

**Università degli Studi di Bologna**  
**Facoltà di Ingegneria**

Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

Insegnamento di  
Valorizzazione delle Risorse Primarie e Secondarie M

**Produzione di energia da fonti rinnovabili**  
**applicate sinergicamente ad una realtà agricola**

Tesi di Laurea di  
Elena Naldi

Relatore  
Prof. Ing. Alessandra Bonoli

Correlatore  
Dott. Roberto Saponelli

Anno Accademico 2011/2012

Sessione III

# INDICE

Introduzione .....	Pag.6
Premessa .....	“ 7
1. Fonti energetiche <i>rinnovabili</i> e risparmio energetico .....	“ 9
- Microidroelettrico .....	“ 13
- Geotermico .....	“ 13
- Solare fotovoltaico .....	“ 14
2. Contesto normativo a livello europeo e nazionale .....	“ 17
- Direttiva 2006/32/CE .....	“ 17
- Piano di azione nazionale per l'efficienza energetica .....	“ 18
- Direttiva 2009/28/CE .....	“ 20
- Piano di efficienza energetica .....	“ 22
- Piano di azione nazionale per le <i>energie rinnovabili</i> .....	“ 23
- Piano energetico Regione Emilia Romagna .....	“ 25
- Azioni .....	“ 28
- Assi .....	“ 28
- Secondo piano attuativo .....	“ 31
- Meccanismi fondamentali .....	“ 32
- Certificati Verdi .....	“ 33
- Conto energia .....	“ 37
- Meccanismi .....	“ 38
- Tariffe incentivanti .....	“ 39
- Certificati RECS .....	“ 41
- Certificati Bianchi .....	“ 41
3. Microidroelettrico .....	“ 43
- Localizzazione dell'impianto .....	“ 43
- Captazioni possibili .....	“ 47
- Coclea idraulica .....	“ 49
- Campi di applicazione .....	“ 50
- Vantaggi applicativi .....	“ 50
- Rendimento e redditività .....	“ 51

- Descrizione .....	Pag.51
- Vantaggi per la fauna ittica .....	“ 54
- Esempi di applicazioni .....	“ 55
- Very low head turbine .....	“ 56
- Vantaggi applicativi .....	“ 57
- Descrizione .....	“ 58
- Vantaggi per la fauna ittica .....	“ 60
- Scelte progettuali .....	“ 62
4. Impianto fotovoltaico .....	“ 63
- Cenni sugli impianti fotovoltaici .....	“ 63
- Tipi di pannello .....	“ 65
- Realizzazione di un pannello fotovoltaico .....	“ 67
- Pannelli in silicio amorfo .....	“ 69
- Pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino e multicristallino .....	“ 70
- Tipi di impianti fotovoltaici .....	“ 71
- Funzionamento .....	“ 71
- Dimensionamento fotovoltaico .....	“ 73
- Posizionamento dei pannelli solari .....	“ 74
- Agrovoltaico .....	“ 76
- La struttura ed i suoi meccanismi .....	“ 78
- Caratteristiche tecniche .....	“ 80
- Tecnologia wireless .....	“ 82
- Plus ecocompatibile .....	“ 83
- L'esperienza REM .....	“ 85
5. Serra con impianto fotovoltaico .....	“ 87
- Cenni sulla coltivazione in serra .....	“ 87
- Serra fotovoltaica .....	“ 89
- Opus et vita .....	“ 91
- Serra tipologia SFIE .....	“ 92
- Struttura .....	“ 93
- Tamponature .....	“ 94

- Copertura .....	Pag.95
- Areazione .....	“ 95
- Sistemi di ancoraggio .....	“ 96
- Serra tipologia SFU .....	“ 97
6. Geotermico.....	“ 98
- Definizione.....	“ 98
- Risorse geotermiche in Emilia Romagna .....	“ 98
- Alta e media entalpia .....	“ 101
- Bassa entalpia .....	“ 101
- Geotermico applicato alla serra .....	“ 102
- Geotermico applicato agli edifici .....	“ 105
- Pompe di calore .....	“ 106
- Sonde geotermiche verticali .....	“ 108
- Principi di dimensionamento .....	“ 110
- Possibili effetti riguardo l'impiego termico del sottosuolo .....	“ 111
7. Microalghe .....	“ 112
- Caratteristiche generali .....	“ 112
- Usi e vantaggi delle microalghe .....	“ 113
- Tecniche di coltivazione .....	“ 115
- Metodi di raccolta .....	“ 118
- Tecniche di conversione dell'energia dalla biomassa .....	“ 119
8. Scelte delle coltivazioni e delle lavorazioni .....	“ 122
- Struttura agricola regionale .....	“ 122
- Analisi delle colture integrabili con l'agrovoltaico .....	“ 124
- Tipologia di lavorazioni .....	“ 126
- Analisi delle colture meglio integrabili con la serra fotovoltaica .....	“ 128
9. Conclusioni .....	“ 132
- Energia, agricoltura e sinergia .....	“ 132
- Curve di carico .....	“ 133

- Dimensioni dalle fonti *energetiche rinnovabili* ..... Pag.134
- Valore etico aggiunto..... “ 140

Bibliografia..... “ 141

Ringraziamenti..... “ 144

## INTRODUZIONE

Agricoltura ed Energia sono le due parole cardine attorno a cui ruota questa tesi. La prima si trova ad oggi ad essere investita da enormi aspettative: ha implicazioni economiche, sociali, ambientali e territoriali. Offre opportunità occupazionali nelle aree rurali, favorisce il mantenimento di un tessuto sociale, ha funzioni produttive e di tutela ambientale.

In Italia è profondamente diffusa ma mantiene caratteristiche molto differenti legate ai prodotti, al territorio e al paesaggio agrario. Andrebbe quindi meglio conosciuta, tutelata, ma soprattutto rinnovata per essere efficientemente inserita nel contesto dello sviluppo del nostro Paese. Ricercando nuove soluzioni e nuove idee, che dovrebbero essere alla base della ripresa dal periodo di crisi, ci si collega al secondo termine, meglio definito con un aggettivo descrittivo: *rinnovabile*. L'utilizzo di queste fonti è alla base delle odierne necessità di risparmio energetico e dell'uso razionale delle energie. Il primo passo è annullare gli sprechi incrementando l'efficienza dei dispositivi che producono energia. Vengono qui analizzate diversi impianti ad *energie rinnovabili* proposti in un luogo specifico che si presta a vedere le diverse fonti agire in sinergia ed a servizio dell'agricoltura che rimane la vocazione principale del luogo in esame. La sinergia diventa quindi la chiave di lettura della tesi in quanto le *rinnovabili* sono caratterizzate da una imprevedibile variabilità per cui risulta funzionale un sistema integrativo che porti il progetto finale ad avere una maggiore continuità nel servizio in ogni periodo dell'anno.

## PREMESSA

Il progetto che si va ad analizzare è localizzato in una zona di confine tra Romagna e Toscana nei territori del comune di Fontanelice ancora sotto la provincia di Bologna, sulle rive del fiume Santerno. L'esposizione si presta favorevolmente all'impianto di sistemi ad *energia rinnovabile*, mentre dal punto di vista edile ci sono due fabbricati da restaurare: la casa ed il fienile. Per quanto riguarda il terreno a disposizione per il progetto, è suddiviso in tre aree differenti, ognuna delle quali si presta all'installazione di un diverso impianto.

Nella zona di maggiore estensione e con la migliore esposizione, si propone un impianto agrovoltaico innovativo e contemporaneamente rivoluzionario realizzato seguendo l'esempio di una sperimentazione della azienda REM S.p.a. Revolution Energy Maker che si andrà ad analizzare nel dettaglio.

Un'altra installazione fotovoltaica sarà sulla serra: l'utilizzo dei pannelli fotovoltaici è da considerarsi parte integrante della struttura come verrà descritto nel progetto della ditta Opus et Vita. La metodologia scelta per il riscaldamento della serra è basata sullo sfruttamento dell'energia geotermica, mentre per quanto riguarda le coltivazioni all'interno ci sono diverse possibilità: una è la coltura di biomasse microalgali con tecnologia a fotobioreattori, utilizzando specie cellulari idonee e selezionate, o più semplicemente un prodotto che sfrutti le condizioni di ombreggiamento, in realtà minimo, creato dalla struttura per rimanere più legati alla produzione locale.

In ultimo, vista la strategica posizione, il progetto prevede la messa in opera di un impianto microidroelettrico nel terreno lambito dal Santerno. Le condizioni favorevoli permettono di applicare le odierne conoscenze in campo idroelettrico, ad oggi giunte alla piena maturità, nel totale rispetto dell'ambiente circostante ed in linea con le vigenti normative.

Il progetto vuole essenzialmente unire una realtà agricola tipica di queste zone, con caratteristiche ben specifiche, ad un impianto energeticamente autosufficiente per incentivare e portare avanti l'idea di una possibile cultura energetico-ambientale dove il settore primario abbia un ruolo

trainante nell'innovazione e quindi sia una delle chiavi di svolta per il periodo che stiamo vivendo. In questo senso si parte dal principio che il consumo di energia è in ogni attività un costo, sia ambientale che sociale, ed è quindi importante risparmiare ma soprattutto sfruttare ed ottimizzare le risorse naturalmente disponibili, favorendo le condizioni per attività tecnicamente ed economicamente competitive.

L'azienda agricola diventa protagonista di una nuova visione di ripresa imparando a conciliare le nuove tecnologie e la coscienza sostenibile per avviarsi verso una nuova economia con alla base principi solidi ed in sinergia con quanto possiamo sfruttare in natura senza conseguenze dannose per il futuro.



