



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Emanuele Radicetti

16 giugno 2023

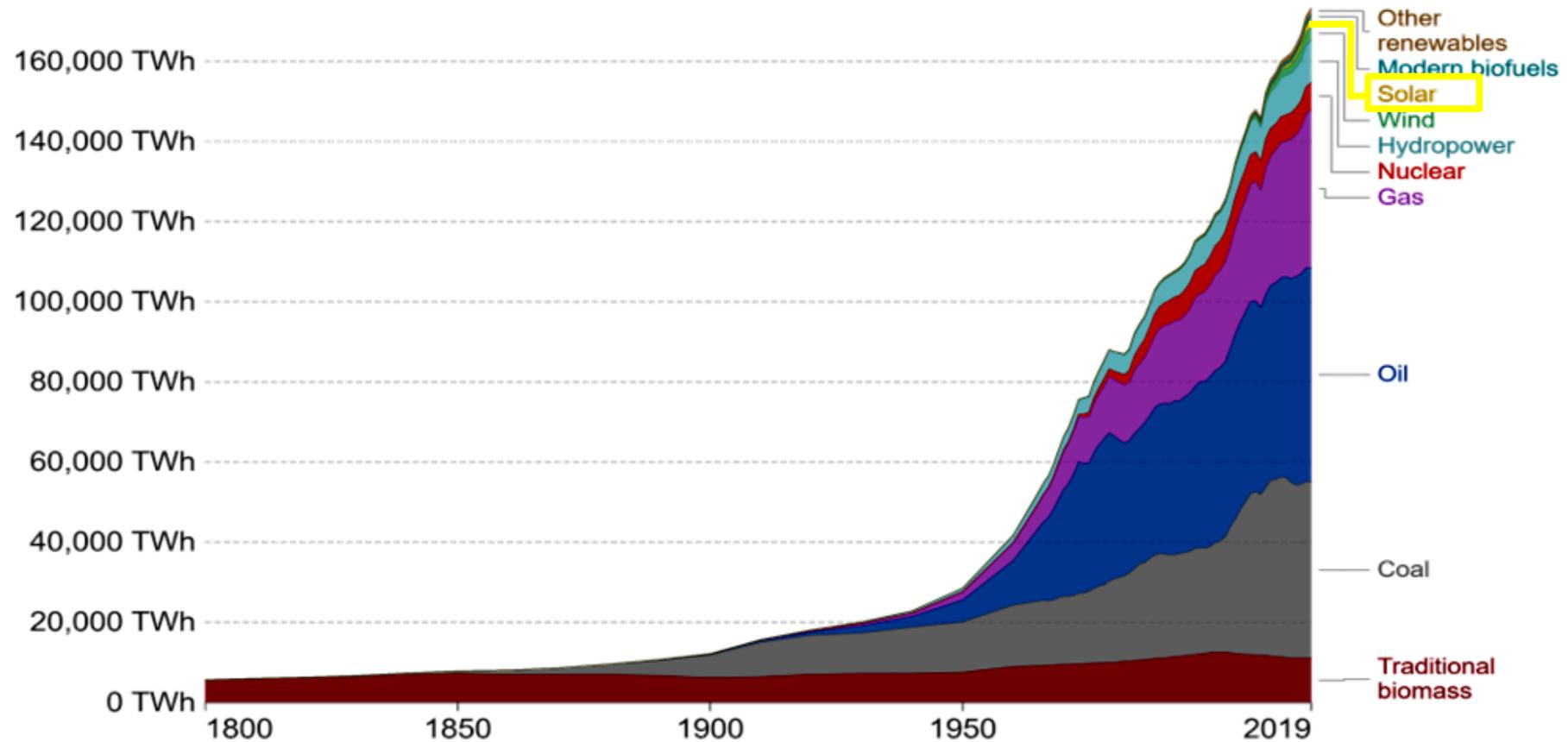


**Aspetti agronomici per la
progettazione di un sistema
complesso per la
produzione cibo-energia**

Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.

Our World
in Data

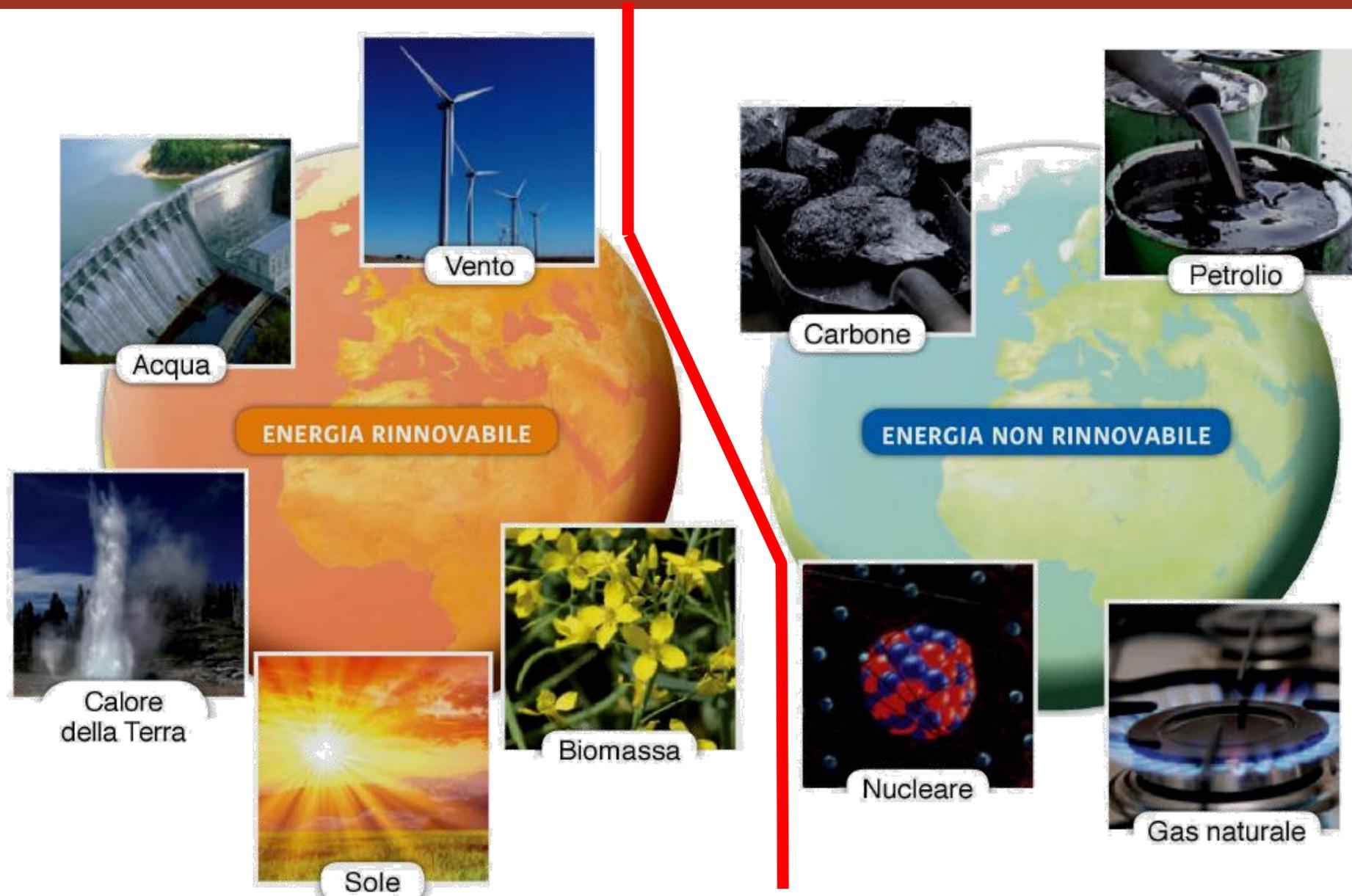


Le Fonti di Energia



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie



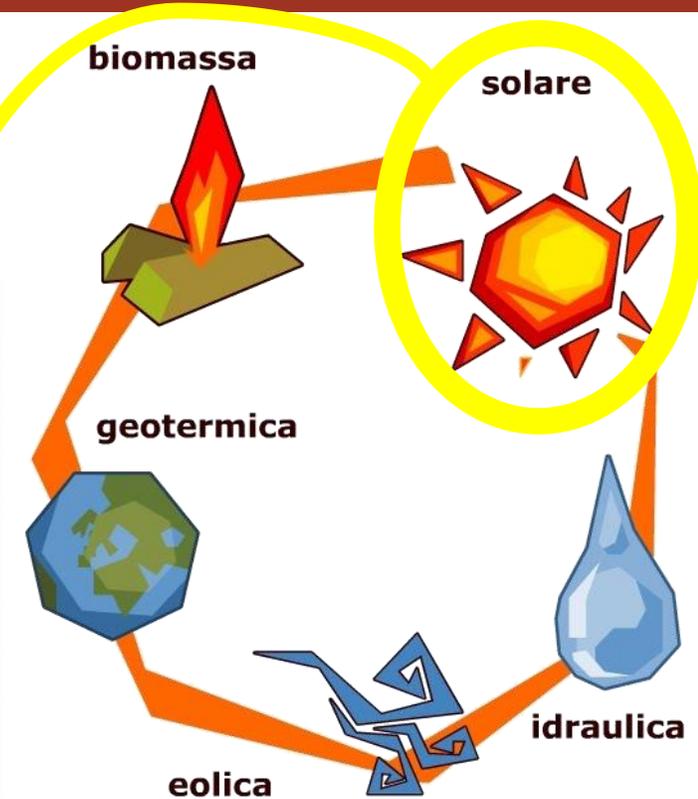
Le Fonti di Energia



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Il sole, l'acqua, il vento e il calore della terra rappresentano le principali **fonti di energia** in questione. Accanto a queste risorse strategiche, ci sono altre fonti come l'energia delle onde e delle maree, oltre a vari biocarburanti.



Un recente studio condotto in Italia centrale ha evidenziato che seppur gli impianti solari fotovoltaici installati a terra rappresentano una chiave per *mitigare il cambiamento climatico globale* e le emissioni di gas serra, potrebbero rappresentare una *fonte emergente di consumo di suolo* (Moscatelli et al., 2022).

Agrivoltaico: soluzione del futuro?



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie



Agrivoltaico consiste nell'uso della stessa area di terreno sia per l'energia solare fotovoltaica sia per l'agricoltura.

