



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE DII
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

Tesi di laurea Magistrale

ANALISI TECNICA ED ECONOMICA DI UN SISTEMA COMPOSTO DA
UNA SERRA IDROPONICA E IMPIANTO COGENERATIVO AD
INSUFFLAZIONE DI CO₂

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALISYS OF A SYSTEM CONSISTING OF A
HYDROPONIC GREENHOUSE AND WITH CO₂ INSUFFLATION
COGENERATION PLANT

Relatore: Prof. Arturo Lorenzoni

Correlatore: Ing. Carlo Drago - ETAV s.r.l.

Studente: Ion Moisei

Matricola: 1240332

Anno Accademico 2021/2022

Indice

1	PREMESSA.....	7
2	QUADRO DELLE PRODUZIONI.....	9
2.1	IL COMPARTO ORTICOLO A LIVELLO NAZIONALE.....	9
2.2	IL COMPARTO ORTICOLO VENETO.....	10
2.3	I MERCATI NAZIONALI E REGIONALI.....	11
2.3.1	Lattuga in piena aria.....	12
2.3.2	Lattuga in serra.....	12
2.3.3	Pomodoro in piena aria.....	13
2.3.4	Pomodoro in serra.....	14
2.3.5	Fragola in piena aria.....	15
2.3.6	Fragola in serra.....	15
2.3.7	Peperone in piena aria.....	16
2.3.8	Peperone in serra.....	17
2.3.9	Cetriolo in piena aria.....	17
2.3.10	Cetriolo in serra.....	18
2.3.11	Filiere e tendenze.....	19
3	STUDIO DEI PREZZI.....	21
4	SISTEMI DI COLTIVAZIONE FUORI SUOLO.....	22
4.1	COLTIVAZIONE IN CONTENITORE CON SUBSTRATO.....	23
4.2	NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT).....	24
4.3	AEROPONICA.....	25
4.4	FLOATING SYSTEM.....	26
5	BUSINESS PLAN.....	27
6	AMBIENTI DI COLTIVAZIONE.....	28
6.1	SERRE-TUNNEL IN MATERIALE PLASTICO.....	29
6.2	SERRE IN FERRO-VETRO.....	30
7	COSTI DI REALIZZAZIONE E GESTIONE DELL'IMPIANTO DI COLTIVAZIONE IN AMBIENTE FUORI SUOLO.....	31
7.1	COLTIVAZIONE DI LATTUGA IN FLOATING SYTEM.....	31
7.1.1	Gestione della coltura e piano produttivo in floating system.....	34
7.1.2	Valutazione mediante business plan per il foating system.....	36
7.2	COLTIVAZIONE DI LATTUGA CON LA TECNICA DEL FILM NUTRITIVO.....	38
7.2.1	Gestione della coltura e piano produttivo in Nutrient Film Tecnique.....	38
7.2.2	Valutazione mediante business plan per il NFT.....	40
7.3	COLTIVAZIONE DEL POMODORO CILIEGINO.....	41
7.3.1	Gestione della coltura e piano produttivo.....	41
7.3.2	Valutazione mediante business plan.....	43
7.4	COLTIVAZIONE DEL CETRIOLO IN AMBIENTE PROTETTO.....	46
7.4.1	Gestione della coltura e piano produttivo.....	46
7.4.2	Valutazione mediante business plan.....	48
7.5	COLTIVAZIONE DELLA FRAGOLA IN AMBIENTE PROTETTO.....	49
7.5.1	Gestione della coltura e piano produttivo.....	50
7.5.2	Valutazione mediante business plan.....	53
8	BENCHMARK TRA COLTURE CON TECNOLOGIE IDROPONICHE DI BASE.....	54
9	SOLUZIONI AVANZATE PER LA PRODUZIONE DEGLI ORTAGGI IN SERRA.....	55
9.1	COLTURA INTERCALARE.....	55

9.1.1	Coltivazione di fagiolino come coltura intercalare.....	56
9.1.2	Coltivazione di pomodoro nel piano produttivo del cetriolo.....	57
9.2	CONCIMAZIONE CARBONICA.....	57
9.2.1	. Sostenibilità e principi della tecnica di concimazione carbonica.....	61
9.2.2	Valutazione tecnica della serra per la fertilizzazione con CO ₂	62
10	BENCHMARK TRA COLTURE CON TECNOLOGIE IDROPONICHE AVANZATE.....	63
10.1	INCENTIVI.....	65
11	SOLUZIONE IMPIANTISICA PER FORNIRE ENERGIA AL SISTEMA SERRICOLO.....	66
11.1	MICROCLIMA NELL'AMBIENTE SERRICOLO.....	67
11.1.1	Temperatura.....	68
11.1.2	Umidità dell'aria.....	70
11.1.3	Qualità della luce.....	71
11.1.4	La concentrazione ambientale di CO ₂	74
11.1.5	PAR e Produzione Primaria.....	74
11.2	TIPOLOGIA DI SERRA E MATERIALI DI COPERTURA UTILIZZATI.....	75
11.2.1	Struttura portante.....	75
11.2.2	Elementi trasparenti utilizzabili per la copertura.....	76
11.2.3	Standard europei.....	77
11.2.4	Caratteristiche tecniche e costi.....	78
11.2.5	Sistemi di ombreggiamento.....	79
11.3	RIEPILOGO DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE.....	80
12	RISORSA SOLARE PER LA SERRA.....	81
11.1.	RISORSA LUMINOSA PER LE PIANTE.....	83
12.1.1	Modello di calcolo della PAR necessaria.....	85
12.1.2	Calcolo intensità dell'illuminazione artificiale.....	87
13	CALCOLO DEL FABBISOGNO ELETTRICO A SERVIZIO DELLA STRUTTURA SERRICOLA.....	89
14	MODELLO DI CALCOLO DELL'ENERGIA TERMICA PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO AMBIENTALE.....	90
15	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NEL SOFTWARE DI CALCOLO.....	92
15.1	COSTRUZIONE DEL MODELLO GEOMETRICO.....	92
15.2	FATTORI DINAMICI.....	93
15.3	CALCOLO DEL CARICO TERMICO.....	95
15.4	SISTEMA DI DISTRIBUZIONE DEL CALORE.....	96
15.5	SISTEMA DI CONDIZIONAMENTO DELL'AMBIENTE.....	98
16	POTENZA RICHIESTA PER LA CLIMATIZZAZIONE INTERNA.....	99
17	PRODUZIONE DI CO ₂ DALLA SOLUZIONE COGENERATIVA.....	100
17.1	RIDUTTORI SELETTIVI CATALITICI.....	100
17.2	RIDUTTORI SELETTIVI NON CATALITICI.....	101
17.3	CALCOLO DEL FABBISOGNO DI CO ₂	102
18	MOTORE COGENERATIVO.....	104
19	SISTEMA "IMPIANTO COGENERATIVO - SERRA IDROPONICA".....	105
19.1	SCELTA DELLA TAGLIA MOTORE E ASSORBITORE.....	105
20	DEFINIZIONE DEI COSTI D'INVESTIMENTO, OPERATIVI E DI GESTIONE.....	109
21	CONCLUSIONI.....	111
	INDICE FIGURE.....	113

1 PREMESSA

Analizzando la situazione attuale, in un'ottica di sostenibilità globale, si è portati a chiedersi se esistono tecniche innovative che possano far fronte alla sempre più preoccupante situazione mondiale caratterizzata dalla scarsità di risorse naturali, dall'aumento della popolazione mondiale e dalle variazioni climatiche.

Negli ultimi anni nell'ambito delle tecniche colturali è avvenuto un interessante passaggio dalle coltivazioni in terra alle coltivazioni fuori suolo. Le principali tecniche possono essere ricondotte alle categorie dell'idroponica e dell'aeroponica.

Il sistema colturale idroponico rappresenta una tecnica agronomica che prevede la coltivazione delle piante fuori-suolo mediante l'impiego di soluzioni nutritive, con o senza l'utilizzo di mezzi inerti (ghiaia, vermiculite, lana di roccia, muschio di torba, segatura in polvere o fibra di cocco) a supporto delle stesse. All'interno di un sistema idroponico possono essere coltivate numerose tipologie di orticole. In particolare, ai fini della presente analisi, sono state prese in considerazione le seguenti colture: pomodoro, fragola, peperone, melanzana, fagiolino, cetriolo e lattuga (le cosiddette "orticole da foglia"). La definizione di coltura idroponica utilizzata dal regolamento europeo sull'agricoltura biologica Reg.834/2007, presentato nel paragrafo 5, considera coltura idroponica qualsiasi coltura nutrita con una soluzione di elementi nutritivi, a prescindere dal tipo di substrato utilizzato.

L'aeroponica, invece, è una tecnica di coltivazione delle piante in aria nella quale le radici sono sospese in un contenitore dove un sistema di nebulizzazione le mantiene costantemente umide. Questo tipo di coltivazione viene proposta per permettere un maggiore sfruttamento delle superfici interne alla serra ed una minore manutenzione e rischio di diffusione dei patogeni. Ciò è dovuto alla nebulizzazione della sostanza nutritiva che riduce la dispersione di terra o liquidi come mezzo di diffusione. La possibilità di utilizzare questi impianti su qualsiasi tipo di suolo viene promossa nei paesi in via di sviluppo come risposta alla crisi alimentare, ma la forte automatizzazione richiesta è chiaramente basata su grossi investimenti internazionali e non locali.

Con queste tecniche innovative si ottengono piante molto resistenti alle variazioni atmosferiche e che, allo stesso tempo, crescono più rapidamente. Inoltre, non essendo soggette ai comuni parassiti che vivono nella terra, non richiedono fertilizzanti e pesticidi. Permettono di realizzare un notevole risparmio di acqua in situazioni in cui questa risorsa scarseggia e di migliorare qualitativamente la produzione con la possibilità di somministrare ad ogni tipo di pianta coltivata la giusta quantità di acqua e la perfetta combinazione di elementi nutritivi. Tuttavia, esistono anche problematiche e criticità nell'utilizzazione dei sistemi fuori suolo in quanto richiedono un'adeguata formazione del personale addetto e i costi di produzione non sono paragonabili a quelli di una tecnica agricola tradizionale.

La tecnica idroponica sta conoscendo un'importante diffusione a livello mondiale, dovuta soprattutto al fatto che essa permette una gestione maggiormente efficiente delle risorse rispetto agli altri sistemi colturali (soprattutto per quanto riguarda le risorse idriche) e la produzione di prodotti agro-alimentari di elevata qualità. Ad oggi, l'Europa rappresenta il più grande mercato di prodotti agro-alimentari ottenuti mediante produzione idroponica (al secondo posto si colloca l'Asia, mercato che sta registrando ritmi di crescita costanti e di notevole entità). All'interno del contesto europeo, Spagna e Olanda risultano essere le nazioni leader in questo campo, con una superficie di 40.000 e 13.000 ettari rispettivamente (*Sharma et al., 2018*).

Nonostante i vantaggi tecnici e ambientali legati a questa tipologia di sistema colturale, la costruzione di un impianto idroponico deve necessariamente essere accompagnata da un'analisi

preliminare volta a fornire una valutazione della convenienza economica della costruzione di tale impianto, nonché ad analizzare le potenzialità di sviluppo del mercato delle produzioni orticole che si potranno ottenere al suo interno. In questo senso, la presente analisi intende:

- delineare un quadro sintetico delle colture che si possono mettere a dimora all'interno di un sistema idroponico, considerando il fatto che queste ultime, oltre ad essere idonee a questa tecnica di produzione, dovranno anche essere economicamente sostenibili, dati i costi non trascurabili di questa tipologia di impianto;

- determinare i periodi dell'anno che permetteranno di ottenere un profitto maggiore, analizzando le tendenze temporali delle eventuali importazioni e dei prezzi all'origine dei prodotti agro-alimentari registrati nel corso degli anni precedenti. Trattandosi di una coltivazione in ambiente protetto e controllato, infatti, si potrà ottenere una produzione anticipata, che permetterà di entrare precocemente nel mercato, vendendo i prodotti ad un prezzo maggiore. L'analisi temporale dei prezzi sarà effettuata attraverso la destagionalizzazione delle serie storiche dei prezzi, mediante l'impiego di varie metodologie previsionali a breve periodo,

Con l'obiettivo di fornire una soluzione completamente integrata tra serra, con le proprie esigenze di vettori energetici, e impianto di autoproduzione basato su un cogeneratore alimentato a gas naturale, si andrà, quindi, a dimensionare progettualmente una soluzione di cogenerazione sul posto del fabbisogno energetico complessivo, al fine di riuscire a delineare un quadro dell'investimento e dei costi/ricavi per la coltivazione in fuori suolo nelle realtà del nord Italia.

E' stato, peraltro, proposta una soluzione impiantistica innovativa nel settore agricolo che vede sempre il generatore di energia in loco e che ne utilizza i fumi per autoprodurre CO₂ da insufflare in serra per aumentare la produzione primaria. Per salvaguardare l'aspetto ambientale si terrà sempre d'occhio l'efficienza e i possibili miglioramenti all'impianto, oltre che garantire una sostenibilità economica legata al miglior sfruttamento delle risorse a disposizione. Nel presente studio si prenderanno in considerazione alcune tecniche innovative, che poi verranno analizzate in un quadro di fattibilità tecnica e finanziaria. Tutte le analisi e considerazioni verranno presentate su un modello prototipo di serra idroponica, al fine di riuscire ricavare un raccolto da un ettaro di superficie.

2 QUADRO DELLE PRODUZIONI

In questo capitolo verranno prese in esame le dinamiche delle produzioni orticole elencate nel paragrafo introduttivo, analizzando i dati disponibili a partire dal 2006. Questo passaggio risulta di fondamentale importanza al fine di delineare un'analisi della congiuntura volta a tracciare un'ipotesi degli andamenti futuri e a conoscere l'evolversi del quadro economico.

Di seguito vengono analizzate nel dettaglio le produzioni (nazionali e regionali – per quanto riguarda la realtà veneta) di lattuga, pomodoro, fragola, peperone e cetriolo, sia in piena aria che in serra. Inoltre, saranno esaminati anche i flussi di importazione ed esportazione da e per l'Italia. Infine, una volta ottenute queste informazioni, si potrà procedere all'elaborazione dei bilanci di autoapprovvigionamento, così da identificare il grado di autosufficienza di ciascuna coltura oggetto di studio.

2.1 Il comparto orticolo a livello nazionale

Le mappe riportate in *Figura 1* e in *Figura 2* evidenziano il quadro delle coltivazioni orticole (sia in piena aria che in serra) nel territorio nazionale. In particolare, esse mostrano rispettivamente il numero di aziende agricole specializzate nella coltivazione delle orticole e la SAU (Superficie Agricola Utilizzata) impiegata a livello nazionale. Come si può osservare, le regioni che maggiormente vocate alla coltivazione delle orticole sono l'Emilia-Romagna e la Puglia, le quali presentano più di 10.000 aziende ciascuna. Più in generale, la gran parte delle regioni meridionali impiegano notevoli superfici a colture orticole, anche se in questo contesto il Veneto, la Lombardia e le Isole giocano un ruolo di rilievo.

Fonte: Elaborazione dati Istat, 2016

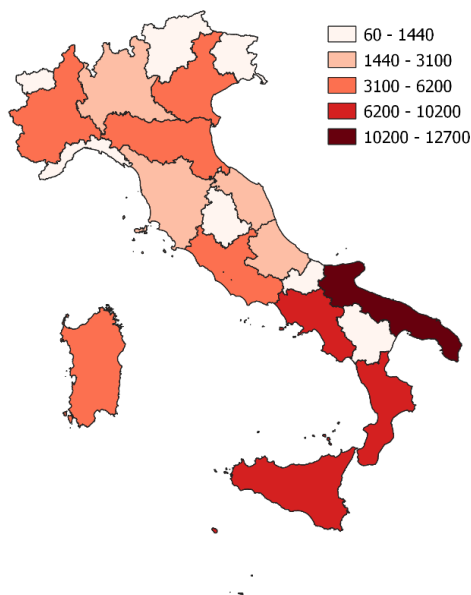


Figura 1 Numero di aziende orticole nelle diverse regioni italiane.

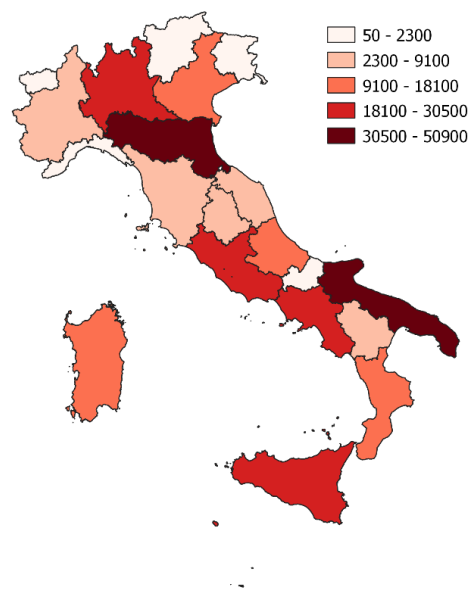


Figura 2 SAU impiegata (ha) ad orticole nelle diverse regioni italiane.

Dal punto di vista temporale, risulta particolarmente interessante analizzare soprattutto l'andamento della SAU ad orticole a livello nazionale. In particolare, il *Grafico 1* pone a confronto l'evoluzione della superficie impiegata nella coltivazione delle orticole in piena aria rispetto a quella in serra. La SAU delle orticole in piena aria risulta essere circa otto volte più alta rispetto a quella in serra. Tuttavia, la superficie delle orticole in piena aria ha registrato un tasso annuo di decrescita pari al 1,6%, mentre la SAU impiegata ad orticole in coltura protetta è rimasta sostanzialmente stabile, attestandosi sui 38.000 ha.

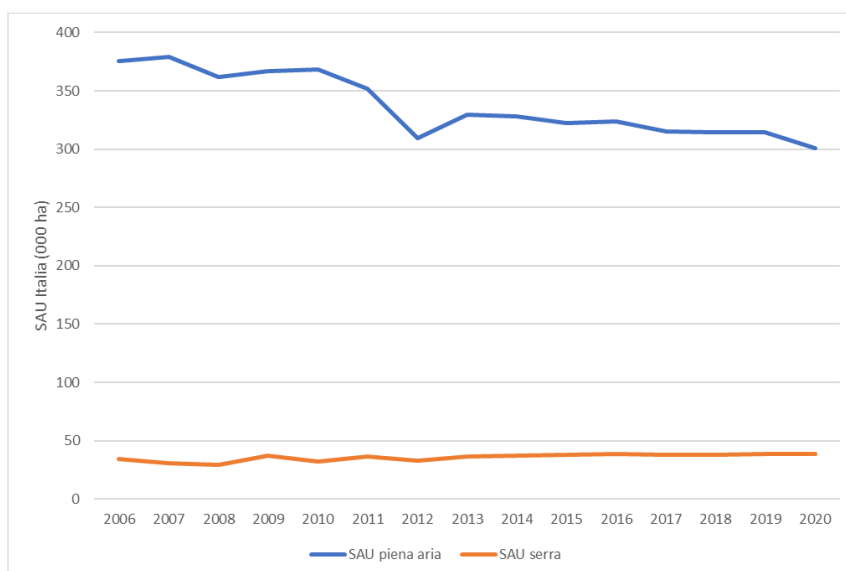


Figura 3 Evoluzione della SAU ad orticole (in piena aria e in serra) in Italia dal 2006 al 2020.

2.2 Il comparto orticolo Veneto

Le mappe in fig. 4 e in fig. 5 riportano rispettivamente il numero di aziende specializzate nel settore delle orticole in piena aria e in serra all'interno dei diversi comuni della regione Veneto. In entrambi i sistemi di coltivazione, si evidenzia come le principali aree produttive si concentrino nelle zone del litorale veneziano, nel veronese e nell'area del Polesine. Aree secondarie di produzione sono le zone della bassa trevigiana e della bassa padovana.

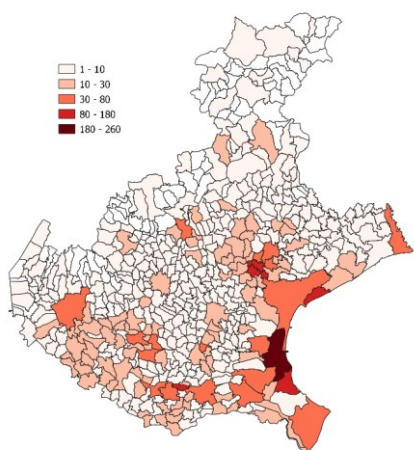


Figura 4 Numero di aziende con orticole in piena aria in Veneto.

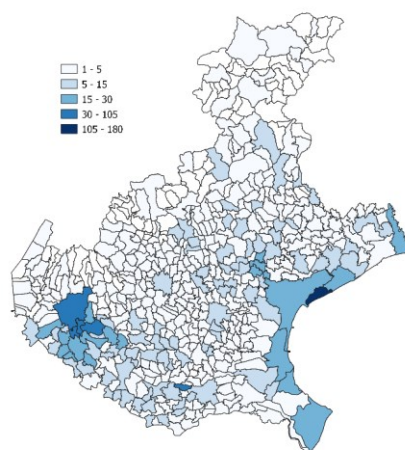


Figura 5 Numero di aziende con orticole in serra in Veneto.

Elaborazione dati Censimento Agricoltura 2010.

Per quanto riguarda le superfici impegnate, analogamente a quanto avviene a livello nazionale, anche in regione Veneto, la SAU ad orticole in piena aria (Figura 6) è maggiore rispetto a quelle in serra (Figura 7) e la sua distribuzione va di pari passo con quella del numero di aziende. Con specifico riferimento alle orticole in coltura protetta, le superfici più importanti sono localizzate soprattutto nel litorale veneziano e nel veronese, zone note per l'elevato numero di serre.

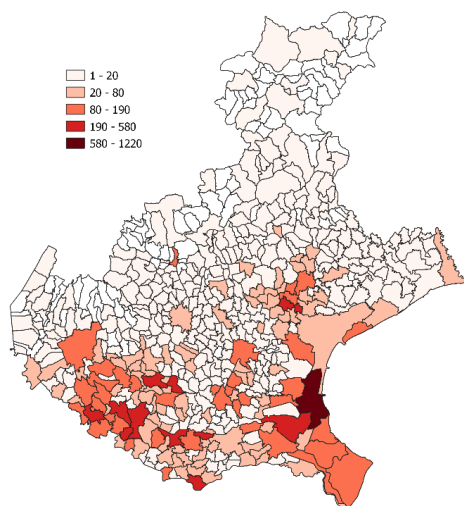


Figura 6 – SAU impegnata (ha) ad orticole in piena aria in Veneto.

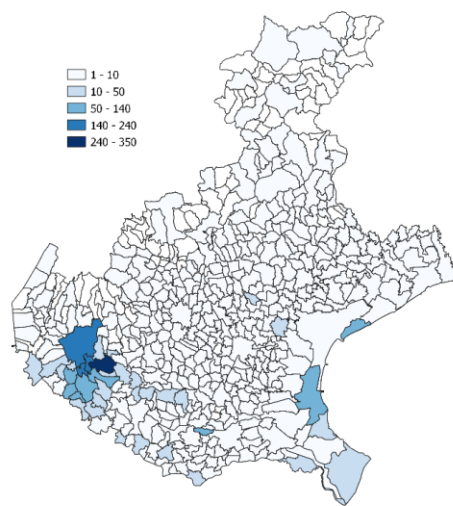


Figura 7 – SAU impegnata (ha) ad orticole in serra in Veneto.

2.3 I mercati nazionali e regionali

Nei paragrafi che seguono si riporta l'analisi dei mercati nazionali, regionali e provinciali (solo in riferimento alla regione Veneto) di lattuga, pomodoro, fragola, peperone e cetriolo, sia in piena aria che in serra. Tale analisi è stata eseguita elaborando i dati resi disponibili dall'Istat relativamente alle superfici e ai volumi di produzione.

In particolare, i dati utilizzati sono stati rilevati nel periodo che va dal 2006 al 2020. Si sono prese in analisi tali serie temporali in quanto si presume che i fattori che hanno condizionato la dinamicità dei mercati considerati nel passato e nel presente continueranno ad agire in modo analogo anche nel futuro. In questo senso, è fondamentale che il periodo considerato sia il più ampio possibile.

2.3.1 Lattuga in piena aria

A livello italiano, sia le produzioni che le superfici investite in lattuga in piena aria hanno evidenziato un leggero decremento nel corso degli anni con un tasso medio annuo di decrescita del -1,25% e -0,7% rispettivamente.

Per quanto riguarda la distribuzione geografica, la Puglia è la maggior produttrice di lattuga con oltre 910.000 quintali nel 2020. Anche la Sicilia, l'Emilia-Romagna e la Campania presentano una produzione consistente. Il Veneto, invece, ha mostrato un andamento decrescente con un indice CAGR [*Tasso di crescita annuale composto, misura il tasso di rendimento di un investimento*] del -10,3%, passando da una produzione di circa 245.000 a poco più di 53.000 quintali (*Tabella 1*).

Regioni	Produzione (000 q.li) 2006-07	Produzione (000 q.li) 2018-19	CAGR (%)
<i>Puglia</i>	836,6	948,2	0,7
<i>Emilia-Romagna</i>	433,2	453,9	0,4
<i>Sicilia</i>	351,8	426,0	0,8
<i>Campania</i>	437,8	322,2	-1,9
<i>Lombardia</i>	89,1	195,3	5,9
<i>Veneto</i>	215,0	94,8	-10,3
Italia	3.558,9	3.342,9	-0,7

Tabella 1 Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione di lattuga in piena aria.

Analizzando le produzioni di lattuga in piena aria del Veneto nel periodo 2006-2020 è possibile constatare la presenza di due importanti flessioni, la prima nel 2007 e successivamente nel 2014. Il calo registrato tra il 2006 e il 2007 è attribuibile principalmente ad una diminuzione della produzione nella provincia di Venezia. Nel 2014, invece, sia la provincia di Rovigo che quella di Padova hanno impegnato una minor superficie a lattuga in piena aria causando una diminuzione della produzione regionale quantificabile in un -56% rispetto al 2013. Infatti, a questa minor area dedicata alla lattuga in piena aria corrisponde una maggior superficie investita invece nella coltivazione della stessa in serra.

2.3.2 Lattuga in serra

A livello nazionale sia la produzione che l'area impegnata a lattuga serra è rimasta sostanzialmente costante con un incremento medio annuo dell'1%. Le produzioni più consistenti sono state raggiunte dalla Campania e dal Lazio, le quali rappresentano rispettivamente il 30% e il 34% di quella totale italiana (*Tabella 2*).

Regioni	Produzione (000 q.li) 2006-07	Produzione (000 q.li) 2018-19	CAGR (%)
Lazio	348,7	499,0	3,5
Campania	452,9	457,1	-1,3
Veneto	181,8	322,7	2,5
Lombardia	83,8	117,7	2,9
Emilia-Romagna	53,2	38,3	-0,7
Veneto	181,8	322,7	2,5
Italia	1.240,1	1.531,3	1,1

Tabella 2 – Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione della lattuga in serra.

A livello regionale, nel Veneto si nota come dal 2006 al 2015 la regione abbia mantenuto un andamento costante con una produzione intorno ai 150.000-190.000 quintali. Dal 2016, però, sia la provincia di Verona che quella di Venezia hanno investito una superficie maggiore a lattuga, generando un aumento della quantità prodotta a livello regionale.

Diversamente da quanto accadde a livello nazionale, la produzione in serra registrata nel 2020 è quasi quattro volte superiore a quella in piena aria. Questo evidenzia un fenomeno di sostituzione dalla lattuga in serra su quella in piena aria.

2.3.3 Pomodoro in piena aria

Dagli ultimi dati ISTAT si evince che sia le superfici che la produzione nazionale di pomodoro in piena aria hanno presentato un andamento decrescente.

Per quanto riguarda le singole realtà regionali (Tabella 3), la Sicilia si afferma tra le altre come la regione che produce la maggior quantità di pomodoro in piena aria, con una produzione che è rimasta sostanzialmente invariata nel corso degli anni e che rappresenta circa il 26% di quella nazionale. Un'altra realtà regionale importante per quanto riguarda il pomodoro in piena aria è rappresentata dalla Puglia. Quest'ultima, a partire dal 2015, ha investito una maggior superficie (il 60% in più rispetto al 2014), ottenendo così un forte incremento nella produzione.

Regioni	Produzione (000 q.li) 2006-07	Produzione (000 q.li) 2018-19	CAGR (%)
Sicilia	1.599,2	1.350,0	0,1
Puglia	526,9	954,6	2,9
Campania	664,7	594,1	-1,3
Abruzzo	505,5	536,5	0,7
Calabria	1.878,8	427,6	-8,9
Veneto	160,3	14,0	-16,2
Italia	7.532,2	5.219,4	-2,2

Tabella 3 Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione di pomodoro in piena aria.

A livello veneto, l'andamento delle produzioni e della SAU impegnata a pomodoro in piena aria evidenzia un forte calo soprattutto a partire dal 2015 (fig. 8). Questo calo, che ha interessato sostanzialmente tutte le province della regione, è stimato essere pari all'83% circa rispetto al 2014, sia per quanto riguarda la quantità prodotta che la superficie investita.

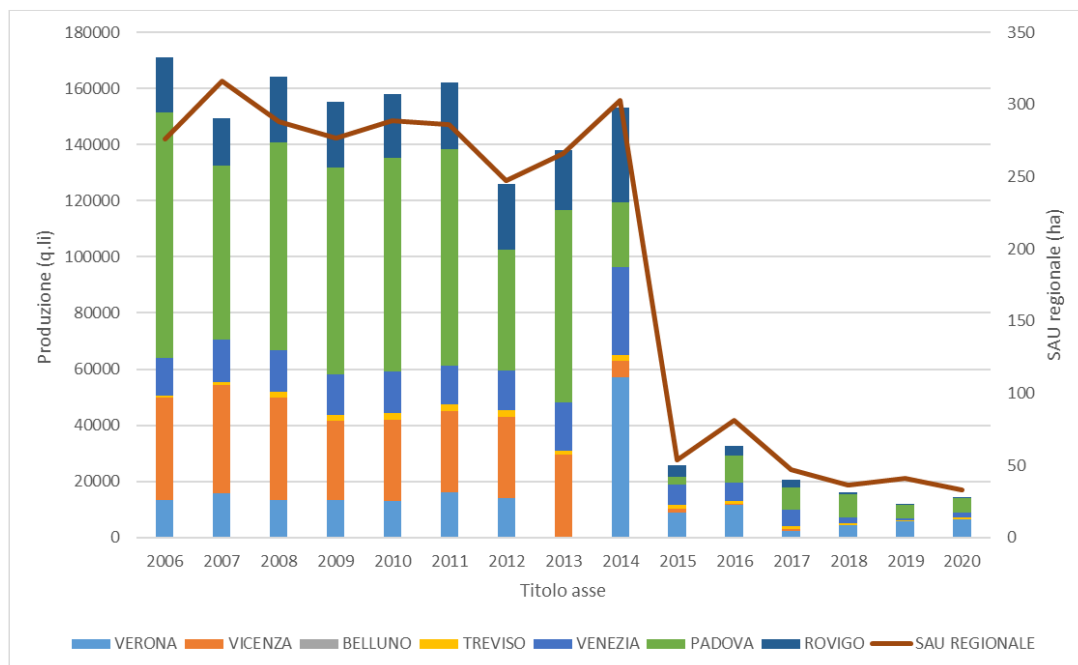


Figura 8 Andamento delle superfici e delle produzioni del pomodoro in piena aria in Veneto nel periodo 2006-2020. Fonte: Elaborazione dati Istat, 2021.

2.3.4 Pomodoro in serra

A livello nazionale, la produzione di pomodoro in serra è rimasta sostanzialmente invariata nel corso degli anni, attestandosi attorno ai 5 milioni di quintali. Sicilia, Campania e Lazio sono le regioni che producono le quantità più consistenti (Tabella 4). La Sicilia ha registrato però un tasso annuo di variazione della produzione negativo in particolar modo tra il 2009 e il 2010, periodo in cui si è evidenziato una contrazione che ha avuto come conseguenza una riduzione della produzione italiana del 24%. Al contrario della Sicilia, il Lazio ha mostrato un incremento produttivo con un tasso medio annuo di crescita dell'8,2%.

Confrontando le produzioni ottenute nel 2020 tra pomodoro in serra e quello in piena aria si può osservare come quest'ultima supera la prima di circa 410.000 quintali. Questo è giustificato dal fatto che la SAU investita a pomodoro in serra è circa la metà di quella in piena aria.

Regioni	Produzione (000 q.li)		CAGR (%)
	2006-07	2018-19	
Sicilia	2.338,9	1.720,3	-2,0
Lazio	533,5	1.391,9	8,2
Campania	824,4	711,8	-1,8
Veneto	485,3	262,4	-6,4
Puglia	112,5	241,7	5,7
Veneto	485,3	262,4	-6,4
Italia	4.954,3	5.379,2	-0,5

Tabella 4 – Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione del pomodoro in serra.

Le produzioni e le superfici del pomodoro in serra in Veneto hanno registrato un'importante diminuzione nel corso degli anni che si traduce in un tasso medio annuo di decrescita del -7,25%.

A livello provinciale, Verona e Venezia sono le due provincie che maggiormente contribuiscono alla produzione regionale di pomodoro in serra. Tuttavia, entrambe le provincie hanno subito un calo significativo, seppur in periodi diversi.

Nel 2014 Verona ha evidenziato una riduzione pari al -78% rispetto all'anno precedente, che però è stata subito recuperata, ritornando ai livelli del 2012. Probabilmente questo evento è legato all'improvviso aumento della coltivazione di fragola, sia in serra che in piena aria che ha interessato Verona sempre nel 2014. Dal 2016, invece, la provincia di Venezia ha registrato una contrazione della quantità prodotta del 57% rispetto al 2015, causata da una minor superficie investita in pomodoro in serra. Al contrario di Verona, però, la riduzione di produzione relativa alla provincia di Venezia si è mantenuto negli anni successivi.

Comunque, in generale, va evidenziato il fatto che, nonostante il tasso di variazione annuo sia negativo, la produzione del pomodoro in serra è di gran lunga superiore a quella in piena aria.

2.3.5 *Fragola in piena aria*

In linea generale, l'evoluzione della coltivazione della fragola in piena aria ha assunto un carattere decrescente nel corso degli anni.

Le quantità più consistenti sono prodotte dall'Emilia-Romagna, dal Trentino Alto-Adige e dal Lazio. Tuttavia, l'Emilia-Romagna (assieme alla Sicilia e al Veneto) registra un tasso medio annuo di variazione della produzione negativo (Tabella 5).

Regioni	Produzione (000 q.li)	Produzione (000 q.li)	CAGR (%)
	2006-07	2018-19	
Emilia-Romagna	152,9	71,4	-5,5
Trentino-Alto Adige	56,6	64,4	1,3
Lazio	42,2	54,8	2,4
Sicilia	97,5	29,4	-5,4
Piemonte	14,5	28,3	0,8
Veneto	30,7	14,9	-7,7
Italia	549,1	342,5	-3,2

Tabella 5 – Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione della fragola in piena aria.

Per quanto riguarda la realtà veneta, l'andamento delle produzioni e della SAU impegnata a fragole in piena aria sembra differenziarsi in due fasi diverse. Dal 2006 al 2013 si rilevano dati pressoché stabili, con la provincia di Vicenza che presentava la produzione più consistente. Invece, la seconda fase (2014-2020) è caratterizzata da un andamento decrescente.

Secondo Coldiretti, questo fenomeno potrebbe essere imputato alla concorrenza spagnola. Infatti, ad oggi le fragole che si trovano nei principali esercizi commerciali sono principalmente di origine spagnola perché più economiche, mentre quelle locali vengono acquistate principalmente nei punti di vendita specializzati (Coldiretti, 2014).

2.3.6 *Fragola in serra*

Per quanto riguarda la produzione di fragole in serra, nel corso degli anni, l'Italia ha presentato un andamento sostanzialmente costante (seppur con alcune fluttuazioni) con una produzione che nel complesso è quasi il triplo della fragola in piena aria.

La Campania è in assoluto la maggior produttrice di fragole a livello nazionale. Essa, infatti, produce quasi il 50% delle fragole in serra nazionali. Dopo la Campania si collocano il Veneto

e la Basilicata, quest'ultima molto nota per la coltivazione delle fragole e una delle prime regioni che riesce a presentare la propria produzione sul mercato (*Tabella 6*).

Regioni	Produzione (000 q.li)	Produzione (000 q.li)	CAGR (%)
	2006-07	2018-19	
Campania	503,6	399,6	-0,7
Veneto	126,2	133,9	-1,8
Basilicata	124,4	121,1	1,3
Calabria	4,7	69,5	22,3
Lazio	46,6	63,9	4,3
Veneto	126,2	133,9	-1,8
Italia	970,3	879,3	-0,2

Tabella 6 – Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione della fragola in serra.

Nel complesso, la produzione veneta ha registrato un tasso di variazione media annua del -1,8% nel periodo analizzato e tale trend decrescente si è evidenziato soprattutto dal 2015 in poi. Nel periodo precedente, infatti, la produzione è stata altalenante, con annate caratterizzate da basse produzioni e altre più produttive, mentre la SAU, sempre dal 2006 al 2015, è rimasta pressoché costante.

Per quanto riguarda la distribuzione geografica, la provincia di Verona è la maggior produttrice di fragole in serra. Di fatto nel 2020 la produzione veronese ha rappresentato ben il 90% della produzione veneta.

Infine, mettendo a confronto le quantità prodotte in serra sono nettamente superiori rispetto a quelle in piena aria. Questo fatto può essere spiegato considerando che la domanda di tale prodotto si distribuisce pressoché uniformemente lungo tutto l'anno e anche che si tratta di un prodotto molto deperibile che, di conseguenza, meglio si presta ad un ambiente controllato.

2.3.7 Peperone in piena aria

A livello nazionale, il peperone coltivato in piena aria ha confermato un trend negativo con un tasso medio annuo di decrescita del 2% circa (*Tabella 7*). Per quanto riguarda la distribuzione territoriale, Puglia, Campania, Sicilia e Calabria presentano le produzioni più consistenti e si sono mantenute costanti nel periodo 2006-2020. Tra queste, la Puglia emerge sulle altre, arrivando a rappresentare anche il 30% della produzione nazionale.

Regioni	Produzione (000 q.li)	Produzione (000 q.li)	CAGR (%)
	2006-07	2018-19	
Puglia	407,0	487,5	2,4
Sicilia	428,8	293,9	-2,9
Calabria	190,2	227,3	2,1
Campania	355,5	211,9	-4,9
Lazio	179,1	122,7	-2,8
Veneto	142,1	10,2	-17,4
Italia	2.493,5	1.901,0	-2,1

Tabella 7 – Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione del peperone in piena aria.

Dai dati ISTAT, si evince come pure il Veneto abbia presentato nel corso degli anni un andamento decrescente delle produzioni e della SAU impegnata a peperone in piena aria.

Mentre, fino al 2010, era la provincia Padova che evidenziava la produzione più consistente, seguita da quelle di Rovigo con il Polesine, dal 2011 al 2015, Verona è cresciuta del 97%.

Tuttavia, dal 2016, si è reso evidente in tutte le provincie del Veneto un forte calo delle superfici e, quindi, anche della quantità di peperoni in piena aria prodotta (-93% rispetto al 2015).

2.3.8 Peperone in serra

Nel periodo analizzato, a livello nazionale, la coltivazione del peperone in serra è stata abbastanza altalenante, sia in termini di produzione che di superficie investita. In linea generale, dal 2006 al 2020 si è registrato un andamento decrescente della produzione e della SAU pari a circa il -2,5% (Tabella 8).

Regioni	Produzione (000 q.li)	Produzione (000 q.li)	CAGR (%)
	2006-07	2018-19	
Campania	344,8	207,6	-5,3
Sicilia	412,7	204,3	-3,5
Veneto	103,2	140,4	3,1
Lazio	82,1	74,7	-1,9
Piemonte	67,4	66,9	0,3
Veneto	103,2	140,4	3,1
Italia	1.111,4	785,4	-2,4

Tabella 8 – Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione del peperone in serra.

Sicilia e Campania detengono le produzioni in serra più consistenti; tuttavia, quelle in piena aria continuano ad essere importanti. Inoltre, bisogna considerare anche la Puglia che contribuisce fortemente alla produzione in piena aria; infatti, quella in serra è da ritenersi di scarso rilievo.

In Veneto, il peperone in serra ha registrato un andamento nel complesso costante in termini di superficie investita, ma con una produzione via via crescente (CAGR +3%), con la provincia di Verona che gioca il ruolo principale.

Nel 2016 si è registrato un incremento notevole della produzione veneta di peperone in serra (+56% rispetto al 2015) che ha portato a toccare quasi i 200.000 quintali.

Confrontando la produzione in serra con quella in piena aria è possibile notare come la produzione di peperone in serra, è superiore di quasi 18 volte rispetto a quella in piena aria; quindi, si nota un contributo marginale da parte della produzione in piena aria.

2.3.9 Cetriolo in piena aria

Nel complesso la produzione del cetriolo ha presentato un andamento alquanto stabile, anche se a partire dal 2014 le superfici investite a cetriolo in piena aria e, di conseguenza le produzioni, hanno registrato un calo rispetto al periodo precedente. Tale diminuzione si è poi mantenuta stabile anche negli anni avvenire. Nel periodo precedente al 2014, solo il 2012 si è contraddistinto per una minore produzione (-25% rispetto all'anno precedente) dovuta al forte evento di siccità che ha colpito la stagione estiva, causando danni anche al pomodoro.

Per quanto riguarda la distribuzione regionale della produzione, Puglia e Calabria sono le regioni che hanno prodotto i volumi maggiori di cetriolo in piena aria, rappresentando rispettivamente il 42% e il 21% della produzione nazionale per il biennio 2018-2019 (Tabella 9).

Regioni	Produzione (000 q.li)	Produzione (000 q.li)	CAGR (%)
	2006-07	2018-19	
<i>Puglia</i>	49,0	81,5	4,9
<i>Calabria</i>	10,4	40,8	14,9
<i>Sicilia</i>	20,0	20,0	0,1
<i>Emilia-Romagna</i>	21,2	10,4	-6,7
<i>Lazio</i>	14,7	10,0	-1,4
<i>Veneto</i>	32,4	2,1	-19,8
Italia	253,4	193,7	-1,7

Tabella 9 – Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione del cetriolo in piena aria.

La regione Veneto non presenta un andamento costante né in termini di area investita e né di produzione ottenuta. Nel complesso si osserva una generale diminuzione nella coltivazione del cetriolo in piena aria, anche se tale riduzione non è lineare perché nel 2011 e nel 2015 sono evidenti dei picchi di produzione, entrambi imputabili ad un incremento della SAU investita a cetriolo, soprattutto nella provincia di Verona. Negli ultimi cinque anni, comunque, la produzione di cetriolo in piena aria è da considerarsi esigua.

2.3.10 *Cetriolo in serra*

La produzione del cetriolo in serra è rimasta sostanzialmente invariata tra i 350 e 400 mila quintali circa nel periodo tra il 2006 e il 2020. Lo stesso vale per la superficie che oscilla tra i 500 e i 600 ettari. Analizzando i dati, si è possibile osservare che la produzione di cetriolo in serra è doppia rispetto a quella in piena aria.

Il Veneto e la Sicilia sono le maggiori produttrici di cetriolo in serra (*Tabella 10*), tant'è che nel 2020 hanno rappresentato rispettivamente il 30% e il 26% della produzione nazionale. Seguono l'Emilia-Romagna, il Lazio e la Campania, ma con valori nettamente inferiori alle prime due.

Regioni	Produzione (000 q.li)	Produzione (000 q.li)	CAGR (%)
	2006-07	2018-19	
<i>Sicilia</i>	66,1	106,2	3,7
<i>Veneto</i>	155,7	85,3	-2,1
<i>Emilia-Romagna</i>	55,7	38,2	-2,9
<i>Campania</i>	23,6	26,7	0,6
<i>Lazio</i>	49,1	24,0	-4,9
<i>Veneto</i>	155,7	85,3	-2,1
Italia	423,7	364,0	-0,3

Tabella 10 – Evoluzione delle 5 regioni più importanti in termini di produzione del cetriolo in serra.

Il Veneto, in particolare, sembra presentare due andamenti diversi. Dal 2006 al 2018 ha registrato una produzione decrescente con un CAGR pari al -7%, arrivando a produrre appena 70.000 quintali nel 2018 rispetto agli oltre 200.000 del 2008. Questa contrazione è dovuta principalmente al sempre minore investimento di superficie a cetriolo in serra della provincia di Venezia. Negli ultimi anni, però, la produzione veneta sta recuperando, grazie soprattutto alle maggiori produzioni della provincia di Verona.

Confrontando le quantità raggiunte di cetriolo in serra con quello in piena aria, si può rilevare come quest'ultimo sia da considerarsi esiguo, come già detto precedentemente. Ciò sta ad indicare che la stragrande maggioranza della produzione veneta di cetriolo deriva da colture protette.

2.3.11 Filiere e tendenze

Elaborando i dati analizzati sopra, riusciamo a creare un quadro nazionale e regionale (Veneto) riguardante la produzione degli ortaggi presi in considerazione, sia nell'ottica di produzione in serra, che quella in piena aria (fig. 9).

La regione Veneto nell'ultimo decennio è riuscita ad incrementare il proprio contributo di produzione sul livello nazionale, nonostante si osserva una diminuzione del raccolto italiano per i seguenti ortaggi: lattuga, pomodori e peperone. Si nota, però, un incremento, circa il doppio, del raccolto di fragola e cetriolo.

