

## **2. ATTIVITA' SPERIMENTALE**

### **2.1. DESCRIZIONE DEL PROTOTIPO**

La struttura portante del prototipo GENERA è costituita da profili scatolari in ferro e le pareti sono interamente in vetro di spessore 3 cm. In copertura sono posizionati l'impianto fotovoltaico ed il giardino pensile, che occupano rispettivamente una superficie di 62 mq e 59 mq. Le dimensioni misurate dell'edificio sono 13,7 m x 8,8 m e la copertura è costituita da una unica falda inclinata, nel punto più basso è alta 3,20 m, nel punto più alto 3,75 m.



**Figura 2-1: Esterno prototipo GENERA**

### 2.1.1. VERDE PENSILE

La copertura del prototipo GENERA è adibita a tetto verde, per un superficie di 59 m<sup>2</sup>. Tale superficie è contornata dai pannelli di un impianto fotovoltaico da 8,36 kWp. La realizzazione del giardino pensile rispetta pienamente le linee guida proposte dell'organizzazione tedesca FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau) che rappresentano uno standard internazionale di buona pratica sulla progettazione, realizzazione e manutenzione del verde pensile e la UNI 11235 che è il riferimento normativo italiano. Si tratta di un tetto verde di tipo estensivo ottenuto tramite la piantumazione di specie termofile, abbastanza resistenti all'aridità, che richiedono una manutenzione molto ridotta (generalmente 1-2 volte all'anno) rispetto alla tipologia di "verde intensivo", che prevede l'utilizzo di grandi spessori di suolo e manutenzione più frequente. La tipologia vegetata prevalente utilizzata per il tetto verde del prototipo GENERA è il *sedum*, pianta erbacea con limitato sviluppo in altezza, che richiede minima manutenzione e con buone caratteristiche in termini di velocità di radicamento, di ombreggiatura, resistenza alla siccità ed al gelo e con buona autorigenazione. Il *sedum* è caratteristico anche per avere un elevato LAI, ovvero il Leaf Area Index (indice di area fogliare), che rappresenta il rapporto tra la superficie totale dell'area fogliare con l'area della proiezione della pianta sull'orizzontale. È un valore adimensionale, ma più correttamente è espresso in mq di fogliame su mq di suolo (m /m ). Sono state piantumate anche altre tipologie vegetali a scopo ornamentale che presentano caratteristiche simili a quelle del *sedum* . Le stratigrafie di un tetto verde estensivo sono di dimensioni inferiori rispetto a quelle di un tetto verde intensivo, generalmente il peso delle stratificazioni è compreso tra i 90 e i 150 kg/mq, definiti in condizioni di massima saturazione idrica. Sul prototipo GENERA sono state installate le seguenti stratificazioni dalla superficie alla struttura portante:

- essenze vegetali ( descritte in precedenza)
- substrato minerale vulcanico (substrato colturale) spessore 5 cm
- lapillo vulcanico LV 5/10 ( elemento drenante e filtrante) spessore 10 cm.
- materassino drenante (elemento di protezione meccanica) spessore 2 cm.
- guaina impermeabilizzante (elemento impermeabilizzante della copertura)
- pannello tipo ISOPAN spessore 6 cm

Lo spessore complessivo del pacchetto è di circa 15 cm, considerata la compenetrazione tra il substrato colturale ed il lapillo vulcanico sottostante, utile per incrementare la filtrazione ed il drenaggio dell'acqua . Il sistema vegetativo, grazie alla sua capacità di evapotraspirazione e di risalita capillare stimola l'evaporazione dell'acqua incidente (meteorica ed irrigua) amplificando l'effetto di raffrescamento circostante.

Il sistema vegetativo realizzato ha inoltre le seguenti caratteristiche :

- Stimolo allo sviluppo dell'apparato radicale.
- Prevenzione di compattazione del substrato.
- Mantenimento dell'infiltrazione idrica.
- Mantenimento dell'aerazione del substrato.
- Mantenimento della struttura del substrato.
- Drenaggio dell'acqua in eccesso / prevenzione da saturazione idrica.