## Capitolo 1

### FONTI ENERGETICHE *RINNOVABILI* E RISPARMIO ENERGETICO

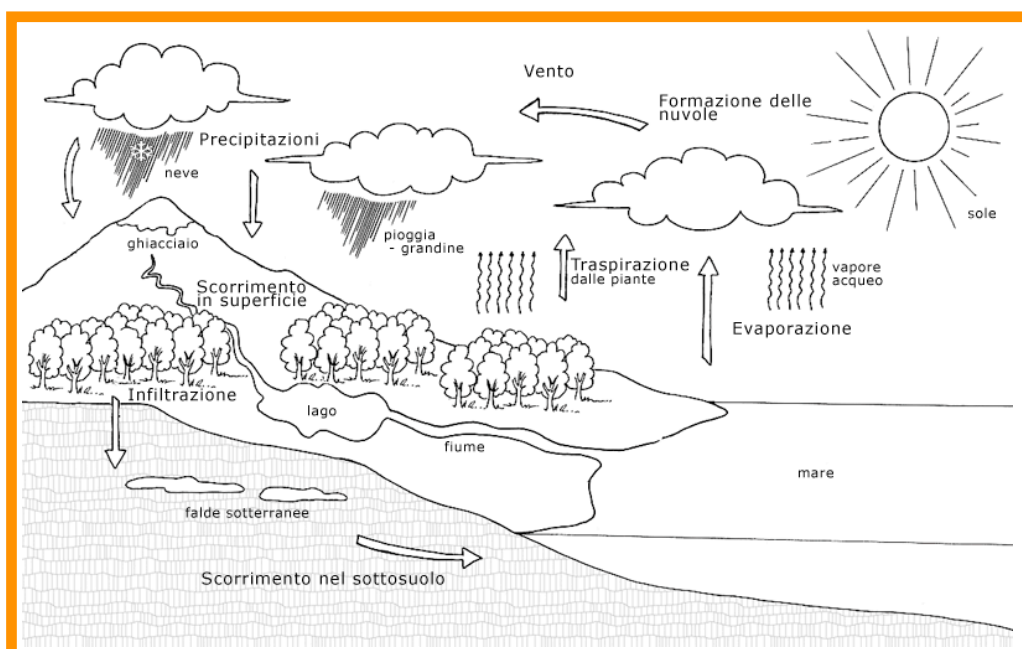
#### DEFINIZIONI E CARATTERISTICHE

Una fonte energetica è *rinnovabile* quando il suo sfruttamento avviene in un tempo confrontabile con quello necessario per la sua rigenerazione. La legislazione vigente considera le seguenti FER: il sole, il vento, l'energia idraulica, le risorse geotermiche, le maree ed il moto ondoso. Questa definizione va completata includendo le biomasse (p. es. legno), precisando che tali risorse sono da considerarsi *rinnovabili* solo se gestite in modo appropriato, vale a dire facendo sì che il loro tempo di utilizzo sia compatibile con quello di ripristino.

E' importante anzitutto considerare come le forme di energia sul nostro pianeta abbiano origine dall'irraggiamento solare, ad eccezione dell'energia nucleare, geotermica e delle maree. L'energia idroelettrica, che sfrutta le cadute d'acqua, non esisterebbe senza il ciclo solare dell'evaporazione e della pioggia.

Senza il sole non ci sarebbe il vento, dovuto al disuniforme riscaldamento delle masse d'aria, e quindi l'energia eolica.

Figura 1 - Il ciclo dell'acqua



L'energia delle biomasse è energia solare immagazzinata chimicamente, attraverso il processo della fotosintesi clorofilliana. Anche i combustibili fossili (carbone, petrolio, gas naturale) derivano dalla energia del sole immagazzinata nella biomassa milioni di anni fa attraverso il processo della fotosintesi clorofilliana, ma non sono rinnovabili in tempi storici.

L'utilizzo di FER (rappresentate in figura 2, qui a fianco) è l'ultimo gradino di una piramide che ha come base il risparmio energetico e l'uso razionale dell'energia. Il primo passo è, infatti, quello di limitare gli sprechi incrementando l'efficienza dei dispositivi che producono energia. Solo in seguito si può pensare alla scelta della fonte energetica con cui alimentare questi dispositivi.

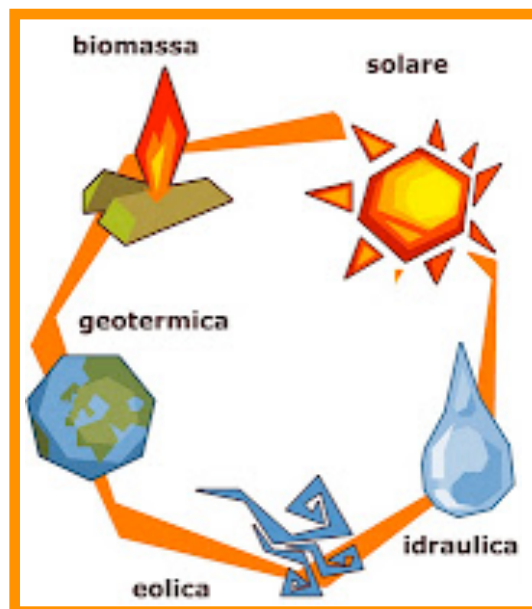
Le FER presentano numerosi vantaggi, di cui i maggiori sono

senza dubbio l'assenza di emissioni inquinanti durante il loro utilizzo e la loro inesauribilità.

Le FER sono però caratterizzate da una variabilità imprevedibile (si pensi ai regimi di vento o anche alle piene dei fiumi), per cui in genere è necessario un sistema integrativo che sopperisca alle mancanze dell'impianto alimentato a FER e ne assicuri la continuità di servizio. Nel caso, per esempio, di un impianto fotovoltaico, il sistema integrativo può essere costituito da un parco batterie per l'accumulo dell'energia, oppure dalla rete elettrica o da un gruppo elettrogeno diesel. Nel caso di un sistema solare termico, l'integrazione è data da una caldaia a gas oppure da uno scaldabagno elettrico. La combinazione di più FER, meglio se complementari (es. sole e vento), permette di ridurre il loro carattere imprevedibile e diminuire così la dipendenza dal sistema integrativo.

Nel caso in esame si vuole andare a sfruttare quanto il sito offre naturalmente. Analizzando la posizione geografica e considerando le nuove tecnologie a disposizione, si possono posizionare:

- un impianto di produzione di energia da microidroelettrico,



- un impianto di geotermico a bassa entalpia,
- due impianti fotovoltaici.

L'impianto microidroelettrico ha delle caratteristiche forzate dettate dalle normative e dalle caratteristiche del torrente Santerno che lambisce il terreno dell'azienda, quindi la sua analisi sarà standardizzata e simile a quelle della zona, ma considerando proposte comunque interessanti.

L'impianto geotermico a bassa entalpia viene progettato per il casolare ma viene anche applicato al riscaldamento della serra fotovoltaica a servizio dell'azienda agricola. Visto il duplice impiego, anche se l'impianto dovrà avere un dimensionamento maggiore, si potrà avere un costo medio vantaggioso da non sottovalutare nel complessivo bilancio economico finale.

L'impianto fotovoltaico analizzato sarà impiantato parte sulla serra ed in parte sarà realizzato come un impianto oggi realizzato dall'azienda REM in alcune aziende agricole lombarde.

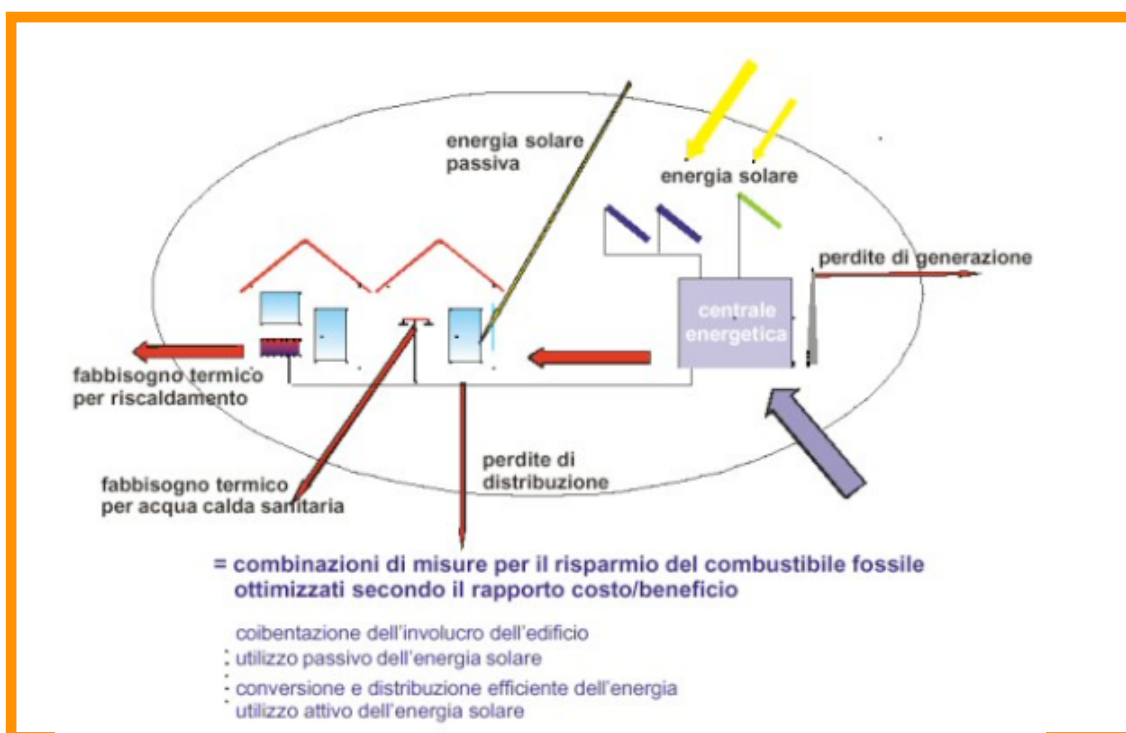


Figura 3 - Il podere Salera

Quest'ultima tipologia di agrovoltaico presenta caratteristiche singolari ed innovative volte a coniugare la produzione di *energia rinnovabile* lasciando la possibilità di utilizzare il suolo sottostante l'impianto per la tipologia di coltura che l'azienda predilige. Da sottolineare quindi una sostanziale differenza con quanto oggi viene definito agrovoltaico: non si è pensato ad un impianto a biomasse o alla semplice serra fotovoltaica: si vuole invece dare un nuovo significato al termine dove le due funzioni si trovino effettivamente ad agire in concomitanza, senza che l'agricoltura impedisca la produzione di energia da FER e viceversa senza che l'energia sottragga terreno prezioso alle coltivazioni possibili.

Il progetto di ristrutturazione degli edifici verrà in questa sede trascurato nei dettagli, ma l'idea rimane quello di perseguire gli obiettivi legati ad un uso razionale dell'energia per garantire il massimo risparmio energetico con i minori costi possibili di investimento, gestione e manutenzione. Le azioni includono ovviamente l'isolamento termico e l'utilizzo delle migliori tecnologie per i sistemi di riscaldamento convenzionali. La figura 4 rappresenta, schematicamente, l'approccio integrato al concetto di energia applicato ad un edificio.

Figura 4 - Risparmio energetico applicato ad un edificio



## MICROIDROELETTRICO

Energia idroelettrica è un termine usato per definire l'energia elettrica ottenibile a partire da una caduta d'acqua, convertendo con apposito macchinario l'energia meccanica contenuta nella portata d'acqua trattata. Gli impianti idraulici, quindi, sfruttano l'energia potenziale meccanica contenuta in una portata di acqua che si trova disponibile ad una certa quota rispetto al livello cui sono posizionate le macchine. Pertanto la potenza di un impianto idraulico dipende da due termini: il salto (dislivello esistente fra la quota a cui è disponibile la risorsa idrica svasata e il livello a cui la stessa viene restituita dopo il passaggio attraverso la turbina) e la portata (la massa d'acqua che fluisce attraverso la macchina espressa per unità di tempo).

