivo si formano degli speciali "ecotipi" urbani definiti "Poleotopes" (clima cittadino) che sono in contrapposizione con i "Chorotopes" (i climi rurali) [5]. La densità delle strutture edificate e la percentuale delle aree verdi variano da città a città. I modi di costruzione possono variare nei diversi paesi e quindi non è possibile fissare degli ecotipi precisi, comunque in linea generale, entrambe gli ecotipi si possono applicare a:

- aree industriali,
- centri-semi-periferie delle città,
- edifici residenziali (quartieri nuovi) e comunali (soprattutto scuole).

Normative esistenti

Dalla fondazione del BRE (Building Research Establishment) inglese nel 1990 e dell'U.S. Green Building Council (USGBC) americano nel 1993, sono nate molte altre forme di promozione per i green building del mondo. Ad esempio, il World Green Building Council (World GBC) di Toronto riconosce attualmente 20 istituti di bioedilizia internazionali e oltre 40 gruppi su scala nazionale, che richiedono uno status simile per i prossimi anni. La consapevolezza sull'edilizia sostenibile è aumentata drasticamente negli ultimi tre anni, in particolare in Nord America, Europa occidentale, e nelle parti più sviluppate dell'Asia. Tale espansione della bioedilizia certificata è dovuta principalmente a tre fattori. Molte aziende cercano la certificazione in quanto essa fornisce un valore sociale da rivendere sul mercato. In secondo luogo, molti vedono la certificazione come un'occasione per ridurre le spese operative attraverso l'efficienza energetica. Il terzo fattore, e forse il più importante da considerare sul lungo periodo, riguarda il numero crescente di requisiti normativi che richiedono le certificazioni per alcuni tipi di edifici. Finora, tali requisiti sono stati applicati soprattutto agli edifici pubblici. In misura crescente, tuttavia, i governi delle città, stato/province, stanno istituendo tariffe nazionali che richiedano ad altre tipologie di edificio, compresi gli uffici commerciali, il raggiungimento di un rating nell'ambito di un programma di certificazione green.

Nuovo ed esistente

Tra le certificazioni di edifici ad uso commerciale, l'esistente copre la parte più grande del mercato. Circa il 60% della superficie totale netta in bioedilizia è composta da edifici esistenti. Al contrario, nel mercato residenziale, ci si è concentrati maggiormente sull'omologazione di nuove proprietà. In Europa le certificazioni coprono una vasta gamma di immobili residenziali, dalle case unifamiliari agli edifici residenziali multi-unità fino ai complessi di appartamenti.

Certificazioni asiatiche

Secondo le previsioni, lo spazio cumulativo occupato dall'edilizia certificata crescerà da circa 557 milioni di metri quadrati del 2010 a circa 5 miliardi di metri quadri a livello globale, nel 2020. Gli edifici commerciali probabilmente rappresenteranno circa l'80% dello spazio certificato nell'ambito dei programmi di certificazione nel 2020. Mentre i protocolli di certificazione ambientale LEED (Leadership in Energy and environmental design) e BREEAM (Building research establishment environmental assessment method) continueranno a dominare il Nord America e i mercati europei, i recenti programmi sviluppati in Cina e India dovrebbero arrivare a rappresentare circa il 30% di tutti i certificati verdi di nuova costruzione entro il 2020.

Il **Green Building Programme (GBP) della Commissione Europea** (lanciato nel gennaio del 2005) si riferisce agli edifici non residenziali sia pubblici sia privati. Sono state elaborate a questo proposito delle guidelines

che definiscono i concetti base, le specifiche tecniche e gli obiettivi del Programma GBP al fine di promuovere azioni finalizzate allo sviluppo di tecnologie per l'efficienza energetica e il risparmio energetico negli edifici. Il GBP Programme è basato sulla certificazione volontaria mediante specifiche tecniche riportate nel GBMD ("Green Building Module Documents") [6].

In Italia, si sta valutando se inserire, all'interno delle possibili proposte emendative da apportare alla manovra economico-finanziaria 2010, DL 78/2010, la proposta di legge, giacente alla Camera, che punta ad incentivare, attraverso detrazioni fiscali, l'adozione dei tetti verdi. La proposta, depositata in Parlamento dal 24 marzo 2009 prevede uno sconto sul fisco che si tradurrebbe in una detrazione dall'imposta lorda per una quota pari al 55% degli importi rimasti a carico del contribuente, fino ad un valore massimo della detrazione stessa di 10.000 euro. La proposta di legge depositata prevede anche la creazione, presso il Ministero dell'Ambiente, di un "Fondo per la forestazione urbana" (50 milioni di euro all'anno per i primi due anni dall'entrata in vigore della legge) destinato alla diffusione dell'agricoltura urbana (cultura del verde pensile e degli orti urbani) che costerà complessivamente allo Stato 100 milioni di euro all'anno. Dal 2007 per disciplinare la progettazione dei tetti verdi è stata creata un'unica norma nazionale, la UNI 11235, tuttavia soltanto il Comune di Bolzano ha sviluppato, in modo significativo, la politica dei tetti verdi [7].

Sistema di ricerca e sperimentazione

UTEE-AGR ha previsto un sistema sperimentale da installare su un edificio-prototipo per la valutazione del microclima di coltri vegetali in parete e in terrazzo che si avvarranno di un sistema di monitoraggio microclimatico per misurare:

- la radiazione solare totale
- il PAR, banda di radiazioni fotosinteticamente attive, dai 400 ai 700 nm.
- radiazione ultravioletta UV-A, compresa tra 400-315 nm.
- radiazione ultravioletta UV-B compresa tra 315-280 nm.
- temperatura e umidità.

La composizione delle unità di acquisizione dati si baserà su una configurazione portatile tipica che prevede:

- 2 unità di rilevazione, visualizzazione, memorizzazione e funzione di logging dati acquisiti.
- 2 due sensori di irraggiamento solare PAR.
- 2 due sensori di irraggiamento solare globale.
- 2 due sensori di raggi UVA.
- 2 due sensori di raggi UVB.
- 2 unità di rilevazione, visualizzazione, memorizzazione e funzione di logging dati acquisiti da sensori di temperatura ed umidità relativa.
- 7 supporti meccanici vari.
- 2 data-logger "Spectrosense2+" è programmabile e permette il download dei dati acquisiti in formato testo, con il software in dotazione installato su Personal Computer con interfaccia RS 232.
- Anemometro a cappa rotante oppure anemometro a filo caldo.
- Termometro Pt 100 e/o altro.

Misure per i sistemi vegetali

- Evapotraspirazione con sistemi manuali costituiti da due lisimetri,
- Espansione fogliare (LAI-leaf area index),
- Parametri inerenti l'accrescimento vegetale.
- CO₂ sequestrata dalle coltri vegetali,
- PH, CE e consumo di nutrienti.

Più in generale, l'attività di UTEE-AGR nell'ambito della tematica di ricerca sui sistemi VGS-GR è stata programmata in accordo con le linee di ricerca elencate nella Tabella 2.

Linee di ricerca/Area di Impatto	Descrizione	Benefici
Riduzione dell'effetto UHI	La vegetazione raffredda gli edifici e i dintorni attraverso processi di ombreggiatura, riducendo il calore riflesso, e l'evapotraspirazione.	<ul style="list-style-type: none"> • Promuove i processi naturali di raffreddamento. • Riduce la temperatura ambientale nelle aree urbane. • Rallenta i flussi d'aria verticale raffreddando l'ambiente. • Ombreggiatura superfici / persone.
Miglioramento della qualità esterna dell'aria	I sistemi vegetali contribuiscono sia alla riduzione di energia per i condizionatori d'aria e sia al controllo di emissioni industriali: ossidi di azoto (NOx), ossidi di zolfo (SOx), composti organici volatili (COV), monossido di carbonio (CO) e particolato.	<ul style="list-style-type: none"> • Cattura gli inquinanti nell'aria e depositi atmosferici sulle superfici delle foglie. • Filtri di gas nocivi e del particolato.
Miglioramento estetico	Forniscono una variante estetica nell'ambiente in cui le persone conducono le loro attività quotidiane.	<ul style="list-style-type: none"> • Crea interesse visivo • Nasconde/oscura caratteristiche sgradevoli. • Aumenta il valore dell'immobile.

Linee di ricerca/ Area di Impatto	Descrizione	Benefici
Miglioramento Energetica Efficienza	Migliora la capacità di isolamento termico attraverso la regolazione della temperatura esterna. L'entità del risparmio dipende da vari fattori quali il clima, la distanza dai lati dell'edificio, e dalla densità della copertura vegetale. Questo può incidere sia sul raffreddamento che sul riscaldamento.	<ul style="list-style-type: none"> • Limita la circolazione di calore attraverso la vegetazione. • Riduce la temperatura ambientale attraverso ombreggiature e processi di evapo-traspirazione. • Effetto cuscinetto contro il vento durante i mesi invernali. • Applicazioni dell'interno può ridurre l'energia associata al riscaldamento e al raffreddamento dell'aria esterna per uso interno.
Protezione della Struttura dell'Edificio	Gli edifici sono esposti agli elementi atmosferici e con il passare del tempo alcuni materiali possono rovinarsi a causa della contrazione ed espansione causata dai cicli di gelo-disgelo e dall'esposizione ai raggi UV.	<ul style="list-style-type: none"> • Protegge le rifiniture e gli elementi delle pareti dalle radiazioni UV e dalle fluttuazioni della temperatura.

		<ul style="list-style-type: none"> • La presenza della pianta riduce l'effetto della pressione del vento sull'edificio.
Miglioramento della Qualità dell'Aria Interna	Per i progetti di interni, i VGS sono in grado di filtrare l'aria contaminata da agenti nocivi che vengono rilasciati dai mobili e dai tappeti. La filtrazione è eseguita dalle piante, e nel caso di bio-filtrazione dai micro-organismi.	<ul style="list-style-type: none"> • Acquisisce inquinanti nell'aria come polvere e polline. • Filtri di gas nocivi e Composti Organici Volatili (COV) dai tappeti, mobili e da altri elementi dell'edificio.
Riduzione del Rumore	I fattori che influenzano la riduzione del rumore sono dipendenti dalla profondità del substrato della coltivazione, dai materiali utilizzati come componenti strutturali del VGS e dalla copertura globale.	
Certificazione energetica/TEE	I VGS e GR possono contribuire all'acquisizione di certificati bianchi, o a far acquisire crediti se utilizzati con altri elementi di edilizia sostenibile.	
Marketing	Il miglioramento dell'estetica può aiutare ad far aumentare il valore dell'edificio	
Biodiversità	I sistemi vegetali contribuiscono a mantenere e/o ricreare la biodiversità sia animale sia vegetale negli ambienti urbani.	

Linee di ricerca/ Tipologia di Sistema	Descrizione tecnica	Grandezza Piante
Tecniche/tecnologie di coltivazione senza suolo	Substrato, Idroponica	
Comunità vegetale costituita da specie erbacee differenti e tra loro funzionali	Si avvale di substrati tipici della coltivazione "senza suolo"	Taglia bassa
Comunità vegetale costituita da specie erbacee a cespuglio e con piante grasse	Si avvale sia di substrati tipici della coltivazione "senza suolo" e sia di coltivazioni in vaso	Taglia semi-bassa

Tabella 2 - Linee di ricerca/impatto associati alla realizzazione di sistemi VGS-GR.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

E' noto che la propagazione del calore avviene principalmente per: conduzione, convezione ed irraggiamento. In una realtà complessa come quella di un involucro edilizio immerso in un ambiente reale, tutti e tre i suddetti meccanismi intervengono nel fenomeno di scambio termico che, per semplicità e per uso comune, supporremo avvenga in condizioni stazionarie o per successione di condizioni stazionarie. Infatti la superficie esterna dell'involucro si riscalderà (o si raffredderà) come risultato di scambio di calore di tipo convettivo (con l'aria circostante) e per irraggiamento (con le superfici dei corpi circostanti e col sole nelle ore diurne), mentre l'ambiente interno dell'edificio risentirà del trasferimento di calore per effetto conduttivo (dalla superficie esterna dell'involucro a quella interna o viceversa) e per irraggiamento (dalla superficie interna all'ambiente interno). Il fenomeno è dunque complesso, ed ogni valutazione quantitativa necessita di una modellistica approssimante ma semplificata. Nel seguito viene presentata la metodologia sviluppata da UTEE-AGR, sulla base delle metodologie maggiormente in uso al momento attuale e ricordando sempre l'assunzione dell'ipotesi di stazionarietà [8] [9].