- Miglioramento degli scambi di aria e di acqua tra il terreno e l'atmosfera.
- Capacità di scambio cationico

All'interno del sistema vegetativo sono inseriti dei profili drenanti che servono ad evitare lo slittamento delle stratigrafie, ad ancorare l'impianto di irrigazione ed a permettere il flusso dell'acqua accumulata dalla porzione verde verso lo strato umidificante posato sotto il pannello fotovoltaico, al gocciolatoio in lamiera zincata, al misuratore ed infine alla zona di accumulo. Di seguito sono riportate alcune immagini delle fasi di costruzione e realizzazione del tetto verde.



**Figura 2-2: Posa del substrato colturale.**



**Figura 2-3: Zonizzazione delle essenze vegetali.**



**Figura 2-4: Piantumazione delle essenze nel substrato culturale.**

L'evapotraspirazione del tetto verde del prototipo GENERA permette un'unione armonica tra le tecnologie impiegate. Grazie alle caratteristiche proprie delle piante presenti, si viene a creare un micro-clima locale con temperature più basse, in cui aumenta la produzione di energia elettrica dei pannelli fotovoltaici. Una parte del presente studio sarà dedicata all'approfondimento di questa tematica.

è una forma di condizionamento naturale dell'ambiente interno, che consiste nel processo di asportazione di calore dal tetto attraverso l'attività metabolica delle piante, cui contribuisce in modo significativo anche la capacità di ritenzione idrica dei materiali impiegati per il substrato e lo strato drenante. Tale effetto viene ulteriormente amplificato attraverso il sistema controllato di raffreddamento superficiale dei pannelli fotovoltaici e di sub-

irrigazione del verde pensile. Di seguito sono riportate alcune immagini dell'integrazione delle tecnologie in copertura.



**Figura 2-5: Integrazione delle tecnologie in copertura. Impianto fotovoltaico e verde pensile.**

### **2.1.2. IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

In copertura al prototipo GENERA e tutto attorno al verde pensile, è installato un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica, che occupa in una superficie totale di circa 62 mq. Il tetto è costituito da un'unica falda esposta verso sud, l'angolo di scostamento dei moduli è di 9° verso ovest e l'angolo di inclinazione è di 6° rispetto al piano orizzontale. L'impianto fotovoltaico trifase ha una potenza di 8,36 kWp, è connesso alla rete di distribuzione Enel secondo quanto stabilito dalla Delibera 90/07 dell'A.E.E.G., che definisce le modalità procedurali e le condizioni tecnico-economiche per la connessione alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi in bassa tensione di impianti di produzione di energia elettrica. Ciascuna sezione dell'impianto è dotata della propria apparecchiatura per la misura dell'energia elettrica prodotta, come stabilito dalla Delibera ARG/elt 161/08. dalla documentazione rilasciata dall'azienda che si è occupata della progettazione e dell'installazione dell'impianto, risulta che il rendimento di conversione medio annuo è di circa l'80% e che quindi la potenza nominale verso la rete di distribuzione risulta ridotta di un 20%. L'impianto fotovoltaico è costituito da 48 moduli fotovoltaici da 175 Wp cad., disposti su telai di alluminio e acciaio zincato con dimensionamento e ancoraggio al tetto secondo le norme vigenti. È composto da 6 stringhe da 8 moduli cad., mod. SUNAGE tipo SAM72/5 monocristallino. In un vano tecnico al piano terra della struttura sono installati: il quadro di stringa lato corrente "continua", il gruppo di conversione della corrente continua in "alternata", composto da due inverter ed i gruppi di misura dell'energia prodotta (contatori "conto energia").