Il settore micro idroelettrico comprende tutte le installazioni con potenza nominale inferiore a 100 kW.

Nel 2008 sono stati prodotti complessivamente nei paesi europei 43.545,5 GWh di energia elettrica, produzione in aumento (+9,2%) rispetto all'anno precedente (39.891,4 GWh), di cui 9.159,4 GWh in Italia. Nello stesso anno l'Italia risulta essere anche il paese che possiede la più elevata capacità cumulata installata su impianti in funzione e pari a 2.605,6 MW, seguita dalla Francia con 2.049 MW e dalla Spagna con 1.872 MW di potenza totale.

## GEOTERMICO

Lo sfruttamento dell'energia geotermica consiste nell'utilizzazione del calore contenuto in rocce relativamente vicine alla superficie, dove arriva propagandosi dalle zone più profonde della Terra.

Per giungere in superficie il calore ha bisogno di un vettore fluido (acqua o vapore), naturale o iniettato, che deve poter fluire in gran quantità in rocce porose e permeabili (rocce serbatoio), queste a loro volta devono essere protette da rocce impermeabili (copertura) che impediscano o limitino la dispersione dei fluidi e del calore.

In un sistema geotermico, l'acqua penetra nel sottosuolo attraverso rocce permeabili formando delle falde sotterranee e, per effetto del calore trasmesso alle rocce da una fonte, quale una massa magmatica, si scalda fino a raggiungere temperature di alcune centinaia di gradi; il

fluido (acqua e/o vapore) in queste condizioni risale lungo faglie o fratture dando luogo alle manifestazioni geotermiche.

La risalita può anche essere indotta artificialmente tramite una perforazione meccanica (pozzo geotermico), il fluido così captato, dopo alcuni trattamenti, è inviato agli impianti di utilizzazione (produzione di energia elettrica o usi diretti). Ad oggi si stanno sempre più diffondendo anche gli impianti a bassa entalpia che lavorano a temperature minore e sfruttano differenti metodologie, come verrà poi illustrato.

Nel 2008 la capacità cumulata installata netta in Europa del settore geotermico per la produzione di energia elettrica, generata attraverso applicazioni ad alta temperatura, è aumentata di 4,8 MWe rispetto al 2007 per un totale di 719,3 MWe di cui il 93% circa in Italia (670,5 MWe). La produzione di calore da sorgenti a bassa e media temperatura in Europa è risultata pari a 689,2 ktep nel 2008, rimanendo essenzialmente identica a quella del 2007 (690,5 ktep), e la corrispondente capacità installata pari a 2.559,9 MWth (2.535,1 MWth nel 2007).

## SOLARE FOTOVOLTAICO

La tecnologia fotovoltaica permette di trasformare direttamente l'energia del sole in energia elettrica, sfruttando un fenomeno fisico noto come “effetto fotovoltaico”, in strutture elementari chiamate, appunto, celle fotovoltaiche. Il funzionamento dei dispositivi fotovoltaici si basa sulla capacità di alcuni materiali semiconduttori, opportunamente trattati, di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica in corrente continua senza bisogno di parti meccaniche in movimento.

Il materiale semiconduttore quasi universalmente impiegato oggi a tale scopo è il silicio.

Il componente base di un impianto è la cella fotovoltaica, che è in grado di produrre circa 1,5 Watt di potenza in condizioni standard, vale a dire quando essa si trova ad una temperatura di 25 °C ed è sottoposta ad una potenza della radiazione pari a 1000 W/m<sup>2</sup>. La potenza in uscita da un dispositivo fotovoltaico quando esso lavora in condizioni standard prende il nome di potenza di picco (Wp) ed è un valore che viene usato come riferimento. L'output elettrico reale in esercizio è in realtà minore del valore di picco a causa delle temperature più elevate e dei valori più bassi

della radiazione. Più celle assemblate e collegate tra di loro in una unica struttura formano il modulo fotovoltaico.

Il modulo fotovoltaico tradizionale è costituito dal collegamento in serie di 36 celle, per ottenere una potenza in uscita pari a circa 50 Watt, ma oggi, soprattutto per esigenze architettoniche, i produttori mettono sul mercato moduli costituiti da un numero di celle molto più alto e di conseguenza di più elevata potenza, anche fino a 200 Watt per ogni singolo modulo.

A seconda della tensione necessaria all'alimentazione delle utenze elettriche, più moduli possono poi essere collegati in serie in una "stringa". La potenza elettrica richiesta determina poi il numero di stringhe da collegare in parallelo per realizzare finalmente un generatore fotovoltaico.

Il trasferimento dell'energia dal sistema fotovoltaico all'utenza avviene attraverso ulteriori dispositivi, necessari per trasformare ed adattare la corrente continua prodotta dai moduli alle esigenze dell'utenza finale. Uno di questi componenti, se le utenze devono essere alimentate in corrente alternata, è l'inverter, dispositivo che converte la corrente continua in uscita dal generatore fotovoltaico in corrente alternata.





## Capitolo 2

### CONTESTO NORMATIVO A LIVELLO EUROPEO E NAZIONALE

La Commissione europea, per far fronte agli obiettivi economici, sociali e ambientali dell'Unione, propone una politica energetica articolata su tre obiettivi fondamentali: sostenibilità, competitività, sicurezza degli approvvigionamenti.

I primi passi verso una politica energetica comune sono stati fatti a partire dalla seconda metà degli anni '90, soprattutto per quanto riguarda la promozione di un mercato liberalizzato dell'energia. Ma è con la ratifica del Protocollo di Kyoto, nel 2002, che si sono imposte le basi per una condivisione a livello europeo degli sforzi da compiere per perseguire un sistema energetico ambientalmente compatibile nell'ottica più generale dello sviluppo sostenibile.

Da quel momento si sono succedute numerose iniziative comunitarie volte a delineare in maniera sempre più puntuale, dettagliata e precisa la politica energetica comune basata sullo sviluppo di un mercato dell'energia libero e paneuropeo, sulla promozione di un'economia verde ad elevata efficienza energetica e a basse emissioni di CO<sub>2</sub>, sulla garanzia di approvvigionamenti energetici sicuri, affidabili e competitivi.

Di seguito un breve riassunto delle normative.

#### DIRETTIVA 2006/32/CE

L'adozione della direttiva 2006/32/CE ha rappresentato una tappa importante nella definizione di una politica comune europea per l'uso efficiente dell'energia, questa ha chiarito quanto concerne "l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici" fornendo il quadro giuridico di riferimento per la promozione dei servizi energetici e delle forme imprenditoriali (ESCO) in grado di renderli disponibili, realizzando interventi di efficientamento energetico dei sistemi esistenti e accettando un certo margine di rischio finanziario: il pagamento dei servizi forniti e degli investimenti effettuati si basa infatti sul risparmio derivante dal miglioramento dell'efficienza energetica conseguito.

Uno degli aspetti più rilevanti della Direttiva è la previsione di obiettivi indicativi di risparmio energetico in capo ai singoli Stati Membri. In base al provvedimento, ogni Stato Membro dovrà raggiungere un obiettivo complessivo di risparmio energetico pari al 9% entro il nono anno di applicazione della Direttiva stessa (2016); la base di calcolo per la quantificazione dell'obiettivo è costituita dai consumi interni finali medi di energia registrati nei settori che rientrano nel suo ambito di applicazione, calcolati nei cinque anni precedenti per i quali sono disponibili i dati migliori. In linea con tale obiettivo, ogni Stato Membro è tenuto a predisporre e presentare alla Commissione Piani di Azione in materia di Efficienza Energetica (PAEE) negli anni 2007, 2011 e 2014. La Direttiva menziona esplicitamente il meccanismo dei certificati bianchi tra gli strumenti che possono essere utilizzati dagli Stati Membri per conseguire gli obiettivi di risparmio energetico.

La direttiva 2006/32/CE è stata recepita nell'ordinamento italiano attraverso il D.Lgs. 30 maggio 2008, n. 115.

#### PIANO DI AZIONE ITALIANO PER L'EFFICIENZA ENERGETICA (PAEE)

Anche per l'Italia l'obiettivo primario di politica energetica, come peraltro sottolineato anche nel PAN, è quello di incrementare l'efficienza energetica e ridurre i consumi finali di energia. Così come indicato dalla Commissione europea, l'obiettivo principale su cui approfondire i maggiori sforzi non risulta lo sviluppo delle fonti *rinnovabili* – che deve essere in ogni caso perseguito con la maggiore efficacia possibile – bensì l'incremento dell'efficienza energetica e il raggiungimento del maggior grado possibile di risparmio energetico nei consumi finali di energia soprattutto nell'ottica di ridurre le emissioni climalteranti e di ridimensionare l'obiettivo di sviluppo delle fonti *rinnovabili* in quanto correlato quest'ultimo all'entità dei consumi finali di energia.

Come previsto dalla direttiva sopra citata anche l'Italia ha presentato il PAEE entro il 30 giugno 2007 in cui, peraltro, viene stabilito un obiettivo nazionale indicativo intermedio di risparmio energetico per il terzo anno di applicazione della stessa direttiva (2010). Ulteriori PAEE sono stati elaborati dagli Stati membri per il 30 giugno 2011 (il secondo) mentre la scadenza del successivo (terzo ed ultimo) è il 30 giugno 2014.

Misure di miglioramento dell'efficienza energetica	Risparmio energetico annuale conseguito al 2010 [GWh/anno]	Risparmio energetico annuale atteso al 2010 PAEE 2007 [GWh/anno]	Risparmio energetico annuale atteso al 2016 PAEE 2007 [GWh/anno]
Totale Settore Residenziale	31.472	16.998	56.830
Totale Settore Terziario	5.042	8.130	24.700
Totale Settore Industria	8.270	7.040	21.537
Totale Settore Trasporti	2.972	3.490	23.260
Totale risparmio energetico atteso (obiettivo nazionale)	47.711	35.658*	126.327*

Tab. 1: Risparmio energetico annuale complessivo conseguito al 2010 e atteso al 2010 e 2016 sul consumo finale lordo – Sintesi settoriale

L'articolazione del PAEE 2011 è stata sostanzialmente mantenuta inalterata rispetto a quella del PAEE 2007, a parte qualche modifica rivolta all'ottimizzazione delle misure di efficienza energetica, dei relativi meccanismi di incentivazione e, in qualche caso, alla revisione della metodologia di calcolo. Tali modifiche si riflettono in una modesta variazione del target finale che da 126.327 GWh/anno è passato a 126.540 GWh/anno.

Per quanto riguarda il raggiungimento degli obiettivi di risparmio d'energia primaria al 2020, stabiliti dal "pacchetto Energia" dell'Unione Europea, il PAEE 2011, come richiesto dalla Commissione Europea, si indirizza anche verso il raggiungimento del target della riduzione del 20% della domanda di energia primaria al 2020, anche se, per il raggiungimento di un obiettivo così ambizioso, ulteriori sforzi devono essere messi in campo.