2.1 Teoria sugli scambi di calore per gli involucri edilizi

Di seguito, sarà illustrato per gradi un modello termico complessivo che vuole tenere conto di tutti gli effetti significativi dello scambio termico e del regime di temperatura di un involucro edilizio [10].

Scambio Convettivo

Dal punto di vista quantitativo, è possibile stimare il fenomeno dello scambio termico per convezione tra una superficie a temperatura T_s e l'aria circostante a temperatura T_{air} , tramite la seguente formula:

$$q_c = h_c A (T_s - T_{air})$$

q_c : potenza termica convettiva (W);

A: l'ampiezza di area attraverso cui si scambia calore (m^2);

T_s : temperatura sulla superficie;

T_{air} : temperatura dell'aria, a distanza sufficiente dalla superficie;

h_c : coefficiente di trasferimento del flusso di calore per convezione ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

Scambio per irraggiamento

E' fondamentale tener conto di una legge basilare, detta legge di Stefan-Boltzmann, la quale stabilisce che la potenza irradiata da un corpo nero è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura assoluta.

Per i corpi reali (chiamati anche "corpi grigi") si ha:

$$q_i = \sigma \epsilon A T^4$$

dove:

q_i : la potenza termica irradiata dalla superficie (W)

A: l'ampiezza di area attraverso cui si irraggia calore (m^2);

T: è la temperatura assoluta espressa (in gradi Kelvin, $^\circ K$)

σ : è la costante di Stefan-Boltzmann ($W/m^2 \text{ } ^\circ K^4$)

ϵ : emissività della superficie.

Per rendere conto della realtà infatti si usa moltiplicare la costante σ per l'emissività ϵ , che dipende dalla superficie del corpo preso in considerazione oltre che dalla sua temperatura ed è compresa fra 0 (per i corpi *idealmente bianchi*) e 1 (per i corpi *idealmente neri*). Generalmente si è interessati a conoscere lo scambio netto per irraggiamento tra l'involucro edilizio ed i corpi circostanti (supposti tutti mediamente collocati ad una temperatura T_{surr}): infatti l'involucro irraggia verso l'esterno ed è irraggiato dai corpi circostanti. Tale scambio teoricamente coinvolge la legge di Stefan-Boltzmann, con le sue quarte potenze della temperatura, ma si semplifica normalmente in una relazione che coinvolge una differenza di temperature alla prima potenza:

$$q^{rad} = \sigma \epsilon A (T_s^4 - T_{surr}^4) \approx h_r A (T_s - T_{surr})$$

q^{rad} : potenza netta per irraggiamento (W)

T_s : temperatura della superficie (in $^\circ K$);

T_{surr} : temperatura dell'ambiente circostante distante che racchiude l'edificio (in $^\circ K$); in genere si assume che $T_{surr} = T_s$ per superfici (pareti) verticali, mentre invece $T_{surr} = T_s - 4 \text{ } ^\circ K$ per superfici orizzontali (tetti).

A: l'ampiezza di area attraverso cui si scambia calore per irraggiamento (m^2);

h_r : coefficiente di trasferimento netto del flusso di calore per irraggiamento (si calcola tenendo conto sia dell'emissività ϵ che della costante di Stefan-Boltzmann σ , e si esprime in $W/m^2 \text{ } ^\circ K$).

Scambio combinato di calore

Usualmente i due effetti di scambio di calore verso la superficie di un edificio, quello dovuto a convezione e quello dovuto ad irraggiamento, si sommano assieme e si rappresentano in maniera semplificata con un'unica equazione:

$$q = q_c + q^{rad} = h_c A (T_s - T_{air}) + h_r A (T_s - T_{surr}) = h_e A (T_s - T_0) = h_e A (T_s - T_{air}) + A \Delta q$$

dove:

$h_e = h_c + h_r$ è il coefficiente combinato di trasferimento del flusso di calore;

$T_0 = (h_c T_{air} + h_r T_{surr}) / h_e$. Se $T_{surr} = T_{air}$, ne consegue che $T_0 = T_{air}$;

Δq = termine correttivo di potenza termica necessario nel bilancio termico se $T_{surr} \neq T_{air}$

A : l'ampiezza di area attraverso cui si scambia calore per irraggiamento (m^2).

Il valore di h_e usualmente impiegato è pari a [2] :

- 25 $W/m^2 \cdot K$, per scambi di pareti verticali verso l'esterno dell'edificio;
- 8.3 $W/m^2 \cdot K$, per scambi di pareti verticali verso l'interno dell'edificio;
- 8.3 $W/m^2 \cdot K$, per scambi di pareti orizzontali verso l'alto;
- 6 $W/m^2 \cdot K$, per scambi di pareti orizzontali verso il basso;

Temperatura soil-air

Un bilancio energetico completo sulla superficie, che riporti lo scambio combinato di calore e tenga conto anche dell'irraggiamento solare G , produce la seguente relazione:

$$q = h_e A (T_s - T_{air}) + A \Delta q - \alpha AG, \text{ in cui}$$

α : coefficiente di assorbimento (per la radiazione solare) della superficie;

G : radiazione globale incidente sulla superficie; si mette il segno meno perché nella relazione precedente si suppone positiva la potenza uscente, mentre la G è entrante.

Ipotizziamo che la potenza termica q sia esprimibile anche come:

$$q = h_e A (T_s - T_{sol-air}),$$

dove $T_{sol-air}$ è una temperatura fittizia o equivalente dell'aria tale da produrre gli stessi effetti globali di scambio di calore con la superficie di area A ; allora deve risultare che:

$$h_e A (T_s - T_{sol-air}) = h_e A (T_s - T_{air}) + A \Delta q - \alpha AG,$$

da cui deriva l'espressione cercata : $T_{sol-air} = T_{air} + \alpha G/h_e - \Delta q/h_e$.

2.2 *Calcolo della radiazione solare per un sito generico*

La radiazione solare G , come già visto e come vedremo meglio nel seguito, è di importanza fondamentale nella progettazione di interventi con pareti verdi. Di conseguenza riveste importanza fondamentale la capacità di stimare la sua intensità in un punto qualsiasi della superficie terrestre. Esistono a riguardo diversi modelli con proprietà di approssimazione che si basano su concetti e leggi dell'astronomia terrestre.

Posizione del sole nella volta celeste

Per individuare ad un certo istante dell'anno la posizione del sole nel cielo in una determinata località è necessario definire alcuni angoli caratteristici. Questi angoli sono:

- ✓ **l'azimut solare α :** è l'angolo formato tra la proiezione sul piano orizzontale dei raggi solari e la direzione sud; è positivo se la proiezione cade verso est (prima del mezzogiorno solare) ed è negativo se la proiezione cade verso ovest (dopo mezzogiorno);
- ✓ **l'altezza o altitudine solare α :** è l'angolo formato tra la direzione dei raggi solari e il piano orizzontale;
- ✓ **l'angolo zenitale z :** è l'angolo formato tra i raggi solari e la direzione dello zenit (è complementare ad α);
- ✓ **la latitudine L :** è l'angolo che la retta passante per la località considerata ed il centro della terra forma con il piano dell'equatore; è positiva nell'emisfero settentrionale e negativa in quello meridionale;
- ✓ **la declinazione solare δ :** l'angolo che la direzione dei raggi solari forma a mezzogiorno, sul meridiano considerato, col piano equatoriale; risulta anche pari all'angolo che i raggi solari formano a mezzogiorno con la direzione dello zenit sull'equatore e coincide inoltre con la latitudine geografica alla quale in un determinato giorno dell'anno il sole a mezzogiorno sta sullo zenit; è positiva quando il sole sta al di sopra del piano equatoriale ed è negativa quando il sole è al di sotto di esso.

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right], \text{ dove } n \text{ è l'ennesimo giorno dell'anno.}$$

(formula approssimata di Cooper)

- ✓ **l'angolo orario h :** è la distanza angolare tra il sole e la sua posizione a mezzogiorno lungo la sua traiettoria apparente sulla volta celeste; è anche pari all'angolo di cui deve ruotare la terra affinché il sole si porti sopra il meridiano locale. Tale angolo è nullo a mezzogiorno, positivo nelle ore antimeridiane e negativo nelle ore pomeridiane. Esso risulta pari al numero di ore di distanza dal mezzogiorno moltiplicato per 15 (poiché la terra ruota di 15 gradi all'ora alla velocità nominale di 30 gradi al giorno). L'angolo orario relativo all'alba h_a o al tramonto h_t può essere calcolato in questo modo:

$$h_a = -h_t = \arccos(-\operatorname{tg} L \operatorname{tg} \delta)$$

La posizione istantanea del sole, definita dall'altezza solare α e dall'azimut solare α , è valutabile tramite la seguente relazione:

$$\operatorname{sen} \alpha = \operatorname{sen} L \operatorname{sen} \delta + \cos L \cos \delta \cos h$$

Irraggiamento extraterrestre

L'energia media irraggiata dal sole nell'unità di tempo su una superficie unitaria posta all'esterno dell'atmosfera terrestre ed orientata perpendicolarmente ai raggi solari viene denominata costante solare (I_{cs}). È possibile ipotizzare che il sole si comporti, ai fini dell'irraggiamento, come un corpo nero a temperatura uniforme; utilizzando la legge di Stefan-Boltzmann è possibile valutare la temperatura di tale corpo nero equivalente. Uno dei fattori che incide sulle variazioni dell'energia emessa dal sole è la variazione della distanza terra-sole nel corso dell'anno dovuto all'ellitticità dell'orbita della terra attorno al sole. L'irraggiamento extraterrestre nel corso dell'anno varia del $\pm 3.3\%$, la formula per determinarlo è la seguente:

$$I_o(t) = I_{cs} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi n(t)}{365} \right) \right], \text{ dove } n(t) \text{ è il numero progressivo del giorno dell'anno.}$$

Irraggiamento solare al suolo

L'energia solare che raggiunge la superficie della terra è notevolmente più piccola dell'energia incidente su una superficie posta all'esterno dell'atmosfera a causa dei fenomeni di diffusione e di assorbimento prodotti sulla radiazione solare da parte dei costituenti dell'atmosfera. La riflessione diffusa, in tutte le direzioni, è dovuta principalmente all'urto con le molecole dell'aria, il vapor d'acqua e del pulviscolo atmosferico; in conseguenza di ciò una parte della radiazione viene rimandata verso lo spazio esterno. L'assorbimento è dovuto principalmente all'ozono, al vapor d'acqua ed all'anidride carbonica. La parte di radiazione che raggiunge la superficie della terra nella direzione dei raggi solari senza subire assorbimenti e riflessioni è denominata *radiazione diretta* (al suolo), mentre la parte che raggiunge la terra da tutte le direzioni viene chiamata *radiazione diffusa*. Viene chiamata radiazione globale al suolo la somma della radiazione diretta e della radiazione diffusa. Per superfici non orizzontali bisogna tener conto della radiazione riflessa dal terreno e dagli oggetti circostanti sulla superficie considerata.

❖ Radiazione diretta istantanea incidente su una superficie

L'orientazione di una superficie è definita per mezzo dell'angolo di inclinazione β della superficie stessa sul piano orizzontale ($0 \leq \beta \leq 180$) e per mezzo dell'angolo azimutale (o azimut) α_w della superficie. Quest'ultimo è l'angolo che la proiezione sul piano orizzontale della normale alla superficie forma con la direzione sud nell'emisfero settentrionale (e nord in quello meridionale); è positivo se la proiezione è rivolta verso est e negativo se rivolta verso ovest.

