

“LIFE IN SPACE”

Sommario

Referenze	3
Elenco delle Figure	4
Elenco delle Tabelle	6
Premessa	7
I Settore dell'Agrospazio	7
Le Fattorie Verticali	9
Obiettivo del Progetto	11
Tecnologie in Esame	12
Tecnologie di Illuminazione a LED	12
Caso Studio	16
Produzione di Energia	26
Energia Fotovoltaica	26
Energia Eolica	31
Energia da Biomasse	37
Energia da Piccolo Idroelettrico	42
Sistemi di Gestione Atmosferica	46
Sistema di Rimozione dei Contaminanti in Tracce	47
Sistema di Controllo Microbiologico	48
Sistema di Accumulo e Rimozione della CO ₂	48
Sistema di Monitoraggio della Qualità dell'Aria	49
Sistema di Controllo Termico Interno	51
Trattamento e Gestione Acqua	53
Premessa	53
Disinfezione: foto-ozonolisi	58
Sensoristica	61
Funzionamento	62
Gestione e controllo dell'Illuminazione	63
Gestione e controllo dell'Ambiente	64

Gestione e controllo della Soluzione Nutritiva	66
Robotica	67
Automatizzazione nella Semina	68
Automatizzazione nella Raccolta e nel Confezionamento	70
Automatizzazione nell'Ispezione	73
Architettura della Vertical Farm	75
Ipotesi N°1: la Torre Cilindrica	77
Ipotesi N°2: la Torre Lineare	86
Ipotesi N°3: la Torre Lineare Curva	94
Risultati del Progetto	101

REFERENZE

[HTTPS://WWW.ILLUMITEX.COM/A-SHORT-PAYBACK-PERIOD-FOR-ILLUMITEX-LEDs-Ù
VS-1000-W-HPS-WHITE-PAPER/](https://www.illumitex.com/a-short-payback-period-for-illumitex-leds-ù-vs-1000-w-hps-white-paper/)

[HTTP://WWW.SOLARITALY.ENERGIA.IT/DOCUMENTAZIONE/L'ENERGIA%20FOTOVOLTAI
CA.PDF](http://www.solaritaly.enea.it/documentazione/l'energia%20fotovoltaica.pdf)

[HTTP://OLD.ENERGIA.IT/COM/WEB/PUBBLICAZIONI/OP19.PDF.](http://old.enea.it/com/web/pubblicazioni/op19.pdf)

[HTTP://PUNTO-INFORMATICO.IT/2126673/PI/NEWS/EOLICO-GALLEGGIA
SULMAGNETE.ASPX](http://punto-informatico.it/2126673/pi/news/eolico-galleggia-sulmagnete.aspx)

[HTTP://WWW.ENERGIA.IT/IT/RICERCA_SVILUPPO/RICERCA-DI-SISTEMA
ELETTRICO/BIOMASSE](http://www.enea.it/it/ricerca_sviluppo/ricerca-di-sistema-elettrico/biomasse)

[HTTPS://IT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/CENTRALE_A_BIOMASSE#VANTAGGI](https://it.wikipedia.org/wiki/Centrale_a_biomasse#vantaggi)

[HTTPS://IT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PICCOLO_IDROELETTRICO](https://it.wikipedia.org/wiki/Piccolo_idroelettrico)

[HTTP://WWW.INFOBUILDENERGIA.IT/APPROFONDIMENTI/MICROIDROELETTRICO
ISTRUZIONI-PER-L-USO-125.HTML](http://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/microidroelettrico-istruzioni-per-l-uso-125.html)

ELENCO DELLE FIGURE

FIGURA 1: FINE IMPREVISTA DELLA FORMULA

FIGURA 2: SCHEMA DI ASSORBIMENTO DELLA LUCE DA PARTE DELLE PIANTE

FIGURA 3: PERIODO DI RITORNO ECONOMICO VS COSTO ELETTRICITÀ DEI DUE MODELLI DI LAMPADE A LED CONFRONTATE CON LAMPADE HPS DA 1000 W 20

FIGURA 4: PERIODO DI RITORNO ECONOMICO VS FOTOPERIODO PER I DUE MODELLI DI LAMPADE A LED CONFRONTATE CON LAMPADE HPS DA 1000 W 21

FIGURA 5: COSTI CUMULATIVI DURANTE GLI ANNI (A) E TOTALI DURANTE LA VITA OPERATIVA (B) PER I DUE MODELLI DI LAMPADE A LED CONFRONTATE CON LAMPADE HPS DA 1000 W 22

FIGURA 6: GENERATORE FOTOVOLTAICO

FIGURA 7: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DI UN GENERATORE FOTOVOLTAICO

FIGURA 8: AEROGENERATORE

FIGURA 9: DESCRIZIONE DELLE PARTI CHE COSTITUISCONO UN AEROGENERATORE AD ASSE ORIZZONTALE

FIGURA 10: AEROGENERATORI AD ASSE VERTICALE

FIGURA 11: MAGLEV WIND TURBINE

FIGURA 12: CICLO DI UNA CENTRALE A BIOMASSE

FIGURA 13: ESEMPIO DI CENTRALE A BIOMASSE - DRAX, UNITED KINGDOM – 4,000 MW

FIGURA 14: MICRO IDROELETTRICO CASALINGO, CHE SFRUTTA MICRO TURBINE INSTALLATE DIRETTAMENTE NELLE TUBAZIONI DI CASA

FIGURA 15: SCHEMA RIASSUNTIVO DI UN SISTEMA DI GESTIONE ARIA IN UN AMBIENTE CHIUSO E CONTROLLATO

FIGURA 16: SCHEMA DI APPORTO E CONTROLLO CO₂

FIGURA 17: DIAGRAMMA A BLOCCHI PRELIMINARE DEL SISTEMA DI GESTIONE ARIA, EDEN-ISS

FIGURA 18: NUTRIENT FILM TECHNIQUE - NFT

FIGURA 19: DEEP WATER CULTURE – DWC

FIGURA 20: AEROPONICA

FIGURA 21: EBB&FLOW

FIGURA 22: FOGPONICA

FIGURA 23: SCHEMA DEL SISTEMA DI APPORTO NUTRIENTI

FIGURA 24: IMPIANTO DI FOTO-OZONOLISI IN FUNZIONE PRESSO AERO SEKUR, APRILIA (LT)

FIGURA 25: STEP SUCCESSIVI DI STERILIZZAZIONE, ATTRAVERSO FOTO-OZONOLISI, DI ACQUA PROVENIENTE DA UN IMPIANTO IDROPONICO DEL CEAC (CONTROLLED ENVIRONMET AGRICULTURE CENTER) DELL'UNIVERSITÀ DELL'ARIZONA

FIGURA 26: ESEMPIO DI SENSORISTICA

FIGURA 27: MODULARITÀ DEL SISTEMA

FIGURA 28: VISUALIZZAZIONE DATI SU SMARTPHONE

FIGURA 29: SEMINATRICE AUTOMATICA

FIGURA 30: DISTRIBUTORE SEMINIERE

FIGURA 31: DETTAGLIO DELLA REGOLAZIONE

FIGURA 32: ROBOT PER LA RACCOLTA DEI PEPERONI

FIGURA 33: RACCOLTA AUTOMATIZZATA DELLA LATTUGA IN IDROPONICA

FIGURA 34: RACCOLTA AUTOMATIZZATA DELLA LATTUGA IN IDROPONICA

FIGURA 35: DEFINIZIONE DI NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)

FIGURA 36: SISTEMA ROBOTICO DI SORVEGLIANZA, IMMAGINE RAPPRESENTATIVA

FIGURA 37: LA TORRE CILINDRICA

FIGURA 38: TORRE CILINDRICA, SEZIONE VERTICALE: DISTRIBUZIONE SCHEMATICA DELLE FUNZIONI

FIGURA 39: TORRE CILINDRICA, PLANIMETRIA PIANO TERRA (A) E PIANO TIPO (B) – DISTRIBUZIONE SCHEMATICA DELLE FUNZIONI

FIGURA 40: TORRE CILINDRICA, COMPUTO SUPERFICI

FIGURA 41: TORRE CILINDRICA, SEZIONE VERTICALE DI UN MODULO BASE

FIGURA 42: TORRE CILINDRICA, PLANIMETRIA DI UN MODULO BASE - DISTRIBUZIONE PERCORSI E FUNZIONI

FIGURA 43: TORRE CILINDRICA, SCHEMA DI VENTILAZIONE CON EARTH-PIPE IN ESTATE (BLU) ED IN INVERNO (ROSSO)

FIGURA 44: TORRE CILINDRICA, SCHEMA DI VENTILAZIONE CON TORRE DI VENTILAZIONE SOLO ESTIVO

FIGURA 45: LA TORRE LINEARE

FIGURA 46: TORRE LINEARE, SEZIONE VERTICALE: DISTRIBUZIONE SCHEMATICA DELLE FUNZIONI

FIGURA 47: TORRE LINEARE, PLANIMETRIA PIANO TERRA (A) E PIANO TIPO (B) – DISTRIBUZIONE SCHEMATICA DELLE FUNZIONI

FIGURA 48: TORRE LINEARE, COMPUTO SUPERFICI

FIGURA 49: TORRE LINEARE, SEZIONE VERTICALE DI UN MODULO BASE

FIGURA 50: TORRE LINEARE, PLANIMETRIA DI UN MODULO BASE - DISTRIBUZIONE PERCORSI E FUNZIONI

FIGURA 51: TORRE LINEARE, SCHEMA DI VENTILAZIONE CON EARTH-PIPE IN ESTATE (BLU) ED IN INVERNO (ROSSO)

FIGURA 52: TORRE LINEARE, SCHEMA DI VENTILAZIONE CON TORRE DI VENTILAZIONE E SERRE SOLARI

FIGURA 53: LA TORRE LINEARE CURVA

FIGURA 54: TORRE LINEARE CURVA, SEZIONE VERTICALE: DISTRIBUZIONE SCHEMATICA DELLE FUNZIONI

FIGURA 55: TORRE LINEARE CURVA, PLANIMETRIA PIANO TERRA (A) E PIANO TIPO (B) – DISTRIBUZIONE SCHEMATICA DELLE FUNZIONI

FIGURA 56: TORRE LINEARE CURVA, COMPUTO SUPERFICI

FIGURA 57: TORRE LINEARE CURVA, SEZIONE VERTICALE DI UN MODULO BASE

FIGURA 58: TORRE LINEARE CURVA, PLANIMETRIA DI UN MODULO BASE DISTRIBUZIONE PERCORSI E FUNZIONE

FIGURA 59: TORRE LINEARE CURVA, SCHEMA DI VENTILAZIONE CON EARTH-PIPE IN ESTATE (BLU) ED IN INVERNO (ROSSO)

FIGURA 60: TORRE LINEARE CURVA, SCHEMA DI VENTILAZIONE CON TORRE DI VENTILAZIONE. ESTATE (BLU) ED INVERNO (ROSSO)

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Sistemi luminosi presi a modello per il confronto

Tabella 2: Valori usati nel modello base

Tabella 3: Valori dei parametri usati nel modello base per la manutenzione

Tabella 4: Valori dei parametri energetici utilizzati nel modello base

Tabella 5: Ritorno economico – Risultati

PREMESSA

Nella provincia di Roma, un'importante area economica quale il settore aeronautico della manutenzione è stato colpito negli ultimi anni da una rilevante crisi industriale, che ha portato alla perdita di un numero importante di posti di lavoro e abbandono di capannoni industriali dedicati proprio alle attività di manutenzione.

Federlazio, nell'ambito del suo ruolo associativo, usando la leva delle eccellenze presenti sul nostro territorio, sta attivamente cercando di promuovere nuovi settori di sviluppo industriale ad alto valore aggiunto che possano portare ad una riqualificazione sia dei locali produttivi abbandonati che delle risorse umane del settore manifatturiero.

IL SETTORE DELL'AGROSPAZIO

Sostenere la presenza umana nelle future lunghe missioni spaziali richiede lo sviluppo di nuove tecnologie per controllare le condizioni ambientali, fornire acqua potabile, ossigeno, cibo e per tenere l'astronauta in buona salute fisica e psicologica.

In questo ambito l'AGROSPAZIO, inteso come ricaduta sulla terra delle tecnologie studiate per supportare la vita umana nel corso delle future missioni umane spaziali, si candida ad essere il laboratorio di ricerca per affrontare non solo il problema delle coltivazioni sostenibili nei territori estremi della terra, ma anche per recuperare quelle aree ormai perse di terreno (perché edificate o contaminate) per produrre cibo di alta qualità. Il Lazio con le sue eccellenze ha tutte le carte in regola per proporre un progetto di tale portata, validità scientifica e prospettiva industriale.

Grazie alla concentrazione nel Lazio dei più importanti centri di ricerca nazionali in campo spaziale e agroalimentare e grazie all'eccellenza progettuale e produttiva nell'ambito dei sistemi serra delle PMI laziali, l'AGROSPAZIO, come risposta innovativa ai temi delle nuove frontiere della ricerca tecnologica applicata all'emergenza alimentare, può avere un importante ruolo di motore economico sul territorio. Non a caso, da oltre 14 anni e biennalmente, promossa da Federlazio viene tenuta una conferenza mondiale del settore, a cui partecipano i principali rappresentanti scientifici della NASA (Agenzia spaziale USA), ESA (Agenzia spaziale Europea), DLR (Agenzia Spaziale tedesca) Università, Centri di Ricerca ed Industrie che compongono la frontiera tecnologica del settore.

LE FATTORIE VERTICALI



Da questa importante dote di conoscenza, nasce l'idea progettuale di iniziare ad indagare le possibilità di applicare sul nostro territorio le tecnologie dell'Agrospazio, per lo sviluppo di nuove opportunità di business in un settore che sta iniziando solo ora ad affermarsi a livello mondiale.

Stiamo in particolare parlando di uno dei cosiddetti “Mega-Trends” delle società avanzate e cioè l'agricoltura urbana, dove le fattorie verticali sono capaci di produrre frutti, vegetali e altre piante ad alto valore per uso farmaceutico e nutraceutico durante l'intero anno, indipendentemente dalle stagioni, dal clima e dalla luce solare disponibile.

A dimostrazione della validità di questa intuizione, è proprio di questi giorni la notizia che una startup nel New Jersey sta per inaugurare la fattoria verticale più grande del mondo, con un potenziale produttivo di 1 milione di chili di verdura fresca all'anno, senza terriccio, pesticidi, contaminazioni o luce del sole, usando il 95% in meno di acqua e il 50% in meno di fertilizzanti. Le coltivazioni avverranno su 12 ripiani impilati uno sopra all'altro fino a 9 metri d'altezza, attrezzati con luci a LED che imitano la forza naturale del sole e con sensori che seguono il processo di crescita. Qui i “contadini” cureranno 250 tipi diversi di verdure, come cavoli, rucola, spinaci. Altri esempi già esistenti, la fattoria verticale nella città di Chicago, USA con 8000 m² di superficie disponibile in verticale su più piani dove vengono prodotti 500.000 kg di vegetali l'anno che riforniscono circa 50 Market collegati a poca distanza e possibilità di acquistare direttamente su internet i prodotti agricoli.

Lo sviluppo nel nostro territorio di questo settore permetterebbe di unire le tecnologie più avanzate del settore spaziale con quelle agricole, tecnologie di cui nella nostra provincia non mancano competenze e capacità produttive, con la possibilità di avviare un nuovo settore economico di grandi prospettive future.

OBIETTIVO DEL PROGETTO

Con il progetto qui proposto, si intende avviare una indagine conoscitiva delle tecnologie e delle conoscenze necessarie per arrivare a costituire attività economiche legate alle fattorie verticali sul nostro territorio, andando a riutilizzare proprio quei capannoni persi per la crisi del settore aeronautico di cui abbiamo accennato nella premessa.

In tal modo, al termine di questa analisi, si cercherà di individuare le tipologie di risorse ad alta professionalità necessarie e quali possono essere le ricadute sull'indotto che si ipotizza saranno trasversali a più settori merceologici con un impegno prevalente di aziende del settore dell'aerospazio, dell'elettronica, del software, trattamento dell'aria e dell'acqua, dell'illuminazione, della robotica, della botanica, dell'orticoltura, dell'architettura, della sensoristica, etc.

Nel corso del progetto si analizzeranno le seguenti aree tecnologiche:

- Tecnologie di illuminazione a LED;
- Produzione di energia;
- Trattamento e Gestione Atmosferica;
- Trattamento e Gestione Acqua;
- Sensoristica;
- Robotica;
- Architettura della Vertical Farm.

TECNOLOGIE IN ESAME

TECNOLOGIE DI ILLUMINAZIONE A LED

Le moderne tecnologie di illuminazione artificiale permettono di alienarsi dal ciclo stagionale del sole, consentendo una produzione pressoché costante durante tutto l'anno, favorendo, per di più, l'inserimento di specie agricole che richiederebbero cicli luminosi (in termini di quantità e qualità della luce) altrimenti non auspicabili alle nostre latitudini.

Trattandosi di agricoltura in ambiente chiuso e controllato, all'interno di capannoni dismessi, inoltre, non sarebbe possibile ottenere un quantitativo luminoso di origine naturale continuo e costante su tutta la superficie (in questo caso il volume) coltivabile, cosa che non permetterebbe di sfruttare appieno le possibilità offerte dalla coltivazione in verticale.



Figura 1: "Pinkhouse", Caliber Biotherapeutics, Bryan, Texas

L'uso delle lampade in agricoltura risulta poi indispensabile per quanto riguarda la coltivazione di specie agricole a fini farmaceutici, consentendo, come detto poc'anzi, una produzione continua e duratura, migliore di quelle ottenibili in campo aperto.

L'energia prodotta dal sole raggiunge la terra in forma di radiazioni elettromagnetiche. La luce, come le altre forme di radiazioni elettromagnetiche, ha una doppia natura: di onda e di particella.

Particelle di pacchetti di luce sono detti infatti fotoni, la più piccola unità divisibile di luce. La luminosità della luce dipende dal numero di fotoni assorbiti per unità di tempo. Il PPF, quindi, rappresenta l'unità di misura della quantità totale di luce PAR (Photosynthetically Active Radiation - Radiazione Fotosinteticamente Attiva, e si riferisce fondamentalmente alla gamma compresa fra i 380 e i 750 nanometri) emessa da una lampada per coltivazione ed è espresso in $\mu\text{mol/s}$ (micromoli al secondo). Una micromole corrisponde a 602.214.150.000.000.000 fotoni. Questa unità di misura indica la quantità di fotoni (particelle di luce) emessi da una fonte di luce ogni secondo, ed è facile comprenderne l'importanza. Il PPF non indica però la quantità di fotoni che raggiungono le piante, limitandosi ad indicare la quantità totale. Il PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density - Densità del Flusso Fotonico Fotosintetico), invece, misura la quantità di fotoni che ogni secondo irradiano la superficie di un metro quadro ed è espressa in $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (micromole per metro quadro al secondo). Generalmente è proprio questa l'unità di misura riportata su un misuratore portatile di PAR. Il PPFD è il valore più importante per i coltivatori, poiché indica la quantità media di illuminazione sul terreno coltivato.

Ogni fotone porta con sé un certo ammontare di energia, determinato dalla vibrazione dello stesso fotone. La distanza entro cui il fotone si muove durante la vibrazione è chiamata lunghezza d'onda, ed è misurata in nanometri. All'interno dello spettro più è ampia la lunghezza d'onda della radiazione, più lenta sarà la vibrazione dei fotoni, quindi meno energia il fotone porterà. Così i fotoni della

luce ultravioletta (il blu dello spettro visibile) ha lunghezza d'onda più piccola e contiene più energia rispetto alla luce rossa e all'infrarosso.

La clorofilla non assorbe tutte le lunghezze d'onda nella stessa maniera. La **clorofilla A**, il pigmento più importante per l'assorbimento della luce nelle piante, non assorbe per esempio la luce nella parte verde dello spettro la quale viene infatti riflessa.

Questo è il motivo per cui le foglie sono generalmente verdi. Nel grafico sotto si può notare come l'assorbimento della luce da parte della clorofilla A è al suo massimo in due punti (430 e 662nm).

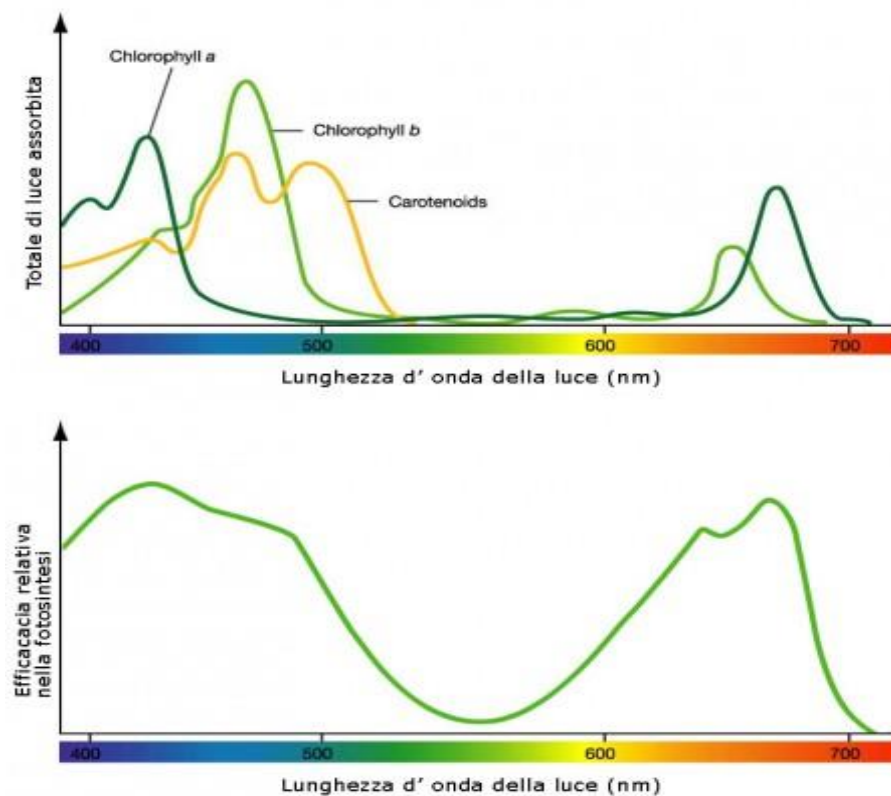


Figura 2: Schema di assorbimento della luce da parte delle piante

La **clorofilla B** è molto simile alla clorofilla A, sia nella struttura che nel colore verde, ma si trova in misura minore (circa la metà) rispetto alla A. Come la clorofilla A, ha il picco di assorbimento della luce nel blu e nel rosso,

rispettivamente a 453 e 642nm di lunghezza d'onda. E' presente in tutte le piante, nelle alghe verdi e in alcuni batteri.

I **Carotenoidi** sono un gruppo di pigmenti accessori presenti in tutti gli organismi fotosintetici. Contengono circa 40 atomi di carbonio, spesso senza atomi di ossigeno e sono chimicamente diversi dalla clorofilla. Assorbono principalmente la luce tra 460 e 550 nm e sono sia gialli, che rossi o arancioni; riflettono così la luce nella rispettive lunghezze d'onda.

A valle di questa breve digressione di carattere puramente scientifico, l'uso di fotodiodi ad alta luminosità e basso consumo risulta del tutto coerente con gli scopi del progetto, riuscendo a coniugare un'alta resa agricola con bassi consumi energetici (se paragonate con le tradizionali luci HPS per la coltivazione indoor), andando ad agire in maniera mirata sul flusso e la qualità di fotoni inviati alle piante. L'uso dei LED, infatti, permette di scegliere uno spettro luminoso adatto a quel particolare scopo ed a concentrare l'energia elettrica nelle bande luminose più adatte, scartando quelle che non servono alla pianta e permettendo così notevoli vantaggi dal punto di vista dell'uptake elettrico.

Caso Studio

Di seguito viene riportato un confronto comparativo (Tabella 1) di tipo economico tra le più comuni luci artificiali HPS da 1000 W e la tecnologia a LED di nuova generazione (in questo caso l'azienda produttrice è la Illumitex, con sede operativa ad Austin, Texas), prendendo in considerazione la resa luminosa in PPF, la potenza elettrica in Watt, il prezzo in USD e le micromoli sviluppate per ogni Joule ($\mu\text{mol/J}$). Si valuterà inoltre il ritorno economico sull'investimento, che prenderà in considerazione sia il capitale iniziale sia le spese annuali necessarie al mantenimento del sistema [Ref1]. I calcoli determineranno quindi il tempo necessario affinché i due sistemi risultino equivalenti in termini di costi e il tempo necessario affinché si inizi ad avere un effettivo risparmio.