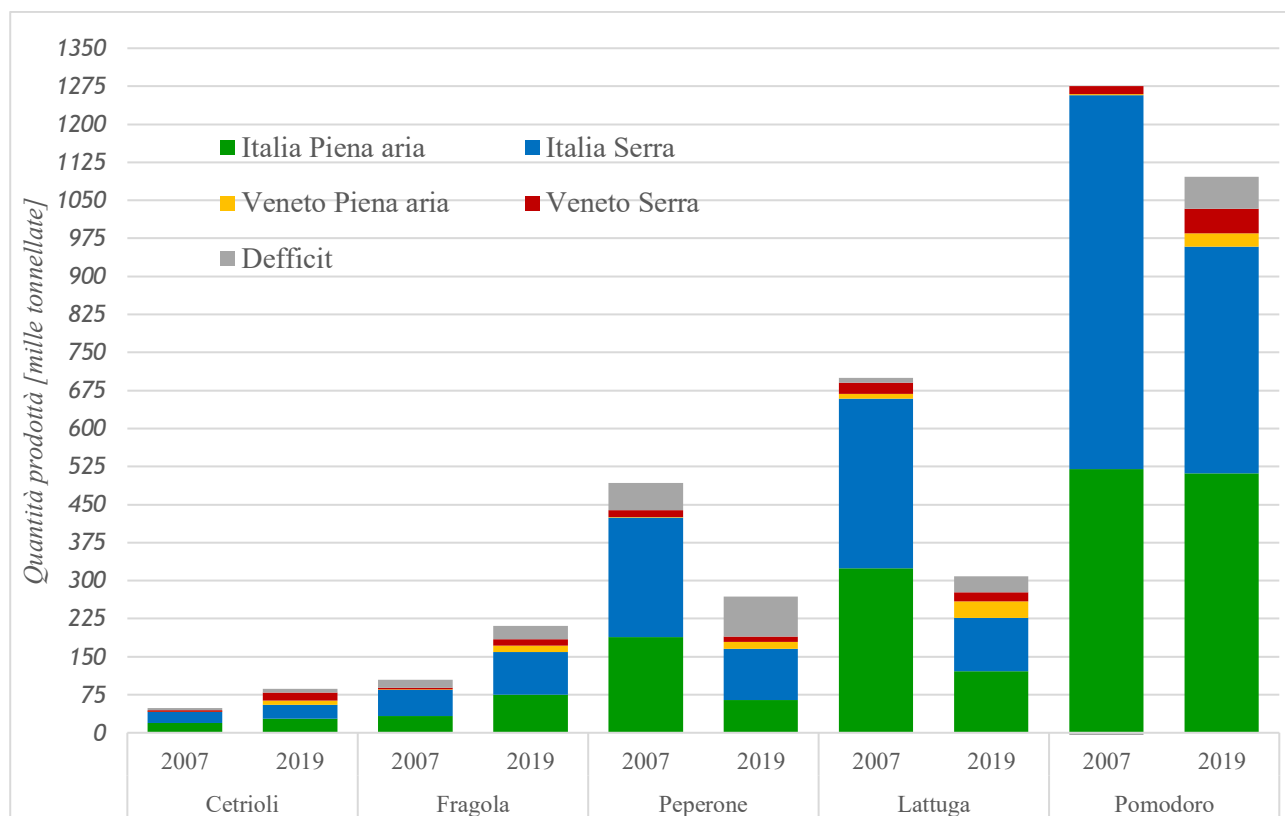


Figura 9 Confronto produttivo sul territorio nazionale e regionale del periodo 2006-07 e 2018-2019.

Si può passare ad analizzare le dinamiche dei flussi di importazione ed esportazione per ciascuna coltura oggetto di studio, sulla base dei dati disponibili nel database Eurostat. Nel database ogni prodotto è identificato in maniera univoca mediante la cosiddetta voce di tariffa doganale elettronica. I dati riguardano le quantità e il valore dei singoli prodotti considerati, prendendo come riferimento le dichiarazioni commerciali dell'Italia.

Quanto all'import, ciascuna orticola registra dei tassi medi annui di crescita positivi nel periodo analizzato (2006-19), con valori sempre superiori al 3%. Il pomodoro, in particolare, è il prodotto che costituisce la quota maggiore del valore delle orticole importate, arrivando al 4% del totale. Per quanto riguarda le esportazioni, i valori non discostano molto da quelli registrati dell'import.

Confrontando l'import e l'export, il primo risulta essere maggiore in termini assoluti con una quantità importata che è praticamente il doppio di quella esportata. Negli ultimi anni, l'Italia ha importato soprattutto dalla Spagna e dall'Olanda, le quali rappresentano rispettivamente il 53% e il 24% del valore totale. La Spagna, in particolare, rappresenta il maggior paese esportatore di orticole in Europa, soprattutto grazie alla regione di Almeria, la quale presenta la più grande

concentrazione di serre al mondo costituendo un complesso agricolo intensivo di oltre 40.000 ettari. Anche l’Olanda presenta una superficie di ben 10.000 ettari in serre, riuscendo a immettere i suoi prodotti nel mercato prima rispetto alle altre nazioni, eccetto per la Spagna ovviamente. L’Olanda, rispetto alla Spagna, coltiva tramite sistemi fuori suolo e questo garantisce una miglior qualità degli ortaggi da foglia, sia per una minor presenza di residui chimici che per una diminuzione della quantità di prodotto che deve essere scartata (*Stanghellini, 2021*).

Per quanto riguarda le esportazioni, l’Italia immette specialmente nel mercato tedesco (30% delle esportazioni), in Austria e in paesi dell’Est Europa quali Polonia, Slovenia e Romania. Tuttavia, le quantità esportate sono nettamente inferiori a quelle importate, come già ribadito precedentemente, in quanto la maggior parte della produzione nazionale è coltivata in piena aria e quindi soggetta alle condizioni climatiche.

Osservando in maniera sintetica si può tracciare i cosiddetti bilanci di autoapprovvigionamento, ciò fornisce una stima del grado di autosufficienza per un determinato prodotto. In altre parole, essi vengono impiegati per indicare quanto una nazione (nel caso specifico l’Italia) dipenda o meno dalle importazioni estere per soddisfare la domanda interna. Nella *Tabella 11* sono riportati i tassi medi di autoapprovvigionamento nel periodo 2006-07 e in quello 2018-19.

I tassi di autoapprovvigionamento si determinano attraverso il rapporto tra la produzione totale nazionale dell’orticola considerata (sia in piena aria che in serra) e l’utilizzazione interna (che si ottiene detraendo le esportazioni dalla somma di produzione italiana e importazioni). Uno Stato si considera completamente autosufficiente per un determinato prodotto quando il tasso di autoapprovvigionamento è uguale o superiore al 100%.

Per la determinazione dei dati elementari necessari al calcolo dei tassi di autoapprovvigionamento, sono stati impiegati i dati già descritti nei capitoli precedenti: le produzioni orticole ricavate dalla banca dati Istat e le quantità importate ed esportate estrapolate dal database Eurostat.

	Lattuga		Pomodoro		Fragola		Peperone		Cetriolo	
	2007	2019	2007	2019	2007	2019	2007	2019	2007	2019
Superficie piena aria (ha)	17.883	15.649	23.563	17.342	2.832	1.879	12.111	8.456	1.183	1.273
Superficie serra (ha)	3.987	4.596	7.757	7.422	3.057	2.849	2.185	1.947	715	546
Superficie totale (ha)	21.870	20.245	31.320	24.763	5.889	4.728	14.295	10.403	1.898	1.819
Produzione piena aria (mille ton)	355.9	334.3	753.2	521.9	54.9	34.2	249.4	190.1	25.3	19.4
Produzione serra (mille ton)	124.0	153.1	537.9	495.4	97.0	87.9	111.1	78.5	42.4	3.6
Produzione totale (mille ton)	479.9	487.4	1291.1	1017.4	151.9	122.2	360.5	268.6	67.7	55.8
Utilizzazione interna (mille ton)	489.2	518.6	1269.8	1080.0	166.9	148.4	413.4	347.3	71.5	63.4
Autoapprovvigionamento (%)	98.1	94.0	101.7	94.3	91.0	82.4	87.2	77.4	94.7	87.9
Import (mille ton)	28.9	62.3	87.6	135.4	35.2	38.1	64.3	90.1	11.4	17.3
Export (mille ton)	19.6	31.1	108.9	72.8	20.3	11.8	11.4	11.4	7.6	9.7

Tabella 11 Bilancio di autoapprovvigionamento italiano di alcune ortaggi. Fonte: Elaborazione dati ISTAT, 2020.

3 STUDIO DEI PREZZI

Il mercato delle produzioni ortofrutticole è caratterizzato da una notevole instabilità dei prezzi. Questo fenomeno viene amplificato nei prodotti freschi, a causa della loro deperibilità (bassa *shelf-life*) o difficoltà di stoccaggio. L'erraticità negli andamenti dei prezzi si ripercuote negativamente sulle scelte del produttore in quanto gli viene a mancare una delle informazioni fondamentali, ossia la programmazione appropriata delle produzioni. Questo, a sua volta, si riflette negativamente sulla redditività dell'impresa ed espone il produttore ad elevati livelli di rischio.

Le cause dell'instabilità dei prezzi sono molteplici. Innanzitutto, la deperibilità si traduce con la necessità di collocare il prodotto fresco sul mercato in tempi brevi, se non addirittura brevissimi. Un altro aspetto che influisce sulle quotazioni è la stagionalità della domanda legata all'alternanza delle stagioni o all'effetto delle festività. Gli effetti della stagionalità possono interagire con quelli generati dai consumatori che possono preferire prodotti sostitutivi o di origine estera. Dal lato della produzione, l'offerta del fresco, specie da colture in piena aria, è soggetta a fluttuazioni che vanno oltre le decisioni dei produttori e che sono imputabili all'andamento meteo-climatico, che limita la produzione al periodo primaverile-estivo o , tutt'al più, autunnale. Per conto, le produzioni in serra sono meno influenzate dall'andamento climatico e possono così estendere l'offerta ai mesi non coperti dalle produzioni di pieno campo.

Riassumendo, le discontinuità nella domanda e offerta si ripercuotono sui prezzi determinando una perturbazione dell'equilibrio del mercato che viene spesso amplificata dalla ridotta dimensione dei volumi scambiati o dalla deperibilità del prodotto. Alla luce di queste considerazioni, per il produttore è di fondamentale importanza limitare gli effetti negativi della congiuntura.

In questo capitolo, verranno analizzate le serie storiche dei prezzi delle colture oggetto di analisi con l'intento di scomporre il prezzo nelle componenti stagionali, trend e casuali. Lo scopo è di misurare l'effetto della stagionalità che incide sulla redditività e quindi sui tempi di coltivazione. Ogni serie verrà analizzata in questo modo: in primo luogo, si procederà all'analisi descrittiva, poi si valuterà la volatilità ed infine, si procederà con la destagionalizzazione.

I dati si riferiscono ai mercati all'origine (prezzi pagati all'agricoltore) rilevati e offerti da Ismea e al mercato all'ingrosso (prezzi pagati dai grossisti o distributori), rilevati ed elaborati dal mercato di Milano.

L'orizzonte temporale oggetto di analisi è di 8 anni, dal 2013 al 2020. L'analisi è sui prezzi mensili. Si sono svolte analisi sulla volatilità e sullo studio della destagionalizzazione.

La volatilità misura la variabilità mensile dei prezzi rispetto al valore medio annuale e consente di esprimere un giudizio sulla stabilità del mercato oggetto di analisi.

L'analisi previsionale sulla destagionalizzazione è composta da diverse fasi che procede alla scomposizione del prezzo nella componente stagionale, trend e irregolare. La componente stagionale stima le fluttuazioni infra-annuali del prezzo dovute all'alternanza stagionale e, quindi, al calendario annuale. La componente trend misura l'evoluzione di fondo dei prezzi. Infine, la componente irregolare del prezzo viene attribuita all'insieme di errori, deviazioni e alterazioni di natura casuale e, quindi, imprevedibili.

I risultati sulla destagionalizzazione e prezzo medio (€/kg) nel biennio 2018-2020 degli ortaggi sono riassunti nella *Tabella 12*. Questi dati sono solo un riferimento, in quanto tale valore può variare con le dinamiche spaziali, nonché temporali dei prezzi, dei margini distributivi e delle colture orticole di studio. Le maggiori variazioni sono dipendenti dalla continuità dell'offerta dalle varie piazze italiane.

Nello specifico, il mercato all'origine della lattuga è piuttosto stabile e ciò consente di fare delle programmazioni più attendibili tra mesi autunno-invernali e primaverili-estivi.

L'analisi del mercato all'origine del pomodoro in serra suggerisce di tenere conto della stagionalità nella programmazione della produzione, onde evitare forti cali di prezzo legati al periodo estivo.

Dall'esame di questi dati emerge che la convenienza alla vendita delle fragole è fortemente condizionata dalla stagionalità. In altre parole, appare opportuno programmare la produzione puntando alla vendita nei mesi estivo-autunnali o ad inizio primavera.

Per quanto riguarda il mercato all'origine del cetriolo è abbastanza stabile con quotazioni da 40 fino a 60 centesimi di euro al kg e ciò consente di fare delle programmazioni soprattutto nei mesi autunno-invernali.

Per eseguire un'analisi su quella che è la realtà dei peperoni si sono presi i dati del biennio precedente, dati Ismea 2017-18, in quanto mancanti nel biennio di studio. La stima così ottenuta consente di fare delle programmazioni a lungo periodo in quanto il mercato rimane stabile nel periodo primaverile-estivo e nei mesi tardo-autunnali.

Ortaggi	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Lattuga	0.7	0.68	0.63	0.64	0.45	0.48	0.56	0.65	0.64	0.75	0.7	0.71
Pomodoro	1.07	0.84	0.85	0.78	0.58	0.49	0.44	0.42	0.66	0.91	0.99	1.04
Fragole	3.19	4.49	4.25	4.15	4.02	3.48	3.49	3.92	3.72	3.25	2.41	2.92
Cetriolo	0.68	0.56	0.39	0.38	0.38	0.32	0.4	0.37	0.5	0.57	0.45	0.61
Peperone	1.00	0.80	0.90	1.10	1.10	0.90	0.90	0.70	0.70	0.90	0.90	0.80

Tabella 12 Riepilogo dei prezzi (€/kg) di alcuni ortaggi in serra (media 2018-20).

4 SISTEMI DI COLTIVAZIONE FUORI SUOLO

Nel corso degli ultimi 50 anni la coltivazione in sistemi fuori-suolo si è sempre più affermata, in seguito alla comparsa delle materie plastiche e alla crescente competenza e innovazione nell'ambito dei fertilizzanti idrosolubili. La spinta che ha sempre guidato l'evoluzione di questa tecnica è legata a molteplici aspetti di carattere agronomico ed ambientale. Nei confronti del primo ambito, la possibilità di coltivare specie orticole fuori dal terreno è risultato un notevole vantaggio nei contesti in cui la coltivazione su suolo era resa impossibile dalla presenza di patogeni per l'assenza di rotazioni adeguate. Queste condizioni si manifestano con notevole facilità in serra e in aziende fortemente specializzate nella coltivazione di una singola specie o di specie appartenenti alla stessa famiglia botanica. Nei confronti del secondo ambito, ovvero l'aspetto della sostenibilità ambientale, la coltivazione in fuori-suolo consente di massimizzare le risorse idriche aumentando l'efficienza d'uso dell'acqua, e di massimizzare l'efficacia dei nutrienti forniti alla coltura. La possibilità di adottare un impianto di coltivazione a ciclo chiuso consente inoltre di evitare fenomeni di lisciviazione dei nutrienti nel terreno limitando la

contaminazione di corpi idrici profondi o di superficie. Per questi motivi negli ultimi anni l'insieme delle tecnologie fuori-suolo si coniuga bene con le esigenze ambientali in un'ottica di riduzione dell'impatto ambientale e di aumento dell'efficienza delle risorse. Come già accennato in precedenza, nelle coltivazioni fuori suolo, le piante vengono cresciute in assenza di terreno, reperendo il nutrimento da una soluzione acquosa all'interno della quale, vengono disciolti gli elementi necessari allo sviluppo. Riassumendo quanto finora esposto, le principali caratteristiche positive della coltivazione in fuori-suolo in comparazione con la coltivazione su terreno sono:

1. riduzione della durata del ciclo di coltivazione e possibilità di effettuare cicli consecutivi durante tutto l'anno;
2. eliminazione dei vincoli legati all'uso del terreno, ovvero non sono necessarie rotazioni colturali e i rischi di contaminazione del suolo da patogeni, evitando completamente inquinamento ed impoverimento di nutrienti del terreno;
3. maggiore densità colturale e assenza di malerbe;
4. minori costi di manodopera e operazioni colturali;
5. la raccolta è facilitata ed il prodotto finale non è imbrattato con particelle da terreno.

In base al supporto fornito alla pianta, alla sua morfologia e al modo in cui viene gestita la soluzione nutritiva è possibile classificare in vari sistemi di coltivazione.

4.1 Coltivazione in contenitore con substrato

Le prime coltivazioni a livello commerciale su substrato furono realizzate utilizzando bancali in cemento riempiti con sabbia o ghiaia (*gravel culture*, *FAO, 1990*), successivamente venne impiegata la torba che garantiva una maggiore riserva di aria e di acqua. Attualmente vengono utilizzati, nella maggior parte dei casi, sacchi di nylon riempiti con lana di roccia, torba o fibra di cocco, mescolati eventualmente a pomice o perlite. Le giovani piantine, fatte radicare in cubetti pressati di lana di roccia, vengono adagiate sopra al sacco dopo aver realizzato un foro che permetta il contatto con il substrato, il quale viene irrorato con la soluzione nutritiva (*Fig. 10*).



Figura 10 Esempi di coltivazione fuori suolo per specie a ciclo lungo (fragola e pomodoro) e con diversa modalità di accrescimento. Fonte: agronotizie.imagelinenetwork.com

Tale sistema rappresenta la migliore soluzione per la coltivazione fuori suolo di piante a ciclo più lungo e maggiore sviluppo verticale come pomodoro e cetriolo, ma può essere impiegato, con l'ausilio di ripiani, anche in coltivazione a portamento contenuto per alzare il piano di

coltivazione rendendo le operazioni manuali meno difficoltose (es. fragola). I metodi che seguiranno possono essere definiti “senza substrato”.

4.2 *Nutrient Film Technique (NFT)*

L’NFT (Nutrient Film Technique) tecnica del film nutritivo è un metodo messo a punto nel 1972 a Littlehampton in Gran Bretagna (Cooper et al 1979). In questo sistema le piante traggono nutrimento da un sottile strato di soluzione nutritiva che scorre continuamente sul fondo della zona radicale. Le piante vengono fatte radicare in cubetti di 7,5 cm di lato realizzati in lana di roccia pressata e una volta radicate vengono posizionate nel sistema. Quest’ultimo è composto da canaline chiuse, dove sono presenti fori quadrati con le stesse dimensioni dei cubetti (*Fig. 11*) in modo da poterli inserire e permettere il contatto delle radici con la soluzione nutritiva che scorre all’interno delle canaline.



Figura 11 Sistema di coltivazione idroponica NFT per lattuga.

Fonte: <https://akuadulza.it/manuali/progettazione-impianti-acquaponici>.

Alle canaline viene data una lieve pendenza, in modo da creare un flusso costante, alimentate a monte da una pompa che preleva la soluzione da un recipiente sottostante. Quest’ultimo viene alimentato dallo scolo delle canaline stesse, viene infatti considerato un sistema chiuso, che scaricano la soluzione nel punto più basso di quest’ultime (*Fig. 12*).

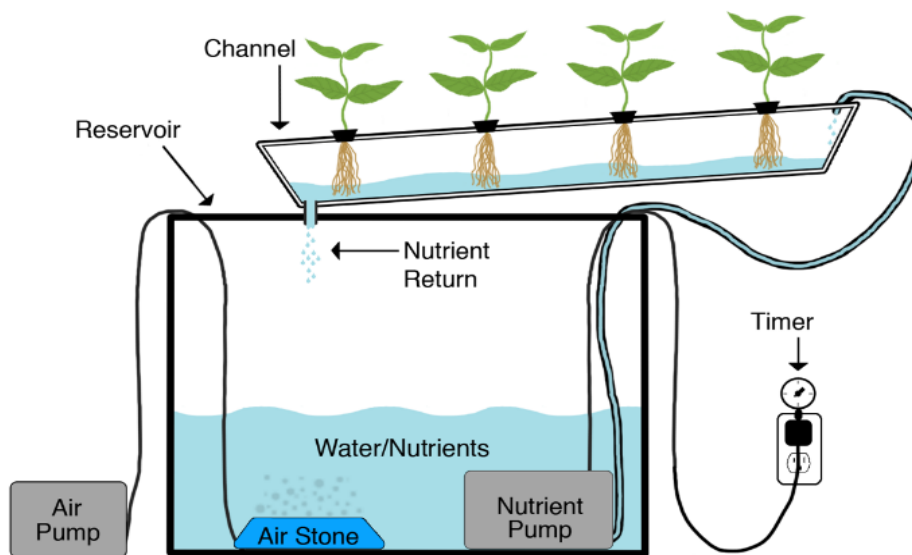


Figura 12 Schematizzazione di un sistema idroponico NFT a ciclo chiuso

Prima di venire reimpressa in circolo, la soluzione viene ossigenata tramite la turbolenza creata dallo scolo stesso o per mezzo di una pompa che immette aria in una pietra porosa posta sul fondo del recipiente.

4.3 Aeroponica

In questo sistema le piante si accrescono al di fuori di un substrato solido di qualsiasi natura che funga da ancoraggio per gli apparati radicali. La funzione di supporto viene fornita da pannelli forati di materiale plastico disposti su un sostegno metallico orizzontale o che consente un'inclinazione fino a 50° (Fig. 13). In quest'ultimo caso la disposizione dei pannelli di coltivazione consente di aumentare l'efficienza d'uso dello spazio nell'ambiente di coltivazione.

La disposizione inclinata dei pannelli consente di creare un "canale" a sezione triangolare, all'interno del quale le radici si sviluppano in assenza di substrato e in assenza di luce. Al centro di questo canale è presente un sistema di nebulizzazione che permette alla soluzione nutritiva di depositarsi sulle radici.



Figura 13 Esempio di coltivazione in aeroponica.

L'apporto di acqua e nutrienti avviene per mezzo della soluzione nutritiva direttamente nebulizzata sulle radici per mezzo di "sprayer" statici opportunamente inseriti su tubazioni di PE o PVC. La soluzione in esubero confluisce sul fondo del canale per poi essere recuperata e riutilizzata. Tale tecnica, generalmente utilizzata per colture a ridotto accrescimento e a ciclo breve, presenta alcuni svantaggi come l'illuminazione non omogenea, la disforme distribuzione della soluzione nutritiva, alti costi d'investimento iniziali ed elevato rischio di compromettere la produzione in caso di rottura del sistema distributivo.

4.4 Floating system

Le origini di questo metodo risiedono in una tecnica, ideata da Gericke nel 1929, chiamata "deep water culture" che prevedeva l'utilizzo di vasche impermeabili, profonde circa 15 cm, sopra le quali veniva posta una rete metallica a maglia fine con funzione di sostegno. Sopra la rete era posta una tela permeabile che conteneva uno strato di sabbia di circa 1 cm, necessario alla germinazione delle colture. Una volta radicate, trovavano il nutrimento nella soluzione nutritiva sottostante alla rete.

Questo sistema di coltivazione presentava problemi di ipossia radicale a causa della ridotta superficie di scambio rispetto al volume d'acqua, tale problema venne risolto con l'installazione di una pompa ossigenatrice. Con l'introduzione di materiali plastici il deep water culture venne abbandonato per essere sostituito dall'attuale floating system, utilizzato per la prima volta dal prof. Massantini (*Università di Pisa*) nel 1976 per la coltivazione della lattuga.

Il floating è un sistema di coltivazione senza suolo, basato sull'impiego di semplici vasche di coltivazione riempite con soluzione nutritiva ossigenata, sulla quale galleggiano pannelli di materiale plastico forati che fungono da supporto per le piantine (Fig. 14).

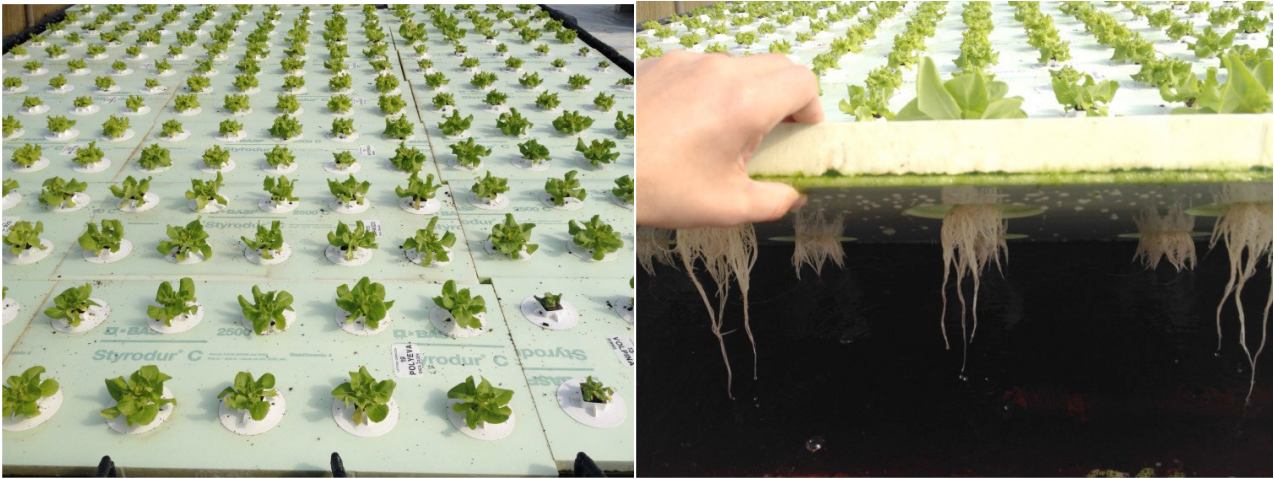


Figura 14 – Panoramica e particolari della coltivazione di lattuga in floating system.

Questa tecnica idroponica risulta particolarmente indicata per la coltivazione di ortaggi destinati a diventare prodotti di IV gamma (ortofrutta fresca, lavata, confezionata e pronta al consumo, cruda o da cuocere), in quanto non è necessario effettuare il lavaggio del prodotto alla fine del ciclo di coltivazione. Trova largo impiego nella produzione di erbe aromatiche (come basilico, menta e timo) e ortaggi da taglio come lattughino e rucola per le quali è possibile ottenere fino a cinque volte la produzione che si avrebbe su terreno; e comunque frequente la coltivazione di specie da cespo come le lattughe.

Una volta elencati e brevemente descritti i principali sistemi di coltivazione in fuori suolo attualmente impiegati nella coltivazione di ortaggi, è necessario fornire qualche indicazione di carattere generale mirata a definire i principali aspetti che devono essere considerati per poter coltivare strutture protette. Molti fattori, come nutrizione, luce, temperatura, pH e salinità influiscono sulla crescita delle piante, sia nella coltivazione su terreno che in fuori suolo. Nei sistemi di coltivazione fuori suolo l'apporto di nutrienti e di acqua è permanentemente disponibile per le piante e rappresenta uno dei principali parametri da gestire per ottenere produzioni significative.

Tali considerazioni verranno presentate man mano che si prosegue con la descrizione delle analisi tecniche ed economiche, nei prossimi capitoli, per la realizzazione del sistema fuori suolo.

5 BUSINESS PLAN

In questo capitolo si riportano i criteri con cui si realizza un *business plan preliminare*, ossia un piano di investimento su un progetto di impianto di serra, implementato sulle varie tipologie di ortaggi analizzate nei capitoli precedenti. Il business plan valuta gli investimenti secondo un approccio aziendale. Esso richiede una valutazione preliminare dei costi, distinti tra costi iniziali (o di investimento) e costi operativi (o di produzione), nonché il calcolo dei ricavi e, quindi, una stima delle rese produttive e dei prezzi di vendita.

L'investimento viene valutato secondo metodi finanziari che si basano sul calcolo dei flussi di cassa (*cash flow*) provenienti sia dalle entrate o incassi (es. vendita dei prodotti) sia dalle uscite o esborsi (es. costi operativi). Secondo questo metodo, gli ammortamenti degli impianti non sono reali esborsi – ossia uscite di cassa – e, quindi, non sono considerati nella valutazione.

I criteri di valutazione degli investimenti sono quattro:

- 1) il tempo di recupero o *payback period*;
- 2) il Valore Attuale Netto o VAN;
- 3) L'Indice di profittabilità (IP) ;

Il *payback period* non è altro che il numero di anni necessari affinché i flussi di cassa cumulati coprano l'investimento iniziale. Il VAN, invece, esprime la ricchezza creata o distrutta dal progetto, in flussi monetari. Se è positivo, significa che il progetto genera flussi di cassa sufficienti a coprire l'investimento iniziale e ciò che rimane è ricchezza disponibile per l'impresa. Il VAN si calcola sommando tutti i flussi di cassa attualizzati, generati dal progetto considerato.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \left(\frac{CF_t}{(1+r)^t} \right)$$

Dove:

- CF_t è il flusso di cassa al tempo t ,
- CF_0 l'investimento iniziale,
- r è il tasso di sconto.

Essendo il VAN un valore assoluto, non permette di capire quanto si ricava dal progetto considerato in relazione all'investimento effettuato, si introduce per questo l'indice di profittabilità dato dal rapporto tra il VAN e l'investimento effettuato per conseguirlo.

$$IP = \frac{VAN_t}{F_0}$$

Questo fattore viene considerato per confrontare diversi investimenti e il tempo di durata per ciascuno di essi. Come anticipato in precedenza l'analisi si svilupperà su un investimento per la realizzazione di un complesso di produzione fuori suolo di 10 mila metri quadri (o 1 ettaro) di superficie coltivabile.

Bisogna quindi studiare le strutture adatte, in termini tecnici, e i costi necessari per la realizzazione di un complesso atto a produrre fuori suolo per ciascuna delle orticole oggetto di studio.

6 AMBIENTI DI COLTIVAZIONE

Gli impianti normalmente realizzati in ambienti protetti possono essere rappresentati da serre realizzate con diversi materiali (serre ferro-vetro tipo Venlo o serre-tunnel realizzate con copertura in materiale plastico), o da edifici chiusi (capannoni inutilizzati). Per quest'ultima tipologia di ambienti si parla di coltivazione indoor. In questo capitolo verranno forniti i principali aspetti legati alla gestione della coltura nelle due tipologie di ambienti mantenendo le stesse caratteristiche degli impianti di coltivazione illustrati in precedenza. Saranno quindi prese in esame serre-tunnel in materiale plastico, serre in ferro-vetro e edifici chiusi per la coltivazione indoor.

6.1 Serre-tunnel in materiale plastico

Con *serra-tunnel* si fa riferimento ad apprestamenti protettivi normalmente impiegati nel settore orticolo poiché caratterizzati da basso costo. Mediamente il costo per unità di superficie di una serra tunnel con aperture al colmo e laterali, altezza in gronda di 3.5 m, altezza al colmo di 5 m e larghezza variabile a seconda che si consideri una serra a campata singola o multi span, presenta un valore compreso tra 15 e 100 €/m² (Fig. 12).



Figura 15 - Esempio di serra tunnel multi-campata.

Con una superficie coltivata di 10.000 m² è necessario calcolare gli spazi necessari alla movimentazione del personale e del materiale da portare in serra oltre che la superficie occupata da impiantistica. In genere viene considerata una superficie protetta mediamente superiore del 25% rispetto alla zona effettivamente coltivata (12500 m²). Il costo medio di una struttura del genere varia da 187.500 € ad oltre 625.000 € in relazione agli automatismi e alle caratteristiche della struttura portante. Una struttura di questo tipo presenta un ammortamento di 20 anni per la struttura, mentre la copertura in materiale plastico viene generalmente sostituita ogni 5 anni. In *Tabella 16* sono quindi riportati i costi relativi ad una serra tunnel tipo con caratteristiche intermedie.

	Costo stimato [€]	Ammortamento [anni]	Quota ammortamento [€/anno]
Struttura serra	187.500 – 1.250.000	25	7500 – 50.00
Film plastico di copertura	60.000	5	12.000
Totale costi strutturali €	247.000 – 1.310.000		

Figura 16 - Stima dei costi per la realizzazione di una serra tunnel con superficie pari a 12.500 m².

In una struttura di questo tipo, la luminosità ambientale dovuta al materiale di copertura trasparente, consente la coltivazione delle specie in assenza di illuminazione artificiale. La gestione termica della serra viene fondamentalmente controllata da sistemi di apertura automatica delle finestre che mantengono i livelli impostati dall'operatore. Nel caso in cui la temperatura interna sia inferiore ai limiti utili per la coltura e possibile prevedere anche un sistema di riscaldamento di soccorso da adottare durante il periodo invernale.

È necessario sottolineare che i sistemi di riscaldamento per le specie orticole non vengono generalmente impiegati, poiché i costi salirebbero molto ed il valore della coltura prodotta non giustifica tale pratica. L'accensione del riscaldamento di soccorso serve prevalentemente per evitare danni di congelamento della coltura e danni alle tubazioni presenti in serra. A tale

proposito si farà una stima con dati forniti da un' azienda operante nel settore sericolo. Valori indicativi per il riscaldamento, che avviene con caldaie alimentate a metano, sono attorno a 10000-19000 €/anno. I costi energetici dovuti alla gestione delle aperture della serra e per la gestione dell'impianto di coltivazione in floating system o NFT vengono considerati come gli unici costi energetici durante il ciclo colturale. Considerando le diverse utenze impiegate per il funzionamento degli impianti (pompe, ossigenatori, fertirrigatore, sistemi di avanzamento dei pannelli, apertura e chiusura delle finestrate) la spesa media annua indicata per una superficie coltivata di 10000 m² pari a 8.000 €/anno. Tali voci sono riferite alle tariffe europee e possono essere soggette a fattori che favoriscono le oscillazioni.

6.2 Serre in ferro-vetro

Le strutture afferenti alla categoria delle serre in ferro-vetro vengono considerate in questa relazione non tanto per essere tra le strutture più adottate nella coltivazione delle orticole, ma per fornire un termine di paragone con le strutture più semplici descritte in precedenza. In generale l'impiego di strutture in ferro-vetro viene prevalentemente adottato per specie ad alto valor aggiunto quali sono le specie ornamentali e che richiedono una migliore gestione delle condizioni climatiche in serra. Per fornire un'indicazione media del costo di una struttura (es. serra Venlo) caratterizzata da altezza in gronda di 5 metri e 6 m al colmo, copertura in vetro temperato ad alta trasmissione e struttura in metallo, il valore varia tra 150 e 300 €/m² (Fig. 17).



Figura 17 - Esempio di serra con struttura in ferro-vetro (tipo Venlo).

Conseguentemente il costo di una struttura con la stessa superficie ipotizzata nel paragrafo precedente avrebbe un costo compreso tra 1.875.000 € e 3.750.000 €. I costi di riscaldamento ed energetici di gestione degli impianti risultano simili a quelli di una serra-tunnel. Appare evidente che la produzione di specie orticole in queste strutture non è giustificabile.

7 COSTI DI REALIZZAZIONE E GESTIONE DELL'IMPIANTO DI COLTIVAZIONE IN AMBIENTE FUORI SUOLO

La valutazione dei costi di realizzazione di un impianto per la coltivazione fuori suolo rappresenta un aspetto piuttosto complesso e influenzato da molte variabili legate al tipo di impianto, alle sue dimensioni, alle condizioni climatiche che si è in grado di mantenere all'interno, al livello di tecnologia adottato e alla specie che si desidera coltivare. Il seguente capitolo sarà quindi dedicato alla valutazione e alla stima dei costi necessari per la realizzazione e la gestione di un impianto di fuori suolo facendo riferimento ai principali sistemi normalmente adottati per gli ortaggi oggetto di studio.

In accordo con quanto illustrato nei capitoli precedenti, illustrando le principali modalità di coltivazione in serra che meglio si addicono per la coltivazione delle orticole, con la tecnica idroponica sono il floating system, la tecnica NFT e coltivazione in contenitore con substrato. Per gli ortaggi da foglia come la lattuga, sono indicate le prime due tecniche. La tecnica di coltivazione con substrato si addice meglio a quelle colture, la quale la dimensione e la massa della pianta sono tali da aver bisogno di un supporto, ovvero fragola, pomodoro, cetriolo e peperone, e altre specie.

7.1 Coltivazione di lattuga in floating system

La coltivazione di ortaggi in floating system prevede la realizzazione di strutture e sistemi idonei alla coltivazione di piante su pannelli galleggianti. In primo luogo, è necessaria la predisposizione di vasche di coltivazione le cui caratteristiche dimensionali possono variare in relazione alla capacità produttiva dell'azienda e alle possibilità di gestione dell'impianto (*Fig. 14*).



Figura 18 Esempio di vasche impiegate per il floating system.

Le pareti delle vasche possono essere fisse, rimovibili e realizzate con diversi materiali purché impermeabili all'acqua. Se per le pareti della vasca non risulta importante la modalità di costruzione, lo è invece per il fondo. In generale è consigliabile evitare di effettuare una costruzione pavimentazione sul fondo per ridurre il riscaldamento della soluzione nutritiva durante il periodo estivo. In questa fase il terreno (più freddo) mantiene più bassa la temperatura dell'acqua (non superiore a 27 °C). Conseguentemente, per rendere il fondo impermeabile e sufficiente ricoprire l'intera vasca con un film plastico.

Un'altra considerazione di particolare importanza è rappresentata dall'altezza dell'acqua nella vasca. È necessaria la presenza di un volume d'acqua che garantisca una sufficiente inerzia termica in modo da non causare stress alla coltivazione. Tuttavia, è necessario trovare un compromesso tra il mantenimento della temperatura e la facilità di gestione dell'impianto; tale obiettivo è raggiungibile con un'altezza dell'acqua pari a 40 cm, prevalentemente adottata in impianti produttivi di questo tipo. Premesso che i costi di realizzazione sono condizionati dalle dimensioni dell'impianto e da economie di scala che l'azienda può adottare, la realizzazione di una vasca con superficie di 10.000 m² incide per circa 69000 €, tale struttura presenta un ammortamento di 10 anni.

Una volta realizzata la vasca è necessario predisporre all'interno di essa un sistema di ossigenazione per la soluzione nutritiva. Quest'ultima, per garantire condizioni ottimali di sviluppo all'apparato radicale, dovrebbe presentare valori di ossigeno pari a 6-7 mg/L, valori inferiori porterebbero a condizioni di stress fino ad arrivare all'anossia radicale.

Al fine di migliorare le condizioni ambientali durante il periodo estivo, potrebbe essere utile applicare anche un impianto di nebulizzazione mirato a raffrescare la coltura. In questo ambito il sistema "fog" rappresenta un ottimo sistema in grado di fornire acqua nebulizzata dall'alto tramite nebulizzatori fissi (Fig. 19).



Figura 19 - Esempio di impianto fogging per il miglioramento delle condizioni climatiche durante il ciclo.

Questo sistema ha lo scopo di mantenere umida la pianta, e di conseguenza il cubetto di substrato, nelle prime fasi in modo da permettere alle radici, che risiedono ancora nel cubetto, di allungarsi e di raggiungere la soluzione nutritiva. Una volta che le piante risultano auto sufficienti, il sistema può essere utilizzato, quando necessario, per ridurre la temperatura e di conseguenza il tasso di traspirazione durante il periodo estivo. Ipotizzando di adottare un sistema di nebulizzazione fisso (più economico) sono necessari 2500 nebulizzatori (ciascuno di gestire 4 m²). Per l'alimentazione sono necessari 4000 m di tubo in PVC collegati ad una pompa di distribuzione.

Una volta predisposte le principali strutture è quindi possibile considerare le esigenze legate alla preparazione e gestione della soluzione nutritiva.

La soluzione nutritiva viene normalmente gestita predisponendo diversi contenitori all'interno dei quali vengono solubilizzati specifici fertilizzanti concentrati 100 volte rispetto ai valori desiderati; oltre a questi fusti è necessario predisporre il fusto dove viene collocato l'acido per correggere il pH della soluzione. Queste aliquote vengono prelevate e gestite da un *fertirrigatore* impostato per mantenere valori ottimali di pH e concentrazione di nutrienti nella

soluzione nutritiva finale. La gestione della soluzione nutritiva viene effettuata con la pratica normalmente adottata dai produttori, che consiste nel reintegro della soluzione in modo oculato basandosi su analisi chimiche effettuate al termine del ciclo nel corso dell'anno. La cultura, infatti, assorbe gli elementi nutritivi in modo differenziato, conseguentemente e necessario reintegrare solamente quelli mancanti o presenti in concentrazione sub-ottimale. Nel caso in esame, l'importo complessivo per la preparazione della soluzione starter e dei diversi rabbocchi è pari a 25.500 € per anno. La gestione dei nutrienti presenti nei diversi fusti viene gestita da un fertirrigatore programmabile sulla base delle esigenze della coltura. Questo strumento valuta in continuo il pH e la conducibilità elettrica della soluzione circolante e compensa i valori correggendola sulla base delle impostazioni. Il costo di questo strumento è piuttosto variabile e dipende dalla complessità della macchina e da quanti sistemi riesce a gestire. Un costo indicativo utilizzato è di 110.000 € con una durata di vita di 10 anni.

È consigliabile per l'applicazione un impianto di circolazione e sanificazione della soluzione almeno ogni 1-2 cicli colturali. Fra i sistemi di più semplice applicazione si ricorda il trattamento con UV, tale tecnica risulta efficace sia nei confronti di batteri che di virus. Altre tecniche che risultano interessanti sono quelle collegate alla filtrazione lenta. Queste ultime, oltre a presentare un costo contenuto, evitano la formazione del vuoto biologico nel sistema (assenza di microorganismi) poiché si basano sull'instaurazione di un equilibrio biologico nel sistema di filtraggio. La stima dei costi dell'impianto di ricircolo, filtraggio e sanitizzazione si stima attorno a 20.000 € con una durata di vita di 10 anni.

Il prossimo passaggio è quello di prendere in esame la gestione della coltura e delle pratiche colturali. Per la coltivazione in floating system, esistono svariate tipologie di pannelli flottanti che differiscono per dimensioni, materiale e fattura; tuttavia, il principio di funzionamento rimane invariato. Per questo caso, il supporto per le piante può essere realizzato con pannelli in polistirene espanso estruso con dimensioni di 120 cm x 60 cm, il costo considerato è attorno a 7 €/pz. Come compromesso è sempre opportuno lasciare qualche centimetro tra i pannelli e le pareti della vasca al fine di poter movimentare meglio il materiale senza incorrere in spiacevoli fenomeni di formazione di alghe.



Figura 20 Particolare del pannello flottante nella coltivazione della lattuga.

Considerando la lunghezza della vasca è necessario introdurre anche un sistema di avanzamento dei pannelli al fine di migliorare e facilitare la gestione degli stessi durante le fasi di accrescimento della coltura, soprattutto se scalari. Il sistema è composto da due rotaie dentate, poste sul lato lungo, sulle quali scorre una barra motorizzata (o azionata manualmente) che

attraversa la vasca sul lato corto. Questo sistema permette l'inserimento dei nuovi pannelli sempre dallo stesso punto, creando una scalarita lineare della maturazione lungo tutta la vasca che agevola la raccolta in quanto effettuata solo sul lato opposto a quello di inserimento. Possiamo stimare i costi di questo dispositivo, necessario per 10 vasche, di 14.000 €.

7.1.1 Gestione della coltura e piano produttivo in floating system

Una volta descritte le principali necessita della coltivazione in fuori suolo, si fa ora riferimento al piano colturale della specie coltivata. Nel caso in esame l'ipotesi produttiva che si propone è quella di organizzare il ciclo produttivo in modo da ottenere una produzione continua, scalata e programmata durante tutto il corso dell'anno .

Considerando che la coltivazione avviene in ambiente protetto con condizioni climatiche più favorevoli rispetto a condizioni di pieno campo, e pensabile effettuare cicli continui di lattuga con un periodo medio di stazionamento della pianta in vasca pari a 45 giorni. Tale valore sarà leggermente più elevato durante il periodo invernale e sensibilmente inferiore durante il periodo estivo dove le temperature sono maggiori.

Considerando un anno di attività di 320 giorni utili in cui il sistema produce, si verificano 160 raccolte di 10400 piante ciascuna, per un totale di 1.664.000 piante (si considera 0.04 € per l'acquisto di una piantina) e una massa complessiva di 665.600 kg (in media 0.4 kg per pianta).

Nei confronti del costo della manodopera, e ipotizzabile l'assunzione annuale di sette operai comuni a tempo pieno per la gestione dell'impianto. Per seguire lo sviluppo della coltura e per le attività di controllo si farà affidamento a una figura di agronomo professionista. Al fine di rendere più agevole la consultazione delle varie voci di costo e le quote di ammortamento in *tabella 13* è riportato un quadro riassuntivo.

<i>Superfici di riferimento</i>			
Coltivabile (m ²)	10.000	Effettiva (m ²)	12.500

Costi di impianto di una serra tunnel

	Investimento [€]	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Struttura Serra	750.000	20	40.000
Film plastico	60.000	5	12.000
Totale	810.000		

Costi strutture e impiantistiche per il floating system

	Investimento [€]	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Costruzione vasca	69.000	10	6.900
Sistema ossigenazione	22.000	10	2.200
Sistema nebulizzazione	14.000	10	1.400
Sistema ricircolo e sanitizzazione	20.000	10	2.000
Strumenti monitoraggio	4.000	10	400
Sistema fertirrigatore	11.0000	10	11.000
Sistema avanzamento pannelli	14.000	10	1.400
Pannelli flottanti	92.960	5	18.592
Supporto per piante	42.000	5	8.400
Impianto di riscaldamento	28.000	20	1.400
Impianto elettrico	12.000	20	600
Centralina clima	12.500	15	833
Totale	1.250.500		107.100

Costi operativi

			Costo annuo (€/anno)
Piantine			66.560
Fertilizzanti			25.550
Costi energia struttura			8.000
Costi riscaldamento a metano			19.000
Manodopera	Unità	Costo unità (€/anno)	Costo annuo (€/anno)
Regolare	4	17.400	121.800
Agronomo	1	30.000	30.000
Totale costi variabili			270.910

Tabella 13 Valori riassuntivi dei costi di realizzazione di un impianto floating system per la coltivazione della lattuga.

Possiamo considerando i valori iniziali di investimento come CapEx (Capital Expenditures) che ammonta a 1.250.500 euro, mentre per quanto riguarda le spese periodiche, identificate come OpEx (Operational Expenditures), sono stimati a un valore di 270.910 euro all'anno.

7.1.2 Valutazione mediante business plan per il floating system

Le informazioni sui ricavi dalla vendita sono relative ad una produzione di lattuga stimata in 66.560 kg in un periodo utile di 320 giorni (2 cicli produttivi) che si ipotizzano essere equamente distribuiti nel corso dell'anno solare.

Per i prezzi di vendita è necessaria un'analisi più attenta, poiché il prezzo di vendita rappresenta l'elemento chiave per la valutazione della convenienza dell'investimento. Si sono perciò ipotizzati due scenari:

- Scenario prudentiale si prevede di vendere il prodotto al suo prezzo di pareggio o *break-even price*;
- Scenario ottimistico, invece, il prezzo è quello medio stimato da Ismea (si veda il capitolo 2) per la lattuga in Italia nel corso dell'ultimo triennio, con riferimento ai mesi di vendita.