Viene chiamato angolo di incidenza i l'angolo tra i raggi solari e la normale alla superficie. La radiazione diretta intercettata da una superficie inclinata è:

$$G_b = I_b (\cos i / \sin \alpha) = I_b R_b$$

Dove l'espressione generale di $\cos i$ si ottiene dalla seguente formula:

$$\cos i = \cos(\alpha - \alpha_w) \cos \alpha \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta$$

mentre I_b è la radiazione diretta istantanea incidente sul piano orizzontale e R_b viene denominato fattore di inclinazione della radiazione diretta:

$$R_b = \frac{\cos i}{\sin \alpha}$$

❖ Radiazione globale istantanea incidente su una superficie.

La potenza istantanea globale incidente su una superficie comunque orientata è somma della componente diretta (G_b), della componente diffusa, proveniente dalla porzione di volta celeste "vista" dalla superficie, e dalla componente riflessa, dovuta all'energia riflessa dal terreno e dagli eventuali oggetti circostanti verso la superficie stessa. La potenza solare istantanea incidente su una superficie arbitrariamente orientata, nell'ipotesi di cielo isotropo, risulta:

$$G = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r$$

dove:

I_b : radiazione diretta istantanea incidente sul piano orizzontale;

R_b : fattore di inclinazione della radiazione diretta;

I_d : irraggiamento diffuso sul piano orizzontale;

R_d : fattore di inclinazione della radiazione diffusa $R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2}$;

R_r : fattore di inclinazione della radiazione riflessa $R_r = \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$;

ρ : coefficiente di riflessione del terreno, assume valori che variano tra 0.2 (erba, cemento) e 0.75 (neve).

2.3 La parete verde ed i suoi effetti: il modello “Green Factor”

Al fine di valutare la riduzione di energia per effetto della schermatura verde, è opportuno definire un indice, detto “costante verde” (K_v , **Green Factor**), il quale descrive il comportamento energetico delle diverse specie vegetali che si possono utilizzare per la realizzazione di una parete verde. Il green factor varia tra 0 e 1: è pari a zero nel caso in cui le temperature superficiali sono uguali in assenza e in presenza di parete verde; mentre è pari a 1 quando la temperatura superficiale della parete verde è pari a quella dell’aria [11].

La formula di definizione della costante verde è la seguente:

$$K_v = \frac{T_s - T_{sv}}{T_s - T_{air}} = 1 - \tau_v \frac{h_e}{h_e^*}$$

Le variabili necessarie per il calcolo di tale costante sono:

T_{air} : la temperatura dell’ambiente esterno;

T_s : la temperatura superficiale della parete nuda (in assenza del verde);

T_{sv} : la temperatura superficiale della parete con copertura verde;

τ_v : coefficiente di trasmissione solare dello strato verde;

h_e, h_e^* : coefficienti di trasmissione del calore per la superficie senza e con strato verde.

Nota la temperatura dell’ambiente esterno e calcolata la temperatura superficiale della parete non coperta da verde, è possibile determinare la *temperatura superficiale della parete in presenza di verde* a seconda della specie scelta (T_{sv}):

$$T_{sv} = T_s - K_v(T_s - T_{air}) = (1 - K_v) T_s + K_v T_{air}.$$

Come si può notare, la temperatura superficiale in presenza di strato verde è una media ponderale tra T_s e T_{air} ; quindi nel periodo diurno, in presenza di irraggiamento solare, $T_{air} < T_{sv} < T_s$.

La Tabella 3 riporta i valori del green factor per alcune specie vegetali, derivati da esperienze concrete di misura, usualmente utilizzate per la realizzazione di una parete verde (10).

Specie vegetale analizzata	K_v
Actinidia	0,36
Wisteria	0,52
Ampelopsis	0,61
Parthenocissus	0,65
Rincospermo	0,6
Hedera	0,82

Tabella 3. Valori di *Green Factor* per differenti specie vegetali

Dopo aver individuato la differenza tra la temperatura su parete verde e la temperatura su parete nuda, è possibile valutare i conseguenti vantaggi dal punto di vista energetico. In particolare il modello adottato ci permette di quantificare la riduzione di energia entrante nell’edificio per effetto della schermatura verde; infatti si ha:

$$\frac{E}{A} = U(T_{sol-air} - T_i) t \quad (\text{senza parete verde})$$

$$\frac{E^*}{A} = U(T_{sol-air}^* - T_i) t \quad (\text{con parete verde})$$

E, E*: energia entrante all'interno dell'edificio tramite l'involucro, senza e con parete verde;

T_{sol-air}, T_{sol-air}*: temperature sol-air senza e con parete verde;

T_i: temperatura della superficie interna dell'involucro. Si suppone che la temperatura interna sia regolata e quindi uguale per le due situazioni senza e con parete verde;

U: coefficiente di trasmittanza dell'involucro;

t: tempo su cui si valuta la differenza di energia;

G: radiazione solare totale mediata sull'intervallo t;

A: area dell'involucro interessata allo scambio di calore.

Eseguendo la differenza tra le due grandezze sopra riportate, si ottiene

$$\begin{aligned} \frac{E - E^*}{A} &= U(T_{sol-air} - T_{sol-air}^*)t = U(T_{air} + \alpha \frac{G}{h_e} - T_{air} - \tau_v \alpha \frac{G}{h_e^*})t = U\alpha \frac{G}{h_e} (1 - \tau_v \frac{h_e}{h_e^*})t = \\ &= U K_v \alpha \frac{G}{h_e} t \quad (\text{Risparmio energetico sull'intervallo } t) \end{aligned}$$

2.4 Analisi proposta per un edificio presso ENEA CR Casaccia

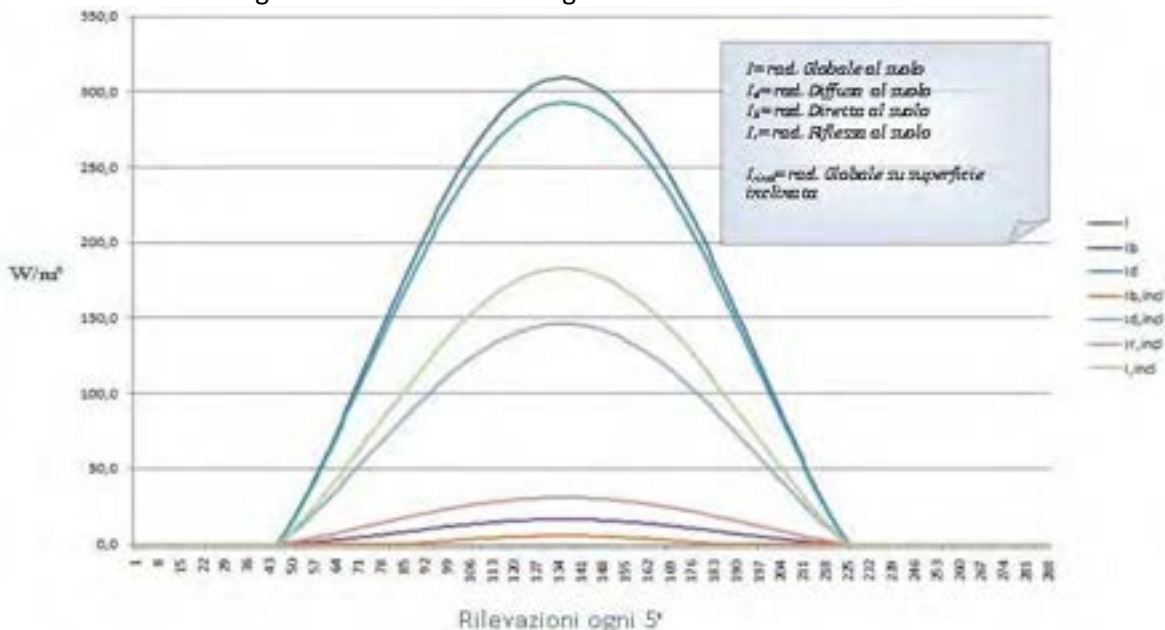
L'attività di UTEE-AGR ha preso in considerazione la raccolta di dati climatici all'interno del CR Casaccia al fine di effettuare prime valutazioni rispetto alle disponibilità di energia solare durante i diversi periodi dell'anno e per consentire di mettere a punto un sistema di monitoraggio climatico.

Radiazione solare

Consideriamo per esempio, la radiazione solare relativa ad un giorno del mese di Giugno (in particolare il 180° giorno dell'anno), per l'edificio oggetto di studio (Figura 1):

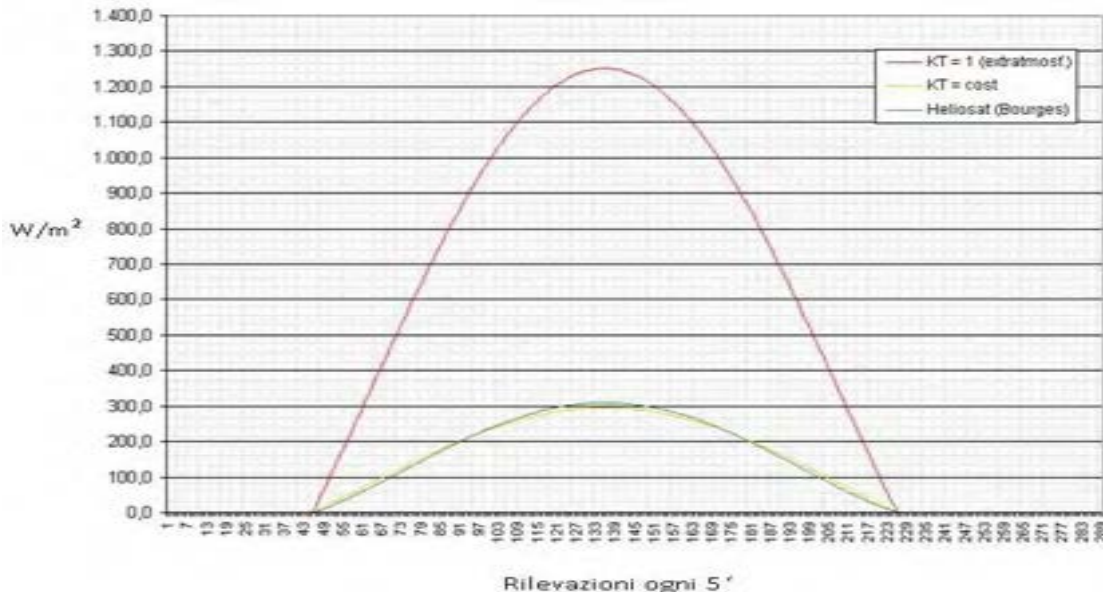
- Latitudine: 42°02'36" (latitudine del Centro Ricerche ENEA Casaccia).
- Longitudine: 12°18'28" (longitudine del Centro Ricerche ENEA Casaccia).
- Angolo azimut: 0 (angolo che definisce la posizione della superficie ricevente: in questo caso stiamo analizzando una parete esposta a Sud).
- Inclinazione (della parete) rispetto al piano orizzontale: 90°.