Tabella 1: Sistemi luminosi presi a modello per il confronto

Azienda e modello di lampada		PPF [μmol/s]	Watt [W]	Prezzo [\$]	μmol/J
LED	Illumitex NeoSol DS	830	520	1199	1.6
	Illumitex Power Harvest 10	1020	565	999	1.8
1000W HPS	PARsource GLXI 1000-W magnetic	1161	1004	350	1.2
	PARsource GLXII 1000-W electronic	13334	1026	310	1.3
	Gavita Pro 1000 DE 1000-W electronic	1751	1033	500	1.7
	Sunlight Supply 1000 W magnetic	1090	1067	275	1.0
	ePapillon 1000W electric	1767	1041	600	1.7
	Average	1421	1034	407	1.4

L'Equazione 1 rappresenta il modello matematico utilizzato per stimare il tempo necessario per il ritorno economico:

$$\text{Ritorno economico (anni)} = \frac{\text{Differenza di costo iniziale (\$)}}{\text{Risparmio di costo annuale (\$/anno)}} \quad (1)$$

Dove:

- *Differenza di costo iniziale* si riferisce alla differenza di investimento nel capitale iniziale per ogni sistema di luce, includendo i costi aggiuntivi relativi all'installazione (ad esempio: le luci "Power Harvest" usano una ventola per il raffreddamento; altre sistemi a LED potrebbero richiedere un sistema di raffreddamento ad acqua ed un relativo sistema di ricircolo, che aggiungono ulteriori costi di installazione). Siccome nella voce "installazione" potrebbero intervenire ulteriori fattori (come ad esempio le infrastrutture necessarie, il

cablaggio, ecc...), in questo modello verrà preso in considerazione solamente il costo relativo alle lampade.

La Tabella 2 mostra un confronto tra dei sistemi luminosi di circa 6 kW composto da LED e da HPS.

Tabella 2: Valori usati nel modello base

		Illumitex NeoSol DS	Illumitex Power Harvest 10	1000W HPS
N° di Lampade	[-]	6	6	6
Prezzo / Lampada	[\$]	1190	999	407
Costi addizionali / Lampada	[\$]	-	-	-
Costo Iniziale del sistema	[\$]	7194	5994	2442

- *Risparmio di costo annuale* include diversi parametri relativi ai consumi annuali di energia ad alla manutenzione richiesta per ogni sistema di luci.

Nella Tabella 3 il costo annuale di manutenzione per i sistemi ad HPS è stato stimato a 104\$/lampada e si basa sulla vita media dei bulbi che è di circa 2000 ore.

Calcolando un fotoperiodo (durata dell'illuminazione diurna) di 10 ore/giorno, il numero di lampade necessarie si aggira intorno a 1.8/anno/plafoniera.

Inserendo anche il costo del bulbo, le ore di lavoro ed i costi di smaltimento, per cambiare una lampada HPS si spendono circa 57\$. Moltiplicato per 6 lampade, abbiamo un costo di circa 625 \$/anno.

Tabella 3: Valori dei parametri usati nel modello base per la manutenzione

	Illumitex		Illumitex 1000 W HPS
	NeoSol DS	Power Harvest 10	
Fotoperiodo / Giorno	10 ore		
Ore di operatività all'anno	3650 ore		
Vita media della lampada	60000	60000	2000
Anni / Lampada	16.4	16.4	0.55
Lampade / Anno	0.0	0.0	1.8
Costo per Lampada sostitutiva	-	-	50 \$
N° di lampade / plafoniera	-	-	1
Costo per lampada da sostituire per plafoniera	-	-	50 \$
Costo manodopera per sostituire la lampada	-	-	6 \$
Costo di smaltimento per lampada	-	-	1 \$
Costo Totale per lampada da sostituire per plafoniera			
Costo annuale per manutenzione per	-	-	104 \$

plafoniera			
Costo annuale per manutenzione per sistema	-	-	624.15 \$

Nel totale dei costi annuali, deve essere presa in considerazione anche l'energia consumata: questa non sarà data solamente dall'effettiva energia spesa per accendere la lampada, ma anche dal costo dell'energia necessaria per raffreddare la stessa e per mantenere la temperatura ambiente nei limiti accettabili dalle piante. Saranno di seguito presi in considerazione i costi di refrigerazione, calcolando un'efficienza del 50% (ovvero, si considera che per ogni Watt di corrente utilizzato la metà si trasformi in luce effettivamente utilizzabile, mentre l'altra metà in calore da smaltire).

La Tabella 4 mostra i costi energetici annuali, prendendo in considerazione un costo dell'elettricità pari a 0.11 \$/kWh. Come detto, i costi energetici per la refrigerazione, saranno la metà dei costi energetici necessari per l'illuminazione.

Tabella 4: Valori dei parametri energetici utilizzati nel modello base

	Illumitex NeoSol DS	Illumitex Power Harvest 10	1000 W HPS
N° di Lampade	6	6	6
Watt / Lampada	520	565	1
Watt Totali	3120	3390	6204
Prezzo al kWh	0.11 \$		
Costo annuale energia luminosa	1253 \$	1361 \$	2491 \$

Costo annuale energia per refrigerazione	626 \$	681 \$	1245 \$
--	--------	--------	---------

- **Ritorno economico:** i risultati inerenti al ritorno economico degli impianti a LED rispetto a quelli HPS sono sintetizzati nella Tabella 5.

Tabella 5: Ritorno economico - Risultati	Illumitex NeoSol DS	Illumitex Power Harvest 10	1000 W HPS
Costo annuale totale	1879 \$	2042 \$	4361 \$
Differenza costo iniziale	4752 \$	3552 \$	-
Risparmio energetico annuale	1238 \$	3552 \$	-
Risparmio sulla refrigerazione annuale	619 \$	565 \$	-
Risparmio sulla manodopera annuale	624 \$	624 \$	-
Anni per il ritorno economico	1.91	1.53	-

In definitiva, un impianto a LED usa meno energia e richiede meno elettricità per la refrigerazione ambientale rispetto ad uno HPS, il che, da un punto di vista energetico e del fotoperiodo risulta vantaggioso ai fini del ritorno economico.

Infatti, un aumento del prezzo dell'energia al kWh porta una diminuzione del periodo di ritorno economico, come mostrato nella Figura 3. Nel grafico sono prese in considerazione le due tipologie di lampade LED dell'esercizio precedente, basando i risultati sulle seguenti specifiche: 6 lampade, nessun costo aggiuntivo, 10 ore di fotoperiodo, costo dell'elettricità 0.19 \$/kWh, invece che 0.11 \$/kWh.

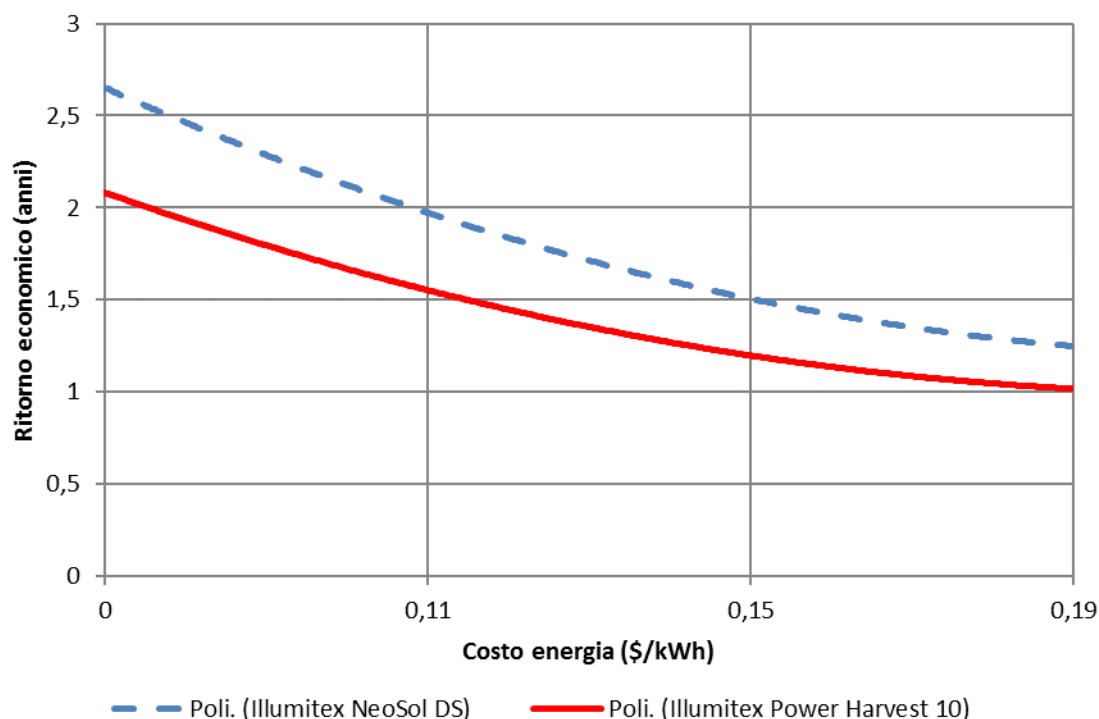


Figura 3: Periodo di ritorno economico vs Costo elettricità dei due modelli di lampade a LED confrontate con lampade HPS da 1000 W

Anche per quanto riguarda il fotoperiodo, un aumento di quest'ultimo porta ad un ritorno economico più veloce. Nella Figura 4 viene mostrato come un fotoperiodo di 12 ore/giorno porta ad una diminuzione del periodo di ritorno economico atteso. Sebbene il grafico mostri un periodo di ritorno economico molto più lungo per fotoperiodi brevi, è pur vero che le lampade, avendo un *lifetime* di circa 60000 ore, durano più a lungo, minimizzando così i costi di mantenimento.

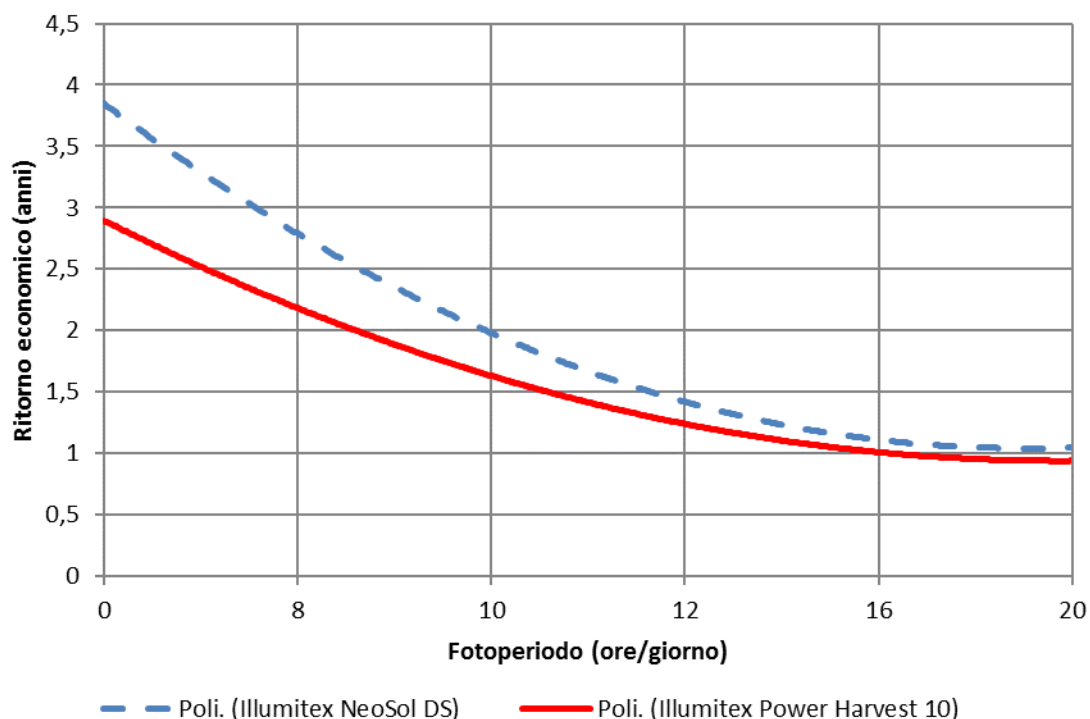
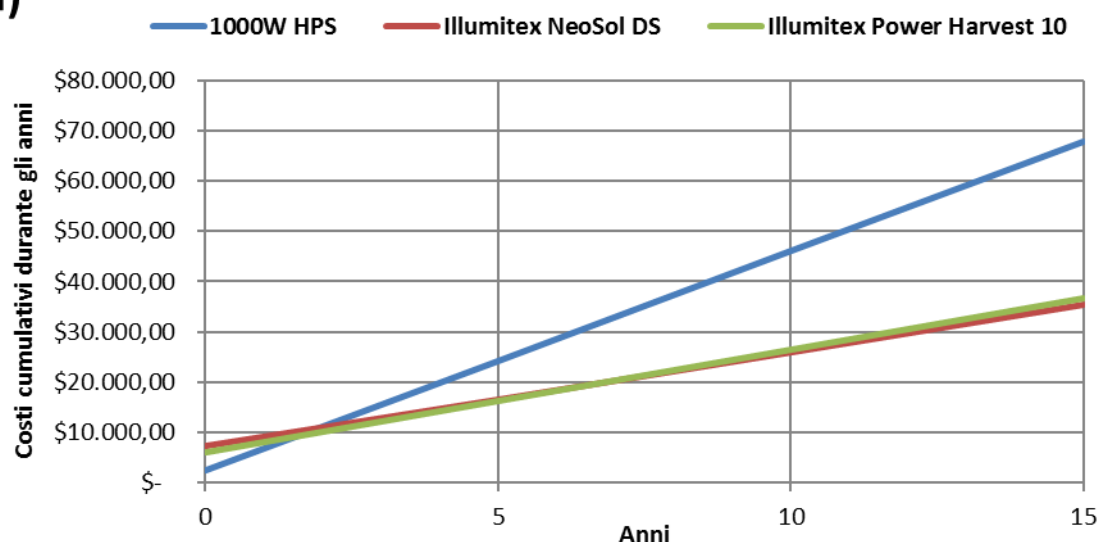


Figura 4: Periodo di ritorno economico vs Fotoperiodo per i due modelli di lampade a LED confrontate con lampade HPS da 1000 W

Tutti tipi di lampada subiscono un calo di flusso nel tempo di circa il 15-20%; solitamente prima che questo sia visibile a occhio nudo, avviene la rottura della lampada per altre cause. Nel LED invece è proprio questo effetto che ne determina il fine vita. Attualmente in Italia ed a livello internazionale si definisce vita media di un LED, o apparecchio LED, il numero di ore di funzionamento prima che vi sia il decadimento del flusso luminoso al 70%. Per le lampade a LED prese in considerazione, questa vita media si aggira intorno alle 60000 ore. Continuando con l'esercizio precedente, per un impianto composto da 6 lampade, nessun costo addizionale, 10 ore di fotoperiodo, etc., questo equivale a circa 16,4 anni di vita media. La Figura 5 mostra i costi totali per 6 lampade a LED e HPS lasciate

lavorare per 16,4 anni a 10ore di fotoperiodo. Il costo iniziale di acquisto dei LED è leggermente più alto ma, se si prendono in considerazione anche i costi dell'energia e della manutenzione, questo risulta più basso rispetto alle concorrenti.

a)



b)

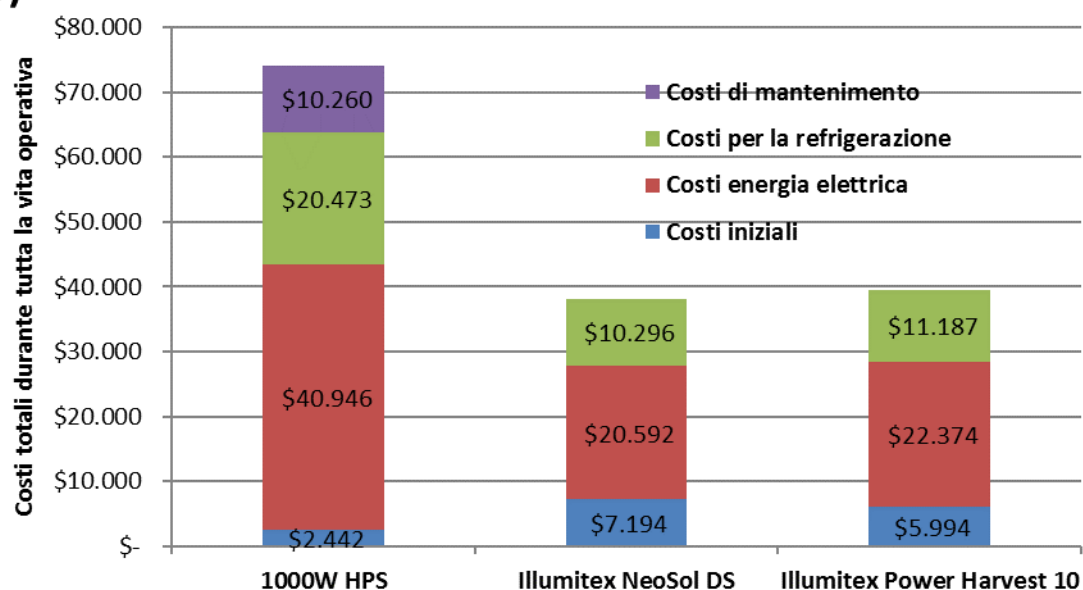


Figura 5: Costi cumulativi durante gli anni (a) e totali durante la vita operativa (b) per i due modelli di lampade a LED confrontate con lampade HPS da 1000 W

In conclusione, possiamo affermare che una comparazione side-by-side che prenda in esame sia le differenze di costo durante la vita operativa media, sia il ritorno economico nel lungo periodo, è favorevole alla tecnologia LED.

PRODUZIONE DI ENERGIA

In questo paragrafo si analizzeranno le tecniche di produzione energetica che consentiranno di abbattere i costi di gestione della Vertical Farm. Una tale struttura, pur consentendo di produrre frutta e verdura fresche ogni giorno e indipendentemente dalla stagione, presenta un uptake energetico non indifferente. Infatti tutti i sottosistemi sono operati per mezzo di elettricità: impianto di illuminazione, gestione atmosferica interna, ricircolo acqua, ecc.

A tal fine verranno investigate fonti di energia rinnovabile per la produzione di energia elettrica atte a minimizzare i costi di gestione energetica. Tra queste:

- Energia Fotovoltaica
- Energia Eolica
- Energia da Biomasse
- Energia da Piccolo Idroelettrico

ENERGIA FOTOVOLTAICA

ERRORE. L'ORIGINE RIFERIMENTO NON È STATA TROVATA.

Dal punto di vista energetico si tratta di un'energia alternativa ai classici combustibili fossili, rinnovabile e pulita (energia verde) nonché una delle energie a sostegno della cosiddetta economia verde nella società moderna. Può essere opportunamente sfruttata attraverso diverse tecnologie e a diversi fini anche se in alcune sue tecnologie di sfruttamento soffre di variabilità e intermittenza di produzione, ovvero non piena programmabilità dovuta ai cicli giorno-notte e alla copertura nuvolosa. La quantità di energia solare che arriva sul suolo terrestre è enorme, circa diecimila volte superiore a tutta l'energia usata dall'umanità nel suo complesso, ma poco concentrata (nel senso che è necessario raccogliere energia da aree molto vaste per averne quantità significative) e piuttosto difficile da convertire in energia utilizzabile con efficienze accettabili. Per il suo

sfruttamento occorrono prodotti tecnologici in genere di costo elevato che rendono attualmente l'energia solare notevolmente costosa rispetto ad altri metodi di produzione dell'energia. Lo sviluppo di tecnologie che possano rendere economico l'uso dell'energia solare è un settore della ricerca molto attivo ma che, per il momento, non ha avuto ancora risultati rivoluzionari.

Un impianto fotovoltaico è essenzialmente costituito da un "generatore", da un "sistema di condizionamento e controllo della potenza" e da un eventuale "accumulatore" di energia, la batteria, e naturalmente dalla struttura di sostegno.

Il componente elementare di un generatore fotovoltaico è la cella. È lì che avviene la conversione della radiazione solare in corrente elettrica. Essa è costituita da una sottile lamina di materiale semiconduttore (quasi sempre silicio) opportunamente trattato, dello spessore di circa 0,3 mm. Può essere rotonda o quadrata e può avere una superficie compresa tra i 100 e i 225 cm².

La cella si comporta come una minuscola batteria e nelle condizioni di soleggiamento tipiche dell'Italia (1 kW/m²), alla temperatura di 25°C fornisce una corrente di 3 A, con una tensione di 0,5 V e una potenza pari a 1,5-1,7 W_p. In commercio troviamo i moduli fotovoltaici, che sono costituiti da un insieme di celle. I più diffusi sono costituiti da 36 celle disposte su 4 file parallele collegate in serie. Hanno superfici che variano da 0,5 a 1 m² e permettono l'accoppiamento con gli accumulatori da 12 V_{cc} nominali. Più moduli collegati in serie formano un pannello, ovvero una struttura comune ancorabile al suolo o ad un edificio. Più pannelli collegati in serie costituiscono una stringa. Più stringhe, collegate generalmente in parallelo per fornire la potenza richiesta, costituiscono il generatore fotovoltaico.

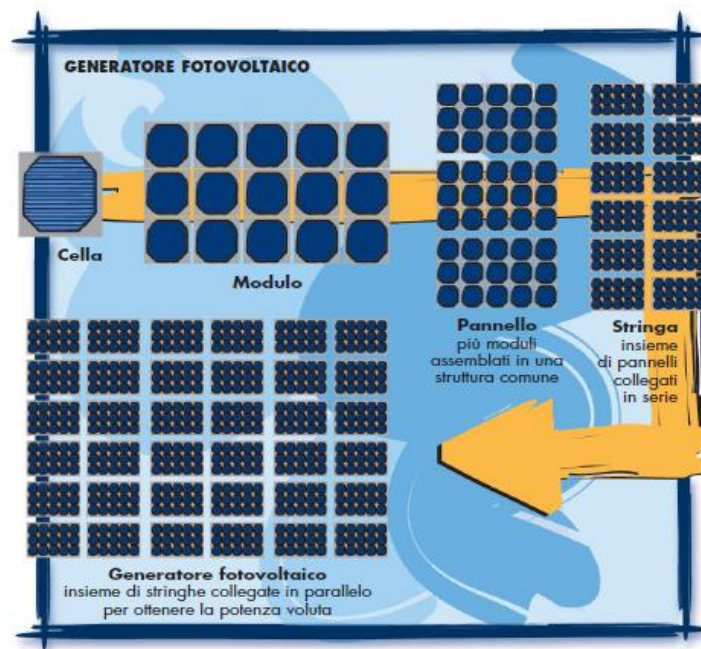


Figura 6: Generatore fotovoltaico

Il sistema di condizionamento e controllo della potenza è costituito da un *inverter*, che trasforma la corrente continua prodotta dai moduli in corrente alternata, da un *trasformatore* e da un sistema di *rifasamento* e *filtraggio* che garantisce la qualità della potenza in uscita. Trasformatore e sistema di filtraggio sono normalmente inseriti all'interno dell'inverter.

È chiaro che il generatore fotovoltaico funziona solo in presenza di luce solare.

L'alternanza giorno/notte, il ciclo delle stagioni, le variazioni delle condizioni meteorologiche fanno sì che la quantità di energia elettrica prodotta da un sistema fotovoltaico non sia costante né al variare delle ore del giorno, né ne al variare dei mesi dell'anno. Ciò significa che, nel caso in cui si voglia dare la completa autonomia all'utenza, occorrerà o collegare gli impianti alla rete elettrica di distribuzione nazionale o utilizzare dei sistemi di accumulo dell'energia elettrica che la rendano disponibile nelle ore di soleggiamento insufficiente.

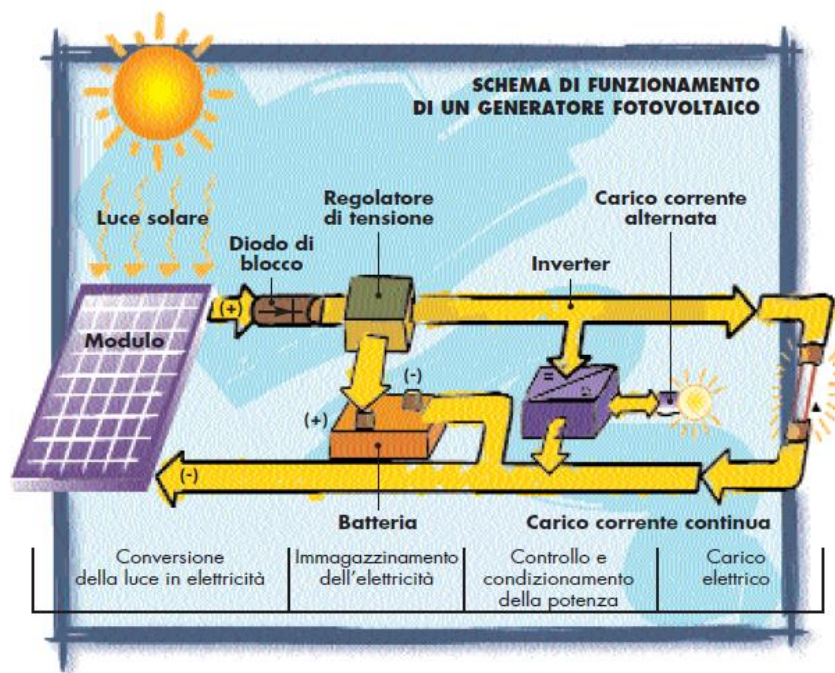


Figura 7: Schema di funzionamento di un generatore fotovoltaico

I moduli sfruttano l'effetto fotoelettrico e hanno una efficienza di conversione che arriva fino al 32,5% nelle celle da laboratorio. In pratica, una volta ottenuti i pannelli dalle celle e una volta montati in sede, l'efficienza è in genere del 13-15% per pannelli in silicio cristallino e non raggiunge il 12% per pannelli in film sottile. I prodotti commerciali più efficienti, utilizzando celle a multipla giunzione o tecniche di posizionamento dei contatti elettrici sul retro della cella (back-contact) raggiungono il 19-20%. Questi pannelli, non avendo parti mobili o altro, necessitano di pochissima manutenzione: in sostanza vanno solo puliti periodicamente. La durata operativa stimata dei moduli fotovoltaici è di circa 30 anni. Il costo dei pannelli è diminuito moltissimo negli ultimi anni e al 2015 esso risulta inferiore a 1 euro/W_p.