Nelle seguenti tabelle sono riportati i principali dati tecnici dei moduli fotovoltaici e dei due inverter installati.

MODELLO PANNELLI SOLARI FV



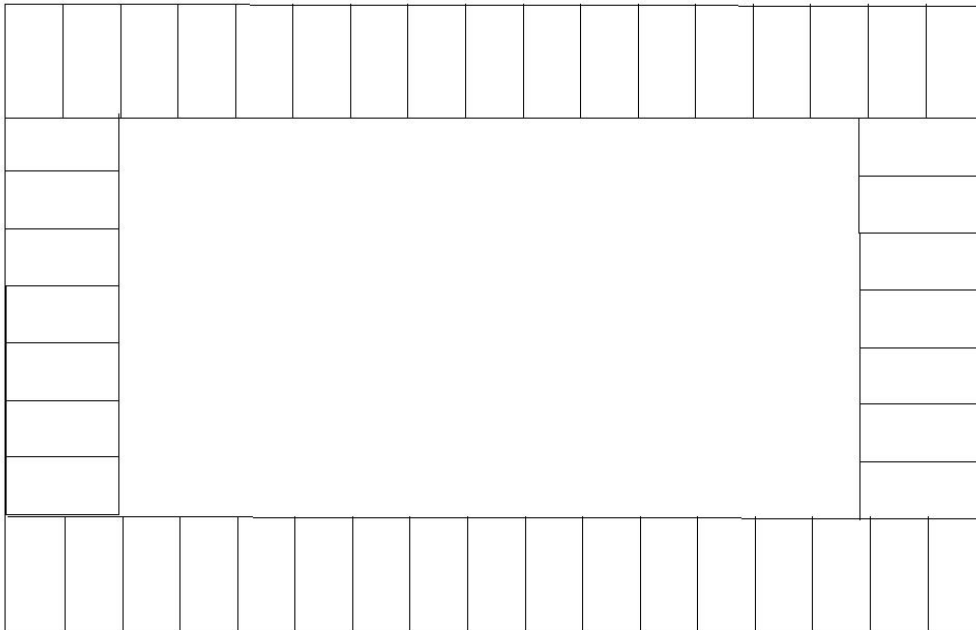
<b>MODELLO</b>	SAM72/5
<b>PRODUTTORE</b>	SUNAGE SA
<b>QUANTITA'</b>	48
<b>POTENZA NOMINALE</b>	175 Wp
<b>TOLLERANZA</b>	± 2 %
<b>TIPOLOGIA CELLA</b>	Si-monocristallino
<b>FORMA DELLA CELLA</b>	Pseudo-quadrata 125x125
<b>CELLE PER MODULO</b>	72
<b>TENSIONE</b>	35,3 V
<b>CORRENTE</b>	4,9 A
<b>TENSIONE A CIRCUITO APERTO</b>	43,9 V
<b>CORRENTE A CORTO CIRCUITO</b>	5,2 A
<b>LUNGHEZZA</b>	1606 mm
<b>LARGHEZZA</b>	814 mm
<b>SPESSORE</b>	45 mm
<b>PESO</b>	18,5 kg
<b>CORNICE</b>	Alluminio anodizzato
<b>TIPO DI VETRO E SPESSORE</b>	Vetro solare texturizzato – 3,2 mm
<b>GARANZIA DELL'INTERO PRODOTTO</b>	5 anni
<b>GARANZIA DI POTENZA</b>	90 % - 12 anni / 80 % - 25 anni

Tabella 2-1: Dati tecnici dei moduli fotovoltaici SUNAGE installati presso il prototipo.