Figura 1 - Radiazione – una giornata del mese di GIUGNO-



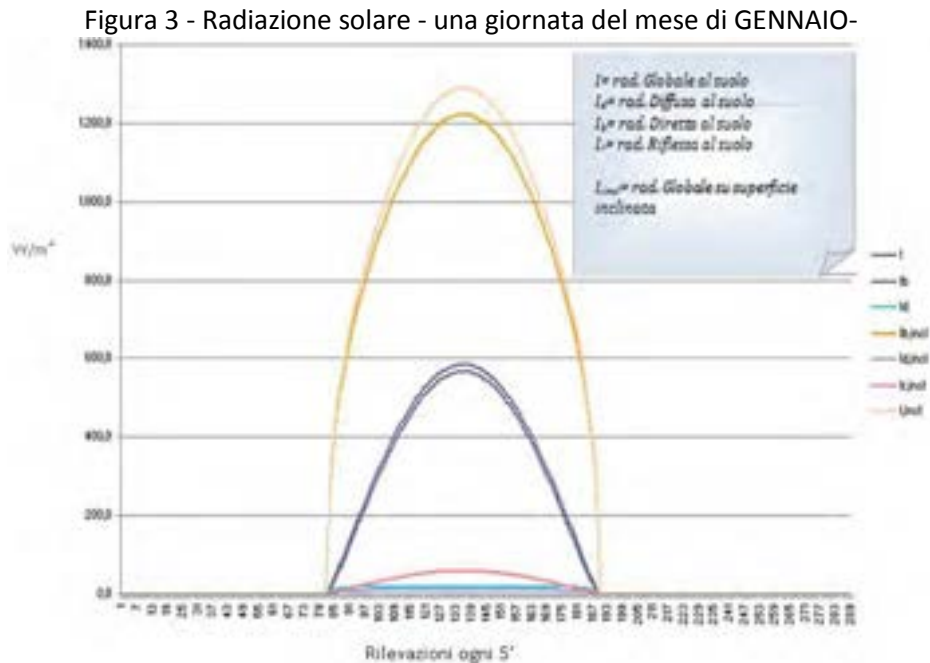
Il grafico di Figura 1 presenta i valori della radiazione solare al suolo e della radiazione solare incidente su una superficie (dalle caratteristiche precedentemente specificate) per un giorno del mese di Giugno (il giorno 180 dell’anno). Sull’asse delle ascisse abbiamo le rilevazioni ogni 5 min (in un giorno 288 osservazioni), mentre sulle ordinate abbiamo i valori della radiazione solare in W/m^2 . Il grafico ci permette di concludere che, in estate, la radiazione globale al suolo (range: 0-310 W/m^2) è molto più elevata della globale incidente sulla superficie (range: 0-180 W/m^2). Inoltre la radiazione diffusa al suolo è più elevata della rad. globale incidente sulla superficie. In entrambi i casi si ha una rad. globale che in ordine di grandezza è seguita dalla rad. diffusa. La radiazione diretta al suolo presenta valori molto bassi e inferiori a quelli relativi alla rad. riflessa sulla superficie. I valori più bassi in assoluto si hanno in corrispondenza delle radiazioni dirette sia per quella al suolo che per quella incidente su superficie. In generale la relazione che si può estrarre dal grafico è la seguente: Globale>Diffusa>(Riflessa)>Diretta. La Figura 2 mostra la radiazione extratmosferica e quella al suolo relativa alla località in cui è situato l’edificio oggetto di studio, per un giorno di Giugno.

Figura 2 – Radiazione extratmosferica e al suolo nel mese di GIUGNO



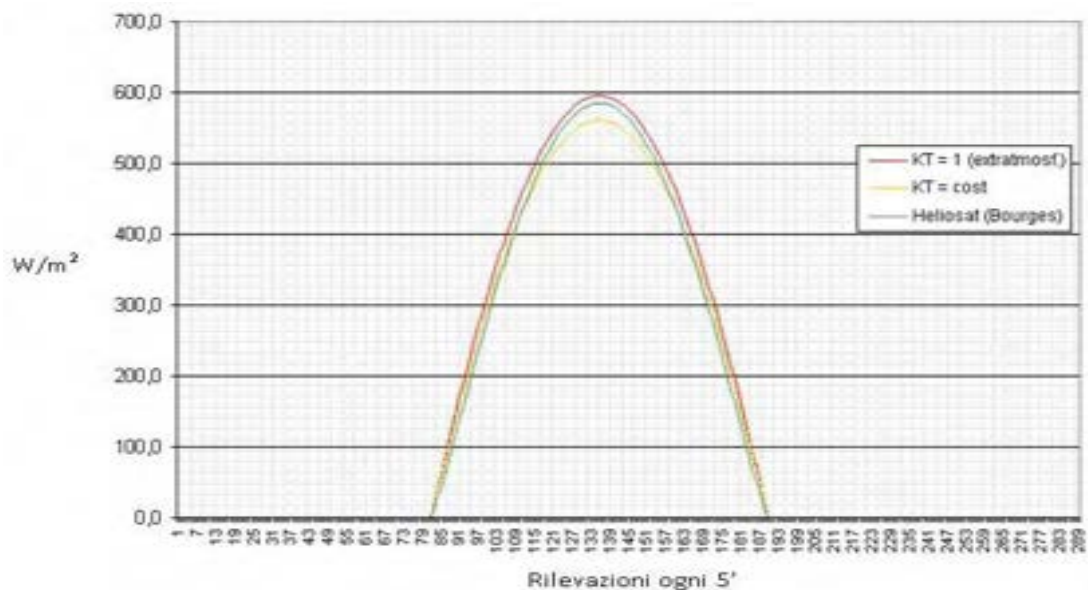
Il grafico riporta i valori dell'irraggiamento extratmosferico (K_T extratmosferico) e dell'irraggiamento al suolo (vengono riportati i valori di K_T al suolo, ottenuti tramite due modelli di calcolo differenti) per un giorno del mese di Giugno: notiamo che il flusso solare al livello extratmosferico è molto più elevato rispetto all'irraggiamento al suolo. Inoltre si può notare che il 180° giorno dell'anno (Giugno) sembra avere una durata di circa 15 ore.

Ripetiamo la stessa analisi per un giorno del mese di gennaio (il primo giorno dell'anno) (Figura 3).



Dal grafico è evidente che la radiazione più elevata in assoluto è quella globale sulla superficie (mentre nel caso precedente era la globale al suolo) e immediatamente dopo si trova la radiazione diretta sulla superficie, che invece nel caso precedente assumeva i valori più bassi tra tutte le radiazioni. E' possibile concludere che, d'inverno, la radiazione globale sulla superficie è maggiore rispetto alla globale al suolo; inoltre la radiazione diretta sulla superficie è maggiore rispetto alla riflessa e alla diffusa sulla superficie.

Figura 4 - Radiazione extratmosferica e al suolo (Gennaio)



Per quanto concerne le radiazioni al suolo, invece è possibile concludere che in un giorno invernale vale la seguente relazione: globale > diretta > diffusa. Il grafico nella Figura 4 mostra la radiazione extratmosferica e quella al suolo relativa alla località in cui è situato l'edificio oggetto di studio, per un giorno di Gennaio. Confrontando i due grafici di Figura 3 e Figura 4, è immediatamente evidente che l'irraggiamento extratmosferico in inverno assume valori molto più bassi rispetto ai valori che assume in estate; infatti per un giorno di Gennaio il valore massimo è di circa 600 W/m² mentre a Giugno il valore massimo supera i 1200 W/m². Nel mese di Gennaio la differenza fra irraggiamento extratmosferico e quello al suolo non così netta come per Giugno. Infine è possibile notare che il primo giorno dell'anno sembra avere una durata di circa 10 ore.

2.5 Proposte per la realizzazione di sistemi VGS-GR presso l'ENEA Casaccia

Sono state realizzate una serie di valutazioni tecniche con il fine ultimo di elaborare delle proposte applicative di sistemi VGS-GR. In particolare sono state prese in considerazione ipotesi di lavoro da sviluppare presso il CR ENEA Casaccia. Tale ipotesi sono state sviluppate principalmente mediante tavole di studio rappresentative di edifici interni sui quali realizzare le coperture vegetali (Ipotesi di studio 1, Ipotesi di studio 2, Ipotesi di studio 3: proposta di fattibilità progettuale per edifici dotati di coperture verdi). Per quanto riguarda i materiali vegetali, UTEE-AGR ha definito un quadro generale delle essenze vegetali di tipo rampicante suscettibili di impiego nei sistemi a parete per gli edifici in area mediterranea (Tabella 3). Contemporaneamente è stata avviata una sperimentazione mirata allo studio delle caratteristiche bio-agronomiche e fenotipiche di essenze vegetali e di substrati colturali per valutare anche l'impatto visivo. In particolare, la sperimentazione è stata focalizzata su materiali vegetali, substrati ed elementi strutturali di sostegno alla copertura vegetale. Sono stati scelti materiali vegetali adatti sia alla realizzazione di coperture a verde estensivo a tappeto erboso che di coperture a verde intensivo leggero utilizzabili anche come giardino pensile. Tali tipologie di coperture tuttavia hanno impatto diverso sia come carico sulla struttura dell'edificio che sul miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio. Elementi aggiuntivi presi in considerazione per la valutazione dei materiali biologici e strutturali sono: la manutenzione, la velocità di crescita della coltura, la resistenza nel tempo ai fattori climatici, l'impatto visivo. Di seguito si riportano le linee generali della sperimentazione in corso presso il CR ENEA Casaccia.

Verde estensivo orizzontale a tappeto erboso (spessore 10 – 15 cm totale)

Le specie vegetali oggetto di sperimentazione sono state scelte nell'ambito del genere *Sedum*. Il genere *Sedum* (famiglia Crassulaceae) comprende un vastissimo numero di specie diffuse in gran parte dell'Europa sia settentrionale che meridionale e in Italia si contano circa 30 specie diverse. Specie di *Sedum* sono già sperimentate per coperture pensili in climi continentali ma è necessaria la selezione di materiale adatto a climi caratterizzati da elevata piovosità invernale ed estati aride tipiche di ambienti mediterranei. Allo scopo, sono state scelte specie isolate da ambienti mediterranei (*S. acre* e *S. reflexum*). Questo gruppo di piante è caratterizzato da altezza molto ridotta (1-3 cm), resistenza a basse temperature, comportamento strisciante e capacità coprente in climi aridi. La sperimentazione ha lo scopo di valutare la rapidità di crescita e copertura simulando le condizioni di un edificio urbano al variare dei parametri climatici e condizioni colturali e in relazione all'utilizzo di substrati artificiali con aggiunta di ammendanti di origine biologica in grado di migliorare la fertilità e ridurre l'utilizzo di fertilizzanti e di acqua. E' stato inoltre avviato un programma di raccolta, riproduzione e valutazione sia di altre specie di *Sedum* che di piante succulente isolate da ambienti naturali mediterranei di possibile utilizzo per coperture.

Elementi per il sostegno della copertura vegetale

Sono in corso prove per la valutazione di combinazioni di materiali commerciali in grado di fornire supporto alla crescita delle piante oggetto di studio. Come sistema iniziale è in corso di utilizzazione una combinazioni di substrati granulari artificiali inerti del tipo Perlite mescolati a substrati misti contenenti

elementi inerti e organici oltre a fertilizzanti a lento rilascio (serie Agriterram™). Inoltre vengono testati come supporto di base elementi strutturali di materiali plastico delle serie Geoplast™ caratterizzati da vari livelli di resistenza a trazione e rottura, nonché dalla capacità di fornire supporto ed areazione al sistema piante-miscele di substrati. Per il Verde intensivo orizzontale leggero (spessore 16 cm + altezza pianta) sono state individuate un gruppo di piante aromatiche appartenenti alla famiglia delle Labiaceae e Composite riportate nella allegata Tabella 4.

Dalle prime valutazioni sul Verde estensivo orizzontale a tappeto erboso (spessore 10 – 15 cm totale) si è osservato che le specie *Sedum acre* e *Sedum reflexum* hanno una buona capacità di crescita e resistenza nelle condizioni sperimentali descritte, nelle stagioni primaverile – estiva. Inoltre si è visto che l'utilizzo di perlite espansa di granulometria 3 -5 mm è da preferire ai tipi di granulometria inferiore in quanto ha capacità di accumulo idrico più elevato. E' stata testata una miscelazione al 50% di perlite e substrati composti da Agriterram TVS, con uno spessore totale di 9 cm adagiata su un supporto che garantisce un cuscinetto di aria di 6 cm che ha mostrato buoni risultati per la crescita iniziale delle piante.