La quantità di energia prodotta da un generatore fotovoltaico varia nel corso dell'anno e dipende da una serie di fattori come la latitudine e l'altitudine del sito, l'orientamento e l'inclinazione della superficie dei moduli, e le caratteristiche di assorbimento e riflessività del territorio circostante.

A titolo indicativo alle latitudini dell'Italia centro-meridionale un metro quadrato di moduli può produrre in media 0,3-0,4 kWh al giorno nel periodo invernale, e 0,6-0,8 kWh in quello estivo.

Per ottenere la massima produzione di energia, in fase di progettazione di un impianto, bisogna studiare l'irraggiamento e l'insolazione del sito. Questo consente di decidere l'inclinazione e l'orientamento della superficie del dispositivo captante.

Per la latitudine del nostro Paese, la posizione ottimale della superficie del pannello risulta quella a copertura dell'edificio con esposizione a Sud e con un angolo di inclinazione di circa 20-30° rispetto al piano orizzontale. Ma anche la disposizione sul piano verticale del palazzo, cioè in facciata, riesce a conseguire ottimi risultati. L'importante è, naturalmente, posizionare il pannello in modo da evitare zone d'ombra.

Energia Eolica Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.

L'energia eolica è la conversione dell'energia del vento in una forma utilizzabile di energia, generalmente grazie all'utilizzo di aerogeneratori che producono energia elettrica. Il principio di funzionamento degli aerogeneratori è lo stesso dei mulini a vento: il vento che spinge le pale. Ma nel caso degli aerogeneratori il movimento di rotazione delle pale viene trasmesso ad un generatore che produce elettricità.

Esistono aerogeneratori diversi per forma e dimensione. Possono, infatti, avere una, due o tre pale di varie lunghezze: quelli con pale lunghe 50 cm vengono utilizzati come caricabatterie, quelli con pale lunghe circa 30 metri, sono in grado di erogare una potenza di 1500 kW, riuscendo a soddisfare il fabbisogno elettrico giornaliero di circa 1000 famiglie.

Il tipo più diffuso è l'aerogeneratore di taglia media, alto oltre 50 metri, con due o tre pale lunghe circa 20 metri (Figura 8). Questo tipo di aerogeneratore è in grado di erogare una potenza di 500-600 kW e soddisfa il fabbisogno elettrico giornaliero di circa 500 famiglie.



Figura 8: Aerogeneratore

Lo sfruttamento del vento è attuato tramite macchine eoliche divisibili in due gruppi distinti in funzione del tipo di modulo base adoperato:

- Generatori eolici ad asse orizzontale, in cui il rotore va orientato (attivamente o passivamente) parallelamente alla direzione di provenienza del vento;
- Generatori eolici ad asse verticale, indipendenti dalla direzione di provenienza del vento;
- Generatori magnetoeolici.

Un generatore sia ad asse verticale che orizzontale richiede una velocità minima del vento (cut-in) di 3–5 m/s ed eroga la potenza di progetto ad una velocità del vento di 12–14 m/s. Ad elevate velocità (20–25 m/s, velocità di cut-off) l'aerogeneratore viene bloccato dal sistema frenante per ragioni di sicurezza. Il bloccaggio può avvenire con freni che bloccano il rotore o con metodi che si basano sul fenomeno dello stallo e "nascondono le pale al vento". Esistono anche generatori a pale mobili che seguono l'inclinazione del vento, mantenendo costante la quantità di elettricità prodotta dall'aerogeneratore, e a doppia elica, per raddoppiare la potenza elettrica prodotta. La Figura 9 descrive le parti essenziali che costituiscono un aerogeneratore ad asse orizzontale (HAWT, in inglese Horizontal Axis Wind Turbines).

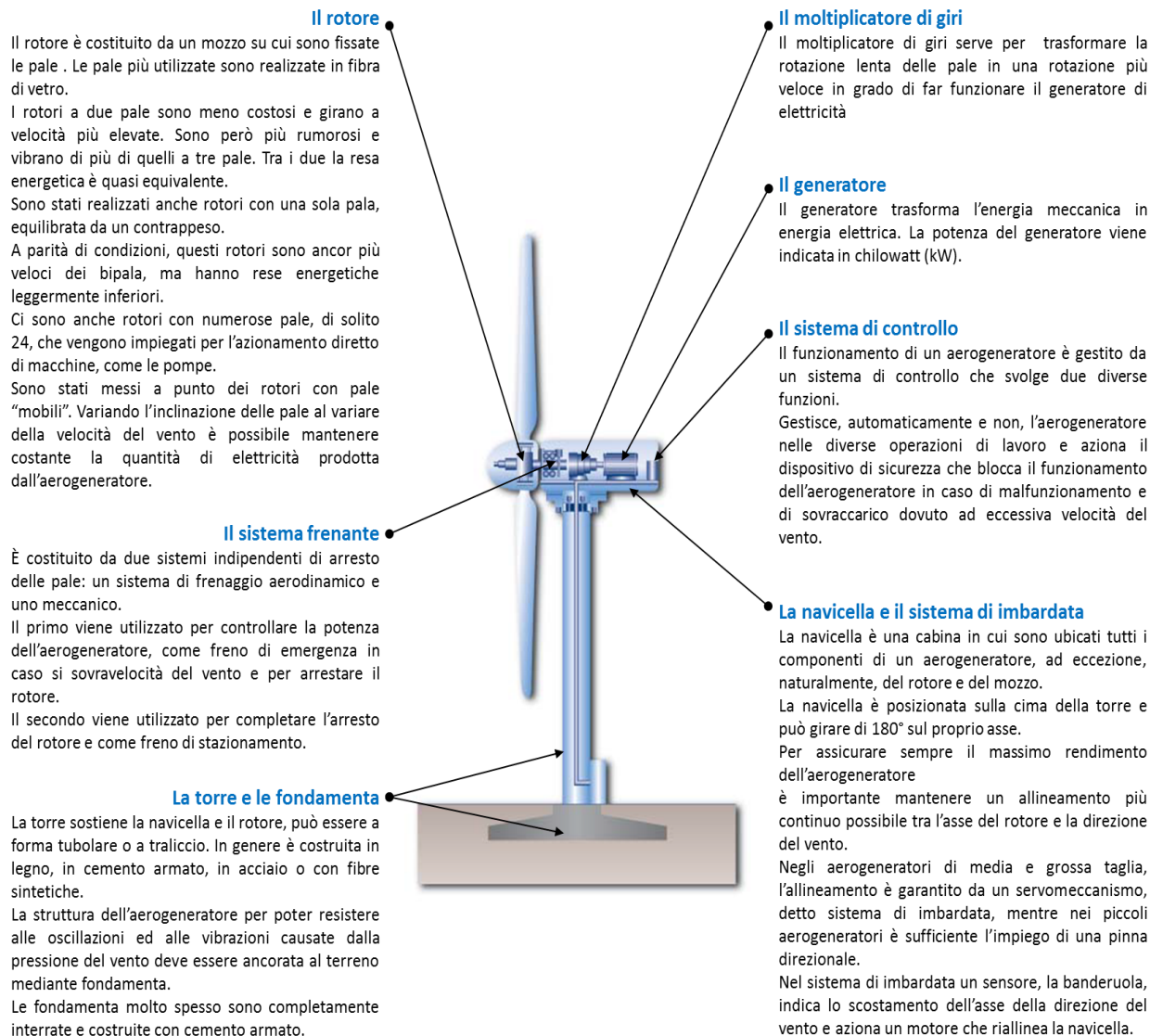


Figura 9: Descrizione delle parti che costituiscono un Aerogeneratore ad asse orizzontale

La Figura 10 mostra degli esempi di aerogeneratore ad asse verticale (VAWT, in inglese Vertical Axis Wind Turbines).



Figura 10: Aerogeneratori ad asse verticale

Un generatore eolico ad asse di rotazione verticale al suolo è un tipo di macchina eolica contraddistinta da una ridotta quantità di parti mobili nella sua struttura, il che le conferisce un'alta resistenza alle forti raffiche di vento e la possibilità di sfruttare qualsiasi direzione del vento senza doversi orientare di continuo. È una macchina molto versatile, adatta sia all'uso domestico che alla produzione centralizzata di energia elettrica nell'ordine del megawatt (una sola turbina soddisfa il fabbisogno elettrico mediamente di circa 1000 case).

La sostanziale minore efficienza rispetto a quelle con asse orizzontale (30%) ne ha di fatto confinato l'impiego nei laboratori.

Un promettente sviluppo dell'energia eolica è quella eolico-magnetica cioè prodotta con qualche tipo di aerogeneratore magnetoeolico con effetto di riduzione dell'attrito sperimentato dal rotore e del pignone principale, con guadagno notevole di efficienza e minor costo di manutenzione. I generatori di questo tipo riescono quindi a funzionare a basse velocità (cut-in), ma anche ad alte velocità (cut-off) perché diminuiscono l'attrito e l'intensa produzione di calore da esso causato. Come conseguenza hanno un *range operativo* di funzionamento, in termini di condizioni eoliche necessarie, molto più elevato dell'eolico classico ed al contempo, anche un rendimento di conversione meccanico-elettrico molto maggiore.

Hanno inoltre una ridotta manutenzione, perché non hanno bisogno di sostituzione dell'olio, di ingranaggi e sperimentano circa 1/4 dei guasti di un aerogeneratore a cambio meccanico, perché non subiscono molti guasti da momento torcente.

Tali caratteristiche lo rendono estremamente interessante e rivoluzionario all'interno del panorama dell'energia eolica.

La prima turbina di questo tipo è la *MagLev Wind Turbine* ed è stata presentata nell'estate 2007 al Wind Power Asia 2007. Produrrebbe fino a 1GWatt di potenza e avrebbe un'aspettativa di vita di 500 anni con dei controlli periodici. l'assenza di parti meccaniche in movimento elimina l'attrito: solo l'1 per cento della forza del vento viene dispersa per muovere le pale, mentre il restante 99 per cento può essere convertito in energia pulita. Le pale magnetiche sono anche economiche: costruirne una può costare fino al 75% in meno rispetto all'equivalente tradizionale, senza contare che, mancando i complessi meccanismi che consentono al rotore di allinearsi con la direzione del vento, viene anche considerevolmente ridotta la difficoltà di progettarle e realizzarle **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**



Figura 11: MagLev Wind Turbine

La posizione geografica dell'Italia, unita alla presenza di catene montuose e di masse d'acqua, determina un diverso andamento dei venti sia nel corso dell'anno che da regione a regione.

L'Italia può comunque contare, specie nelle zone mediterranee meridionali e nelle isole, su venti di buona intensità, quali il maestrale, la tramontana, lo scirocco e il libeccio.

ENERGIA DA BIOMASSE Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.

La Vertical Farm, come "industria" per la creazione di cibo vegetale, fornisce una grande quantità di scarti. per i quali nasce l'esigenza di doverli smaltire.

In quest'ottica, le biomasse (legno, residui legnosi, scarti e rifiuti di origine vegetale o animale, ma anche produzioni agricole dedicate e frazione organica dei rifiuti urbani) costituiscono una risorsa ben distribuita e spesso ampiamente disponibile a livello locale e possono essere trasformate, con tecnologie scelte in relazione alle loro caratteristiche chimico-fisiche, in energia e/o combustibili. In particolare, le biomasse fermentescibili possono essere convertite in "biogas" tramite il processo di digestione anaerobica, mentre quelle lignocellulosiche possono essere utilizzate direttamente come combustibili o gassificate per ottenere il cosiddetto "syngas".

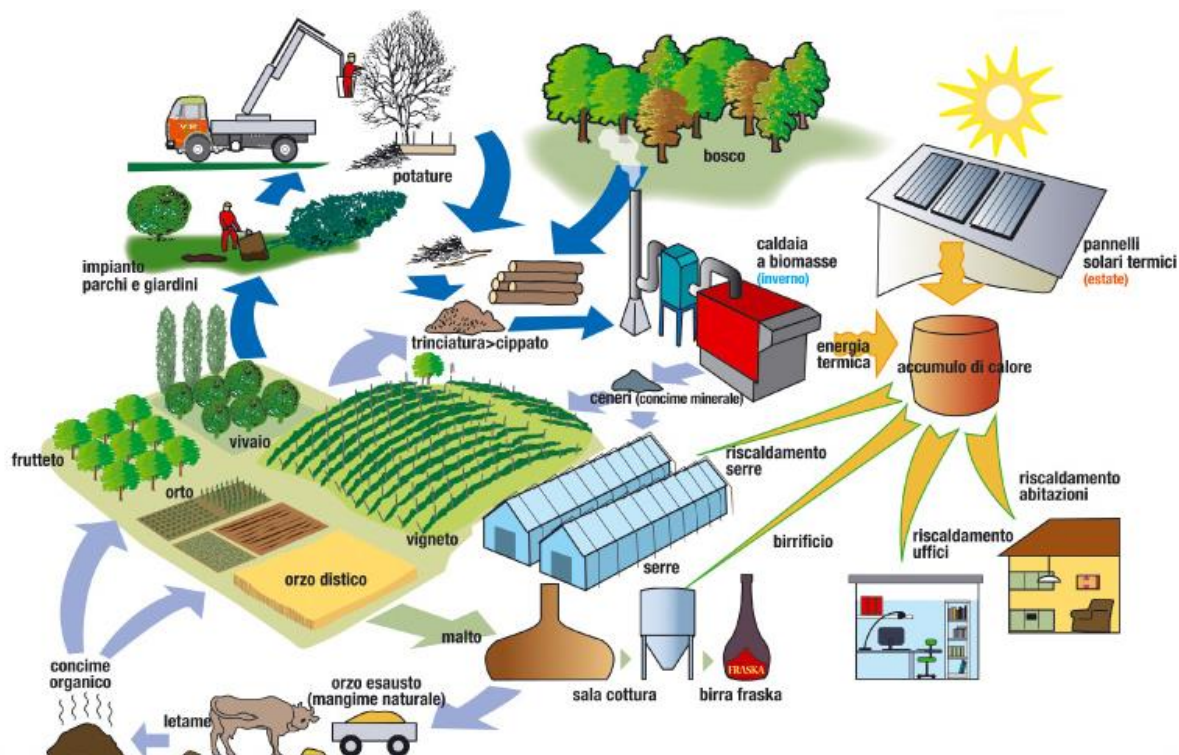


Figura 12: Ciclo di una centrale a biomasse

Il biogas e il syngas possono essere poi utilizzati in sistemi cogenerativi di piccola taglia, della potenza massima di qualche centinaio di kW, per la produzione distribuita di energia elettrica e calore. Il biogas può anche, se sottoposto a opportuni trattamenti di purificazione (clean-up) e rimozione della CO₂ (upgrading), essere immesso nella rete di distribuzione del gas naturale come "biometano".

I sistemi cogenerativi devono basarsi su impianti affidabili, di facile gestione e competitivi, e il loro sviluppo richiede l'ottimizzazione dei processi di produzione e purificazione del gas, la messa a punto di tecnologie di generazione/cogenerazione a elevata efficienza e l'integrazione tra i vari sottosistemi, mentre la produzione di biometano richiede da un lato l'ottimizzazione dei processi di digestione anaerobica e dall'altro lo sviluppo di sistemi di trattamento che consentano di ottenere il gas della qualità necessaria per l'immissione in rete.



Figura 13: Esempio di centrale a biomasse - Drax, United Kingdom – 4,000 MW

L'utilizzo delle centrali a biomasse comporta diversi vantaggi, sia rispetto alle fonti fossili, sia rispetto all'uso di sorgenti rinnovabili di altro tipo.

Uno dei vantaggi di questa modalità di produzione dell'energia elettrica è, come detto, che essa si basa sull'utilizzo di scarti agricoli, industriali e urbani, anziché sull'uso di derivati del petrolio.

L'utilizzo energetico di biomasse ha un effetto positivo sull'ambiente, poiché il carbonio contenuto nella biomassa fa parte del ciclo naturale del carbonio e non incrementa, a lungo termine, la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera, a differenza del consumo di combustibili fossili e derivati, come olio combustibile, carbon fossile o gas naturale, normalmente impiegati nelle centrali termoelettriche. Per questo motivo, l'energia da biomasse risolve «...in modo brillante il problema dell'aumento di CO₂ nell'atmosfera», con riflessi positivi sul contenimento della porzione di riscaldamento globale per effetto serra attribuibile ai gas serra sprigionati dall'uso di combustibili fossili.

L'energia da biomasse ha risolto due dei fondamentali problemi che affliggono altre forme di energia rinnovabile, come quella solare e quella eolica: la difficoltà di stoccaggio e la discontinuità nell'erogazione:

- Stoccaggio dell'energia: il risultato può essere agevolmente raggiunto mediante il semplice stoccaggio del combustibile, in maniera analoga a quanto avviene con i combustibili fossili .

- Continuità di erogazione: l'energia da biomasse è regolabile a piacimento e può essere interrotta in ogni momento, al pari delle energie da fonti fossili .
- Semplicità tecnologica e riduzione dei costi: rispetto ad altri impianti a energie rinnovabili (idroelettrico, solare termico, impianto fotovoltaico, eolico), le centrali a biomasse necessitano di tecnologie poco sofisticate e di più agevole reperibilità, accessibili anche a paesi a basso sviluppo tecnologico. Inoltre, e anche per questo motivo, la messa in opera di impianti di tale tipo richiede investimenti di dimensioni piuttosto ridotte rispetto alle fonti rinnovabili citate.

La generazione di energia da biomasse può raggiungere un'efficienza molto alta, con valori che dipendono dalla tecnologia di combustione utilizzata: essa raggiunge il 90% con la cosiddetta "tecnica a letto fluido", sviluppata, in origine (anni sessanta del Novecento), per una più efficace combustione del carbone, e riadattata per le biomasse. L'efficienza può essere ulteriormente migliorata sfruttando una delle qualità delle centrali a biomasse: la continuità di erogazione di energia. Questa infatti favorisce un ulteriore vantaggio, la possibilità di usare le centrali per la cogenerazione di energia termica da destinare al teleriscaldamento di ambienti domestici (si tratta dello sfruttamento del calore generato durante il processo, che altrimenti andrebbe disperso: questa possibilità è sfruttata ad esempio nel 60% delle centrali installate in Italia, secondo dati disponibili al 2006).

Al pari di ogni processo di combustione, quello che avviene nelle centrali a biomasse introduce fattori di inquinamento nell'aria: monossido di carbonio, NO_x, composti organici volatili (COV), particolati e altri inquinanti. Tali effetti sono tuttavia fortemente ridimensionati (tra l'85 e il 90%) dalle tecnologie ad alta efficienza utilizzate nella combustione, idonee a prevenire ed a ridurre sostanzialmente le emissioni indesiderate, grazie soprattutto a un basso eccesso d'aria (tra il 15 e il 20%) e alla temperatura di combustione di circa 850°C. Inoltre, dalle emissioni derivanti dalla combustione del legno e degli scarti legnosi sono

praticamente assenti due importanti inquinanti atmosferici, lo zolfo e gli idrocarburi policiclici aromatici.

Uno dei pregi delle centrali da biomasse è costituito dalla possibilità di rivolgersi a materie prime e a risorse di scarto comunemente disponibili in ogni territorio a livello globale, senza dover far affidamento su coltivazioni specializzate e senza sottrarre quindi estensioni utili all'agricoltura di base, potendo avvantaggiarsi invece dell'uso di terreni incolti o di superfici agrarie di scarso valore produttivo.

Altra ricaduta positiva riguarda i tassi di occupazione, poiché la più equa distribuzione delle fonti dà la possibilità di impiegare manodopera locale (qualora la produzione di biomasse avvenga in loco).

ENERGIA DA PICCOLO IDROELETTRICO Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.

Un altro metodo di produzione energetica associato alle Vertical Farms potrebbe derivare dallo sfruttamento delle masse d'acqua interessate alla produzione agricola idroponica e che si basa sul "piccolo idroelettrico".

Il termine piccolo idroelettrico si riferisce a centrali elettriche che, oltre a sfruttare l'energia idroelettrica, sono caratterizzate dal fatto di avere una potenza installata ridotta, che comporta l'utilizzo di strutture di dimensioni molto minori rispetto ad una diga normale, più sicure, grazie al minore volume d'acqua nel bacino, e che inoltre hanno un basso impatto ambientale e paesaggistico.

Il piccolo idroelettrico ha delle peculiarità rispetto alle centrali idroelettriche di grande taglia, oltre ai vantaggi dell'uso di un'energia rinnovabile.

- Investimenti contenuti: la realizzazione di un tale impianto generalmente avviene su acqua fluente che non richiede la costruzione di opere particolarmente costose (come le grosse dighe). Questo permette un veloce ritorno dell'investimento;
- Consente un miglioramento delle condizioni idrogeologiche del territorio;
- Contribuisce alla riduzione dell'effetto serra, e quindi beneficia dei certificati verdi per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il piccolo idroelettrico può essere ulteriormente suddiviso in sub classificazioni:

- mini idroelettrico, per impianti di meno di 15 MW di potenza;
- micro idroelettrico, che comprende impianti di potenza inferiore ai 100 kW;
- pico idroelettrico, che comprende impianti di potenza inferiore a 5 kW, con utilizzi di salti di pochi metri d'acqua e con una portata minima di 0,5 litri d'acqua al secondo.

Un impianto micro-idro sfrutta l'energia potenziale posseduta dalla corrente di un corso d'acqua. Per gli impianti di dimensioni molto ridotte (2-3 kW), la turbina, che è il componente principale di un impianto, può alloggiare direttamente nel corso d'acqua, mentre per gli impianti di dimensioni più grosse si utilizzano apposite opere civili come canali di adduzione, vasche di carico, condotta forzata ecc., che prelevano parte dell'acqua dalla corrente del corso e dopo che ha attraversato la turbina viene restituita al corso d'acqua in un punto più a valle.

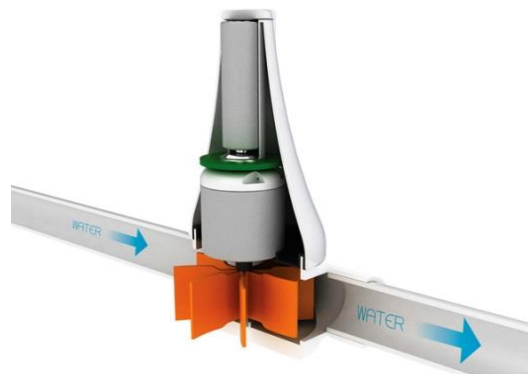
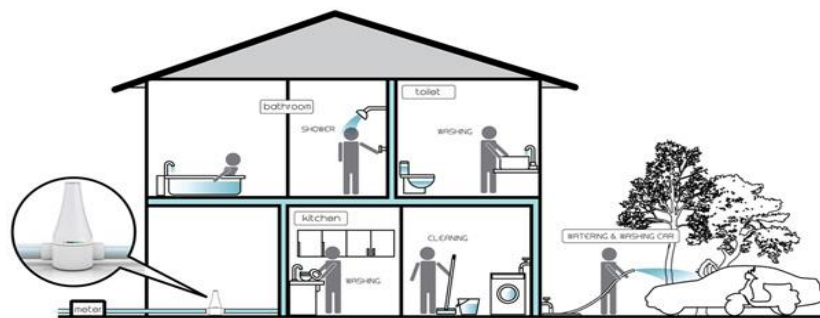


Figura 14: Micro Idroelettrico casalingo, che sfrutta micro turbine installate direttamente nelle tubazioni di casa

La turbina idraulica è il fulcro centrale di questa tipologia di impianto in grado di favorire il passaggio da energia potenziale in energia meccanica. Essa si compone di un organo fisso che svolge due funzioni: quella di distributore della regolazione della portata in arrivo e quella idraulica di trasformazione in energia cinetica. C'è poi l'organo mobile, il girante, che viene messo in movimento dall'acqua in uscita dal distributore e che ha la funzione di comunicare energia meccanica all'albero su cui è montata.

Diverse sono le classificazioni esistenti per le turbine. Una prima classificazione si può fare in base alle caratteristiche dinamiche. Possono essere:

- Turbine in azione, laddove la trasformazione da energia potenziale a cinetica avviene nel passaggio attraverso un ugello che provoca un restringimento rispetto al diametro della condotta forzata. Lungo tutto il percorso attraverso il girante, il fluido si trova a pressione atmosferica.
- Turbine a reazione, con l'energia dell'acqua in uscita dal distributore che diventa in parte cinetica e in parte pressione. L'acqua ne esce con una velocità minore rispetto alle turbine ad azione, ma dotata di una pressione comunque non nulla. Le turbine a reazione lavorano completamente immerse in acqua e sono dotate, nella loro parte terminale, di un diffusore.

Un altro modo di classificare gli impianti idroelettrici si basa sul loro funzionamento in rapporto alla modalità di presa e accumulo delle acque:

- Impianti ad acqua fluente, che non godono di una capacità di regolazione. La portata è in funzione del regime idrologico del corso d'acqua.