- Concepito da Adolf Goetzberger e Armin Zastrow nel 1981.
- Akira Nagashima suggerisce di combinare sistemi fotovoltaici e agrari per utilizzare la luce in eccesso e sviluppa i primi prototipi in Giappone nel 2004.
- Il termine “Agrivoltaico” è stato utilizzato per la prima volta in una pubblicazione nel 2011.

Agrivoltaico: soluzione del futuro?

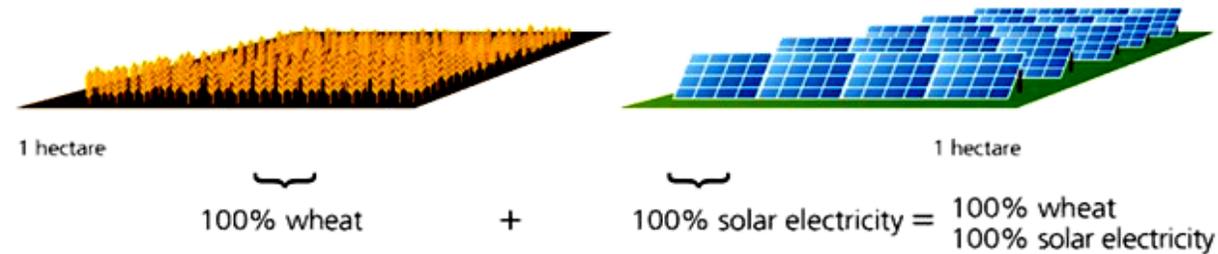


Università
degli Studi
di Ferrara

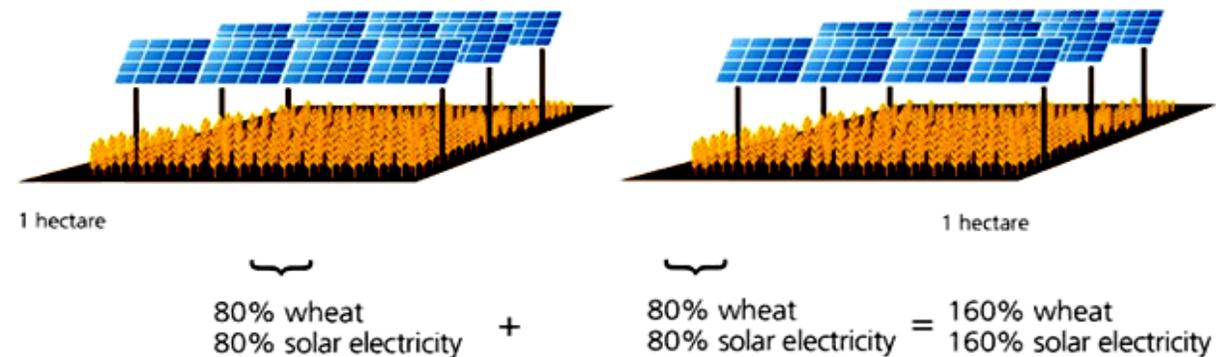
Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Una ricerca condotta da *Christophe Dupraz* e collaboratori indica che i *sistemi Agrivoltaici aumentano significativamente la produttività globale del suolo.*

Separate Land Use on 2 Hectare Cropland

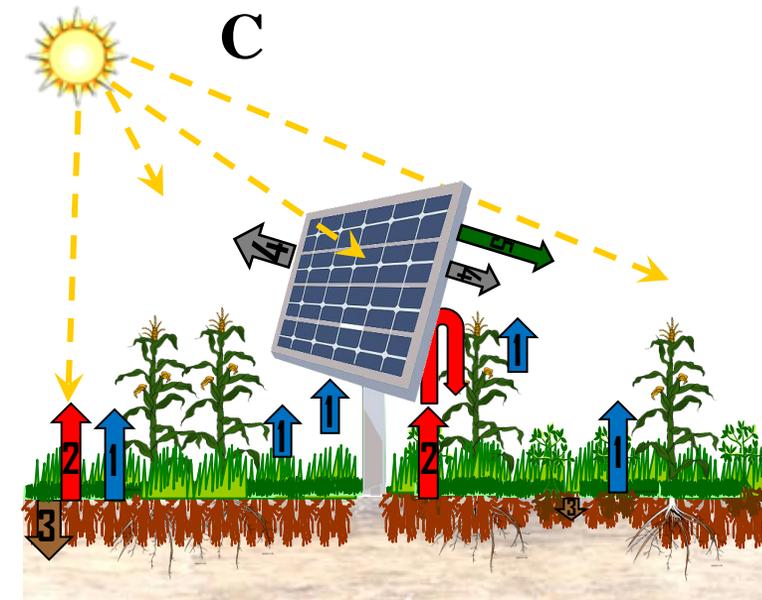
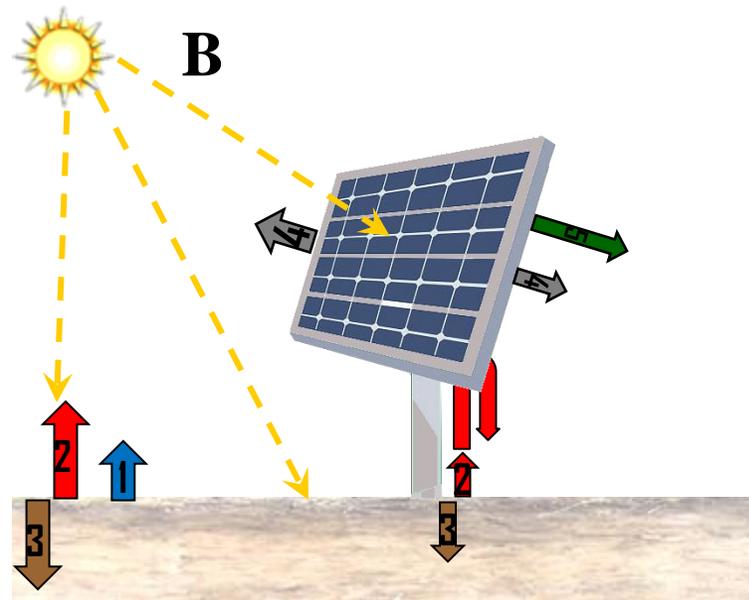
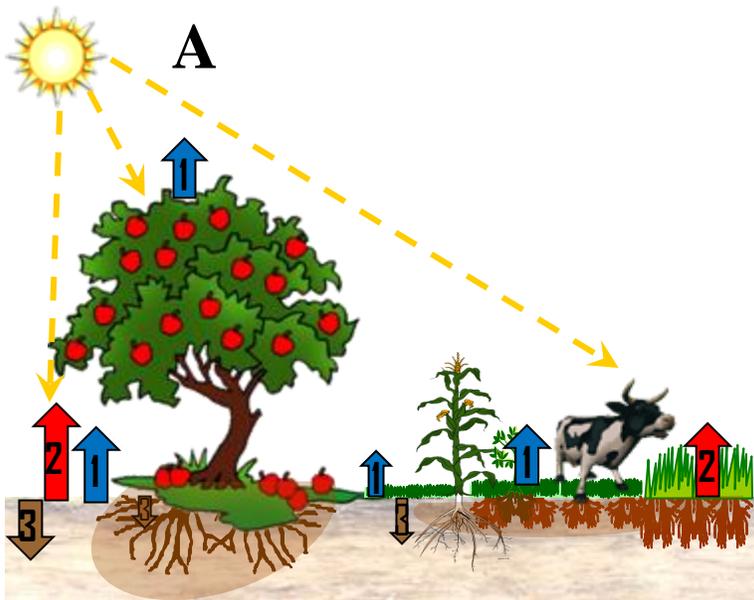


Combined Land Use on 2 Hectare Cropland: Efficiency increases over 60%



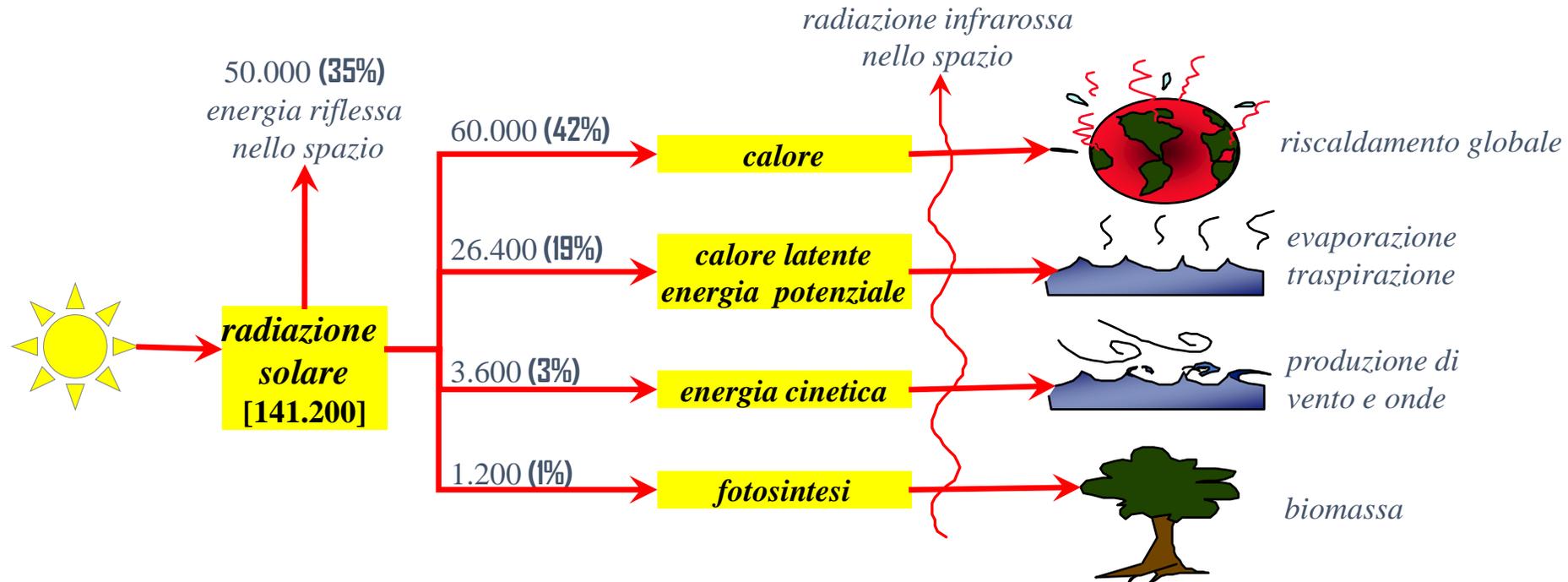
Agrivoltaico: soluzione del futuro?