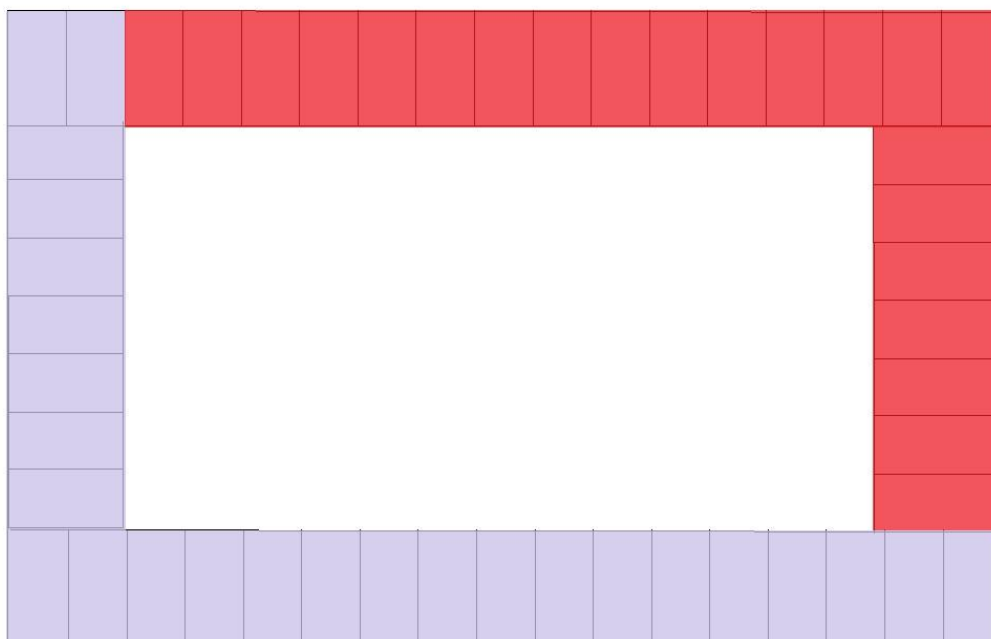
MODELLO INVERTER INPIANTO FV		
	<b>MODELLO</b>	SolarMax 4200S
	<b>QUANTITA'</b>	2
	<b>INGRESSO (DC)</b>	
	<b>POTENZA MAX. GENERATORE</b>	5000 Wstc
	<b>CAMPO DI REGOLAZIONE</b>	100 – 500 Vdc
	<b>TENSIONE MAX IN INGRESSO</b>	600 Vdc
	<b>CORRENTE IN INGRESSO</b>	0 – 22 Adc
	<b>USCITA AC</b>	
	<b>POTENZA NOMINALE</b>	3800 W
	<b>POTENZA MASSIMA</b>	4180 VA
	<b>TENSIONE NOMINALE DI RETE/DI CAMPO</b>	230 Vac / 184 – 300 Vac
	<b>FATTORE DI POTENZA (PF)</b>	< 0,98
	<b>FREQUENZA NOMINALE DI RETE/CAMPO</b>	50 Hz / 45 – 55 Hz
	<b>DATI DI SISTEMA</b>	
	<b>RENDIMENTO MASSIMO</b>	97 %
	<b>RENDIMENTO EUROPEO</b>	95,8 % @ 400 Voc 95,1 % @ 300 Voc
	<b>TEMPERATURA AMBIENTE</b>	- 20°C – 60 °C
	<b>POTENZA NOMINALE CON UNA TEMPERATURA AMBIENTE FINO A</b>	45 °C
	<b>GRADO DI PROTEZIONE</b>	IP 54
	<b>INDICAZIONE</b>	Display grafico LC 128x64 pixel, retroilluminazione e LED di stato
	<b>COMUNICAZIONE DATI</b>	RS 485/Ethernet
	<b>DIMENSIONI</b>	545 x 290 x 185 mm
	<b>PESO</b>	15 kg

**Tabella 2-2: Dati tecnici dei due inverter SOLAR MAX installati presso il prototipo.**

Di seguito sono riportate le planimetrie della disposizione dei moduli fotovoltaici in copertura, delle aree di competenza dei due inverter ed alcune immagini della fase di realizzazione dell'impianto.