- Impianti a deflusso regolato, che possono regolare le acque tramite un serbatoio di regolazione giornaliero, settimanale o mensile. L'entità della regolazione è connessa alla capacità di accumulo del serbatoio.

SISTEMI DI GESTIONE ATMOSFERICA

Essendo un'entità chiusa ed isolata dall'ambiente esterno, una Vertical Farm deve predisporre di un proprio impianto di gestione atmosferica, al fine di monitorare, regolare e controllare la qualità dell'aria della serra a livelli ottimi sia per le piante che per gli essere umani che in essa operano.

Deve quindi predisporre dei seguenti macro sistemi:

1. TRATTAMENTO E MONITORAGGIO DELL'ARIA

TRATTAMENTO ARIA

- Sistema di rimozione dei contaminanti in tracce;
- Sistema di controllo microbiologico;
- Sistema di accumulo e rimozione di CO₂;

- MONITORAGGIO REAL-TIME DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

- Analizzatore on-line dei maggiori costituenti;
- Sistema di monitoraggio dei contaminanti in tracce;

SISTEMA DI CONTROLLO TERMICO INTERNO

Di seguito, nella Figura 15, uno schema riassuntivo di un sistema di gestione aria ambientale sviluppato per ambienti chiusi e controllati, del tutto separati dall'ambiente esterno.

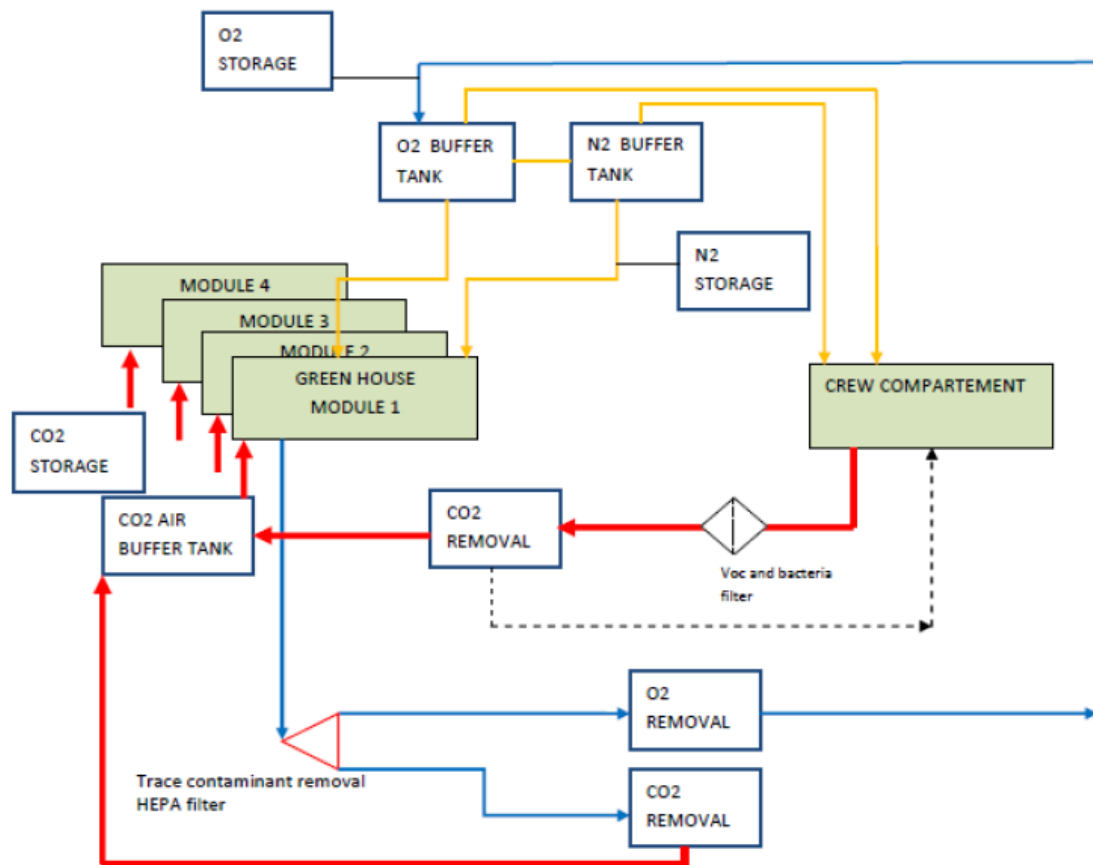


Figura 15: Schema riassuntivo di un sistema di gestione aria in un ambiente chiuso e controllato

SISTEMA DI RIMOZIONE DEI CONTAMINANTI IN TRACCE

Sia gli esseri umani che le piante emettono nell'atmosfera una serie di molecole (principalmente organiche) chiamate genericamente COV (Composti Organici Volatili). Un esempio emesso dai primi è dato da metano, ammoniaca ed isoprene, mentre le piante, in genere, ne emettono molti di più, diversi in base alla specie di pianta. Tra i più importanti troviamo ancora il metano e gli isoprenoidi. La tecnologia selezionata per la rimozione dei contaminanti volatili (COV) è rappresentata dal nuovo sistema di filtrazione a flusso laminare sviluppato da Aero Sekur nell'ambito di progetti space interni a MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative). Il sistema prevede che il flusso laminare attraversi un dispositivo dove il materiale sorbente è depositato su una piastra del dispositivo stesso o sulla superficie interna delle tubazioni. Il flusso d'aria contenente i COV

viene completamente purificato dopo l'attraversamento del sistema a flusso laminare, riuscendo a consumare la minore energia possibile in confronto con i tradizionali sistemi di assorbimento a letto fisso. Inoltre, il dispositivo per l'adsorbimento è totalmente rigenerabile ed i COV possono essere rilasciati (verso l'ambiente esterno o inviati a bruciatori catalitici per essere riconvertiti in CO₂) sotto opportune azioni di contropressione.

SISTEMA DI CONTROLLO MICROBIOLOGICO

La sterilizzazione dell'aria interna viene effettuata attraverso l'uso di lampade a LED UV-C atte ad uccidere completamente i patogeni e gli altri microrganismi che infestano l'ambiente. L'uso delle lampade UV-C a LED viene generalmente preferito in quanto, diversamente dalle più comuni lampade germicide, queste sono prive di mercurio.

Un ulteriore filtro a membrana rimuoverà l'aerosol generato nella serra.

SISTEMA DI ACCUMULO E RIMOZIONE DELLA CO₂

Tra le possibili tecnologie che possono essere impiegate per la separazione della CO₂, abbiamo:

- Metodi Criogenici (con distillazione frazionata).

Uno dei più comuni metodi per la separazione della CO₂ è quello di raffreddare la miscela d'aria, sapendo che il punto di ebollizione della CO₂ è a -78°C, quello dell'N₂ è -196°C mentre quello dell'O₂ è a -182°C.

- Metodi a Membrana (ad esempio membrane polimeriche porose o non).

In questo metodo, l'aria passa attraverso una serie di membrane, costituite preferibilmente da materiali polimerici che, potendo essere modellate a forma di fibre cave o spiralate, consentono la maggiore area di filtrazione possibile. La separazione tra gas avviene grazie alla differente solubilità nel materiale

polimerico (non poroso) utilizzato come membrana. Conseguentemente, i gas con una bassa solubilità in questo materiale necessiteranno di un tempo più lungo per poterlo attraversare, mentre quelli con un'alta solubilità ne impiegheranno di meno ed emergeranno dalla membrana per primi.

È anche possibile usare membrane porose e, in questo caso, il meccanismo di separazione non dipenderà dalla solubilità dei gas, ma dalla velocità con cui le particelle di ogni specie gassosa attraversano la membrana. In altre parole, il flusso del gas attraverso i pori risulta proporzionale alla velocità delle molecole e inversamente proporzionale alla radice quadrata della loro massa.

- Metodi ad assorbimento (ad esempio la zeolite).

Tra i vari materiali assorbenti utilizzati, troviamo la zeolite, che selettivamente assorbe le molecole di CO_2 e H_2O dall'aria, permettendo all'aria secca di passare attraverso il letto. I gas, una volta assorbiti, possono essere desorbiti attraverso un aumento della temperatura o una diminuzione della pressione.

La CO_2 rimossa viene poi immagazzinata in un serbatoio e reimpressa in circolo nella serra in modo da poter essere riutilizzata per l'accrescimento delle piante.

SISTEMA DI MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Il sistema di controllo atmosferico prevede delle tecnologie necessarie a conoscere l'esatta composizione chimica dell'atmosfera interna ed a monitorare la sua qualità, sia in termini di maggiori costituenti (O_2 , N_2 , CO_2 , vapor d'acqua, ecc...) sia in termini di tracce presenti. Per controllare le concentrazioni dei maggiori costituenti (ossigeno ed anidride carbonica), si implementa una strategia a ciclo semi-aperto, in cui l'aria a livello plantare viene ricircolata in un ciclo chiuso finché la concentrazione di O_2 sale fino ad una certa soglia; l'aria viene poi scambiata con quella esterna alle camere di crescita in modo da ritornare a livelli normali. Per quanto riguarda il reintegro della CO_2 necessaria, si possono utilizzare sia i più classici bruciatori, sia le bombole. Il monitoraggio avviene tramite sensoristica dedicata che, accoppiata con appositi attuatori, può ristabilire le concentrazioni necessarie senza che intervenga mai l'operatore (a meno di imprevisti ed aggiustamenti).

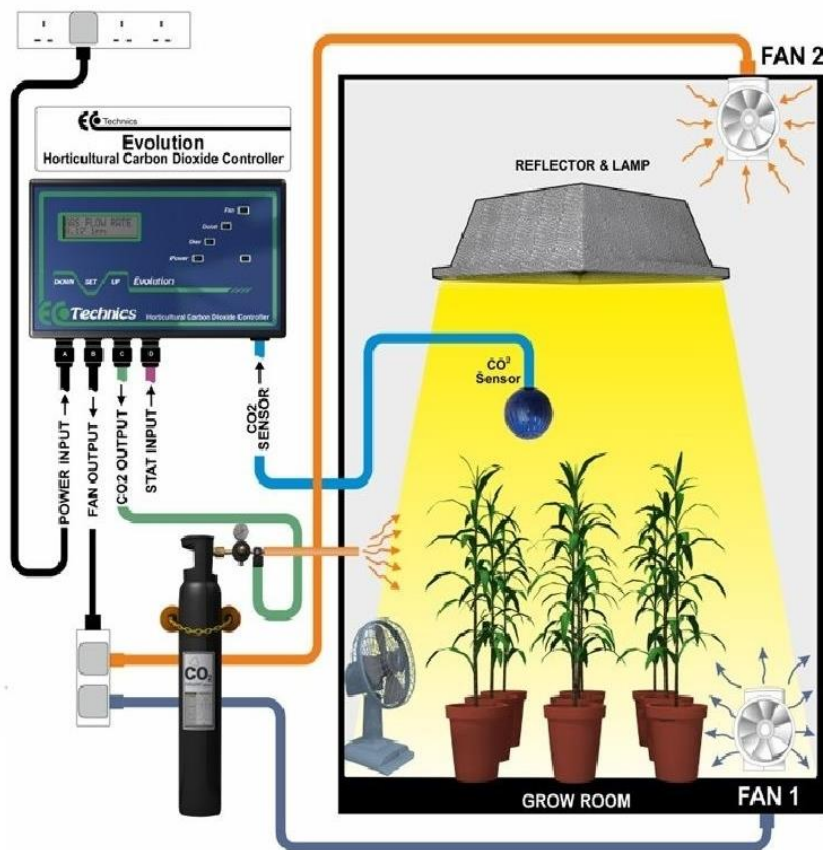


Figura 16: Schema di apporto e controllo CO_2

SISTEMA DI CONTROLLO TERMICO INTERNO

Il sistema di controllo termico interno è sicuramente uno dei sistemi più importanti (insieme a quello di sterilizzazione acqua, gestione nutrienti e luminoso) quando si parla di coltivazione in ambienti chiusi e controllati. Un suo prolungato malfunzionamento causerebbe la perdita delle piante, non potendo queste sopportare per lunghi periodi temperature ambientali troppo superiori o troppo inferiori a quelle ottimali.

L'aria estratta dalla zona di coltivazione viene raffreddata da un cooler termoelettrico (TEC, *ThermoElectric Cooling*) che rimuove sia il carico termico sensibile che quello latente attraverso la condensazione dei vapori d'acqua. Questi vengono poi raccolti per gravità in un recipiente e di seguito fatti passare attraverso una lampada a LED UV per essere disinfettati e poi inoltrati verso la riserva di acqua e nutrienti, per essere così reimmessi in circolo ed evitare sprechi d'acqua. L'aria raffreddata viene poi riscaldata attraverso un termistore PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Sia i PTC che i TEC sono isolati al fine di garantire un'alta efficienza.

Sia la temperatura che l'umidità sono monitorate via sensori nella sezione di estrazione dell'aria, in modo da inviare un feedback al sistema di controllo attivo.

La Figura 17 mostra un diagramma a blocchi preliminare (estrapolato dal progetto EDEN-ISS) in cui è possibile vedere il sistema di Gestione Aria.

SEMI-OPEN LOOP

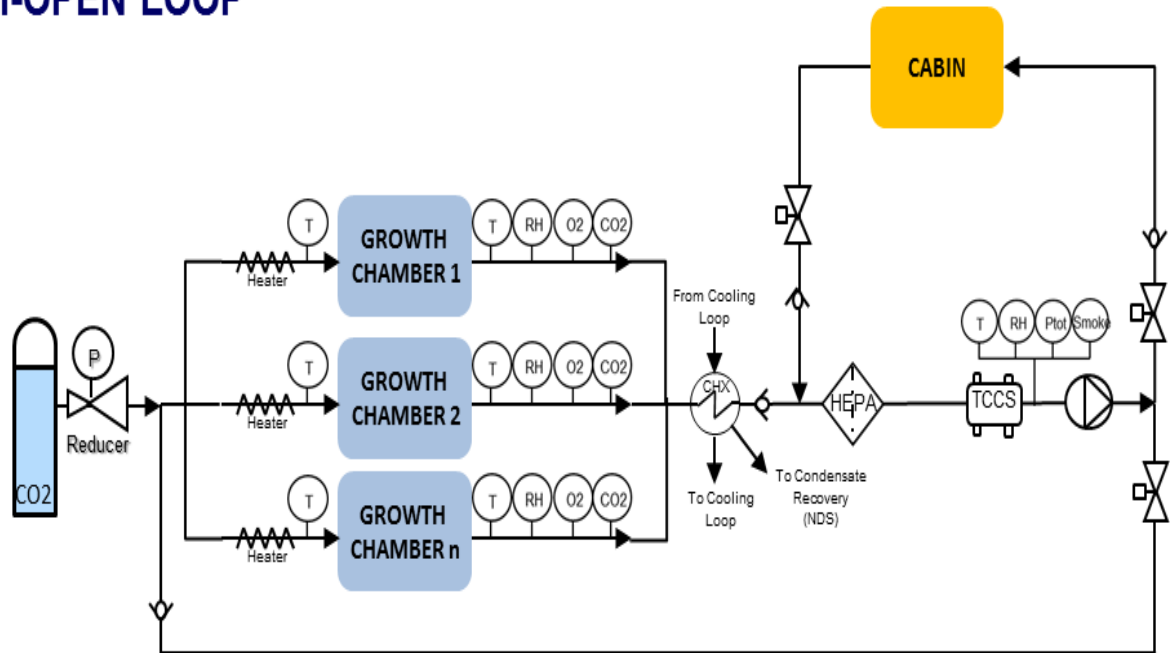


Figura 17: Diagramma a blocchi preliminare del Sistema di Gestione Aria, EDEN-ISS

TRATTAMENTO E GESTIONE ACQUA

Nell'agricoltura classica l'acqua scorre come in un rubinetto sempre aperto: attualmente l'uso di circa il 70% di tutta la risorsa idrica disponibile sul pianeta è riconducibile a colture e allevamenti, con punte del 95% nei paesi in via di sviluppo (dati FAO).

L'Italia è tra i Paesi europei che fanno maggior ricorso all'irrigazione per la produzione agricola: 11 miliardi di metri cubi per irrigare 2,4 milioni di ettari di terreno destinati all'agricoltura (dati ISTAT). Tema scottante quello del consumo idrico che pone al centro numerose criticità, dai costi elevati ai crescenti contenziosi fra usi civili e utilizzo industriale, ad esempio per la produzione di energia elettrica. Un contributo importante all'uso ottimale della risorsa acqua può venire dalla tecnologia.

Nelle serre verticali ad ambiente chiuso e controllato la gestione ed il trattamento della risorsa Acqua diviene un punto di fondamentale importanza. Al contrario delle comuni tecniche agricole (in campo), all'interno delle Vertical Farms (che usano la coltivazione fuori suolo) l'acqua non viene sprecata, ma subisce dei trattamenti "in-linea" che ne consentono il riciclo completo e la disinfezione dai più comuni patogeni.

Di seguito, le tecnologie utilizzate in campo idroponiche per rendere più efficiente il consumo idrico.

PREMESSA

Nelle coltivazioni fuori suolo, a prescindere dal tipo di tecnica usata (NFT- **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, Deep Water Culture - Figura 19, Aeroponica - Figura 20, Ebb&Flow - Figura 21, Fogponica - Figura 22, ecc.), i nutrienti vengono inviati alle piante usando una soluzione (detta appunto *soluzione nutritiva*) composta da acqua e minerali.

- A. Serbatoio dei nutrienti
- B. Pompa di ricircolo soluzione nutritiva
- C. I nutrienti vengono flussati nelle canaline
- D. Le radici assorbono i nutrienti
- E. La soluzione nutritiva ritorna nel serbatoio

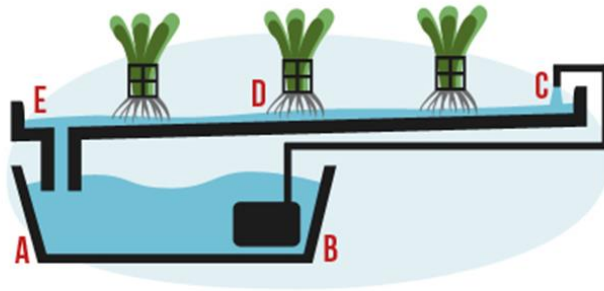


Figura 18: Nutrient Film Technique - NFT

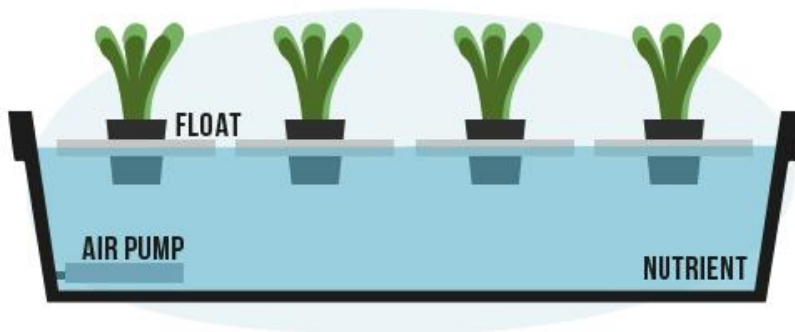


Figura 19: Deep Water Culture – DWC

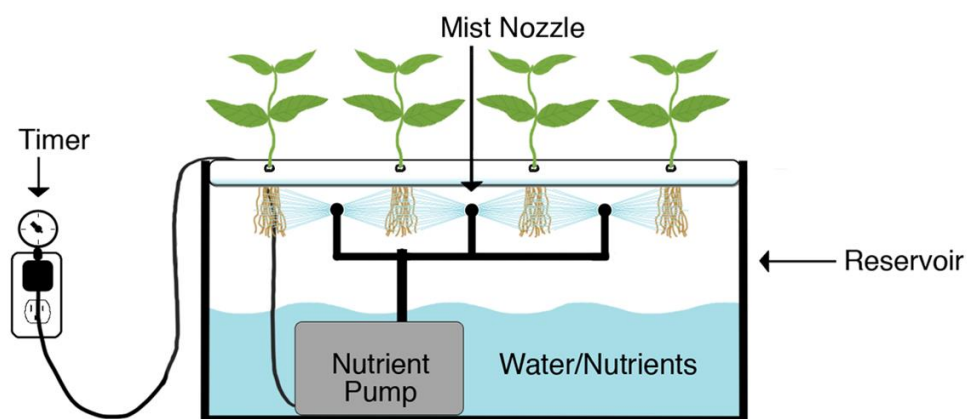


Figura 20: Aeroponica

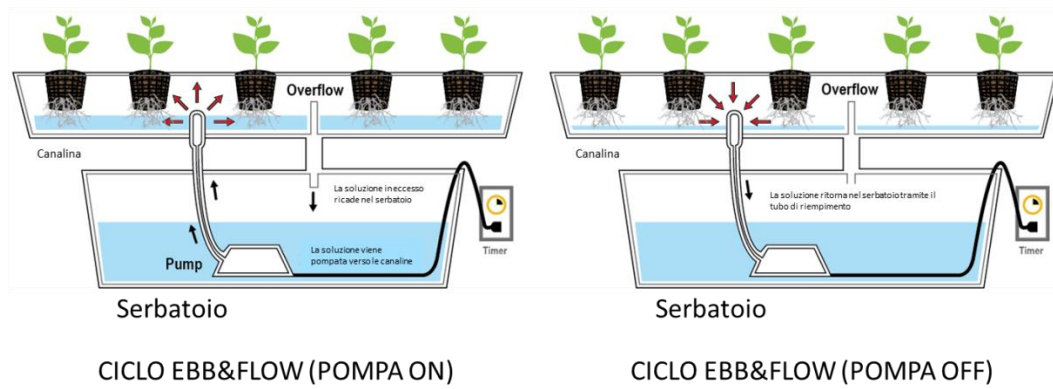


Figura 21: Ebb&Flow

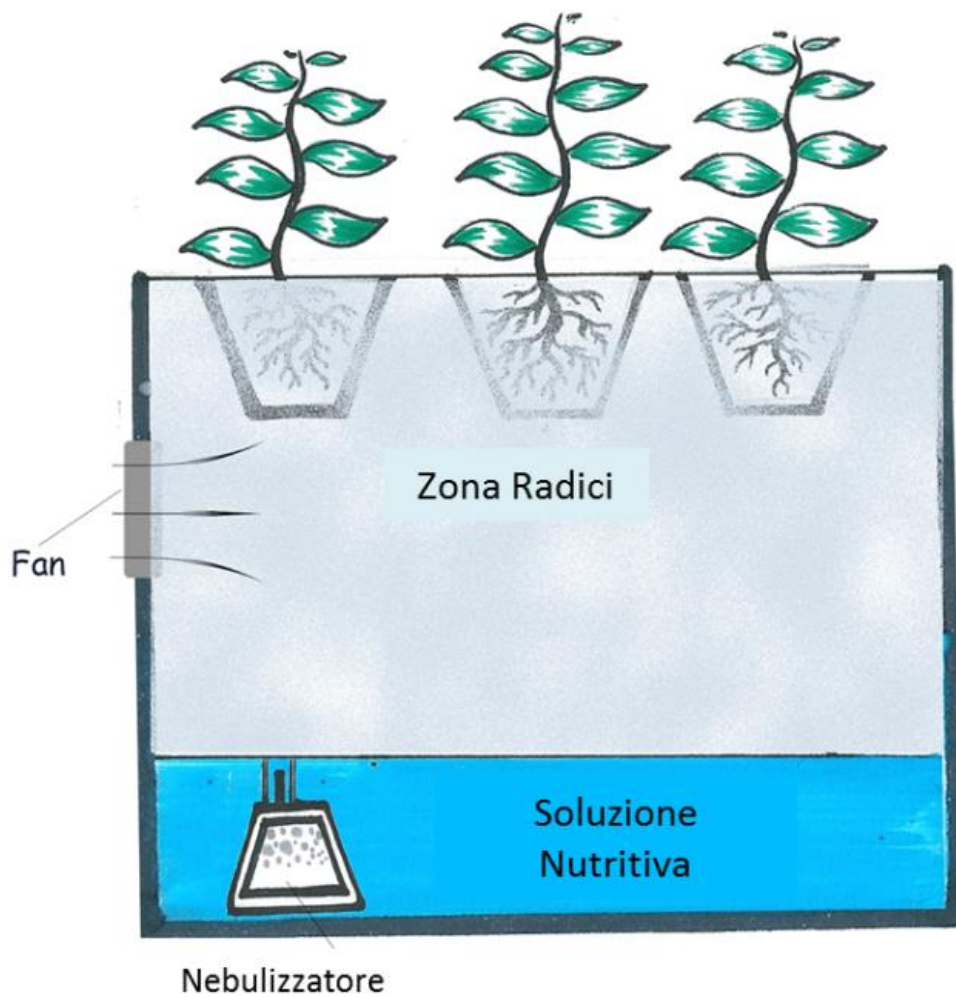


Figura 22: Fogponica

Questa soluzione viene poi ricircolata fino al completo esaurimento dei nutrienti in essa presenti, i quali vengono poi reintegrati e riportati ai livelli iniziali.