Come prezzo di pareggio si tratta di un prezzo medio annuo dell'attività sottostante al quale gli investitori possono scegliere di esercitare o cedere il contratto senza incorrere in perdite. Tale valore di riferimento si può ottenere seguendo la formula:

$$Prezzo_{break-even} = \frac{\text{Costi fissi annuali di ammortamento} + \text{Costi variabili}}{\text{Quantità venduta}}$$

Per lo scenario ottimistico si prende il prezzo medio annuo della lattuga gentile, che sul mercato risulta la specie che si colloca con il prezzo più stabile nei periodi di raccolta.

Produzione stimata lattuga	Valore
<i>Giorni singolo ciclo (giorni)</i>	40
<i>Periodo annuo (giorni)</i>	320
<i>Massa prodotta (ton/anno)</i>	665.6
Scenario Prudentiale	
<i>Prezzo di pareggio (€/kg)</i>	0.57
<i>Vendita al prezzo di pareggio (k€/anno)</i>	378.0
Scenario ottimistico	
<i>Prezzo ottimistico (€/kg)</i>	0.63
<i>Vendita ottimistica (k€/anno)</i>	419.3

Tabella 14 Riepilogo del potenziale di ricavo dalla coltivazione di lattuga in floating system.

Il business plan verrà considerato su un orizzonte temporale di 10 anni, in relazione alla durata della vasca del floating system. Il cash flow o flusso di cassa stima la liquidità alla fine di ogni anno e comprende i ricavi dalla vendita e gli ammortamenti. I costi sono quelli operativi. I flussi di cassa sono stati attualizzati ad un tasso pari al 5%. La scelta del tasso di sconto basso è in linea con gli attuali andamenti del prestito bancario di lungo termine, vista anche la situazione economica attuale.

Scenario prudenziale

Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ricavi	0	378.0	378.0	378.0	378.0	378.0	378.0	378.0	378.0	378.0	378.0
Cash Flow	-1250.5	214.2	214.2	214.2	214.2	214.2	214.2	214.2	214.2	214.2	214.2
C.F. attualizzato	-1250.5	204.0	194.3	185.0	176.2	167.8	159.9	152.2	145.0	138.1	131.5
C.F. att. cumulato	-1250.5	-1046.4	-852.1	-667.1	-490.9	-323.0	-163.2	-10.9	134.1	272.1	403.7

Senario ottimistico

Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ricavi	0	419.3	419.3	419.3	419.3	419.3	419.3	419.3	419.3	419.3	419.3
Cash Flow	-1250.5	255.2	255.2	255.2	255.2	255.2	255.2	255.2	255.2	255.2	255.2
C.F. attualizzato	-1250.5	243.1	231.5	220.5	210.0	200.0	190.4	181.4	172.7	164.5	156.7
C.F. att. Cumulato	-1250.5	-1007.4	-775.9	-555.4	-345.5	-145.5	44.9	226.3	399.1	563.6	720.2

Tabella 15 Piano decennale di investimento per la lattuga in floating system (valori in mille euro).

Si nota che l'investimento viene coperto in entrambi i casi come si può notare dal valore positivo del flusso di cassa nell'arco temporale considerato. Con i seguenti criteri (Tab. 16) possiamo valutare la convenienza di tale investimento.

	Scenario prudenziale	Scenario ottimistico
Indice di profittabilità (IP)	32.3%	57.6%
VAN₁₀ (mille euro)	403.7	720.2
Pay-Back Time (anni)	8	6

Tabella 16 Criteri di convenienza dell'investimento per la lattuga in floating system.

I tempi di ritorno dell'investimento sono piuttosto lunghi, seppur in linea con investimenti simili nel settore agricolo. In virtù di un prezzo medio annuo maggiore, per un caso ottimista +6 centesimi di euro al kg, vediamo che il periodo di ritorno può essere abbassato di 2 anni e raddoppiando circa la ricchezza prodotta.

Nel periodo considerato si osserva un rendimento del capitale considerevole in entrambi gli scenari, si genera capitale per metà di quello investito inizialmente.

Il giudizio di convenienza di questi scenari sono leggermente positivi, va considerato attentamente, quindi, a quale prezzo viene collocato sul mercato la quantità prodotta, in quanto il prezzo di vendita è fortemente influenzato dalla stagionalità e vediamo come una minima fluttuazione del mercato può influenzare la ricchezza accumulata.

7.2 *Coltivazione di lattuga con la tecnica del film nutritivo*

Al fine di fare un'analisi di investimento per la coltivazione di lattuga in fuori suolo si vuole osservare i benefici che possono offrire altre tecniche di coltivazione. La coltivazione di specie da foglia in un sistema di coltivazione in Nutrient Film Technique prevede aspetti logistici comuni a quelli descritti in precedenza per il floating system; tuttavia, è caratterizzato da alcune peculiarità che verranno prese in esame in questo paragrafo. Per richiamare brevemente il principio dell'NFT, si ricorda che si tratta di una tecnica in cui le piante, ancorate su un mezzo sintetico (lana di roccia, tappeti sintetici ecc.) vengono coltivate in un film di soluzione nutritiva ricircolante. I dispositivi su cui gestire le colture sono stati sinteticamente descritti in precedenza, per tale motivo in questo paragrafo si farà riferimento ai soli costi economici che il produttore deve sostenere nella coltivazione di lattuga. Anche in questo caso verrà fornito un piano dei costi ipotizzando una superficie coltivata pari a 10.000 m².

7.2.1 *Gestione della coltura e piano produttivo in Nutrient Film Technique*

La gestione di ortaggi da foglia da cespo viene prevalentemente effettuata in canalette realizzate con materiale plastico e provviste di fori all'interno dei quali posizionare le piante *Fig. 17*. Per favorire le operazioni di gestione da parte dell'operatore tali dispositivi vengono disposti su di una struttura rialzata realizzata con diversi materiali



Figura 21 – Canalette di coltivazione NFT prima e dopo la messa in coltura.

Le canalette sono caratterizzate dalla presenza di fori ad una distanza di 25 cm e normalmente vengono distanziate le une dalle altre di 30 cm e necessario, poi, predisporre le canalette di coltivazione in modo utile alla gestione della coltura da parte degli operatori. La disposizione delle canalette nella superficie della serra verrà suddivisa in diverse aree di coltivazione. Ciascuna "area di coltivazione" avrà superficie pari a 100 m² (50 x 2 m) accoppiate fra loro con punto in comune, a metà serra, il collettore di raccolta della soluzione nutritiva. La larghezza dell'area di coltivazione pari a 2 metri e resa necessaria per poter raggiungere le canalette centrali da entrambe le parti parte dell'operatore semplicemente allungando un braccio. Si prevedono quindi 100 aree di coltivazione da 100 m². Le canalette verranno disposte con pendenza crescente verso la parte centrale intercettando così la soluzione nutritiva in uscita del collettore posto tra le due aree di coltivazione opposte. Ogni canaletta è caratterizzata da larghezza di 10 cm e lunghezza pari a 2 m. Conseguentemente ogni fila è costituita da 25 canalette collegate, un punto di mandata e lo scarico nel collettore comune. Da quest'ultimo la

soluzione nutritiva verrà convogliata nuovamente in mandata previo filtraggio, disinfezione UV ed eventuale correzione da parte del fertirrigatore.

Per questo schema produttivo, la soluzione gestionale della coltura risulta leggermente diversa rispetto a quanto proposto in precedenza per il floating system. Le tempistiche della coltura, il numero di cicli per anno variano leggermente, tuttavia è necessario ricordare che in questo caso la densità d'impianto rimane invariata dalla fase di trapianto alla maturazione commerciale, poiché risulta più complesso e dispendioso spostare le piante da un'area di coltivazione all'altra durante il ciclo. Al fine di indicare i costi di questo impianto (Tab. 17), oltre alle peculiarità richieste dall'NFT, si farà riferimento ai costi di impiantistica e di gestione della soluzione nutritiva già descritti per il floating system poiché di comune applicazione.

<i>Superfici di riferimento</i>			
Coltivabile (m ²)	10.000	Effettiva (m ²)	12.500
<i>Costi di impianto di una serra tunnel</i>			
	Investimento (€)	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Struttura Serra	500.000	20	25.000
Film plastico	60.000	5	12.000
Totale	560.000		
<i>Costi strutture e impiantistiche per il floating system</i>			
	Investimento (€)	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Costruzione struttura sistema NFT	335.000	10	33500
Sistema nebulizzazione	5.400	10	540
Sistema di ricircolo e sanitizzazione	4.000	10	4.000
Strumenti monitoraggio	4.000	10	400
Sistema fertirrigazione	12.000	10	1.200
Impianto di riscaldamento	28.000	20	1.400
Impianto elettrico	12.000	20	600
Centralina clima	12.500	15	833
Totale costi strutture (€)	412.900		
Totale	972.900		75.873
<i>Costi operativi</i>			
			Costo annuo (€/anno)
Piantine			57.200
Fertilizzanti			25.550
Costi energia struttura			8.000
Costi riscaldamento a metano			19.000
Manodopera	Unità	Costo unità (€/anno)	Costo annuo (€/anno)
Regolare	4	17.400	121.800
Agronomo	1	30.000	30.000
Totale costi variabili			209.350

Tabella 17 Costi riassuntivi per la realizzazione di un impianto NFT per la coltivazione di lattuga da cespo.

7.2.2 Valutazione mediante business plan per il NFT

Ipotizzando quindi di suddividere temporalmente l'intera area di coltivazione in 5 epoche scalari di trapianto (trapianto settimanale) al fine di poter raccogliere in continuo la lattuga durante tutto l'anno. Considerando 50 zone di coltivazione (200 m² ciascuna) si può stimare che ogni zona è grado di ospitare 2.860 piante. Una volta entrato a regime, il sistema è quindi in grado di produrre 28.600 piante per settimana che rappresentano 11.440 kg di prodotto (peso medio pianta 0.4 kg). Ipotizzando un periodo utile di 50 settimane per anno, si ottengono 143.000 piante di lattuga che ammontano a 572 tonnellate di prodotto fresco.

Si passa quindi all'analisi dei prezzi (Tab. 18) per la valutazione del business plan con i 2 scenari anticipati nella sezione con floating system si nota.

Produzione stimata lattuga NFT		<i>Valore</i>
<i>Giorni singolo ciclo (giorni)</i>		35
<i>Periodo annuo (giorni)</i>		350
<i>Massa prodotta (ton/anno)</i>		572.0
Scenario Prudenziale		
<i>Prezzo di pareggio (€/kg)</i>		0.50
<i>Vendita al prezzo di pareggio (k€/anno)</i>		285.22
Scenario ottimistico		
<i>Prezzo ottimistico (€/kg)</i>		0.63
<i>Vendita ottimistica (k€/anno)</i>		360.36

Tabella 18 Riepilogo del potenziale di ricavo dalla coltivazione di lattuga in NFT.

Con la tecnica NFT si nota una massa prodotta inferiore (*floating system* 665,6 tonnellate), anche se, tale tecnica offre una copertura annua maggiore in termini di cicli di coltivazione. Questo fenomeno è dovuto a una densità di coltivazione con le canalette ridotta rispetto a un pannello flottante, anche la rotazione dei cicli risulta più difficile su un sistema basato sulle canalette del sistema NFT. Nonostante ciò, avendo dei costi strutturali e impiantistici di gestione inferiori ci dà un margine di flessibilità maggiore sui prezzi di vendita, come si può notare, dal break-even price inferiore (13 c€/kg di differenza).

Scenario prudenziale											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ricavi</i>	0	285.2	285.2	285.2	285.2	285.2	285.2	285.2	285.2	285.2	285.2
<i>Cash Flow</i>	-972.9	151.5	151.5	151.5	151.5	151.5	151.5	151.5	151.5	151.5	151.5
<i>C.F. attualizzato</i>	-972.9	144.3	137.4	130.9	124.7	118.7	113.1	107.7	102.6	97.7	93.0
<i>C.F. att. cumulato</i>	-972.9	-828.6	-691.2	-560.3	-435.6	-316.9	-203.8	-96.1	6.4	104.1	197.1
Scenario ottimistico											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ricavi</i>	0	360.36	360.36	360.36	360.36	360.36	360.36	360.36	360.36	360.36	360.36
<i>Cash Flow</i>	-972.9	226.5	226.5	226.5	226.5	226.5	226.5	226.5	226.5	226.5	226.5
<i>C.F. attualizzato</i>	-972.9	215.7	205.5	195.7	186.4	177.5	169.0	161.0	153.3	146.0	139.1
<i>C.F. att. Cumulato</i>	-972.9	-757.2	-551.7	-356.0	-169.7	7.8	176.9	337.8	491.2	637.2	776.3

Tabella 19 Piano decennale di investimento per la coltivazione di lattuga gentile con NFT (valori in mille euro).

Malgrado i ricavi inferiori rispetto al floating system, la coltivazione con l'impianto NFT riesce ad avere tempi di ritorno di 5 anni per uno scenario con un prezzo di vendita medio dell'ultimo biennio. Avendo un rendimento del capitale maggiore, riceve maggior interesse da parte degli investitori.

	Scenario prudentiale	Scenario ottimistico
Indice di profittabilità (IP)	20.3%	79.8%
VAN₁₀ (mille euro)	197.1	776.3
Pay-Back Time (anni)	8	5

Tabella 20 Criteri di convenienza dell'investimento per la lattuga in NFT.

7.3 Coltivazione del pomodoro ciliegino

Per la coltivazione del pomodoro ciliegino fuori suolo verrà ipotizzata all'interno di una serra tunnel dotata di media tecnologia per la superficie di riferimento di 1 ha.

Il costo della serra tunnel, analogamente a quanto illustrato nei capitoli precedenti, si stima tra 300000 € e 500000 € in relazione agli accorgimenti costruttivi, alla modalità con cui si aprono le finestrate, le testate e al carico colturale che è necessario considerare in questo caso.

Come noto, infatti, le piante di ciliegino vengono normalmente vincolate alla struttura portante della serra al fine di mantenere la posizione verticale e fornire tutoraggio alla pianta.

7.3.1 Gestione della coltura e piano produttivo

Normalmente, una volta predisposta la struttura, è opportuno predisporre in modo corretto il terreno coprendolo con una pacciamatura robusta possibilmente di colore bianco al fine di aumentare la capacità di riflettere la luce e, al tempo stesso, poter appoggiare le lastre di coltivazione su un supporto sufficientemente pulito. Il costo di queste operazioni viene stimato in 7500 €.

Una volta predisposta la copertura del terreno e necessario considerare l'acquisto delle lastre di coltivazione. Normalmente il materiale maggiormente utilizzato è la lana di roccia o la fibra di cocco in lastre da 1 m con un costo medio pari a 5 €. Ipotizzando una lunghezza della serra pari a 100 m e con la disposizione delle file comunemente usate, è necessario attrezzarsi di 8000 m lineari di lastre per un costo stimato pari a 40000 €. Ogni lastra è in grado di ospitare 3 piante, nel complesso sono necessarie 24000 piante e altrettanti cubetti di lana di roccia in cui alloggiarle. Il costo dei cubetti è pari a 7000 €, mentre per quanto riguarda le piante è necessario l'impiego di varietà ibride non innestate.

Tuttavia, le attuali performance ottenute da piante innestate rendono comunque conveniente il loro acquisto poiché in grado di essere più produttive e vigorose. Il costo stimato di 24000



Figura 22 - Esempio di coltivazione del pomodoro ciliegino in fuori suolo.

piante e pari a 5000 euro. In questa ipotesi operativa si considera la possibilità di allevare ciascuna pianta a doppio stelo in modo da massimizzare l'efficienza produttiva della varietà, sfruttare al massimo il vigore del portinnesto ammortizzando quindi il maggiore costo d'acquisto delle piantine. Analogamente a quanto illustrato per la lattuga, anche per il pomodoro è necessario predisporre un sistema di fertirrigazione che segue sostanzialmente i medesimi criteri. I componenti principali dell'impianto sono rappresentati da:

- dispositivi di pompaggio,
- dispositivi di filtraggio,
- dispositivi di dosaggio del fertilizzante,
- dispositivi di erogazione della soluzione nutritiva,
- dispositivi di recupero e controllo della soluzione e dei turni irrigui,
- pompaggio e filtrazione.

Passiamo brevemente a illustrare i sistemi di preparazione, erogazione e controllo della soluzione secondo le particolari esigenze della coltivazione su substrato. Questo tipo di coltivazione trova principale applicazione come sistema a ciclo aperto con indubbi vantaggi economici nella realizzazione degli impianti. Ad ogni intervento di irrigazione viene somministrata alle piante soluzione di nuova preparazione, rendendo di fatto sufficiente la presenza di dispositivi in grado di diluire in modo proporzionale le soluzioni madri nell'acqua (concentrate di 100 o 200 volte). Sulla scelta del sistema di dosaggio intervengono diversi fattori, fra cui la disponibilità di energia, la portata e l'uniformità dell'impianto irriguo, la precisione che si vuole ottenere nel dosaggio dei fertilizzanti, il costo. Per questa parte dell'impianto si propone un costo medio per l'acquisto di un sistema di fertirrigazione pari a 11.000 €.

In relazione alla somministrazione della soluzione nutritiva è necessario predisporre una linea di mandata per ciascuna fila, per questa coltura il costo dell'impianto di irrigazione si aggira su 15000 € considerando l'acquisto del tubo, dei bottoni auto compensanti, dei gocciolatoi a freccia e del capillare.

Durante la fase di coltivazione è necessario considerare alcuni costi di esercizio legati alla gestione della pianta, ovvero lo spago per appendere le piante, i gancetti di metallo dove arrotolare lo spago, i gancetti circolari in PVC per agganciare le piante al filo senza stringerle, la fertirrigazione, i trattamenti antiparassitari, i bombi per l'impollinazione e la manodopera. In assenza di costi legati al riscaldamento della serra nelle prime fasi del ciclo colturale (marzo), e quindi possibile riassumere i costi di investimento ed esigenze durante la fase di coltivazione (*Tab. 21*).

I costi della manodopera rappresentano un elemento di rilevante importanza poiché la coltivazione del pomodoro richiede numerosi interventi legati alle fasi di tutoraggio, scacchiatura, sfogliatura, trattamenti e raccolta.

Costi strutture e impiantistiche per il floating system

	Investimento [€]	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Struttura Serra	400000	25	16000
Lastre di coltivazione	40000	10	4000
Substrato di coltivazione	29500	2	14750
Telo di pacciamatura	9570	10	957
Impianto irrigazione a micro-portata	15000	5	3000
Sistema di fertirrigazione	11000	10	1100
Impianto elettrico	12000	20	600
Tubi e raccordi	35000	15	2333
Carrelli per potatura e raccolta	1200	10	120
Gancetti metallo	2500	5	500
Totale	555.770		43.360

Costi operativi

	Costo 1° ciclo (€/anno)	Costo 2° ciclo (€/anno)	Costo annuo (€/anno)
Piantine	5000	5000	10000
Fitosanitari	2500	2500	5000
Spago polipropilene	3000	3000	6000
Fertilizzanti	14000	14000	28000
Arnie con bombi	7000	7000	14000
Clip plastica	3000	3000	6000
Manodopera	Unità	Costo unità (€/anno)	Costo annuo (€/anno)
Regolare	7	17400	121800
Agronomo	1	30000	30000
Totale costi variabili			220.800

Tabella 21 Panoramica di costi, ammortamenti e costi operativi relativi all'ipotesi progettuale di coltivazione di pomodoro ciliegino in fuori suolo (1 ha).

7.3.2 Valutazione mediante business plan

Considerando un ciclo colturale con inizio nella prima metà di marzo e trapianto in serra fredda e un secondo ciclo analogo agli inizi di settembre, la prima produzione si otterrà nella seconda metà di maggio, mentre per la seconda si tratta di un raccolto a fine ottobre. Si ipotizza di cimare la pianta al decimo palco con una produzione stimata per stelo pari a 3 kg e conseguente, si ha una produzione per pianta pari a 6 kg durante un ciclo produttivo.

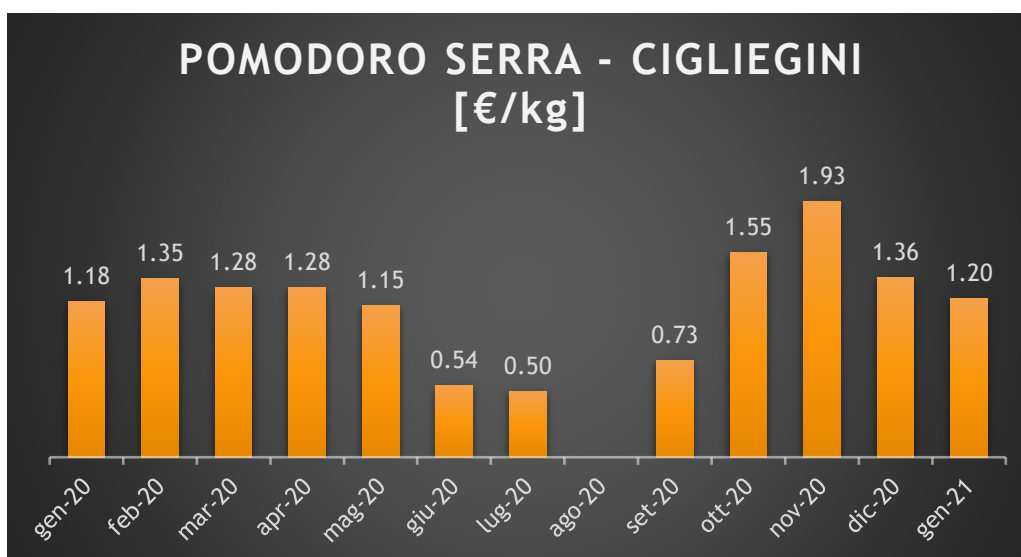


Figura 23 – Prezzo medio dei pomodori ciliegini coltivati in serra (Fonte: ISMEA).

Nel complesso la produzione stimata e quindi pari a 144.0 ton per ciclo. Ipotizzando un prezzo medio per la stagione di vendita nella seconda metà di maggio a 0.85 €/kg e il prezzo per la stagione autunnale di 1.74 €/kg (Fig. 23) possiamo determinare la produzione lorda vendibile per una superficie di 10000 m².

<i>Produzione stimata per pomodoro ciliegini</i>	<i>Valore</i>	
<i>Giorni singolo ciclo (giorni)</i>	90	
<i>Periodo annuo (giorni/anno)</i>	180	
<i>Massa prodotta (ton/anno)</i>	288.0	
Scenario Prudenziale	I° ciclo	II° ciclo
<i>Prezzo di pareggio (€/kg)</i>	1.68	1.68
<i>Vendita al prezzo di pareggio (k€/anno)</i>	242.480	242.480
Scenario ottimistico	I° ciclo	II° ciclo
<i>Prezzo ottimistico (€/kg)</i>	0.845	1.740
<i>Vendita ottimistica (k€/anno)</i>	121.7	250.6

Tabella 22 Riepilogo del potenziale di ricavo dalla coltivazione del pomodoro ciliegino in lastre con substrato in un ambiente protetto

Considerando i costi riportati nella tabella 22 il ricavo su 10000 m² ammonta a 372240 €/anno, per uno scenario in cui il prezzo di vendita è quello indicato da ISMEA (Istituto dei Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare). Tale valore non risulta particolarmente elevato poiché la stagione estiva presenta prezzi estremamente ridotti in seguito all'elevata disponibilità di prodotto sul mercato. Normalmente i prezzi maggiori sono sostenibili, come ovvio durante il periodo autunno-invernale.

Nell'ipotesi del senario in cui il prodotto si colloca sul mercato ad un prezzo sufficiente per coprire i costi fissi di ammortamento e quelli unitari di produzione, che risulta superiore al prezzo rilevato da ISMEA, vediamo un ricavo annuo di 484960 €. Questo indica che diventa più difficile recuperare le spese dell'investimento iniziale. In queste condizioni, il produttore è

privo di flessibilità nel collocare il proprio prodotto ad un prezzo di mercato che eccede il prezzo di pareggio del proprio impianto.

Scenario prudenziale											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ricavi</i>	0	484.9	484.9	484.9	484.9	484.9	484.9	484.9	484.9	484.9	484.9
<i>Cash Flow</i>	-555.8	307.5	307.5	307.5	307.5	307.5	307.5	307.5	307.5	307.5	307.5
<i>C.F. attualizzato</i>	-555.8	292.9	278.9	265.6	253.0	241.0	229.5	218.5	208.1	198.2	188.8
<i>C.F. att. cumulato</i>	-555.8	-262.9	16.0	281.7	534.7	775.6	1005.1	1223.7	1431.8	1630.0	1818.8

Senario ottimistico											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ricavi</i>	0	372.2	372.2	372.2	372.2	372.2	372.2	372.2	372.2	372.2	372.2
<i>Cash Flow</i>	-555.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8
<i>C.F. attualizzato</i>	-555.8	185.5	176.7	168.3	160.3	152.6	145.4	138.4	131.8	125.6	119.6
<i>C.F. att. Cumulato</i>	-555.8	-370.2	-193.6	-25.3	135.0	287.6	433.0	571.4	703.3	828.8	948.4

Tabella 23 Piano decennale di investimento per la coltivazione di pomodori ciliegini (valori in mille euro).

Possiamo quindi valutare attraverso i criteri di convenienza (Tab.23) l'investimento per un progetto di una coltivazione in ambiente protetto del pomodoro ciliegino attraverso la tecnica a contenitori di substrato.

	Scenario prudenziale	Scenario ottimistico
Indice di profittabilità (IP)	327.3%	170.7%
VAN₁₀ (mille euro)	1819	948
Pay-Back Time (anni)	2	4

Tabella 24 Criteri di convenienza dell'investimento per la coltivazione del pomodoro ciliegino in serra.

Vediamo come tale investimento riesce a coprire le spese in un periodo ridotto, rispetto all'investimento per la produzione di lattuga. Con la convenienza dei ricavi profittevoli, in dieci anni di funzionamento, riusciamo a coprire il finanziamento di un impianto simile addizionale. Va, poi considerato che con la richiesta del mercato e i costi addizionali, risulta svantaggioso avere una produzione continua per l'interno anno, per questo risultano dei periodi in cui la struttura rimane inutilizzata.

7.4 *Coltivazione del cetriolo in ambiente protetto*

La coltivazione del cetriolo presenta molti aspetti produttivi analoghi a quanto illustrato per il pomodoro ciliegino. Iniziamo con il considerare la costruzione di una serra in ferro plastica che presenta un costo medio di 290.000 € per 10000 m².

All'interno della serra vi sarà una centralina di controllo climatico che gestirà le aperture e chiusure di tutte le finestre, in funzione dei valori impostati per la coltura. L'altezza alla gronda della serra è a 4.5 m con doppio telo di copertura. La copertura con doppio telo ci consentirà di ridurre il consumo energetico durante i periodi invernali. La gestione climatica verrà affidata ad una centralina di controllo come descritto precedentemente, la quale si interfacerà con le pompe di calore. All'interno della serra verrà previsto uno schermo termico con fibra di alluminio per schermare la struttura nel periodo notturno, ciò ci consentirà di evitare dispersioni termiche e ci consentirà di ridurre i costi di energia per mantenere le temperature ottimali. Per il sistema di riscaldamento, in seguito ad una valutazione un sistema idoneo viene rappresentato dalle caldaie a metano. La serra avrà le aperture al colmo e doppie aperture laterali, questo per favorire l'effetto camino ed avere una ottimale ventilazione naturale.

7.4.1 *Gestione della coltura e piano produttivo*

In questo capitolo si procederà con la valutazione della gestione di un ciclo colturale di cetriolo primaverile ed estivo condotto in fuori suolo.

Nella struttura serricola con superficie coltivabile di 10000 m² è possibile collocare 80 file di cetriolo posizionate ad una distanza di 1.2 m ed impiegando una densità colturale pari a 2.3 piante/m². Utilizzando lastre di coltivazione in fibra di cocco o lana di roccia lunghe 1 m e quindi possibile posizionare 3 piante per lastra. Anche in questo caso saranno necessarie 8000 lastre per modulo di coltivazione in grado di ospitare 24000 piante di cetriolo.

Si ipotizza di adottare un impianto di fertirrigazione e distribuzione per un costo complessivo di 27500€ (fertirrigatore + impianto di distribuzione con gocciolatoi compensanti da 4 l/h).

La raccolta avverrà tra fine marzo a fine settembre utilizzando un doppio trapianto. La scelta di un doppio trapianto consente di semplificare la gestione della pianta, mentre con un trapianto unico da marzo fino a novembre andrebbe incontro a forti stress nel periodo di luglio ed agosto. Sotto il profilo economico i due trapianti impiegando complessivamente 48000 piante, per un importo stimato di 10000 €. Analogamente al pomodoro ciliegino, va considerata la necessità di utilizzare lo spago di tutoraggio ed i gancetti di metallo per raccogliere lo spago in eccesso per un importo complessivo di 6800 €. Sotto il profilo nutrizionale la soluzione nutritiva per due cicli colturale incide approssimativamente per 14000 €.

Come per le altre colture la spesa energetica, per far funzionare i macchinari ausiliari e impianto di riscaldamento, sono state fatte delle stime considerando le tariffe nazionali e, quindi, stimando le fluttuazioni di cui sono oggetto.

Nel complesso nella *Tab. 25* sono stati riassunti gli investimenti e i costi di esercizio simulando la possibilità di realizzare entrambi i cicli in successione. Le caratteristiche dell'impianto e i valori delle spese sono indicative, considerando lo stato di fatto nazionale.

	<i>Superfici di riferimento</i>		
Coltivabile (m ²)	10.000	Effettiva (m ²)	10.560

Costi di impianto di una serra tunnel

	Investimento [€]	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Costruzione struttura serra	290000	25	16000
Sala ausiliaria	22500	20	1125
Teli schermanti	105000	10	10500
Totale	417500		

Costi strutture e impiantistiche per il floating system

	Investimento [€]	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Canalina di sostegno	39000	10	3900
Substrato di coltivazione	15550	2	7775
Telo di pacciamatura	9570	10	957
Sistema di riscaldamento	120200	20	6010
Impianto per recupero acqua	18000	15	1200
Impianto elettrico	12000	20	600
Sistema fertirrigazione e controllo	27500	10	2750
Impianto d'irrigazione	18290	10	1829
Centralina clima	12500	15	833
Tubi e raccordi	35000	15	2333
Carrelli per potatura e raccolta	28000	10	2800
Macchine agricole	45000	10	4500
Irroratrici e lance	8000	5	1600
Ganci con sostegno spago	6800	3	2267
Totale	812910		66979

Costi operativi

	Costo I ciclo (€/anno)	Costo II ciclo (€/anno)	Costo annuo (€/anno)
Piantine	5000	5000	10000
Trattamenti fitosanitari	2500	2500	5000
Spago polipropilene	3000	3000	6000
Fertilizzanti	7000	7000	14000
Costi energia struttura			8000
Costi riscaldamento a metano			19000
Manodopera	Unità		Costo annuo (€/anno)
Regolare	7		121800
Agronomo	1		30000
Totale costi variabili			213800

Tabella 25 Piano di spese per una coltivazione di cetriolo per una superficie di 1 ha.

7.4.2 Valutazione mediante business plan

Una volta avviato il ciclo colturale, il costo della manodopera è prevalentemente legato al tutoraggio delle piante fino alla produzione dei primi frutti che normalmente si verifica ai primi di giugno. Va ricordato che, normalmente, il cetriolo è in grado di produrre un frutto all'ascella di ogni foglia prodotta, conseguentemente in relazione alla cubatura della struttura produttiva e alla durata del ciclo colturale il numero di frutti per ciclo colturale è in grado di variare sensibilmente. Si può stimare di raccogliere 10 kg per pianta per ogni ciclo, per cui l'impianto è in grado di produrre 240 tonnellate per ciclo colturale.

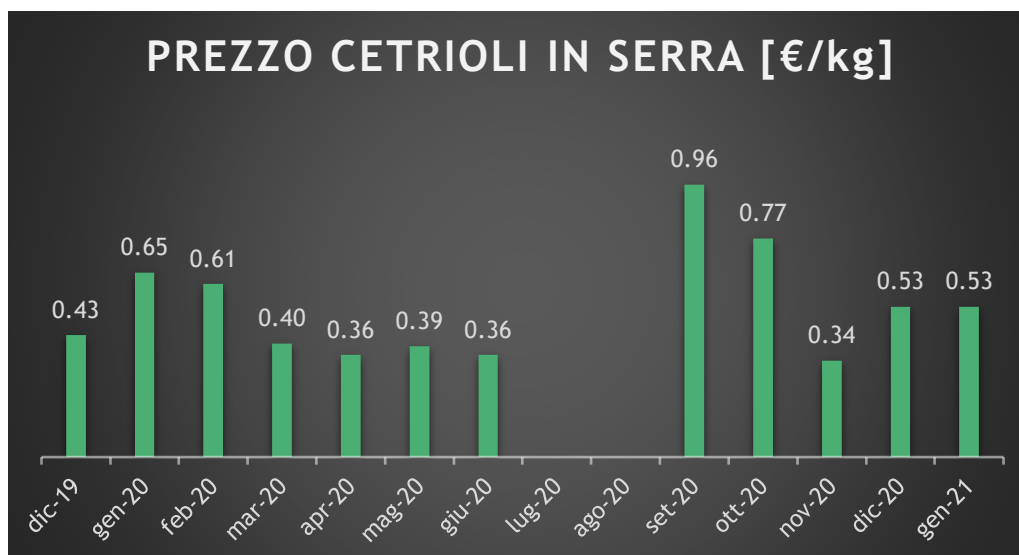


Figura 24 – Prezzo medio dei cetrioli in serra (Fonte: ISMEA).

In media, considerando i diversi sistemi di potatura, una pianta è in grado di produrre circa 10 kg e, nel caso in esame, la produzione stimata per modulo è pari a 240 t per ciclo colturale. Il raccolto dai due cicli produttivi si possono collocare sul mercato a un prezzo diverso in base alla stagione, come indicato da ISMEA, nel periodo primaverile si può attribuire un prezzo medio di 0.38 €/kg, mentre per la stagione autunnale di 0.70 €/kg (Fig. 24).

<i>Produzione stimata per cetriolo in serra</i>	<i>Valore</i>	
<i>Giorni singolo ciclo (giorni)</i>	150-180	
<i>Periodo annuo (giorni/anno)</i>	330	
<i>Massa prodotta (ton/anno)</i>	480	
Scenario Prudenziale	I° ciclo	II° ciclo
<i>Prezzo di pareggio (€/kg)</i>	0.49	0.49
<i>Vendita al prezzo di pareggio (k€/anno)</i>	118.3	118.3
Scenario ottimistico	I° ciclo	II° ciclo
<i>Prezzo ottimistico (€/kg)</i>	0.38	0.70
<i>Vendita ottimistica (k€/anno)</i>	92.2	168.0

Tabella 26 Riepilogo del potenziale di ricavo dalla coltivazione del cetriolo in ambiente protetto.

Come è possibile osservare dal prezzo soglia, la decisione di coltivare due cicli consecutivi di cetriolo consente di avere una maggiore resilienza nei confronti del prezzo di mercato poiché il pareggio si riesce a raggiungere con 0.49 €.

Conseguentemente il produttore è maggiormente tutelato nei confronti delle variazioni di prezzo che il mercato spesso presenta ed è quindi in grado di avere una coltura sufficientemente

remunerativa. Si può elaborare un piano decennale (Tab. 27) per valutare i flussi di cassa che si possono ricavare da tale investimento.

Scenario prudenziale											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ricavi</i>	0	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7	236.7
<i>Cash Flow</i>	-812.9	149.6	149.6	149.6	149.6	149.6	149.6	149.6	149.6	149.6	149.6
<i>C.F. attualizzato</i>	-812.9	142.5	135.7	129.2	123.1	117.2	111.6	106.3	101.2	96.4	91.8
<i>C.F. att. cumulato</i>	-812.9	-670.4	-534.8	-405.5	-282.5	-165.3	-53.6	52.7	153.9	250.3	342.2

Senario ottimistico											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ricavi</i>	0	260.2	260.2	260.2	260.2	260.2	260.2	260.2	260.2	260.2	260.2
<i>Cash Flow</i>	-812.9	172.1	172.1	172.1	172.1	172.1	172.1	172.1	172.1	172.1	172.1
<i>C.F. attualizzato</i>	-812.9	163.9	156.1	148.7	141.6	134.9	128.4	122.3	116.5	111.0	105.7
<i>C.F. att. Cumulato</i>	-812.9	-649.0	-492.9	-344.2	-202.5	-67.7	60.8	183.1	299.6	410.6	516.2

Tabella 27 Piano decennale di investimento per la coltivazione di cetrioli (valori in mille euro).

Analizzando i criteri di convenienza (Tab.28), l'investimento nel complesso, risulta positivo pur riscontrando tempi di ritorno piuttosto lunghi, seppur in linea con investimenti simili nel settore agricolo. Vale comunque la pena ricordare che questi risultati si riferiscono ad una superficie di poco più di 10000 m².

	Scenario prudenziale	Scenario ottimistico
Indice di profittabilità (IP)	42.1%	63.5%
VAN₁₀ (mille euro)	342	516
Pay-Back Time (anni)	7	6

Tabella 28 Criteri di convenienza dell'investimento per la coltivazione del cetriolo in serra.

7.5 Coltivazione della fragola in ambiente protetto

In relazione alla coltivazione della fragola, vengono presi in considerazione i costi relativi alla predisposizione dell'impianto di coltivazione fuori suolo e dei mezzi tecnici necessari alla coltivazione. Considerando che, nelle condizioni climatiche del nord Italia, il maggiore interesse per la coltivazione di questo ortaggio da frutto e prevalentemente legato alla possibilità di disporre di produzione nel periodo primaverile, si farà riferimento alla gestione di un ciclo di fragola realizzato da ottobre a maggio.

I sistemi di coltivazione in vaso o in canaletta con substrato sono ormai superati e non permettono di ottimizzare il controllo della pianta oltre alla difficoltà di gestire e pilotare il sistema di fertirrigazione che è alla base del fuori suolo. Mentre con la coltivazione in lastra si ottiene la gestione in modo ottimale dal punto di vista dello sviluppo e del controllo della pianta, oltre a poter pilotare nel migliore dei modi la coltivazione.



Figura 25 Illustrazione della messa in opera di un sistema a contenitori di substrato a doppio livello.

Optando per la coltivazione della fragola su doppio livello (fig. 25) si ha la possibilità di sfruttare circa il 40% in più della superficie rispetto ad una coltivazione in fuori suolo ad un solo livello, inoltre tale tecnica permette di ridurre il costo della manodopera per la raccolta del 45%.

7.5.1 Gestione della coltura e piano produttivo

Usando i sacchi con substrato per la coltivazione della fragola si presentano molti aspetti produttivi analoghi a quanto illustrato per il cetriolo.

Il primo elemento da considerare è il costo di realizzazione di una serra-tunnel in grado di ospitare la coltura e, al contempo, considerando anche le possibili potenzialità future che il mercato della fragola offre, si andrà a valutare una struttura che può essere anche riscaldata all'occorrenza. La struttura è composta da 11 arcate da 9.60 lunghe 100 m. Il perimetro della serra prevede un cordolo in policarbonato e sono tamponate da rete antinsetto. La possibilità di usare una campata di 9.60 ci permetterà di sfruttare meglio lo spazio all'interno della serra. Le aperture sono sia laterali che al colmo. Le aperture al colmo sono disposte in senso alternato. Nella struttura sericola è presente un corridoio centrale cementato di 5 m. Le piante verranno distribuite su 6 file doppie per arcata con una lunghezza complessiva di 90 m. La superficie complessiva sarà di 10.560 m². Il sistema di riscaldamento è composto da 6 caldaie alimentate a metano da 30 kW ciascuna.

Il passaggio successivo è quello di realizzare l'impianto di coltivazione fuori suolo, quindi la realizzazione dei supporti in grado di ospitare le canalette all'interno delle quali è possibile alloggiare i sacchi di coltivazione su due livelli. Un costo stimabile per la realizzazione di queste strutture è pari a 10900 €. Va considerato che la realizzazione di questi supporti risulta estremamente vantaggiosa in termini di tempo di raccolta delle fragole e riduzione del costo della manodopera in fase di raccolta.

Successivamente alla predisposizione dei supporti è opportuno valutare il tipo di substrato su cui coltivare le fragole. La soluzione maggiormente impiegata è l'impiego di un mix di matrici, ad esempio torba+fibra di cocco, torba+perlite, torba+perlite+fibra di cocco. Tale substrato è in grado di fornire adeguato supporto per l'ancoraggio della pianta, ma al tempo stesso consente di ottimizzare le caratteristiche idrologiche e la corretta porosità per l'apparato radicale. Considerando la soluzione di coltivazione adottata, complessivamente viene indicato un costo del substrato di coltivazione pari a 29500 € per 6200 lastre. Normalmente tali lastre possono

essere impiegate per 2-3 anni, conseguentemente il costo va suddiviso per questo orizzonte temporale.

Considerando un trapianto di fragola tra settembre e ottobre con pianta a cima radicata, la raccolta avviene da metà febbraio a fine maggio. Sotto il profilo economico il trapianto impiega complessivamente 118800 piantine con un costo di 16000 €, tale costo è indicativo, in quanto il valore per singola piantina può variare in funzione della varietà, nelle condizioni in esame si impiegano varietà riflorenti.



Figura 26 Illustrazione dell'impianto nelle prime fasi del raccolto della fragola su doppio livello.

Similmente alla coltivazione del cetriolo la gestione produttiva della fragola necessita delle stesse strutture e impiantistiche di controllo; quindi, si farà riferimento ai costi indicativi usati nel capitolo precedente. Si stima, quindi di adottare un impianto di fertirrigazione e distribuzione per un costo complessivo di 27500€. La gestione irrigua avverrà tramite una macchina di fertirrigazione a vaso aperto, con lettore di pH ed EC, e una centralina di controllo posizionata al di sotto di alcuni sacchi “civetta” con controllo remoto. L’acqua in esubero verrà raccolta da canaline rigide in metallo, sulle quali si appoggeranno le lastre di coltivazione. Il sistema di irrigazione avverrà tramite gocciolatoi compensanti da 4l/h. Questi sistemi permettono di ottimizzare i costi di acqua e fertilizzanti riducendo al massimo gli sprechi e permettono di migliorare notevolmente le rese delle coltivazioni. Sotto il profilo nutrizionale la soluzione nutritiva per due cicli colturale incide approssimativamente per 14000 €. In merito agli altri mezzi tecnici, la spesa media per i fertilizzanti si aggira intorno a 11000 euro, mentre gli interventi con prodotti fitosanitari incidono per circa 7500 euro.

Una voce importante da considerare è la manodopera, le operazioni principali sono la messa a dimora delle piante, pulitura delle foglie vecchie e trattamenti, infine la raccolta finale.

Come per le altre colture, per far funzionare i macchinari ausiliari e impianto di riscaldamento, vengono riportati gli stessi valori per la spesa energetica. Nel complesso nella *Tab. 29* sono stati riassunti gli investimenti e i costi di esercizio.

	<i>Superfici di riferimento</i>		
Coltivabile (m ²)	10.000	Effettiva (m ²)	10.560

Costi di impianto di una serra tunnel

	Investimento [€]	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Costruzione struttura serra	290000	25	16000
Sala ausiliaria	22500	20	1125
Teli schermanti	105000	10	10500
Totale	417500		

Costi strutture e impiantistiche per il floating system

	Investimento [€]	Ammortamento (anni)	Quota ammortamento (€/anno)
Canalina di sostegno	10900	10	1090
Substrato di coltivazione	29500	2	14750
Telo di pacciamatura	9570	10	957
Imp. di riscaldamento	28000	20	1400
Imp. recupero acqua di drenaggio	18000	15	1200
Impianto elettrico	12000	20	600
Sistema fertirrigazione e controllo	27500	10	2750
Impianto d'irrigazione	35000	10	3500
Centralina clima	12500	15	833
Tubi e raccordi	35000	15	2333
Carrelli per potatura e raccolta	1200	10	120
Macchine agricole	45000	10	4500
Irroratrice e lance	8000	5	1600
Totale	689670		61759

Costi operativi

		Costo annuo (€/anno)
Piantine		16000
Fertilizzanti		11000
Trattamenti fitosanitari		7500
Analisi di laboratorio		1500
Costi energia struttura		8000
Costi riscaldamento a metano		10000
Materiale di consumo		1000
Manodopera	Unità	Costo annuo (€/anno)
Regolare	7	81200
Agronomo	1	30000
Totale costi variabili		166200

Tabella 29 Piano di spese per una coltivazione di fragola su doppio livello, per una superficie di 1 ha.

7.5.2 Valutazione mediante business plan

Come citato prima la raccolta avviene da metà febbraio a maggio, la quantità prodotta in tale periodo può essere valutata in 77.0 ton/ha, se in quella finestra dell'anno si considera un prezzo medio di mercato pari a 4.00 €/kg, la produzione lorda vendibile generata in 10000 m² è pari a 308000 €. A favore di tale investimento, il prezzo di vendita a pareggio risulta di 2.96 €/kg, questo indica un'ampia finestra di flessibilità nella vendita della fragola. Applicando il prezzo di vendita a pareggio si ottiene un ricavo di 228000 € all'anno.

Scenario prudenziale											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ricavi	0	228.0	228.0	228.0	228.0	228.0	228.0	228.0	228.0	228.0	228.0
Cash Flow	-689.7	123.5	123.5	123.5	123.5	123.5	123.5	123.5	123.5	123.5	123.5
C.F. attualizzato	-689.7	117.6	112.0	106.7	101.6	96.8	92.2	87.8	83.6	79.6	75.8
C.F. att. cumulato	-689.7	-572.0	-460.0	-353.3	-251.7	-154.9	-62.7	25.0	108.7	188.3	264.1

Scenario ottimistico											
Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ricavi	0	308.0	308.0	308.0	308.0	308.0	308.0	308.0	308.0	308.0	308.0
Cash Flow	-689.7	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6	203.6
C.F. attualizzato	-689.7	193.9	184.6	175.8	167.5	159.5	151.9	144.7	137.8	131.2	125.0
C.F. att. Cumulato	-689.7	-495.8	-311.2	-135.3	32.1	191.6	343.5	488.2	626.0	757.2	882.2

Tabella 30 Piano decennale di investimento per la coltivazione di fragola (valori in mille euro).