A tale proposito le misure identificate per il raggiungimento del target al 2016 sono state considerate anche nell'ottica di una loro estensione al 2020 allo scopo di evidenziarne i contributi in vista degli obiettivi più ampi del "pacchetto energia 20-20-20" anche in termini di riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub>; i risultati sono riportati nella tabella 1 ed evidenziati nel grafico di figura 5

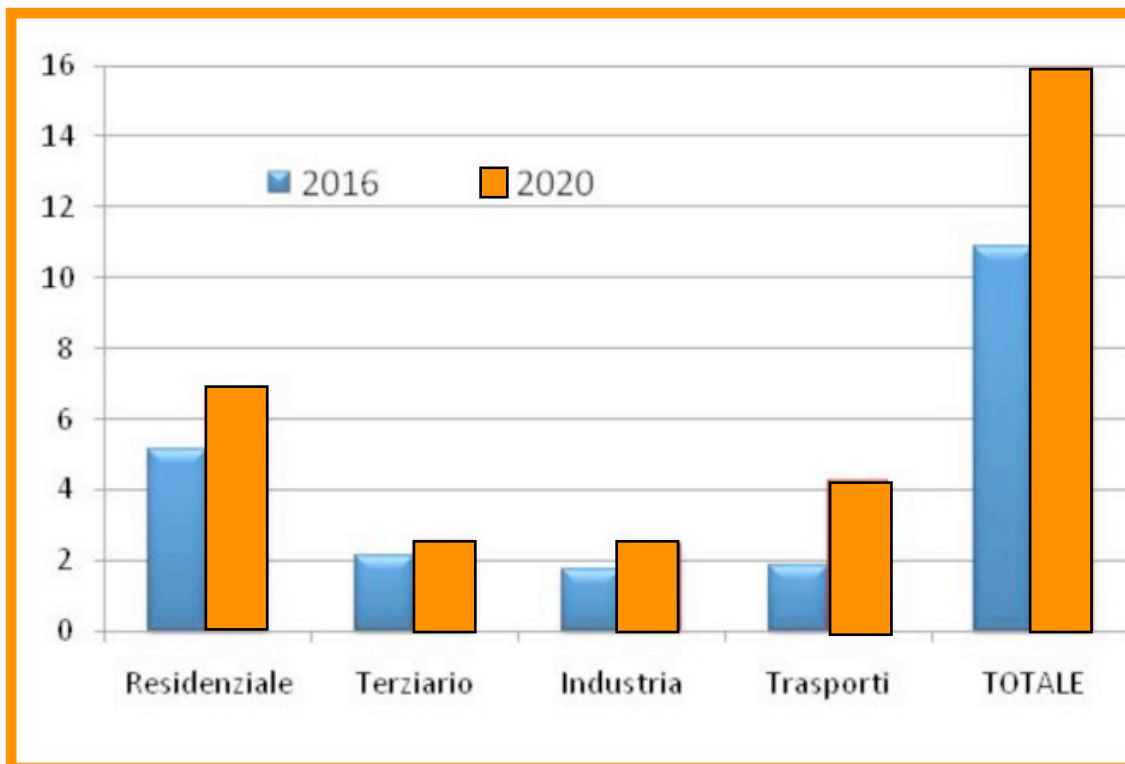


Figura 5 - Pacchetto energia 20-20-20

#### DIRETTIVA 2009/28/CE

Per quanto riguarda invece la promozione dello sviluppo delle fonti *rinnovabili*, si registra che la direttiva 2001/77/CE sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti *energetiche rinnovabili* nel mercato interno dell'elettricità, recepita nel nostro paese con il D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387, è stata aggiornata con la direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti *rinnovabili*.

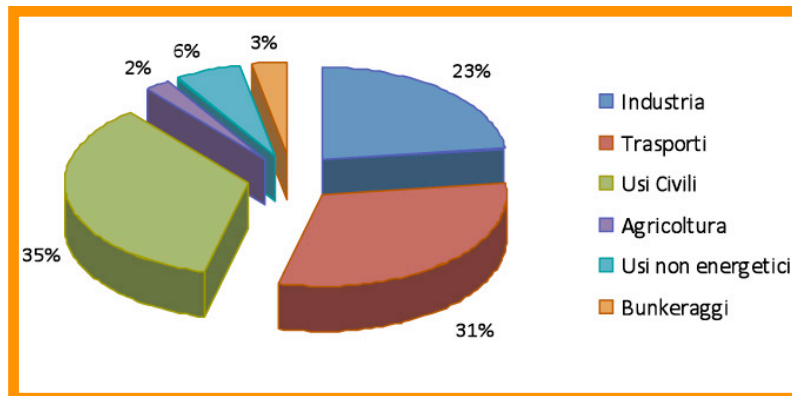
La recente revisione della direttiva 2001/77/CE mediante la direttiva 2009/28/CE ha comportato la ridefinizione dell'intero quadro di riferimento, a partire dalla stessa definizione di fonti *rinnovabili* di energia.

Essa vincola i Paesi membri a definire ed aggiornare periodicamente un Piano di Azione Nazionale (PAN) per le *energie rinnovabili*, che faccia riferimento agli obiettivi stabiliti: per l'Italia, l'obiettivo fissato corrisponde al raggiungimento di una quota di energia da fonti *rinnovabili* pari al 17% dell'intero fabbisogno energetico nazionale. L'ultima Direttiva fa però un salto di qualità rispetto alle precedenti cercando di porre degli obiettivi intermedi che segnano una marcia di approccio progressivo, quantificabile e verificabile all'obiettivo finale attraverso il disegno di una traiettoria indicativa in cui si definiscono le quote di energia da fonti *rinnovabili* da raggiungere in ogni biennio.

In attuazione della Direttiva 2009/28/CE, il 30 giugno 2010 il Governo ha pubblicato il primo Piano di Azione Nazionale (PAN) per le *Energie Rinnovabili* (ai sensi dell'art. 4 della direttiva 2009/28/CE), con il quale viene definito il programma per raggiungere entro il 2020 l'obiettivo assegnato dall'Europa in termini di quota minima dei consumi finali lordi di energia coperta da fonti *energetiche rinnovabili* (termiche ed elettriche). La Commissione europea ha proposto che l'UE, nell'ambito dei negoziati internazionali, fissi l'obiettivo di abbattere le emissioni di gas serra dei paesi industrializzati del 30% (rispetto al livello del 1990). Il raggiungimento dell'obiettivo, assegnato dalla direttiva, può avvenire anche attraverso il trasferimento di energia da *fonte rinnovabile* da altri Stati.

Questi sono solo i primi passi verso una strategia energetica europea che si prevede dovrà condurre nel lungo periodo ad un taglio delle emissioni di CO<sub>2</sub> del 60-80% (fino a ipotesi del 90%) rispetto ai livelli del 1990, in un quadro di riduzione delle emissioni del 50% a livello planetario.

Figura 6 - Impieghi finali di energia per settori - anno 2010



### PIANO DI EFFICIENZA ENERGETICA

In tale contesto, assume particolare rilevanza la Comunicazione della Commissione europea COM(2011)112 del 8 marzo 2011, con la quale viene proposta al Parlamento europeo una “tabella di marcia verso un'economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050”. Essa descrive come poter conseguire, entro il 2050, l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas a effetto serra dell'80-95% in modo economicamente sostenibile, prevedendo degli orientamenti per politiche settoriali, strategie nazionali e non, e investimenti a lungo termine finalizzati a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>. In concreto la Commissione europea propone fasce di riduzione delle emissioni per alcuni settori chiave per il 2030 e il 2050.

La Commissione individua come tappa “intermedia” fondamentale per il conseguimento degli obiettivi a lungo termine in materia di clima e energia il raggiungimento dell'obiettivo di risparmio, entro il 2020, del 20% del proprio consumo di energia primaria. Allo scopo, insieme alla “Tabella di marcia verso un'economia a basse emissioni di carbonio nel 2050” la Commissione ha presentato anche un apposito “Piano di efficienza energetica 2011” – COM(2011) 109. Secondo la Commissione europea fissare obiettivi di efficienza energetica rappresenta un modo efficace per stimolare l'azione degli Stati membri e creare un impulso politico, di conseguenza, propone un approccio in due fasi: nella prima fase gli Stati membri sono chiamati a fissare i propri obiettivi e i programmi nazionali di efficienza energetica; nel 2013 la Commissione valuterà se questo

approccio è effettivamente in grado di conseguire l'obiettivo europeo del 20%, nel caso in cui si rilevino scarse possibilità di successo, la Commissione avvierà la seconda fase proponendo obiettivi nazionali giuridicamente vincolanti per gli Stati membri. Nel Piano per l'efficienza energetica 2011, la Commissione europea individua 6 settori chiave nei quali intervenire attraverso l'adozione di varie misure, in particolare:

- il ruolo chiave che deve essere svolto dal settore pubblico;
- il potenziale di risparmio energetico degli edifici del settore privato;
- un nuovo approccio "energeticamente compatibile" nel settore industriale;
- una migliore organizzazione degli strumenti di sostegno finanziari
- il miglioramento delle prestazioni energetiche dei dispositivi utilizzati dai consumatori;
- i trasporti come ambito fondamentale per il risparmio energetico.

#### PIANO DI AZIONE NAZIONALE PER LE *ENERGIE RINNOVABILI* (PAN)

La direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'energia da fonti *rinnovabili*, tra i propri ambiti di applicazione, ha fissato obiettivi nazionali obbligatori per la quota complessiva di energia da fonti *rinnovabili* sul consumo finale lordo di energia e per la quota di energia da fonti *rinnovabili* nei trasporti. Per l'Italia il primo è stato stabilito pari al 17%, mentre il secondo è comune a tutti gli Stati membri e pari al 10%.

Ai sensi dell'art. 4 della citata direttiva, gli Stati membri sono obbligati ad adottare un piano di azione nazionale per le *energie rinnovabili* che fissa gli obiettivi nazionali per la quota di energia da fonti *rinnovabili* consumata nel settore dei trasporti, dell'elettricità e del riscaldamento e raffreddamento nel 2020, tenendo conto degli effetti delle misure mirate al risparmio e all'efficienza energetica e le misure appropriate da adottare per raggiungere detti obiettivi nazionali generali.

E' importante infatti osservare come, nella direttiva 2009/28/CE, diversamente da quanto avveniva nell'ambito della precedente direttiva 2001/77/CE, al calcolo della quota di energia da fonti *rinnovabili* contribuisce, come detto, tra gli altri anche il "consumo finale lordo di energia per il riscaldamento e il raffreddamento".