L'agroecosistema (A), il sistema fotovoltaico (B),
il sistema consociato complesso Agrivoltaico (C)



**Integrare il tipo di copertura del suolo come i pannelli fotovoltaici con la
vegetazione nativa e/o coltivata nell'intera area investita per la
produzione energetica e di cibo comporta la realizzazione di
Sistemi Consociati Complessi.**

Flussi di energia solare (in miliardi di watt)



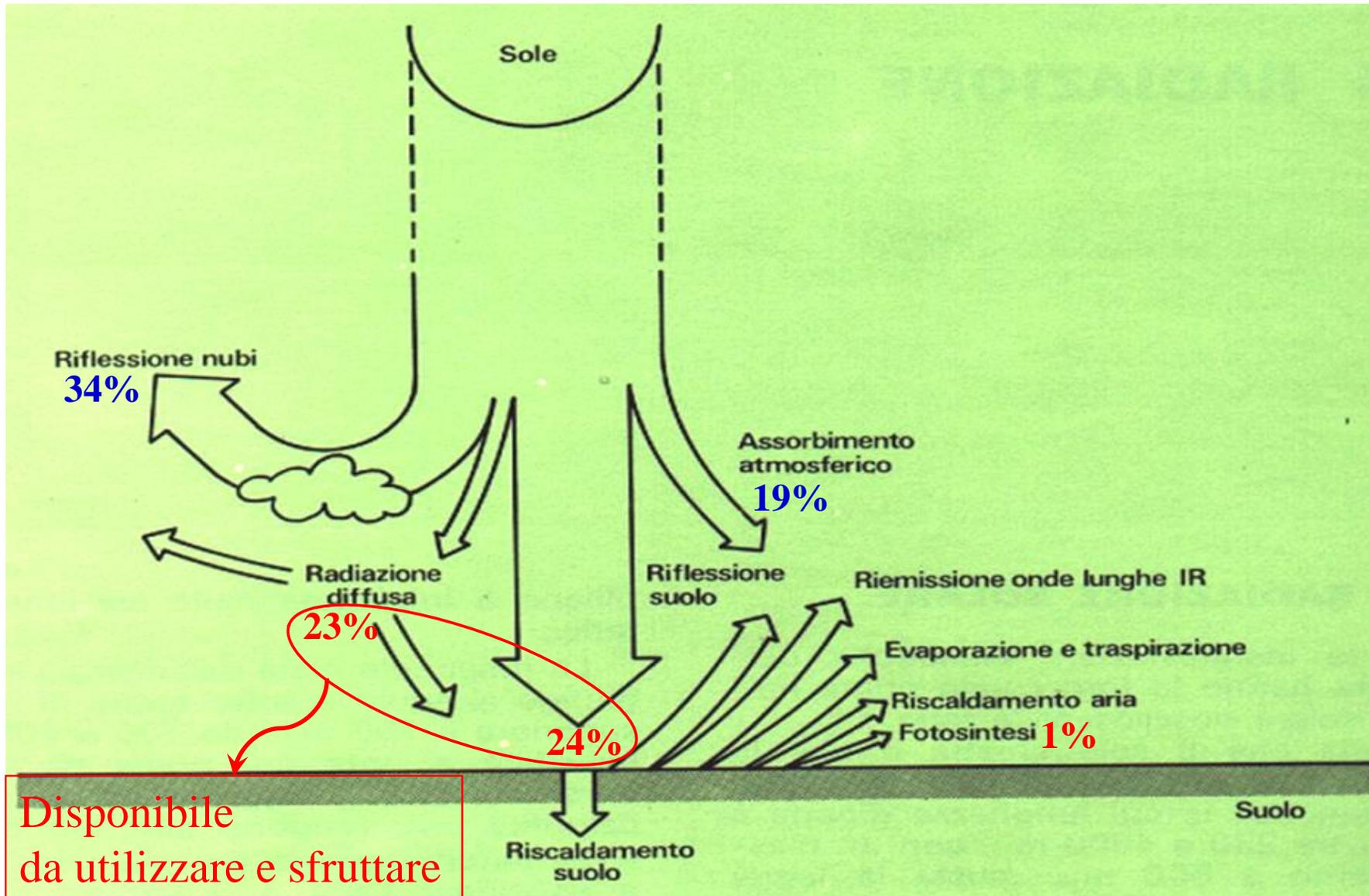
Il processo fotosintetico assorbe solo l'1% dell'energia solare che arriva sul Pianeta, che corrisponde a una quantità di energia pari a 9 volte il consumo energetico di tutti gli abitanti della Terra. Vale a dire che circa il 10% dei vegetali prodotti della fotosintesi, se utilizzati per produrre energia, basterebbero a soddisfare il fabbisogno energetico di tutta la popolazione mondiale.

La radiazione solare, energia abbondante



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie



Nel paragrafo che il PNRR dedica all'agri-voltaico si legge che la misura di investimento nello specifico prevede:

*“l’implementazione di sistemi ibridi agricoltura-produzione di energia che **non** compromettano l’utilizzo dei terreni dedicati all’agricoltura, ma contribuiscano alla **sostenibilità** ambientale ed economica delle aziende coinvolte, ...”;*



Un impianto *agro-fotovoltaico* si realizza quando in un'area agricola i **pannelli fotovoltaici sono dotati di tracker monoassiali** che consentono di **inseguire la traiettoria del sole evitando l'ombreggiamento permanente** di una parte del suolo (aumentando fino al 20% l'energia prodotta) e posti a un'altezza e a una distanza tali da non incidere sulla normale attività agricola, ma che anzi possono favorirla.



ASPETTI GENERALI

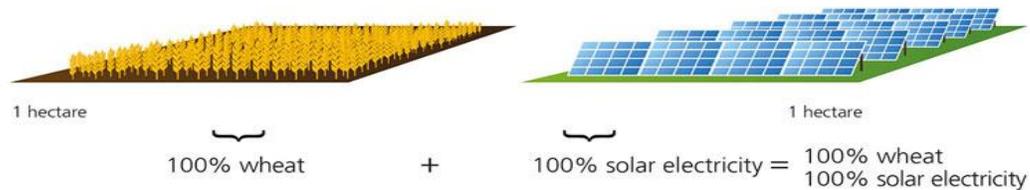


Università
degli Studi
di Ferrara

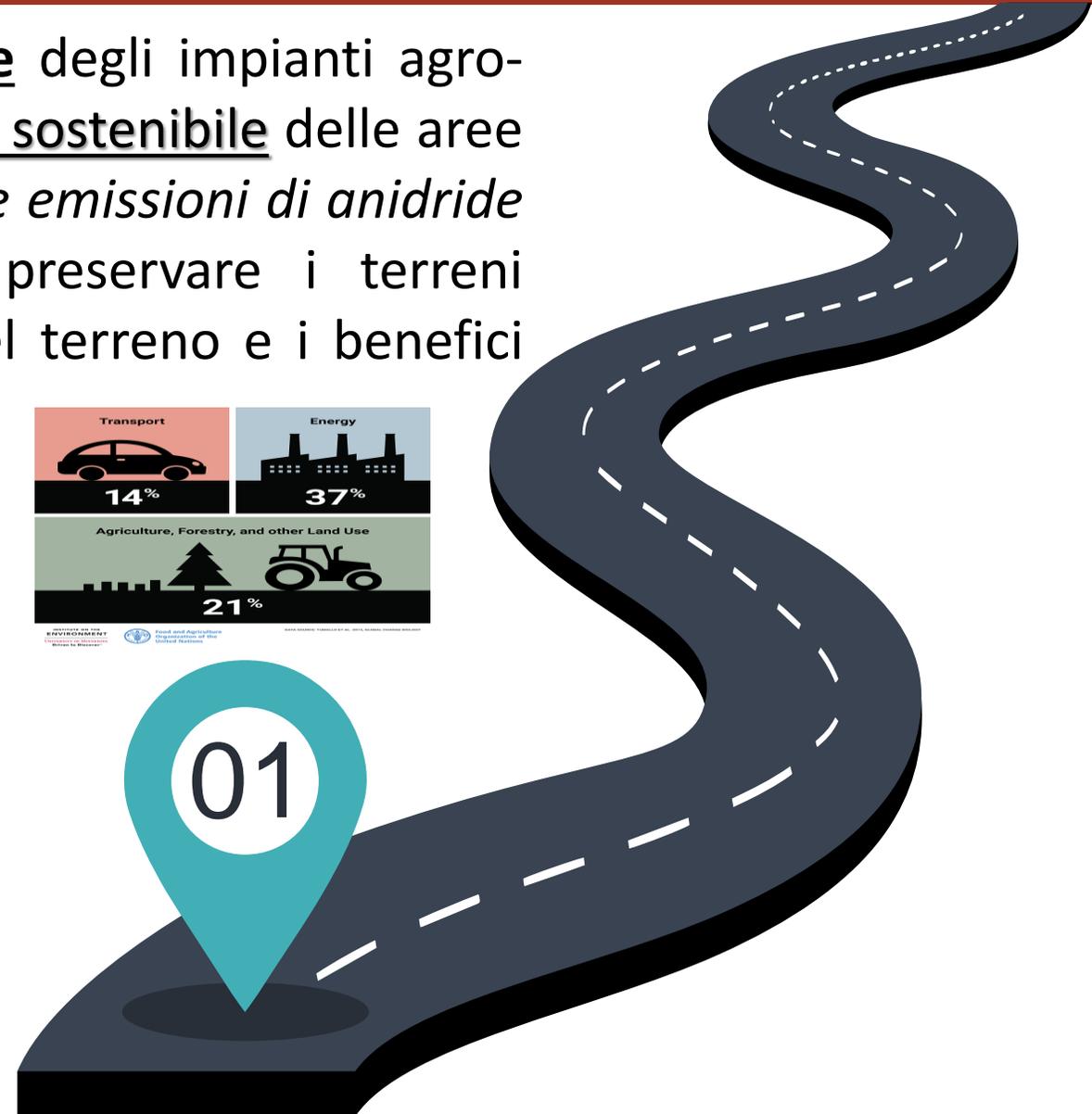
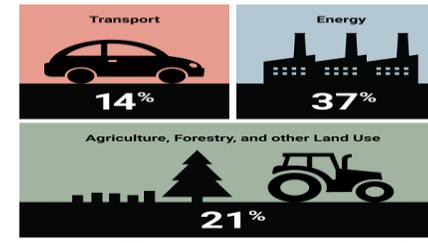
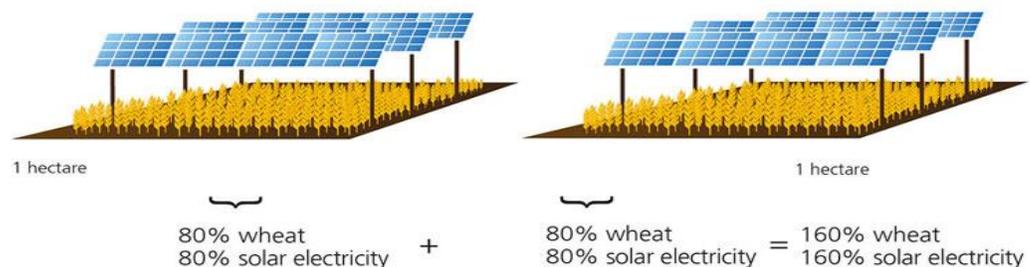
Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Nella progettazione e realizzazione degli impianti agrovoltaici deve garantire una strategia sostenibile delle aree agricole attraverso la *riduzione delle emissioni di anidride carbonica* (decarbonizzazione) e preservare i terreni agricoli *umentandone il valore* del terreno e i benefici per gli agricoltori.