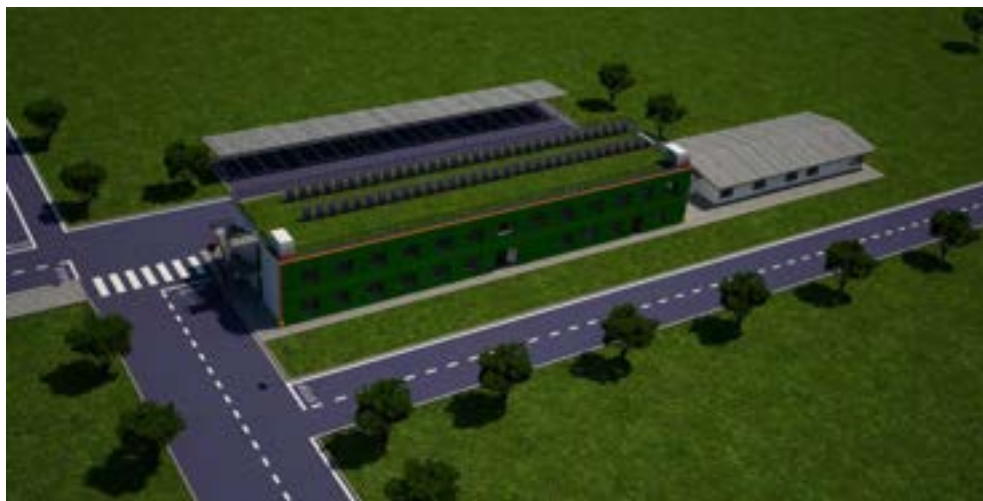


Particolari dell'attività di sperimentazione UTEE-AGR con essenze vegetali e substrati colturali



Coperture su terrazzo esterno e a parete

Ipotesi di studio 1. Proposta per sperimentazione su edificio presso il CR Casaccia

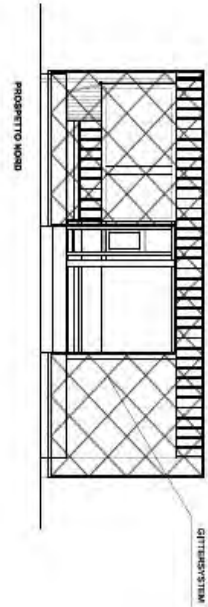
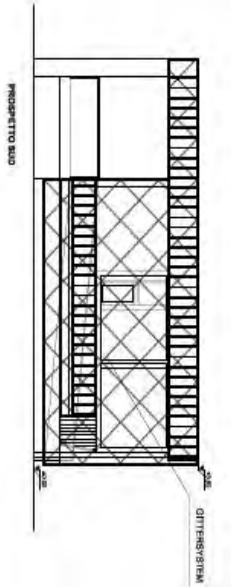
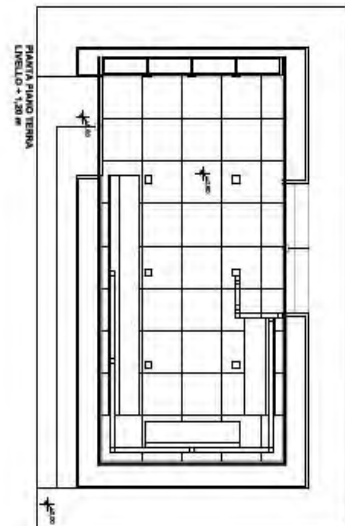


LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE DI UNA POSTAZIONE RISERVATA ALLA FERMATA DEGLI AUTOBUS IN ROMA LOCALITÀ CASACCIA

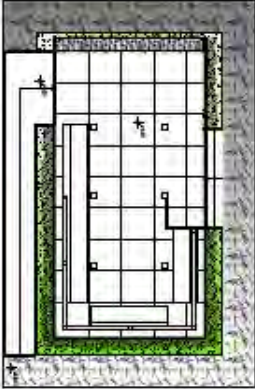
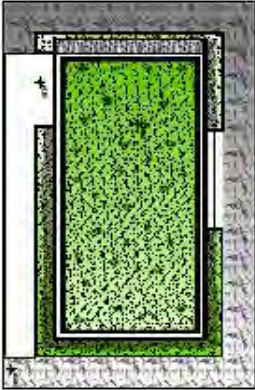
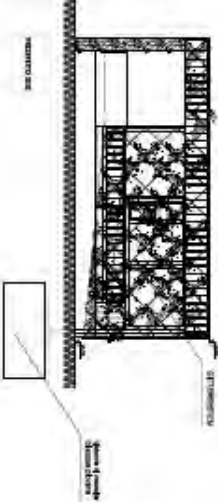
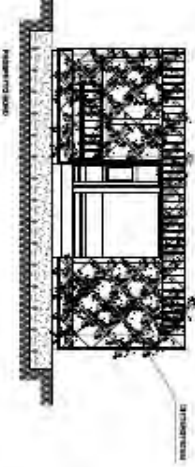
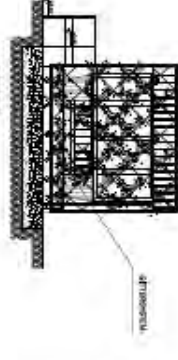




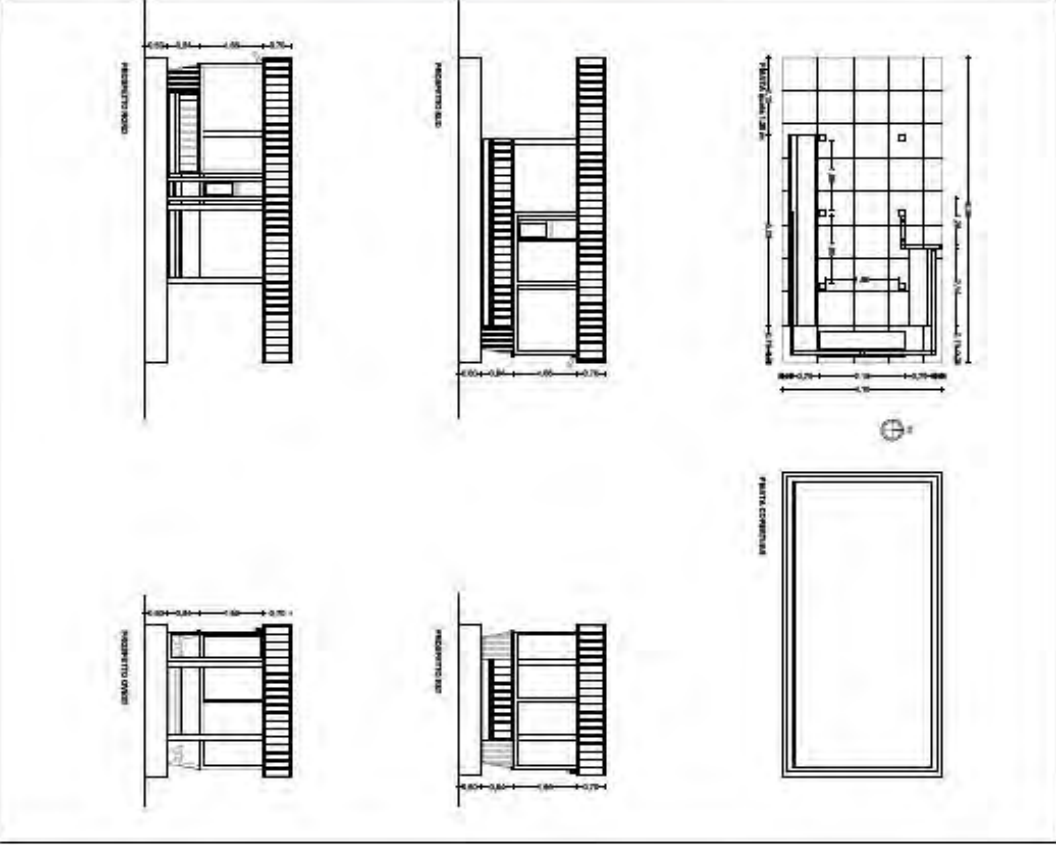
PROGETTO ARCHITETTONICO
PIANTE, PROSPETTI E PARTICOLARI
Staff ...
aprile 2012