Questi consumi, pur rappresentando una porzione molto rilevante dei consumi finali nazionali, sono caratterizzati da un basso utilizzo di *rinnovabili* per la loro copertura.

Lo sviluppo delle fonti *rinnovabili* a copertura di questi consumi rappresenta dunque una linea d'azione di primaria importanza, da perseguire con azioni di sviluppo sia delle infrastrutture che dell'utilizzo diffuso delle *rinnovabili*. Tra le prime rientrano lo sviluppo di reti di teleriscaldamento, la diffusione di cogenerazione con maggiore controllo dell'uso del calore, l'immissione di biogas nella rete di distribuzione di rete gas naturale. Riguardo alle seconde, sono necessarie misure aggiuntive per promuovere l'utilizzo diffuso delle fonti *rinnovabili* a copertura dei fabbisogni di calore, in particolare nel settore degli edifici, che peraltro possono essere funzionali anche al miglioramento dell'efficienza energetica.

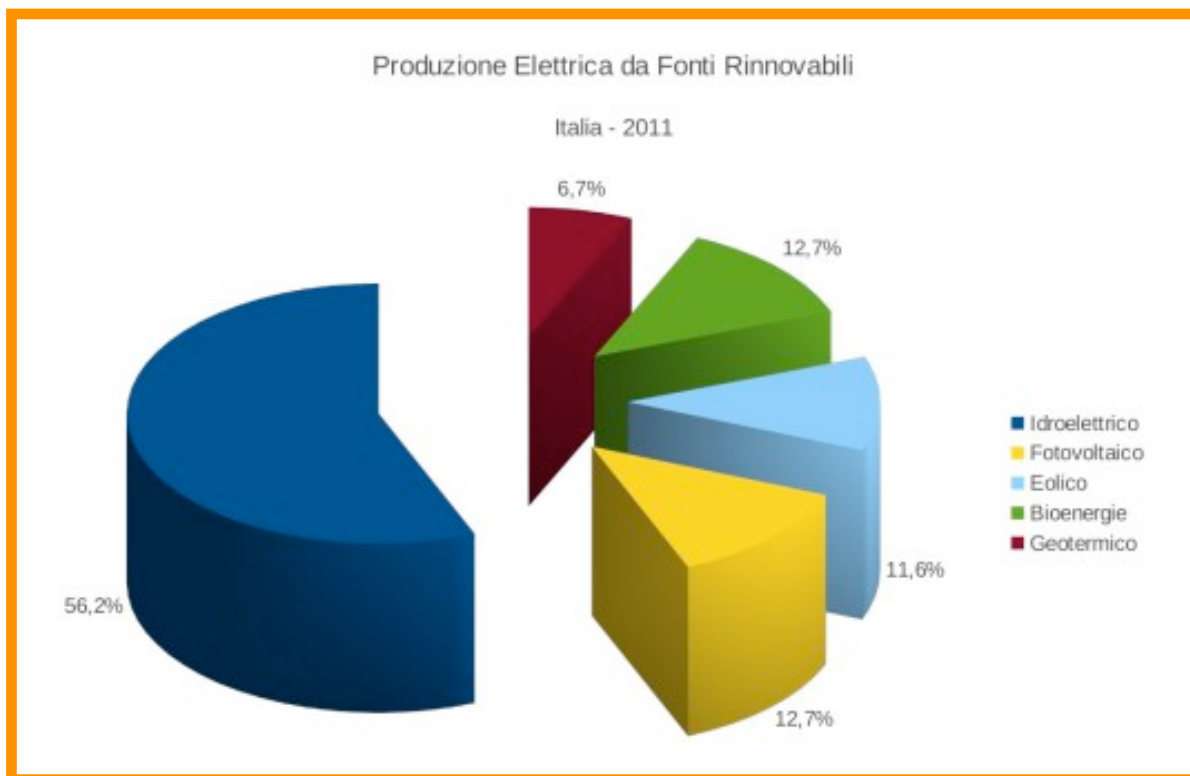


Figura 7 - Produzione elettrica da fonti *rinnovabili* in Italia al 2011



Il computo della quota di energia da fonti *rinnovabili* per il riscaldamento e il raffreddamento considera i seguenti contributi:

- le quantità di teleriscaldamento e teleraffrescamento prodotte da fonti *rinnovabili*;
- il consumo di altre energie da fonti *rinnovabili* nell'industria, nelle famiglie, nei servizi, in agricoltura, in silvicoltura e nella pesca per il riscaldamento, il raffreddamento e la lavorazione;
- l'energia da calore aerotermico, geotermico e idrotermale catturata da pompe di calore (a condizione che il rendimento finale di energia ecceda in maniera significativa l'apporto energetico primario necessario per far funzionare le pompe di calore).

Nel giugno 2010 quindi il Governo ha adottato il primo Piano di Azione Nazionale per le *Energie Rinnovabili* (PAN), notificandolo alla Commissione europea. Tale Piano di azione, redatto sulla base del modello adottato dalla Commissione europea con decisione del 30 giugno 2009, contiene, in via preliminare, le linee strategiche di sviluppo del sistema

#### PIANO ENERGETICO REGIONE EMILIA ROMAGNA

Nel perseguire le finalità di sviluppo sostenibile del sistema energetico regionale, la Regione e gli Enti locali pongono a fondamento della programmazione degli interventi di rispettiva competenza i seguenti obiettivi generali:

- a) promuovere il risparmio energetico e l'uso efficiente delle risorse energetiche attraverso un complesso di azioni dirette a migliorare il rendimento energetico degli edifici, dei processi produttivi, dei prodotti e dei manufatti che trasformano ed utilizzano l'energia con attenzione alle diverse fasi di progettazione, esecuzione, esercizio e manutenzione;
- b) promuovere l'uso efficiente delle risorse energetiche anche attraverso, ove possibile, lo sfruttamento del calore prodotto (e a tutt'oggi in buona parte inutilizzato) dalle centrali turbogas oggi dedicate alla sola produzione di energia elettrica, favorendo la diffusione delle reti di teleriscaldamento per uso civile o industriale;

Con riferimento al primo Piano di Azione Nazionale (PAN) per le *Energie Rinnovabili* pubblicato nel giugno 2010 dal Governo, si ricorda che in

relazione all'obiettivo fissato per l'Italia del 17% di consumo di fonti *rinnovabili* nel mix energetico nazionale, vi sarà una condivisione diversificata tra le Regioni degli obiettivi di sviluppo delle FER.

Per le FER destinate alla produzione di energia elettrica si dovrà considerare il potenziale produttivo delle singole fonti (risorsa idrica, eolica, solare) presente in ciascuna regione, opportunamente rimodulato per tener conto dei vincoli di sostenibilità (economici, ambientali, di accettabilità sociale).

In particolare:

- per la produzione idroelettrica, si dovrà considerare la disponibilità di risorsa idrica, tenendo conto della conformazione geomorfologica dei bacini, dell'uso plurimo delle acque, della normativa sul Deflusso Minimo Vitale, dei vincoli paesaggistici;
- per la fonte eolica, di significativa entità, si dovranno considerare aree con un funzionamento equivalente almeno pari a 1.500 ore/anno, in siti non soggetti a vincoli ambientali o paesaggistici e che presentino condizioni di ventosità adeguate.

E' prevedibile che, sulla base di tali criteri, il contributo richiesto alla Regione in termini di produzione da FER risulterà inferiore al 17%, considerata la ridotta disponibilità di risorsa idrica, eolica e solare rispetto ad altre regioni. Tuttavia, il particolare impegno della Regione nella promozione dell'efficienza energetica e dell'uso di FER, quale risulta da numerosi atti normativi, di pianificazione e d'incentivazione, nonché la consolidata convinzione che occorra sempre più fondare sulla green economy lo sviluppo socioeconomico del territorio, inducono a definire nel presente Piano obiettivi realistici ma sfidanti, con ogni probabilità superiori a quelli che saranno definiti in sede di burden sharing.

Tabella 2 - Previsione delle variazioni degli obiettivi regionali al 2020

	Situazione al 2009 (MW)	Stima fine 2010 (MW)	Obiettivo complessivo al 2020 (MW) (range 17%-20%)	Obiettivo complessivo al 2020 (ktep)	Investimenti (Min€)
Idroelettrico	297	300	320 - 330	71,6-73,8	141 -204
Fotovoltaico	95	230	2.000 - 2.500	206,4 - 258,0	6.195 - 7.945
Solare termodinamico	0	0	0 - 30	0,0 - 3,1	135
Eolico	16	20	250 - 300	32,3-38,7	467 - 568
Biomasse	371	430	1.900	1.143,8	5.145
<b>Totale produzione elettrica</b>	<b>779</b>	<b>980</b>	<b>4.500 - 5.060</b>	<b>1.457,1 – 1.517,4</b>	<b>12.083 – 13.989</b>
Solare termico	25	25	500*	64,5	1000
Geotermia	23	23	50	32,3	135
Biomasse	100	120	1.500 – 2.350	645 – 1.010,5	700 - 1125
<b>Totale produzione termica</b>	<b>148</b>	<b>168</b>	<b>2.050 – 2.900</b>	<b>741,8 – 1.107,3</b>	<b>1.835 – 2.260</b>
<b>Trasporti</b>				<b>252,8</b>	
<b>Totale complessivo</b>	<b>927</b>	<b>1.148</b>	<b>6.550 – 7.960</b>	<b>2.451,7 – 2.877,4</b>	<b>13.918- 16.249</b>

Il raggiungimento degli obiettivi descritti in termini di efficienza energetica, sviluppo delle fonti *rinnovabili*, ricerca di soluzioni energetiche in linea con lo sviluppo territoriale, integrazione delle politiche a scala regionale e locale con quelle a livello nazionale ed europeo, richiedono uno sforzo significativo del sistema regionale che necessita di una ricca strumentazione di interventi.

Gli Assi, le Azioni e le risorse finanziarie che prevedono di mettere in campo in questo triennio 2011-2013 ampliano quanto già introdotto nel primo Piano Triennale di Attuazione del PER.. In particolare gli Assi individuano le principali azioni strategiche che la Regione intende mettere in campo aggregando le politiche per grandi aree tematiche e per soggetti potenzialmente coinvolti. Si tratta, ancora una volta, di un approccio integrato, che attraverso tutte le Direzioni e gli Assessorati della Regione propone una convergenza delle strategie su questioni destinate ad impattare significativamente sulle dinamiche di sviluppo della nostra Regione, sui livelli di efficienza energetica e sui cambiamenti nei modelli di approvvigionamento e consumo energetico del territorio.

Per quanto riguarda le Azioni, hanno ritenuto di procedere con una loro ricca esemplificazione, nella certezza che esse potranno svilupparsi nel

tempo, sulla base delle proposte che verranno discusse dai diversi Tavoli di lavoro nonché, in generale, dagli stakeholders regionali. Infine, da sottolineare l'introduzione di un Asse legato alla regolamentazione del settore, poiché l'impegno della Regione in questi anni dovrà sempre più essere esteso all'utilizzo delle diverse fonti energetiche disponibili, nonché al più significativo impegno in termini di semplificazione amministrativa.