Separate Land Use on 2 Hectare Cropland



Combined Land Use on 2 Hectare Cropland: Efficiency increases over 60%



ASPETTI GENERALI



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

L'implementazione di un impianto agro-voltaico occorre tener conto dell'attività agricola e delle sue esigenze. L'installazione di pannelli solari dovrebbe considerare le dimensioni, la larghezza e il raggio di rotazione delle attrezzature agricole utilizzate per la gestione delle colture.



ASPETTI GENERALI



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Nella **progettazione e realizzazione** degli impianti agro-voltaici dovrebbero essere considerati *sistemi di produzione integrato o biologico* con l'adozione di pratiche agronomiche sostenibili (rotazioni agrarie, lotta integrata alle avversità biotiche, fertilizzazione e irrigazioni efficienti).



ASPETTI GENERALI



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie



Valorizzazione delle produzioni locali. Negli impianti agro-voltaici dovrebbero essere preferite le coltivazioni tipiche dell'area favorendo l'integrazione a sistemi di certificazione e disciplinari di produzione con l'obiettivo di valorizzare il territorio.



PRESUPPOSTI

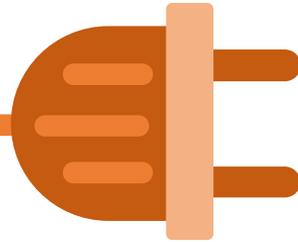


Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Lo **scambio di conoscenze** e la co-progettazione tra il sistema voltaico e il sistema agrario rappresentano gli elementi essenziali per la definizione e la realizzazione in modo appropriato degli impianti agro-voltaici.

SISTEMA
VOLTAICO



SISTEMA
AGRARIO



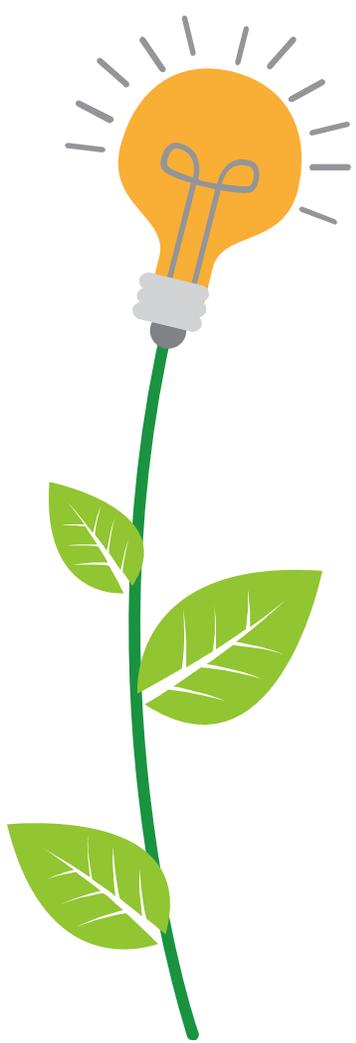
CARATTERISTICHE DEL SITO



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

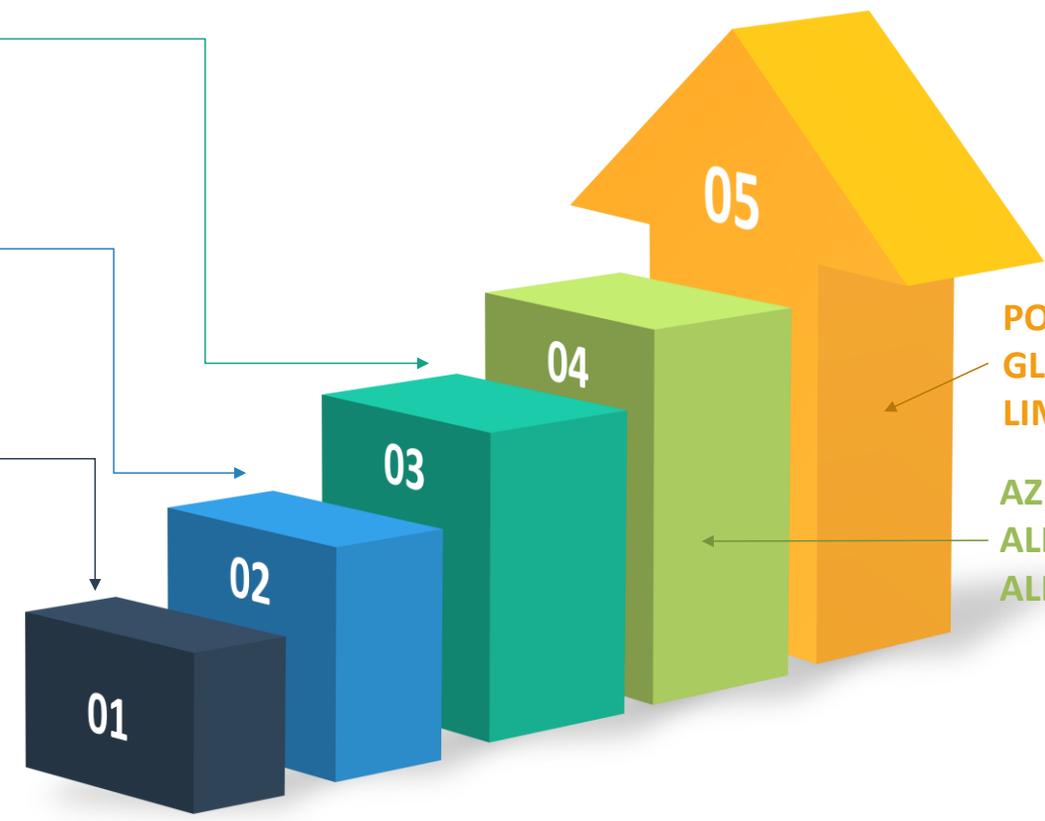
Caratteristiche agronomiche da valutare nell'individuazione del sito:



POSSIBILITA' DI USO
DELLA RISORSA IDRICA

COLTIVAZIONI LIMITATE
A SPECIE CEREALICOLE

AREA A FORTE
VOCAZIONE AGRICOLA

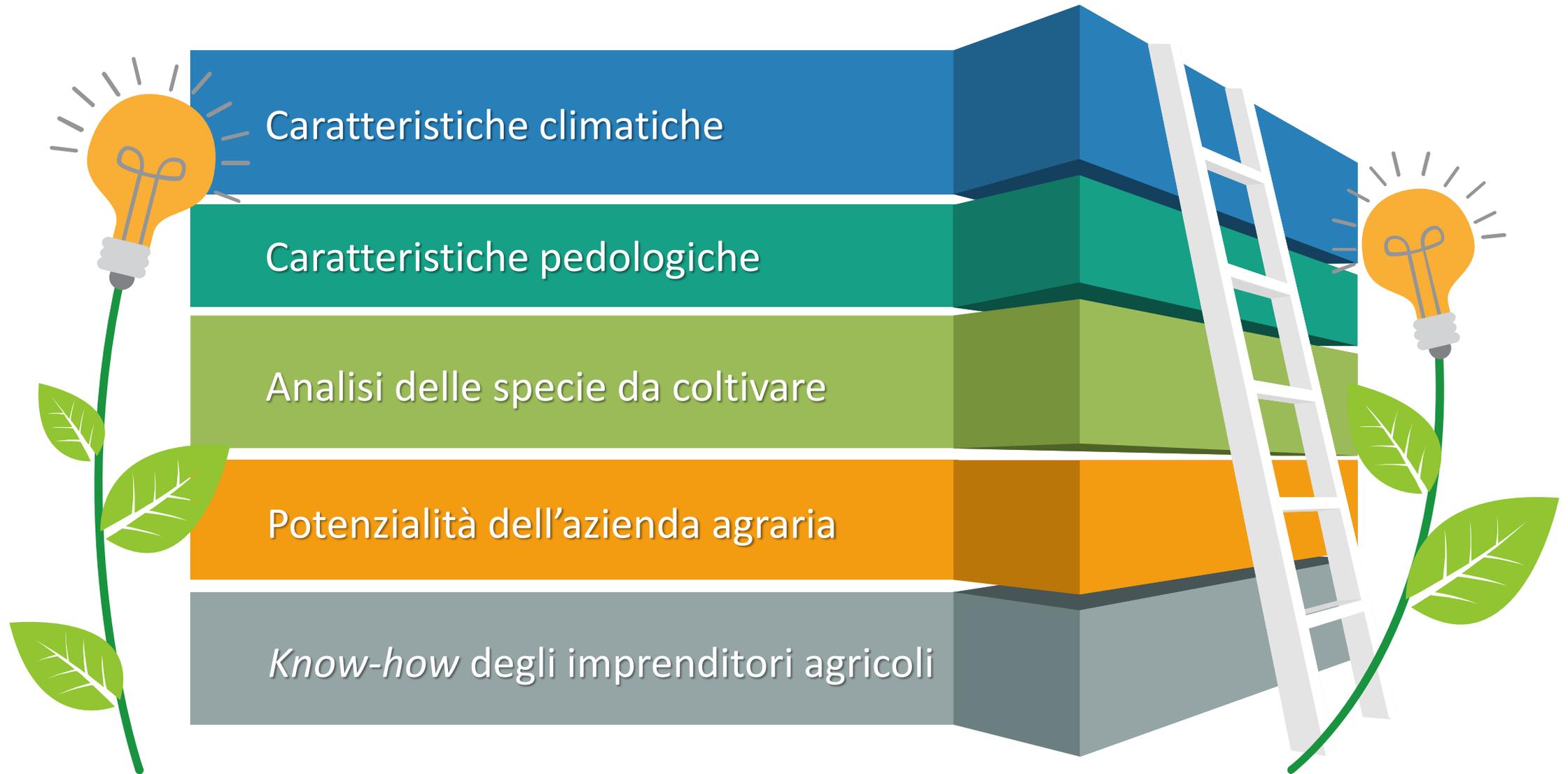


POSSIBILITA' AMPLIARE
GLI IMPIANTI A AREE
LIMTROFE

AZIENDE BEN COLLEGATE
ALLA RETE STRADALE E
ALLE VIE COMMERCIALI



I fattori chiave per implementare con successo l'agri-voltaico sono:



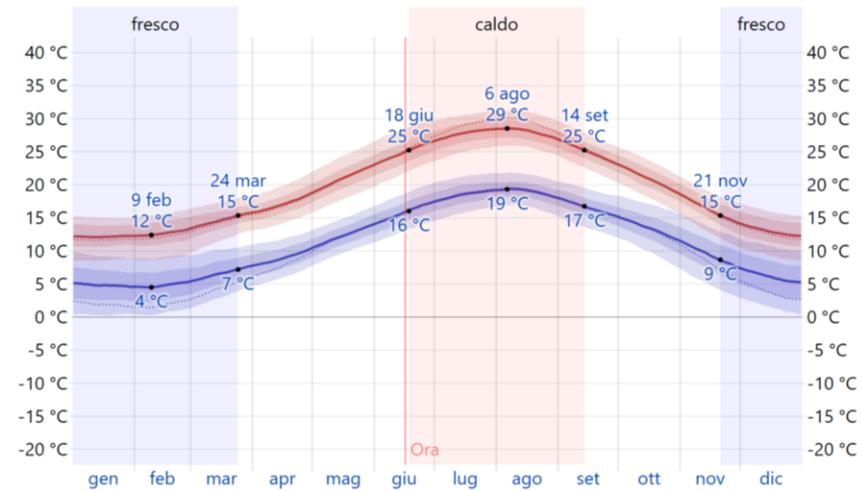
CARATTERISTICHE DEL SITO



Università
degli Studi
di Ferrara

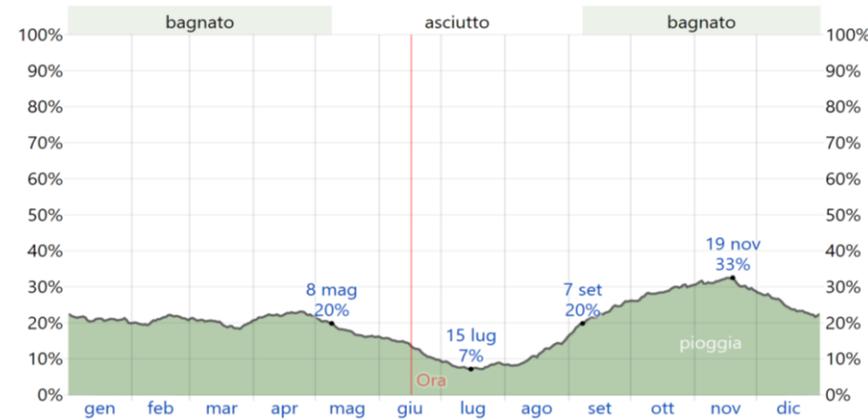
Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Temperatura dell'aria

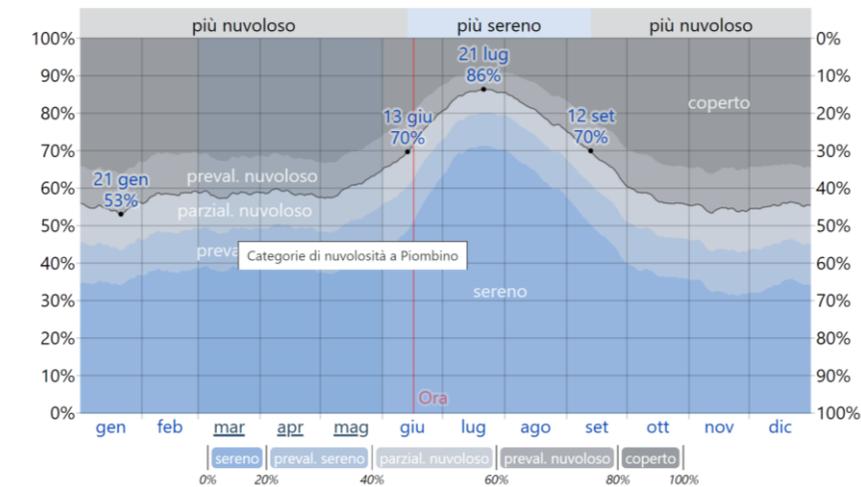


Caratteristiche climatiche

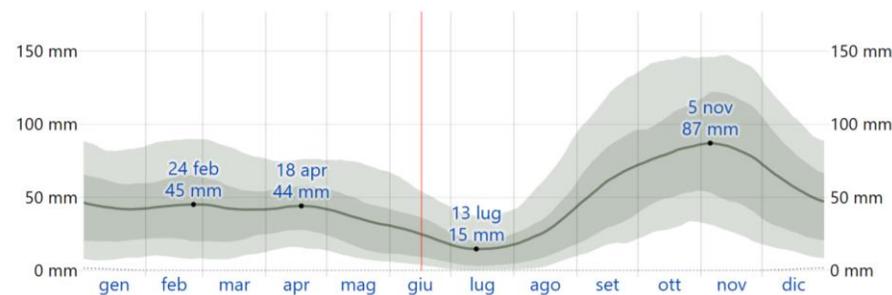
Probabilità di pioggia



Nuvolosità



Precipitazioni



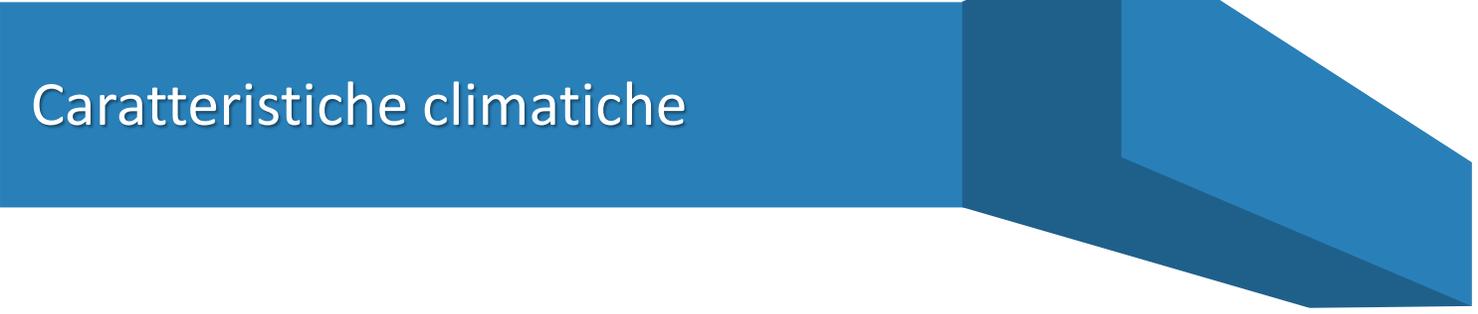
CARATTERISTICHE DEL SITO



Università
degli Studi
di Ferrara

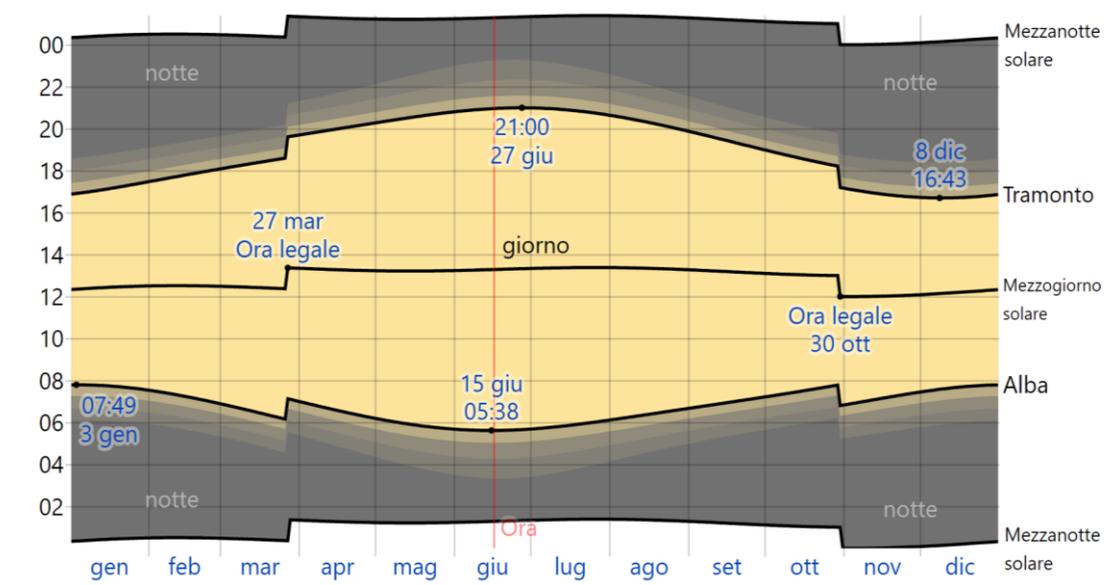
Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Ore di luce