E infine si può valutare la convenienza dell'investimento calcolando il tempo di ritorno e i vari flussi di cassa. Come si può notare l'investimento risulta profittevole nel periodo di dieci anni di funzionamento, avendo un ricavo di 882 mila euro, con un capex di 690 mila euro. Rispetto ad altre colture la fragola risulta di facile gestione non avendo necessità di opera specializzati e avendo basse spese periodiche.

	Scenario prudenziale	Scenario ottimistico
Indice di profittabilità (IP)	38.3%	127.9%
VAN₁₀ (mille euro)	264.1	882
Pay-Back Time (anni)	7	4

Tabella 30 Criteri di convenienza dell'investimento per la coltivazione della fragola.

8 BENCHMARK TRA COLTURE CON TECNOLOGIE IDROPONICHE DI BASE

Ricapitolando, lo studio di un investimento di un impianto di coltivazione in ambiente protetto si è fatto notare come i ricavi e le spese sono collegate alla specie da coltivare, il periodo di coltivazione, la tecnica adottata, l'ubicazione dell'impianto che influenza le spese energetiche e molti altri fattori caratteristici per questi tipi di investimenti. Nella *Tab. 31* sono stati raccolti i dati per riuscire a portare un margine di confronto. Come si può notare tutti gli impianti presentano soluzioni diverse sia in termini di spese che in termini di ricavi.

Tabella 31 Riepilogo di confronto fra i piani d'investimenti studiato.

		Lattuga		Fragola	Pomodoro	Cetriolo
<i>Note aggiuntive</i>		<i>Lattuga gentile o cappuccia</i>		<i>Su doppio livello</i>	<i>Ciliegino (2 cicli)</i>	<i>Due cicli annui</i>
<i>Soluzione sericola adottata</i>		<i>Floating system</i>	<i>NFT</i>	<i>Lastre con substrato</i>	<i>Lastre con substrato</i>	<i>Lastre con substrato</i>
<i>CapEX (k€)</i>		1250.5	975.9	689.7	555.8	818.9
<i>OpEx (k€/anno)</i>		270.9	209.4	166.2	220.8	213.8
<i>Inverno</i>		<i>Trapianto /Raccolto</i>	<i>Trapianto /Raccolto</i>	<i>Sviluppo vegetativo</i>		
<i>Primavera</i>		<i>Raccolto</i>	<i>Raccolto</i>	<i>Raccolto</i>	<i>Trapianto /Raccolto</i>	<i>Trapianto /Raccolto</i>
<i>Estate</i>		<i>Raccolto</i>	<i>Raccolto</i>	<i>Trapianto</i>		
<i>Autunno</i>		<i>Raccolto</i>	<i>Raccolto</i>	<i>Trapianto</i>	<i>Trapianto /Raccolto</i>	<i>Raccolto</i>
<i>Massa prodotta (ton/anno)</i>		665.6	572.00	77.00	288.00	480.000
<i>Prezzi di vendita e Ricavi</i>	<i>Break-even prize (€/kg)</i>	0.57	0.50	2.96	1.68	0.490
	<i>PBT (anni)</i>	8	8	7	2	7
	<i>Indice di profitto</i>	32.3%	20.3%	38.3%	327.3%	42.1%
	<i>Prezzo medio attuale (€/kg)</i>	0.63	0.63	4.00	1.29	0.540
	<i>PBT (anni)</i>	6	5	4	4	6
	<i>Indice di profitto</i>	57.6%	79.8%	127.9%	170.7%	63.5%
<i>VAN₁₀ (k€)</i>		720.0	776.3	882.0	948.0	516.0

Per la coltivazione della lattuga in specifico si può notare le principali differenze nell'adottare diverse tecniche di coltivazione il capitale iniziale influisce sui ricavi finali pur avendo in entrambe le tecniche valori simili delle spese operative e delle quantità prodotte.

Per quanto riguardano gli ortaggi coltivati in contenitori con substrato le spese iniziali sono confrontabili. Da notare, però, che tali impianti, a differenza della produzione di lattuga, rimangono inutilizzati per un lungo periodo, che si traduce in mancato profitto.

La fragola presenta un minor impiego nella gestione colturale e, quindi, ciò si riflette sulle spese periodiche inferiori rispetto alla produzione di pomodoro e cetriolo. La fragola oltretutto gode

di una flessibilità maggiore nel collocarsi sul mercato nazionale, in quanto l'approvvigionamento del mercato avviene maggiormente dalla produzione in serra e dal mercato estero.

Come già accennato, precedentemente la coltivazione di pomodoro e del cetriolo presentano aspetti molto analoghi, sia nella tecnica di coltivazione che per spese di gestione colturale. A tal proposito, però, fare la scelta di produrre pomodoro si ha la difficoltà di vendere il prodotto ad un prezzo inferiore rispetto al pareggio, nella stagione in cui i produttori in piena aria rappresentano i maggiori offerenti e, quindi in tale periodo l'investimento risulta in perdita.

Per tutte le colture considerate finora i risultati economici proposti possono essere rimodulati sulla base di ulteriori trattative sui costi delle materie prime, su economie di scala, sulla capacità imprenditoriale e sulla valorizzazione del prodotto nel mercato.

A tale proposito si ricorda inoltre che i prodotti ricavati da coltivazioni fuori suolo non possono essere considerati "biologici" poiché il nuovo regolamento in vigore dal 1° gennaio 2021 relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici (*REGOLAMENTO (UE) 2018/848*) prevede chiaramente che debba esserci un legame tra pianta e terreno.

9 SOLUZIONI AVANZATE PER LA PRODUZIONE DEGLI ORTAGGI IN SERRA.

Come si è visto nel capitolo precedente, gli investimenti per questi impianti lascia spazio a miglioramenti produttivi. In questo capitolo si analizzeranno alcuni metodi migliorativi, ottimizzando così i profitti di fine anno. Si analizzerà, poi, l'aspetto economico per poter confrontare con i risultati degli investimenti oggetto di studio del capitolo precedente.

Un primo accorgimento si può fare sui periodi di utilizzo dell'impianto. I periodi freddi e caldi vengono presentati come periodi di forti stress per le piante mature, in quanto necessitano di una temperatura biologica naturale dell'ambiente per poter germogliare, sbocciare e non subire danni irreversibili. Questo spiega la difficoltà di produrre in piena aria nei periodi invernali ed estivi, e quindi il prezzo di vendita sul mercato in quei periodi rappresenta un'opportunità per i produttori in ambiente protetto.

In un secondo caso, come anticipato nei capitoli scorsi, la produzione in ambiente protetto con il metodo idroponico, permette di ridurre gli specchi idrici avendo un controllo maggiore sulle esigenze periodiche delle piante. Le strutture portanti delle serre presentano buone caratteristiche di stabilità, ma al tempo stesso possiedono una buona ermeticità, mantenendo comunque una ridotta superficie ombreggiante. Questa caratteristica dell'ambiente protetto e controllato, presenta una facile applicazione di miglioramenti allo scopo di incrementare la quantità raccolta dalle piante. Attraverso quella che viene nominata in letteratura, "*La concimazione con CO₂*", si riesce ad aumentare la produzione di sostanza secca del 14-20%.

9.1 Coltura intercalare

Si è visto che prima di coltivare si fa la programmazione colturale, ovvero si decide quando iniziare il trapianto delle piante per poter sfruttare il periodo di raccolta e vendita più conveniente dal punto di vista economico e climatico. Nel caso che la programmazione colturale non copra l'intero anno lo stabilimento rimane inutilizzato. Si è pensato così, fra una programmazione e l'altra, di coltivare una coltura diversa, ma allo stesso tempo con caratteristiche gestionali simili alla coltura di partenza, questo per poter sfruttare l'impianto di produzione senza grosse modifiche. Innanzitutto, la coltura intercalare deve essere adeguata alla

tecnologia di coltivazione disponibile. Per l'investimenti in esame si è visto che la coltivazione di lattuga riesce a coprire l'intero anno, eccezion fatta per un mese invernale. Lo stabilimento di coltivazione della fragola rimane inutilizzato per i tre mesi estivi, mentre per il pomodoro e il cetriolo si nota un'alternanza dei mesi di coltivazione con un inutilizzo nei mesi invernali.

9.1.1 Coltivazione di fagiolino come coltura intercalare

I fagiolini sono tutti facilmente coltivabili in idroponica. Sono piante a bassa manutenzione e altamente produttive. Alcuni potrebbero richiedere un po' più di impegno rispetto ad altri. I fagiolini germinano molto rapidamente, generalmente in meno di 2 settimane, a volte in appena 5-7 giorni. Questo varia a seconda della varietà, della qualità dei semi e dei fattori ambientali. I fagiolini sono una pianta auto-impollinante, quindi non è necessaria l'impollinazione artificiale o l'ausilio di appositi insetti. I fagiolini hanno bisogno di pieno sole per la resa migliore. Il pieno sole aiuta anche a mantenere le piante asciutte e hanno meno probabilità di essere colpite da malattie. I fagiolini crescono in tutte le condizioni di umidità se adeguatamente annaffiati. I fagiolini coltivati in idroponica di solito producono più rapidamente di quelli coltivati convenzionalmente. La norma è di circa 60 giorni, che ovviamente varia a seconda della varietà e dei fattori ambientali. In idroponica, in un ambiente controllato, si può anticipare di circa 7-10 giorni. Un raccolto continuo può essere garantito inserendo nuove piante nella configurazione idroponica circa ogni due settimane. La temperatura ottimale per la più ampia gamma di fagioli è di 21/30°C durante il ciclo diurno e di circa 15/21°C durante il ciclo notturno. Temperature inferiori a 15 o superiori a 35 avranno effetti negativi sullo sviluppo delle piante e sulla crescita dei baccelli.

Le caratteristiche colturali del fagiolino sono compatibili per un ciclo estivo con la tecnica del contenitore con substrato. In relazione agli investimenti in esame per l'impianto di coltivazione della fragola, una volta finita la raccolta, la manutenzione dell'impianto e lo sradicare delle piante dai sacchi con substrato; un ciclo di fagiolino si presenta come un'ottima coltivazione intercalare. Quindi, nella pianificazione colturale della fragola si può inserire la coltivazione del fagiolino come coltura intercalare che verrà coltivata da giugno ad agosto. Una volta finito il ciclo colturale del fagiolino si prosegue con il trapianto di settembre delle nuove piantine di fragola per il successivo ciclo colturale.

Per ciò che riguardano le spese economiche, per supportare il passaggio intercalare e la gestione del periodo di coltivazione si fa riferimento all'impianto della coltivazione della fragola già esistente. Quindi l'impianto esistente non subisce modifiche, non ci sono ulteriori spese strutturali. Le spese variabili sono legate alla gestione delle piantine e alla manodopera.

Si può stimare per la coltivazione dei semi di fagiolino a giugno un a spesa di 5000 euro. In merito agli mezzi tecnici, la spesa media per i fertilizzanti si aggira intorno a 11000 euro, mentre gli interventi con prodotti fitosanitari incidono per circa 7500 euro.

La coltivazione del fagiolino in fuori suolo permette di abbattere i costi di raccolta del 40%. Il costo per la manodopera, per i rispettivi periodi, viene stimata come per la coltivazione della fragola. La fase di raccolta andrà tra luglio e meta settembre, con una produzione stimata di 25 ton/ha. In questo periodo il prezzo di riferimento del fagiolino è di 3.00 €/kg, ottenendo così un ricavo di vendita di 75000 €, considerando le spese di produzione di 53950 €/anno, si ottiene un ricavo aggiuntivo da un ciclo di fagiolino di 21050 €.

9.1.2 Coltivazione di pomodoro nel piano produttivo del cetriolo.

Visto le analoghe fasi di coltivazione tra il pomodoro e il cetriolo in fuori suolo, si è pensato di studiare uno scenario in cui si ipotizza la coltivazione di un ciclo di coltivazione intermedio aggiuntivo. Questa soluzione ha lo scopo di ridurre i tempi improduttivi da un trapianto all'altro, senza l'aggiunta di ulteriori spese significative. Le strutture per la coltivazione e gestione di cetriolo sono compatibili con ciò che è necessario per il ciclo di coltivazione del pomodoro. Le uniche spese aggiuntive per tale configurazione sono rappresentate dai costi variabili di gestione di un solo ciclo produttivo del pomodoro. Si ipotizza, quindi, di sfruttare il periodo di raccolta del pomodoro in cui il prezzo di vendita sul mercato risulta più vantaggioso, ovvero nel periodo autunnale. Anticipando il ciclo produttivo autunnale del cetriolo nel tardo estivo si aspettano delle giornate di leggero stress per le piante, ciò si può stimare in un calo produttivo del 25 % (M. Salvato et al. 2011). Dal ciclo estivo si stima un raccolto di 180 tonnellate e il collocamento sul mercato di tale quantità con un prezzo di vendita tra metà agosto e fine settembre che risulta essere di 0.96 €/kg, con un ricavo di vendita di 172800 €.

Con tale configurazione nel periodo invernale la struttura rimane inutilizzata. Pianificare un ciclo di coltivazione nel periodo freddo implica spese energetiche aggiuntive. Diventa difficile sostenere una coltura in pieno inverno per un imprenditore, avendo una flessibilità ridotta sul prezzo di vendita, come nel caso del cetriolo visto nel capitolo precedente. Perciò si è evitato tali ipotesi.

9.2 Concimazione carbonica

In agricoltura il processo produttivo si basa sulla crescita e sul processo fotosintetico. La fotosintesi permette alle piante di sintetizzare zuccheri utilizzando l'acqua, assorbita tramite l'apparato radicale, CO₂ ed energia luminosa, catturata tramite i pigmenti fotosintetici. Tale processo viene influenzato dall'intensità luminosa, dalla concentrazione dell'anidride carbonica e dalla disponibilità di acqua. La concentrazione del gas CO₂ viene misurato in volumi per milioni (*vpm* o *cm³/m³*) e in condizioni di pressione di 1 atm si ha che 1 *vpm* = 1.83 *mg/m³*, a volte si usa l'approssimazione di 2,00 *mg/m³*. La concentrazione di CO₂ nelle condizioni ambientali risulta fra 370-380 *vpm*, questo valore viene poi influenzato dai livelli di inquinamento locali. La concentrazione di CO₂ influenza in maniera drastica il processo fotosintetico.

Fin dagli anni '90 la ricerca ha dimostrato che incrementando concentrazione di CO₂ ambientale, definita anche concimazione carbonica, provoca un aumento della crescita su molte specie vegetali, un netto aumento delle produzioni e soprattutto una riduzione della durata del ciclo produttivo, questo spesso dipende dalla specie. Come lo dimostra la ricerca sulla coltivazione di diverse specie di crisantemo in un ambiente a concentrazione di 1500 *vpm* che evidenzia un incremento del numero dei fiori tra il 3% e il 48%, oltre a ciò, il peso fresco ha subito un incremento tra il 2% e il 40%; sperimento svolto da *Fanourakis et al.* all'università di Wageningen, Olanda, 2007. Per gli ortaggi in genere come pomodoro, fagioli e altri prodotti con valore della produzione medio-basso viene consigliata una concentrazione da mantenere all'interno della serra durante la concimazione carbonica pari a un valore tra 700-800 *vpm*.

L'immissione aggiuntiva può avvenire attraverso due metodiche distinte:

- Produrre anidride carbonica all'interno dell'azienda tramite bruciatori a metano.
- Immettendo anidride carbonica acquistata da terzi sotto forma liquida.

Nell'utilizzo di combustibili fossili occorre fare attenzione alla concentrazione ambientale di alcuni gas tossici che si sviluppano nella combustione come l'anidride solforosa (SO₂) e diversi ossidi di azoto (NO_x) i quali sono nocivi sia alle piante che per l'uomo (Tab.32).

Gas	Piante	Piante (Esposizione prolungata)	Uomo
Anidride carbonica (CO ₂)	4550	1600	5000
Monossido di carbonio(CO)	100	-	47
Anidride solforosa (SO ₂)	0.1	0.015	35
Acido solfidrico(H ₂ S)	0.01	-	10.5
Etilene (C ₂ H ₄)	0.01	0.02	5
Monossido d'azoto (NO)	0.5	0.25	5
Biossido d'azoto (NO ₂)	0.2-2.0	0.1	5

Tabella 32 Concentrazione massima accettabile (vpm) per le piante e uomo di alcuni gas nocivi presenti nei fumi della combustione. [NEDERHOFF, 1995].

Occorre quindi usare solo combustibili a basso tenore di zolfo, come oli raffinati, propano, metano o kerosene bianco.

La produzione di CO₂ mediante piccoli bruciatori da installare all'interno della serra ha il vantaggio di un costo sicuramente contenuto, ma ha lo svantaggio di un controllo della concentrazione di CO₂ molto sommario e condizionato dal fabbisogno di riscaldamento dell'ambiente stesso. Così può accadere facilmente che nei mesi più freddi si abbiano concentrazioni troppo elevate di CO₂, (anche superiori a quelle massime accettabili per l'uomo e per le piante), mentre nei mesi più caldi il quantitativo di CO₂ prodotto non sia sufficiente. Un altro aspetto negativo è la possibilità di avere combustioni subottimali, soprattutto durante i mesi invernali, a causa dello scambio d'aria ridotto con l'esterno, che può contribuire a far ridurre sensibilmente la concentrazione di ossigeno all'interno della serra: una combustione non ottimale produce dei gas pericolosi per le piante e anche per l'uomo (monossido di carbonio, etilene, e altri idrocarburi insaturi). Il problema può essere evitato scegliendo bruciatori con aspirazione forzata dell'aria dall'esterno della serra. Nei paesi del nord-Europa, caratterizzati da una serricoltura high-tech (serre in ferro e vetro, riscaldamento centralizzato con gas metano e controllo computerizzato della gestione del clima interno) la concimazione carbonica, utilizzando la CO₂ prodotta con la combustione del gas metano, è una pratica ampiamente diffusa da almeno 15 anni.

L'utilizzo di caldaie termiche centralizzate, esterne alle serre stesse, permette di ottenere la produzione di anidride carbonica e di calore per poi introdurli separatamente in serra. Infatti, il picco di richiesta di anidride carbonica è durante le ore centrali del giorno, quando è minima la richiesta di riscaldamento da parte della serra. Si rende più facile effettuare la combustione di giorno e utilizzare il calore prodotto o per la produzione di energia elettrica (co-generazione, con un calore residuo pari al 50% di quello totale prodotto) o per riscaldare la serra durante la notte, immagazzinandolo in grosse cisterne termiche contenenti acqua. In questo modo l'arricchimento di CO₂ può avvenire anche per molte ore durante il periodo primaverile e autunnale. La necessità di trasportare la CO₂ prodotta dalla caldaia nella serra costringe ad abbattere la temperatura dei fumi, utilizzando un condensatore con il vantaggio di eliminare buona parte del vapore acqueo presente negli stessi, ottenendo così in serra un ambiente meno umido e un più facile controllo delle malattie fungine.

La CO₂ prodotta viene aspirata e spinta direttamente in una tubazione in PVC attraverso un ventilatore centrifugo e distribuita in serra attraverso delle manichette forate in PVC del diametro di 50 mm con fori di 1 mm distanti fra loro da un massimo di 120 cm (all'inizio della linea) ad un minimo di 20 cm (alla fine della linea), posizionate sotto i bancali di coltivazione in modo che la vegetazione intercetti facilmente la CO₂ liberata. Per una buona distribuzione non conviene superare la lunghezza di 40 metri.

I costi di caldaie a metano con i vari sistemi di controllo per la CO₂ con i serbatoi termici per lo stoccaggio dell'acqua calda hanno costi di circa 250.000 €/ha, un costo estremamente elevato per essere ammortizzato in tempi accettabili

L'uso di CO₂ pura, proveniente dalle industrie alimentari o chimiche o da giacimenti sotterranei, non è diffusa a causa dei costi superiori rispetto a quella prodotta all'interno della stessa azienda per combustione.

L'immissione dell'anidrite carbonica in forma liquida acquistata da terzi ha come svantaggio quello di avere costi leggermente più alti (200-240 €/ton), mentre i vantaggi sono:

- La produzione di CO₂ non è subordinata al riscaldamento della serra
- Non si ha la produzione di gas tossici per le piante e le persone
- Non occorre bruciare combustibile per ottenere CO₂.
- I costi di investimento iniziali sono notevolmente ridotti.

Ciononostante, si ipotizza che in seguito alla pubblicazione della direttiva CE 87/2003 che ha istituito un sistema per lo scambio di quote di emissione dei gas ad effetto serra nella Comunità e della Direttiva 29/2009, che modifica la Direttiva 87/2003 al fine di perfezionare ed estendere il sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione di gas serra, possano decidere di ridurre le loro emissioni, facendo calare il prezzo delle bombole di CO₂ liquida. In tal caso, il costo della CO₂ in bombole potrebbe diventare concorrenziale rispetto ad un sistema di produzione intra-aziendale.

Attualmente la concimazione carbonica in Italia è una pratica poco diffusa. Sulla base di informazioni raccolte fra consulenti tecnici e ditte produttrici di CO₂ liquida, il numero di aziende agrarie che in Italia effettuano concimazione carbonica non supera le 200 unità e molte di queste sono aziende produttrici di fiori recisi e piante ornamentali da interno. Il motivo principale di questa scarsa diffusione è che le nostre serre (e in genere tutte quelle del bacino del Mediterraneo) sono molto più ventilate rispetto a quelle del nord-Europa (clima più mite): la maggiore ventilazione impedisce di avere basse concentrazioni di CO₂ in serra, ma nel caso si effettui la concimazione carbonica favorisce le perdite di CO₂ che sono direttamente proporzionali al livello di ventilazione mantenuto in serra e alla concentrazione di CO₂ interna desiderata. (*Incrocci et al., 2008*)

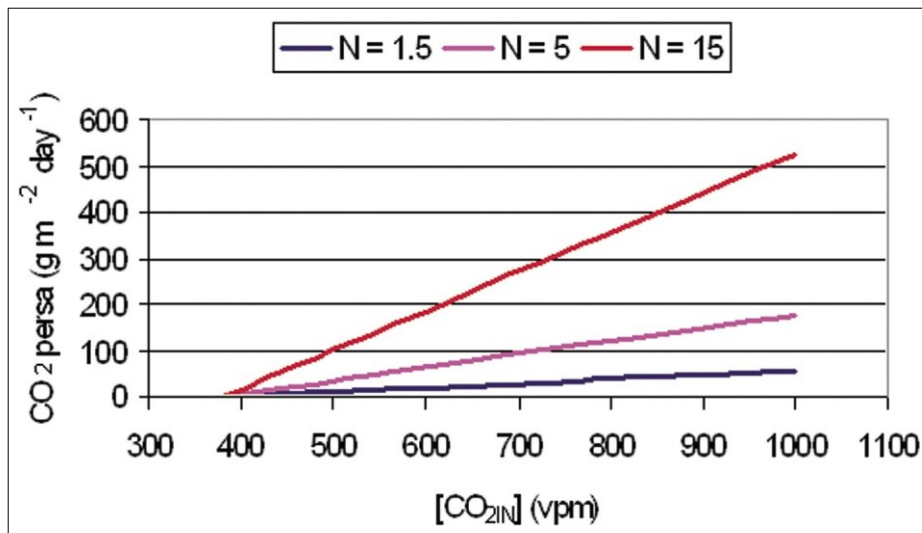


Figura 27 Quantità di CO₂ persa giornalmente da una serra in funzione del grado di ventilazione ($N =$ numero di ricambi d'aria/ora) e della concentrazione di CO₂ interna. Per la simulazione è stato assunto un periodo di concimazione carbonica pari a 8 ore al giorno. Fonte: Incrocci et al., 2008.

Lievi riduzioni della concentrazione di CO₂ inducono importanti perdite nella assimilazione netta e quindi è importante ventilare la serra, anche se ciò comporta abbassamenti indesiderati dell'umidità relativa e della temperatura. Tuttavia, applicando il bilancio di massa per i flussi di CO₂ al sistema serra, si può dimostrare che la perdita di questo gas dalla serra si verifica solo quando la concentrazione al suo interno è superiore a quella esterna (fig27). Quindi l'uso della concimazione carbonica nel bacino del Mediterraneo con concentrazioni pari a 380-400 vpm nelle ore in cui le serre sono parzialmente o totalmente ventilate e l'arricchimento fino a 800-1.000 vpm nelle ore in cui la serra è completamente chiusa, può sicuramente apportare degli incrementi produttivi interessanti, con un minimo consumo di anidride carbonica.

Un ulteriore vantaggio, derivante dalla presenza di un impianto di concimazione carbonica, è quello di ventilare meno le serre nei mesi più freddi (compatibilmente con i livelli di umidità interna), in modo da ottenere temperature diurne superiori con benefici produttivi sia in termini di sostanza secca prodotta che in termini di accelerazione del ciclo produttivo stesso.

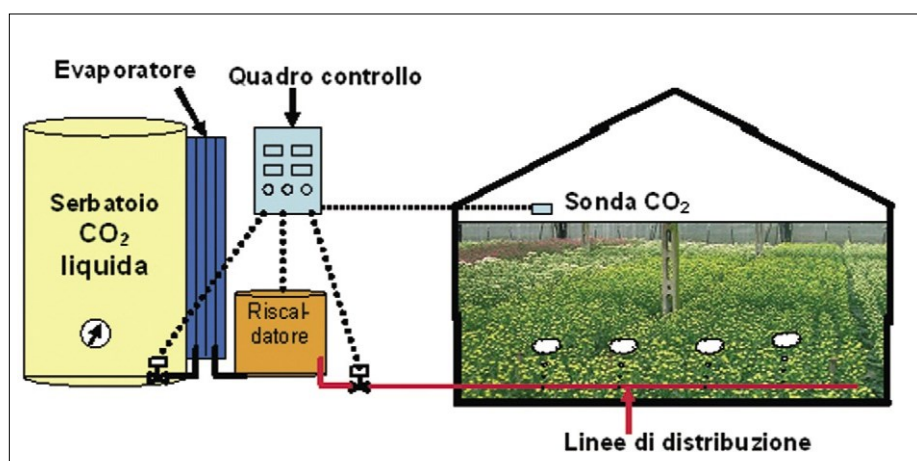


Figura 28 Schema dell'attrezzatura necessaria per effettuare la concimazione carbonica utilizzando anidride carbonica liquida acquistata all'esterno dell'azienda. Fonte: Incrocci et al., 2008.

L'impianto base di concimazione carbonica con uso di CO₂ liquida è schematizzato in *fig. 28* e si compone di: serbatoio di stoccaggio della CO₂ liquida ad alta pressione (da 20-50 qli), corredato di evaporatore e riscaldatore, necessari per la sua gassificazione, tubatura di adduzione alle varie serre; elettrovalvola di immissione della CO₂ in ogni singola serra con relativo flussometro; quadro di controllo per la regolazione dell'immissione di CO₂ nella serra sulla base del differenziale fra il valore ambientale e il set-point di concentrazione desiderato linea di distribuzione della CO₂ nella serra, realizzabile con un semplice tubo di polietilene su cui sono effettuati fori di 1 mm con intervalli variabili da 1 metro a 50 cm. Il sistema di controllo dell'immissione della CO₂ è il componente più costoso e al tempo stesso il più importante per ottimizzare il suo uso ed evitarne grosse perdite.

9.2.1 . Sostenibilità e principi della tecnica di concimazione carbonica

Il concetto di sostenibilità è molto ampio e riguarda aspetti di carattere produttivo, economico, sociale ed ambientale. Senza avere la pretesa di poter effettuare un'analisi esaustiva della sostenibilità della tecnica della concimazione carbonica, riteniamo importante metterne in evidenza alcuni elementi di maggiore impatto da un punto di vista energetico ed ambientale.

- Tenendo presente che nell'ambito del Protocollo di Kyoto, è possibile affermare che le emissioni di anidride carbonica legate alla produzione serricola, in alcuni Paesi del Nord Europa, non sono trascurabili. Inoltre, contribuiscono significativamente all'aumento della concentrazione dell'anidride carbonica atmosferica, responsabile del cambiamento climatico. D'altra parte, nell'ambito delle emissioni totali di CO₂ del settore serricolo, non è noto il contributo delle perdite conseguenti alla sola concimazione carbonica;
- L'utilizzo dei combustibili fossili per il riscaldamento e per la produzione dell'anidride carbonica non è sostenibile nel lungo periodo e dovrebbe essere sostituito dall'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili;
- I dati sull'efficienza di utilizzazione dell'anidride carbonica (15-20%), potrebbe ridimensionano in maniera considerevole il ruolo della concimazione carbonica nel sequestro del carbonio;
- La possibilità che il costo dell'anidride carbonica liquida (in bombole) possa scendere sul mercato in conseguenza dell'applicazione della direttiva CE 87/2003 non deve essere salutato come una possibilità in più per chi voglia praticare la concimazione carbonica, ma come un effetto perverso di una norma volta a ridurre l'impatto ambientale delle grandi industrie. Le industrie che emettono grandi quantità di anidride carbonica recuperano la CO₂ dai fumi di scarico e la vendono a chi ne fa un uso qualificato "verde". In tal modo, si lucrano dei vantaggi economici nel mercato di "diritti di emissione", per un abbattimento delle emissioni che in realtà non avviene (circa 78% di perdite stimate).

La verifica del rispetto degli obiettivi, dei criteri e dei principi dell'agricoltura biologica per una tecnica come la concimazione carbonica, è molto difficile. Sia nel Regolamento (CEE) n. 2092/91 che nel Regolamento del Consiglio (CE) 834/2007 e nel Regolamento della Commissione (CE) 889/2008 che l'hanno sostituito, non si fa nessuna menzione diretta alla produzione in serra. L'unico nuovo elemento nel Regolamento (CE) 889/2008 che fa riferimento alla produzione in serra è che la produzione idroponica è esplicitamente vietata (Art. 4). Per tutti gli altri aspetti relativi alla produzione in serra, la mancanza di riferimenti normativi certi e la grande diversità climatica e geografica dei Paesi dell'UE ha determinato lo svilupparsi di protocolli che si basano su interpretazioni diverse, da parte degli Stati Membri, del Regolamento (CE) 834/2007. Per quanto riguarda la concimazione carbonica, in Spagna non è consentito l'uso della CO₂ perché l'anidride carbonica è considerata un fertilizzante. Come tale, una sua utilizzazione è subordinata all'inserimento nell'Allegato I "Concimi ed ammendanti" di

cui all'Art. 3, paragrafo 1 del Regolamento (CE) 889/2008. In Olanda, l'anidride carbonica può essere utilizzata solo come sottoprodotto del riscaldamento. In Irlanda, invece, può essere utilizzata solo anidride carbonica di provenienza da una fonte rinnovabile (van der Lans and Meijer, 2011). Esistono quindi, sull'argomento, diversi approcci che potrebbero determinare, insieme con le altre tecniche più controverse, delle turbative del mercato della produzione biologica.

In conclusione, la concimazione carbonica è una pratica ancora oggi poca diffusa in Italia e in generale nelle regioni del bacino del Mediterraneo, principalmente per la semplicità delle strutture di protezione presenti in questi paesi e per l'alto costo della CO₂ in bombole rispetto a quella ottenuta come sottoprodotto della combustione del gas metano. Oltre a ciò, il gruppo di esperti (EGTOP), sebbene assuma una posizione di apertura nei confronti della tecnica di concimazione carbonica, non fornisce alcuna indicazione sulle fonti e rimanda la decisione sull'argomento ad una più ampia discussione sulla produzione biologica protetta. Mentre al contrario, per l'*International Federation of Organic Agricultural Movement – EU Regional Group* (IFOAM – EU), nel "*position paper*" assume una posizione di massima apertura nei confronti della tecnica, ipotizzando, come unica restrizione, che non si brucino combustibili al solo scopo di produrre anidride carbonica. Mentre i protocolli nazionali (Olanda e Irlanda) sulla specifica tecnica lasciano intendere, in alcuni casi, delle perplessità di carattere ambientale, legate al costo energetico della tecnica, più preoccupanti risultano le posizioni del gruppo di esperti (EGTOP) e, in particolare di IFOAM-EU che di fatto non pone alcun limite alla concimazione carbonica, in quanto l'uso dei combustibili al solo scopo di produrre CO₂ non è una pratica diffusa.

Negli ultimi anni, a seguito dell'imposizione di tasse ecologiche sull'immissione di CO₂ nell'ambiente, dell'incremento del costo dei combustibili per il riscaldamento e di studi sull'effetto di concentrazioni subottimali di CO₂ sulla produzione, lo scenario sulla convenienza dell'uso della CO₂ in bombole per la concimazione carbonica si è modificato lasciando intravedere, anche in Italia, la possibilità di applicare vantaggiosamente questa tecnica sulle colture protette con PLV maggiore, come i fiori recisi e le piante in vaso da interno. Infatti, se la concimazione carbonica è applicata in modo da evitare le perdite, l'incremento produttivo originato dalla concimazione carbonica compensa ampiamente il costo diretto del gas. Infine, occorre ricordare che la tecnica della concimazione carbonica, affinché abbia risultati positivi, deve essere applicata in serre dove esiste già un buon controllo climatico.

9.2.2 *Valutazione tecnica della serra per la fertilizzazione con CO₂*

Nel territorio italiano l'impiego dell'anidride carbonica deve essere visto come un'integrazione al fabbisogno di CO₂. La serra progettata, che prevede finestrate laterali e al tetto, non permette di ottenere un'elevata concentrazione di CO₂ nell'intero arco della giornata.

Concentrazioni elevate si otterrebbero esclusivamente con serre completamente prive di finestrate o soltanto con finestre al tetto. Questo tipo di serra nel territorio nazionale è inutilizzabile, perché in alcuni periodi dell'anno si hanno temperature troppo elevate, che impedirebbero il corretto sviluppo delle coltivazioni. L'immissione dell'anidride carbonica in questo caso ha lo scopo di mantenere valori ottimali di CO₂ che oscillano tra 560 e 650 vpm.

Tale applicazione consente di avere un incremento di produzione che oscilla tra l'8 e il 10% della PLV. Per ottenere un incremento di produzione superiore occorre integrare alla concimazione carbonica un'integrazione di luce per favorire il massimo della fotosintesi clorofilliana. A tale scopo è necessario installare un impianto di luci LED che porterà l'incremento della PLV tra il 15 e il 18%.

10 BENCHMARK TRA COLTURE CON TECNOLOGIE IDROPONICHE AVANZATE

Si può passare ora ad integrare i piani d'investimento del capitolo precedente con le soluzioni migliorative descritte precedentemente. Lo studio verrà eseguito sugli impianti con maggior profitto dalla prima analisi.

L'investimento per la produzione di lattuga con maggior profitto risulta l'impianto con tecnica a film nutriente. Questo impianto è in grado di produrre durante l'intero anno senza periodi di inutilizzo, e quindi la pianificazione colturale non necessita di colture intercalari. Si potrebbe fare lo studio per eseguire la fertilizzazione con CO₂, per questo caso il capitale iniziale per la sola struttura e impianto di coltivazione rappresenta una somma significativa con una ridotta flessibilità del prezzo di vendita del prodotto. Si ritiene quindi che un ulteriore investimento per un sistema LED e attrezzature per la gestione della concimazione carbonica varrà ad incidere in modo negativo sull'investimento.

Si è visto che nel piano di coltivazione del cetriolo si può introdurre un ciclo intermedio di coltivazione del pomodoro, anche se, così facendo, non si ha un completo anno di attività della struttura. Come già descritto nel capitolo precedente, con la tipologia di serra a disposizione si può incrementare la produzione lorda vendibile tra il 15 e 18 % per il cetriolo immettendo anidride carbonica dalla fornitura in bombole e in aggiunta bisogna predisporre di un sistema LED di supporto. Per il ciclo di coltivazione del pomodoro tale sistema risulta compatibile avendo gli stessi risultati che per il cetriolo.

Per quanto riguarda il piano investimenti per la fragola si presta benissimo per avere un ciclo intermedio con la coltivazione di fagiolino come coltura intercalare. La struttura serricola considerata per la coltivazione di questi due cicli avendo le aperture laterali e al colmo crea ad avere un ambiente ventilato sufficiente per la concimazione carbonica non più di 750 vpm. Come per la coltivazione del cetriolo si può considerare un investimento aggiuntivo per incrementare la PLV, dato che anche il margine sul prezzo di vendita lo permette.

Volendo, quindi fare un'analisi d'impianto a supporto per la coltivazione della fragola e del cetriolo, bisogna considerare i costi indicativi per le attrezzature e sistema LED (tab. 33). Nel calcolo dell'incremento della PLV, viene utilizzato un valore medio di 17 % d'incremento.

Costi per la concimazione carbonica

	Costi [€/anno]
Noleggio attrezzi	5000
Manutenzione Impianto	2500
Costo concimazione CO ₂ liquida	22500
Totale [€]	30000

Costi impianto LED

	Costi [€]	Ammortamento [anni]	Quota ammortamento [€/anno]
<i>Sistema LED per coltivazione fragola da 240W (130 μmol s⁻¹ m⁻²)</i>	444414	10	44441.4
<i>Sistema LED per coltivazione di cetrioli da 240W (145 μmol s⁻¹ m⁻²)</i>	646646	10	64664.6

Tabella 33 Riepilogo del capitale iniziale e spese periodiche per un impianto di concimazione con la CO₂ e sistema ausiliario LED per la coltivazione della fragola e cetriolo.

Avendo tutti i valori necessari si può procedere con il piano d'investimento per la coltivazione fuori suolo con le soluzioni sopra citate per i vari ortaggi. Nel complesso (tab. 34) si evince che le tecniche migliorative risultano convenienti. Avendo dei cicli intermedi si riesce a remunerare l'impianto in tempi più brevi, pur di incrementare i costi operativi. Per un piano di investimento fragola più fagiolino si riesce a migliorare i profitti di fine anno in maniera significativa, grazie a un prezzo di vendita del fagiolino che offre un'alta flessibilità rispetto al prezzo di pareggio, che risulta di 2,16 €/kg con tale impianto.

Si ha un incremento dei profitti meno significativo, ma presente, con la soluzione di adoperare una coltivazione intermedia del pomodoro. La fase di raccolta viene pianificata per il periodo di alti prezzi di vendita per il pomodoro. Sfruttando l'opportunità che offre il mercato per questi periodi autunnali si riesce ad ottenere un profitto dal pomodoro di 250560 euro, in confronto al raccolto da 2 cicli del cetriolo 264000 €, raddoppiando così i profitti di fine anno rispetto all'investimento precedente. Si osserva, inoltre, che l'indice di profittabilità raddoppia, rispetto al semplice investimento per la coltivazione del cetriolo, tale vantaggio offre una riduzione degli anni di recupero del capitale iniziale, passando da 5 anni a 4.

Soluzione serricola	NFT	Contenitore con substrato su doppio livello		Contenitore singolo con substrato	
Ortaggi	Lattuga Gentile	Fragola	Fagiolino	Cetrioli	Pomodori Ciliegini
CapEx [k€]	975.9	689.7	0	818.9	0
OpEx [k€/anno]	209.4	166.2	53.95	213.8	74.95

Sviluppo del piano culturale

Gennaio	Trapianto	Sviluppo Vegetativo			
Febbraio	Raccolta	Sviluppo Vegetativo		Trapianto	
Marzo	Raccolta	Raccolta		Svilup. vegetativo	
Aprile	Raccolta	Raccolta		Raccolta	
Maggio	Raccolta	Raccolta		Raccolta	
Giugno	Raccolta		Trapianto	Trapianto	
Luglio	Raccolta		Svilup. vegetativo	Svilup. vegetativo	
Agosto	Raccolta		Raccolta	Raccolta	
Settembre	Raccolta	Trapianto	Raccolta	Raccolta	Trapianto
Ottobre	Raccolta	Sviluppo vegetativo			Raccolta
Novembre	Raccolta	Sviluppo vegetativo			Raccolta
Dicembre		Sviluppo vegetativo			
Massa raccolta [ton/anno]	572	77.0-83.0	19.0-25.0	420.0-480.0	144
Prezzo medio [€/kg]	0.63	4	3	0.36 ; 0.96	1.74

Prezzi di vendita e Ricavi con cicli intermedi

	-	Senza ciclo intermedio	Con coltura intercalare	Senza ciclo intermedio	Con ciclo intermedio
PBP [anni]	5	4	3	5	4
IP ₁₀	79.80%	127.9%	309.60%	79.80%	143.40%
VAN ₁₀ [k€]	776.3	882	2135	776.3	1166

Tabella 34 Risultati del piano d'investimenti adoperando cicli produttivi intermedi nel piano di coltivazione.

Si passa ora alla valutazione del piano di investimenti e analisi attraverso i criteri di convenienza adoperando un la tecnica della concimazione carbonica. L'incremento delle spese è dovuto principalmente all'acquisto della CO₂ liquida e all'impianto d'illuminazione LED. L'impianto d'illuminazione incrementa in modo significativo il capitale d'investimento iniziale per entrambe le soluzioni studiate. Mentre la spesa annua legata al sistema di distribuzione della CO₂ all'interno della serra ha un peso marginale, solo 30000 €/anno per ambedue piani di coltivazione. Con queste spese aggiuntive ci si aspetta un incremento della massa prodotta del 17%, oltre all'incremento della PLV, con un'ottima gestione del processo di concimazione carbonica, si riesce velocizzare la fase di fioritura e maturazione dei frutti. L'analisi si è effettuata sulla configurazione dei piani di coltivazioni con cicli intermedi o colture intercalari, e quindi si valutano i risultati di una combinazione delle soluzioni migliorative proposte nel capitolo precedente. Tutti vantaggi che portano ad avere un flusso di cassa a fine anno maggiore.

Nel complesso, come risultati dell'analisi del business plan (Tab.35), i tempi di ritorno dell'investimento con concimazione eguagliano quelli che sono i payback period degli investimenti senza, con una differenza di un VAN, a fine piano decennale, di circa 1 milione di euro aggiuntivi. Questo incremento del flusso di cassa si osserva in entrambi i casi, sia considerando la concimazione per la fragola sia per il cetriolo/pomodoro.

	<i>Lattuga senza concimazione</i>	<i>Fragola + Fagiolini</i>	<i>Cetrioli + Pomodori</i>
<i>CapEx tot [k€]</i>	975.9	1134.1	1460.6
<i>OpEx tot [k€/anno]</i>	209.4	250.2	355.3
<i>PBP [anni]</i>	5	3	4
<i>IP₁₀</i>	79.80%	301.80%	148.70%
<i>VAN₁₀ [k€]</i>	776.3	3423	2170

Tabella 35 Resoconto del piano d'investimenti della coltivazione in fuori suolo implementando la tecnica della concimazione carbonica per alcuni ortaggi.

Si puo concludere che ,dalla valutazione di tale business plan, optare per un ulteriore investimento per un sistema atto ad incrementare la PLV, non riduce i tempi di ritorno dell'investimento, ma risulta un beneficio a lungo termine. Con questa soluzione si introducono ulteriori spese variabili e costi fissi per ammortare gli impianti e le nuove strutture, passaggi che aumentano la soglia di pareggio per la vendita dei prodotti. Per la coltivazione della fragola il nuovo prezzo di pareggio risulta di 3.33 €/kg (prezzo break-even nell'investimento precedente risultava di 2,96 €/kg), analogo per il cetriolo che passa da 0,49 €/kg al nuovo prezzo di pareggio di 0.61 €/kg. Introducendo altri rischi per l'investimento vengono ad abbassare quella che rappresenta la flessibilità del prezzo di vendita. Bisogna, quindi fare particolare attenzione nella valutazione della sostenibilità del nuovo investimento, tutto relativo al costo futuro delle bombolette a CO₂ liquida.

10.1 Incentivi

Sono brevemente affrontati gli aspetti associati agli incentivi per le risorse rinnovabili e soprattutto quelli disponibili per i sistemi serra contemplati dai Decreti Ministeriali del 28 dicembre 2012, denominati Certificati Bianchi e Conto Termico.

L'efficienza energetica è al centro della Strategia "Europa 2020" dell'UE per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva e della transizione verso un'economia basata su un uso

efficiente delle risorse per rafforzare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e ridurre le emissioni di gas a effetto serra. L'efficienza energetica costituisce un elemento fondamentale della politica energetica europea. I principali strumenti normativi per gli Stati Membri dell'UE sono:

- il Pacchetto 20-20-20 Clima e Energia (20% di risparmio energia, 20% di riduzione CO₂, 20% di rinnovabili)
- il Libro verde sull'efficienza energetica - Strumento attraverso cui la Commissione europea invita le autorità pubbliche a rendere i cittadini e le imprese più responsabili in merito al risparmio energetico, premiando i comportamenti consapevoli;
- il Piano d'azione per l'efficienza energetica - Un set di proposte operative per migliorare del 20% l'efficienza energetica entro il 2020.

In particolare, i diversi settori sono regolati dalle Direttive e Regolamenti:

- Direttiva 2006/32/CE: Direttiva ESD (Energy Service Directive) concernente gli usi finali e i servizi energetici;
- Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia;
- Direttiva ErP 2009/125/CE: direttiva ErP (Energy related Products) riguardante la progettazione di prodotti che consumano energia o che influiscono sul consumo di energia;
- Direttiva 2010/30/UE: Direttiva per l'etichettatura dei prodotti che consumano energia;
- Direttiva 2009/28/UE: Direttiva sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili .

Fonti: www.enea.it; www.energiaenergetica.enea.it; RAEE, 2012; RT/2010/27/ENEA.

11 SOLUZIONE IMPIANTISICA PER FORNIRE ENERGIA AL SISTEMA SERRICOLO.

Nel momento in cui si vuole ipotizzare un impianto a servizio della struttura sericola di coltivazione degli ortaggi, si ha la necessità di studiare quelli che sono i fabbisogni energetici e, quindi, quali fra le soluzioni a disposizione possono essere adoperate nello specifico per la serra in esame. Tale studio si concentra sulla soluzione di coltivazione della fragola, con un ciclo produttivo intermedio di fagiolino, e come si è valutato nel capitolo delle soluzioni migliorative dei ricavi dall'investimento, si prende in considerazione la possibilità di effettuare il processo della concimazione carbonica. Tale scelta viene condizionata dall'alto tasso di convenienza per un investimento decennale.

Una soluzione impiantistica in grado conseguire le condizioni climatiche interne obiettivo e di uniformare il più possibile la temperatura, l'umidità relativa dell'aria contenuta all'interno della serra, alimentare l'ambiente con CO₂ e fornire al tempo stesso energia elettrica al sistema di gestione e impianto dell'illuminazione artificiale è costituita da una soluzione di motore cogenerativo collegato ad un sistema per il trattamento dei gas di combustione. La sfida principale è ottenere una completa copertura dei fabbisogni energetici dal singolo funzionamento del sistema, senza averne a disposizione un secondo impianto ausiliario. Oltre a ciò, va studiata la periodicità della richiesta termica, elettrica e l'alimentazione con CO₂, fattori che sono in relazione al piano di coltivazione, tipologia di struttura e ubicazione della struttura.