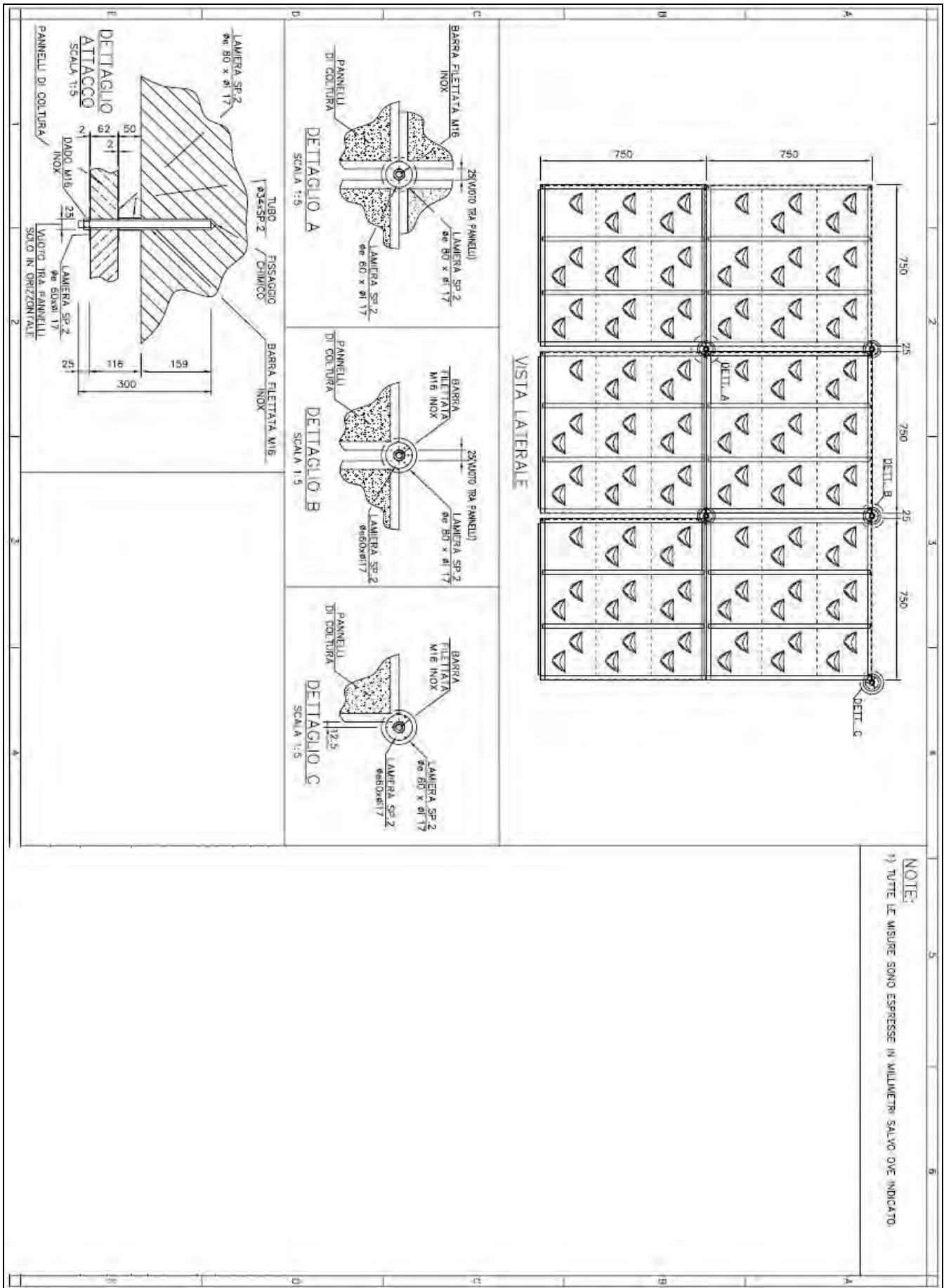
scala:	1:100
TAV.	1:50
	2.1

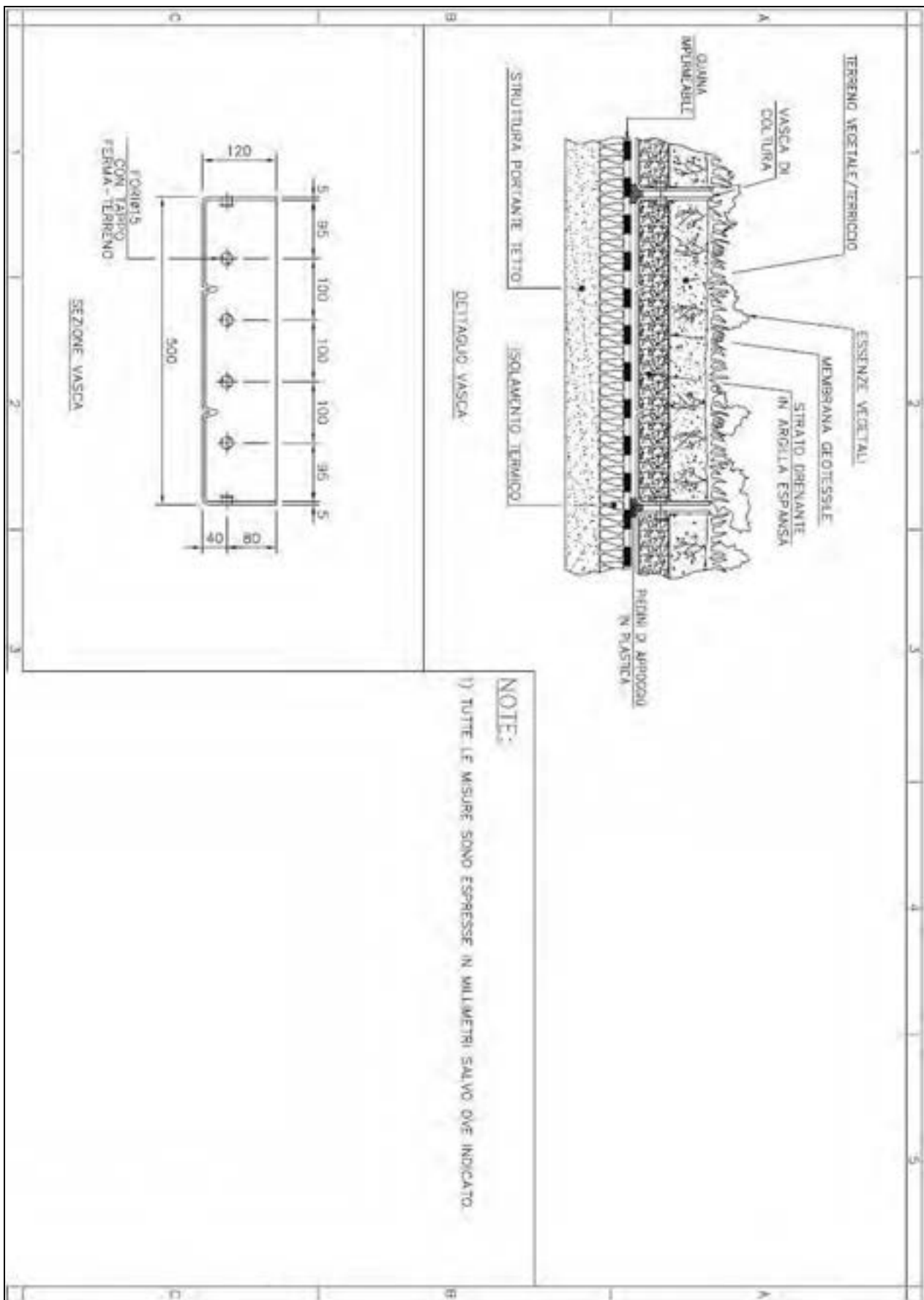


<p>PROGETTO DI MASSIMA</p> <p>LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE DI UNA POSTAZIONE RISERVATA ALLA FERMATA DEGLI AUTOBUS IN ROMA LOCALITÀ CASACCIA</p>		
<p>PROGETTO ARCHITETTONICO</p> <p>PIANTE E PROSPETTI</p> <p>Scala: _____</p> <p>aprile 2012</p>	<p>Scala:</p> <p>1:100</p> <p>TAV.</p> <p>2.2</p>	

 <p style="font-size: small;">Pianta piano terra CANTILE 2,00m</p>	 <p style="font-size: small;">Pianta copertura</p>	 <p style="font-size: small;">Elevazione SW CANTILE 2,00m</p>
 <p style="font-size: small;">Elevazione NE CANTILE 2,00m</p>	 <p style="font-size: small;">Elevazione SE CANTILE 2,00m</p>	 <p style="font-size: small;">Elevazione NW CANTILE 2,00m</p>

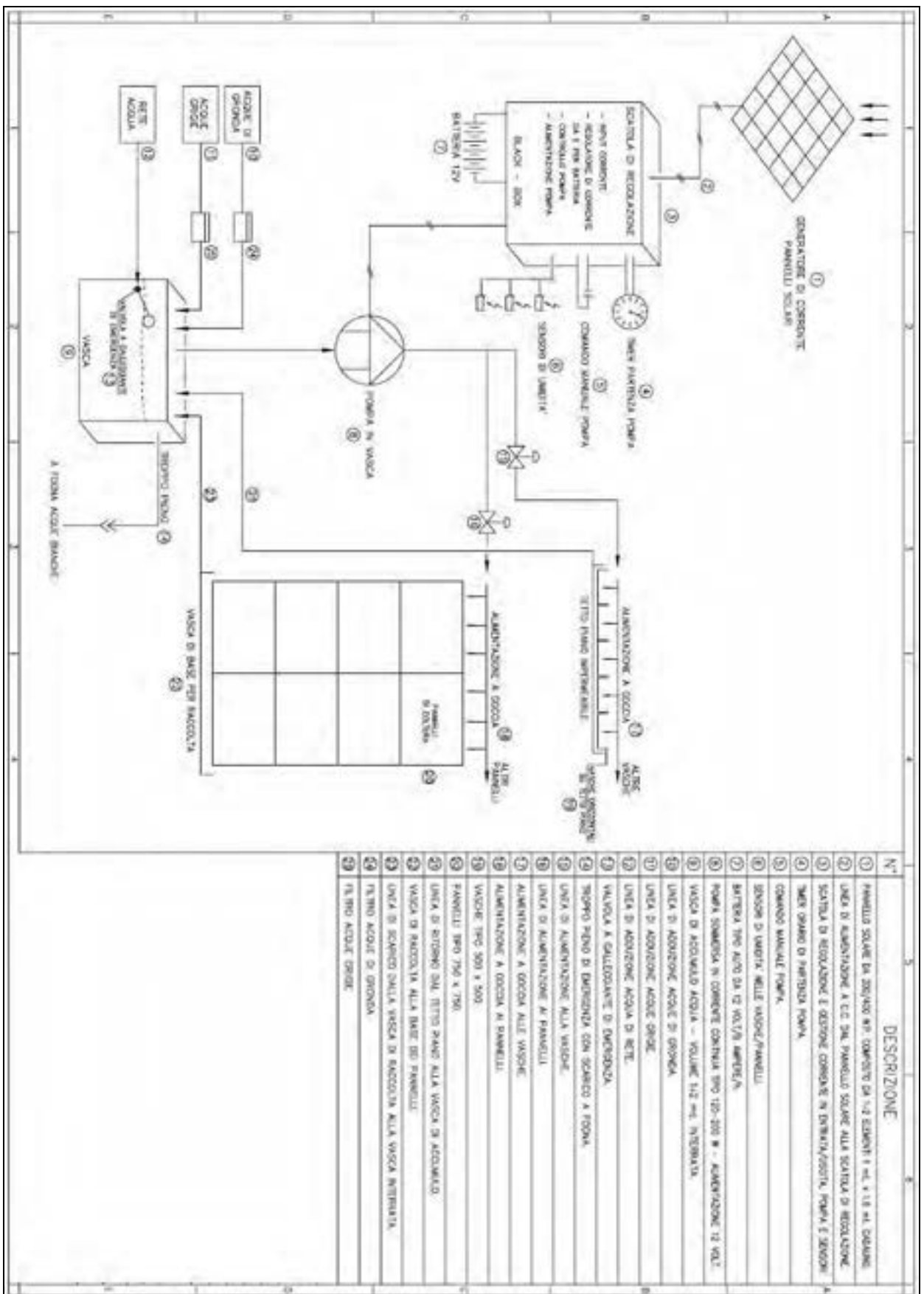
<p>PROGETTO DI MASSIMA LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE DI UNA POSTAZIONE RISERVATA ALLA FERMATA DEGLI AUTOBUS IN ROMA LOCALITÀ CASACCIA</p>		
<p>STATO DI FATTO</p> <p>PIANTE E PROSPETTI</p> <p>Scale ..</p> <p>aprile 2012</p>	<p>scolor</p> <p>1:100</p> <p>TAV.</p> <p>1.1</p>	





NOTE:

1) TUTTE LE MISURE SONO ESPRESSE IN MILLIMETRI SALVO OVE INDICATO.



N°	DESCRIZIONE
1	PANNELLO SOLARE DA 200/400 MM COMPRESO DA 1/2 SCHEMI E M.L. X 1.8 AL CHIAVILE
2	LINEA DI ALIMENTAZIONE A C.C. DAL PANNELLO SOLARE ALLA SCATOLA DI REGOLAZIONE
3	SCATOLA DI REGOLAZIONE E SEZIONE COMPRESI IN PIRANINA/ASSIOLA PIANA E SENSORI
4	TRINCO SCARICO DI PARTENZA PIANA
5	COMANDO MANUALE PIANA
6	SENSORI DI LIMITI NELLE VASCHE/PANNELLI
7	BATTERIA TRINCO DA 12 VOLTS/10 AMPERE/A
8	PIENA SONDAGLIA IN COPRONE CONTINUA 500 100-200 M. - ALIMENTAZIONE 12 VOLTS
9	VASCA DI ACCUMULO ACQUA - VOLUME 112 ML. INDETERMINATA
10	LINEA DI ALIMENTAZIONE ACQUA DI BORDO
11	LINEA DI ALIMENTAZIONE ACQUA DI RETE
12	VALVOLE A CALDEGGIANTE DI DIMENSIONI
13	TRINCO PIANO DI DIMENSIONI CON SCARICO A TROVA
14	LINEA DI ALIMENTAZIONE ALLA VASCA
15	LINEA DI ALIMENTAZIONE AI PANNELLI
16	ALIMENTAZIONE A TROVA ALLE VASCHE
17	ALIMENTAZIONE A TROVA AI PANNELLI
18	VASCHE 750 X 500 X 500
19	PANNELLI 500 X 750
20	LINEA DI RITORNO DAL TRINCO SCARICO ALLA VASCA DI ACCUMULO
21	VASCA DI RACCOLTA ALLA BATE DEI PANNELLI
22	LINEA DI SCARICO DALLA VASCA DI RACCOLTA ALLA VASCA INTERMEDIA
23	TRINCO ACQUA DI BORDO
24	TRINCO ACQUA DI RETE