Seguendo lo schema di Figura 23 (in questo particolare esempio abbiamo preso in considerazione due sole zone di coltivazione, all'interno delle quali vengono coltivate due specie diverse con differenti richieste nutritive; ciò non vuol dire che non se ne possano usare di più) l'acqua, collezionata in appositi recipienti, viene mescolata con i nutrienti concentrati (Stock A e B), tenuti in due contenitori separati per evitare la precipitazione dei sali. Una volta uscita dai serbatoi principali (1 e 2), la soluzione nutritiva viene controllata attraverso l'uso di sensori (ad esempio: PH, EC, DO, K^+ , NO_3^- - vedi paragrafo 0) i quali ne monitorano la qualità (in termini di acidità, elettroconducibilità, ossigeno disciolto e sali) e la inviano alle piante. Qualora i valori riscontrati non fossero in linea con gli standard qualitativi, la soluzione nutritiva non viene inviata alle piante, ma ritorna nei serbatoi e viene reintegrata di minerali o acidi.

All'uscita della zona di coltivazione, dopo essere passata attraverso dei filtri per la rimozione di eventuali pezzi di radice, foglie e quant'altro, l'acqua segue due percorsi: la gran parte viene riportata nei serbatoi principali, mentre l'altra (circa il 10%) viene inviata nella zona di rimozione dei composti organici e di disinfezione (nella quale subisce un trattamento di foto-ozonolisi, vedi Paragrafo 0) per essere poi flussata nel serbatoio principale.

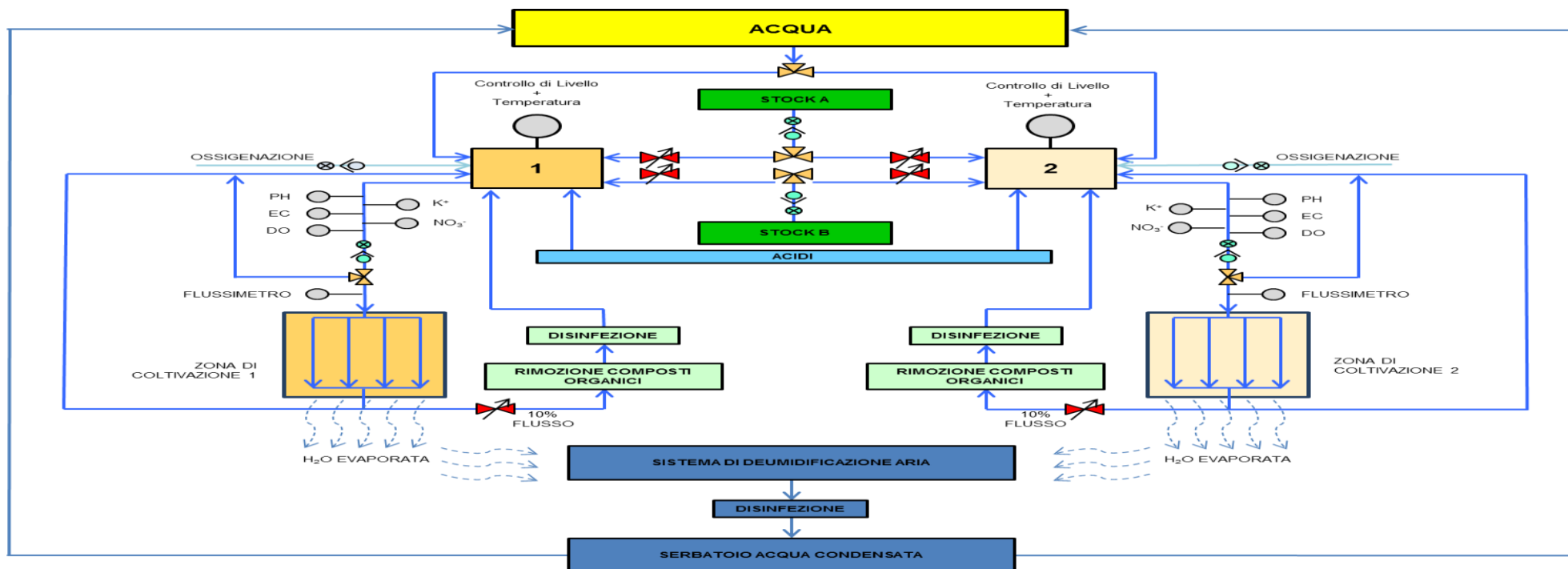


Figura 23: Schema del sistema di apporto nutrienti

Oltre al ricircolo dell'acqua liquida, usata per l'irrigazione, un'altra forma di acqua viene raccolta e reimpressa in circolo: è l'acqua derivante dall'*evapotraspirazione*, ovvero la quantità d'acqua che dal sistema passa nell'aria allo stato di vapore per effetto congiunto della *traspirazione*, attraverso le piante, e dell'*evaporazione*, direttamente dall'acqua circolante.

Questa quota di acqua (del tutto persa nell'agricoltura tradizionale) viene quindi condensata e raccolta nel serbatoio dell'acqua, per poi essere reinserita nel loop generale.

DISINFEZIONE: FOTO-OZONOLISI

Nell'ambito del trattamento e disinfezione dell'acqua derivante dalle colture idroponiche, Aero Sekur installa una serie di elettrodi ionoselettivi connessi ad un hardware microelettronico (microchip della Sensichip) per monitorare la concentrazione dei nutrienti in acqua e, all'occorrenza, reintegrarli attraverso una serie di pompe dosatrici. Una serie di elettrodi ionoselettivi è specifica per il monitoraggio dei cationi ammonio, sodio, potassio e calcio mentre un'altra serie è dedicata al monitoraggio degli ioni più importanti, come il cloruro, fosfato, acido, solfato, nitriti e nitrati.

La circolazione dell'acqua nella coltura idroponica implica il suo arricchimento con metaboliti ed essudati radicali provenienti dalle piante, cosa, questa, molto pericolosa. Infatti, gli essudati radicali hanno un potente effetto inibitorio sulla crescita delle piante e potrebbero essere un veleno per le specie vegetali diverse da quelle che hanno rilasciato la data sostanza chimica. Molecole come l'acido idrossibenzoico, l'acido cinnamico, il p-thiocyanophenolo, l'hydroxybenzothiazolo, l'acido ossalico, il malonico, il succinico, il maleico e l'acido fumarico sono segnalati come essudati radicali che si

accumulano nell'acqua di coltura. Naturalmente ogni specie vegetale ha i suoi metaboliti ed essudati radicali che possono inibire la crescita di altre specie o ritardare la crescita della stessa specie e che, quindi, devono essere rimossi di continuo dalla coltura idroponica. Inoltre in acqua possono accumularsi e crescere microrganismi indesiderati, che possono formare un biofilm sulle pareti del sistema di circolazione dell'acqua e all'interno dei serbatoi del sistema idroponico. Tale biofilm potrebbe essere potenzialmente pericoloso per le piante.

Per il trattamento delle acque idroponiche e il suo continuo ricircolo senza integrazione, Aero Sekur ha sviluppato e brevettato una tecnologia avanzata basata sulla foto-ozonolisi (Figura 24) che permette di distruggere selettivamente i metaboliti indesiderati rilasciati dalle piante. Il trattamento di foto-ozonolisi non solo distrugge questi metaboliti (come l'acido ossalico) convertendoli in CO₂ e acqua, ma distrugge completamente tutti i microrganismi nocivi che possono crescere nell'acqua idroponica e quindi prevenire l'accumulo di biofilm indesiderato

L'impianto di trattamento dell'acqua idroponica funziona facendo passare una certa quantità d'acqua da trattare in un circuito separato: questa viene prima passata attraverso un letto di carboni attivi per essere chiarificata, quindi viene trattata simultaneamente con ozono e radiazioni UV, in modo che tutte le molecole organiche vengano distrutte dall'azione ossidativa dell'ozono (che scinde i legami doppi) e dall'attacco dei radicali OH che, nel loro effetto di degradazione, sono ossidanti molto potenti e non selettivi, al contrario dell'azione dell'ozono che è selettiva e specifica solo nei confronti dei legami doppi.

Inoltre, i microrganismi (compresi protozoi, funghi, spore) presenti nell'acqua vengono uccisi mediante l'azione combinata delle radiazioni

UV e dell'ozono. L'acqua, così sterilizzata, viene re-iniettata nel circuito primario della coltura idroponica.



Figura 24: Impianto di Foto-ozonolisi in funzione presso Aero Sekur, Aprilia (LT)

La Figura 25 mostra come la tecnica della foto-ozonolisi sia effettivamente valida: i campioni di acqua inviati dall'Università dell'Arizona, provenienti dalle loro serre a circuito chiuso (presso il CEAC - *Controlled Environment Agriculture Center*), sono stati trattati con questo metodo, confermando dal punto di vista microbiologico l'effettiva validità dell'applicazione.



Figura 25: Step successivi di sterilizzazione, attraverso foto-ozonolisi, di acqua proveniente da un impianto idroponico del CEAC (Controlled Environment Agriculture Center) dell'Università dell'Arizona

SENSORISTICA

L'agricoltura in ambiente chiuso e controllato richiede che tutti i sottosistemi di gestione e controllo siano monitorati costantemente, al fine di evitare possibili *failures* derivanti da malfunzionamenti. Le Vertical Farm moderne, quindi, essendo un'entità altamente tecnologica ed ospitando hardware di elevata importanza sistemistica, devono garantire robustezza, tempestività negli interventi di manutenzione ed accessibilità diretta e da remoto (attraverso computer, tablet o smartphone) ai dati controllati.

Al fine di facilitare questi compiti, risulta necessario implementare un sistema di sensori capaci di rilevare in *real-time* i sottosistemi componenti la serra e, tra tutti, particolare attenzione va data a sottosistemi quali quello di illuminazione, di gestione e qualità ambientale, di ricircolo della soluzione nutritiva, di potenza, oltre a prevedere diversi allarmi qualora si verificassero allagamenti o incendi improvvisi.



Figura 26: Esempio di sensoristica

FUNZIONAMENTO

Il sistema di controllo, composto da sensori ed attuatori, deve monitorare qualsiasi aspetto della Vertical Farm, essere il più modulare possibile, permettere un'automazione semplice, un controllo da remoto con una semplice connessione internet un computer od uno smartphone (Figura 28) e deve essere in grado di accumulare tutti i dati sensibili in database facilmente gestibili e leggibili.

La Figura 27 mostra la possibilità di connettere i sensori uno all'altro per poter controllare e gestire i sottosistemi secondo necessità e direttamente nei reali luoghi di interesse.



Figura 27: Modularità del sistema

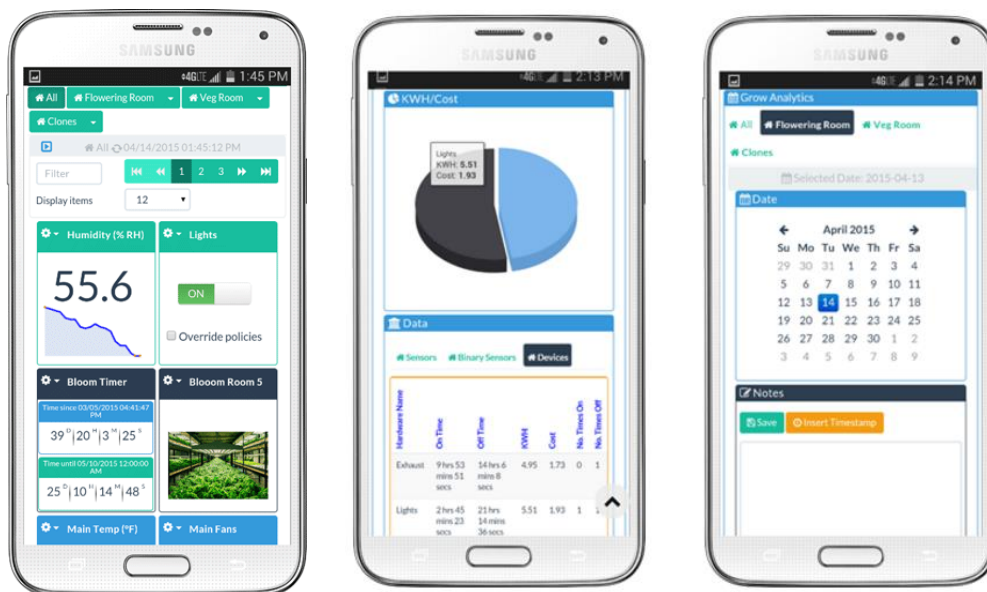


Figura 28: Visualizzazione dati su smartphone

Di seguito si prenderanno in esame alcuni esempi di questi sensori, suddividendoli per area di competenza.

GESTIONE E CONTROLLO DELL'ILLUMINAZIONE

I sensori relativi al monitoraggio del sistema di illuminazione sono composti essenzialmente da:

- Rilevatore di luce

Il sensore di rilevazione delle luci è un ON/OFF. Monitora se le luci sono accese e permette di spegnerle automaticamente o preimpostare dei cicli di giorno/notte a seconda della specie vegetale coltivata in quella camera.

- Sensore di PAR

Permette di conoscere l'effettivo flusso luminoso inviato alle piante, controllarlo e settarlo in base ai vegetali presenti.

GESTIONE E CONTROLLO DELL'AMBIENTE

I sensori relativi al monitoraggio dell'ambiente sono essenzialmente:

- Sensore di Temperatura

Il sensore di temperatura, all'interno di una serra ad ambiente chiuso, permette di monitorare e controllare questo parametro in modo da mantenere i livelli sotto controllo e consente, inoltre, di impostare i cicli termici giorno/notte in base alle richieste delle specie vegetali lì coltivate.

Un'altra azione richiesta da questo sensore, è quella di controllare i sottosistemi legati al condizionamento ambientale, attivando o disattivando i condizionatori e le ventole di distribuzione dell'aria.

- Sensore di CO₂

Per le piante, la CO₂ è un nutriente. Va da sé che un controllo ottimale di questo parametro è essenziale per avere un raccolto ricco e fruttuoso. Il sensore deve essere in grado di controllare l'apporto di CO₂ all'interno della grow-room ed attivare il rilascio di questo gas tramite elettrovalvole collegate alle bombole. Un esempio è dato in Figura 16.

- Sensore di Umidità e di Deficit di Pressione di Vapore (VPD – Vapour Pressure Deficit)

Per assicurare gli adeguati livelli di umidità all'interno della serra, è necessario un sensore che ne monitori la quantità ed agisca per ristabilire i valori più adatti.

È inoltre importante misurare il Deficit di Pressione di Vapore, ovvero la differenza tra la quantità di umidità nell'aria e la quantità di vapore che la stessa aria può trattenere in condizioni di saturazione. Infatti, una volta

che l'aria diventa satura di acqua, questa andrà a formare un film d'acqua sulle foglie, il che potrebbe indurre le piante a marcire.

- Sensore di rilevamento dei COV

Il sensore di rilevamento dei COV (Composti Organici Volatili, di cui si è parlato nel Paragrafo 0) serve per mantenere sotto controllo i valori dei composti organici volatili all'interno della serra e permette di effettuare i ricambi d'aria per mezzo delle ventole (che controlla) al fine di ristabilire i parametri ottimali.

GESTIONE E CONTROLLO DELLA SOLUZIONE NUTRITIVA

I sensori relativi al monitoraggio della soluzione nutritiva sono essenzialmente:

- Sensore di pH

Il sensore di pH misura appunto l'acidità/basicità della soluzione nutritiva. È un parametro molto importante, in quanto determina quanto i nutrienti sono disponibili per le piante: un pH troppo elevato inibisce l'uptake di determinati nutrienti, mentre un valore troppo basso ne pregiudica altri. Questo sensore controlla le pompe peristaltiche che, reintegrando la soluzione nutritiva, ristabiliscono la perfetta acidità della stessa.

- Sensore di Elettroconducibilità (EC) e Residuo Fisso (TDS - Total Dissolved Solids)

Al pari del precedente, il sensore di EC costituisce un mezzo molto importante per il rilevamento della qualità della soluzione nutritiva. Il sensore di EC misura la quantità di sali minerali disciolti nell'acqua e l'unità di misura è il microsiemens (mS/cm). In agronomia questo sensore si utilizza per misurare quanto fertilizzante è presente all'interno della soluzione nutritiva. Avere un'acqua con EC troppo basso equivale a sottonutrire la pianta, mentre avere un EC troppo alto può portare alla morte la pianta per sovralfertilizzazione. Per convenienza, le misure EC sono spesso convertite in TDS dagli strumenti di misura che viene espresso in ppm (parts per millions).

- Sensore di livello

Questo sensore permette di monitorare i livelli di soluzione nutritiva all'interno dei serbatoi, attivando le pompe di *refill* qualora ce ne fosse bisogno.

- Sensore di Temperatura della soluzione nutritiva

Questo sensore permette di monitorare la temperatura della soluzione nutritiva, attivando un *chiller* o un *heater* per ristabilire i valori prestabiliti.

- Sensore di Bagnatura del substrato

Inserito nel substrato (qualora ce ne fosse bisogno), questo sensore permette di verificare se il substrato sia o meno stato investito dalla soluzione nutritiva. Molto utile nei sistemi Ebb&Flow (Figura 21), dove può essere utilizzato per controllare quanto spesso bisogna attivare le pompe di flusso.

ROBOTICA

In questo paragrafo si analizzeranno le applicazioni in grado di facilitare e meccanizzare i processi produttivi, quali ad esempio semina, raccolta, confezionamento, ispezione, ecc.

Sul mercato sono già presenti questi tipi di macchine e di seguito saranno brevemente descritte le tecnologie impiegabili per automatizzare le fasi di produzione.

AUTOMATIZZAZIONE NELLA SEMINA

Una linea di semina automatizzata può raggiungere una produzione oraria fino a 2400 file/ora.



Figura 29: Seminatrice automatica

Il riempitore è caratterizzato da un sistema di avanzamento delle seminiere unite su nastro, che assicura un'elevata uniformità di riempimento in tutti gli alveoli della seminiera.

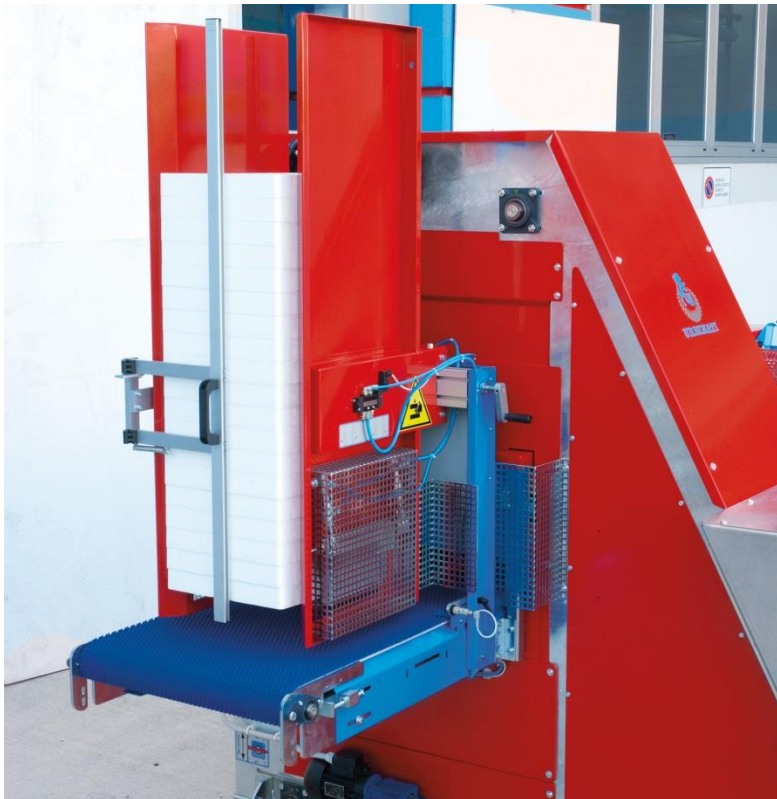


Figura 30: Distributore seminiere

La regolazione del riempimento del substrato avviene tramite una singola manovella e permette di ottenere un riempimento variabile con densità soffice, media o elevata.

Grazie al gruppo spazzole le seminiere sono ripulite perfettamente dal substrato in eccesso.

Il gruppo di semina automatico a ugelli, con controllo elettronico, permette di depositare uno o più semi nello stesso alveolo con un'ottima singolarizzazione dei semi sia piccoli che grandi.



Figura 31: Dettaglio della regolazione

Ogni componente della macchina deve essere progettato per migliorare il lavoro degli operatori che, grazie a regolazioni rapide, elevata qualità costruttiva per ridurre la manutenzione, bassa rumorosità di funzionamento, velocizzano di gran lunga il lavoro che una volta veniva fatto a mano.

AUTOMATIZZAZIONE NELLA RACCOLTA E NEL CONFEZIONAMENTO

Costruire automi capaci di maneggiare oggetti molto delicati, dalle forme e dalle consistenze estremamente variabili, come per esempio la frutta, è oggi una delle sfide più complesse della robotica. Oltre alla progettazione di “mani” adatte, sufficientemente prensili e allo stesso tempo morbide, il robot deve avere consapevolezza della forza necessaria, capire in che punti applicarla, sapere poi come deporre in

modo diverso un peperone, una fragola o uno zucchini per evitare ammaccature.



Figura 32: Robot per la raccolta dei peperoni

La base del robot consiste in una piattaforma semovente sulla quale sono montati un braccio robotico con un dispositivo di estremità che permette la presa e il taglio dei frutti, un compressore per i pneumatici, un sistema di controllo elettronico, computer e sensori per la rilevazione della frutta e degli ostacoli. La localizzazione dei frutti maturi avviene in due fasi differenti. Sulla "mano" robotica può essere integrata una telecamera 3D: prima di tutto, viene scattata un'immagine laterale del filare da una telecamera a colori e da una telecamera a tempo di volo (TOF-camera - è uno strumento che permette di stimare in tempo reale la distanza tra la telecamera e gli oggetti o la scena inquadrati, misurando il tempo che occorre ad un impulso luminoso per percorrere il tragitto telecamera-oggetto-telecamera, detto appunto tempo di volo). Le immagini di entrambe le telecamere vengono registrate per avere delle informazioni complete sul colore, combinate con i dati 3D. Dopo

aver posizionato il braccio di fronte al frutto da cogliere, vengono usate una telecamera a colori e la telecamera 3D integrata nella mano robotica per ricalcolare la posizione del frutto con una precisione elevata.

Ultimamente, in una serra commerciale è stato dimostrato che il sistema può raccogliere i frutti maturi in completa autonomia.

Un altro modo per automatizzare il raccolto, più semplice e di immediata attuazione, è rappresentato dalle macchine di taglio riportate in Figura 33 e Figura 34.



Figura 33: Raccolta automatizzata della lattuga in idroponica #1



Figura 34: Raccolta automatizzata della lattuga in idroponica #2

Un nastro trasporta le teste di lattuga nell'apposito macchinario, che taglia le radici e separa la parte edibile da quella non edibile, come può essere visto in questo video: <https://www.youtube.com/watch?v=8d169ztKvgg>.

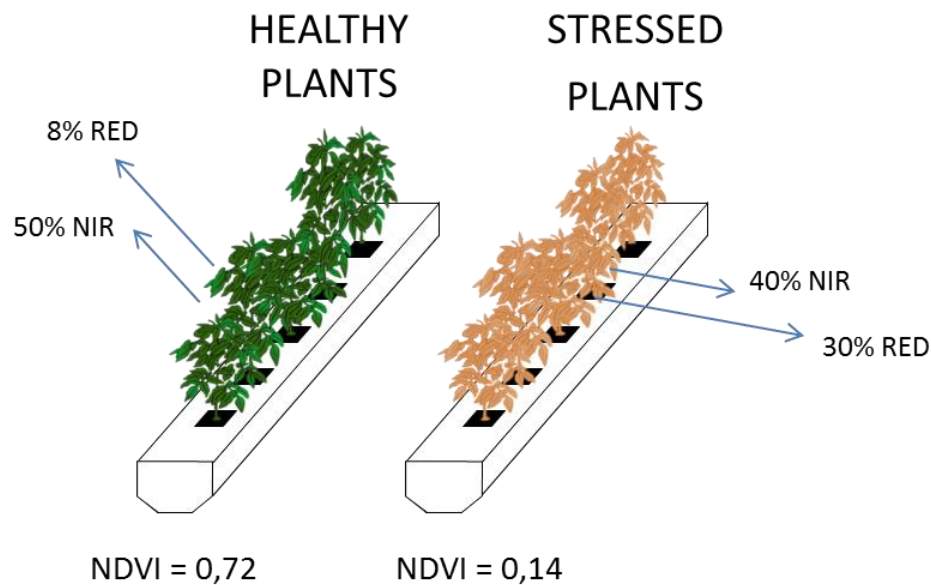
Il processo finale prevede che le insalate, ora tagliate e lavate, vengano ancora trasportate sul nastro e portate nella zona di confezionamento, tutto senza che intervenga mai la mano dell'uomo.

AUTOMATIZZAZIONE NELL'ISPEZIONE

Vista la grande superficie investita dalla coltivazione, non sarebbe possibile avere in real-time lo status di salute di tutte le piante presenti, a meno di impiegare manodopera e tempo in questa ispezione. Il ritardo nell'individuazione di possibili patologie, potrebbe inficiare l'intero raccolto.

Una possibile soluzione a questo problema, ci arriva dalle moderne tecnologie relative alla spettroscopia e più precisamente dai sensori di

immagine, come ad esempio la tecnologia NDVI - Normalized Difference Vegetation Index presentata in Figura 35.



$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR = Reflection in Near Infra-Red

RED = Reflection in RED

Figura 35: Definizione di Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Grazie ad essa risulta possibile riconoscere, ad esempio, le piante stressate da quelle in salute, migliorando la qualità del raccolto.