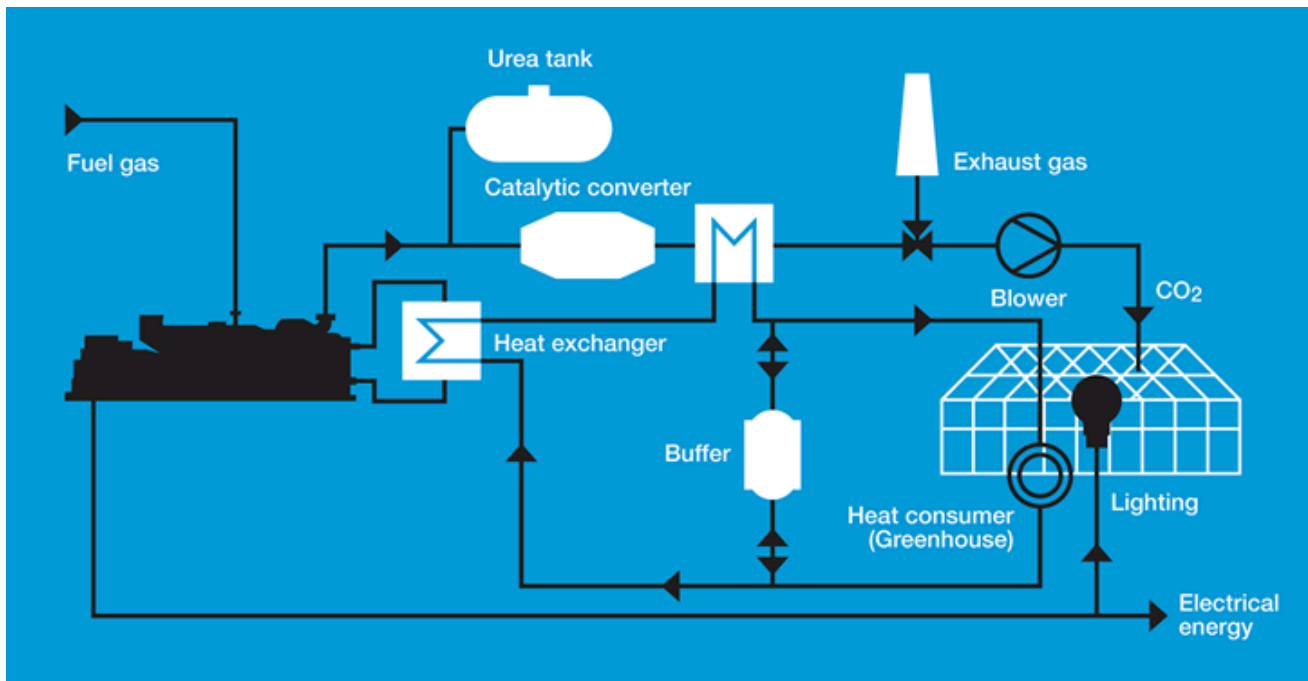


Figura 29 Esempio di schema di funzionamento di un impianto cogenerativo a servizio di una serra.

Per lo studio si fissano le condizioni esterne pari a quelle relative alla località di Padova, aspetti fondamentali per l'analisi modificando alcuni parametri, come l'irradiazione, orientazione spaziale della serra, parametri termo-igrometrici obiettivo e materiale di copertura. I risultati mettono in luce la dipendenza delle potenze in gioco dalle caratteristiche proprie della serra e possono guidare nella scelta delle soluzioni migliori nell'ottica di ridurre il consumo energetico per la climatizzazione.

La presente trattazione si propone, inoltre, di fornire un'idea dei costi associati ai dispositivi adibiti alla climatizzazione e alle loro richieste per il funzionamento durante tutto l'arco dell'anno. Non si cerca di implementare le spese correnti nella valutazione di un eventuale piano d'investimenti, in quanto questa configurazione ha il vantaggio di godere di incentivi locali e nazionali, quali Ritiro dedicato e Scambio sul posto (testo di riferimento riferito alla delibera 280/07 dell'AEEG, contenete le "Modalità e condizioni tecnico economiche per il ritiro dell'energia elettrica" e relativo Allegato A), incentivi per cogenerazione ad alto rendimento (CAR), Certificati bianchi o altre forme di detrazioni.

11.1 Microclima nell'ambiente serricolo

I parametri microclimatici in una serra che maggiormente influenzano la fisiologia delle piante sono la temperatura, la radiazione, l'umidità dell'aria, il vento e le concentrazioni di CO₂. La temperatura influenza direttamente la velocità di tutte le reazioni biochimiche delle piante (come per esempio la respirazione, la fotosintesi, le altre reazioni anaboliche e cataboliche, ecc.), modulando numerosi fenomeni macroscopici (crescita, traspirazione, ecc.). La gestione ottimale delle produzioni vegetali in ambiente protetto è fortemente condizionata sia dai fattori climatici interni (temperatura dell'aria, ventilazione, umidità relativa, radiazione solare e illuminazione, sanità vegetale) sia dalle interazioni tra i diversi fattori in rapporto alle condizioni microclimatiche (soprattutto dalle interazioni tra radiazione solare, luce, temperatura, umidità) nei vari stadi di crescita e sviluppo fisiologico e produttivo.

11.1.1 Temperatura

Le piante con il processo chimico della fotosintesi convertono l'anidride carbonica (CO_2) e l'acqua (H_2O) in materiale vegetale mediante l'impiego dell'energia luminosa che proviene dal sole. In questo modo, l'energia si conserva sotto forma di sostanza organica (zuccheri, grassi). Le piante con il processo chimico della respirazione producono l'energia di cui hanno necessità per tutte le attività che sono indispensabili per i processi di crescita, sviluppo e produzione di biomassa degli organismi vegetali. Per ognuno di tali processi è possibile individuare un livello termico minimo ed uno massimo, al disotto ed al disopra del quale il processo in esame si interrompe (Figg.30-31-32). Per ogni processo è inoltre individuabile una temperatura ottimale alla quale il processo stesso avviene alla massima velocità. I livelli termici ottimali sono funzione della specie, della cultivar e della fase di crescita in cui si trova la coltura. (Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014)

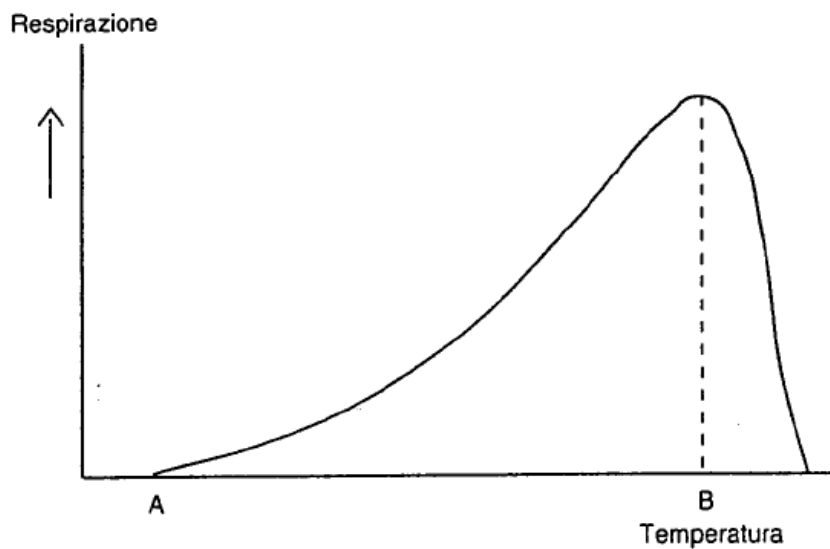


Figura 30 Il p.to A è il minimo di temperatura al quale la pianta può sopravvivere. La respirazione aumenta con la temperatura fino al p.to B (circa 40°). Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.

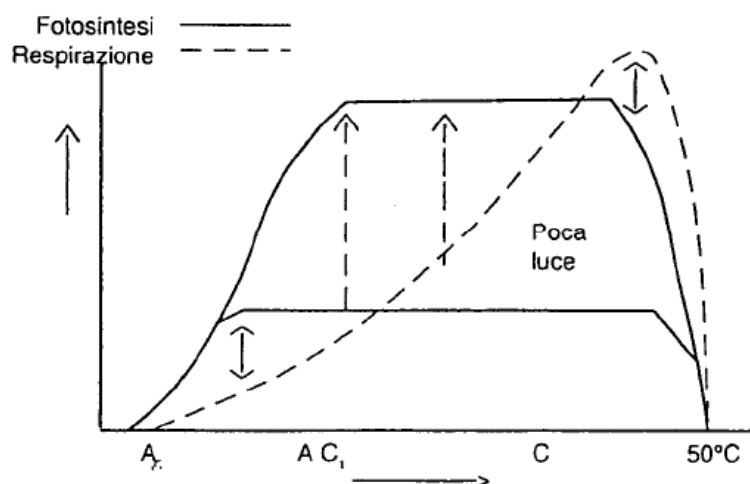


Figura 31 A basse temperature la fotosintesi aumenta più rapidamente della respirazione. Alla temperatura A si ha la differenza più grande ed alla temperatura C non sono più disponibili gli zuccheri per la crescita.

Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.

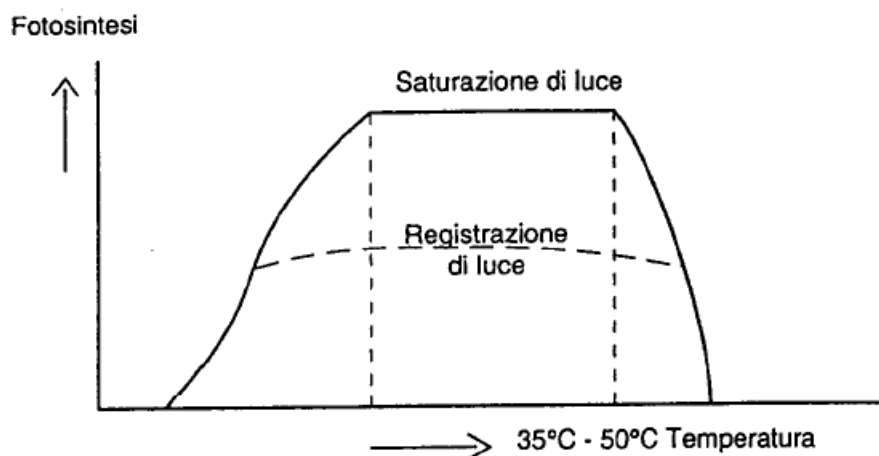
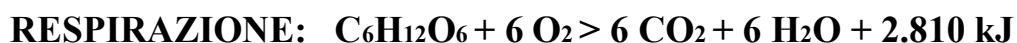


Figura 32 All'inizio la fotosintesi aumenta con l'aumentare della temperatura, poi diminuisce al di sopra dei 35°C e la pianta muore a circa 50°C. Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.

In modo semplice possiamo esprimere i due processi (fotosintesi e respirazione) con la seguente equazione:



La temperatura dell'aria che si registra nei sistemi vegetali protetti è funzione di una serie di scambi termici (irradiazione, convezione, conduzione, rinnovamento dell'aria, ecc.) che avvengono con l'ambiente esterno tramite le pareti della serra e con il terreno. Le dispersioni attraverso le pareti possono essere ridotte scegliendo materiali plastici di copertura, impermeabili alle radiazioni IR lunghe ri-emesse dall'interno dell'ambiente protetto (effetto serra), al fine di creare un microclima di *comfort* per le piante coltivate (Tab. 37).

La temperatura costituisce la variabile più importante per il microclima di una serra. In particolare, la maggior parte delle piante allevate in serra si adattano ad una temperatura ottimale tra 17 °C e 27 °C, con estremi di 10 °C e 35 °C. Fino a temperature esterne di 27 °C, il controllo della temperatura interna mediante semplice ventilazione non crea problemi agli agricoltori, mentre in presenza di temperature esterne più elevate (30-35 °C per periodi prolungati) è necessario intervenire mediante raffrescamento artificiale al fine di mantenere un microclima funzionale alla fisiologia vegetale delle piante coltivate.

Specie	Temperatura massima biologica (°C)	Temperatura ottimale diurna (°C)	Temperatura minima biologica (°C)	Temperatura min. letale(°C)
Pomodoro	26-30	22-26	12-15	0-2
Cetriolo	28-32	24-28	12-14	-1
Melone	30-34	24-30	13-15	0-1
Zucca	30-34	24-30	12	0
Fagiolino	28-35	21-28	12-14	-1-0
Peperone	28-32	22-28	11	0-2
Melanzana	30-32	22-26	11	-
Lattuga	25-30	15-20	10-13	-2-0
Fragola	25-30	18-22	4-8	-2

Tabella 36 Temperatura biologica e temperatura minime per specie di piante orticole. [Fonti da rielaborazione dati: MISE-ENEA, DAFNAE-UniPd, Centro sperimentale P. Martucci dell'Università di Bari]

A livello cellulare/tissutale tutte le specie hanno un range di temperatura all'interno del quale possono sopravvivere. Sotto questa temperatura inizia a formarsi ghiaccio entro i tessuti. Diminuendo l'acqua libera le cellule in pratica disidratano, l'attività metabolica si arresta e i tessuti possono rimanere danneggiati. Inoltre, i cristalli di ghiaccio possono danneggiare direttamente le cellule e comportarne la lisi. Altro effetto fisico: con l'abbassamento della T la membrana cellulare può perdere di fluidità e quindi modificarne la funzione. Inoltre, tutte le reazioni biochimiche catalizzate da enzimi sono termo sensibili: la velocità di reazione anche doppie/triple con l'aumento della temperatura di 10 °C, oltre certi valori inizia il declino e, quindi, lo stop. Le alte temperature sono dannose in quanto influenzano la fluidità delle membrane e possono denaturare le proteine con perdita di vitalità della cellula. (Paolo Sambo e Carlo Nicoletto, DAFNAE – UNIPD, 2019).

- ❖ **Temperatura minima letale:** temperatura alla quale si producono danni irreversibili alle piante con morte in caso di durata prolungata: per la maggior parte delle ortive questo valore varia tra gli 0 e -2°C ;
- ❖ **Temperatura minima biologica** (o zero vegetativo): t° alla quale la pianta interrompe l'attività vegetativa (no accrescimento), ovvero la produzione eguaglia il consumo, i valori variano da 4 a 14°C , con valori più bassi per la specie come lattuga e fragola;
- ❖ **Temperatura ottimale** : temperatura della notte e del giorno che consentono il massimo accrescimento della pianta, ovvero equilibrio tra produzioni maggiori e minor consumo.
- ❖ **Temperatura massima biologica:** temperatura al di sopra della quale la coltura comincia a manifestare squilibri fisiologici e soprattutto diminuzione di accrescimento e produzione; gli ortaggi tollerano temperature di 30-35 mentre le floricole arrivano a 35-40°C.

La temperatura ottimale del substrato è diversa da quella dell'aria, in genere maggiore; i valori indicativi per le specie meno esigenti sono tra 15 e 20°C .

11.1.2 Umidità dell'aria

L'umidità dell'aria influenza diversi processi fisiologici e biologici delle piante. Le cause di variazione dell'umidità relativa in un ambiente confinato sono da ricondurre principalmente alla evapo-traspirazione delle piante, alla temperatura interna della serra e alla ventilazione, sia essa naturale che artificiale. I valori di umidità relativa in una serra possono essere sia superiori che inferiori a quelli dell'ambiente esterno a seconda della temperatura presente nella serra. Il deficit di saturazione, in inglese Vapor Pressure Deficit (VPD), è dato dalla differenza tra l'umidità assoluta presente nell'aria interna alla serra e l'umidità di saturazione (Tab. 37). La relazione tra le variabili temperatura, umidità relativa e umidità assoluta si individuano attraverso il diagramma di psicrometrico.

Temperatura (°C)	Umidità relativa(%)							
	99	95	90	85	80	70	60	50
15	0,070	0,085	0,171	0,256	0,341	0,512	0,683	0,853
20	0,024	0,117	0,234	0,351	0,468	0,701	0,935	1,170
25	0,032	0,158	0,317	0,477	0,633	0,950	1,269	1,584
30	0,042	0,212	0,424	0,636	0,849	1,273	1,697	2,122
35	0,056	0,281	0,562	0,843	1,124	1,687	2,252	2,811

Fonte: Jarvis, 1992

Tabella 37 Vapor pressure deficit (kPa) a differenti temperature e umidità relativa

11.1.3 Qualità della luce

Ovvero, si intende l'effetto della luce sull'accrescimento delle piante, ed è uno degli aspetti meno conosciuti ed i riferimenti bibliografici a riguardo sono scarsi. La luce visibile (380-780 nm) è il fattore ambientale determinante per l'accrescimento e lo sviluppo delle piante. La luce (proveniente dal sole o da una lampada) sotto l'aspetto fisico può essere interpretata mediante la teoria elettromagnetica ondulatoria (la radiazione elettromagnetica come propagazione nello spazio delle oscillazioni di un campo elettromagnetico e dell'energia che a queste è associata) oppure mediante la teoria corpuscolare (la radiazione elettromagnetica come sequenza di pacchetti di energia chiamati *fotoni*).

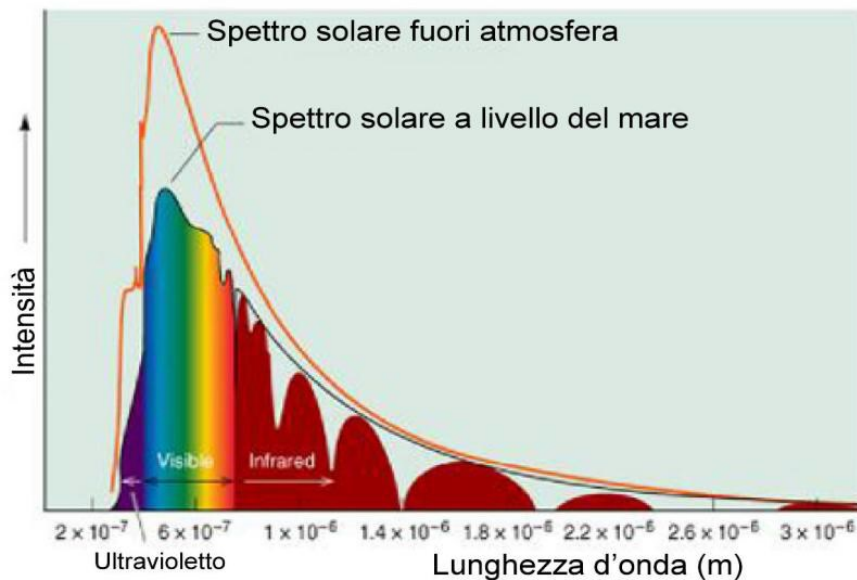


Figura 33 Densità sptrali dell'energia solare sulla superficie atmosferica e terrestre

Il *Committee on Crop Terminology della Crop Science Society of America* (Shibles, 1976) ha sviluppato alcune definizioni specifiche per gli studi sulla fotosintesi:

- ✓ **PAR** (*Photosynthetic Active Radiation*) è la cosiddetta radiazione foto sinteticamente attiva, misurata in $\mu\text{moli}/(\text{s m}^2)$. Le piante utilizzano l'intervallo 400-700 nm, quale corrispondenti a circa 300-400 $\mu\text{moli}/(\text{s m}^2)$.
- ✓ **PPAR** (*Photo-Physiologically Active Region*) è la regione dello spettro responsabile dei fenomeni foto-fisiologici delle piante.
- ✓ **PPFD** (*Photosynthetic Photon Flux Density*) è la densità del flusso fotonico nell'intervallo 400-700 nm e rappresenta, in pratica, il numero di fotoni incidenti a 400-700 nm per unità di tempo sull'unità di superficie. Si misura in $\text{moli}/(\text{m}^2 \text{ giorno})$. Mediamente sul globo terrestre è di 26 moli/m^2 per giorno. La radiazione solare globale che arriva sulla terra a mezzogiorno in una giornata di sole corrisponde approssimativamente a 1800-2000 $\mu\text{moli}/(\text{s m}^2)$.

Si utilizzano le seguenti conversioni:

1 mole, poiché è pari al Numero di Avogadro, definisce 6×10^{23} fotoni definita anche come "1 Einstein" (E). L'irradianza (o illuminazione) si misura in Watt/m^2 oppure in micromoli di fotoni su metro quadrato al secondo ($\mu\text{moli}/(\text{s m}^2)$). Pertanto, i livelli di irradiazione si possono misurare in micro-Einstein oppure in PPF (Watt/m^2). (http://www.egc.com/useful_info_lighting.php).

$$1 \frac{\mu\text{moli}}{\text{s m}^2} = 1 \frac{\mu\text{E}}{\text{s m}^2} = 6 \cdot 10^{17} \frac{\text{fotoni}}{\text{s m}^2} = 0,203 \div 0,219 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Per quanto riguarda la radiazione luminosa per la crescita e sviluppo delle piante la *Tab. 38* riporta i valori consigliati per le diverse specie vegetali.

	Valori PAR	
	[$\mu\text{moli}/(\text{s m}^2)$]	[W/m^2]
Violetta africano	150-250	31.7- 52.8
Piante da foglia ornamentale	150-250	31.7- 52.8
Garofano e crisantemo	250-450	52.8- 95.0
Giglio	250-450	52.8- 95.0
Geranio	250-450	52.8- 95.0
Poinsettia	250-450	52.8- 95.0
Cetriolo	250-450	52.8- 95.0
Lattuga	250-450	52.8- 95.0
Fragola	250-450	52.8- 95.0
Rosa	450-750	95.0- 158.3
Pomodoro	450-750	95.0- 158.3

Fonte: Louis D. Albright, Cornell University; Plant Growth Chamber Handbook, Iowa Agriculture and Home Economics Experiment

Tabella 38 Livelli di luce per diverse specie vegetali

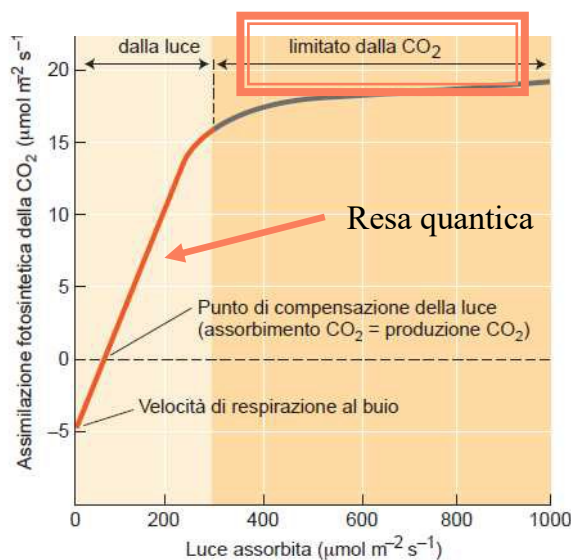


Figura 34 Resa quantica durante la fotosintesi clorofilliana.

C'è una relazione tra la concentrazione di anidride carbonica e disponibilità luminosa. La resa quantica ne definisce il rapporto fra l'assimilazione fotosintetica e l'assorbimento della luce attiva da parte della foglia, in pratica ne definisce la resa fotosintetica della pianta a diversi valori di luce. Dopo certi valori di PAR la resa quantica viene limitata dalla concentrazione della CO₂ disponibile nell'ambiente. L'andamento della resa quantica viene influenzato da diversi fattori come la superficie fogliare, fase di sviluppo delle piante, tipologia di pianta se da sole o da ombra. Inoltre, l'andamento della resa quantica presenta dei limiti biologici per varie tipologie di piante. Nelle *figg. 34-35* vengono illustrati alcuni esempi di andamenti della resa quantica e vari limiti di saturazione luminosa.

Bisogna, quindi, far attenzione ai livelli limiti di saturazione luminosa per la pianta, che viene incrementato con una disponibilità di CO₂ nell'ambiente maggiore, come spiegato nel capitolo

della concimazione carbonica. Ma al superamento di tale limite, la pianta attiva dei meccanismi naturali per poter dissipare un eccesso di radiazione luminosa, entrando così nella fase di fotoinibizione dinamica. In condizioni di eccesso di irradiazione le foglie sono in grado di ridurre l'assorbimento, attraverso un movimento fogliare, variando l'angolo d'incidenza della luce, oppure attraverso il movimento dei cloroplasti.

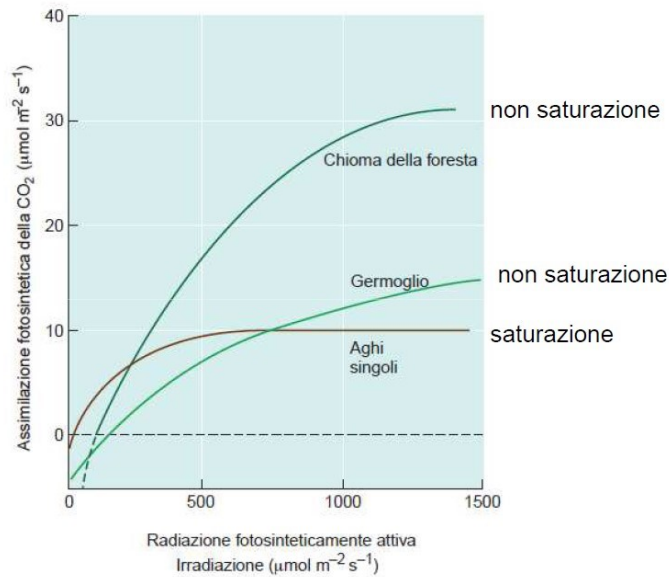


Figura 35 Livelli di saturazione fotosintetica di luce per vari casi di piante.

Le piante normalmente hanno un comportamento neutro nel bilancio termico nell'ambiente serricolo, ovvero non sono elementi che generano calore. Nel caso, però, di eccesso di luce, oltre al danneggiamento e disturbo del processo fotosintetico, si trovano a dissipare calore e quindi contribuire al bilancio termico dell'aria interna.

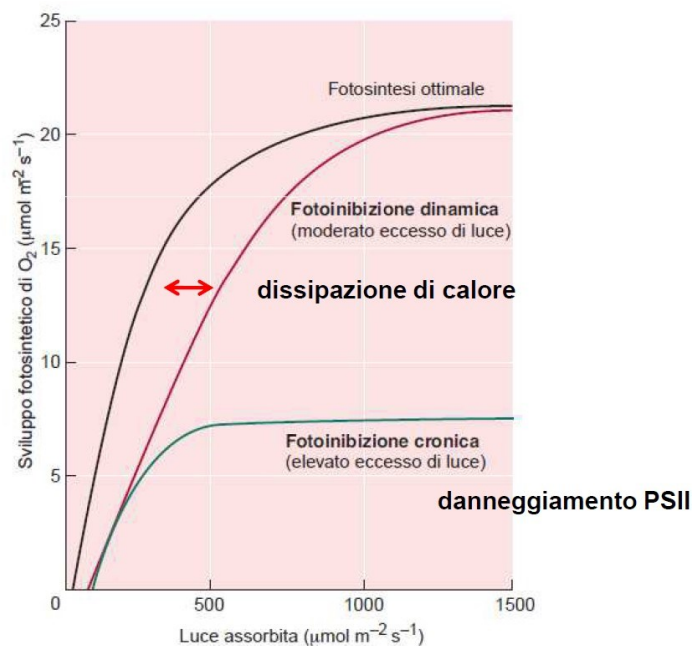


Figura 36 Effetto dell'eccesso della luce sull'andamento della fotosintesi.

In “pieno sole” il flusso fotonico puo superare valori di 2000 $\mu\text{mol}/(\text{s m}^2)$, per le piante eliofile (da sole) la curva “luce/risposta alla saturazione” raggiunge il limite a 1000-1500 $\mu\text{mol}/(\text{s m}^2)$.

11.1.4 La concentrazione ambientale di CO_2

Anche le concentrazioni di CO_2 sono in grado di influenzare la velocità della fotosintesi. In generale, all’aumentare della concentrazione di CO_2 la velocità fotosintetica aumenta fino a un livello di saturazione in corrispondenza di una determinata concentrazione di CO_2 oltre la quale non si verificano ulteriori incrementi di fotosintesi. Una soglia ottimale di CO_2 in serra (da 900 a 1.400 ppm rispetto alla concentrazione di 380 ppm presente nell’atmosfera) è molto importante per la coltura, poiché regola direttamente il quantitativo di fotosintetici prodotti. Se la serra rimane chiusa per molto tempo, gli scarsi ricambi di aria comportano, specialmente nelle ore più calde, una riduzione della concentrazione di CO_2 .

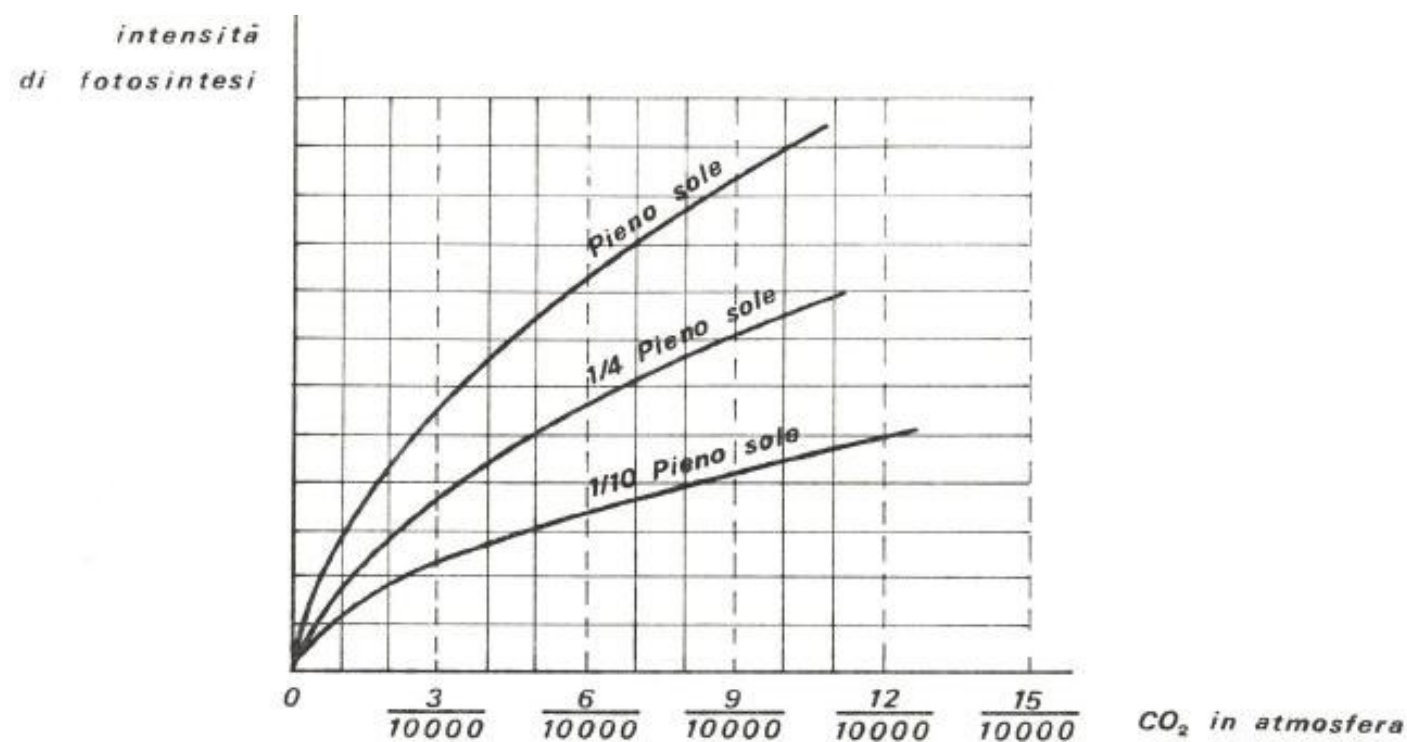


Figura 37 Relazione tra fotosintesi e contenuto di CO_2 in atmosfera. Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.

11.1.5 PAR e Produzione Primaria

La produzione primaria netta (NPP, Net Primary Production) è definita come la quantità di carbonio fissato fotosinteticamente disponibile per il primo livello eterotrofico e, come tale, è il parametro adatto per affrontare le questioni ambientali che vanno dal trasferimento dell’energia trofica all’influenza dei processi biologici sul ciclo del carbonio (Lindeman, 1942).

I modelli per la stima della produzione primaria hanno tra gli input principali la radiazione fotosinteticamente attiva utilizzabile dagli organismi vegetali. Negli ecosistemi serricoli, sono diversi i parametri utilizzati per derivare una serie di grandezze utili a determinare la capacità delle piante di fissare in maniera efficiente la CO_2 , tra cui la temperatura, la disponibilità di acqua e la radiazione PAR assorbita (aPAR), funzione dell’indice di area fogliare e l’efficienza di utilizzo della luce. Un metodo comunemente utilizzato determina la produzione primaria

netta come una funzione della radiazione fotosinteticamente attiva assorbita (aPAR) e una media delle'efficienza d'uso della luce (ε) secondo l'equazione:

$$NPP = aPAR \cdot \varepsilon$$

ε non può essere misurato direttamente, ma deve essere parametrizzato a partire da misure in campo.

Si è ,quindi, definito tutte le condizioni climatiche per ottimizzare l'evoluzione colturale nell'ambiente serricolo. Per riuscire a dimensionare un sistema in grado di garantire tali condizioni, c'è la necessità di definire le caratteristiche fisiche e meccaniche del complesso strutturale.

11.2 Tipologia di serra e materiali di copertura utilizzati.

Si è ,quindi, definito tutte le condizioni climatiche per ottimizzare l'evoluzione colturale nell'ambiente serricolo. Per riuscire a dimensionare un sistema in grado di garantire tali condizioni, c'è la necessità di definire le caratteristiche fisiche e meccaniche del complesso strutturale.

Grazie all'evoluzione nel tempo del settore agricolo in serra, la geometria della struttura sericola ha subito modifiche e miglioramenti, insieme anche ai materiali con cui viene costruita. Nel capitolo in cui si è analizzato l'ambiente di coltivazione e poi si è fatta la valutazione del piano d'investimenti per la coltivazione della fragola si è adoperata una struttura di serra Venlo in ferro plastica. In questo capitolo si intende indagare le caratteristiche costruttive della serra e focalizzare l'attenzione sui materiali usati per realizzare la copertura trasparente.

11.2.1 Struttura portante

Secondo quanto riportato nella normativa per la progettazione delle serre UNI 13031-1:2004, una struttura può essere definita "serra" se:

10. sia adibita alla coltivazione o alla protezione di piante;
11. presenta una copertura che permetta l'ingresso della radiazione solare;
12. sia possibile controllare la temperatura interna, garantendo le condizioni climatiche richieste;
13. le condizioni lavorative al suo interno siano idonee in termini di sicurezza sul lavoro e di dimensioni dello spazio, quest'ultima è garantita da un volume per unità di superficie compreso tra 1,8 e 2 m³/m².

I materiali della struttura portante attualmente più impiegati nelle serre di produzione sono ferro zincato, leghe di alluminio e acciaio. Il primo ha un'elevata conducibilità termica, ma consente una buona coibentazione, grazie alla possibilità di avere uno stretto collegamento tra copertura e struttura, e viene utilizzato in serre di grandi dimensioni. L'alluminio, invece, è molto costoso ed utilizzato soprattutto nei profili porta-vetro. Infine, l'acciaio, possiede proprietà analoghe al ferro zincato, ma è più costoso e ha una durata maggiore. L'impiego di questi materiali permette di ottenere sezioni ridotte e, quindi, maggiore spazio utile e luminosità. Viene considerato, inoltre, la leggerezza della struttura portante con una ridotta superficie ombreggiante e resistenza adeguata a sorreggere la copertura della serra, resistente alle sollecitazioni dovute al vento e ai carichi accidentali.

11.2.2 Elementi trasparenti utilizzabili per la copertura

Serre con tetto a falde piane simmetriche o asimmetriche, dette anche “a padiglione”: presentano un tetto a falde piane sorretto da pareti verticali, la copertura è realizzata utilizzando lastre in vetro o in materiale plastico. Le aperture per la circolazione dell’aria sono posizionate lungo i lati e al colmo. In questa tipologia rientrano le serre Venlo: colonne verticali e una trave orizzontale costituiscono la struttura portante primaria in ferro, sul cui estradosso poggia quella secondaria del tetto; generalmente la copertura è realizzata in vetro o in materiale plastico.

La luminosità di una serra dipende, come già detto, da fattori meteorologici dell’ambiente, dalle caratteristiche della costruzione ed in particolare del materiale di copertura. È noto come qualsiasi materiale di copertura utilizzato rifletta una frazione di luce compresa tra il 20 e 30% a livello della superficie, nel momento in cui i raggi solari la investono con una incidenza normale, simmetrica.

Infatti, disponendo, la falda rivolta a Sud con una inclinazione di 27° sull’orizzontale e l’altra falda situata verso Nord con una inclinazione di 55° si ottiene, secondo dati di letteratura scientifica, una luminosità superiore dell’11% rispetto ad una serra con tetto simmetrico a versanti uguali ed inclinati di 35° . Un ulteriore aumento della luminosità (11%) si ottiene portando sino a 65° la inclinazione della falda che guarda Nord. Quando l’angolo di incidenza dalla posizione suddetta aumenta (da 90° a 180°), le perdite per riflessione si innalzano vertiginosamente fino ad un’incidenza radente (180°). Tali raggi non riescono a penetrare dentro la serra e sono totalmente riflessi dalla superficie del materiale di copertura. Nella pratica è opportuno che la serra abbia un orientamento Est-Ovest al fine di una buona luminosità nel periodo invernale (Fig. 38).

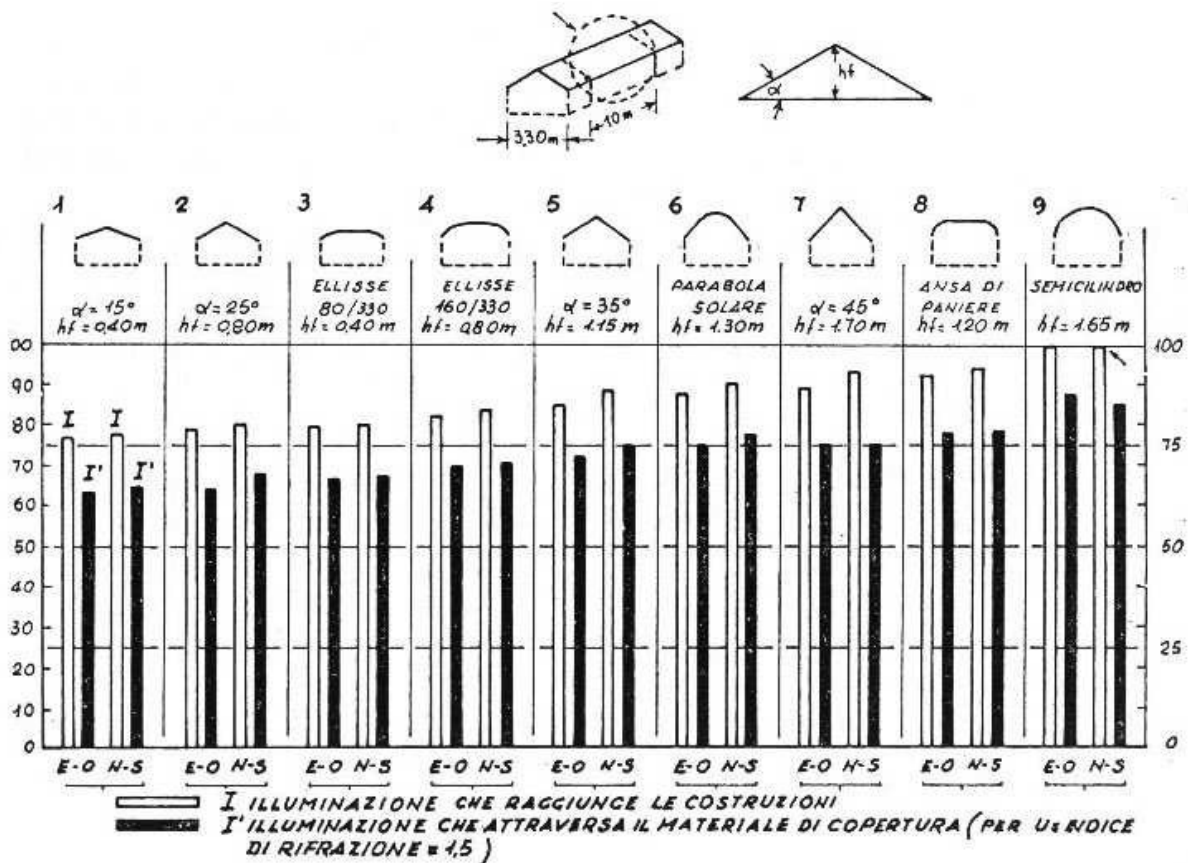


Figura 38 Quantità di luce da una serra in relazione all'orientamento ed al tipo di tetto

Per la struttura in esame quindi si prende il caso di inclinazione falda di 45° e altezza di 1.5 m avendo quindi, malgrado l'orientamento della struttura, un'illuminazione naturale perenne al 75% all'interno della struttura.

11.2.3 Standard europei

Facendo riferimento agli standard europei riguardanti i materiali di copertura due sono le norme che garantiscono la qualità dei materiali di copertura:

1. la UNI EN 13206:2002 “film termoplastici di copertura per uso in agricoltura ed orticoltura”;
2. la UNI 10452:1995 “Lastre ondulate ed alveolari di materiale plastico trasparente, incolore o traslucido per serre ed apprestamenti analoghi. Tipi, dimensioni, requisiti e metodi di prova”.
3. UNI EN 13031-1:2020: ”Serre - progettazione e costruzione - Parte 1: Serre per produzione commerciale”

UNI EN 13206:2002

Tale norma è la versione ufficiale italiana della norma europea EN 13206 (edizione marzo 2001). Sostituisce la UNI 9298 stabilendo le caratteristiche ed i requisiti che devono possedere i film plastici certificati per la copertura delle serre e dei vari tunnel (piccoli, medi e grandi). Stabilisce quali siano i requisiti fisici e meccanici dei film plastici trasparente e diffondente di polietilene e/o di copolimeri, destinati alla copertura permanente o temporanea di serre. La norma prende in considerazione materiali quali LDPE (Polietilene a bassa densità), LLDPE (Polietilene lineare a bassa densità), EVA (Etil Vinil Acetato) e loro mescolanze e ripartisce i film in tre categorie:

- ✓ film normale con buona trasmittanza totale (88-86%) e basso effetto serra;
- ✓ film termico con elevata trasmittanza totale (89-87%) ed elevato effetto serra (55-75%);
- ✓ film a luce diffusa con minore trasmittanza totale (85-80) ed elevato effetto serra (60-75%).

Nella scelta dei film plastici vengono prese in considerazione le seguenti caratteristiche:

- trasmittanza totale alle radiazioni solari (visibili, infrarosso vicino e UV-A), come quantità di radiazione effetto serra, misurato con spettrofotometro nel campo delle radiazioni dell'infrarosso lontano (lunghezza d'onda compresa tra 7.000-20.000 nm) trattenute all'interno della serra;
- resistenza meccanica, valutata come carico di rottura, resistenza alla lacerazione, resistenza all'urto, allungamento percentuale a rottura;
- durata di esercizio, stabilito in base all'allungamento percentuale a rottura del film, che dopo una esposizione prestabilita dalla stessa norma, deve risultare superiore al 50% di quanto stabilito dalla norma ISO 4892-2; i materiali vengono classificati in classi, contraddistinte dalle lettere N, A, B, C, D, E, corrispondenti a film per durata stagionale, annuale, lunga vita, con riferimento alle condizioni di intensità luminosa della Sicilia, la regione che presenta i valori più elevati di tale parametro;
- rispetto ambientale, secondo cui il materiale, una volta cessata la sua funzione:
 - dovrebbe essere raccolto e riciclato, senza procurare danno all'ambiente;
 - uniformità di spessore e larghezza, con tolleranza da $\pm 5\%$ per gli spessori e $\pm 2,4\%$ per le larghezze.

UNI 10452:1995

Tale norma si riferisce alle lastre ondulate ed alveolari a base di materie plastiche trasparenti, incolori o traslucide da impiegare nella copertura di serre. Definisce il profilo, la forma, le dimensioni e le caratteristiche qualitative dei diversi tipi di lastre, indicando i relativi metodi di prova. In particolare, si applica alle lastre di polimetilmetacrilato (PMMA); tipi alveolari e ondulati; policloruro di vinile bi orientato (PVC): tipo ondulato; policarbonato (PC): tipo alveolare (protetto a UV); poliestere rinforzato con fibre di vetro (PRFV); tipo ondulato (protetto UV). Le caratteristiche delle lastre avvengono in base alla trasmittanza totale alle radiazioni incidenti, effetto serra, resistenza meccanica e durata nel tempo in esercizio (per la quale devono essere garantiti oltre 10 anni).

UNI EN 13031-1:2020

La norma specifica i principi e i requisiti per la resistenza e la stabilità meccanica, la manutenzione e la durabilità per la progettazione e la costruzione di strutture a serra di produzione commerciale, comprese le relative fondazioni, indipendentemente dal materiale utilizzato, per la produzione professionale di piante (colture). Gli aspetti relativi alla resistenza al fuoco non sono trattati nella presente normativa.

11.2.4 *Caratteristiche tecniche e costi*

I materiali usati per la copertura della struttura in esame non vengono usate le classiche coperture in vetro, bensì, come suggerisce il mercato, progressivamente viene sostituito da materiali plastici sotto forma di lastre e di teli (*A. Colombo, 07/2020, Coperture e materiali per serre e tunnel*).

I più utilizzati film plastici sono realizzati in cloruro di polivinile(PVC) e polietilene (PE). Il primo riesce a trattenere il calore dall'irradiazione solare maggiore, avendo un'a trasparenza alla radiazione infrarossa lunga di 32% e a quella corta di 90%; però si deforma facilmente. Se si opta per i film in polietilene, che presenta costi inferiori, avendo caratteristiche meccaniche e fisiche migliori del PVC.



Figura 39 Lastre in policarbonato alveolare. Fonte: A. Colombo, 07/2020.