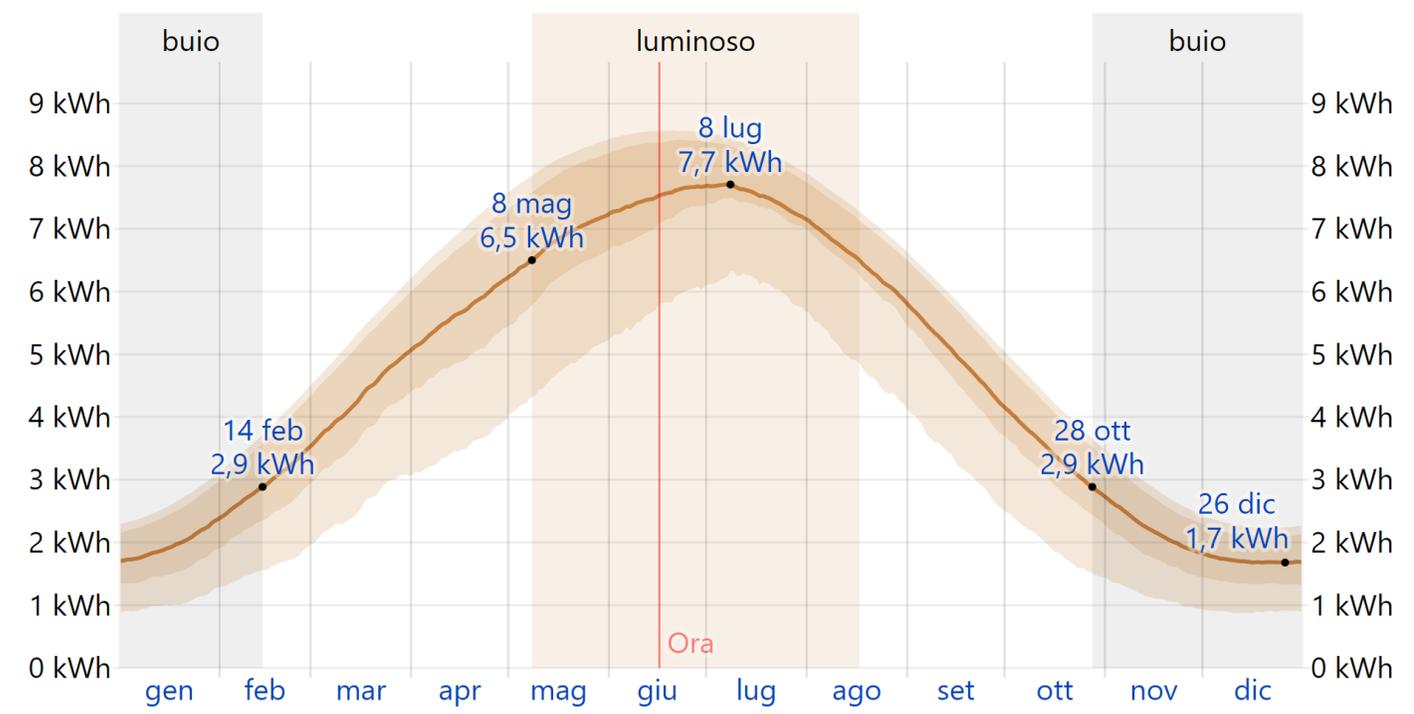


Caratteristiche climatiche

Alba - Tramonto

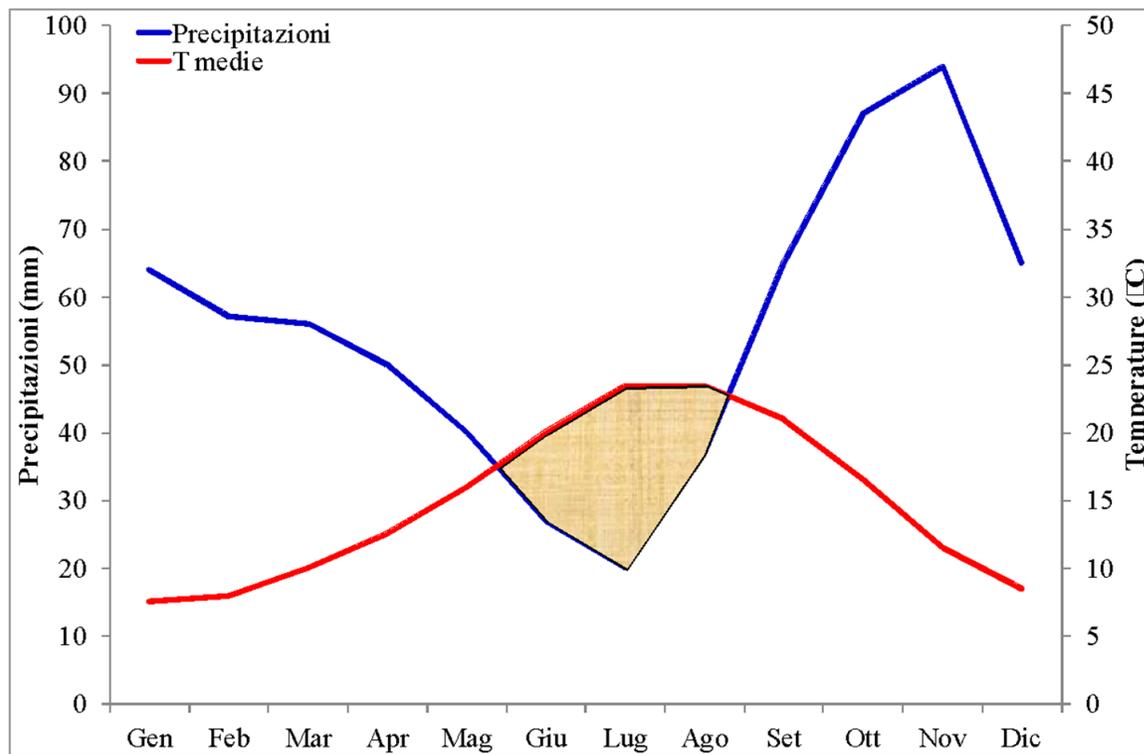


Radiazione luminosa

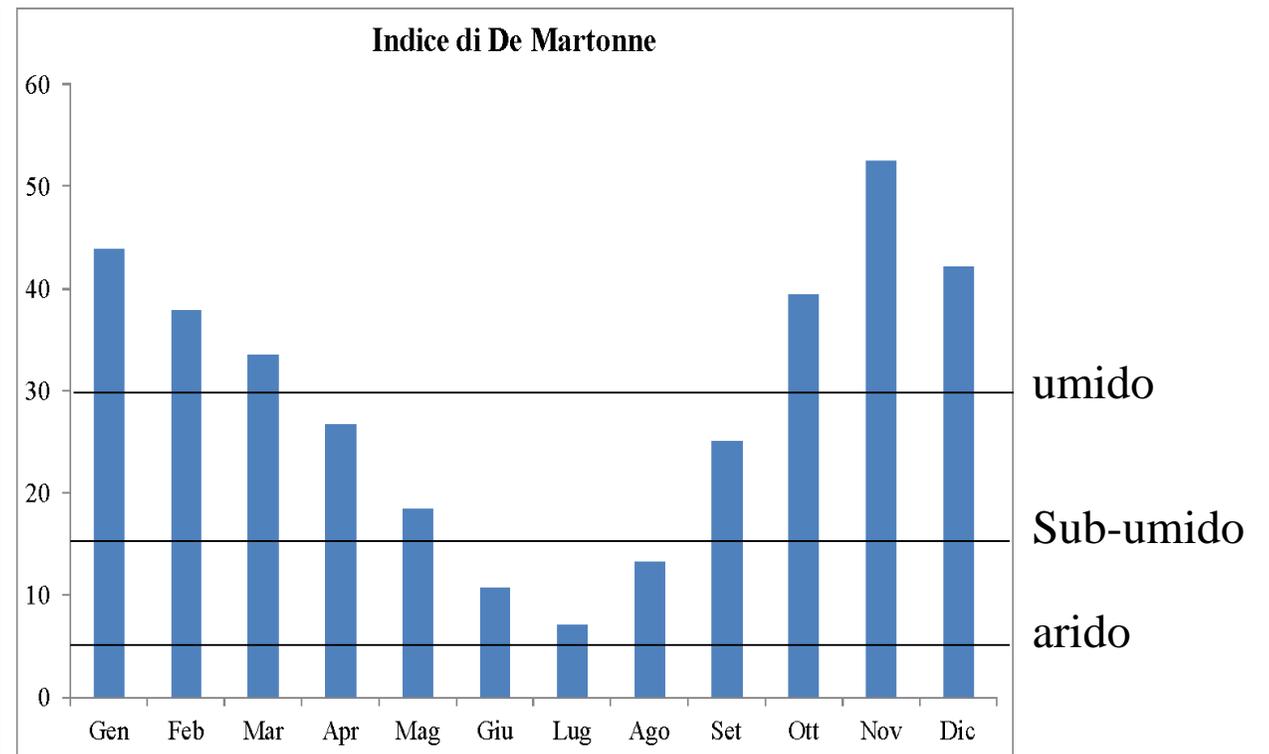


Caratteristiche climatiche

Climodiagramma di Walter e Lieth

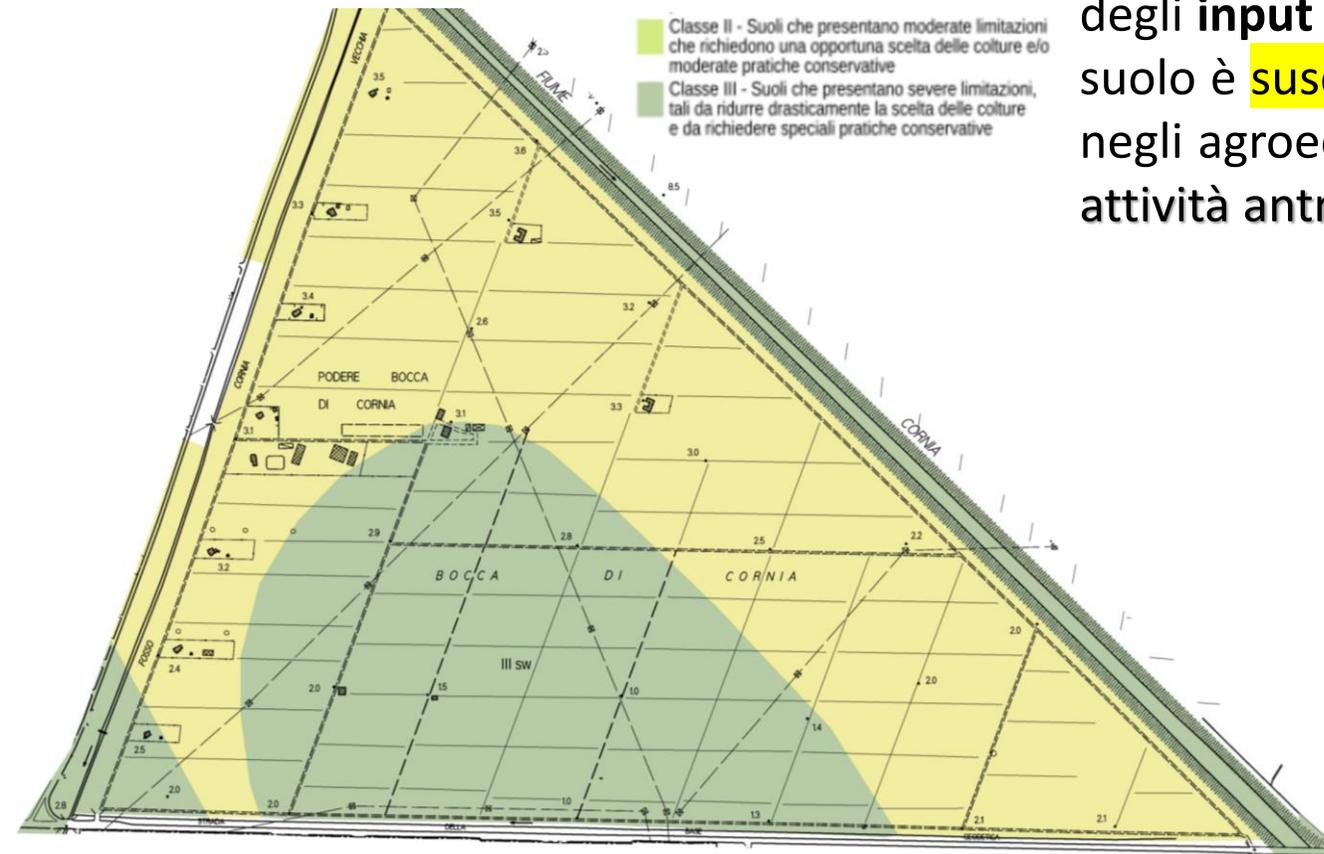


Indice di De Martonne



Caratteristiche Pedologiche

Carta dei suoli



Suolo è dato dallo stato corrente del processo ecosistemico nel punto di **massima convergenza** degli **input** e di rilascio degli **output** e pertanto il suolo è **suscettibile di cambiamento**, soprattutto negli agroecosistemi, in rapporto all'azione delle attività antropiche.

Le caratteristiche generali dei suoli nell'area in oggetto, risultano senz'altro di elevato interesse agronomico, unico elemento che richiede particolare attenzione in base alla "carta dei suoli" della Regione è il **livello di salinità** moderata nell'area

CARATTERISTICHE DEL SITO



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Analisi delle specie da coltivare

Analisi dei dati sulle coltivazioni agrarie

Selezione periodo	2019		2020		2021	
	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali
Tipo di coltivazione						
Seminativi						
cereali in composto						
frumento tenero	1030	32000	1100	34480	1020	25550
frumento duro	7700	250000	7600	244650	6850	176800
segale	32	1010	30	945	20	510
orzo	750	23760	740	23400	660	16750
avena	730	22970	730	22970	670	16860
mais	115	3790	100	3245	85	2480
sorgo	150	4780	150	4820	175	4540
triticale	..	..	25	695	18	405
altri cereali	27	770	25	745	22	510
pisello proteico	24	747	20	620	15	470
pisello da granella	20	646	18	560	12	385
fagiolo secco	20	557	22	560	15	370
fava da granella	280	6780	280	6770	280	6000
lupino dolce	..	..	35	660	30	565
lenticchia	47	796	45	785	75	1260
cece	300	5495	280	4990	300	5070
patata comune	150	34380	165	37685	88	18060
lino	30	1480	30	1500	8	400
canapa	4	395	4	400	4	395
Piante da semi oleosi						
arachide	4	75	4	75	4	78
colza	68	1294	65	1290	53	845
ravizzone	20	415	20	415	20	418
girasole	1350	29880	1400	30850	1620	32300
soia	80	1910	80	3095	8	297
Foraggere temperanee						
mais ceroso	220	..	230	96700	230	96800
loietto	390	..	390	93200	390	93200
altri erbai monofiti	80	..	80	11500	80	11600
graminacee	250	..	270	38100	270	39000
leguminose	190	..	190	41920	190	42500
altri miscugli	240	..	200	53300	200	53500
erba medica	1650	..	1600	430100	1600	462100
lupinella	170	..	160	24700	160	24800
sulla	620	..	650	162000	680	169500
altre specie di foraggere temporanee	50	..	50	7350	50	7400
prati avvicendati polifiti	660	..	650	138000	650	138000
trifoglio e miscele	..	..	530	110000	500	103800
altri erbai monofiti di cereali	..	..	710	136400	710	136400
altre piante raccolte verdi da seminativi	..	..	660	139000	680	143300

Selezione periodo	2019		2020		2021	
	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali
Tipo di coltivazione						
Ortive						
fava fresca in piena aria	120	7220	120	7180	..	..
aglio e scalogno in piena aria	6	600	..	..	..	..
porro in piena aria	30	3690	30	3694	36	4434
cavolo di bruxelles	1	143	1	145	1	140
cavolo bianco	..	..	1	120	1	100
cavolo rosso	..	..	1	120	1	100
cavolo verza	55	12590	55	12540	228	9230
broccolo di rapa in piena aria	12	1775	10	1480	15	2000
altri cavoli diversi dai broccoletti di rapa	..	..	2	255	2	220
cavolfiore (e cavolo broccolo)	6	1090	8	1460	18	2960
ortive in piena aria						
pisello in piena aria	16	765	16	770	14	685
fagiolo e fagiolino in piena aria	30	1780	32	1880	21	1045
cipolla in piena aria	24	4870	27	5497	22	3770
carota e pastinaca in piena aria	3	750	4	980	4	830