Associata ad un braccio robotico che percorre le file in cui le piante sono state messe a dimora, il processo viene automatizzato e un allarme avviserà qualora si riscontreranno alterazioni rispetto all'immagine della pianta in salute, come mostrato in Figura 36.

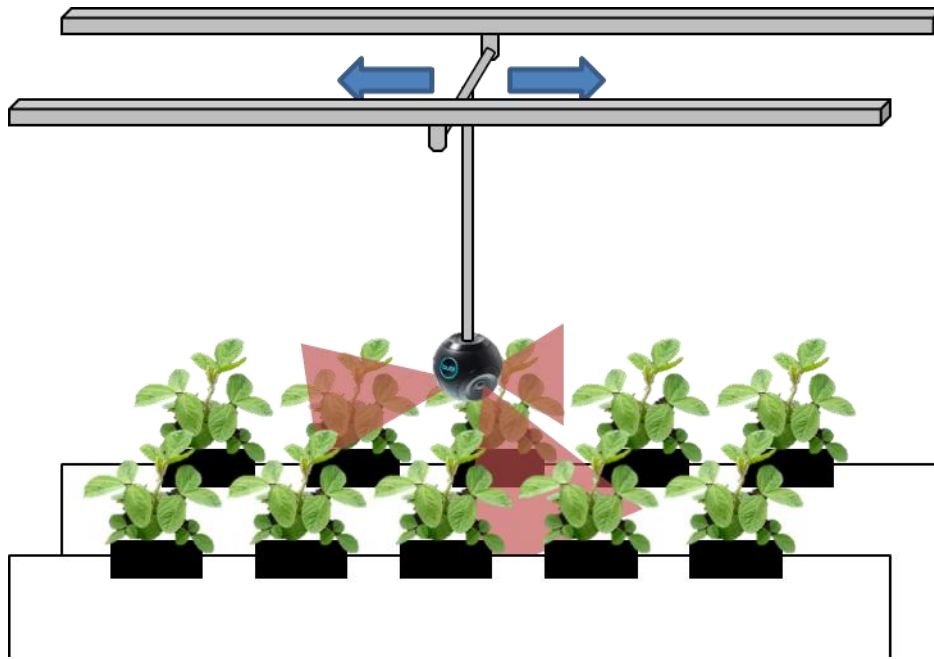


Figura 36: Sistema robotico di sorveglianza, immagine rappresentativa

ARCHITETTURA DELLA VERTICAL FARM

Nel 2050 i centri urbani saranno abitati dall'80% della popolazione mondiale. La domanda di cibo per il fabbisogno di 9 miliardi di individui non potrà essere sostenuta se le città continueranno a crescere. Ridefinire il rapporto tra urbanità e attività agricola potrebbe essere la soluzione per nutrire il nostro Pianeta.

L'idea di base dietro alla costruzione di una Vertical Farm è quella di costituire un centro cittadino dove la produzione di cibo e la sua commercializzazione siano a centimetro 0.

Il progetto si prefigura l'obiettivo di dare un senso a quest'affermazione, con lo scopo di creare una nuova economia sociale, in cui il consumatore è portato ad accettare questa come una soluzione alla necessità di riscoprire il rapporto tra il settore produttivo e la realtà urbana.

Il contesto urbano in cui le Vertical Farms dovranno operare, porta quindi alla necessità di dover pensare ad edifici cittadini *smart*, in cui l'efficienza energetica e l'ecosostenibilità siano spinte al massimo, che sfruttino aree già sottratte al verde (come i capannoni industriali abbandonati) e dove si possa pensare ad una nuova agricoltura che non sfrutti gli spazi in 2D (ovvero lunghezza per larghezza), ma che possa introdurre la terza dimensione (l'altezza) per coltivare di più, in meno superficie occupata a terra.

Nei paragrafi successivi si analizzeranno tre ipotesi architettoniche (di nuova concezione, riguardanti la costruzione di edifici in contesti urbani), pensate per sfruttare appieno le moderne tecnologie e legarle indissolubilmente all'agricoltura.

IPOTESI N°1: LA TORRE CILINDRICA

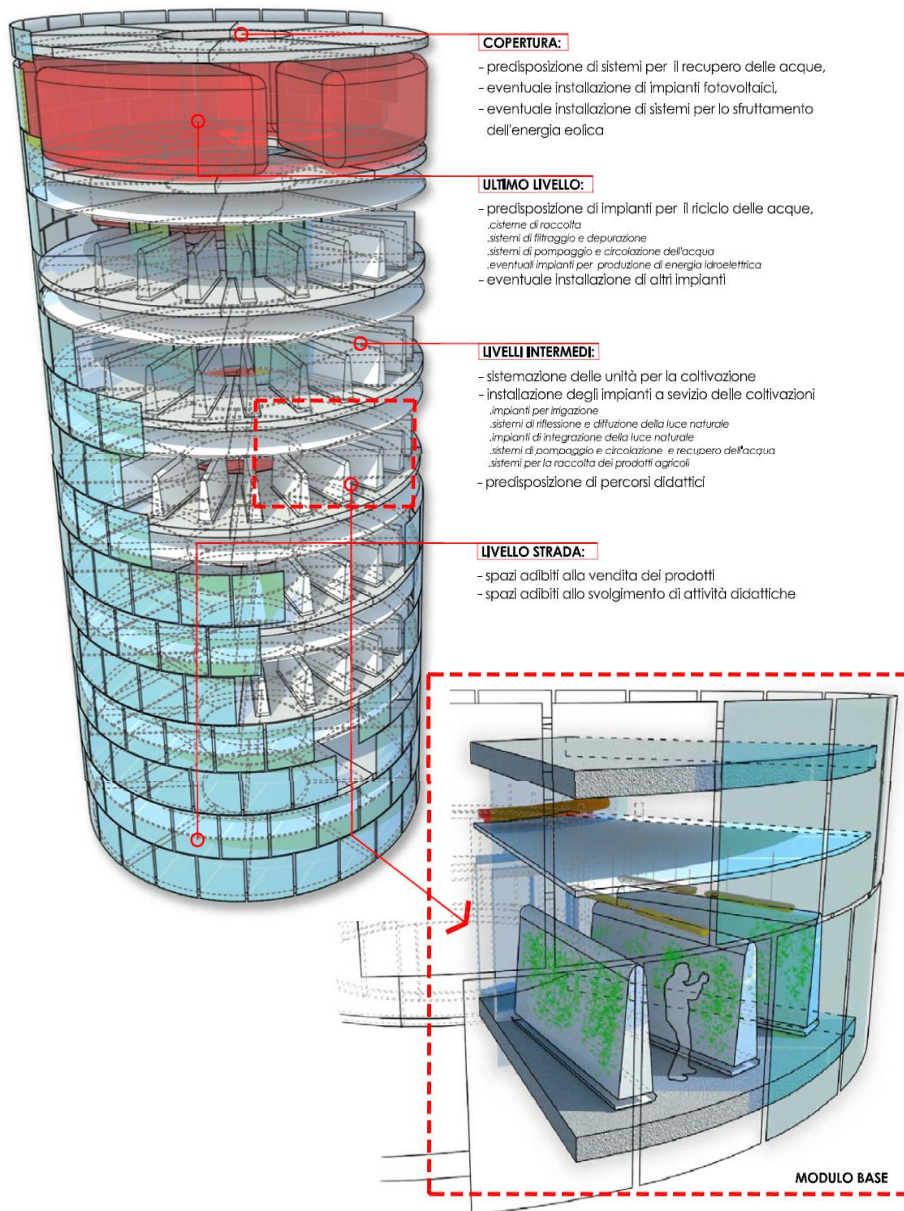


Figura 37: La Torre Cilindrica

La Figura 37 mostra la prima ipotesi per la costruzione di una Vertical Farm in un contesto urbano. Dall'alto verso il basso, l'idea è quella di

diversificare i piani dell'edificio per renderli funzionali alle necessità della fattoria verticale. Vediamo nel dettaglio come:

- COPERTURA
 - Predisposizione di sistemi per il recupero delle acque
 - Eventuale installazione di impianti fotovoltaici
 - Eventuale installazione di sistemi per lo sfruttamento dell'energia eolica
- ULTIMO LIVELLO
 - Predisposizione di impianti per il riciclo delle acque
 - Cisterne di raccolta
 - Sistemi di filtraggio e depurazione
 - Sistemi di pompaggio e circolazione dell'acqua
 - Eventuali impianti per la produzione di energia idroelettrica
 - Eventuale installazione di altri impianti
- LIVELLI INTERMEDI
 - Sistemazione delle unità per la coltivazione
 - Installazione degli impianti a servizio delle coltivazioni
 - Impianti per irrigazione
 - Sistemi di riflessione e diffusione della luce naturale
 - Impianti a LED per integrazione della luce naturale
 - Sistemi di pompaggio, circolazione e recupero dell'acqua
 - Sistemi per la raccolta dei prodotti agricoli
 - Predisposizione di percorsi didattici
- LIVELLO STRADA
 - Spazi adibiti alla vendita dei prodotti

- Spazi adibiti allo svolgimento delle attività didattiche

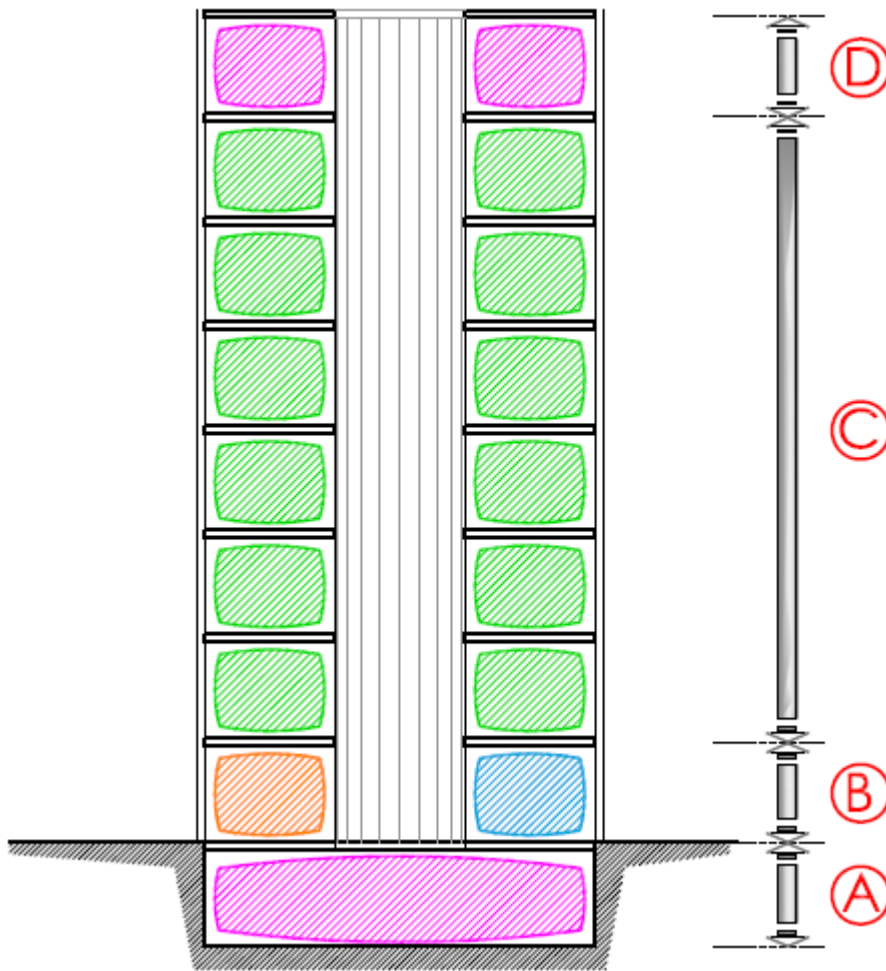


Figura 38: Torre Cilindrica, sezione verticale: distribuzione schematica delle funzioni

La Figura 38 ci aiuta ad avere una visione schematica delle funzioni:

- A. Uno o più piani interrati ospitano una parte degli impianti.
- B. Al piano terra si può prevedere uno spazio per la vendita dei prodotti agricoli ed una zona per accogliere attività didattiche. Una porzione della superficie di questo piano è dedicata a corpi scala, ascensori, piccoli impianti e servizi.
- C. Tutti i piani intermedi saranno occupati per la maggior parte da aree per la coltivazione; si può prevedere, inoltre, di

dedicare una porzione della superficie di ciascun piano a servizi e collegamenti verticali, impianti ed un percorso didattico.

- D. L'ultimo piano ospiterà i sistemi per la raccolta ed il recupero delle acque; si può prevedere di installare degli impianti per la produzione di energia solare ed/od eolica.

Nella Figura 39 vengono riportati i computi delle superfici adibite ad ogni area.

Nella Figura 40, invece, vengono riportate le superfici occupate in base all'area di impiego delle stesse.

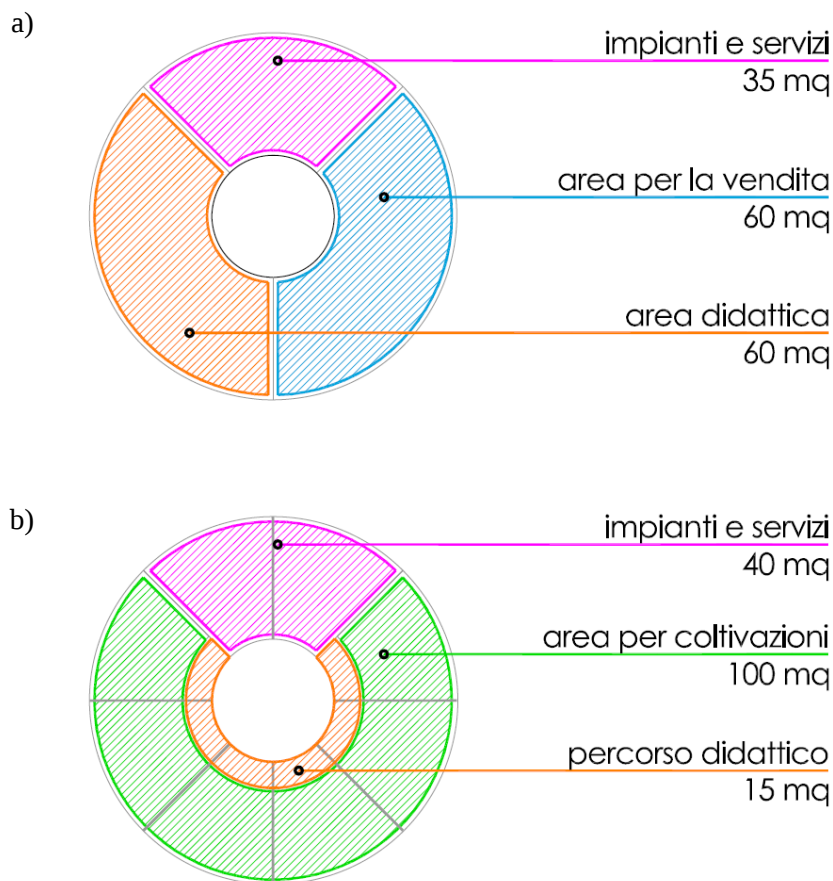


Figura 39: Torre Cilindrica, planimetria piano terra (a) e piano tipo (b) – distribuzione schematica delle funzioni

TOT. SUPERFICI PER COLTIVAZIONE	TOT. SUPERFICI LOCALI TECNICI E SERVIZI	TOT. AREE PER LA VENDITA	TOT. AMBIENTI PERCORSI PER DIDATTICA
600 mq circa	585 mq circa	60 mq circa	150 mq circa

Figura 40: Torre Cilindrica, computo superfici

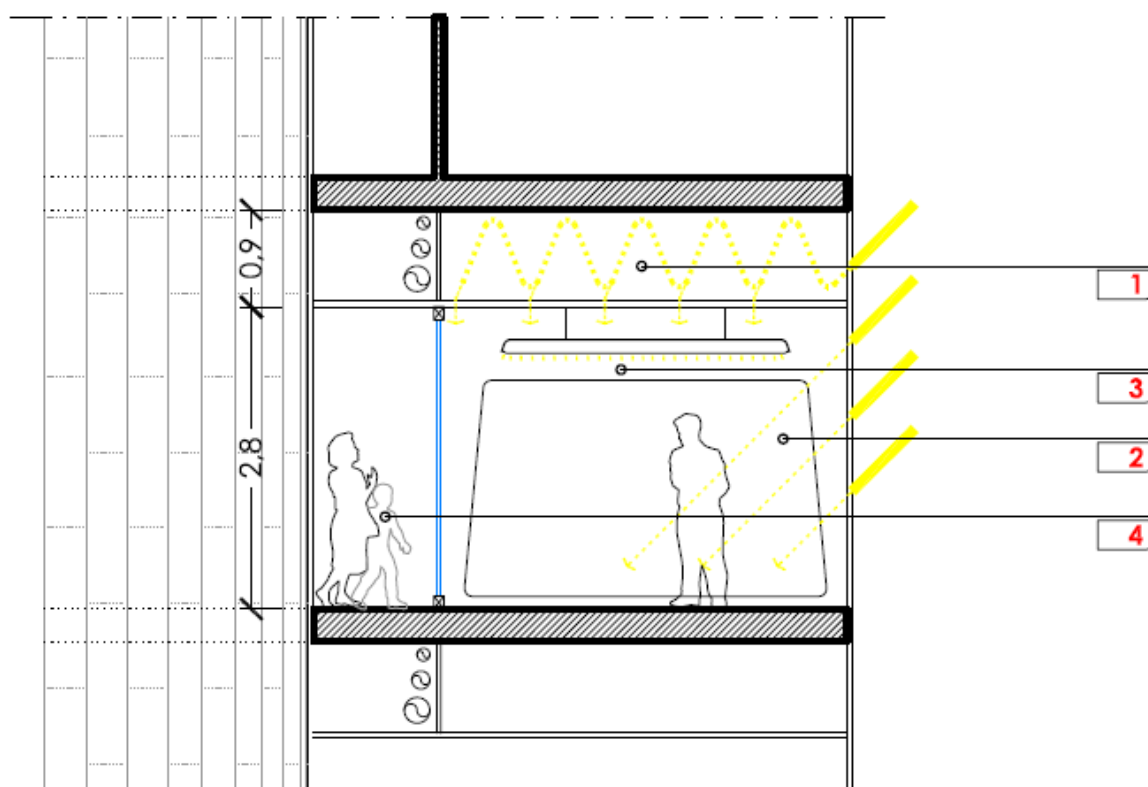
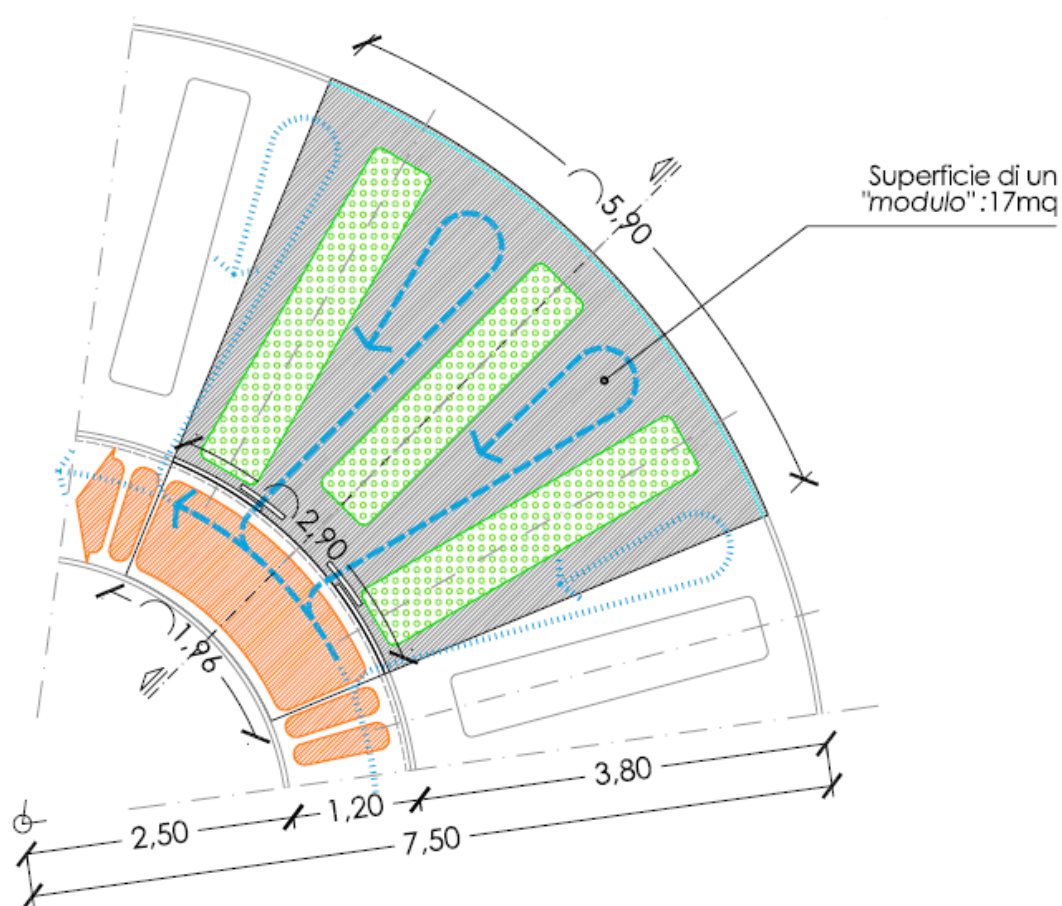


Figura 41: Torre Cilindrica, sezione verticale di un modulo base

Nella Figura 41 viene riportata la sezione verticale di un modulo base, per il quale sono state fatte le seguenti ipotesi:

1. Nel caso in cui non fosse necessaria l'illuminazione diretta naturale delle coltivazioni, all'interno del controsoffitto, possono essere installati dei sistemi per la diffusione della luce naturale.

2. Se fosse necessario sfruttare la luce naturale diretta, si può prevedere un sistema per l'eventuale schermatura dalla radiazione infrarossa, in modo tale da non accumulare energia termica (che deve poi essere smaltita) all'interno dei moduli.
3. Si deve prevedere un impianto di illuminazione elettrica per integrare quella naturale (diffusa o diretta), in particolare in quegli ambienti esposti a Nord.
4. Il percorso anulare che affianca gli ambienti per la coltivazione, può essere sfruttato per la didattica ed eventualmente per permettere agli operatori di svolgere attività di manutenzione.



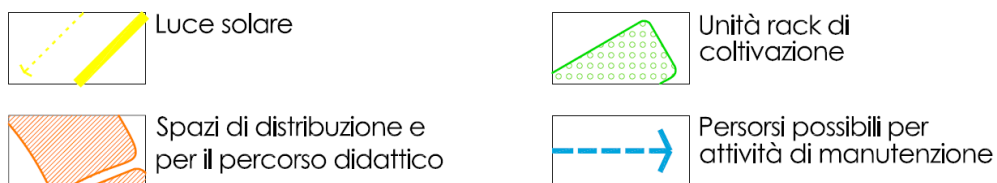


Figura 42: Torre Cilindrica, planimetria di un modulo base - distribuzione percorsi e funzioni

Per quanto riguarda il sistema di gestione dell'aria, come visibile in Figura 43 e Figura 44, la Torre Cilindrica utilizza un metodo alternativo, sfruttando la climatizzazione naturale.