Le lastre in materiale plastico usato per le pareti verticali sono in policarbonato(PC). In commercio, come da normativa UNI 10452, si trova sotto forma di lastre ondulate o in policarbonato alveolare. Materiale resistente all'invecchiamento e conferisce ottimo isolamento termico e elevata resistenza agli urti.

Tipo di materiale	Spessore	Coefficiente di dilatazione lineare	Trasmittanza	Trasmittanza			Peso specifico	Durata	Prezzo medio
				Radiazione e visibile diretta %	Radiazione e visibile diffusa %	Infrarosso %			
Vetro	[mm]	[mm/K]	W/m ² K	89	91	1	[kg/m ²]	[anni]	[€/m ²]
	4	0.005	5.8				11.5	-	8.66
Film Plastici									
PE	0.01		15.6-7.5	91	40	79	0.21	2_3	0.8
PVC	0.1-0.2	10	10.7-5.5	92	91	60	0.12	2_3	4 [€/m]
Lastre rigide									
PC ondulato	1	0.036	5.7	89	20	-	1.2	10	9.38
PC alveolare	8	0.065	3.3	79	20	-	1.55	10	15.12
	10	0.065	2.5	70	20	-	1.75	10	18.48
	16	0.065	1.8	63	20	-	2.8	10	21.61
PVC ondulato	1	0.075	6	79	-	5	1.45	10	10

Tabella 39 Principali caratteristiche fisiche e costi di alcuni materiali di copertura.

11.2.5 Sistemi di ombreggiamento

Ombreggiare una serra è un valido metodo in grado di realizzare un ambiente adatto alla crescita delle piante ottimizzandone la qualità e la quantità prodotta, soprattutto nelle regioni più calde e soleggiate.

Il sistema di ombreggiatura ha diversi effetti:

- protegge le colture dall'irraggiamento da infrarosso e dal conseguente eccessivo innalzamento di temperatura nei mesi più caldi: le piante, infatti, devono ricevere la quantità ottimale di luce solare durante il giorno, ma se l'ingresso di luce è accompagnato da un eccessivo ingresso di calore, l'elevata temperatura che si viene a generare rischia di danneggiarle;
- durante la notte, permette di trattenere all'interno della serra il calore accumulato durante il giorno;
- controlla l'ingresso degli insetti dalle aperture nella copertura, in modo da poter diminuire l'uso di pesticidi, riducendo, però, la capacità ventilante delle aperture stesse.

Il sistema di ombreggiamento più appropriato a seconda dell'esigenza deve essere scelto innanzitutto in relazione alla latitudine alla quale è installata la serra e alla quantità di radiazione solare richiesta dalle piante coltivate in essa. Le condizioni climatiche sono molto diverse tra nord, centro e sud Italia.

Seguendo l'allegato B alla Dgr n. 172 del 03 febbraio 2010 l'ombreggiamento si consegue con i seguenti mezzi:

- la tinteggiatura delle pareti con latte di calce o prodotti alternativi;
- l'impiego di reti ombreggianti all'interno o all'esterno della serra;
- l'impiego di tessuti con funzione di ombreggiamento e di schermo termico.

La tinteggiatura delle pareti, ottenuta utilizzando una miscela di latte di calce e colla vinilica o gesso è un mezzo efficace ed economico con riflessività alla radiazione solare maggiore

dell'80%; che presenta però lo svantaggio di non poter essere regolato in funzione della luce esterna e , inoltre, provocano una riduzione di luminosità anche nei periodi in cui è necessaria un'elevata illuminazione. Peraltro, si rileva che possono sussistere problemi nel recupero della permeabilità delle pareti.

Le reti ombreggianti, posizionate all'esterno o all'interno della serra e costituite in plastica in poliestere ad alta resistenza, garantiscono un ombreggiamento variabile dal 30 al 70% in funzione della tramatura della rete.



Figura 40 Ombreggiamento di una serra ottenuto con reti posizionate esternamente.

I tessuti per ombreggiamento vengono sempre posizionati all'interno della serra, in posizione orizzontale, ad una quota all'incirca corrispondente con la linea di gronda. Essi sono costituiti o da tessuti leggeri di filato acrilico di diverso colore o da tessuti di poliestere o polipropilene (PP) di colore bianco o verde. La loro movimentazione avviene con meccanismi di vario tipo controllati da sensori di luce e di temperatura. L'utilizzo di un telo ombreggiante con funzione di schermo termico (garantita dalla presenza di un materiale riflettente nel lato rivolto verso terra) consente oltretutto di ridurre il volume da riscaldare della serra, a tutto vantaggio del contenimento dei consumi energetici.

11.3 Riepilogo dimensionamento strutturale.

Avendo visto le caratteristiche necessarie della struttura sericola, si passa a descrivere quelli che saranno i criteri costruttivi della struttura per eseguire una coltivazione di fragola, come da piano di investimenti. Le caratteristiche dimensionali principali della serra oggetto di studio vengono riassunte nella *tab. 40*.

Per quanto riguardano i materiali di costruzione per la struttura si è considerata il ferro zincato per la struttura portante e per le arcate. Si è preso in considerazione di fare la copertura in doppio telo in PE offrendo un buon compromesso di costi e caratteristiche fisico-meccaniche. Per la restante superficie laterale vengono impiegate lastre rigide in policarbonato alveolare con spessore di 10 mm.

Per riuscire a contenere l'eccesso di luce nei mesi di forte intensità della radiazione diretta si installano dei teli ombreggianti all'interno con sistema avvolgente a cremagliera che hanno una caratteristica di schermare al 100% la radiazione diretta e al 65% quella diffusa.

Dimensione/Grandezza	Valore
Altezza gronda [m]	2.50
Altezza colmo [m]	1.50
Larghezza del modulo [m]	9.60
Larghezza complesso serricola [m]	105.6
Lunghezza campata [m]	100.0
Superficie Calpestabile [m ²]	10560
Superficie laterale [m ²]	1028
Superficie copertura [m ²]	11000
Volume interno [m ³]	34320

Tabella 40 Riepilogo delle dimensioni della struttura serricola.

Sapendo quelli che sono le caratteristiche strutturali e condizioni del microclima interno da mantenere è possibile andare a calcolare quelli che sono i fabbisogni energetici, che successivamente tali valori verranno utilizzati per dimensionare il sistema cogenerativo.

12 RISORSA SOLARE PER LA SERRA

Il modello utilizzato per la caratterizzazione solare delle località, in termini di latitudine, longitudine e altitudine, con riferimento ai suoi valori di azimut, per definire un valore univoco di irraggiamento medio annuo per metro quadro di superficie orizzontale, è stato quello proposto dall' ENEA-SOLTERM. Il metodo seguito per la stima della componente diffusa dell'irraggiamento è stato quello di *Liu-Jordan*. In alternativa, i valori delle componenti diretta e diffusa su superficie orizzontale, per una qualunque località italiana, possono essere reperiti nella norma UNI 10349 oppure possono essere misurati dalle centrali meteorologiche nazionali.

Irraggiamento: la potenza istantanea che colpisce una superficie, espressa in kW/m²; spesso chiamata anche semplicemente radiazione, radianza od ancora intensità di radiazione.

L'irraggiamento solare al suolo è stato considerato sulla base della somma di tre componenti, diretta, diffusa, e di albedo (riflessa) (*Fig. 41*).

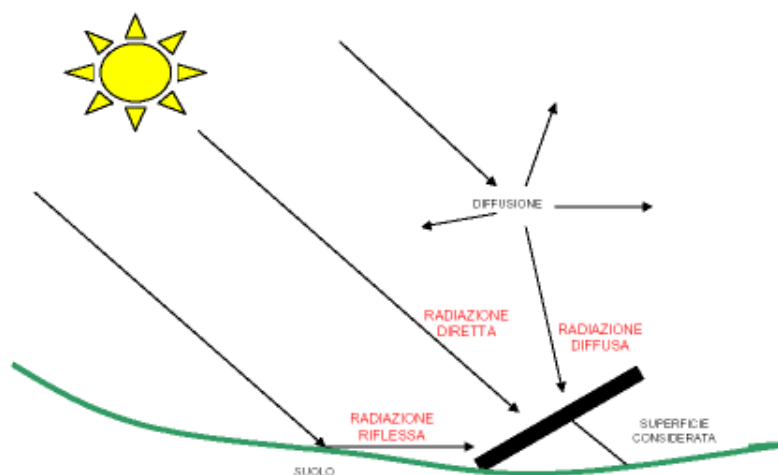


Figura 41 - Componenti dell'Irraggiamento Solare

La domanda di energia sia termica sia elettrica, che su base annua varia in relazione diretta con le utenze energetiche disponibili, è stata considerata in funzione delle caratteristiche climatiche delle località e con il livello tecnologico dei sistemi serra. I dati relativi alla Radiazione Globale delle località geografica sono stati reperiti attraverso la rete *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*, poi rielaborati seguendo il metodo per il calcolo della radiazione incidente (E. Molina Grima et al. : *Journal of Biotechnology* 70 (1999)).

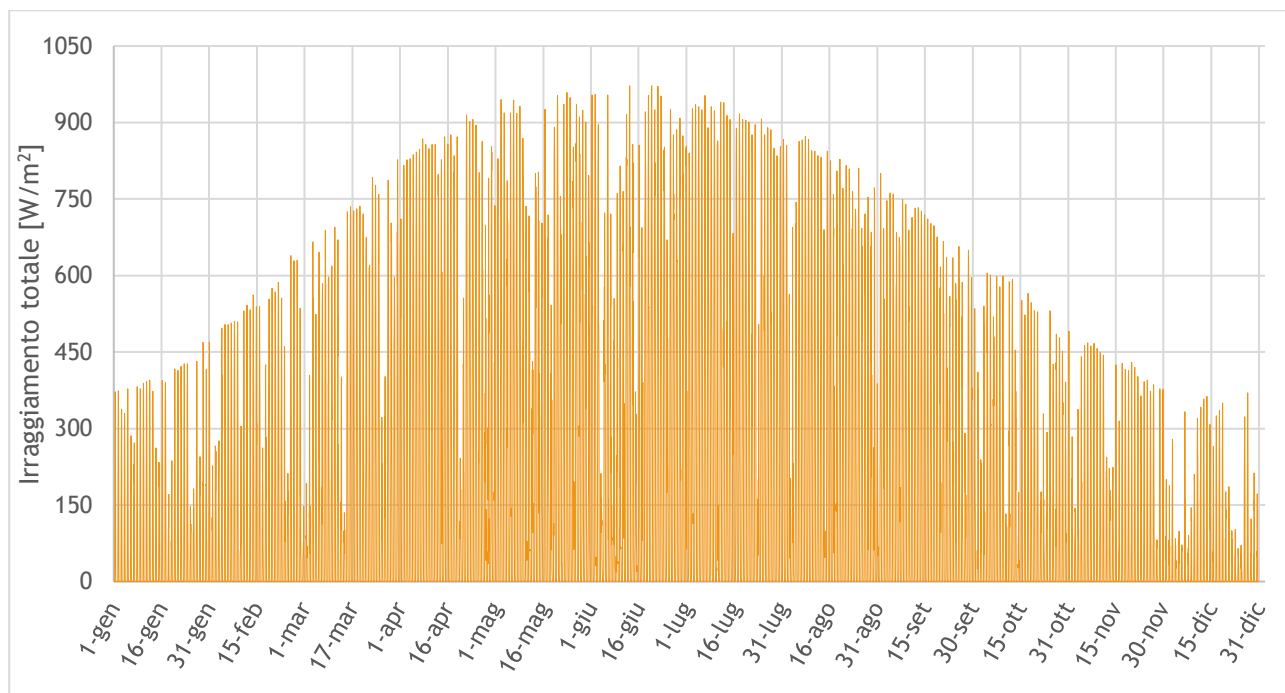


Figura 42 Distribuzione annuale della radiazione su piano orizzontale alle coordinate di Padova. [Fonte: Rielaborazione dati PVGIS-SARAH, dati 2020].

Come è stato considerato nel capitolo delle superfici trasparenti, una parte della luce solare incidente viene riflessa, in relazione all'orientamento della struttura, tipo di tetto e alla tipologia del materiale di copertura. Va oltre, considerato, a seconda delle caratteristiche fisiche dei materiali di copertura, non tutto il fascio di fotoni riesce a penetrare nell'ambiente della serra. nel grafico in *fig. 43* viene illustrata irraggiamento risultato dispersione da parte della struttura di copertura e sistema ombreggiante.

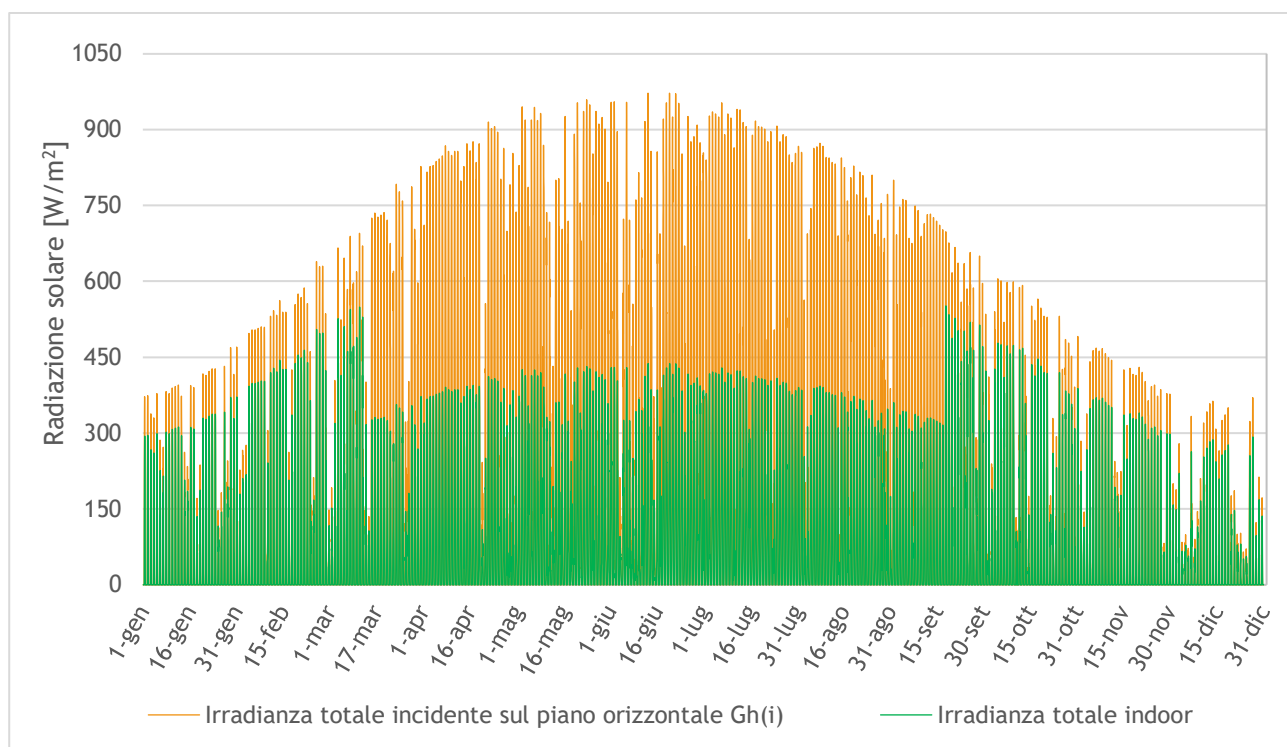


Figura 43 Irradianza solare incedente nell'ambiente serricolo.

La risorsa di luce naturale dal sole rappresenta per l'ambiente un fonte di energia che contribuisce come riscaldamento e fonte luminosa per la coltivazione delle piante. Solo la cosiddetta radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, intervallo spettrale di 400-700 nm), vi è partecipe allo sviluppo colturale della fragola.

11.1. Risorsa luminosa per le piante

Si studia ora il processo per stimare la PAR disponibile per la coltivazione della fragola (Sudhakar et al., 2013). Il valore del PAR varia in base ai fattori di scattering presenti nell'atmosfera, come la presenza di nuvolosità, aerosol, fenomeni di diffusione ed albedo. Quando consideriamo la componente del PAR nel bacino Mediterraneo, i valori più alti del rapporto con la componente solare, sono concentrati nei mesi estivi, corrispondenti a maggiori valori dell'elevazione solare, condizioni meteorologiche più stabili e minor presenza nuvolosa. Il valore mediano del rapporto della componente globale PAR varia da un minimo di 0.417 a un massimo di 0.449. (Tesi di dottorato, 2017). Nel grafico in fig. 44 viene presentato i valori indicativi di PAR disponibili all'interno dell'ambiente serricolo.

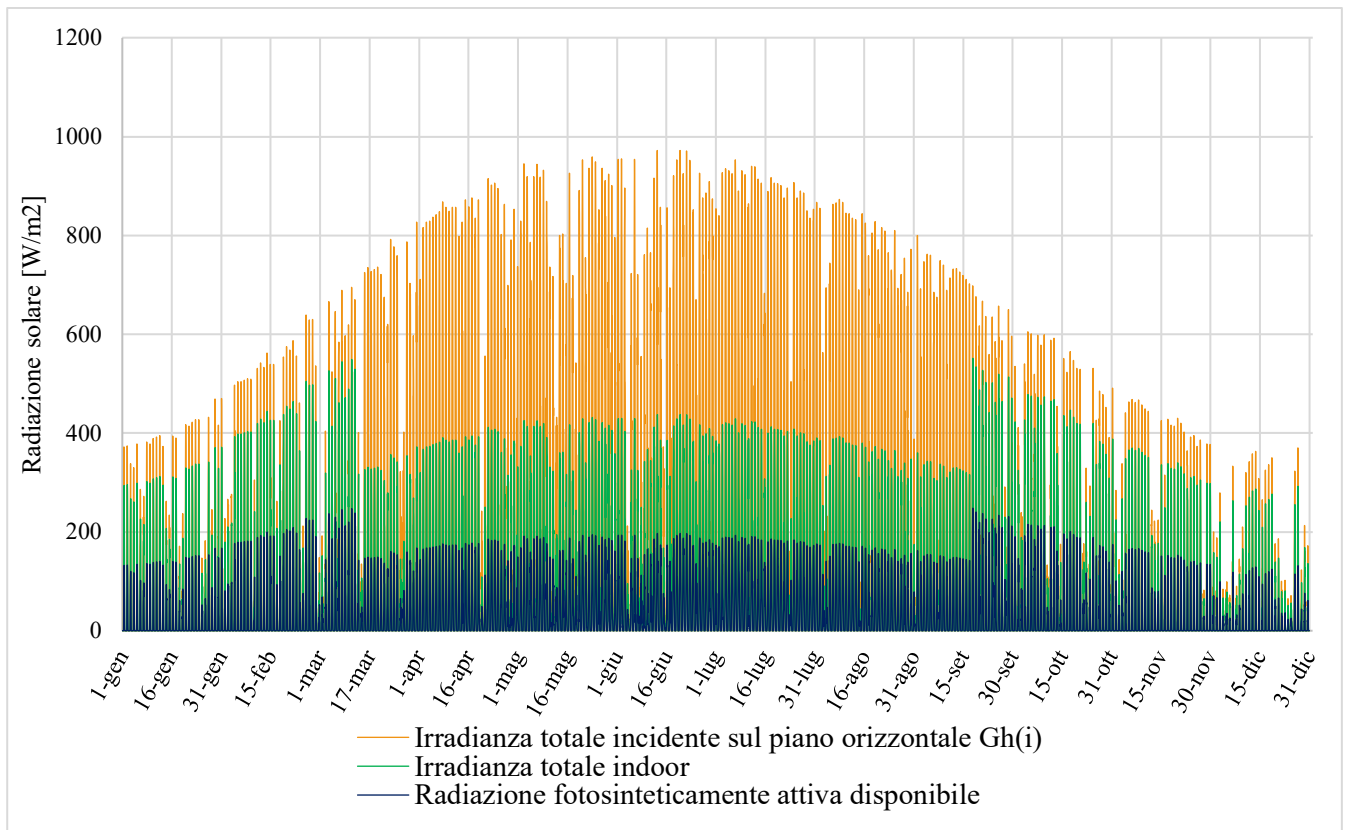


Figura 44 Distribuzione annuale della radiazione solare incidente su piano orizzontale, incidente nell'ambiente serricolo e la radiazione fotosinteticamente attiva presente nel fascio solare.

Determinando la quantità di PAR disponibile nella componente solare, dà la possibilità di conoscere se la luce solare naturale vi è sufficiente per la coltivazione nell'ambiente serricolo. Per determinare la radiazione fotosinteticamente attiva necessaria per la coltivazione della fragola, prendendo i valori indicativi da *Louis D. Albright et al.*, risulta di 250-450 $\mu\text{mol}/\text{s}\cdot\text{m}^2$ (ovvero 53.0-95.0 W/m^2). tali valori sono indicativi nel corso di una giornata con illuminazione di 14 ore. Per riuscire a determinare la distribuzione giornaliera ideale del PAR necessario per la coltivazione della fragola, prendendo come riferimento il periodo di sviluppo culturale naturale della fragola, si osserva la distribuzione solare giornaliera una giornata di fine aprile.

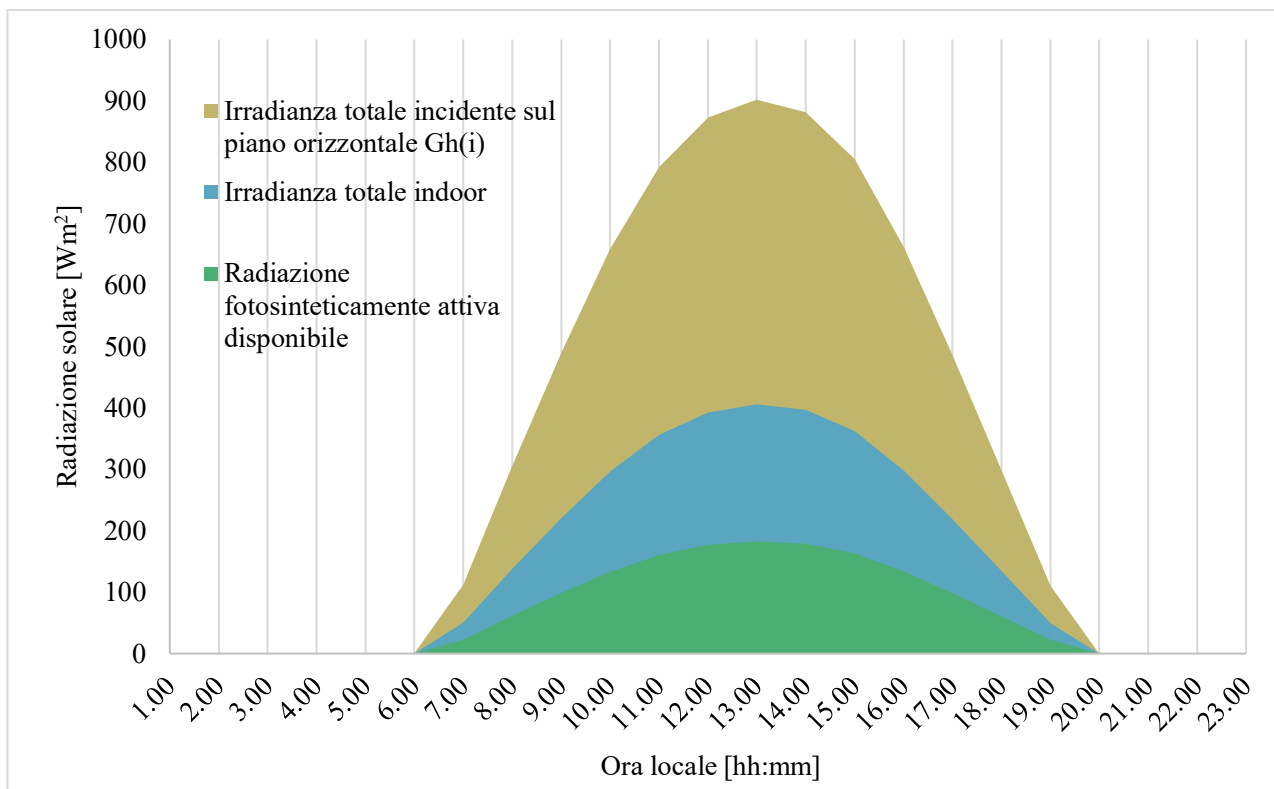


Figura 45 Distribuzione oraria della radiazione su piano orizzontale, totale nell'ambiente e PAR disponibile coordinate di Padova nella giornata del 23 aprile. [Fonte: Rielaborazione dati PVGIS-SARAH, dati 2020]

12.1.1 Modello di calcolo della PAR necessaria.

Vediamo come la radiazione solare ha un comportamento omogeneo durante l'arco della giornata. Si ipotizza, che la crescita naturale biologica della fragola ne abbia lo stesso comportamento. Si vuole, quindi, creare un modello di PAR necessario per la fragola in ambiente protetto che ne segue lo stesso comportamento biologico, indicandone le principali caratteristiche comportamentali del sole: tempo di inizio/fine della disponibilità luminosa, intensità massima e periodo totale di illuminazione.

Funzione Gaussiana

In matematica, la funzione gaussiana prende il nome dal grande matematico tedesco Carl Friedrich Gauss, vede molte applicazioni in statistica, che viene definita come "distribuzione normale" come funzione dalla seguente forma:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

per qualunque costante reale x , il parametro μ indica il valore medio della distribuzione, mentre il parametro σ rappresenta la deviazione standard; quindi, σ^2 diventa la varianza della distribuzione.

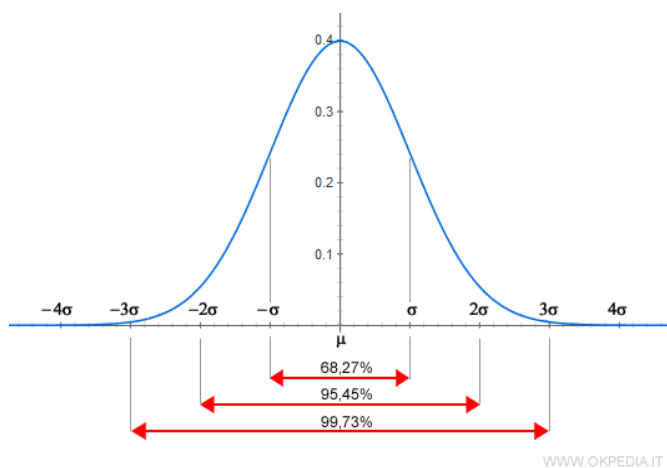


Figura 46 Esempio di distribuzione normale di Gauss.

Si può quindi interpretare il comportamento della distribuzione della radiazione solare come una “*Distribuzione normale di Gauss*”, avendo come valore medio μ l’ora della culminazione solare e come varianza $2 \cdot \sigma^2$ il periodo necessario per l’illuminazione. Per il calcolo del PAR necessario per la coltivazione della fragola viene indicato, da *Louis D. Albright et al.*, il valore massimo di $95,0 \text{ W/m}^2$ e dalle 12 alle 14 ore di esposizione alla luce.

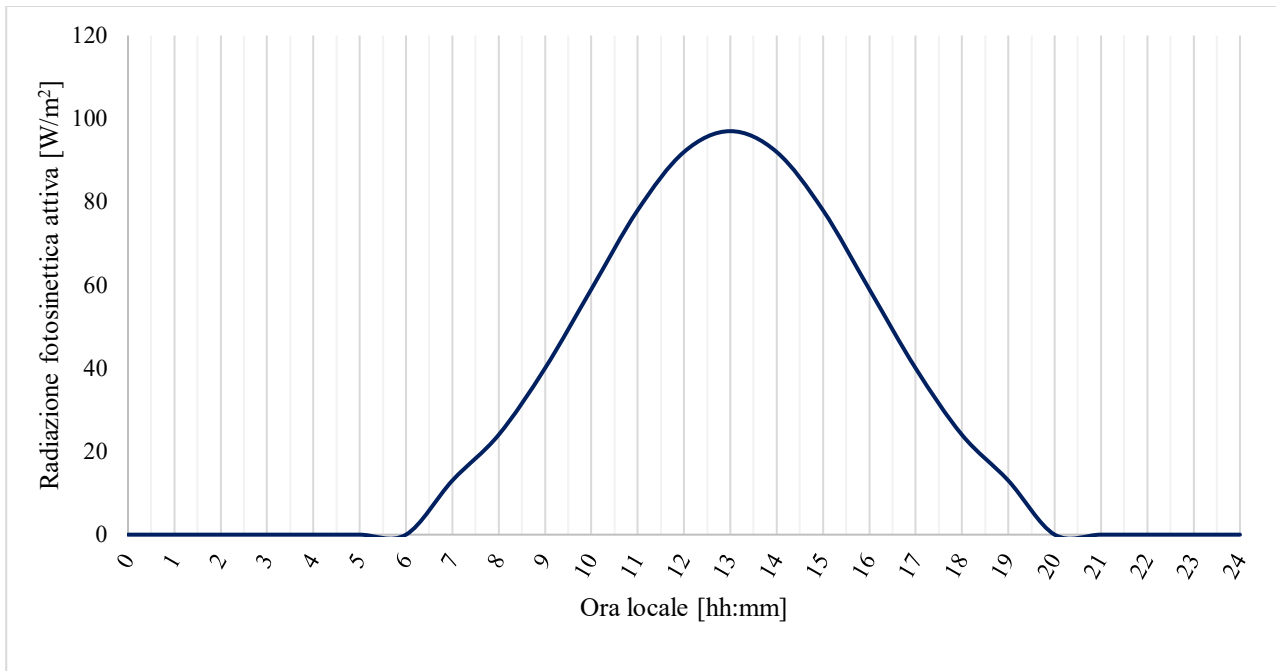


Figura 47 Distribuzione giornaliera della radiazione fotosintetica attiva necessaria per la crescita biologica della fragola.

Osservando altre giornate dell’anno, la PAR solare incidente all’interno dell’ambiente serricolo non soddisfa le richieste per ottimizzare la crescita della coltura (*fig. 48*), in molti di questi casi la lunghezza del periodo di intensità luminosa è inferiore a come indicato nel caso di illuminazione ideale per una giornata di sviluppo biologico della fragola.

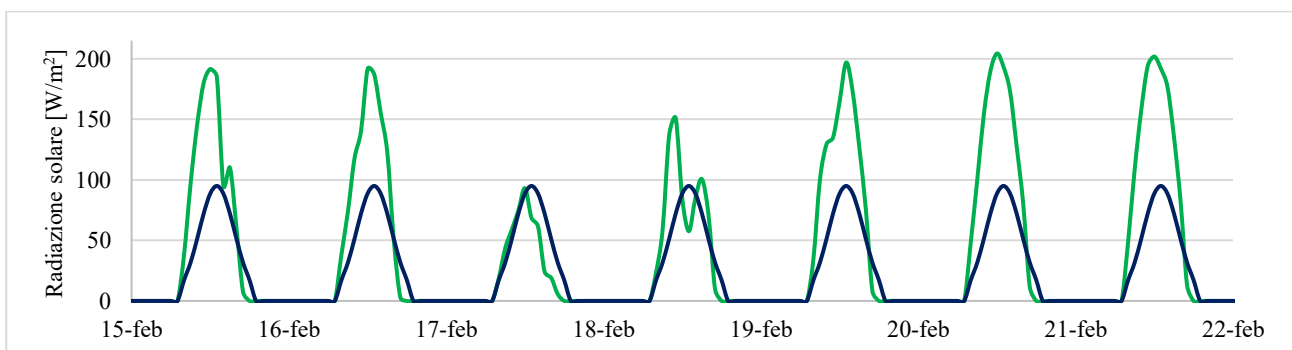


Figura 48 - PAR disponibile(verde) e PAR richiesta (blu) durante la 3° settimana di febbraio.

Nel periodo invernale e tardo autunnale va ribadito che le giornate si accorciano ed è evidente come l’insufficienza del periodo di luce solare diventa insufficiente per soddisfare la richiesta colturale. In queste giornate di inadeguata distribuzione della luce fotosintetica attiva la pianta riduce le proprie capacità di sviluppo biologico e, a volte l’interruzione del processo se per periodo prolungato.

12.1.2 Calcolo intensità dell'illuminazione artificiale

L'intervento proposto è quello di fornire luce artificiale durante il periodo di insufficiente intensità della PAR come all'inizio/fine giornata oppure nelle giornate di forte nuvolosità, pioggia o nebbia fitta. La luce artificiale nei complessi serricoli viene fornita da impianti di illuminazione.



Figura 49 Serra con illuminazione artificiale. [Foto di Carlo Alberto Campiotti].

Come integrazione alla radiazione disponibile dal sole si fornisce attraverso i LED la quantità di radiazione necessaria. Vediamo, come nella *fig. 50* in una settimana di inizio dicembre l'intervento della illuminazione artificiale non solo copre le ore d'inizio/fine giornata, ma ci sono giornate in cui l'impianto fornisce buona parte dell'illuminazione per sostenere la fotosintesi delle piante.

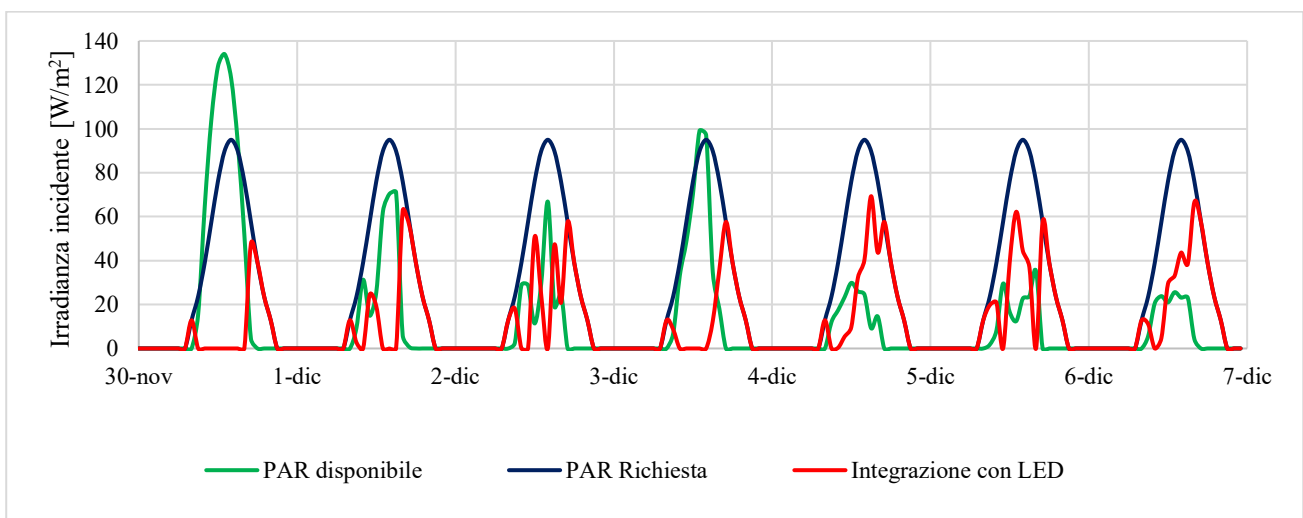


Figura 50 Profilo dell'intensità luminosa integrante attraverso l'impianto a LED, nella prima settimana di dicembre.

Dal profilo di intensità integrante di radiazione PAR attraverso l'impianto a LED si può notare come ha un andamento non programmabile; perciò, si consiglia di gestire l'impianto d'illuminazione attraverso misuratori di luce interna ed irradiazione diffusa esterna. Il sistema

di illuminazione artificiale dovrà essere come sistema ausiliario durante l'intero processo di coltivazione della fragola, nel periodo di piena luce l'impianto di coltivazione viene maggiormente usato per la gestione di un ciclo produttivo del fagiolino, che a differenza della fragola, è meno dipendente dalla luce artificiale.

Si può, quindi, stimare l'intensità di illuminazione artificiale richiesta durante tutto il periodo di coltivazione, osservando l'andamento della PAR disponibile, risultato dalla luce solare.

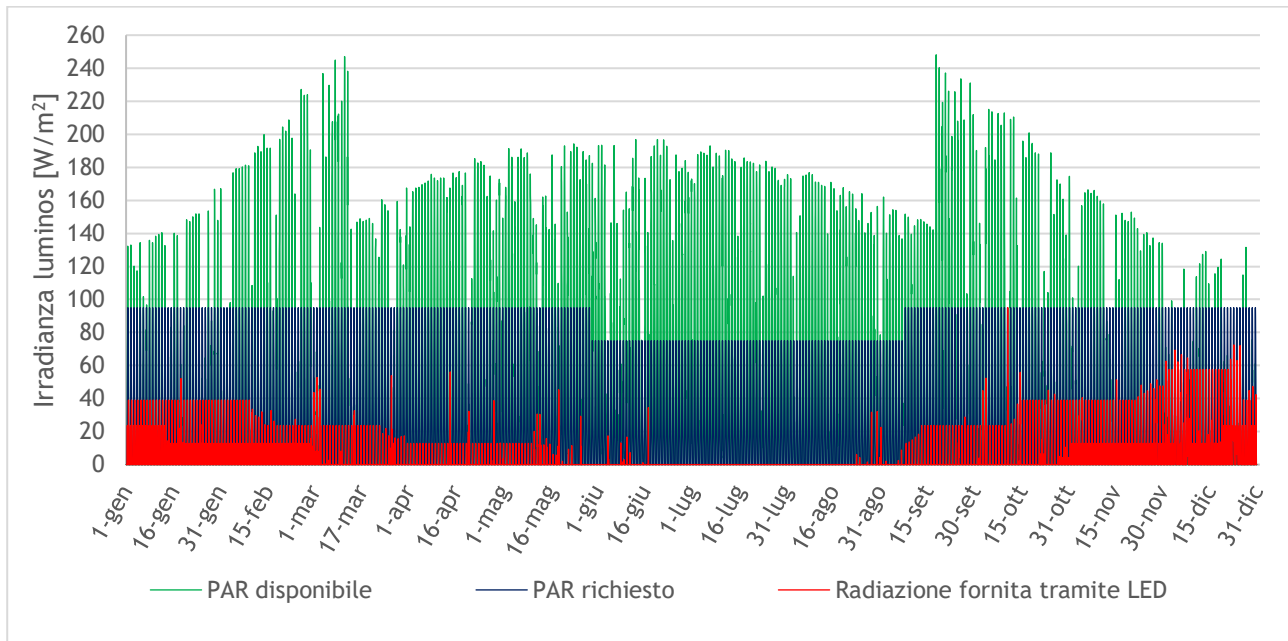


Figura 51 Distribuzione annua della richiesta di radianza luminosa tramite illuminazione artificiale.

Dall'andamento dell'intensità della radiazione luminosa artificiale si osservano dei periodi a valori più o meno fissi; perciò, non si ha un incremento progressivo durante la coltivazione. Non resta che raggruppare e fornire dei valori indicativi per il dimensionamento della taglia dell'impianto d'illuminazione artificiale. Si può, quindi, rielaborare i dati calcolati per studiare quali sono i valori massimi giornalieri dell'irradianza da fornire tramite LED. Oltre a calcolare i valori medi giornalieri, visto la periodicità della richiesta durante l'anno, si può costruire un grafico dei valori medi mensili.

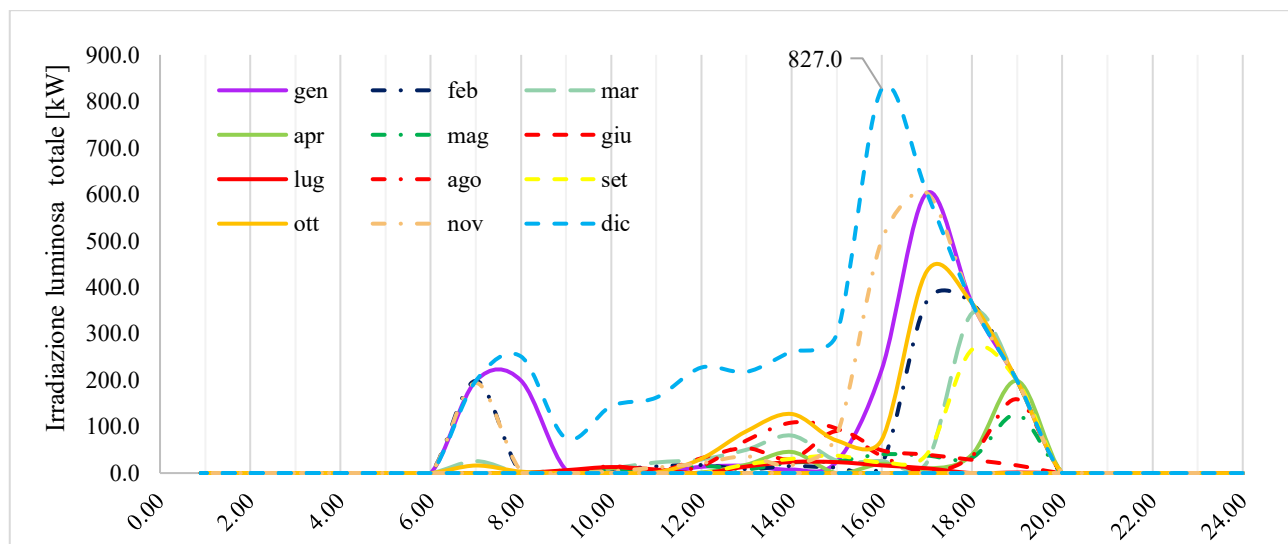


Figura 52 Intensità di radiazione luminosa media mensile a fasce orarie richiesta dalla superficie serricola.

Nei mesi di scarsa luminosità naturale il valore di irradiazione artificiale è maggiore, causa che durante questi mesi si verificano giornate corte con bassa elevazione solare e condizioni meteorologiche instabili. Durante il mese di dicembre, il valore picco medio mensile si verifica alle ore 16.00 con un valore dell'irradianza luminosa richiesta che ammonta a 827 kW.

In generale si consiglia di installare un impianto a illuminazione artificiale che riesca, in condizioni estreme, di soddisfare l'intera richiesta luminosa dagli ortaggi coltivati nella serra.

13 CALCOLO DEL FABBISOGNO ELETTRICO A SERVIZIO DELLA STRUTTURA SERRICOLA

Nel capitolo precedente si è discusso e calcolata l'intensità luminosa da fornire durante la giornata, per l'intero periodo di coltivazione nella struttura sericola. Non resta che calcolare, in base alle condizioni di resa e richiesta di consumo elettrico dall'impianto d'illuminazione artificiale. Preso in considerazione che per l'illuminazione artificiale per le applicazioni di orticoltura vengono consigliate le lampade a luce fredda.

Nella *tabella 41* viene illustrata l'efficienza di conversione elettrica di un LED ad alto rendimento per unità d'irradiazione della pianta. Efficienze elettriche alte di 0.911 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ sono state realizzate quando i dispositivi installati hanno operato ad una corrente diretta di 10mA. Se la corrente diretta applicata all'unità LED aumenta l'efficienza diminuisce. Infatti, l'efficienza di conversione elettrica diminuisce del 18%, se si passa da 10 a 50 mA,

Corrente diretta LED (mA)	Irradianza (W/m^2)	Flusso fotonico ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	Efficienza elettrica ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)
10	215	196	0,91
20	447	394	0,88
30	694	583	0,84
40	952	756	0,80
50	1226	913	0,75

Tabella 41 Efficienza elettrica e flusso fotonico del sistema LED a 5 vari livelli di carico elettrico.

Considerando la superficie da illuminare di 10560 m^2 e una resa elettrica intermedia di 0,80 per singolo LED si riesce ad integrare la potenza elettrica erogata durante l'intero ciclo produttivo della fragola, ottenendo così un consumo di energia elettrica complessiva pari a 365.86 MWh/anno.

Sulla base dei dati raccolti sui consumi medi di energia elettrica dei sistemi serra e rispettivamente quelli sulle potenze medie impiegate nella sericoltura (*Tab. 42*) ai fini della gestione dei sistemi serra sulla base dei dati raccolti in Italia e in Europa si può tracciare un'alea guida per il consumo annuo di energia elettrica complessiva per un investimento a coltura idroponica (*Tesi dottorato di ricerca, UniPa, 2013*).

	Potenza installata [kW]	Primavera [kWh/giorno]	Estate [kWh/giorno]	Autunno [kWh/giorno]	Inverno [kWh/giorno]
Aperture	18	15	4.5	15	2.5
Ombreggiamento	5	0.2	0.2	0.2	0
Irrigazione	20	8.5	16	8.5	4.2
Sistemi di monitoraggio	1	12	12	12	12
<i>Totale</i>		35.7	32.7	35.5	18.7
<i>Totale annuo</i> [kWh/stagione]		13'030.5	11'935.5	12'957.5	6'825.5
Illuminazione	827			391900	
Consumo totale energia elettrica [MWh/anno]			437,2		

Tabella 42 Stima dei consumi elettrici annui per la serra.

Vediamo come la maggior parte dei consumi elettrici (87,90%) vengono impegnati per illuminare e dare supporto alle piante attraverso l'impianto di illuminazione artificiale, e come si è visto tali consumi vengono richiesti nelle ore di scarsità dell'energia solare e con periodicità poco costante, tutto in relazione alla disponibilità della luce durante il giorno.

14 MODELLO DI CALCOLO DELL'ENERGIA TERMICA PER RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO AMBIENTALE.

La serra come struttura protegge le colture orticole dalle condizioni meteorologiche esterne. Siccome, nella serra si è in un ambiente al di fuori dall'ambiente naturale di coltivazione di tali colture, la struttura, deve ricreare le condizioni microclimatiche più favorevoli e adatte alle colture vegetali coltivate nell'ambiente protetto. Con l'obiettivo di ricreare un ambiente microclimatico, adatto allo sviluppo fisiologico ed alla crescita delle piante, si ricorre al condizionamento artificiale della serra, sia per le condizioni climatiche avverse che per l'ottimizzazione della produzione quantitativa e qualitativa. A questo scopo, la determinazione, approssimativa, del fabbisogno termico della serra richiede di calcolare gli scambi di calore principali che intervengono nel suo bilancio energetico.

Per riuscire a calcolare il fabbisogno energetico per la climatizzazione interna dell'ambiente si può fare riferimento al modello di calcolo della scheda 40E. In particolare, si deve tener conto delle perdite di calore in funzione del materiale di copertura, delle caratteristiche dei materiali, della temperatura esterna, della superficie di scambio della serra (superficie delle pareti e della copertura). Alcuni valori dei parametri che intervengono nel calcolo del bilancio energetico di una serra sono costanti o quasi costanti e quindi facilmente determinabili. Viceversa, altri dipendono dalle variazioni della temperatura e dell'umidità, come nel caso della temperatura interna. In particolare, la *fig. 53* illustra i principali flussi e scambi di calore che caratterizzano il sistema serra.