**Figura 2-6: Planimetria della disposizione dei moduli fotovoltaici in copertura.**



**Figura 2-7: Planimetria della suddivisione dei moduli fotovoltaici fra i due inverter – Legenda: rosso – inverter 1 / violetto – inverter 2**



**Figura 2-8: Copertura del Prototipo GENERA. Fase di montaggio dell'impianto fotovoltaico.**

Tutti i cavi di collegamento tra moduli fotovoltaici, inverter e quadro di distribuzione alla rete sono inseriti all'interno di opportune canalizzazioni. La consegna alla rete di distribuzione avviene nel quadro predisposto da Enel per la fornitura di energia elettrica.

I pannelli fotovoltaici che poggiano su un telaio di ancoraggio e supporto hanno uno strato di lapillo vulcanico LV 3/5 mm steso al di sotto di essi, che funge da "strato umidificante". L'acqua meteorica o di irrigazione proveniente dal tetto verde si infila all'interno della stratigrafia e scende attraverso il lapillo LV 5/10, scorrendo fino alla porzione di lapillo LV 3/5 che la assorbe parzialmente all'interno dei suoi pori e la rilascia lentamente esercitando a posteriori un effetto di raffrescamento sui pannelli fotovoltaici e un ulteriore rallentamento del deflusso dell'acqua verso il bacino di raccolta.



**Figura 2-9: Ancoraggi e profili drenanti in acciaio zincato ed alluminio, posizionati sotto i pannelli fotovoltaici.**



**Figura 2-10: Profili drananti, lapillo vulcanico LV 3/5 e pannelli fotovoltaici in copertura del prototipo.**

### **2.1.3. SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO**

In corrispondenza del verde pensile e dell'impianto fotovoltaico sono stati installati due sistemi di distribuzione dell'acqua, con la doppia funzione di irrigazione della porzione vegetata e di raffreddamento della superficie dei pannelli solari fotovoltaici. Relativamente al sistema di raffreddamento dell'impianto fotovoltaico sono presenti 21 erogatori, della tipologia "ugelli auto-compensanti", che entrano in funzione solo quando la pressione dell'acqua in arrivo raggiunge un determinato valore. Gli erogatori di acqua sono fissati al profilo drenante ed alimentati da un' apposito tubo in polietilene disposto lungo il perimetro dello stesso profilo drenante. La gittata dell'acqua viene regolata verso il basso ed in modo che possa investire interamente la superficie del pannello fotovoltaico. La portata di un singolo erogatore è di 1,6 l/min, per un totale di 33,6 l/min sulla superficie dei pannelli fotovoltaici. Ottimizzando l'erogazione dell'acqua da questo ramo di impianto si ottiene come beneficio la riduzione della temperatura superficiale delle celle dell'impianto FV, che si traduce in un aumento della produzione e di rendimento del sistema. Di seguito è riportato l'impianto di raffreddamento in funzione.



**Figura 2-11: Impianto di raffrescamento superficiale dei pannelli solari FV in funzione.**

All'interno della stratigrafia del verde pensile si trova un sistema di sub-irrigazione, composto da una serpentina, detta anche "ala gocciolante", di lunghezza 100 m in cui sono presenti 333 punti goccia con una portata di 0,035 l/min ciascuno, per un totale di 11,7 l/min di acqua rilasciata all'interno della porzione vegetata. Questo sistema non è solo utile per stimolare la normale crescita delle piante, ma ottimizzando la bagnatura è possibile anche avere effetti positivi nel periodo estivo in termini di abbassamento della temperatura dell'ambiente indoor, creando un effetto di condizionamento naturale. Tale raffrescamento dipende soprattutto dalla capacità di ritenzione idrica dei materiali impiegati per la costruzione delle stratigrafie del verde pensile, come ad esempio il lapillo vulcanico in grado di assorbire sulla sua superficie notevoli quantità di acqua.