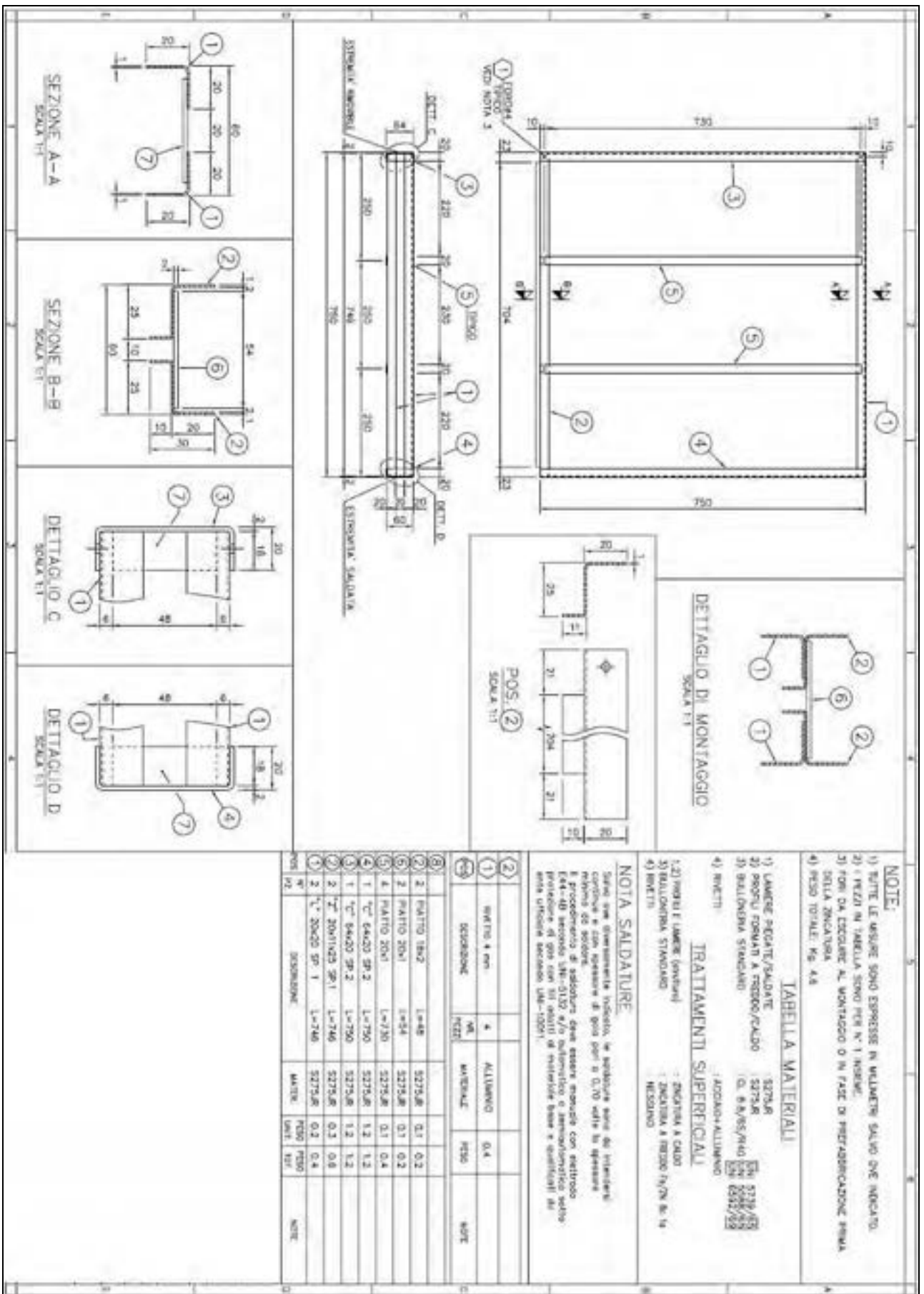


Tabella 3. INDAGINE SVOLTA DA UTEE-AGR SULLE ESSENZE VEGETALI PER GLI EDIFICI

Specie vegetale tipo rampicante	Famiglia	Provenienza	Tipologia	Fioritura	Colore fiori	Colore foglie	Altezza (m)	Esposizione
<i>Clematis armandii</i>	Ranunculacee	Cina	rampicante sempreverde	aprile	bianco	verde scuro lucide	10	mezz'ombra
<i>cv Apple blossom e Snow drift</i>)	Ranunculacee		rampicante sempreverde	aprile	rosa o bianco			mezz'ombra
<i>Clematis flammula</i>	Ranunculacee	Europa meridionale	rampicante deciduo resistente	giugno-settembre	bianco puro	verde chiaro	3	mezz'ombra
<i>Clematis orientale</i>	Ranunculacee	Caucaso, Cina Himalaya	rampicante deciduo vigoroso	luglio settembre	giallo	verde chiaro	6	mezz'ombra
<i>Clematis tangutica</i>	Ranunculacee	Cina	rampicante deciduo vigoroso	luglio-settembre	giallo intenso	grigio-verde	6	mezz'ombra
<i>Clematis vitalba</i>	Ranunculacee	Europa	rampicante deciduo invasivo	luglio-agosto	bianco verdastri	Verde con striature di rosa	6	mezz'ombra
<i>Clematis viticella</i>	Ranunculacee	Europa meridionale	rampicante deciduo e robusto	luglio settembre	violetto o rosa porpora	verde scuro	5	mezz'ombra
<i>Varietà Abundance</i>	Ranunculacee				porpora chiara			
<i>Varietà Alba luxurians</i>	Ranunculacee				bianco sfumati di malva			
<i>Varietà Blu Bell</i>	Ranunculacee				blu violetto scuro			
<i>Varietà Etoile violette</i>	Ranunculacee				viola	verde chiaro		
<i>Varietà kermesina</i>	Ranunculacee				rosso porpora			
<i>Varietà Little Nell</i>	Ranunculacee				crema soffusi di malva			
<i>Varietà purpurea Plena</i>	Ranunculacee				magenta			
<i>Varietà Royal Velours</i>	Ranunculacee				porpora intenso			

Specie vegetale tipo rampicante	Famiglia	Provenienza	Tipologia	Fioritura	Colore fiori	Colore foglie	Altezza (m)	Esposizione
<i>Bougainvillea glabra</i>	Nictaginaceae	Zone tropicali e subtropicali america meridionale	rampicante vigoroso a foglie decidue	agosto-ottobre	bianco-giallognolo	verde chiaro	6-8	pieno sole
<i>Bougainvillea spectabilis</i>	Nictaginaceae	Zone tropicali e subtropicali america meridionale	rampicante vigoroso	giugno-settembre	rosa magenta	verde scuro	10	pieno sole
<i>Wisteria sinensis</i>	Fabacee	Cina, giappone, Corea e America	rampicante vigoroso robusto	aprile-	azzurro-lilla o malva	verde brillante in primavera	10-20	pieno sole
<i>Hedera canariensis</i>	Araliacee	Isole Canarie, Africa del nord	rampicante rustico sempreverde	giugno luglio		sfumature di verde	4-6	pieno sole-
<i>Hedera helix</i>	Araliacee	Zone temperate dell'Europa	rampicante rustico sempreverde	giugno luglio	infiorescenze verdognole	verde scuro lucido con macchie argentee lungo le nervature	15-20	pieno sole-mezz'ombra
<i>Varietà Cavendishii</i>	Araliacee					verde con macchie bianche	2	
<i>Varietà Emerald Green</i>	Araliacee					verde brillante		
<i>Varietà Pink Oak</i>	Araliacee					foglie a mezza stella su fusti rossastri		
<i>Varietà Aureo-variegata o Chrysophylla</i>	Araliacee					gialle o variegata gialle con tendenza al verde		
<i>Varietà Gold Heart o Jubilee</i>	Araliacee					verde scuro parte centrale dorata (foglie piccole)		
<i>Varietà Minor e Minima</i>	Araliacee					(foglie minute)		
<i>Varietà Silver Queen o Marginata</i>	Araliacee					grigio o azzurro-verdastro con margini bianco-crema, che in inverno diventano rosa;		

Specie vegetale tipo rampicante	Famiglia	Provenienza	Tipologia	Fioritura	Colore fiori	Colore foglie	Altezza (m)	Esposizione
<i>Varietà Tricolor o Marginata-rubra</i>	Araliacee					verdi con margini bianchi che, in autunno, diventano rosa-rosso carico		
<i>Varietà Sagittaeifolia</i>	Araliacee					foglie pentalobate		
<i>cv "Digitata"</i>	Araliacee					foglie pentalobate		
<i>Varietà "Discolor"</i>	Araliacee					foglie piccole macchiate di rosso e crema		
<i>Varietà Cristata</i>	Araliacee					foglie leggermente increspate.		
<i>Hedera colchica o amurensis</i>	Araliacee	Iran	Rampicante sempreverde vigoroso e rustico	giugno luglio	Infiorescenze gialline	grandi foglie verde scuro variegata verdechiaro con macchie e margine bianco crema, "dentata" con sfumature purpurea	6-9	pieno sole-mezz'ombra
<i>Hedera hibernica o scotica</i>	Araliacee	Isole Canarie, Asia Minore	rampicante sempreverde vigoroso e rustico	giugno luglio		verdi con macchie bianco crema (varietà maculata)		pieno sole-mezz'ombra
<i>Hedera himalaya</i>	Araliacee	Himalaya	Rampicante sempreverde vigoroso	giugno luglio		Verde scuro-verde chiaro, presenza di eterofilia: differenza di forma tra rami giovani (pennato-lobato) e adulti (oblungo-lanceolate)	4-5	pieno sole-mezz'ombra

Specie vegetale tipo rampicante	Famiglia	Provenienza	Tipologia	Fioritura	Colore fiori	Colore foglie	Altezza (m)	Esposizione
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (vite del Canada)	Vitaceae	Canada (aree sud orientale)	Rampicante deciduo vigoroso resistente	giugno (Insignificante)	Infiorescenze bianche	verde in primavera e estate, rosso acceso in autunno	20	pieno sole, leggera ombra
<i>Parthenocissus tricuspidata*</i> (vite americana)	Vitaceae	Giappone e Cina	Rampicante deciduo rustica	maggio giugno	Infiorescenze bianco-verde	sfumature scarlatte e cremisi in autunno	20	pieno sole leggera ombra
<i>Varietà Green Spring</i>	Vitaceae					verde brillante con striature di rosso sulla pagina superiore		pieno sole leggera ombra

Specie vegetale tipo rampicante	Famiglia	Provenienza	Tipologia	Fioritura	Colore fiori	Colore foglie	Altezza (m)	Esposizione
<i>Varietà Lowii</i>	Vitaceae					Purpuree allo stato giovanile		pieno sole leggera ombra
<i>Varietà Veitchii</i>	Vitaceae					sfumate di viola In primavera, scarlatte e cremisi in autunno		pieno sole leggera ombra
<i>Varietà Veitchii robusta</i>	Vitaceae		rampicante più resistente e vigoroso rispetto alle altre varietà			Verde intenso in estate in rosso fuoco in autunno		pieno sole leggera ombra
<i>Parthenocissus thompsonii</i>	Vitaceae	Giappone e Cina	Rampicante deciduo dai fusti legnosi	Giugno luglio	Piccoli insignificanti	colorazione particolare in ombra parziale (bacche color nero)	10	pieno sole leggera ombra
Parthenocissus himalayana	Vitaceae	Himalaya	varietà semirustica e rampicante	Giugno luglio	fiori giallo verde, frutti piccoli blu	diverse varietà di rosso in autunno	18	pieno sole leggera ombra
<i>Vitis coignetiae</i>	Vitaceae .	Asia in particolare Corea e Giappone	Rampicante deciduo vigoroso	Giugno luglio	rosso ruggine	Porpora e cremisi in autunno foglie più grandi di quelle di una vite	6-10	pieno sole leggera ombra
<i>Lonicera x brownii:</i>	Caprifoliacee	America settentrionale, Europa	Rampicante sempreverde vigoroso	giugno e settembre	infiorescenze di colore rosso scarlatto	verde tendente al celeste azzurro	3-5	pieno sole leggera ombra

Specie vegetale tipo rampicante	Famiglia	Provenienza	Tipologia	Fioritura	Colore fiori	Colore foglie	Altezza (m)	Esposizione
<i>Lonicera etrusca</i>	Caprifoliacee	Europa meridionale	semirustica a portamento rampicante	maggio luglio	germogli di colorazione rossa e fiori gialli	foglie verdi tendente al celeste	5-7	pieno sole leggera ombra
<i>Lonicera caprifolium</i> (madreselva)	Caprifoliacee	Italia	Rampicante deciduo robusto	maggio luglio	giallo crema con sfumature rosa	foglie verdi tendente al celeste	7	pieno sole leggera ombra
<i>Lonicera hildebrandiana</i>	Caprifoliacee	Birmania	rampicante vigoroso	giugno-agosto	fiori a grappolo giallo-crema e arancione a maturità	foglie verdi tendente al celeste	20	pieno sole leggera ombra
<i>Lonicera sempervirens</i>	Caprifoliacee	Regioni meridionali dell'America Settentrionale	portamento rampicante	giugno e agosto produce fiori	rosso scarlatto all'esterno, giallo-arancio all'interno	foglie verdi tendente al celeste	6-7	pieno sole leggera ombra
<i>Lonicera x tellmanniana</i> :	Caprifoliacee	Europa	Rampicante deciduo semirustica	maggio luglio	fiori giallo e rosso	foglie verdi tendente al celeste	7	pieno sole leggera ombra
<i>Lonicera tragophylla</i>	Caprifoliacee	Cina	rampicante semirustica	giugno-luglio	giallo-oro in mazzetti terminali	verde scuro la pagina superiore, bianco azzurro la inferiore	6	mezza ombra