rapa in piena aria	2	355	2	360	..	..
barbabietola da orto in piena aria	26	5070	26	5096	22	4280
asparago in piena aria	18	1440	15	1200	50	1020
radicchio o cicoria in piena aria	3	285	6	575	6	480
sedano in piena aria	1	208	1	208	..	..
cavolo cappuccio in piena aria	11	2085	..	..	..	..
carciofo in piena aria	430	17900	430	30000	430	28148
melanzana in piena aria	11	1880	12	2048	10	1625
peperone in piena aria	72	15590	75	16297	40	7820
cetriolo da mensa in piena aria	3	700	3	690	3	690
cetriolo da sottaceti in piena aria	3	620	3	615	3	615
lattuga in piena aria	10	1870	14	2685	10	1630
popeone o melone in piena aria	280	66940	290	69995	270	58650
zucchini in piena aria	65	15970	68	16290	75	17050
cocomero in piena aria	95	32180	95	31940	70	23580
finocchio in piena aria	8	1600	9	1800	8	1380
indivia (riccia e scarola) in piena aria	6	690	6	705	25	2490
ravanello in piena aria	5	825	..	175	..	..
spinacio in piena aria	360	42470	350	41950	..	..
bietola da costa in piena aria	23	3970	23	3970	..	..
altri cavoli in piena aria	2	248	..	..	..	..
pomodoro in piena aria	110	45940	..	..	..	..
aglio	..	..	6	605	6	607
pomodoro da consumo fresco o da mensa	..	..	110	45995	74	29300
pomodoro da trasformazione in piena aria	160	52950	145	47970	385	121000

Selezione periodo	2019		2020		2021	
	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali
Tipo di coltivazione						
Coltivazioni fruttifere (frutta, bacche, frutta a guscio)						
coltivazione di frutta fresca di origine temperata						
mela	8	1790	8	1790	8	1760
mele per il consumo fresco	..	..	8	1790	8	1760
cotogno	1	218	1	218	1	210
pera	4	595	4	618	3	450
pere per il consumo fresco	..	..	4	618	3	450
pesca	21	2600	21	2600	21	2700
nettarina (pesca noce)	18	2400	18	2400	18	2500
albicocca	62	9250	62	8850	62	3480
ciliegia	34	4860	34	4700	34	1300
susina	10	2490	10	2485	8	800
Coltivazione di frutta fresca di origine sub-tropicale						
fico	1	53	1	49	..	..
kiwi	4	595	4	600	4	480
lotti o kaki	2	415	2	417	2	420
melograno	3	565	3	568	3	564
mandorla	19	228	19	225	19	230
nocciola	1	25	7	25	10	74
castagne e marroni	..	..	18	305	18	300
noci	..	..	6	200	6	200

Dati estratti il 11 gen 2022, 16h51 UTC (GMT) da I.Stat

Selezione periodo	2019		2020		2021	
	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali	superficie totale - ettari	produzione raccolta - quintali
Tipo di coltivazione						
Coltivazioni legnose agrarie						
Vite						
uva da vino	2676	190750	2676	190770	2860	192500
uve per vini dop	..	..	1146	74390	1220	75300
uve per vini igp	..	..	80	6390	105	6400
uve per altri vini (escluso dop e igp)	..	..	1450	109990	1535	110800
uva da tavola	13	2395	13	2390	13	2400
Olivio per la produzione di olive da tavola e da olio						
olive da tavola e da olio	5021	64323	5021	65470	5021	56000
olive da tavola	..	538	11	490	..	..
olive da olio	..	63785	5010	64980	..	..
Coltivazioni di agrumi						
arancia	2	226	3	228	3	230
clementine	2	200	3	298	3	300
limoni e lime acidi	..	..	2	150	2	150
limone	1	145	2	150	2	150

Dati estratti il 11 gen 2022, 16h51 UTC (GMT) da I.Stat

Analisi delle specie da coltivare

La **disposizione dei pannelli fotovoltaici** deve essere *ottimizzata* per consentire l'intercettazione della radiazione solare sia alla componente fotovoltaica sia alla componente agraria consociata.

L'**elevazione dei pannelli** per facilitare l'agricoltura sottostante dipenderà anche dalle attività pianificate; le coltivazioni di specie agrarie a taglia alta o l'agricoltura meccanizzata avranno bisogno di una struttura di montaggio del pannello più alta rispetto alle specie a portamento prostrato o in caso di raccolta manuale.