**Figura 2-12: Copertura del prototipo GENERA. Posa dell'ala gocciolante della sub-irrigazione.**

#### **2.1.4. GIARDINO FILTRANTE**

Attorno al prototipo GENERA è stato costruito ad hoc un giardino filtrante non solo con funzione ornamentale, ma anche con il compito di superficie captante e filtrante verso l'acqua meteorica e di irrigazione, esattamente come succede per il verde pensile posizionato in copertura. Come per il tetto verde, le stratigrafie sono state costruite in modo tale da massimizzare il drenaggio e la filtrazione dell'acqua. A favore di ciò è stata stesa una rete di drenaggio composta da 3 tubi forati che raccolgono l'acqua incidente sull'intera superficie del giardino filtrante, posizionata seguendo tre differenti pendenze, in base alle quali sono stati posati anche i diversi strati di materiali componenti. Di seguito sono riportate alcune immagini delle fasi di realizzazione e posa del sistema di drenaggio del giardino filtrante.



**Figura 2-13: Scavi per la posa dei dreni del giardino filtrante.**



**Figura 2-14: Posa dei dreni del giardino filtrante.**

La superficie occupata dal giardino filtrante è di circa 256 mq, con dimensioni di 18 m x 14 m. A differenza del verde pensile non è stato possibile installare un materiale impermeabile alla base, che avrebbe permesso la raccolta della maggior parte dell'acqua meteorica e dall'irrigazione, tuttavia le stratigrafie sono state realizzate in modo tale da rendere preferenziale l'afflusso verso la rete di drenaggio piuttosto che il rilascio in falda dell'acqua stessa. Tutto questo è stato possibile grazie alla posa di uno strato di lapillo vulcanico LV 5/10 mm di spessore 25 cm, sopra il suolo tal quale, che ha consentito di riempire le pendenze create ad hoc per il drenaggio e riportare al livello originario il piano di campagna. A completamento del giardino filtrante, al di sopra dello strato di lapillo è stato impiantato un substrato erboso di spessore circa 5 cm.