## AZIONI

Le Azioni proposte tengono anche conto degli strumenti che dovrebbero essere messi in campo a livello nazionale ed europeo. In particolare il Fondo Kyoto, lo sviluppo di distretti produttivi orientati alla promozione della green economy, l'adozione dei provvedimenti di incentivazione delle *energie rinnovabili*, che in questa fase risentono di un quadro normativo di nuovo incerto a causa dell'emanazione del D.Lgs. 3 marzo 2011, n. 28 di recepimento della direttiva 2009/28/CE.

L'obiettivo è quindi quello di porre in essere le azioni più appropriate per il territorio al fine di concorrere alla strategia 20-20-20 dell'Unione Europea, contribuendo positivamente allo sviluppo nella regione della green economy come piattaforma centrale per lo sviluppo futuro della nuova industria e della crescita intelligente, sostenibile e inclusiva prevista dalla strategia energetica al 2020 dell'Unione europea.

Un apporto particolare al raggiungimento degli obiettivi del Piano sarà costituito dal contributo degli Enti Locali e dal coinvolgimento dei diversi territori, in modo da valorizzare le specifiche vocazioni e sviluppare integrazioni fra le diverse fonti energetiche, avendo sempre a riferimento la rilevanza dell'energia come componente dei consumi, come fattore della produzione, come motore della nuova industria e come questione centrale per l'ambiente e per la qualità della vita.

## ASSI

L'Asse 1, che si riferisce più specificatamente alla presente tesi, intende sostenere le attività finalizzate a favorire l'incontro della domanda e dell'offerta di ricerca nei settori dell'energia e della green economy, favorendo così l'individuazione di tecnologie abilitanti, innovazioni di

prodotto, di gestione e di procedura che contribuiscano all'efficientamento e al risparmio energetico del settore. L'obiettivo delle politiche relative alla ricerca è quello di creare una rete avanzata di strutture sostenute da imprese che puntino su ricerca e innovazione come fattori strategici per la loro competitività.

L'Asse 1 risulta quindi particolarmente importante in quanto coniuga la competitività, intesa secondo i parametri dell'economia della conoscenza, con la sostenibilità energetica partecipando, direttamente e trasversalmente, al raggiungimento degli obiettivi della strategia europea del pacchetto clima-energia al 2020 e contribuendo inoltre alla nuova strategia 20-20-20 per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva.

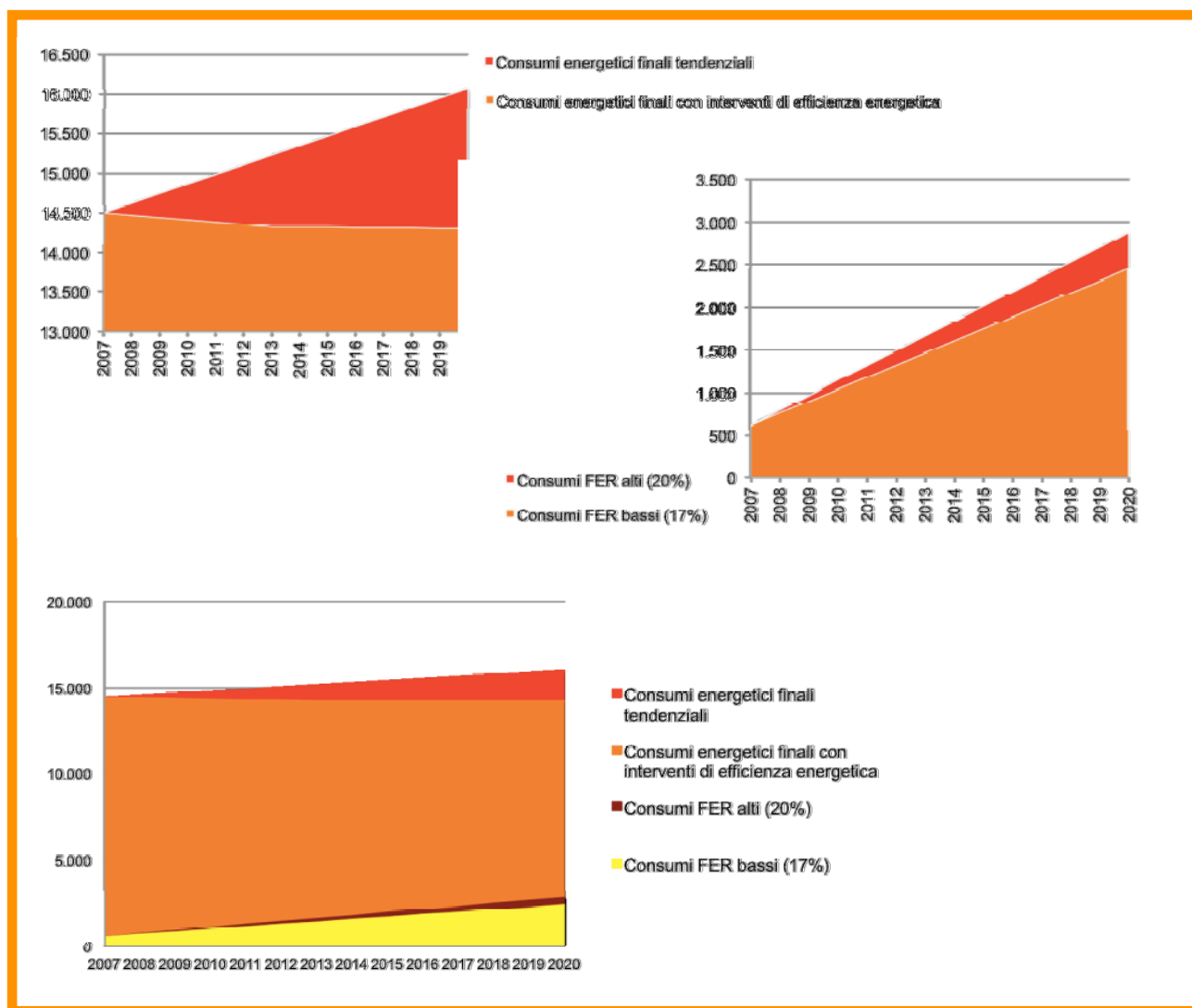
L'approccio che accompagna l'Asse parte innanzitutto dalla presa d'atto, da un lato dell'intensità degli investimenti, pubblici e privati necessari per il raggiungimento degli obiettivi preposti al Piano Triennale di Attuazione, dall'altro della necessità di compiere i salti tecnologici necessari al miglioramento delle prestazioni sia in termini di efficienza energetica sia in termini di produzione da fonti *rinnovabili*.

La strategia per il consolidamento a livello regionale di un'economia fondata sull'innovazione e sulla conoscenza per la green economy passa attraverso azioni integrate, che agiscono sia sull'offerta di ricerca che sulla domanda, e che, nell'ambito del programma, si sostanziano:

- nello sviluppo di una rete di laboratori della ricerca industriale e del trasferimento tecnologico e di centri per l'innovazione, cioè di luoghi in cui vengono sviluppate, su tematiche tecnologiche e produttive di elevata rilevanza regionale, l'attività di ricerca applicata per la sua valorizzazione industriale e la fornitura di servizi e conoscenze tecnologiche in risposta ai fabbisogni delle imprese;
- nello stimolo agli investimenti in ricerca e sviluppo da parte delle imprese e ad una più intensa relazione tra esse, il sistema universitario e della ricerca, i fornitori di servizi tecnologici;
- nel sostegno a programmi di trasferimento di conoscenze e competenze tecnologiche alle imprese;
- nel sostegno allo sviluppo di nuovi laboratori industriali da parte di imprese o loro raggruppamenti, volti a realizzare servizi di ricerca e sviluppo;

- nella promozione di nuove imprese o nuove attività professionali ad alto contenuto tecnologico generate da spin off dalle attività di ricerca o altre forme di valorizzazione economica dei risultati della ricerca;
- nel potenziamento dei servizi a sostegno dello sviluppo delle attività di ricerca e trasferimento tecnologico e della rete regionale dei soggetti della ricerca e dell'innovazione.

Figura 8 - Riassunto degli obiettivi regionali complessivi



## SECONDO PIANO ATTUATIVO

La Regione ha inoltre dato avvio al Piano regionale per lo sviluppo delle agro-energie, da realizzarsi nell'ambito del PRSR, mediante il quale si intende incrementare di 100 MW la produzione di biogas da reflui zootecnici e scarti delle coltivazioni e di 400 MW la produzione di energia attraverso il fotovoltaico.

In relazione al settore energetico in Emilia-Romagna, si è evidenziata in questi ultimi anni una sostanziale evoluzione, in particolare per quanto riguarda i combustibili utilizzati per la produzione di energia elettrica e per quanto riguarda il cosiddetto bilancio elettrico interno.

In relazione al parco termoelettrico alimentato a fonti convenzionali, del resto, il PER si proponeva di raggiungere i 5.800 MW di potenza complessiva in impianti a gas ad alta efficienza, a cui dovevano essere sommati almeno 600 MW di impianti di generazione elettrica in assetto cogenerativo.

Queste previsioni sono state ampiamente superate, dal momento che in Regione, al 31 dicembre 2009, erano presenti circa 6.300 MW di impianti termoelettrici alimentati a fonti convenzionali, di cui circa la metà in assetto cogenerativo.

Per quanto riguarda le fonti *rinnovabili*, in Emilia-Romagna si è verificato negli ultimi anni un significativo incremento della potenza installata, soprattutto in riferimento agli obiettivi del PER. Nella valorizzazione delle fonti *rinnovabili*, gli sforzi si sono concentrati in particolare sui settori delle biomasse e del fotovoltaico, grazie anche agli incentivi messi in campo a livello nazionale quali i Certificati Verdi e il Conto Energia. Un quadro sintetico del grado di raggiungimento degli obiettivi fissati dal PER e dei risultati conseguibili alla fine del 2010 è mostrato nella tabella che segue.