Specie vegetale tipo rampicante	Famiglia	Provenienza	Tipologia	Fioritura	Colore fiori	Colore foglie	Altezza (m)	Esposizione
<i>Lonicera implexa</i> Aiton	Caprifoliacee	Mediterraneo (area dell'olivo)	rampicante sempreverde	maggio giugno	Crema tendente al rosso	Verde chiaro	2	pieno sole
<i>Lonicera etrusca</i> Santi	Caprifoliacee	Mediterraneo	rampicante deciduo	maggio luglio	rosa acceso tendente al rosso	Verde tendente al celeste	6-7	pieno sole
<i>Trachelospermum jasminoides</i>	Oleaceae	Cina	rampicante sempreverde	aprile giugno	bianco molto profumati	Verde scuro	7	pieno sole mezz'ombra
<i>Jasminum nudiflorum</i>	Oleaceae	Cina	rampicante deciduo rustico	novembre-Aprile	giallo	foglie lisce verde scuro	3	Pieno sole
<i>Jasminum beesianum:</i>	Oleaceae	Cina	Rampicante sempreverde	Luglio-Agosto	rosa rosso	foglie lanceolate,opposto verde-verde chiaro	5	Pieno sole
<i>J. grandiflorum</i>	Oleaceae	India	rampicante	estate	rosa appena sbocciati, poi bianco	Verde intenso	3	Pieno sole Leggera ombra
<i>J. Officinale</i> (detto gelsomino bianco)	Oleaceae	Area del Caucaso, Iran		giugno-ottobre	Bianco puro	Verde chiaro	10-15	pieno sole
<i>J. azoricum</i>	Oleaceae	Azzorre	arbusti rampicanti	estate	bianco e a firma di stelle	Verde smeraldo	10	Pieno sole
<i>J. stephanense</i>	Oleacee	Cina	Rampicante deciduo	giugno	rosa chiaro	verde scuro(pagina superiore) verde chiaro (inferiore)	4-8	Pieno sole mezz'ombra
<i>J. sambac</i>	Oleacee	India	rampicante sempreverde	giugno ottobre	Variabile bianco giallo	Verde intenso	4	pieno sole
<i>Aristolochia macrophylla</i>	Aristolochiacee	America Settentrionale	rampicante sempreverde	giugno agosto	fiori a calice verde -giallo con lembo violaceo	Verde scuro con riflessi bluastri	5	A mezz'ombra
<i>Bignonia capreolata**</i>	Bignoniaceae	sud-est Stati Uniti	rampicante vigoroso	giugno agosto	arancio-rossi con lobi giallo	verde lucido primavera estate, rosse in autunno		luminosa0
<i>Actinidia kolomicta</i>	Actinidiaceae	Cina, Nuova Zelanda	rampicante deciduo resistente	giugno agosto	bianco-giallastri	verde scuro con estremità pennellate di bianco e rosa	4	pieno sole o parziale ombra
<i>Rosa sempervirens</i>	Rosaceae	mediterraneo	rampicante sarmentosa	giugno luglio	bianchi	Verde scuro	4	pieno sole

Specie vegetale tipo rampicante	Famiglia	Provenienza	Tipologia	Fioritura	Colore fiori	Colore foglie	Altezza (m)	Esposizione
<i>Varietà Aimée Vibert</i>	Rosaceae		rampicante deciduo	agosto ottobre	Bianco puro (fiori doppi)	verde chiaro	4,5	pieno sole leggera ombra
<i>Varietà Climbing Etoile de Holland</i>	Rosaceae		rampicante deciduo	2 fioriture maggio e agosto settembre	Rosso (fiori liberi e doppi)	verde chiaro	4,5	pieno sole leggera ombra
<i>Varietà Climbing lady hillington</i>	Rosaceae		rampicante deciduo	luglio agosto	Giallo albicocca (fiori semidoppi)	verde chiaro	4,5	pieno sole leggera ombra
<i>Varietà Mermaid</i>	Rosaceae		rampicante robusta ideale per muri	Più fioriture annuali	giallo primula (fiori singoli profumati)	verde chiaro	6	pieno sole leggera ombra

Specie per coperture a verde per intensivo leggero	Famiglia	Distribuzione	Tipologia	Fioritura	Fiori	Foglie	Altezza (cm)	esposizione
<i>Tymus capitatus</i>	Labiataeae	Regione mediterranea	Arbustivo perenne sempreverde	maggio settembre	Capolini Color porpora	Foglie strette di 2 misure	20-50	soleggiata
<i>Tymus vulgaris</i>	Labiataeae	Mediterraneo	Arbustivo sempreverde	aprile luglio	Capolini di colorazione variabile da porpora al bianco	Strette	10-30	soleggiata
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Labiataeae	Mediterraneo	Arbustivo perenne	gennaio giugno	Infiorescenze di colore blu-lilla	Strette e lunghe	150	soleggiata
<i>Lavanda angustifolia</i>	Labiataeae	Regione mediterranea	Arbustivo sempreverde	giugno agosto	Infiorescenze lilla	Lunghe e strette	100	soleggiata
<i>Lavandula stoechas</i>	Labiataeae	Mediterraneo	Arbusto perenne sempreverde	marzo giugno	In spighe di color porpora	Foglie strette	100	soleggiata
<i>Helicrysum italicum</i>	Compositae	Mediterraneo	Arbusto perenne	aprile maggio	Capolini di colore giallo ocre	Strette lunghe	20-25	soleggiata

3 Conclusioni

L'attività di UTEE-AGR è stata sviluppata con l'obiettivo generale di definire i modi tecnici per valutare l'efficienza energetica di edifici dotati di coperture vegetali, i sistemi e i processi biologici e fisiologici di essenze vegetali per aumentare l'efficienza energetica degli edifici. Il rapporto presenta una breve illustrazione delle caratteristiche e dei possibili benefici dei VGF-GR associati oltre che alla dimensione visiva conseguente alla copertura di edifici con essenze vegetali anche ai possibili vantaggi di ordine climatico dovuti alla coltivazione di piante in ambienti urbani. Vengono descritte, inoltre, le attività finora sviluppate da UTEE-AGR sia a supporto della collaborazione con le Università di Pisa e di Bari e sia per la realizzazione di un edificio-prototipo munito di sistemi VGF-GR. In particolare, l'obiettivo finale mira alla definizione quantitativa e qualitativa dei parametri indispensabili per arrivare alla stesura finale di linee guida finalizzate a sostenere operativamente la scelta e l'applicazione delle strutture di sostegno, dei metodi di applicazione e delle specie vegetali rispetto all'applicazione su parete (VGS) o terrazzo (GR) e alla fascia climatica. Il rapporto tecnico riporta lo sviluppo di un modello matematico per definire gli effetti delle piante sui flussi energetici degli edifici in termini di riduzione della temperatura nei periodi estivi e di protezione dell'edificio da potenziali inquinanti. A questo proposito, il modello ha preso in considerazione lo sviluppo teorico del parametro "*Green Factor*", in accordo con la bibliografia esistente e la definizione di un quadro generale relativamente alle essenze vegetali suscettibili di impiego come sistemi VGS-GR negli edifici localizzati in aree climatiche mediterranee. Il rapporto tecnico riporta anche la descrizione tecnica di possibili interventi da sviluppare all'interno del Centro Ricerche ENEA Casaccia, con un elenco di tavole tecniche con la descrizione degli elementi di carattere strutturale ed energetico da considerare nella realizzazione di interventi con VGF-GR e la descrizione delle prove sperimentali in corso di realizzazione mirate sia alla definizione di un sistema di monitoraggio climatico dei parametri solari e sia alla individuazione delle specie vegetali e dei substrati di coltivazione da utilizzare per la realizzazione di un edificio-prototipo. La raccolta di dati operativi mediante la realizzazione di edifici-prototipo e di sperimentazioni rappresentano un elemento indispensabile sia ai fini della valutazione del modello matematico proposto e sia per definire le migliori caratteristiche biologiche, l'architettura vegetale e le disposizioni di crescita nei confronti del *Green Factor*. A questo proposito, i prodotti previsti dallo sviluppo successivo dell'attività di ricerca di UTEE-AGR sono in prima analisi configurabili come segue:

- 1) Individuazione dei principali parametri microclimatici e fisiologici che definiscono un sistema VGR-GR.
- 2) Raccolta di dati inerenti il miglioramento dell'efficienza energetica, il risparmio energetico e i costi economici di un edificio dotato di sistemi VGR e/o GR.
- 3) Sviluppo di sistemi, tecniche e tecnologie di accrescimento vegetale su superfici verticali e/o orizzontali.
- 4) Data-base di specie vegetali adatte ai differenti microclimi delle aree italiane per i sistemi VGR e GR, con particolare attenzione ai valori di "*Green Factor*"
- 5) Elaborazione di parametri tecnici e tecnologie per lo sviluppo di una certificazione energetica specifica per edifici muniti di coltri vegetali verticali e/o orizzontali.

4 Riferimenti bibliografici

1. S. Stevovic, D. Vasilski, "Plants in Architecture and their Integrative Role in Energy Efficacy". Proceedings REAL CORP 2009 Tagungsband, 22-25 April 2009, Sitges. <http://www.corp.at>. ISBN: 978-39502139-6-6 (CD-ROM); ISBN: 978-39502139-7-3. Editors: Manfred SCHRENK, Vasily V. POPOVICH, Dirk Engelke, Pietro ELISEI.
2. NH. Wong, Y. Chen, CL. Ong, A. Sia. "Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment". *Building and Environment*, 2003, 38: 261–270.

3. F. Ariaudo, G.V. Fracastoro, G.Vincenzo, “Il verde parietale come elemento di controllo dei carichi termici”, in “Il Progetto Sostenibile Sostenibile”, 2007, 56 , n. 15, pp. 56- -65.
4. G. Dall’O’, A. Galante, “Abitare sostenibile”, 2010, Pagg. 30-45. Il Mulino. ISBN 978-88-15-13702-9.
5. E. Oberndorfer, J. Lundholm, B. Bass, R. R. Coffman, H. Doshi, N. Dunnett, S. Gaffin, M. Köhler, K. K. Y. Liu and B. Rowe, “Green Roofs as Urban Ecosystems”, Ecological Structures, Functions, and Services. Bioscience, 2007, Vol. 57 No. 10, pagg.823-833.
6. European Greenbuilding Programme, GBP Partner Guidelines, V 2.2, March 2009.
7. V. Santi. 2007-2008. “Gli strumenti normativi inerenti l’uso del verde in copertura e in facciata”, 2007-2008, Pagg. 1-19.ARTEC | IUAV, 2007-2008.
8. Y.A. Cengel, “Heat Transfer”, 2nd ed., McGraw-Hill, 2003.
9. M.A. Cucumo, V. Marinelli, G. Oliveti, Ingegneria Solare, Pitagora Editrice Bologna, 1994.
- 10.C. Campiotti, C. Bibbiani, G. Alonzo, G. Giagnacovo, R. Ragona, C. Viola, “Green roofs and façades agriculture (GRF) for supporting building energy efficiency”, Journal of Sustainable Energy, 2011, Vol. II, N° 3, September, 2011.
11. F. Ariaudo, G.V. Fracastoro, S. Corgnati. “Cooling Load reduction by green walls”. Politecnico di Torino Dipartimento di Energetica. Seminario in ppt, Barge, 08.09.2008.

5 Abbreviazioni ed acronimi

BRE: Building Research Establishment

BREEAM: Building research establishment environmental assessment method

CE: Conducibilità elettrica

Chorotopes: climi rurali

GBMD: Green Building Module Documents

GBP: Green Building Programme

GR: Tetto verde (Green Roof)

Green Factor: Costante verde

LAI : Leaf Area Index (Espansione fogliare)

LEED: Leadership in Energy and environmental design

PAR: Photosintetically Active radiation, 400-700 nm

pH : misura dell’acidità oppure dell’alcalinità di una soluzione nutritiva

Poleotopes : climi cittadini

UHI: Urban Heat Island

USGBC: U.S. Green Building Council

UVA: Ultraviolet light, 320-380 nm

UVB: Ultraviolet light , 280-320 nm

VGS: Parete verde (Vertical Greenery System)

World GBC: World Green Building Council