**Figura 2-15: Posa dello strato di lapillo vulcanico LV 5/10 nel giardino filtrante.**



**Figura 2-16: Posa del substrato erboso del giardino filtrante.**

### 2.1.5. BIOLAGO

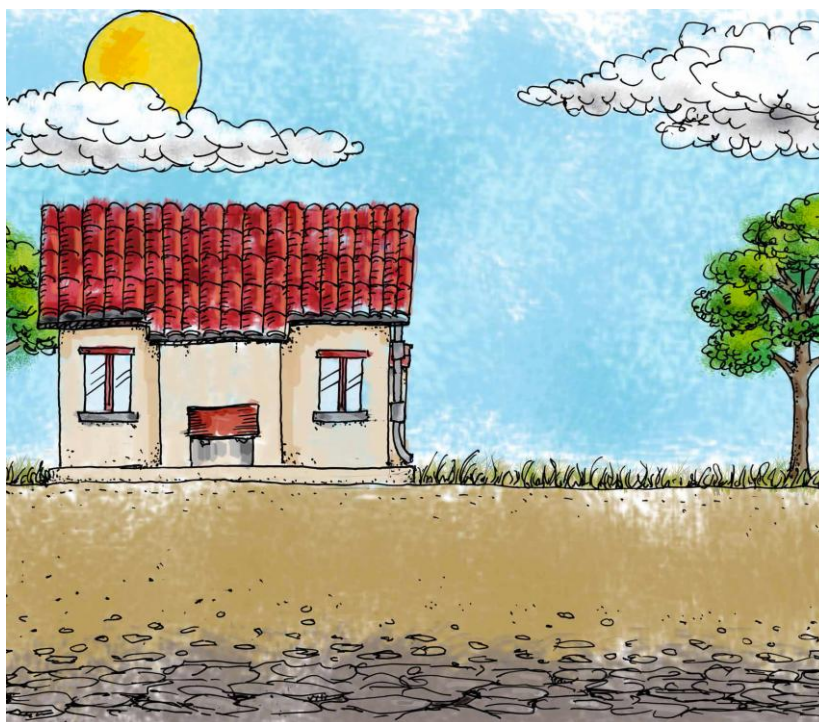
A corredo del prototipo GENERA è presente anche un biolago. Esso occupa una superficie di circa 40 mq e viene utilizzato come bacino cui confluisce per l'acqua meteorica o di irrigazione, drenata e raccolta dalle superfici captanti, ovvero dal verde pensile, dal giardino filtrante e dal biolago stesso. Viste le problematiche connesse con le perdite di acqua per evaporazione e non solo, non sarebbe corretto utilizzare il biolago come un vero e proprio serbatoio di stoccaggio dell'acqua raccolta, ma sarebbe auspicabile installare una cisterna cui far confluire l'acqua stessa. Il biolago viene quindi a svolgere una funzione puramente estetica e ricreativa, aumentando le possibilità di fruizione e di sfruttamento di uno spazio verde, ed una funzione naturalistica, favorendo la biodiversità locale ed il ripopolamento da parte della fauna selvatica. La zona di filtrazione viene riempita di lapillo vulcanico LV 10/20mm (si tratta dello stesso materiale impiegato nello strato drenante del verde pensile, nello strato umidificante sotto i pannelli fotovoltaici e all'interno del giardino filtrante, in granulometria diversa) che ha, tra le diverse caratteristiche chimico – fisiche essenziali dal punto di vista agronomico, anche un'eccellente capacità filtrante e di trattenimento di nutrienti ed inquinanti. L'effetto di purificazione e filtrazione dell'acqua viene amplificato mediante una apposita pompa alimentata dall'impianto fotovoltaico che tiene in movimento l'acqua del lago e permette di svolgere così diversi cicli di passaggi consecutivi nella zona di filtrazione. In linea teorica è lo stesso sistema di movimentazione dell'acqua del lago che fornisce acqua all'impianto di sub-irrigazione del verde pensile e al sistema di raffreddamento dei pannelli fotovoltaici installati in copertura della serra.



**Figura 2-17: Biolago in fase di realizzazione.**

### 2.1.6. IL CICLO DELL'ACQUA

Il ciclo dell'acqua è alla base dell'intero sistema integrato GENERA. Per comprendere ancora meglio il funzionamento del tutto è bene partire prendendo in considerazione una situazione tradizionale di una casa e del contesto in cui è inserita.



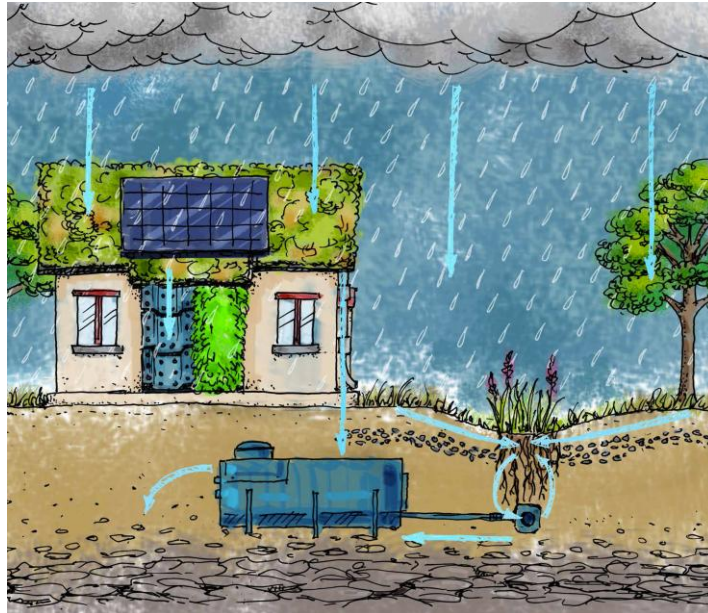
**Figura 2-18: Casa tradizionale e contesto.**

Analizzando le risorse della struttura e del contesto in cui è inserita la struttura è possibile fare valutazioni sulla realizzazione del sistema integrato GENERA.