Tabella 1.2 – Obiettivi del PER e risultati conseguiti in materia di FER in termini di incremento di potenza installata rispetto al 2000 - I risultati conseguiti si riferiscono al 31 dicembre 2009 (fonte: Terna); i risultati conseguibili al 2010 si riferiscono al 31 dicembre 2010 e sono stime ad eccezione del dato relativo agli impianti fotovoltaici (Fonte Gse)

Tabella 3

Tipo di impianto	Risultati al 2009	Risultati al 2010	Obiettivi del PER al 2010
Idroelettrico	18	20	16
Eolico	13	30	20
Fotovoltaico	95	362	20
Biomasse	282	350	300

## MECCANISMI FONDAMENTALI

Attualmente l'incentivazione per le fonti di *energia rinnovabili* avviene secondo quattro meccanismi fondamentali:

- certificati verdi, sistema che recentemente ha avuto una serie di novità introdotte dal "Collegato alla Finanziaria 2008" (D.L. 159/07 come modificato dalla legge di conversione 222/07), dalla Finanziaria stessa (L244/07), dal D.M. 18/12/08 e dalla legge 23/7/09 n°99;
- conto energia per il solare fotovoltaico e termodinamico;
- contributi comunitari, nazionali e regionali, emessi prevalentemente a favore di applicazioni innovative e con varie modalità;
- RECS e marchi di qualità, ossia certificazioni volontarie che nel nostro paese sono in fase di avvio.

Senza tralasciare il sistema incentivante dei certificati bianchi o titoli di efficienza energetica.



## CERTIFICATI VERDI

La qualificazione degli impianti alimentati da fonti *rinnovabili* (Qualifica IAFR), è un prerequisito necessario per l'ottenimento dei CV, in funzione dell'energia elettrica netta prodotta, o per l'accesso alla tariffa incentivante onnicomprensiva (TO), in funzione dell'energia elettrica netta prodotta ed immessa in rete.

La normativa vigente ha assegnato al GSE il compito di qualificare gli impianti di produzione alimentati da fonti *rinnovabili* IAFR, una volta accertato il possesso dei requisiti previsti dalle diverse normative.

Ai fini della qualificazione IAFR, le fonti *rinnovabili* sono quelle definite all'art. 2 della Direttiva Europea 2009/28 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti *rinnovabili*:

- energia da fonti *rinnovabili*: energia proveniente da fonti *rinnovabili* non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas;
- energia aerotermica: l'energia accumulata nell'aria ambiente sotto forma di calore;
- energia geotermica: energia immagazzinata sotto forma di calore sotto la crosta terrestre;
- energia idrotermica: l'energia immagazzinata nelle acque superficiali sotto forma di calore;
- biomassa: la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

La qualificazione IAFR può essere richiesta dagli impianti:

- alimentati da fonti *rinnovabili*, anche ibridi, entrati in esercizio successivamente al 1° aprile 1999 a seguito di nuova costruzione, potenziamento, rifacimento totale o parziale e riattivazione

- entrati in esercizio prima del 1° aprile 1999 che successivamente a tale data operino come centrali ibride rispettando le condizioni specifiche previste nel DM 18/12/2008 .

Viene quindi associato un CV ogni MWhe/anno prodotto (in caso di nuova costruzione, rifacimento o riattivazione). I CV vengono emessi, ai fini dei riconoscimenti previsti dal Decreto Bersani, per:

- 8 anni per impianti alimentati da rifiuti non biodegradabili, qualificati ed entrati in esercizio entro il 31 dicembre 2006 e impianti di cogenerazione abbinata a teleriscaldamento alimentati da fonte non rinnovabile;
- 12 anni in base all'art. 267 comma 4 lettera D del D.lgs. 152/06, per tutti gli impianti alimentati da fonti *rinnovabili*, entrati in esercizio dal 1-4-99 al 31-12-07;
- 15 anni per gli impianti alimentati da fonti *rinnovabili* entrati in esercizio dal 2008;

Gli impianti a *fonte rinnovabile* entrati in esercizio dal 2008 a seguito di nuova costruzione, rifacimento o potenziamento, riceveranno per 15 anni CV pari al prodotto della produzione netta di energia elettrica da fonti *rinnovabili* moltiplicata per il coefficiente, riferito alla tipologia della fonte (vedi tabella 4).

I soli impianti di potenza fino a 1MWe, su richiesta del produttore possono accedere, in alternativa ai CV, a una tariffa fissa omnicomprensiva (che comprende cioè sia la componente incentivante che l'acquisto dell'energia elettrica) per ogni kWhe prodotto e immesso in rete (vedi tabella 4). Le modalità e le condizioni economiche per il ritiro dell'energia ammessa alla tariffa fissa omnicomprensiva sono contenute nella delibera AEEG ARG/elt 1/09.

Ogni 3 anni potranno essere rivisti, con Decreto Ministeriale, il coefficiente moltiplicativo e la tariffa fissa.

Gli impianti entrati in funzione dopo il 30 giugno 2009 riceveranno CV o tariffa omnicomprensiva solo se non beneficeranno di incentivi pubblici (nazionali, locali o comunitari) in conto energia, conto capitale o conto interessi con capitalizzazione anticipata, assegnati dopo il 31 dicembre 2007.

I soli impianti, di proprietà di aziende agricole o gestiti in connessione con aziende agricole, agro-alimentari, di allevamento e forestali, possono cumulare la tariffa fissa omnicomprensiva di 28c€/kWhe con altri incentivi pubblici (nazionali, locali o comunitari) in conto energia, conto capitale o conto interessi con capitalizzazione anticipata, non eccedenti il 40% dell'investimento.

Tabella 4

<b>FONTE</b>	<b>CV</b>	<b>OMNI COMPRENSIVA</b>
	Coefficiente	c€/kWhe
Eolica per impianti di taglia inferiore a 200 kW	1,0	30
Eolica per impianti di taglia superiore a 200 kW	1,0	na
Eolica offshore	1,5	na
Solare	**	**
Geotermica	0,9	20
Moto ondoso e maremotrice	1,8	34
Idraulica	1,0	22
Rifiuti biodegradabili, biomasse diverse da quelle al punto successivo	1,3	na
Biogas e biomasse, esclusi i biocombustibili con eccezione di quanto indicato in normativa	na	28
Biomasse e biogas prodotti da attività agricola, allevamento e forestale da filiera corta	**	na
Biomasse e biogas alimentanti impianti di cogenerazione	**	na
Gas di discarica e gas residuati dai processi di depurazione e diversi dai precedenti	0,8	na
Gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biocombustibili liquidi ad eccezione di quanto indicato in normativa	na	18

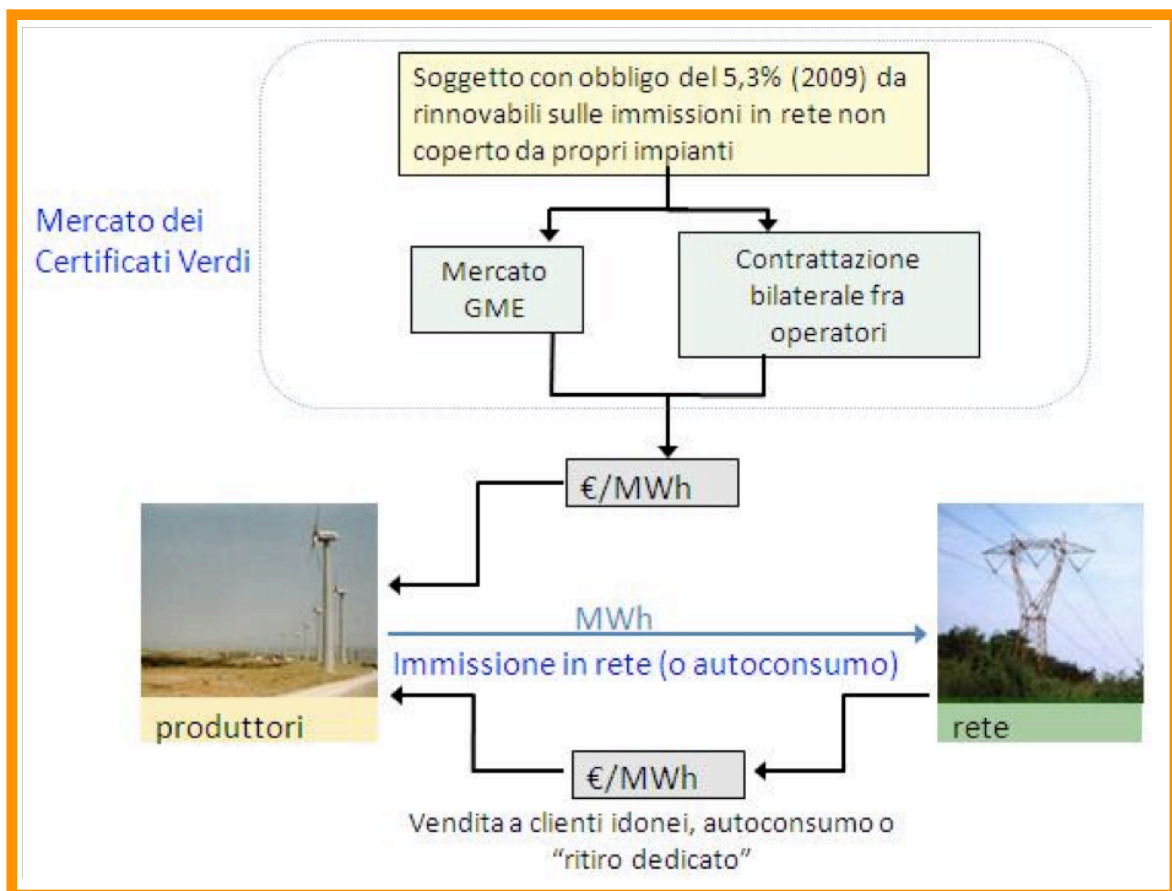
\* E' fatto salvo quanto disposto a legislazione vigente in materia di produzione di energia elettrica mediante impianti alimentati da biomasse e biogas derivanti da prodotti agricoli, di allevamento e forestali, ivi inclusi i sottoprodotti.

\*\* Per gli impianti da fonte solare si applicano i provvedimenti attuativi dell'articolo 7 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387.; non sono quindi più riconosciuti i CV.

Riassumendo il funzionamento: i produttori ricevono il provento derivante dalla vendita del CV in aggiunta al prezzo di vendita dell'energia generata (o alla valorizzazione dell'autoconsumo della stessa).

I CV possono essere contrattati direttamente fra i proprietari degli impianti stessi e gli operatori interessati, oppure servendosi dell'apposito mercato creato dal Gestore del Mercato Elettrico (GME).

Figura 9 - Schema di funzionamento



In base all'accordo 10/06/06 tra il Ministero delle attività produttive e il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio della Repubblica italiana e il Ministero dell'economia, del commercio e dell'energia della Repubblica di Albania, vengono reciprocamente riconosciuti le modalità di certificazione dell'energia elettrica da *fonte rinnovabile* e dei relativi sistemi di incentivazione basati sul meccanismo di mercato dei certificati verdi. Verrà così ampliato il mercato dei CV.