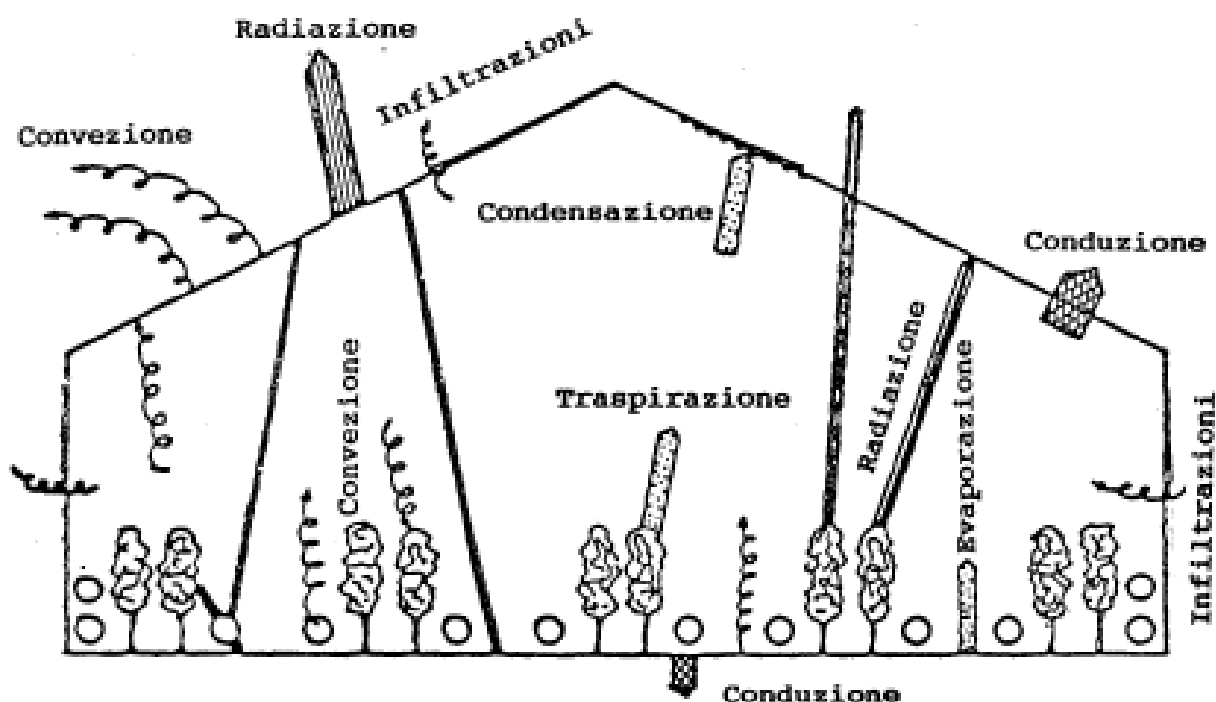


Figura 53 Illustrazione dei flussi energetici nel sistema serra. Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.

Il bilancio energetico della struttura viene, quindi, influenzato da diversi fenomeni fisici non stazionari, come radiazione dal cielo di diversa lunghezza d'onda, si hanno i fenomeni di convezione e irraggiamento all'interno dell'ambiente, diversi fenomeni interni di generazione di calore e vapore acqueo ed altri. Inoltre, si ha una struttura complessa in 3 dimensioni con un ampio volume d'aria e diversità nelle superfici trasparenti e conformità della stratigrafia. Elementi caratteristici di una struttura dinamica, ovvero le condizioni interne variano col tempo.

Il modello di calcolo usato per determinare il bilancio per una struttura simile viene definito come modello dinamico dettagliato, e si esegue tramite funzioni di trasferimento complesse a elementi finiti. Procedura che oggi viene implementata nei softwares per le simulazioni delle strutture (TRNSYS, IDA-ICE, EnergyPlus, ESPR...). Per determinare il fabbisogno termico della serra si effettua una simulazione con il software EnergyPlus.

15 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NEL SOFTWARE DI CALCOLO

EnergyPlus viene presentato come uno Strumento di simulazione energetica degli edifici open source e riesce a fornire risultati dettagliati(i nuovi Standard si orientano verso calcoli orari). Attraverso tale strumento si puo implementare sistemi di riscaldamento, sistemi HVAC, impianti solari termici, fotovoltaici di produzione, sistemi di illuminazione giornaliera, controllo qualità dell'aria e altri. Per riuscire ad utilizzare il software c'è necessità di fornire in modo dettagliato le condizioni esistenti, ovvero la costruzione 3D della struttura, l'andamento orario della temperatura esterna, i vari fattori dinamici che possono influenzare il microclima all'interno dell'ambiente.

15.1 Costruzione del modello geometrico

In primo caso si effettua la creazione dettagliata del modello 3D della struttura (*fig.54*), evidenziando le superfici trasparenti, l'orientamento e superfici oggetto ad ombreggiamenti.

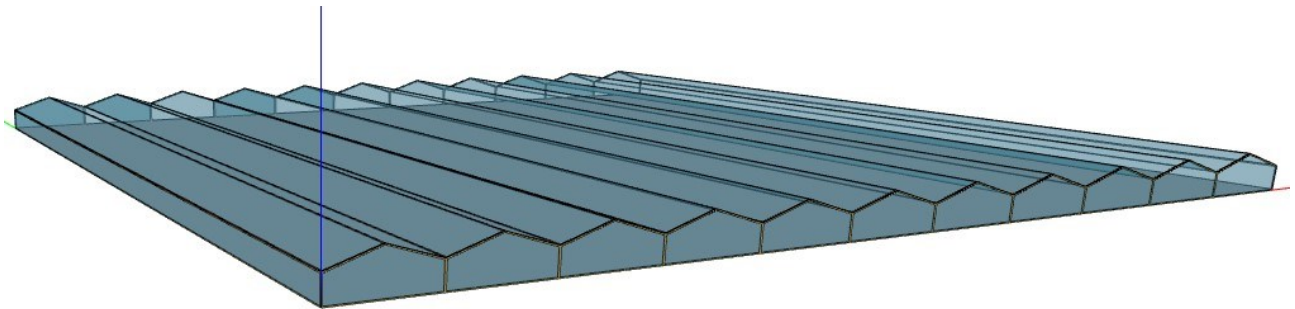


Figura 54 Illustrazione modello geometrico 3D della struttura serricola realizzata con il software Open Studio v.2018.

Si considera una struttura a singola zona di riscaldamento e con orientamento delle falde verso Est-Ovest. Nello specifico caso, il telo ombreggiante viene posizionato all'interno all'altezza della gronda e viene messo in funzione tramite un meccanismo a cremagliera nel mese di marzo quando nell'irradiazione solare la radiazione fotosintetica attiva supera il valore di $1000 \mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$ (ovvero $\text{PAR}\approx 242 \text{ W/m}^2$), tali valori tendono ad attivare i meccanismi foto inibitori cronici nella vegetazione della fragola e quindi danneggiando la pianta, oltre a dare inizio al fenomeno di generazione di calore da parte della superficie fogliare.

Il secondo passaggio, che completa la descrizione del modello geometrico della struttura, è descrivere ed implementare nel software le caratteristiche meccaniche e fisiche dei materiali che compongono l'involucro strutturale. Un'attenzione particolare va posta ai coefficienti di trasmissione dell'irradianza solare sia nel visibile che nell'infrarosso, in quanto, l'intera area delle superfici, non a contatto con la terra, sono di tipo trasparente. La trasmissione nell'infrarosso determina l'impatto dell'effetto serra sulla temperatura dell'aria ambientale, mentre ciò che concerne trasmettere nel visibile, si è vista l'importanza fondamentale per la vegetazione interna nei capitoli precedenti.

Nella costruzione della stratigrafia delle strutture, il software è in grado di determinare i coefficienti di trasmissione del calore delle strutture usate per l'involucro esterno, fattori determinanti nell'individuare le strutture ad alto rateo di perdita di calore. La stratigrafia delle strutture è semplice, le pareti laterali sono composte da un solo strato di policarbonato, mentre il

tetto viene coperta da un doppio telo in PE, da considerare 5 mm di intercapedine d'aria fra uno strato ed un altro.

Il coefficiente globale di scambio di calore U viene, inoltre, influenzato della velocità del vento, di seguito (tab. 43) vengono riportati i valori di U (W/m²K) utili e l'influenza della velocità del vento.

Copertura	Velocità del vento		
	Nulla	Debole*	Forte
Film plastico	8.3	8.3	10.4
Vetro semplice	6.9	7.6	8.7
Doppio strato(vetro plastica)	5.2	5.8	6.9
Doppio strato (vetro vetro)	4.7	4.6	5.8
Policarbonato	3.4	3.9	4.4

**il vento è definito debole quando iniziano a muoversi le foglie*

Fonte: Tesi dottorato,2013.

Tabella 43 Valori di U (W/m²K) per la valutazione del carico termico delle sere.

15.2 Fattori dinamici

Il software riesce a fare un calcolo dinamico del fabbisogno energetico, in relazione alla temperatura desiderata all'interno dell'ambiente, rilevando i dati della temperatura esterna, ma soprattutto determinando gli apporti di calore dai fattori esterni al sistema principale di riscaldamento. Si può, quindi, implementare una schedula di attività dei principali fattori influenti.

La presenza delle persone ,negli orari di gestione della coltura, oltre ad essere considerato come un contributo alla generazione di calore, viene considerato un fattore dell'aumento vapore acqueo interno. Per il livello d'attività degli operatori agricoli, viene stimato una generazione di calore di 120 Wh/persona di cui 58% considerato come calore sensibile emesso. Di seguito (Fig.55) viene illustrata la distribuzione delle presenze degli operatori agricoli nell'ambiente serra nelle giornate lavorative, durante i weekend le presenze sono ridotte s non nulle.

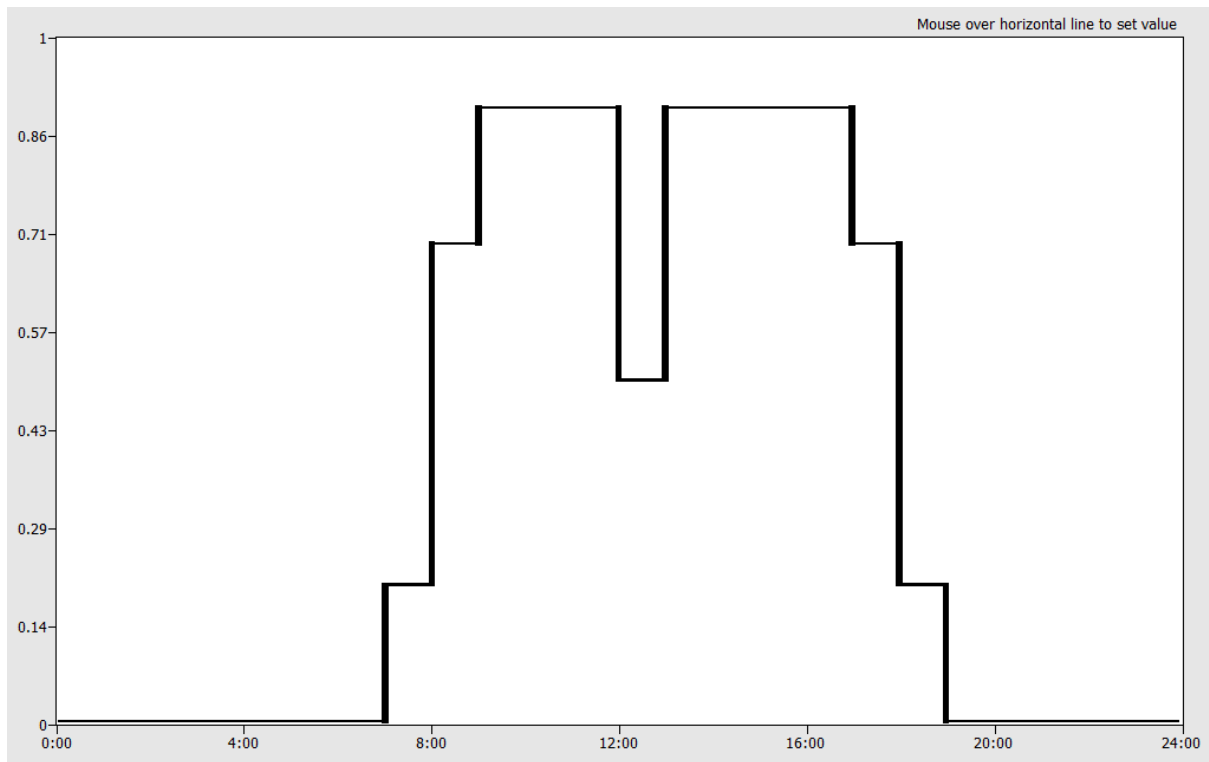


Figura 55 Presenza degli operatori agricoli nell'ambiente serra (valori frazionali, 7 persone = 1,0).

Un altro fattore dinamico di emissione di calore, viene rappresentato dai carichi elettrici, e come nel caso di struttura considerata, il carico elettrico maggiormente influente è rappresentato dalla presenza dell'impianto di illuminazione artificiale, come descritto nei capitoli precedenti l'illuminazione con lampadine a luce fredda sono meno soggette a irradiare nell'infrarosso, e quindi, si ha il vantaggio che non riscaldano quantità significative di calore, le lampadine LED in pieno regime di illuminazione hanno un'emissione di calore di $2-4 \text{ W/m}^2$.

Gli apporti termici attraverso le superfici trasparenti rappresentano il principale fattore positivo nella generazione di calore negli ambienti sericoli, essendo composta da strutture principalmente trasparenti. Si deve ribadire però che nei periodi freddi tali fattori hanno un contributo positivo, mentre nel caso di periodo estivo si ha lo svantaggio di raffreddare ulteriormente

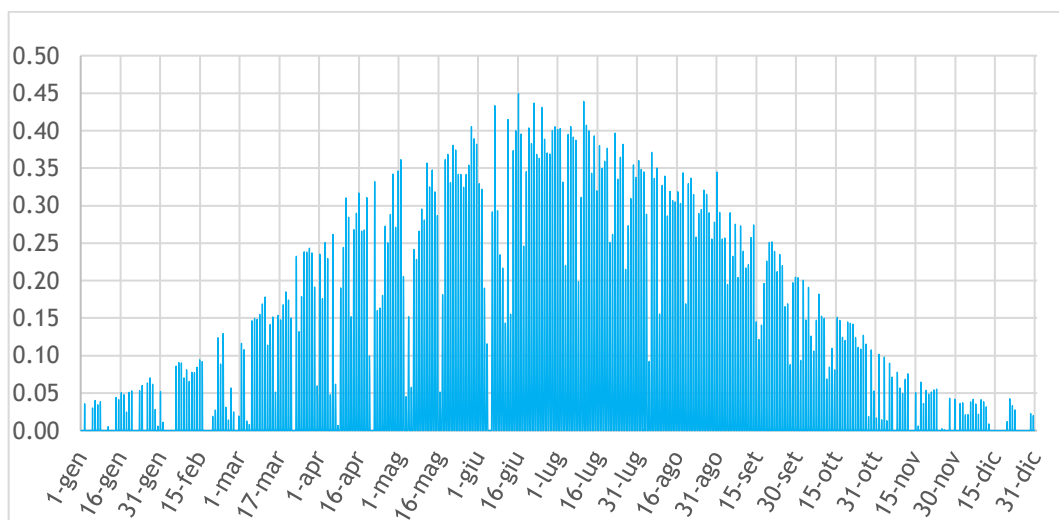


Figura 56 Apporti termici attraverso le strutture trasparenti $[\text{Wh/m}^2]$ per la struttura serra.

15.3 Calcolo del carico termico

Per non creare squilibri nella fase di sviluppo vegetativo, nel caso studio della fragola, la temperatura ottimale durante le ore di luce va mantenuta nel range di 18-22°C e durante la notte si può scendere in un range fra 12-16°C. Mentre nel periodo di coltivazione del fagiolino, come indicato dal MISE-ENEA e considerando, inoltre, che tale coltivazione avviene nel periodo estivo, il range di temperatura giornaliera è di 21-28°C e di non superare la temperatura massima biologica di 28-35°C, mentre per le ore notturne la temperatura va mantenuta fra 12 e 14°C. Vediamo come nei periodi caldi le temperature indicate impongono un forte cambiamento d'aria all'interno dell'ambiente tramite ventilazione, oppure, nelle ore di alte temperature, passare ai sistemi di raffreddamento ambientale.

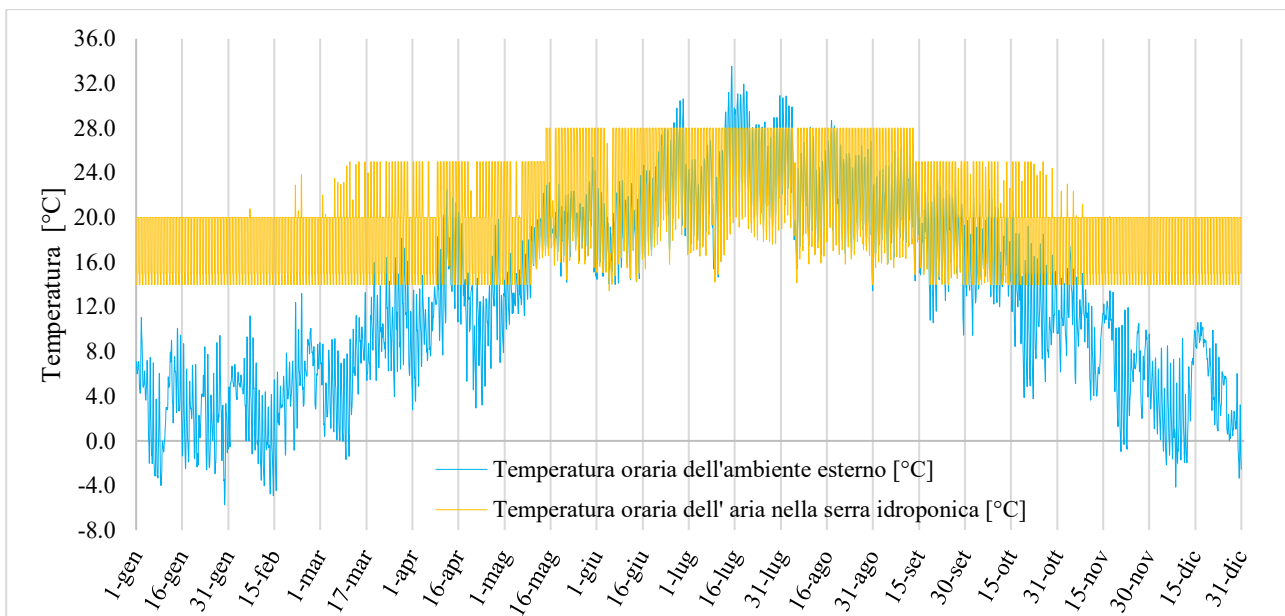


Figura 57 Andamento della temperatura obiettivo (arancione) e quella esterna (blu) – valori registrati a Padova 2020. Risultato dalla simulazione EnergyPlus.

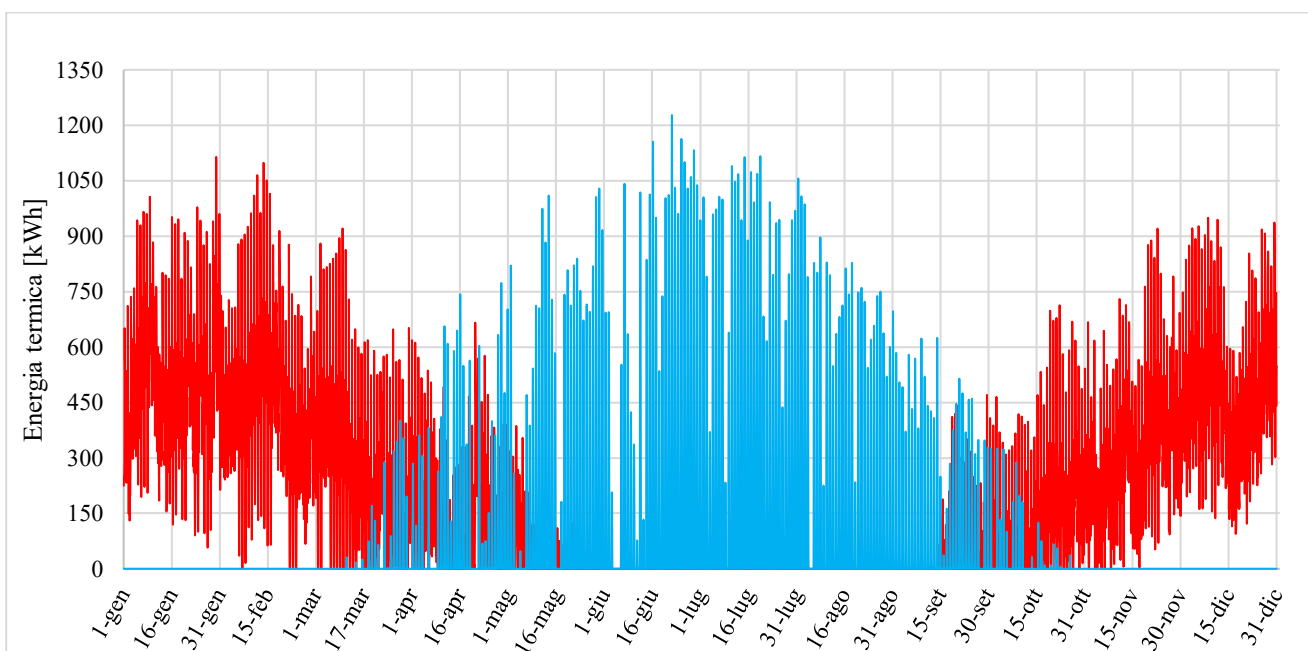


Figura 58 Distribuzione annua del carico termico [kWh] per riscaldamento (rosso) e raffreddamento (blu).

Simulando con il software, implementando le temperature obiettivo per i vari periodi di coltivazione (fig. 57) e le configurazioni costruttive descritte sopra, si riesce a calcolare il fabbisogno energetico per riscaldamento e raffreddamento fornendo il profilo orario dei carichi termici (fig. 58).

Per riuscire ad inseguire il profilo della temperatura obiettivo nei mesi primaverili ed autunnali, si osserva come il calcolo suggerisce di far funzionare, sia l'impianto per riscaldare che l'impianto per raffreddare, a volte anche nello stesso giorno. Questo comportamento se al primo avviso sembra errato, viene giustificato dal fatto che il riscaldamento avviene nelle ore notturne-mattutine e nell'arco della giornata con l'aumento delle temperature interne e dell'umidità dell'aria si ritiene più conveniente far funzionare l'impianto di condizionamento piuttosto che far circolare l'aria in quanto l'aria esterna avente temperature inferiori e valori di umidità relativa discordi dalla qualità dell'aria ottimale per la crescita colturale della specie orticola nell'ambiente. Inoltre, fare un cambio d'aria si ottiene un risultato di impoverimento dell'aria ambientale della CO₂ immessa nel processo di concimazione carbonica.

15.4 Sistema di distribuzione del calore

Dal fabbisogno termico si è visto come nel periodo della stagione fredda, soprattutto nelle ore notturne, la temperatura esterna scende sotto il valore minimo che garantisce un'adeguata crescita dei vegetali. Di conseguenza l'impianto di riscaldamento ha il principale obiettivo di mantenere la temperatura interna del valore voluto ad andamenti omogenei, inoltre, riuscire allo stesso modo di avere dei valori più contenuti possibile delle dispersioni verso l'esterno. La scelta dell'impianto dipende innanzitutto dalle esigenze delle piante coltivate nella serra, inoltre dipende dall'impianto di generazione dell'energia.

Nel caso specifico, la coltura della fragola, rappresenta una coltura delicata e poco flessibile agli sbalzi di temperatura, si potrebbe optare per una soluzione a doppio sistema di distribuzione, ovvero riscaldamento dei bancali ad acqua e riscaldamento dell'aria, che permette di ottenere una distribuzione più uniforme del calore ed evita sbalzi termici.

Se si vuole recuperare il calore residuo da un sistema a motore cogenerativo possiamo studiare le seguenti tipologie di sistemi di distribuzione del calore all'interno della serra:

Aerotermi: dispositivo dotato di ventilatore che asporta il calore da uno scambiatore di calore, in cui circola il fluido termovettore proveniente dall'impianto di generazione dell'energia. Quindi, ha lo scopo di riscaldare l'aria della serra grazie al circuito del fluido termovettore. Questa configurazione consente elevata flessibilità d'impiego che permette una rapida ed uniforme distribuzione del calore collegando l'aeroterma ad una tubazione in plastica con fori su tutta la sua lunghezza.



Figura 59 Aeroterma a servizio della serra.

Oltre allo scambio di calore, grazie al movimento d'aria così generato migliora gli scambi gassosi delle piante. Come si può immaginare presenta costi flessibili e sono facilmente regolabili;

Corpi radianti: corpi formati da tubazioni in polietilene ad alta densità o in acciaio, in essi il fluido di mandata (acqua) entra a circa 80-85°C e ritorna a circa 65-70°C; vengono posizionati in alto, lungo le pareti laterali o sul terreno. Si tratta di un sistema che crea una distribuzione del calore diversa a seconda della posizione e della superficie dei tubi e genera notevoli gradienti di temperatura in direzione verticale. Il vantaggio di questo sistema risiede nel fatto che, in caso di malfunzionamento o interruzione del riscaldamento, la serra si raffredda lentamente, però, al contempo, la diffusione del calore è lenta. È possibile variare la temperatura regolando la portata del fluido termovettore o regolando la sua temperatura miscelando il fluido caldo uscente dal generatore con il fluido freddo che scorre nei tubi di ritorno (A. D'Emilio, *Controllo del clima*);



Figura 60 Impianto a tubi radianti.

Riscaldamento del substrato, a pavimento o dei bancali: si usa un fluido termovettore a bassa temperatura (25-35°C), ciò crea le condizioni climatiche ideali al sistema radicale delle piante, consentendone uno sviluppo ottimale, riducendo il calore disperso, ma generando umidità. Siccome il sistema riscalda direttamente il substrato in cui si trovano le radici delle piante, per evitare di danneggiarle, è necessario controllare accuratamente che la temperatura delle radici non superi i 25°C. Questo sistema come già citato prima viene combinato ad altri sistemi di distribuzione del calore in quanto non è in grado di riscaldare in modo uniforme tutta l'aria dell'ambiente. A dispetto di un investimento iniziale, questi sistemi riescono a gestire in modo ottimale la distribuzione di calore per le piante, rispetto ai sistemi ad aria.



Figura 61 Predisposizione dell'impianto di riscaldamento dei bancali

15.5 Sistema di condizionamento dell'ambiente

Solitamente negli impianti per la coltivazione, il condizionamento avviene tramite sistemi di macchine a pompa di calore. La pompa di calore è un dispositivo che preleva calore da una sorgente a bassa temperatura (solitamente le fonti di calore sono aria, acqua di falda o il terreno) e lo rende disponibile ad una temperatura più elevata. Nel caso in esame, si vuole studiare la soluzione di sistema a motore che genera l'energia elettrica sul posto. In un impianto convenzionale per la produzione di energia elettrica, l'energia chimica del combustibile, trasformata in energia termica tramite combustione, viene utilizzata in un ciclo di potenza che la trasforma in elettricità. Con un impianto di cogenerazione, invece, il calore di scarto non viene disperso, ma recuperato per essere poi utilizzato in vario modo. In questo modo la cogenerazione raggiunge un'efficienza superiore anche al 85%. Inoltre, per gli impianti cogenerativi risulta di facile accoppiamento con i frigoriferi ad assorbimento. Il gruppo ad assorbimento è una macchina capace di compiere un ciclo frigorifero non sfruttando il lavoro di un compressore ma utilizzando il calore fornito da una sorgente calda, quale il calore di scarto di un motore (come nel caso della nostra referenza), di una microturbina o di un altro generatore di potenza.

Un sistema che comprende un motore, un generatore elettrico, un sistema di recupero del calore di scarto e un frigorifero ad assorbimento, costituisce un impianto di trigenerazione, in grado di effettuare una produzione combinata di energia elettrica, termica e frigorifera. Inoltre, come nel caso di serra a coltivazione vegetale, con i giusti accorgimenti, si presta benissimo all'utilizzo di quelli che sono i gas di scarico da tale impianto.

Gli assorbitori sono dispositivi, che a fronte di energia termica immessa sotto forma di acqua calda a temperature anche relativamente basse, sino a 70 °C, rendono energia frigorifera sotto forma di acqua refrigerata con temperature minime sino a 5,5 °C. Le loro prestazioni termodinamiche sono sintetizzate dal coefficiente di prestazione COP - altrimenti EER / Energy Efficiency Ratio - che è il rapporto fra potenza frigorifera ricavata e quella termica utilizzata, il cui valore è pari a 0,75. Essi impiegano quale fluido di lavoro una miscela di acqua e bromuro di litio; non utilizzano quindi alcuno degli idrocarburi idrogenati, i cosiddetti clorofluorocarburi (CFC o Freon), con conseguente piena compatibilità ambientale. Il reale vantaggio offerto dagli assorbitori, in termini di effetto ambientale, va ritrovato nel fatto che per il loro azionamento viene utilizzato calore altrimenti perso, ossia calore che ha già scontato la generazione di CO₂. A questo riguardo, a titolo di esempio, va annotato che un assorbitore da 100 kW, azionato per 4000 h in un anno, evita l'emissione nello stesso anno di 50,94 tonnellate di CO₂.(Paolo Colaiemma)

I gruppi ad assorbimento offrono inoltre vantaggi gestionali non indifferenti: non temono blackout, funzionamento estremamente silenzioso, non avendo parti in moto, vita utile superiore ai 20 anni e utilizzando cascami termici di processo, oltre alle forti considerazioni di carattere ecologico-ambientale citate precedentemente.

16 POTENZA RICHIESTA PER LA CLIMATIZZAZIONE INTERNA

Come per il caso dell'energia elettrica, bisogna ora valutare la potenza necessaria per soddisfare la richiesta energetica di climatizzazione dell'ambiente interno. Per fornire dei valori indicativi per il dimensionamento della taglia dell'impianto di riscaldamento si possono rielaborare i dati calcolati per studiare quali sono i valori massimi giornalieri dell'energia termica da fornire al sistema di climatizzazione. L'energia termica da fornire al sistema dei gruppi di assorbitori viene utilizzata con un EER di 0,75; di conseguenza subisce un incremento. Oltre a calcolare i valori medi giornalieri, visto la periodicità della richiesta durante l'anno, si può costruire un grafico dei valori medi mensili (fig. 62).

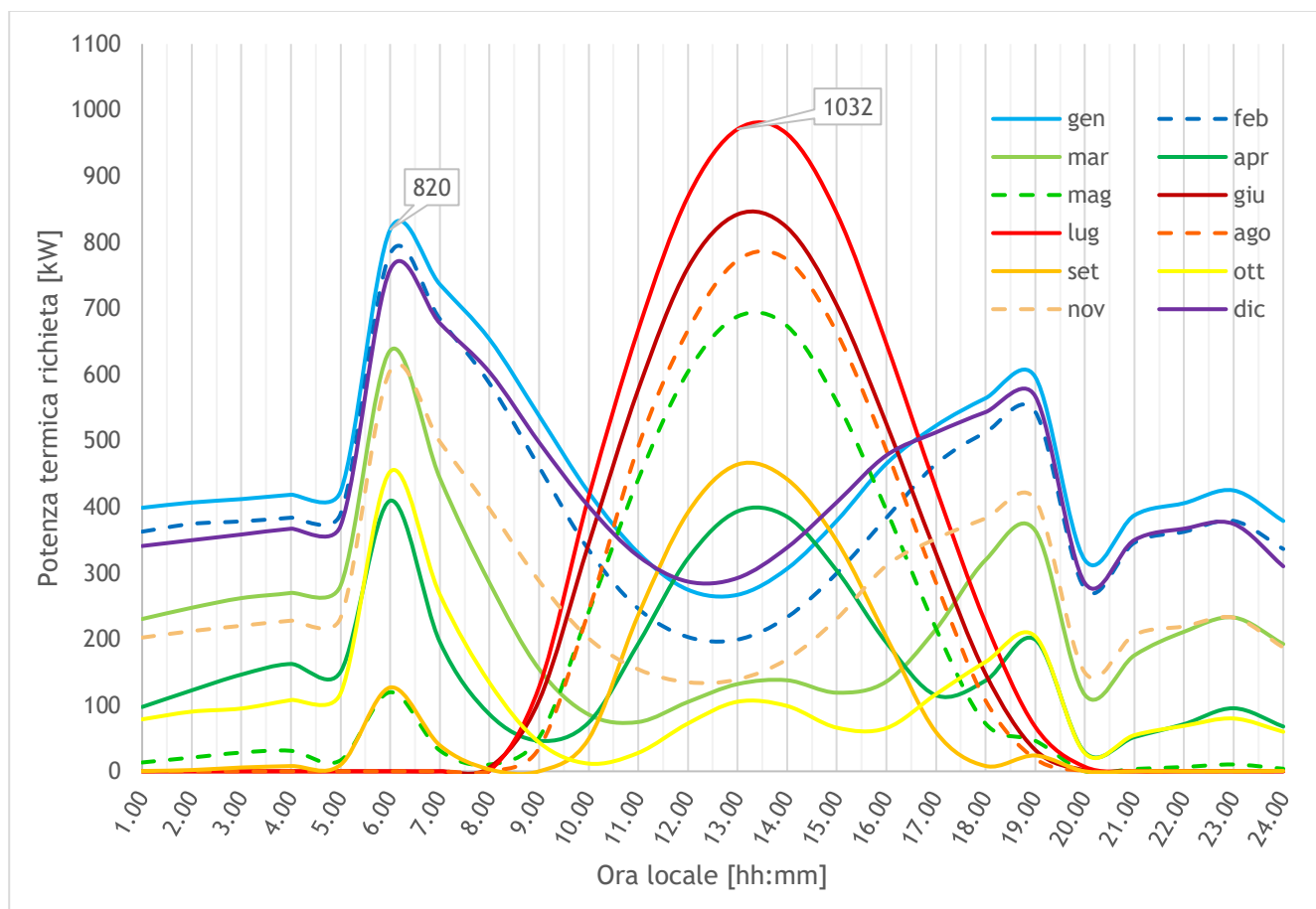


Figura 62 - Illustrazione dell'andamento del fabbisogno termico totale medio giornaliero [kWh medio mensile].

Dal grafico della raccolta dati sull'andamento giornaliero medio mensile si nota da subito che la richiesta per raffreddare la serra ha una richiesta di potenza più elevata rispetto alla quantità per riscaldare la serra stessa. Il picco per condizionamento si ha nel mese più caldo alle ore 13.00, che risulta di 1032 kWh t, mentre per quanto riguarda i mesi freddi, i picchi di riscaldamento si hanno nel momento in cui inizia il "giorno" per le piante e quindi c'è la necessità di portare la temperatura ottimale per favorire la reazione di fotosintesi, non solo per ciò che concerne la luce, ma anche la temperatura della vegetazione. Inoltre, nei mesi primaverili e autunnali, rispettivamente color verde e giallo nel grafico sopra, l'impianto richiede sia potenza per riscaldamento sia per raffreddamento, in tali mesi si ha il transito di stagione, e quindi per non creare stress alla vegetazione si ha una climatizzazione in entrambe le direzioni durante la giornata.

17 PRODUZIONE DI CO₂ DALLA SOLUZIONE COGENERATIVA

Nel capitolo della concimazione carbonica si era presentata la soluzione di optare per la fornitura tramite bombolette a CO₂ liquida. Per la soluzione di studio a motore cogenerativo esistono in mercato sistemi per il filtraggio e depurazione dei gas di scarico, conseguenza della combustione. I principi di scelta di tali sistemi sono relazionati al combustibile usato, quantità di rifiuti da trattare, temperatura dei fumi in uscita, tipologia d'inquinanti da trattare, livello di depurazione voluta, per quante ore anno c'è necessità di funzionare e molte altre.

Considerando di utilizzare un motore alimentato a gas naturale. Essendo un combustibile meno inquinante rispetto ad altre alternative, permette di ridurre i costi di depurazione dei gas di scarico. I principali rifiuti dalla combustione del gas metano sono gli NO_x, CO₂, CO (dalla combustione incompleta) e altre inquinanti sotto forma di particolato. Per ottenere, quindi la CO₂ da immettere nell'ambiente serricolo, dobbiamo trattare i fumi ed eliminare gli inquinanti in eccesso.

Il monossido di carbonio (CO) viene ridotto se si controlla la miscela di combustione, incrementando la quota d'aria si porta ad avere una combustione completa. Un metodo più efficiente e sicuro è passare i gas di scarico attraverso un catalizzatore per la conversione del CO e dell'etilene (C₂H₄) in CO₂ e acqua. Rimane quindi trattare gli ossidi di azoto e il particolato, che di norma avviene nel processo post-riduzione dei CO.

Ci sono anche alcune tecniche sviluppate per ridurre la formazione degli ossidi di azoto nei processi di combustione dei rifiuti, ovvero prevedendo un incremento della quota di aria secondaria associato ad un decremento dell'aria primaria, al fine di limitare la presenza di ossigeno nelle zone a temperatura elevata: ciò richiede, però un accurato controllo del processo, per evitare la formazione di prodotti incombusti.

Le emissioni di ossidi di azoto possono essere limitate anche attraverso il ricircolo di una certa quantità dei gas di scarico (in genere circa il 30%) nella zona di combustione creando quindi un ambiente con più bassi tenori di ossigeno che ne limita la formazione.

Alternativamente, i principali processi capaci di ridurre le emissioni tali inquinanti al di sotto dei limiti di legge, sono i processi di riduzione selettiva non catalitica (SNCR) e riduzione selettiva catalitica (SCR).

17.1 Riduttori selettivi catalitici.

In generale, vengono utilizzati uno dei 2 agenti riducenti, ammoniaca in soluzione acquosa generalmente al 25% (NH₃) o urea (CO(NH₂)₂).

Nel caso di processo catalitico, le reazioni avvengono su catalizzatori ad alta superficie specifica (tipicamente strutture a nido d'ape, honeycomb), con addizione dell'agente attivo. La maggior parte dei sistemi usati lavora nel range 230–300 °C. Nel caso di temperature più basse, il sistema SCR richiede gas di scarico più puliti. Le temperature richieste dal processo catalitico ne determina il posizionamento sulla linea di trattamento dei fumi; perciò, permette il posizionamento di eventuali scambiatori di calore a monte o a valle del SCR. [*Le tecnologie catalitiche per la riduzione degli inquinanti, Lidia Lombardi*].

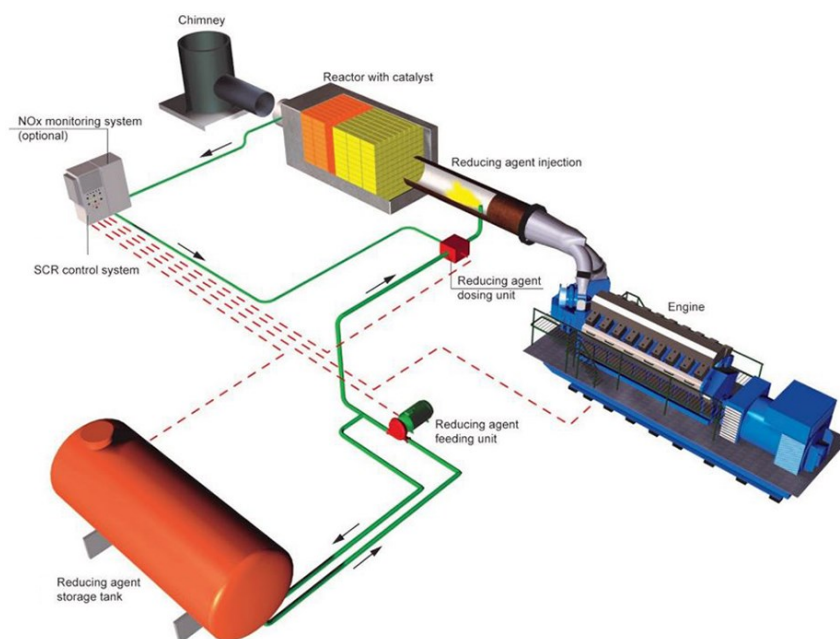


Figura 63 Schema sistema SCR DepAria a servizio di un motore cogenerativo. Fonte:

<https://deparia.com/prodotti/reattori-denox-scr/>.

Le ore operative del sistema determina l'attività del catalizzatore. L'attività del catalizzatore è una misura di quanto il catalizzatore accelera la reazione di riduzione degli NOx, dipendente di molte variabili, fra cui la composizione del catalizzatore, la struttura, la velocità di diffusione, la temperatura del gas e la sua composizione. Se l'attività del catalizzatore diminuisce, la riduzione degli NOx diminuisce. Un rimedio alla diminuzione dell'efficienza del catalizzatore è dosare più ammoniaca, incrementando l'ammonia slip. Quando l'ammonia slip raggiunge il massimo valore ammissibile, il catalizzatore deve essere pulito, rigenerato o sostituito, un ordine di misura è di 60 mila ore di funzionamento.

Quando la quantità di NOx e di ammoniaca sono uguali, la reazione è detta stechiometrica, si ha quindi, massima conversione NOx con minima ammonia slip in uscita, l'efficienza della reazione di conversione dei NOx è pari al 90%. Considerando queste condizioni, si stima una richiesta di 1-3 kg di soluzione al 25% di ammoniaca per una tonnellata di rifiuti, avendo un costo di 0.35-0.40 euro per trattare una tonnellata di fumi.

17.2 Riduttori selettivi non catalitici

Nella riduzione selettiva non catalitica dell'ossido di azoto i radicali amminici, ottenuti dalla reazione dell'ammoniaca con i radicali OH, reagiscono con il monossido di azoto a temperature comprese tra 850°C e 1050°C a formare azoto e vapore acqueo. L'equilibrio della reazione selettiva non catalitica è fortemente dipendente dalla temperatura e dalla concentrazione dei reagenti. A temperature più elevate rispetto all'intervallo sopra citato si potrebbe favorire l'ossidazione dell'ammoniaca con conseguente incremento di ossidi di azoto; viceversa, a temperature più basse, l'ammoniaca potrebbe non reagire nella camera di combustione dando luogo successivamente ad incrostazioni per la formazione di sali (solfato e cloruro di ammonio).

Condizioni di elevate rese di riduzione di NOx con processi SNCR si ottengono con dosaggi elevati di ammoniaca o di urea. L'impiego di urea, pur essendo di più semplice gestione, rispetto a all'ammoniaca, presenta un tipico problema di produzione di protossido di azoto (N₂O), superiore rispetto alle reazioni in camera di combustione.

Sistemi	Vantaggi	Svantaggi
SNCR	Semplicità impiantistica e bassi costi di gestione e di investimento iniziali	Efficienza di abbattimento NOx =50% Possibilità di fughe di ammoniaca
SCR	Alta efficienza (80-90%) Rischio minimo di fughe di ammoniaca	Elevati costi di investimento Complessità impiantistica

Tabella 44 Riepilogo di confronto fra le tecnologie per il trattamento dei NOx da fumi di combustione.

Nell'ambiente, a livello del mare, l'anidride carbonica si trova in concentrazioni di 380-400 vpm, in relazione all'inquinamento locale, questi valori possono leggermente variare. Nell'ambiente serricolo, le piante assimilano la CO₂ per permettere la fotosintesi e la emettono durante la respirazione, si verifica in assenza di luce.

Per permettere la concimazione carbonica nell'ambiente della serra in esame, la vegetazione della fragola necessita di una concentrazione ottimale di CO₂ che si aggira tra 700 e 800 vpm, si arresta se scende sotto 200 vpm e diventa tossica per le piante se arriva a 2000 vpm, mentre 5000 vpm può creare problemi gravi di salute agli occupanti nell'ambiente.

Durante il processo le piante assimilano la CO₂, diminuendo il livello ottimale di concentrazione presente nell'ambiente, un'altra fase di squilibrio della concentrazione avviene durante la ventilazione della serra (per deumidificare), di conseguenza bisogna adottare degli accorgimenti per riportare la presenza di CO₂ entro i valori ottimali. L'accorgimento da adottare è aggiungere CO₂ e monitorando accuratamente la percentuale di gas all'interno della serra.

Come si è già analizzato, per le tipologie di serra nel bacino Mediterraneo, aggiungere CO₂ nelle serre ventilate naturalmente risulta particolarmente complesso e dispendioso. Viene, quindi, consigliato di ridurre il rateo di ventilazione, o interrompere per un periodo breve il movimento d'aria verso l'esterno, nel momento in cui si vuole arricchire l'ambiente immettendo CO₂, preferibile utilizzare aria condizionata e deumidificatori per controllare la temperatura e umidità in alternativa alla ventilazione naturale.

Attraverso centraline appositamente programmate che riescono a gestire l'immissione di questo gas si riesce ad azionare la valvola d'immissione, comunicando con un analizzatore di concentrazione della CO₂ e sensore di luminosità, inoltre consente di arrestare le emissioni quando la fotosintesi non è più attiva. Un esempio di soluzione è offerto dall'azienda Agricontrol.

17.3 Calcolo del fabbisogno di CO₂

Per effettuare un bilancio di massa e portare le concentrazioni di CO₂ a livelli ottimali per la concimazione carbonica nell'ambiente in esame vanno considerate le quantità di perdita della CO₂ attraverso la fase di ricambio d'aria. Si richiama di seguito la figura 64 che ci aiuta a quantificare le perdite di CO₂ in relazione ai livelli di ricambi d'aria/ora.