Analisi delle specie da coltivare



Gruppo erbacee in rotazione tra loro
[negli elaborati grafici aree E] :

- Pomodoro;
- Asparago in consociazione con inerbimento controllato;
- Carciofo in consociazione con inerbimento controllato;
- Zucca da zucchini;
- Veccia sativa;
- Trifoglio violetto;

CARATTERISTICHE DEL SITO



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Analisi delle specie da coltivare

Gruppo specie erbacee in rotazione tra loro di interesse mellifero [negli elaborati grafici aree F]

- Medica;
- Girasole;
- Colza;
- Phacelia tanacetifolia;



Analisi delle specie da coltivare



Gruppo arboree:

- Vite da vino in consociazione con inerbimento controllato [negli elaborati grafici aree V];
- Olivo in consociazione con inerbimento controllato [negli elaborati grafici aree O];
- Melo da mela rossa in consociazione con inerbimento controllato [negli elaborati grafici aree M];
- Alcune piante da frutto (pesco, susino, albicocco) nel perimetro della zona arnie;

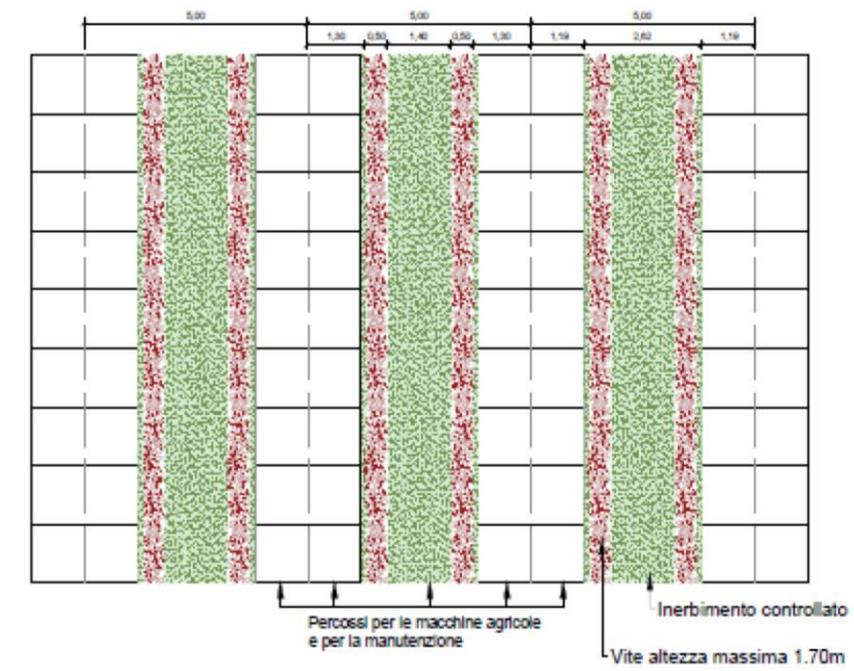
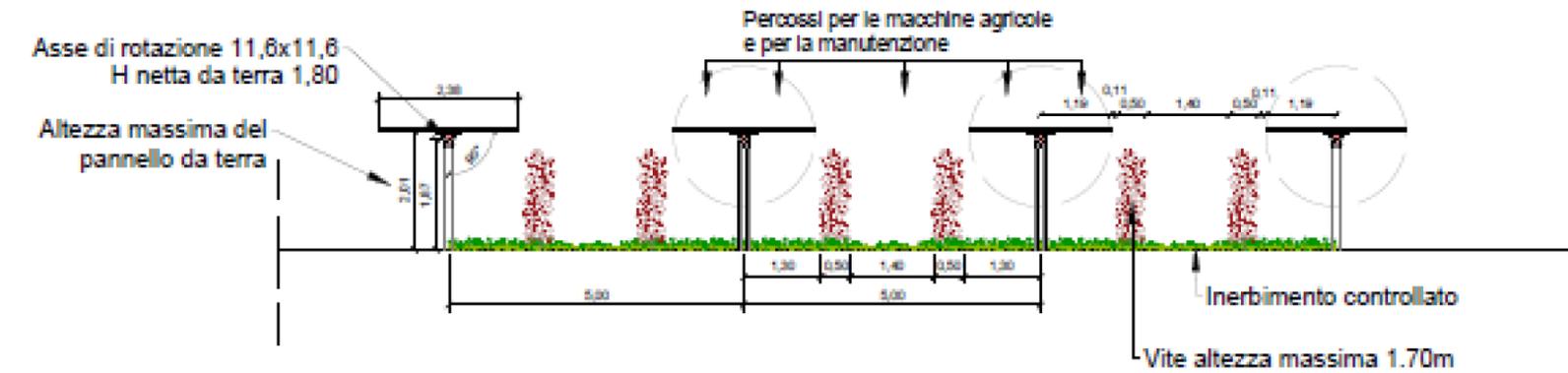
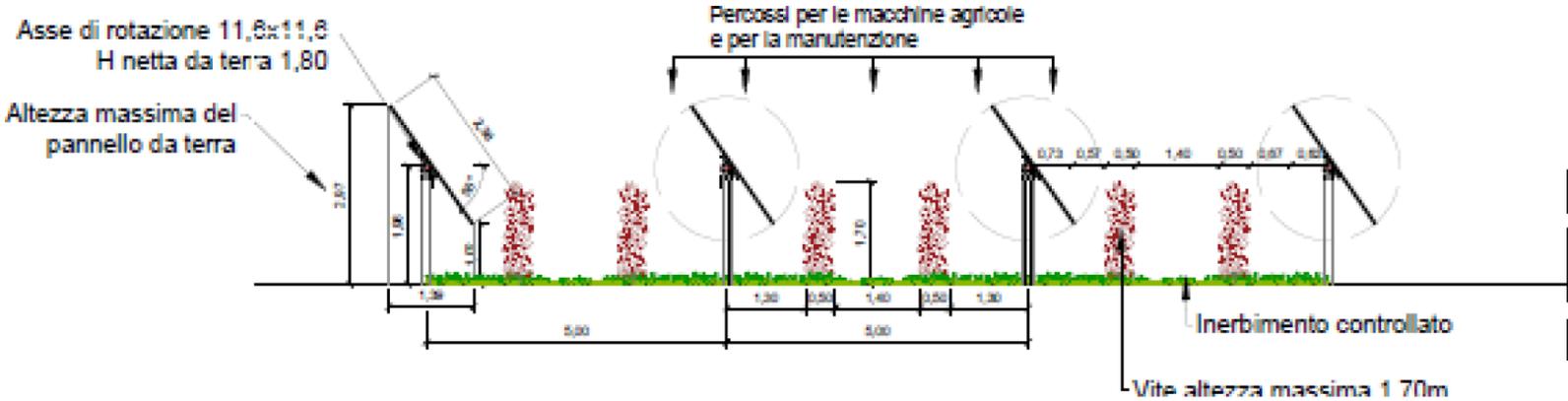
CARATTERISTICHE DEL SITO



Università
degli Studi
di Ferrara

Dipartimento
di Scienze Chimiche,
Farmaceutiche ed Agrarie

Analisi delle specie da coltivare



Analisi delle specie da coltivare



Gruppo aromatiche:

- Rosmarino in consociazione con inerbimento controllato [negli elaborati grafici aree A];
- Salvia in consociazione con inerbimento controllato [negli elaborati grafici aree A];
- Lavanda [negli elaborati grafici aree L];

Perimetro dell'intero sistema consociato complesso Agrivoltaico

- Alloro;
- Canna comune;
- Oleandro;
- Biancospino;

È quindi consigliabile analizzare:

- **Capitale umano** (competenze professionali, quale modello gestionale, quale forma giuridica)
- **Capitale fisico** (dimensioni aziendali, immobili disponibili e da acquisire, macchine e attrezzi).
- **Offerta** (massa critica, differenziazione prodotti e attività, qualità, diversificazione).
- **Mercati** (canali di vendita possibili, attività promozionali)
- **Performance economica** (redditività e costi)

Potenzialità dell'azienda agraria



Disponibilità ad adattare le tecniche di coltivazione all'ambiente generato a seguito dell'installazione dei pannelli fotovoltaici come componenti consociate.

Esempio: Il parziale ombreggiamento riduce l'evapo-traspirazione delle piante modificando al ribasso i reali fabbisogni idrici delle colture.

Know-how degli imprenditori agricoli



Nel paragrafo che il PNRR dedica all'agri-voltaico si legge che la misura di investimento nello specifico prevede:

“il monitoraggio delle realizzazioni e della loro efficacia, con la raccolta dei dati sia sugli impianti fotovoltaici sia su produzione e attività agricola sottostante, al fine di valutare il microclima, il risparmio idrico, il recupero della fertilità del suolo, la resilienza ai cambiamenti climatici e la produttività agricola per i diversi tipi di colture”.



Monitorare le prestazioni delle colture coltivate tra i pannelli e sotto i pannelli aiuterebbe a prendere decisioni sull'orientamento dei pannelli solari che ottimizzano la produzione di energia preservando la resa e la qualità delle produzioni agrarie.

La valutazione dello stato di una coltura coltivata in **consociazione** con i pannelli fotovoltaici può essere eseguita con diversi metodi, ma comunque devono mantenere il rispetto del rigoroso approccio scientifico.



Valutazione qualitativa
delle produzioni agrarie

Indici di
performance

Valutazioni
ambientali

Scelta "ottimale" delle
coltura da utilizzare



Indici di *performance*

I parametri presi in considerazione possono essere tradotti in indicatori e indici (NUE, WUE, ...) che consentono di costruire un concreto sistema di supporto alle decisioni dell'imprenditore agricolo e facilitare le iniziative da intraprendere per portare il sistema alla efficienza massima.



Valutazioni ambientali

I parametri che devono essere presi in considerazione per la validazione agronomica dei Agri-voltaici devono essere in grado di comprendere le complesse interazioni tra le componenti biotiche e con le componenti abiotiche.

**Valutazioni a carico del
suolo, delle piante e
dell'atmosfera.**





Al fine di comprendere l'evoluzione del sistema consociato complesso Agri-voltaico, in seguito alla attività di studio e validazione (dopo due/tre anni), sarà necessario avviare un processo di monitoraggio periodico.



Il monitoraggio dei suoli e delle specie vegetali presenti nei sistemi colturali all'interno dell'Agrivoltaico sarà effettuato sulla base di un programma di attività che permetta la raccolta e la sistemazione organica dei dati necessari alla verifica degli effetti su ognuna delle componenti.



*Si ringrazia
per la cortese attenzione*



**University
of Ferrara**

**Department
of Chemical, Pharmaceutical
and Agricultural Sciences**