Sulla copertura viene installato il verde pensile ed un impianto fotovoltaico e nel giardino una cisterna interrata ed allestita una zona di biofiltrazione nel giardino circostante.

La scelta realistica ricade sulla cisterna in quanto la prima soluzione prospettata, ovvero quella del biolago, non è efficiente dal punto di vista delle capacità di accumulo idrico, presentando infatti perdite di acqua di varia natura e non solo per evaporazione della sua superficie. Rimane il fatto che il biolago abbia indubbe qualità estetiche e ricreative e che sia di fondamentale importanza per l'ecosistema globale.

Il sistema integrato GENERA ha un molteplici funzionamento. In caso di evento meteorico, l'acqua incidente sulle superfici drenanti rappresentate dal verde pensile e, se possibile, dal giardino filtrante, viene raccolta e convogliata ad una cisterna interrata, opportunamente dimensionata per soddisfare le principali utenze idriche indoor che non richiedano acqua potabile.

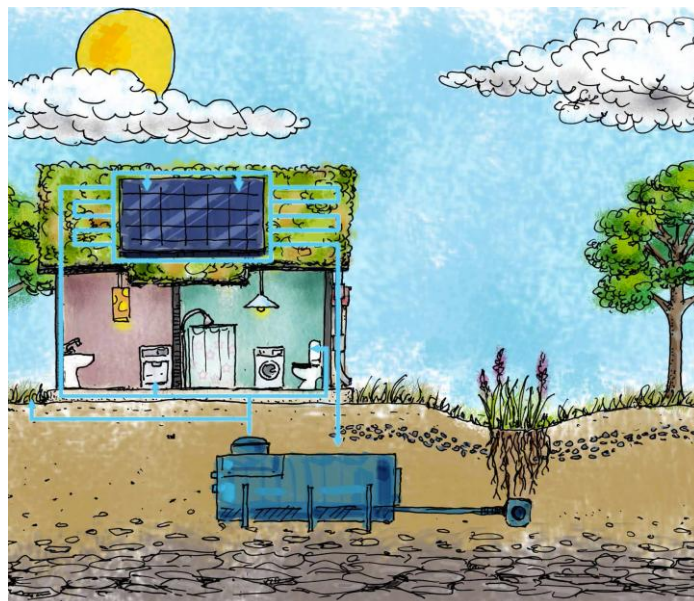


**Figura 2-19: Funzionamento del sistema GENERA in caso di pioggia.**

Il serbatoio di accumulo è dotato di un sistema che regola il “troppo pieno” consentendo che l’eccesso di acqua raccolta ritorni alla falda sottostante per la sua ricarica, ed è collegata ad un sistema di pompaggio che invia periodicamente l’acqua alla zona di biofiltrazione adiacente che ha la funzione di purificare l’acqua dalle sostanze inquinanti in essa presenti.

Una volta raccolta e trattata l’acqua meteorica viene inviata alle utenze idriche indoor ed utilizzata per il raffreddamento dei pannelli solari fotovoltaici e come irrigazione per il verde pensile ed il giardino circostante.

Il ciclo dell’acqua si chiude con l’ultimo passaggio che è rappresentato dalla raccolta dell’eccesso dell’acqua di irrigazione e di raffreddamento dei pannelli FV che attraversa gli strati drenanti posti in copertura e torna alla cisterna dove viene inviato alla zona di biofiltrazione per il trattamento.



**Figura 2-20: Funzionamento del sistema integrato GENERA.**