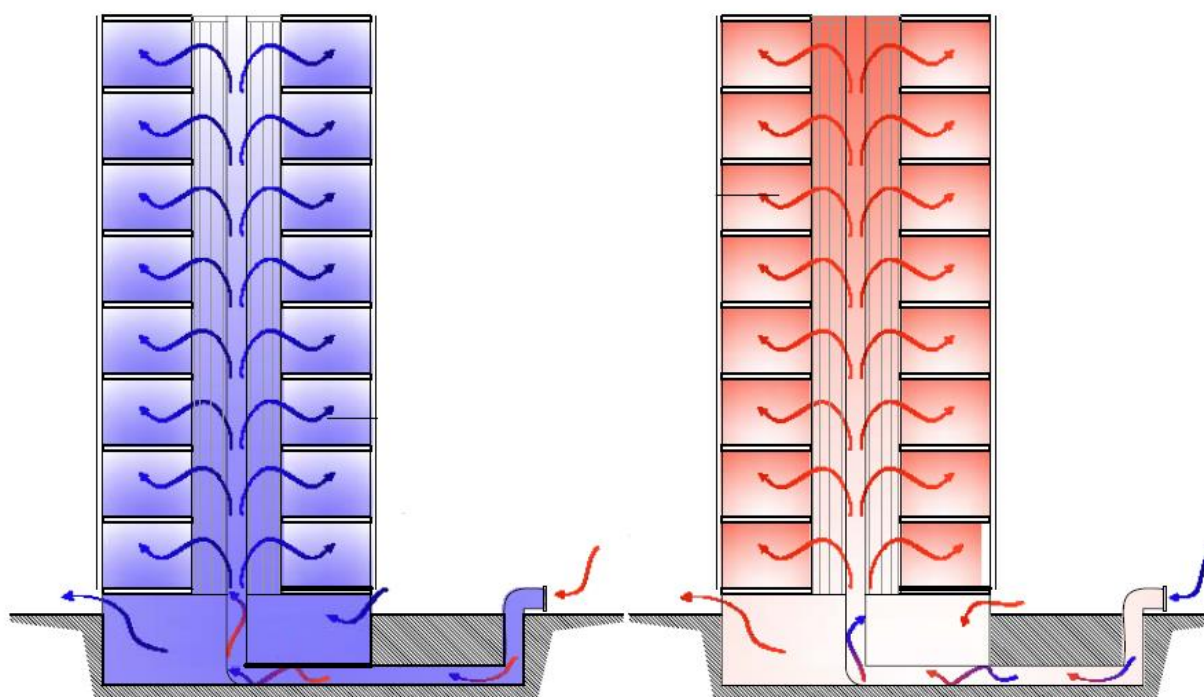


Figura 43: Torre Cilindrica, schema di ventilazione con Earth-Pipe in Estate (blu) ed in Inverno (rosso)

Il sistema con impianto Earth-Pipe (ovvero a tubi sotterranei), una volta effettuato uno studio sui venti prevalenti locali, è un valido impianto di climatizzazione naturale, sia in inverno che in estate. Le tubazioni vengono poste ad una profondità compresa tra i 2-3 metri sotto il piano

campagna e, partendo dall'esterno dell'edificio, arrivano fino al suo interno, costituendo dei veri e propri canali di aerazione. L'estremità inferiore pesca aria pura alla temperatura esterna (considerata 0°C in inverno e 25°C in estate), mentre le condutture la portano fin dentro l'edificio. Durante il tragitto, dopo essere passata attraverso i sistemi di filtrazione, l'aria esterna viene a contatto con la temperatura della terra alla profondità considerata e scambia calore con essa. Perciò, in estate, l'aria calda entra nell'edificio raffrescata ed umidificata, pronta per essere immessa in ambiente; in inverno, durante il tragitto, l'aria esterna si porta ad una temperatura media di 16-17°C e immessa in ambiente a supporto del sistema di riscaldamento. La disposizione del bocchettone esterno è studiata per essere congeniale alla captazione della ventilazione prevalente e per favorire, dunque, l'intero ciclo dell'aria.

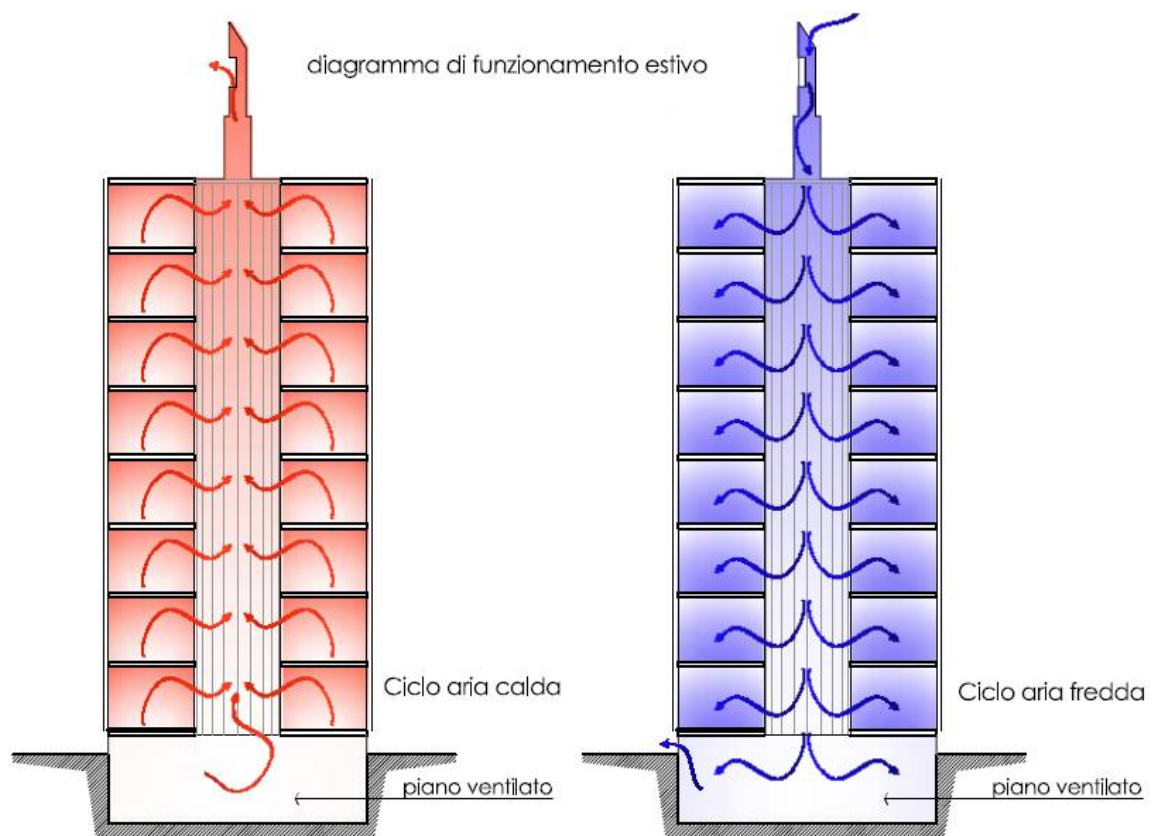


Figura 44: Torre Cilindrica, schema di ventilazione con torre di ventilazione solo estivo

L'inserimento di torri di ventilazione, Figura 44, permette di ridurre notevolmente il carico termico estivo. Il sistema di funzionamento consiste nell'intercettare i venti prevalenti locali, con aria più fresca e pura rispetto a quella interna, grazie all'estremità superiore della torre, che svetta rispetto all'edificio. Una volta incanalata, l'aria fredda, per moto naturale scende nella torre e viene canalizzata fino ai vari ambienti per il raffrescamento. L'aria si raccoglie in basso, nel piano ventilato, e si disperde all'esterno grazie all'intercapedine. In questo caso, il corpo centrale può fungere da elemento connettivo e, al contempo, essere sfruttato come camino di ventilazione adiacente agli ambienti da climatizzare.

Il sistema riduce notevolmente i consumi per la climatizzazione e provvede al costante ricambio dell'aria.

Nei paragrafi successivi (§0 e §0) si affronteranno le stesse tematiche qui evidenziate, tralasciando le considerazioni fatte (nel limite del possibile) in quanto del tutto analoghe al caso della Torre Cilindrica.

IPOTESI N°2: LA TORRE LINEARE

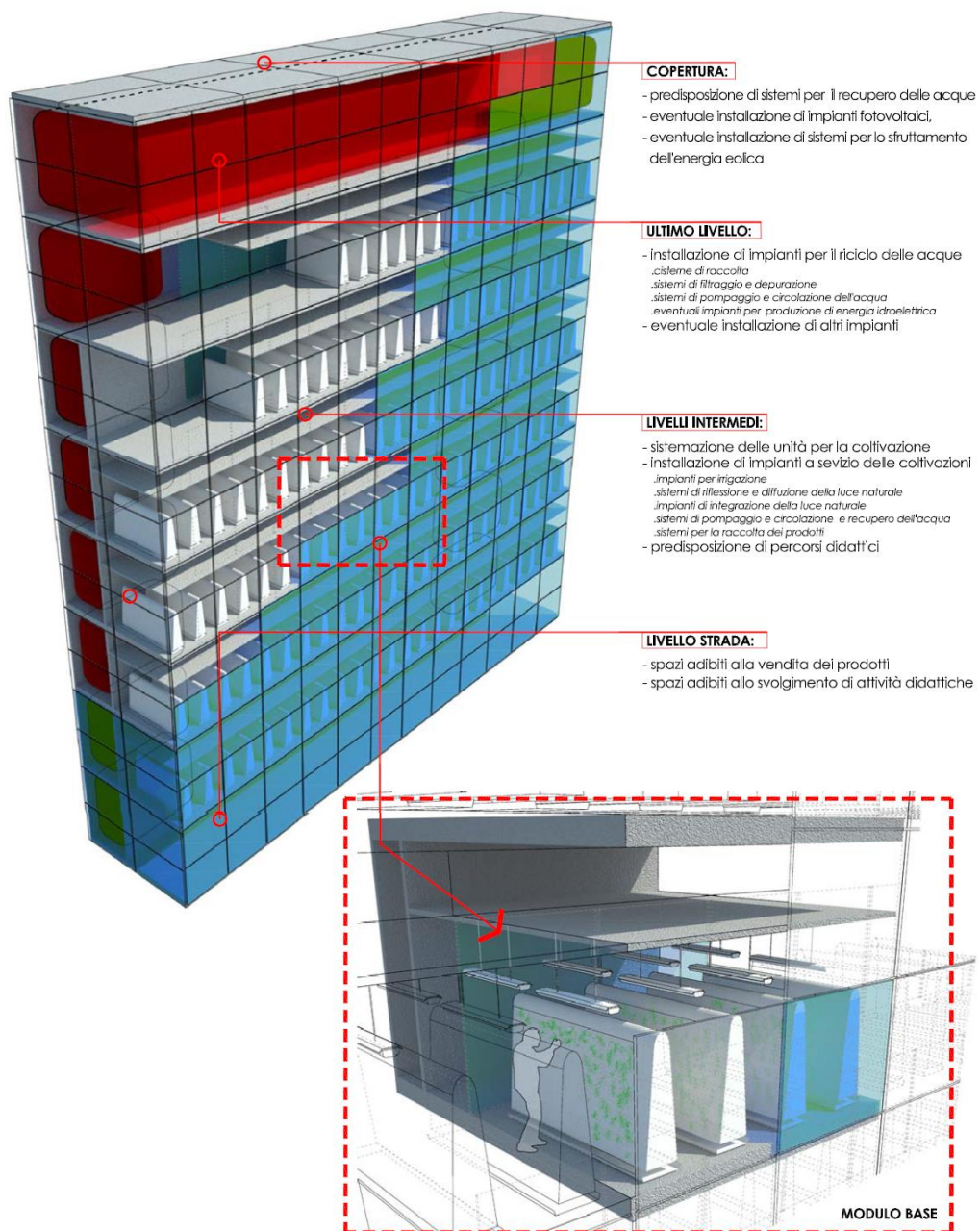


Figura 45: La Torre Lineare

La Figura 45 mostra la seconda ipotesi per la costruzione di una Vertical Farm in un contesto urbano. Anche qui, dall'alto verso il basso, l'idea è quella di diversificare i piani dell'edificio per renderli funzionali alle necessità della fattoria verticale. Vediamo nel dettaglio come:

- COPERTURA
 - Predisposizione di sistemi per il recupero delle acque
 - Eventuale installazione di impianti fotovoltaici
 - Eventuale installazione di sistemi per lo sfruttamento dell'energia eolica
- ULTIMO LIVELLO
 - Predisposizione di impianti per il riciclo delle acque
 - Cisterne di raccolta
 - Sistemi di filtraggio e depurazione
 - Sistemi di pompaggio e circolazione dell'acqua
 - Eventuali impianti per la produzione di energia idroelettrica
 - Eventuale installazione di altri impianti
- LIVELLI INTERMEDI
 - Sistemazione delle unità per la coltivazione
 - Installazione degli impianti a servizio delle coltivazioni
 - Impianti per irrigazione
 - Sistemi di riflessione e diffusione della luce naturale
 - Impianti a LED per integrazione della luce naturale
 - Sistemi di pompaggio, circolazione e recupero dell'acqua
 - Sistemi per la raccolta dei prodotti agricoli
 - Predisposizione di percorsi didattici

- LIVELLO STRADA

- Spazi adibiti alla vendita dei prodotti
- Spazi adibiti allo svolgimento delle attività didattiche

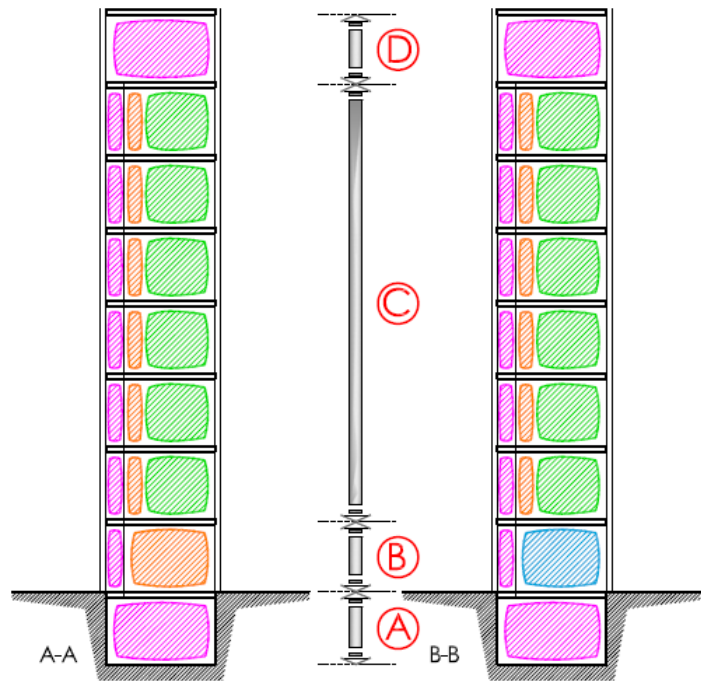


Figura 46: Torre Lineare, sezione verticale: distribuzione schematica delle funzioni

La Figura 46 ci aiuta ad avere una visione schematica delle funzioni. I punti, da A a D, sono assimilabili con quelli di pagina 79.

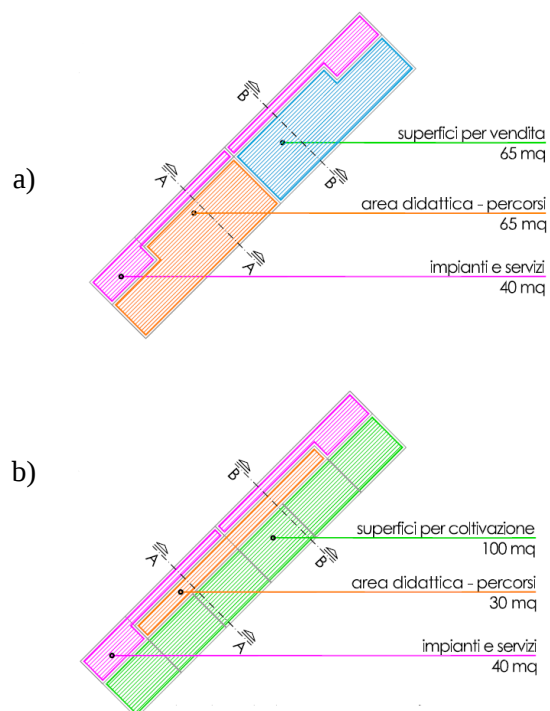


Figura 47: Torre Lineare, planimetria piano terra (a) e piano tipo (b) – distribuzione schematica delle funzioni

Nella Figura 47 vengono riportati i computi delle superfici adibite ad ogni area.

Nella Figura 48, invece, vengono riportate le superfici occupate in base all'area di impiego delle stesse.

TOT. SUPERFICI PER COLTIVAZIONE	TOT. SUPERFICI LOCALI TECNICI E SERVIZI	TOT. AREE PER LA VENDITA	TOT. AMBIENTI PERCORSI PER DIDATTICA
600 mq circa	620 mq circa	65 mq circa	245 mq circa

Figura 48: Torre Lineare, computo superfici

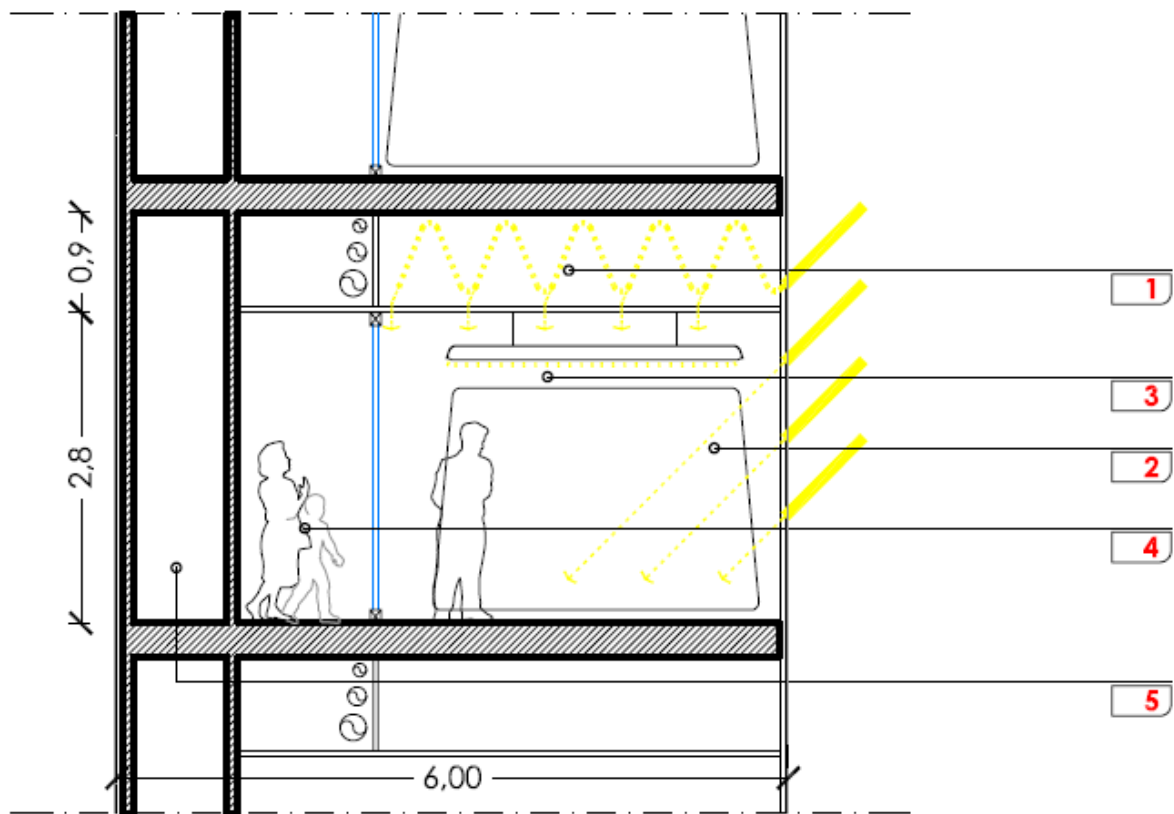


Figura 49: Torre Lineare, sezione verticale di un modulo base

Le considerazioni fatte a pagina 81 rimangono ancora valide per la Figura 49, con l'aggiunta del punto 5:

5. Gli ambienti a Nord, disposti lungo tutto il corpo fabbrica, ospitano i locali tecnici.

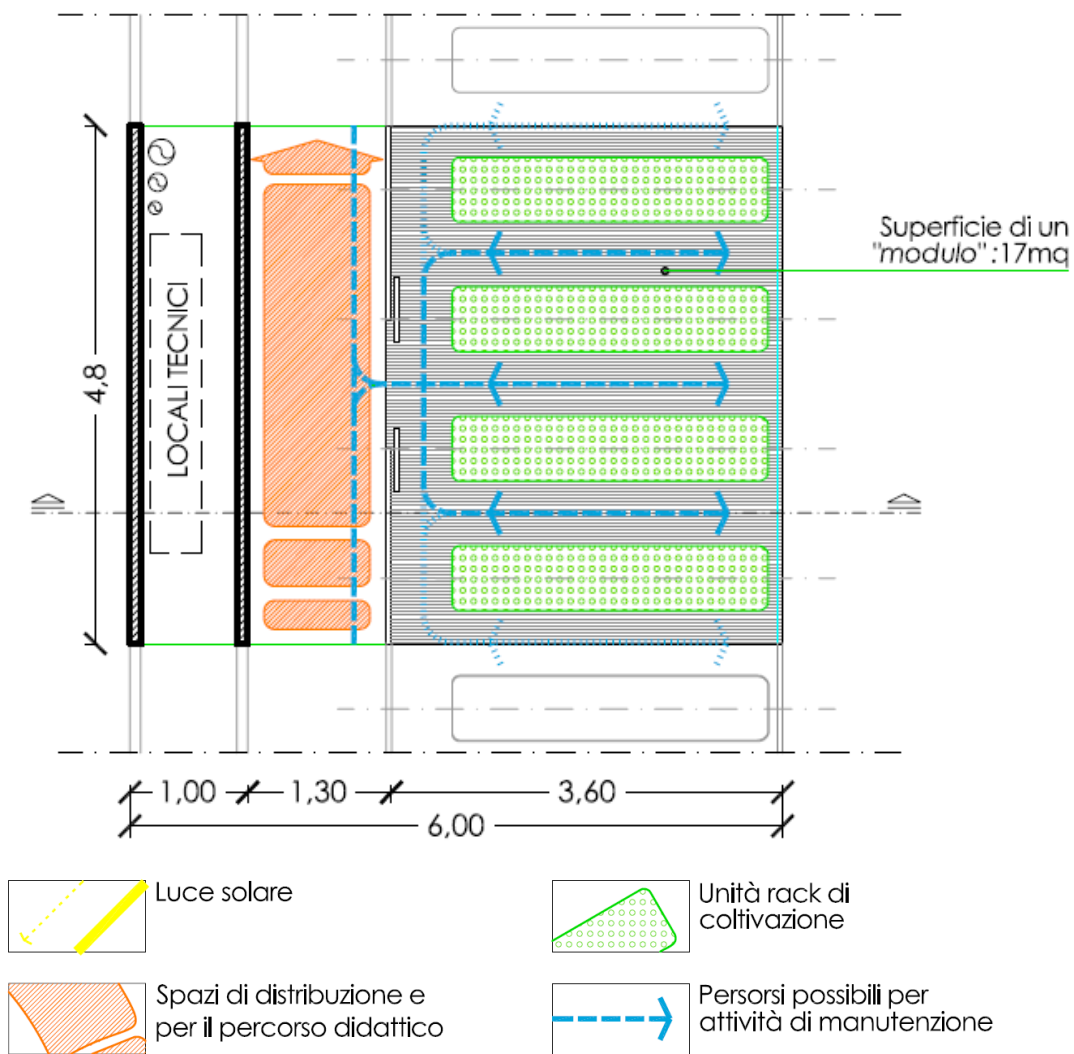


Figura 50: Torre Lineare, planimetria di un modulo base - distribuzione percorsi e funzioni

Per quanto riguarda il sistema di gestione dell'aria, tenendo conto della nuova geometria della Vertical Farm, valgono ancora le considerazioni fatte per la Torre Cilindrica, partendo da pagina 83.

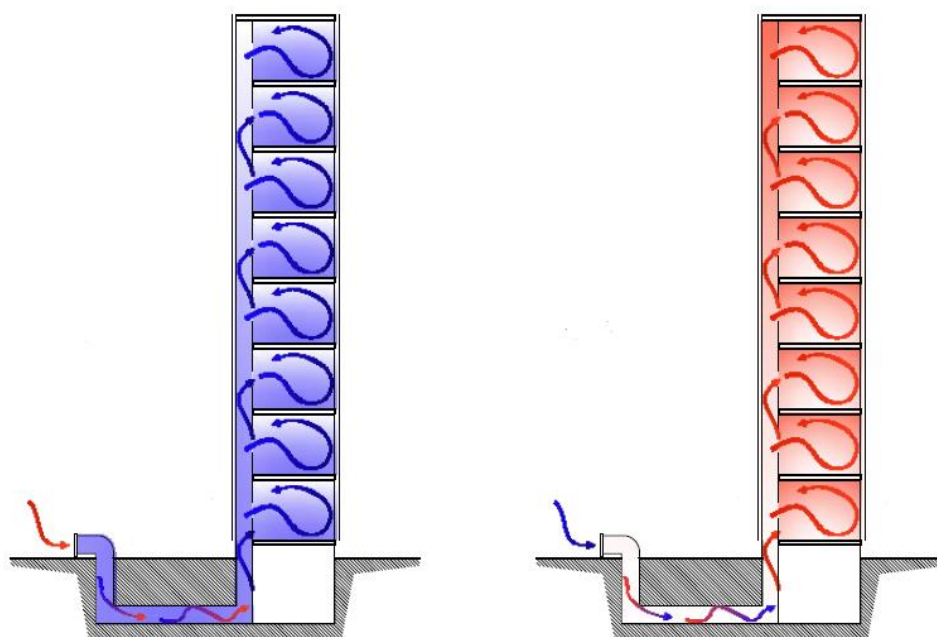


Figura 51: Torre Lineare, schema di ventilazione con Earth-Pipe in Estate (blu) ed in Inverno (rosso)

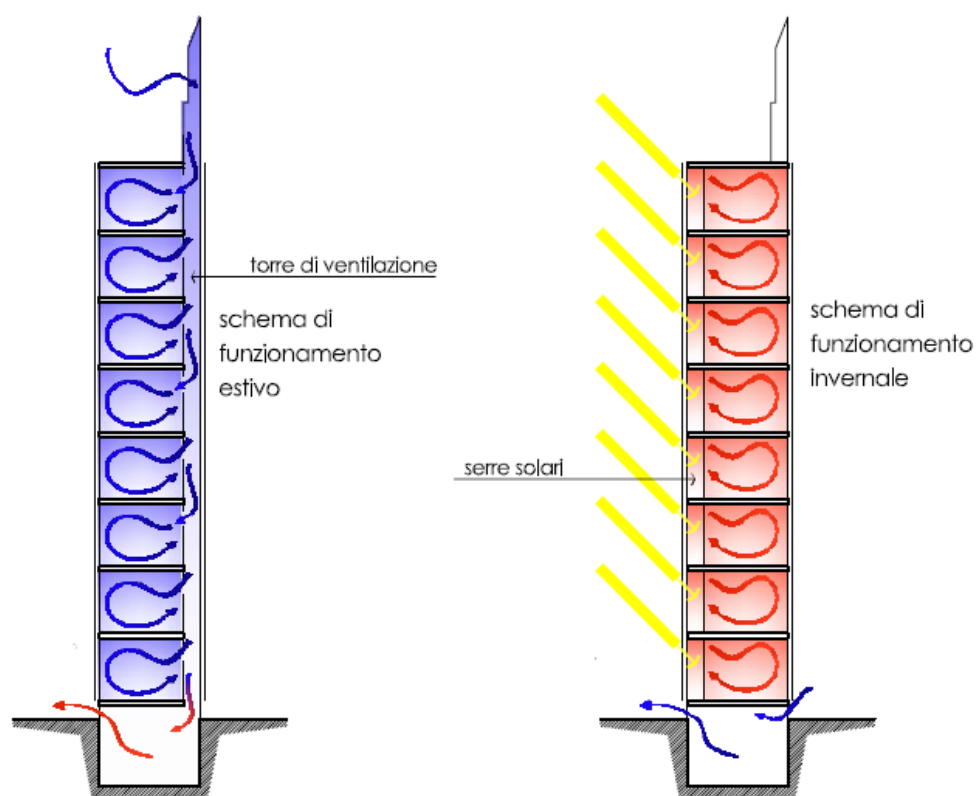


Figura 52: Torre Lineare, schema di ventilazione con torre di ventilazione e serre solari

Anche per la Figura 52 valgono le stesse considerazioni fatte nel paragrafo precedente a pagina 84 inerenti le torri di ventilazione, ma in questa figura viene posta l'attenzione anche su un nuovo elemento: la serra solare.