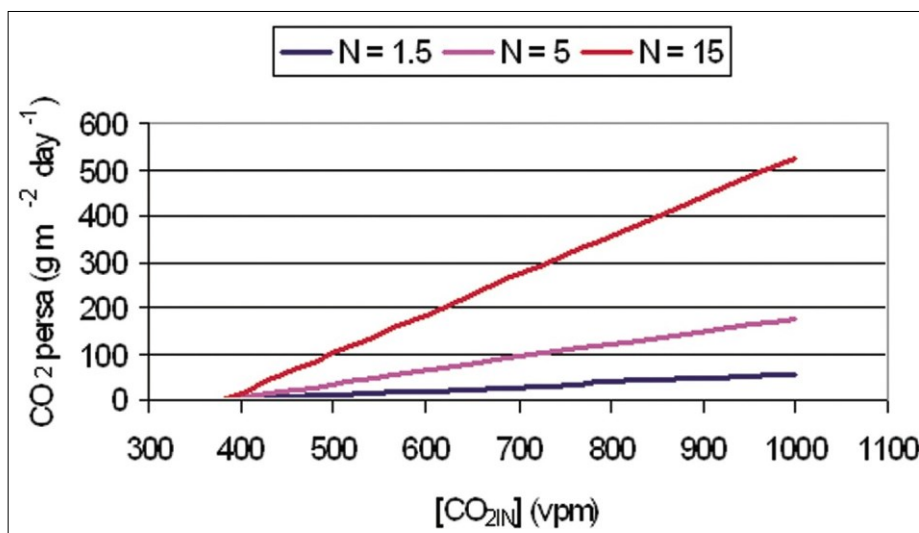


Figura 64 Quantità di CO₂ persa giornalmente da una serra in funzione del grado di ventilazione

(N = numero di ricambi d'aria/ora) e della concentrazione di CO₂ interna. Incrocci et al. 2008b

Se si considera un periodo di concimazione carbonica pari a 8 ore al giorno e la gestione della serra interna avendo 5 ricambi/ora, livello di aerazione normale e nel caso di aerazione parziale si considerano 15 volumi/ora.

Nelle condizioni normali nell'aria dell'ambiente interno si ha una concentrazione di CO₂ pari a 400-600 vpm durante la notte quando si ha la fase di respirazione delle piante, man mano che l'illuminazione aumenta la concentrazione cala rapidamente a valori di 380-400 vpm, se la serra rimane sigillata e non si fa nessun arricchimento di CO₂ può scendere addirittura a 200 vpm che rappresenta l'interruzione del processo di fotosintesi. Come suggerito da Incrocci e co-autori, avendo un'aerazione parziale, il mantenimento di una concentrazione ottimale di 700-800 vpm in una serra giornalmente si perde fino a 0,38 kg_{CO2}/m² al giorno, per la superficie di serra in esame (10560 m²) si considera, quindi, una perdita di 4 tonnellate CO₂ al giorno, in caso di leggera aerazione dell'ambiente si hanno perdita 1,4 tonnellate giorno.

Seguendo la formula riusciamo a quantificare le immissioni giornaliere per raggiungere i valori ottimali di concentrazione carbonica.

$$C = 0.0409 \cdot (K_{target} - K_{present}) \cdot Massa\ Molecolare_{CO_2}$$

con:

- K_{target}, K_{present} in vpm, sono le concentrazioni rispettivamente obiettivo e presente nell'aria;
- Massa molare della CO₂ è uguale a 44,01 g/mol;
- C rappresenta la concentrazione in mg/m³ da integrare per raggiungere la concentrazione obiettivo.

Durante la fase di concimazione avendo un ambiente meno aerato possibile, bisogna immettere e distribuire in modo progressivo, durante la giornata, un quantitativo pari a $7.2 \cdot 10^{-4}$ kg_{CO2}/m³ per riuscire a far alzare la concentrazione da 400 vpm ai valori ottimali di 800 vpm. Per il volume della serra di 34320 m³ nell'intento di portare da 400 a 800 vpm dobbiamo immettere 24.71 kg_{CO2}/giorno in assenza di perdite. In rapporto alle perdite, la quantità sufficiente per mantenere l'ambiente alle concentrazioni ottimali rappresenta il 2%. Per un sistema simile, il controllo delle perdite e monitoraggio della concentrazione diventa fondamentale. Le perdite annue si stimano da 500 a 1000 tonnellate di CO₂.

18 MOTORE COGENERATIVO

La cogenerazione (CHP, Combined Heat and Power) è un processo combinato di produzione di energia elettrica e termica a partire da una sola fonte di energia primaria, grazie allo sfruttamento del calore generato dal sistema di produzione dell'energia elettrica stesso, così come proposta nell'Art. 2 del Decreto Legislativo 8 Febbraio 2008: *“la generazione simultanea in un unico processo di energia termica ed elettrica o di energia termica e meccanica o di energia termica, elettrica e meccanica”*. Se ad un ciclo cogenerativo si accoppia una macchina frigorifera, allora si parla di trigenerazione (CCHP, Combined Cooling, Heat and Power); in quest'ultimo caso vengono prodotti da un singolo impianto di produzione non solo energia elettrica ed energia termica, ma anche energia frigorifera.

Sebbene il sistema diventi più costoso e complesso, la possibilità di fornire all'utenza anche il vettore freddo aumenta le possibilità di utilizzo dei reflui termici, comportando perciò, un'efficienza complessiva del sistema spesso più elevata rispetto alla sola cogenerazione.

Per il caso di serra in esame, il vettore caldo viene prodotto recuperando direttamente il calore, altrimenti inutilizzato; dai gas di scarico prodotti dal motore dell'impianto messo a disposizione all'acqua calda, per la generazione dell'energia frigorifera si fa invece solitamente uso di refrigeratori ad assorbimento, i quali si prestano alla generazione di acqua refrigerata a varie temperature, utilizzando il vettore caldo nel periodo per il raffrescamento ambientale.

Nell'impianto di cogenerazione si trovano i seguenti componenti:

- Motore a combustione interna per la conversione dell'energia del combustibile in energia meccanica;
- Generatore elettrico, trasforma l'energia meccanica in energia elettrica;
- Degli scambiatori di calore, recupera calore disperso dal processo di combustione del combustibile e lo mette a disposizione dell'utenza;
- Sistema elettronico di regolazione e controllo.
- Macchine frigorifere ad assorbimento.

Sul motore endotermico è possibile effettuare il recupero di calore a tre livelli di temperatura: alta, media e bassa temperatura. Per il primo livello di temperatura si sfrutta la temperatura di 450-500°C dei fumi di scarico raffreddandoli fino a 120°C tramite vettori energetici inviati ai gruppi frigoriferi ad assorbimento o alla caldaia di produzione di acqua surriscaldata; oppure i fumi sono inviati a scambiatori di calore dei sistemi di trattamento fumi richiedenti alte temperature. Per il vettore energetico a media temperatura viene sfruttato il circuito di raffreddamento dell'olio motore recuperando calore a temperature fino a 90°C. Dal livello a bassa temperatura si può effettuare un recupero di calore fino a 45°C e viene sfruttato in serie agli altri recuperi o per il sistema di riscaldamento del substrato delle piante, oppure in parallelo ad altri recuperi di calore per sistemi di riscaldamento per i terminali a bassa temperatura come riscaldare la soluzione nutritiva, preriscaldamento dell'aria di rinnovo nei periodi invernali.

Analizzando diversi fornitori di motori per la cogenerazione avendo presente la taglia del motore a servizio per la serra in esame, si evidenziano i seguenti vantaggi:

- Elevata efficienza elettrica (35-45%).
- Indifferentemente dal combustibile utilizzato, presentano rendimenti complessivi molto alti: JENBACHER J416 $\eta_{tot}=88,4\%$; CPL (89,9-90,5%), BAXTER (87,3-87,9%), DEUTZ 2015(89,2%), MTU (91,9%).
- Risultano molto flessibili al funzionamento intermittente.

- Confrontati con altre tecnologie, soprattutto quelle meno mature, presentano costi d'investimento relativamente contenuti.

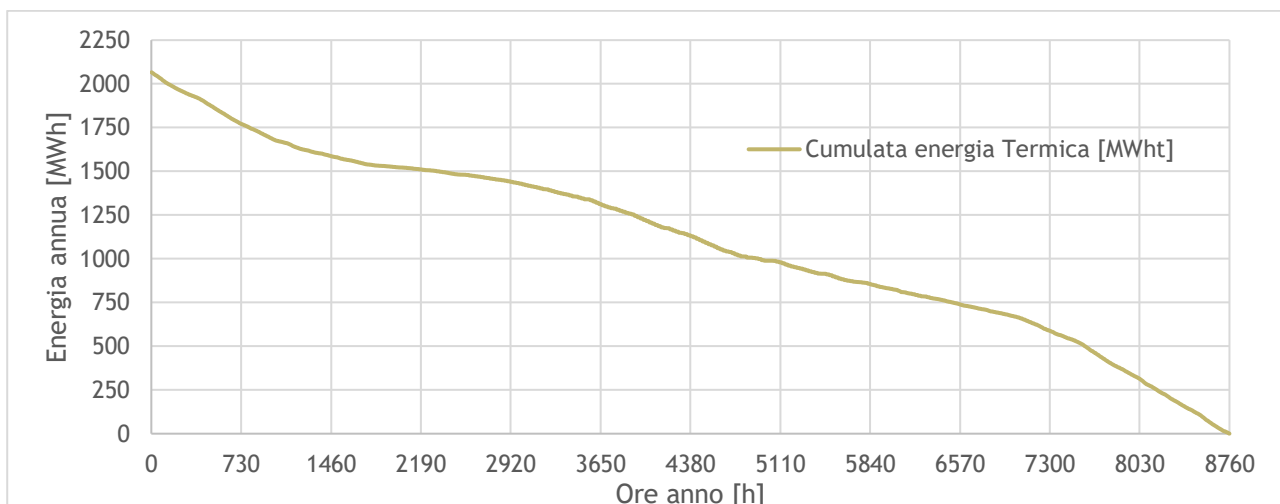
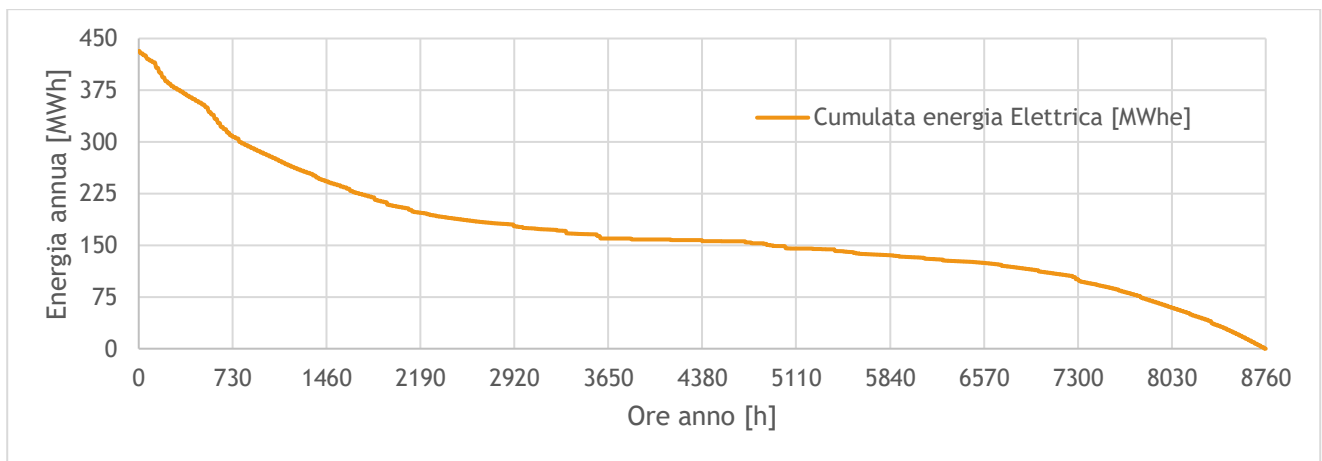
Dall'altra parte, i motori a combustione interna immessi in un impianto cogenerativo presentano degli svantaggi rispetto alle alternative, che sono principalmente legate ai costi elevati di manutenzione e gestione, e grossi quantitativi di emissioni inquinanti (NO_x, CO...).

19 SISTEMA “IMPIANTO COGENERATIVO - SERRA IDROPONICA”

Nei capitoli precedenti si è effettuata l'analisi accurata delle curve di andamento dei carichi elettrici, termici e frigoriferi richiesti, presupposto necessario per definire correttamente la soluzione di impianto a servizio della serra. Inoltre, si desidera ottenere la CO₂ per effettuare la concimazione carbonica, tale passaggio avverrà grazie al sistema trattamento fumi e alla centralina di monitoraggio della concentrazione interna.

19.1 Scelta della taglia motore e assorbitore

Una volta ricavati i consumi di energia termica, frigorifera ed elettrica del sito d'interesse. Per la simulazione di fattibilità tecnico-economica del nostro impianto di trigenerazione, si possono facilmente ricavare le cumulate. Per il calcolo dell'energia termica sotto forma di acqua calda necessaria a soddisfare il fabbisogno frigorifero per la produzione di acqua refrigerata richiesta dall'impianto, è stato considerato un rendimento dell'assorbitore pari a 0,75.



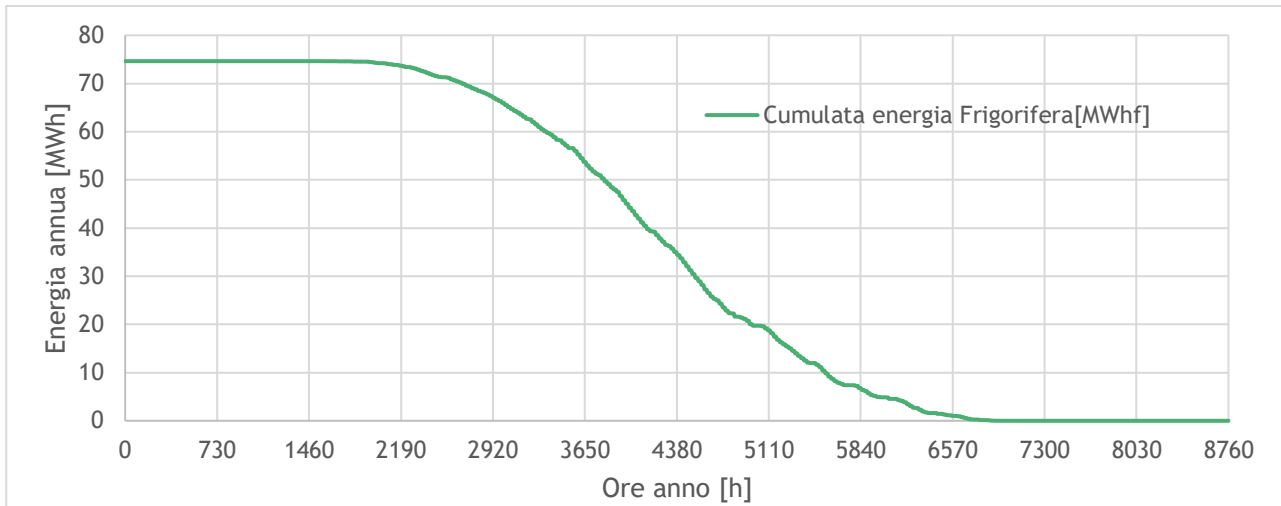


Figura 65 Le curve cumulate del fabbisogno elettrico, termico e frigorifero.

	Fabbisogno annuo
Carico elettrico [MWh_e/anno]	437,2
Carico termico [MWh_t/anno]	1972.1
Carico frigorifero [MWh_f/anno]	74,5

Tabella 45 Riepilogo dei fabbisogni annui del sistema serra.

Dopo aver determinato i fabbisogni di energia elettrica, termica e frigorifera del nostro impianto nell’assetto attuale, si può partire con la valutazione della taglia del motore, che alimenterà l’impianto di trigenerazione che si propone di installare. A tale proposito è bene sottolineare alcune considerazioni di cui si terrà conto nel caso studio:

- È stato scelto di dimensionare il motore in modo da soddisfare la maggior parte del carico termico ed elettrico. Pertanto, qualora la percentuale di carico diventi troppo bassa per assicurare rendimenti elettrici accettabili, l’impianto di cogenerazione s’interrompe;
- Nello sviluppo dei modelli di simulazione è stato previsto lo spegnimento del motore qualora la sua percentuale di carico elettrico risultasse inferiore al 25%, al di sotto di tale carico le performance del motore diminuisce drasticamente.
- Sono state supposte due settimane all’anno per manutenzione.

Si è scelto di affidarsi ad un catalogo di motori a combustione interna INNIO-JENBACHER basandosi sulla potenza elettrica da essi prodotti. I dati tecnici (tab. 46) di maggiore interesse ai fini della nostra valutazione sono i seguenti:

MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA SCELTO PER SERRA

Marca	JENBACHER
Modello	J412
Potenza elettrica	901 kW _e
Potenza termica	951 kW _t
Portata gas naturale	220 m ³ /h
Rendimento elettrico	45.3%
Rendimento termico	42.9%
Rendimento complessivo	88.3%

Tabella 46 Dati tecnici relativi al motore scelto per l'impianto cogenerativo a servizio della serra

Vengono riportati di seguito i grafici raffiguranti la quota parte di energia elettrica, termica e termica frigorifera fornita dal gruppo di trigenerazione scelto, facendo notare che sono state considerate due settimane di fermo impianto ad ottobre, per manutenzione.

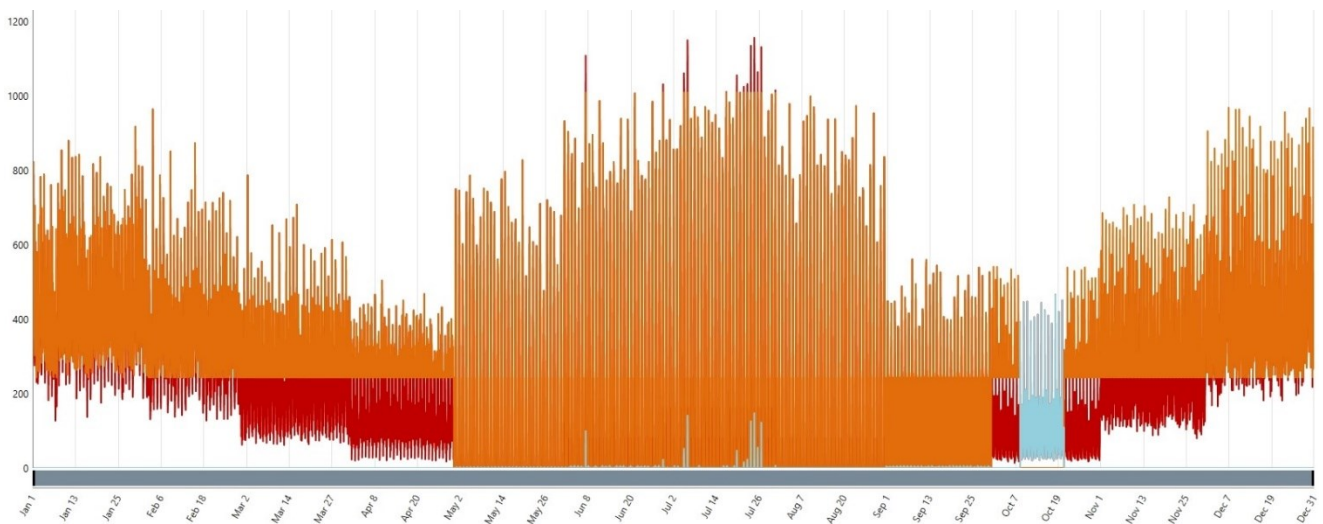


Figura 66 Quota di energia termica [kWh] fornita dall'impianto di cogenerazione (in arancione) sulla richiesta totale termica di riscaldamento e di refrigerazione (in rosso), calore insufficiente (blu).

Come si può notare, il fabbisogno termico viene sempre coperto dal sistema di trigenerazione e nel periodo di potenza superiore o nel periodo di manutenzione, deve intervenire un sistema ausiliario per riuscire a coprire la richiesta del riscaldamento, che risulta circa 32,3 MWh/anno.

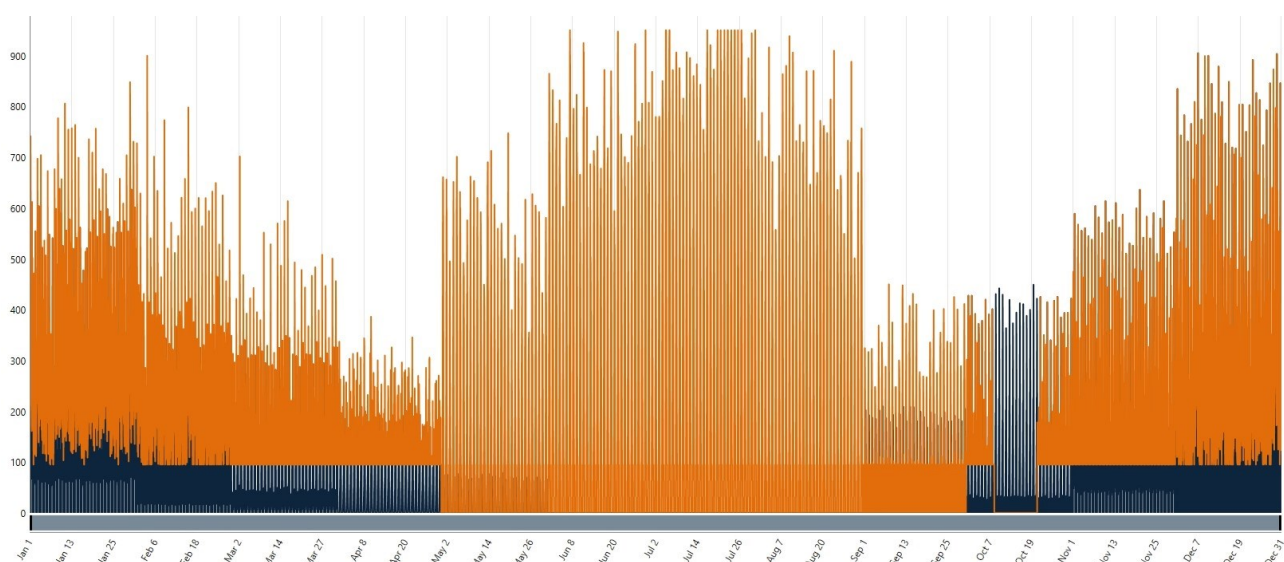


Figura 67 Quota di energia elettrica[kWh] fornita dall'impianto di cogenerazione(arancione) sulla richiesta totale(blu) da parte della serra.

Nel periodo di manutenzione la domanda elettrica mancante verrà coperta dalla rete nazionale, si preleva dalla rete circa 15 MWh/anno. Inoltre, per riuscire a coprire l'energia termica si produce una quantità significativa di energia elettrica in eccesso, circa 1.13 GWh/anno, dovuti perlopiù nel periodo estivo e durante la notte, quando c'è richiesta termica ma non elettrica. Di seguito (tab.47) sono riportate le caratteristiche produttive del motore durante il funzionamento di un anno.

	Valore	Unità di misura
Produzione elettrica	1'537	MWhe/anno
Produzione termica	2'113	MWhe/anno
Consumo di combustibile	461'520	m ³ /anno
Consumo specifico	0,298	m ³ /kWh
Potenza media di funzionamento	475	kW
Rendimento elettrico medio	35,1	%
Ore di funzionamento	6566	Ore/anno
Emissioni		
Biossido di carbonio (CO ₂)	1'353'317	kg/anno
Monossido di carbonio(CO)	5'446	kg/anno
Particolato	0	kg/anno
Ossidi di azoto(NOx)	2'623	kg/anno

Tabella 47 Caratteristiche di funzionamento del motore cogenerativo.

20 DEFINIZIONE DEI COSTI D'INVESTIMENTO, OPERATIVI E DI GESTIONE

Per il periodo attuale la stima dei costi per la realizzazione e funzionamento di un impianto simile viene difficile da quantificare, in quanto i costi molto variabili del metano, hanno ripercussioni sia sull'intero settore di produzione dell'energia, che sui costi dei macchinari. Si cerca quindi di fornire una linea guida su quelli che sono le spese da sostenere per far installare e funzionare un impianto di simile portata.

Per semplicità, i costi di realizzazione dell'impianto si possono raggruppare i costi in tre sezioni principali, come spiegato di seguito:

✓ Apparecchiature

Vengono inclusi tutti i costi legati a: cogeneratore, assorbitore, contatori fiscali per l'energia, contatori fiscali per gas metano, caldaia di supporto, Sistema filtri SCR.

Inoltre, vanno considerati gli oneri per l'installazione e posa in opera delle apparecchiature sopra citate, posa degli appositi sostegni, valvole, giunti antivibranti e altre apparecchiature elettrostumentali a servizio dell'impianto.

Costi legati all'interconnessione dell'impianto.

Costi per l'apposito quadro elettrico e trasformatore.

✓ Progettazione e assistenza

Include l'iter pratiche autorizzative e commissioning, oltre alla parte assistenze per la messa a servizio dell'impianto e collaudo.

✓ Gestione cantieri ed oneri per la sicurezza

Considera gli oneri della sicurezza, assicurazione cantiere e gestione operativa, logistica e trasporti.

In generali, per progetti simili al 50-60% dei costi totale sono per le sole apparecchiature dell'impianto di cogenerazione, 30-35% sono riservati per le interconnessioni e apparecchiature a servizio dell'impianto, 5 % per la progettazione e il restante 5% per la gestione cantieri.

I costi specifici per i motori usati per fare cogenerazione nel periodo precrisi, seguivano la curva di seguito:

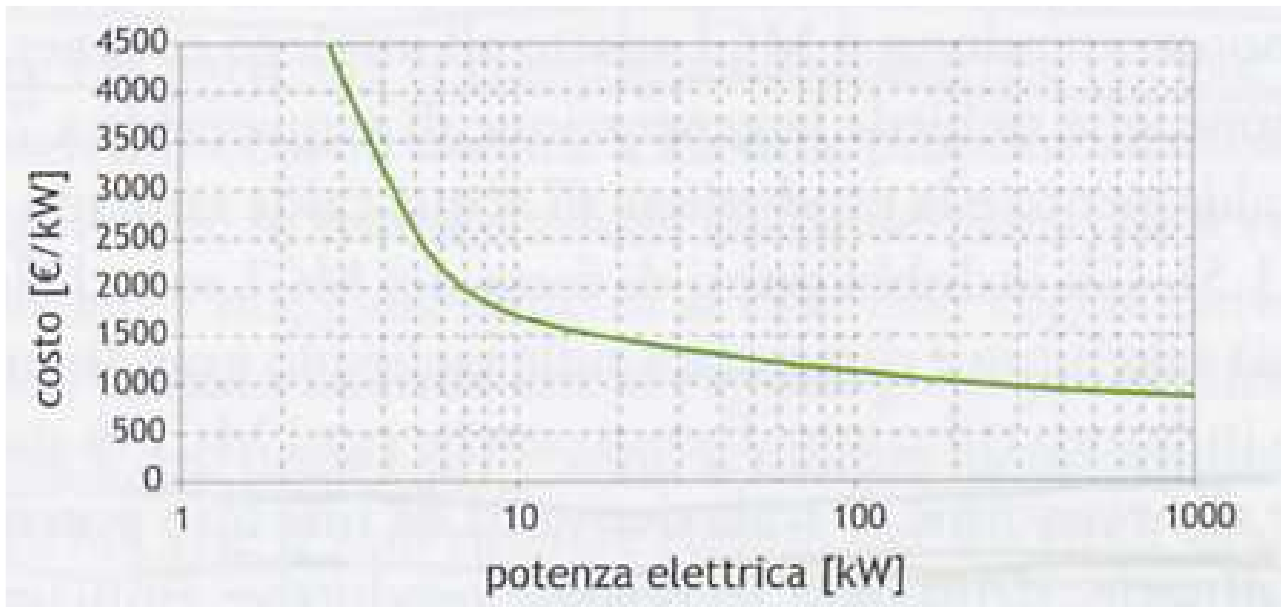


Figura 68 Costi specifici in funzione della taglia (costi completi dell'impianto di recupero termico e del sistema di controllo).

Per il motore in esame si potrebbe stimare, quindi una somma che varia da 900 mila e un milione euro.

La spesa operativa viene riassunta in tutti quei costi necessari a gestire un impianto o un sistema; tali costi sono detti costi operativi e di gestione.

Le spese necessari per la gestione dell'impianto sono

- ✓ Manutenzione oraria del motore [€/h]
- ✓ Costi di smantellamento a fine vita del motore
- ✓ Costi per gli additivi e consumabili per il sistema SCR [€/anno]
- ✓ Costi struttura e spese generali [€/anno].

21 CONCLUSIONI

Confrontando i prezzi di vendita sulla piazza nazionale ed internazionale delle orticole ad alta produzione nei sistemi fuori suolo, il fattore di destagionalizzazione diventa strategico per competere contro i produttori ad aria aperta, per certi ortaggi come pomodoro, cetriolo, fragola e fagiolino. Questa richiesta ha portato allo sviluppo di tecniche di coltivazione in serra con tecnologie aeroponiche ed idroponiche, anche utilizzando metodiche avanzate come coltura intercalare e concimazione carbonica.

Scopo della presente tesi è strutturare e dimensionare un sistema chiuso serra-trigeneratore, in grado di assolvere a tutte le esigenze energetiche (elettriche, termiche, frigorifere) e di CO₂ insufflata necessarie alla migliore resa produttiva.

Nella prima parte dell'elaborato della tesi si è fatta una disamina delle tecnologie di realizzazione delle serre idroponiche, e una scelta analitica delle specie più sensibili all'effetto sul prezzo della destagionalizzazione: sono stati analizzati i costi d'esercizio, gli ammortamenti, i ricavi di vendita, giungendo alla scelta di una coltivazione intercalata fragola-fagiolino come benchmark per una coltivazione in serra idroponica con concimazione carbonica.

Va messo in evidenza che si tratta di investimenti capital-intensive: dall'analisi del piano d'investimenti decennale, implementando la concimazione carbonica sulla coltivazione della fragola e anche sul cetriolo, si ha un riscontro positivo sui flussi di cassa, ma con rilevanti tempi di payback dell'investimento.

Nella seconda parte dell'elaborato si è cercato di fornire una soluzione di impianto atto al servizio della serra che riesca a coprire interamente o quasi il fabbisogno energetico, e che possa fornire la CO₂, visti gli oneri per la concimazione carbonica qualora la CO₂ fosse comperata sul mercato, operando, inoltre, nell'ottica della sostenibilità ambientale: l'impianto di cogenerazione/trigenerazione analizzato riesce a soddisfare pienamente le richieste energetiche e di CO₂, generando inoltre, a periodi alternati, significative quantità di surplus energetici. Sul mercato nazionale la vendita del surplus d'energia elettrica risulta agevolato trattandosi di un sistema cogenerativo ad alto rendimento (CAR), con Ritiro dedicato e Scambio sul posto, e inoltre il sistema godrebbe dei Titoli di Efficienza Energetica (i.e. certificati bianchi).

Se in prima battuta, venisse considerato gas naturale prelevato dalla rete SNAM come alimentazione del trigeneratore, per il futuro si potrebbe utilizzare gas naturale di origine rinnovabile (biometano), a fronte di un meccanismo basato su garanzie di origine, per maggiore aderenza alla missione di transizione ecologica sposata a livello europeo.

INDICE FIGURE

Figura 1 Numero di aziende orticole nelle diverse regioni italiane.-----	9
Figura 2 SAU impiegata (ha) ad orticole nelle diverse regioni italiane.-----	9
Figura 3 Evoluzione della SAU ad orticole (in piena aria e in serra) in Italia dal 2006 al 2020.	10
Figura 4 Numero di aziende con orticole in piena aria in Veneto. -----	11
Figura 5 Numero di aziende con orticole in serra in Veneto. -----	11
Figura 6 SAU impegnata (ha) ad orticole in piena aria in Veneto.-----	11
Figura 7 SAU impegnata (ha) ad orticole in serra in Veneto.-----	11
Figura 8 Andamento delle superfici e delle produzioni del pomodoro in piena aria in Veneto nel periodo 2006-2020. Fonte: Elaborazione dati Istat, 2021.-----	14
Figura 9 Confronto produttivo sul territorio nazionale e regionale del periodo 2006-07 e 2018-2019. -----	19
Figura 10 Esempi di coltivazione fuori suolo per specie a ciclo lungo (fragola e pomodoro) e con diversa modalità di accrescimento. Fonte: agronotizie.imagelinenetwork.com -----	23
Figura 11 Sistema di coltivazione idroponica NFT per lattuga. -----	24
Figura 12 Schematizzazione di un sistema idroponico NFT a ciclo chiuso-----	25
Figura 13 Esempio di coltivazione in aeroponica. -----	26
Figura 14 Panoramica e particolari della coltivazione di lattuga in floating system. -----	27
Figura 15 Esempio di serra tunnel multi-campata. -----	29
Figura 16 Stima dei costi per la realizzazione di una serra tunnel con superficie pari a 12.500 m ² . -----	29
Figura 17 Esempio di serra con struttura in ferro-vetro (tipo Venlo). -----	30
Figura 18 Esempio di vasche impiegate per il floating system. -----	31
Figura 19 Esempio di impianto fogging per il miglioramento delle condizioni climatiche durante il ciclo. -----	32
Figura 20 Particolare del pannello flottante nella coltivazione della lattuga. -----	33
Figura 21 Canalette di coltivazione NFT prima e dopo la messa in coltura.-----	38
Figura 22 Esempio di coltivazione del pomodoro ciliegino in fuori suolo. -----	41
Figura 23 Prezzo medio dei pomodori ciliegini coltivati in serra (Fonte: ISMEA). -----	44
Figura 24 Prezzo medio dei cetrioli in serra (Fonte: ISMEA). -----	48
Figura 25 Illustrazione della messa in opera di un sistema a contenitori di substrato a doppio livello.-----	50
Figura 26 Illustrazione dell'impianto nelle prime fasi del raccolto della fragola su doppio livello. -----	51

Figura 27	Quantità di CO ₂ persa giornalmente da una serra in funzione del grado di ventilazione (N = numero di ricambi d'aria/ora) e della concentrazione di CO ₂ interna. Per la simulazione è stato assunto un periodo di concimazione carbonica pari a 8 ore al giorno. Fonte: Incrocci et al., 2008.	60
Figura 28	Schema dell'attrezzatura necessaria per effettuare la concimazione carbonica utilizzando anidride carbonica liquida acquistata all'esterno dell'azienda. Fonte: Incrocci et al., 2008.	60
Figura 29	Esempio di schema di funzionamento di un impianto cogenerativo a servizio di una serra.	67
Figura 30	Il p.to A è il minimo di temperatura al quale la pianta può sopravvivere. La respirazione aumenta con la temperatura fino al p.to B (circa 40°). Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.	68
Figura 31	A basse temperature la fotosintesi aumenta più rapidamente della respirazione. Alla temperatura A si ha la differenza più grande ed alla temperatura C non sono più disponibili gli zuccheri per la crescita. Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.	68
Figura 32	All'inizio la fotosintesi aumenta con l'aumentare della temperatura, poi diminuisce al di sopra dei 35°C e la pianta muore a circa 50°C. Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.	69
Figura 33	Densità sptrali dell'energia solare sulla superficie atmosferica e terrestre	71
Figura 34	Resa quantica durante la fotosintesi clorofilliana.	72
Figura 35	Livelli di saturazione fotosintetica di luce per vari casi di piante.	73
Figura 36	Effetto dell'eccesso della luce sull'andamento della fotosintesi.	73
Figura 37	Relazione tra fotosintesi e contenuto di CO ₂ in atmosfera. Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014.	74
Figura 38	Quantità di luce da una serra in relazione all'orientamento ed al tipo di tetto	76
Figura 39	Lastre in policarbonato alveolare. Fonte: A. Colombo, 07/2020.	78
Figura 40	Ombreggiamento di una serra ottenuto con reti posizionate esternamente.	80
Figura 41	Componenti dell'Irraggiamento Solare	81
Figura 42	Distribuzione annuale della radiazione su piano orizzontale alle coordinate di Padova. [Fonte: Rielaborazione dati PVGIS-SARAH, dati 2020].	82
Figura 43	Irradianza solare incedente nell'ambiente serricolo.	83
Figura 44	Distribuzione annuale della radiazione solare incidente su piano orizzonta, incidente nell'ambiente serricolo e la radiazione fotosintetica attiva presente nel fascio solare.	84
Figura 45	Distribuzione oraria della radiazione su piano orizzontale, totale nell'ambiente e PAR disponibile coordinate di Padova nella giornata del 23 aprile. [Fonte: Rielaborazione dati PVGIS-SARAH, dati 2020]	85
Figura 46	Esempio di distribuzione normale di Gauss.	85
Figura 47	Distribuzione giornaliera della radiazione fotosintetica attiva necessaria per la crescita biologica della fragola.	86
Figura 48	PAR disponibile(verde) e PAR richiesta (blu) durante la 3° settimana di febbraio.	86

Figura 49 Serra con illuminazione artificiale. [Foto di Carlo Alberto Campiotti].-----	87
Figura 50 Profilo dell'intensità luminosa integrante attraverso l'impianto a LED, nella prima settimana di dicembre. -----	87
Figura 51 Distribuzione annua della richiesta di radianza luminosa tramite illuminazione artificiale. -----	88
Figura 52 Intensità di radiazione luminosa media mensile a fasce orarie richiesta dalla superficie serricola.-----	88
Figura 53 Illustrazione dei flussi energetici nel sistema serra. Fonte: Guida operativa per la scheda 40E, ENEA, 2014. -----	91
Figura 54 Illustrazione modello geometrico 3D della struttura serricola realizzata con il software Open Studio v.2018. -----	92
Figura 55 Presenza degli operatori agricoli nell'ambiente serra (valori frazionali, 7 persone = 1,0).-----	94
Figura 56 Apporti termici attraverso le strutture trasparenti [Wh/m ²] per la struttura serra. -----	94
Figura 57 Andamento della temperatura obiettivo (arancione) e quella esterna (blu) – valori registrati a Padova 2020. Risultato dalla simulazione EnergyPlus. -----	95
Figura 58 Distribuzione annua del carico termico [kWh] per riscaldamento (rosso) e raffrescamento (blu). -----	95
Figura 59 Aerotermo a servizio della serra. -----	96
Figura 60 Impianto a tubi radianti. -----	97
Figura 61 Predisposizione dell'impianto di riscaldamento dei bancali -----	97
Figura 62 - Illustrazione dell'andamento del fabbisogno termico totale medio giornaliero [kWh medio mensile].-----	99
Figura 63 Schema sistema SCR DepAria a servizio di un motore cogenerativo. Fonte: https://deparia.com/prodotti/reattori-deno-x-scr/ . -----	101
Figura 64 Quantità di CO ₂ persa giornalmente da una serra in funzione del grado di ventilazione -----	103
Figura 65 Le curve cumulate del fabbisogno elettrico, termico e frigorifero. -----	106
Figura 66 Quota di energia termica [kWh] fornita dall'impianto di cogenerazione(in arancione) sulla richiesta totale termica di riscaldamento e di refrigerazione(in rosso), calore insufficiente(blue).-----	107
Figura 67 Quota di energia elettrica[kWh] fornita dall'impianto di cogenerazione(arancione) sulla richiesta totale(blue) da parte della serra. -----	108
Figura 68 Costi specifici in funzione della taglia (costi completi dell'impianto di recupero termico e del sistema di controllo).-----	110

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Luca Rossetto, Daniele Mozzato, Kouloud Briki, Università di Padova, Dipartimento TESAF, "Potenzialità di sviluppo del mercato delle produzioni orticole realizzate in serra con tecnica idroponica".
- Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(4), 364-371.
- From gravel culture to nutrient film technique - Forty years hydroponics research at Grossbeeren (German D.R.) [1990]
- Cooper, A. (1979) *The ABC of NFT: Nutrient film technique*. Grower Book, London.
- Coldiretti (2014). *Le fragole parlano spagnolo*. Disponibile online: https://www.coldiretti.it/comunicato_stampa/news-la-forza-del-territorio-del-2014-5-9.
- Stanghellini, C. (2021). *Le nuove sfide per le serre in Olanda*. *Culture Protette*. Disponibile online: <https://coltureprotette.edagricole.it/orticoltura/nuove-sfide-per-le-serre-in-olanda/>.
- Incrocci, L., Diara, C., Pardossi, A., Cavenago-Bignami, G. (2009). Strategie su cui puntare per affermare il fuori suolo. *L'Informatore Agrario*, 40, 43-45.
- REGOLAMENTO (UE) 2018/848 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO (<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0848&from=IT>)
- Tutte le Tecniche per Coltivare i Fagiolini in serra e con l'idroponica. (<https://www.idroponica.it/blog/06-21/coltivare-i-fagiolini-la-guida.html>).
- M. Salvato, G. Barbieri, L. Cavani, C. Ciavatta, e altri. *Manuale di orticoltura: la serra sostenibile*. 9(3-7), 155-171.
- Fanourakis, D.; Maaswinkel, R.H.M.; Heuvelink, E.; 2007. Analysis of genetic variation in cut chrysanthemum response to high carbon dioxide concentration (closed greenhouse): underlying physiological and morphological parameters. *Wageningen UR Greenhouse Horticulture, 2007 (Note/Wageningen UR Greenhouse Horticulture) - p. 32*.
- Nederhoff, E.M.; 1994. Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration, and production of greenhouse fruit vegetable crops. PhD dissertation, Agricultural University, Wageningen, 213 pp.
- Nederhoff, E.M.; 1995. Techniques of CO₂ enrichment. In: *Greenhouse climate control: an integrated approach*. Ed(S): Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, N.J., Wageningen Pers, 278 pp.
- Stanghellini, C.; Incrocci, L.; Gazquez, J.C.; Dimauro, B.; 2008. Summer carbon dioxide concentration in Mediterranean greenhouses: how much lost production? *Acta Horticulturae*, in press.
- Benton Jones, J. (1997). *Hydroponics. A practical guide for the soilless grower*.
- Jouët J.P. (2004). The situation of plasticulture in the world. *Plasticulture* 123 (5): 48-57
- Raviv, M. and Lieth, J.H. (2007). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier
- Regolamento CEE 2092/91. G. U. della Comunità Europea L 198 del 22/07/1991.

- Regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio del 28 giugno 2007 relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici e che abroga il regolamento (CEE) n. 2092/91. G.U. dell'Unione Europea L 189/1 del 20/07/2007
- Regolamento (CE) n. 889/2008 del 5 settembre 2008, recante modalità di applicazione del regolamento (CE) n. 834/2007 del Consiglio relativo alla produzione biologica e all'etichettatura dei prodotti biologici, per quanto riguarda la produzione biologica, l'etichettatura e i controlli
- Smerdelj, A. e Bavec, F. (2011), Legal aspect of hydroponics placement in organic farming system. 46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture. Section 1 – Agroecology and Ecological Agriculture.
- Incentivi, detrazioni e finanziamenti; Portale della regione Veneto. (<https://www.regione.veneto.it/web/energia/incentivi-detrazioni-finanziamenti>).
- Colombo, 07/2020, Coperture e materiali per serre e tunnel, come orientarsi nella scelta. (<https://coltureprotette.edagricole.it/vivaismo/coperture-e-materiali-per-serre-e-tunnel-come-orientarsinella-scelta/>).
- Guida Operativa per la Scheda 40E - Gli incentivi del DM 28 dicembre 2012 sui sistemi serra Carlo Alberto Campiotti - Coordinatore per l'efficienza energetica nella filiera agroindustriale (ENEA) Arianna Latini, Matteo Scoccianti, Corinna Viola (ENEA, UTEE-EEAP); 2014 ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.
- Paolo Sambo, Carlo Nicoletto; DAFNAE - Università degli Studi di Padova: “Tecniche colturali per una corretta gestione del clima nelle serre: Contributo della sperimentazione”.
- ENEA SOLTERM. www.enea.it
- Liu, BYH, Jordan, RC: The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation. Sol. Energy 7, 53–65 (1968)
- Molina Grima, E, Fernandez, FGA, Camacho, FG, Chisti, Y: Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scale up. J. Biotechnol. 70, 231–247 (1999).
- Sudhakar et al. International Journal of Energy and Environmental Engineering 2013, 4:21; Modelling and estimation of photosynthetically active incident radiation based on global irradiance in Indian latitudes (<http://www.journal-ijeee.com/content/4/1/21>).
- Corso di Dottorato di Ricerca in Ecologia e gestione sostenibile delle risorse ambientali – XXX Ciclo: La radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) nel Mediterraneo centrale: misure, relazioni con nubi, aerosol e applicazione a studi sulla produzione primaria; 2017 Università degli Studi della Tuscia di Viterbo Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche.
- Dottorando C.-A. Campiotti, dottorato di ricerca “Tecnologie per la sostenibilità ed il risanamento ambientale” XXIV ciclo-2011/2013; tesi: “La risorsa rinnovabile per la sostenibilità ambientale ed energetica della filiera dei sistemi serra in Italia”, Università degli studi di Palermo.
- Guida operativa: L'ottenimento dei certificati bianchi. La scheda 40E: i sistemi serra; ai sensi del Decreto del Ministero Sviluppo Economico 28.12.2012, art.15 comma 2, aggiornato al 2014.

A. D'Emilio, Controllo del clima, Sistemi computerizzati di controllo climatico.

<https://www.systema.it/%E2%80%8Bla-cogenerazione.html>

Paolo Colaiemma, Guida alla trigenerazione, maya@maya-airconditioning.com

Sonde di controllo in serra, <https://www.agricontrol.it/161/prodotti/controllo-co2/>

Prezzi quote CO2, <https://www.sendeco2.com/it/prezzi-co2>

A conclusione di questo elaborato, ringrazio tutte le persone, le quali mi hanno aiutato a raggiungere questo traguardo.

Ringrazio il mio relatore l'ingegner Carlo Drago, che in questi mesi di lavoro, ha saputo guidarmi, con suggerimenti pratici, nelle ricerche e nella stesura dell'elaborato.

Alla mia famiglia. Vi ringrazio per avermi sempre sostenuto e per avermi permesso di portare a termine gli studi universitari.

A mia mamma in particolare, ti ringrazio per i sacrifici e l'amore ricevuto, talmente immensi che hanno delineato i limiti che un futuro vorrei poterti imitare.

Ai miei fratelli, ringrazio per il supporto e l'incoraggiamento continuo.

A Rosario, che con la tua pazienza, hai reso possibile tale avvenimento.

Un particolare ringraziamento lo devo porre alle persone meravigliose conosciute durante questo periodo di studi. Assieme a voi abbiamo condiviso posti in aula e in biblioteca,

confrontato relazioni e progetti, pranzi e cene, sempre accompagnato da nuove idee e scherzi.

Ringrazio i miei amici, quelli di sempre e quelli conosciuti poi, la vostra presenza è quanto basta per dare sapore alla mia vita.

Vi ringrazio per aver reso questo periodo un'avventura.

Ringrazio l'Università degli Studi di Padova, mi ha permesso non solo di realizzare un progetto della mia vita, ma lo ha reso un periodo meraviglioso. Ringrazio il team Mètis Vela per le serate

in compagnia e avermi dato la possibilità di poter esplorare nuove passioni e ambizioni.

A tutti voi, perché una piccola, grande parte di questo traguardo è anche vostra.