La serra solare è un dispositivo di riscaldamento passivo con cui poter fornire aria calda agli ambienti interni di un edificio. La parete vetrata esterna, esposta a SUD (sud-est, sud-ovest) capta la radiazione solare e la ritrasmette all'interno sotto forma di calore. Lo spazio stesso della serra fa da cuscinetto tra l'esterno e gli ambienti interni e costituisce un accumulo di calore che poi viene distribuito tramite canalizzazioni all'interno dei vani da riscaldare.

I due sistemi passivi combinati riducono notevolmente i consumi destinati alla climatizzazione e provvedono al ricambio di aria in modo costante.

IPOTESI N°3: LA TORRE LINEARE CURVA

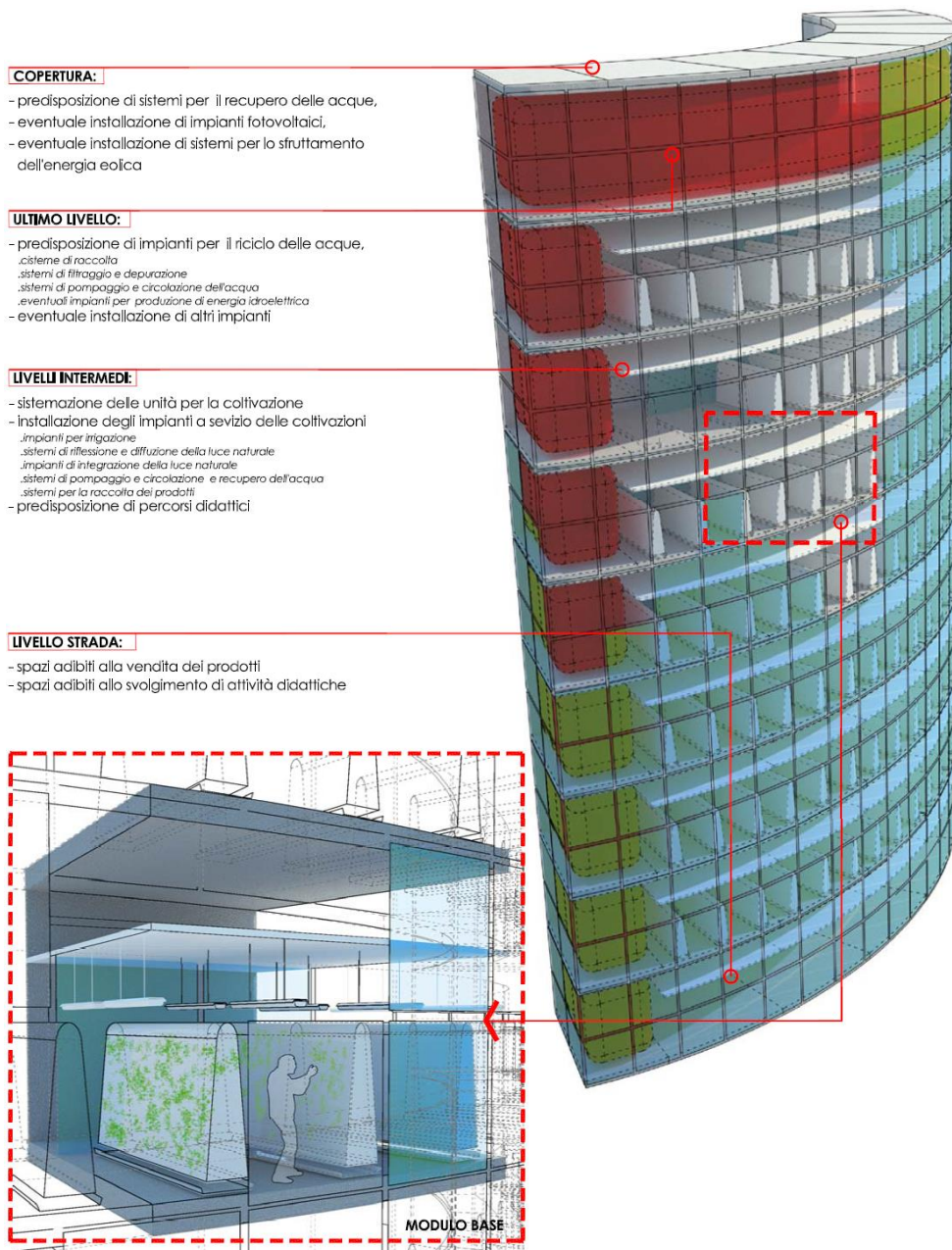


Figura 53: La Torre Lineare Curva

La Figura 53 mostra la prima ipotesi per la costruzione di una Vertical Farm in un contesto urbano. Dall'alto verso il basso, l'idea è quella di

diversificare i piani dell'edificio per renderli funzionali alle necessità della fattoria verticale. Vediamo nel dettaglio come:

- COPERTURA
 - Predisposizione di sistemi per il recupero delle acque
 - Eventuale installazione di impianti fotovoltaici
 - Eventuale installazione di sistemi per lo sfruttamento dell'energia eolica
- ULTIMO LIVELLO
 - Predisposizione di impianti per il riciclo delle acque
 - Cisterne di raccolta
 - Sistemi di filtraggio e depurazione
 - Sistemi di pompaggio e circolazione dell'acqua
 - Eventuali impianti per la produzione di energia idroelettrica
 - Eventuale installazione di altri impianti
- LIVELLI INTERMEDI
 - Sistemazione delle unità per la coltivazione
 - Installazione degli impianti a servizio delle coltivazioni
 - Impianti per irrigazione
 - Sistemi di riflessione e diffusione della luce naturale
 - Impianti a LED per integrazione della luce naturale
 - Sistemi di pompaggio, circolazione e recupero dell'acqua
 - Sistemi per la raccolta dei prodotti agricoli
 - Predisposizione di percorsi didattici
- LIVELLO STRADA
 - Spazi adibiti alla vendita dei prodotti

- Spazi adibiti allo svolgimento delle attività didattiche

La Figura 54 ci aiuta ad avere una visione schematica delle funzioni. I punti, da A a D, sono assimilabili con quelli di pagina 79.

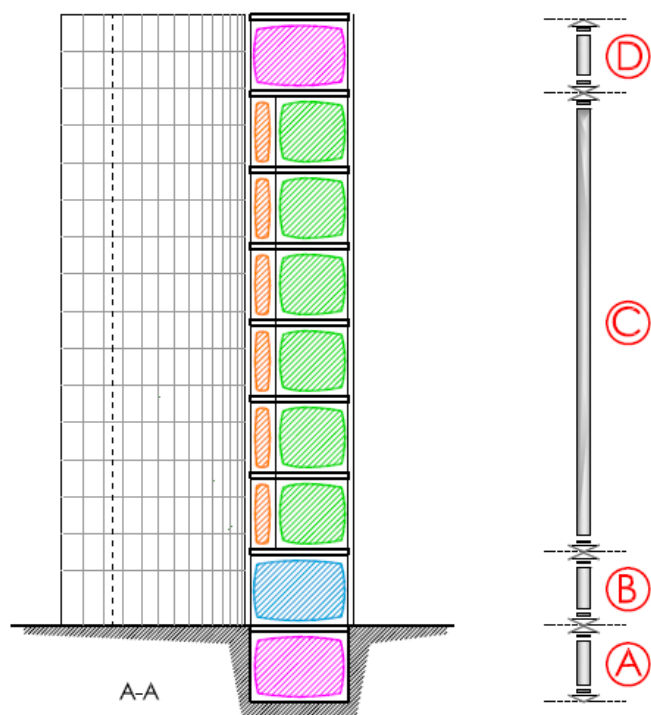


Figura 54: Torre Lineare Curva, sezione verticale: distribuzione schematica delle funzioni

Nella Figura 55 vengono riportati i computi delle superfici adibite ad ogni area.

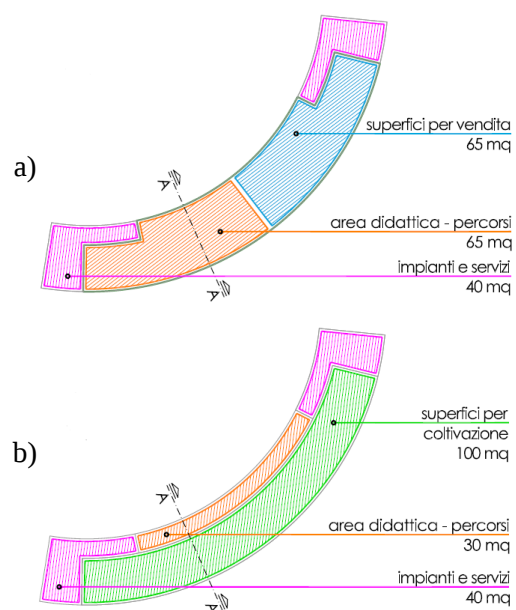


Figura 55: Torre Lineare Curva, planimetria piano terra (a) e piano tipo (b) – distribuzione schematica delle funzioni

Nella Figura 56, invece, vengono riportate le superfici occupate in base all'area di impiego delle stesse.

TOT. SUPERFICI PER COLTIVAZIONE	TOT. SUPERFICI LOCALI TECNICI E SERVIZI	TOT. AREE PER LA VENDITA	TOT. AMBIENTI PERCORSI PER DIDATTICA
600 mq circa	620 mq circa	65 mq circa	245 mq circa

Figura 56: Torre Lineare Curva, computo superfici

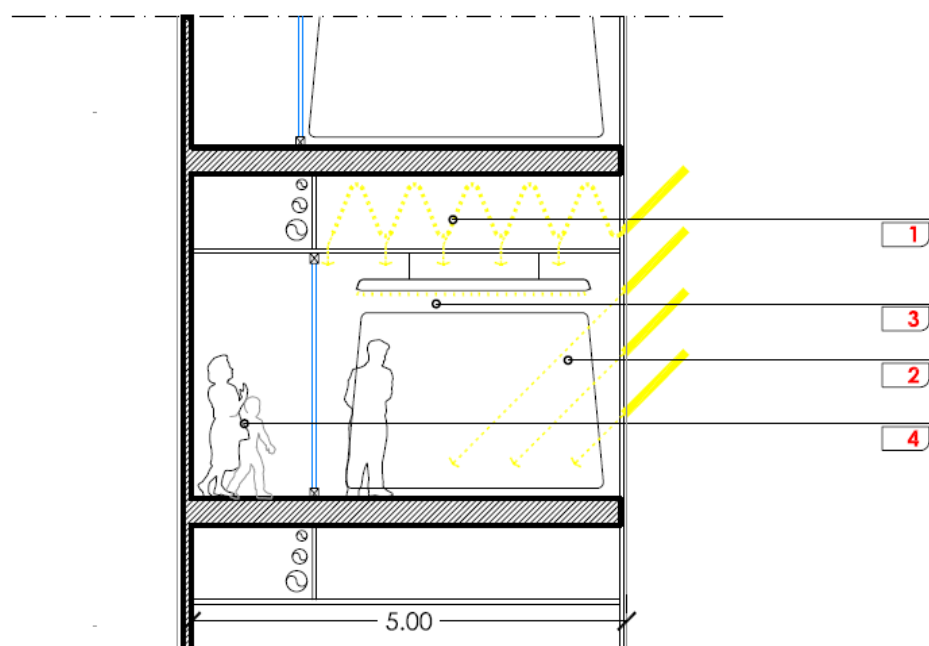


Figura 57: Torre Lineare Curva, sezione verticale di un modulo base

Le considerazione fatte a pagina 81 rimangono ancora valide per la Figura 57.

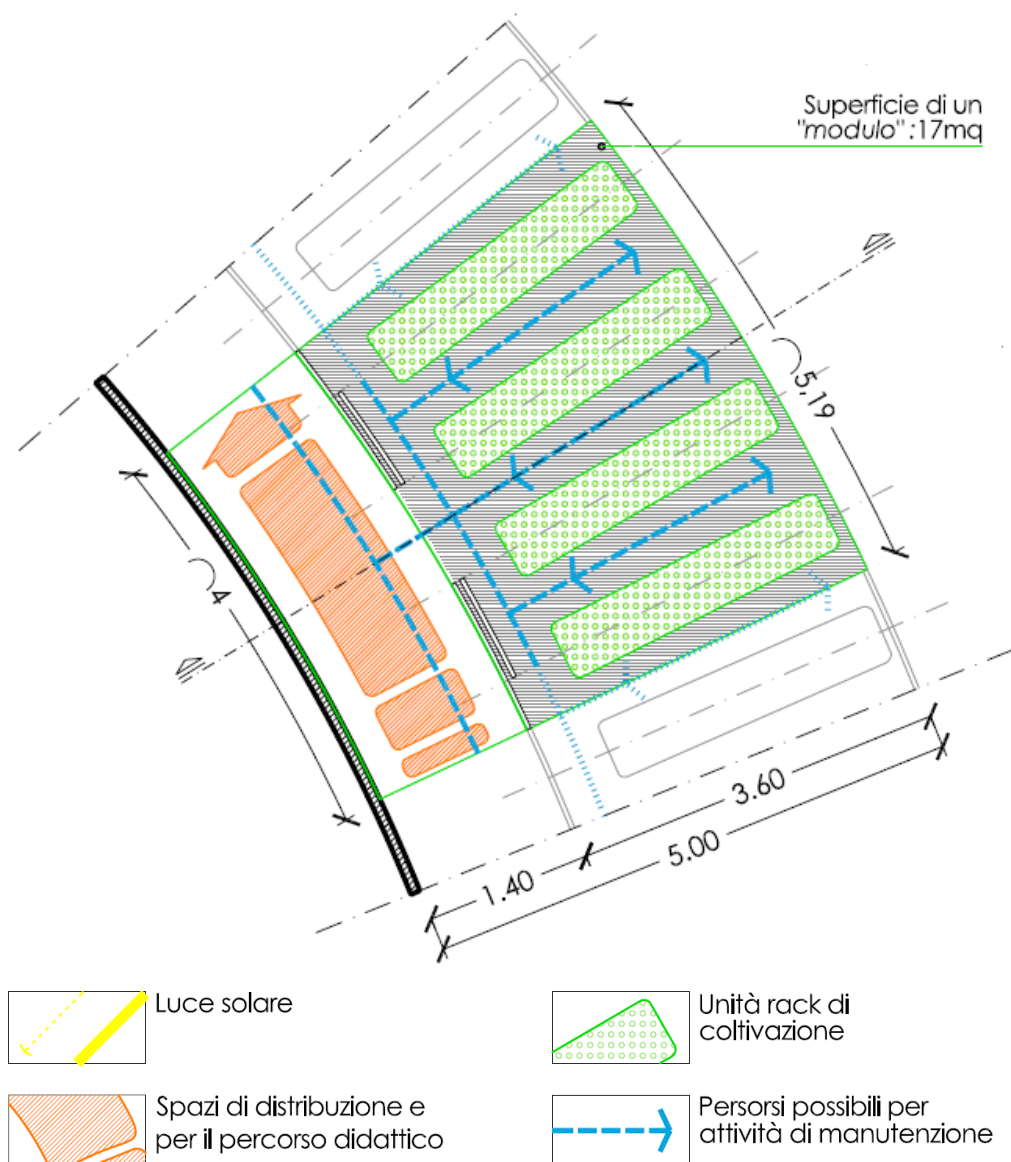


Figura 58: Torre Lineare Curva, planimetria di un modulo base - distribuzione percorsi e funzioni

Per quanto riguarda il sistema di gestione dell'aria (Figura 59 e Figura 60), tenendo conto della nuova geometria della Vertical Farm e relativamente al sistema Earth-Pipe, valgono le considerazioni fatte per la Torre Cilindrica, partendo da pagina 83, mentre per quanto riguarda le serre solari vale quanto descritto alla fine del paragrafo 0, dopo la Figura 52.

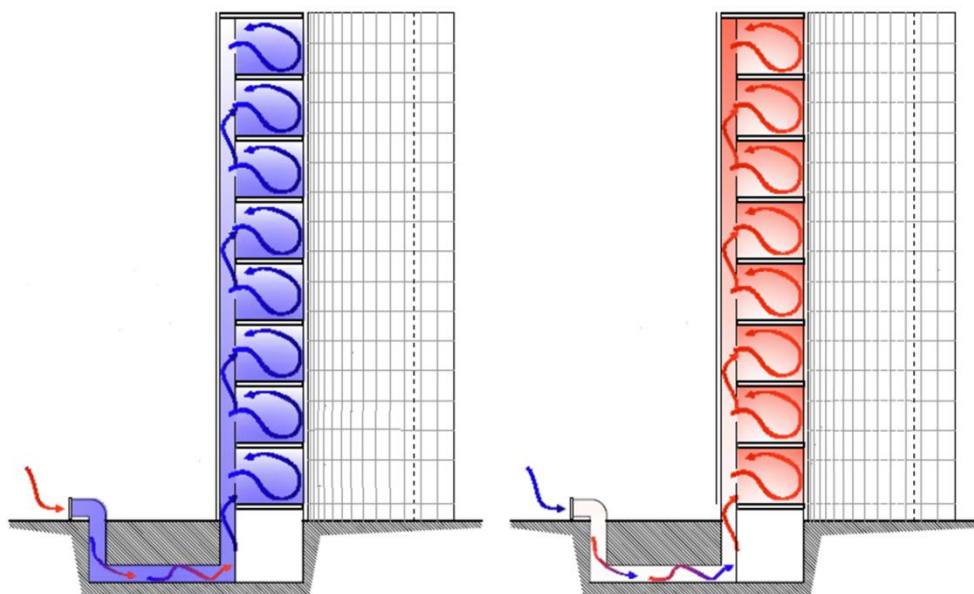


Figura 59: Torre Lineare Curva, schema di ventilazione con Earth-Pipe in Estate (blu) ed in Inverno (rosso)

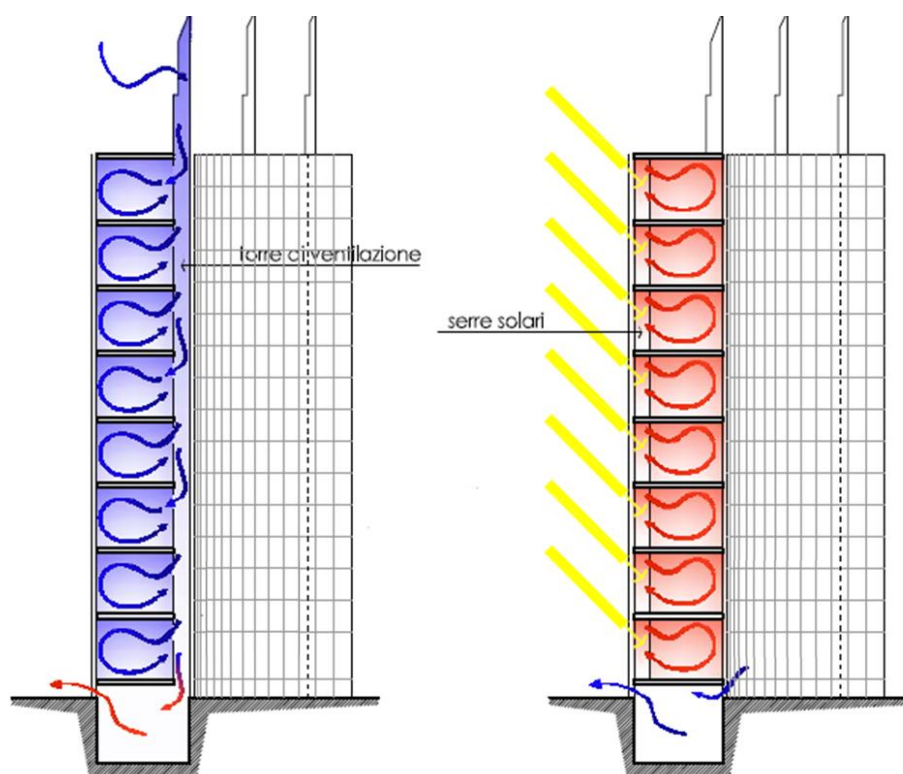


Figura 60: Torre Lineare Curva, schema di ventilazione con torre di ventilazione. Estate (blu) ed Inverno (rosso)

RISULTATI DEL PROGETTO

Alla luce di quanto visto finora, le Vertical Farms risultano essere un ottimo incubatore tecnologico, capace di coniugare numerosi campi della ricerca e dell'innovazione.

I vantaggi di un'agricoltura indoor che non ha bisogno di terra sono molti, come, in primis, la riduzione del consumo di suolo dovuta al fatto che le coltivazioni vengono effettuate su più livelli. Si evita inoltre uno dei principali effetti collaterali dell'agricoltura, ovvero il depauperamento del suolo e la perdita di minerali, oltre che il dilavamento che porta a mare decine di sostanze nocive.

L'approvvigionamento e la vendita di frutta e verdura fresca a centimetro zero abbattano anche l'inquinamento atmosferico per CO₂ dei mezzi che prima trasportavano i prodotti, in quanto, grazie alle fattorie verticali, i luoghi di produzione e commercializzazione coincidono.

Le Vertical Farms sono dunque un progetto ecologico e sostenibile per l'ambiente: si ridurrebbe il consumo di acqua, la quale verrebbe riciclata nella struttura, si valorizzerebbero gli scarti delle coltivazioni, in quanto potrebbero essere sfruttati per produrre "biogas" (Paragrafo 0) da usare come fonte energetica, oltre a quella derivante dal fotovoltaico (Paragrafo 0), dall'eolico (Paragrafo 0) o dal piccolo idroelettrico (Paragrafo 0).

Questo progetto permetterà lo sviluppo di un'economia locale capace di avviare attività economiche innovative nel settore agricolo, coniugando l'efficienza logistica (produzione direttamente nelle vicinanze del luogo di consumo quali ad esempio supermercati) con il grande risparmio nel consumo di acqua e del basso uso di fertilizzanti e

pesticidi, altissima qualità del cibo prodotto e certificazione reale grazie al continuo monitoraggio dei principali parametri legati alle condizioni di crescita degli alimenti e che possa rappresentare un'alternativa all'agricoltura tradizionale.

Tra i settori di maggior sviluppo nel campo delle Vertical Farms, vi è sicuramente quello dell'industria farmaceutica. Vista la peculiarità delle colture destinate ad un uso terapeutico, grazie alle serre verticali in ambiente chiuso e controllato si potranno coltivare piante del tutto esenti da inquinanti e metalli pesanti, garantendo un prodotto naturale e biologico al 100%. Inoltre, assicurando i più elevati standard di crescita, le colture preposte ad un uso fitoterapeutico potranno essere “guidate” nella crescita, favorendo l'insorgenza di principi attivi che altrimenti la pianta non sarebbe in grado di sviluppare da sola in campo aperto. In aggiunta a questo, e per quanto detto finora, la produzione di questo tipo di piante sarebbe seguita e controllata durante tutto il ciclo produttivo, evitando che qualsiasi patogeno indesiderato entri in contatto con la coltivazione, andando a degradare le sue proprietà organolettiche. Un altro punto a favore dell'uso delle Vertical Farms per fini fitoterapeutici è quello della standardizzazione della produzione: avere degli standard qualitativi di produzione, infatti, permetterebbe di avere colture sempre uguali, con i medesimi livelli di principi attivi ed antiossidanti, ciclo dopo ciclo, garantendo quindi la ripetibilità dell'applicazione.

Analoghi campi di interesse, visti i fini di utilizzazione, sono indubbiamente quelli relativi all'erboristeria ed alla nutraceutica, i quali richiedono alti standard di qualità per le proprie applicazioni.