## CONTO ENERGIA

IIDM 5 Luglio 2012, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 159 del 10 luglio 2012, cosiddetto Quinto Conto Energia, ridefinisce le modalità di incentivazione per la produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica. Le modalità di incentivazione previste dal Quinto Conto Energia si applicano a partire dal 27 agosto 2012, ovvero decorsi 45 giorni solari dalla data di pubblicazione della deliberazione con cui l'AEEG ha determinato, su indicazione del GSE, il raggiungimento di un costo indicativo cumulato annuo degli incentivi pari a 6 miliardi di euro (Deliberazione AEEG 12 luglio 2012, 292/2012/r/efr).

Il Quinto Conto Energia cessa di applicarsi decorsi 30 giorni solari dalla data in cui si raggiungerà un costo indicativo cumulato degli incentivi di 6,7 miliardi di euro l'anno (comprensivo dei costi impegnati dagli impianti iscritti in posizione utile nei Registri), che sarà comunicata dall'AEEG - sulla base degli elementi forniti dal GSE attraverso il proprio Contatore fotovoltaico - con un'apposita deliberazione.

Il Quarto Conto energia continua ad applicarsi:

- ai "piccoli impianti" fotovoltaici, agli impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative e agli impianti a concentrazione che entrano in esercizio prima del 27 agosto 2012
- ai "grandi impianti" iscritti in posizione utile nei Registri e che producono la certificazione di fine lavori entro 7 mesi (o 9 mesi per impianti di potenza superiore a 1 MW) dalla pubblicazione della relativa graduatoria
- agli impianti realizzati sugli edifici pubblici e su aree delle Amministrazioni Pubbliche, che entrano in esercizio entro il 31 dicembre 2012.

Le tariffe incentivanti del Quinto Conto Energia sono riconosciute alle seguenti tipologie tecnologiche:

- impianti fotovoltaici suddivisi per tipologie di installazione (art.7 DM 5 luglio 2012);
- impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative (art .8);
- impianti fotovoltaici a concentrazione (art.9);

Gli interventi ammessi per richiedere le tariffe incentivanti sono quelli di nuova costruzione, rifacimento totale o potenziamento, così come definiti dal Decreto.

Per beneficiare delle tariffe incentivanti è necessario che gli impianti fotovoltaici rispettino i requisiti descritti negli articoli 7, 8 e 9 del DM 05/07/12 e specificati nelle Regole Applicative per l'iscrizione al Registro e per il riconoscimento delle tariffe incentivanti.

## MECCANISMI

Il Quinto Conto energia prevede due distinti meccanismi di accesso agli incentivi, a seconda della tipologia d'installazione e della potenza nominale dell'impianto:

- **accesso diretto:** le seguenti categorie di impianti accedono direttamente alle tariffe incentivanti, inviando al GSE la richiesta di ammissione agli incentivi secondo le modalità richieste.

- impianti fotovoltaici di potenza fino a 50 kW realizzati su edifici con moduli installati in sostituzione di coperture su cui è operata la completa rimozione dell'eternit o dell'amianto;

- impianti fotovoltaici di potenza non superiore a 12 kW, inclusi gli impianti realizzati a seguito di rifacimento, nonché i potenziamenti che comportano un incremento della potenza dell'impianto non superiore a 12 kW;

- impianti fotovoltaici integrati con caratteristiche innovative (BIPV) fino al raggiungimento di un costo indicativo cumulato degli incentivi di 50 ML€;

- impianti fotovoltaici a concentrazione (CPV) fino al raggiungimento di un costo indicativo cumulato degli incentivi di 50 ML€;

- impianti fotovoltaici realizzati da Amministrazioni Pubbliche mediante svolgimento di procedure di pubblica evidenza, fino al

raggiungimento di un costo indicativo cumulato degli incentivi di 50 ML€;

- impianti fotovoltaici di potenza superiore a 12 kW e non superiore a 20 kW, inclusi gli impianti realizzati a seguito di rifacimento, nonché i potenziamenti che comportano un incremento della potenza dell'impianto superiore a 12 kW e non superiore a 20 kW, che richiedono una tariffa ridotta del 20% rispetto a quella spettante ai pari impianti iscritti al Registro.

- accesso tramite Registro: tutti gli impianti che non ricadono tra le categorie sopra elencate, possono accedere agli incentivi previa iscrizione in posizione utile in appositi Registri informatici, tenuti dal GSE, ("accesso tramite Registro"), ciascuno dei quali caratterizzato da un proprio limite di costo, individuato dal Decreto.

Il bando relativo al primo Registro è pubblicato dal GSE entro 20 giorni dalla data di pubblicazione delle regole applicative per l'iscrizione al Registro e per il riconoscimento delle tariffe incentivanti e prevede la presentazione delle domande di iscrizione entro e non oltre i successivi 30 giorni naturali e consecutivi.

Per i Registri successivi, i bandi sono pubblicati dal GSE ogni sei mesi a partire dalla data di chiusura del primo Registro e prevedono la presentazione delle domande di iscrizione entro i successivi 60 giorni.

## TARIFFE INCENTIVANTI

Il Quinto Conto Energia remunera a differenza dei precedenti meccanismi di incentivazione, con una tariffa omnicomprensiva la quota di energia netta immessa in rete dall'impianto e, con una tariffa premio, la quota di energia netta consumata in sito.

In particolare, ferme restando le determinazioni dell'AEEG in materia di dispacciamento, il GSE con il Quinto Conto Energia eroga:

- sulla quota di produzione netta immessa in rete
  1. per gli impianti di potenza nominale fino a 1 MW, una tariffa omnicomprensiva, determinata sulla base della potenza e della tipologia dell'impianto e individuata, rispettivamente, per gli impianti fotovoltaici,

per gli impianti integrati con caratteristiche innovative e per gli impianti fotovoltaici a concentrazione;

2. per gli impianti di potenza nominale superiore a 1 MW, la differenza, se positiva, fra la tariffa omnicomprensiva e il prezzo zonale orario. Nei casi in cui il prezzo zonale orario sia negativo, tale differenza non può essere superiore alla tariffa omnicomprensiva applicabile all'impianto in funzione della potenza, della tipologia e del semestre di riferimento. L'energia prodotta dagli impianti di potenza nominale superiore a 1 MW resta nella disponibilità del produttore. I prezzi zonali orari mensili possono essere consultati sul sito del GME.

- sulla quota di produzione netta consumata in sito, è attribuita una tariffa premio.

Nel caso di un impianto con autoconsumo la tariffa spettante sarà, quindi, data dalla somma della tariffa omnicomprensiva sulla quota di produzione netta immessa in rete e della tariffa premio sulla quota di produzione netta consumata.

Agli impianti fotovoltaici con potenza nominale non superiore a 20 kW, interamente adibiti all'alimentazione di utenze in corrente continua, collegati alla rete elettrica ma che non immettono energia in rete, sarà invece riconosciuta solo una tariffa premio sull'energia netta consumata in sito.

Come stabilito dal DM 5 luglio 2012, i valori delle due tariffe (omnicomprensiva e premio), saranno progressivamente decrescenti per i semestri d'applicazione del Quinto Conto Energia, a partire dal 27 agosto 2012.

La tariffa spettante è quella vigente alla data di entrata in esercizio dell'impianto e, a partire da tale data, è riconosciuta per un periodo di 20 anni.

La tariffa incentivante rimane costante in moneta corrente per tutto il periodo dell'incentivazione, considerato al netto di eventuali fermate disposte per problematiche connesse alla sicurezza della rete o ad eventi calamitosi, riconosciuti come tali dalle autorità competenti.

Le tariffe omnicomprensive e le tariffe premio sull'energia consumata in sito sono incrementate, limitatamente agli impianti fotovoltaici e agli



impianti integrati con caratteristiche innovative, dei seguenti premi tra loro cumulabili, quantificati in €/MWh (riportati nell'art.5, comma 2 lettera a) del Decreto):

1. per gli impianti con componenti principali realizzati unicamente all'interno di un Paese che risulti membro dell'Unione Europea o dello Spazio Economico Europeo (Islanda, Liechtenstein e Norvegia)

2. per gli impianti realizzati su edifici con moduli installati in sostituzione di coperture su cui è operata la completa rimozione dell'eternit o dell'amianto

### CERTIFICATI RECS

Oltre al meccanismo dei certificati verdi, legato all'obbligo introdotto dal decreto Bersani, nel 2003 è stato avviato il sistema RECS (Renewable Energy Certificate System), che si differenzia dal primo per i seguenti aspetti:

- la partecipazione è volontaria e la possibile remunerazione della vendita del certificato è dunque collegata a principi di green pricing e di sensibilità ambientale delle aziende;
- ogni certificato fa riferimento ad una produzione annua di 1 MWh, includendo così anche le applicazioni di piccola taglia;
- il mercato è allargato a 18 paesi attualmente e potrà essere ulteriormente esteso in futuro.

I dati disponibili al 2012 parlano di 33 milioni di certificati emessi e di circa 13 milioni venduti a soggetti interessati a certificare la provenienza da *fonte rinnovabile* dell'energia elettrica da loro acquistata.

L'ente che rilascia i RECS in Italia è sempre il GSE.

### CERTIFICATI BIANCHI

Il sistema incentivante dei Certificati Bianchi o Titoli di Efficienza Energetica è stato introdotto per promuovere a livello nazionale interventi di efficienza energetica negli usi finali dell'energia.

Il meccanismo dei CB prevede l'obbligo per i distributori di energia elettrica e di gas naturale di raggiungere gli obiettivi annuali di risparmio energetico fissati dai Decreti Ministeriali 20 luglio 2004 e dal Decreto Ministeriale 21 dicembre 2007. Tali obiettivi sono espressi in tonnellate

equivalenti di petrolio risparmiate (TEP); ogni Titolo di Efficienza Energetica certifica il conseguimento di un risparmio di energia primaria pari a un TEP, equivalente a circa 5,3 MWh elettrici e circa 1.200 Nm<sup>3</sup> di gas naturale.

Gli interventi di risparmio energetico danno quindi diritto al riconoscimento di CB, emessi dal Gestore dei mercati energetici sulla base di una comunicazione dell'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas che certifica i risparmi conseguiti.

I soggetti abilitati a richiedere CB sono i Distributori di energia elettrica e gas con oltre 50.000 clienti finali, i soggetti con Energy Manager ex Legge 10/91 (soggetti industriali che consumano oltre 10.000 tep/anno e terziario e pubbliche amministrazioni con oltre 1.000 tep/anno di consumi) ed le Energy Service Company (ESCO).

Esistono tre diversi metodi di valutazione dei risparmi conseguiti mediante gli interventi di efficienza energetica:

1. standardizzato,
2. analitico,
3. a consuntivo.

Gli interventi oggetto della iniziativa sono valutati con metodo standardizzato, individuato dalle relative schede tecniche predisposte dall'AEEG, che permette una quantificazione dei risparmi ottenuti dall'intervento, senza necessità di misurazioni puntuali, sulla base di una serie di parametri variabili per ciascun intervento.

I CB sono riconosciuti dall'AEEG ai soggetti abilitati per un periodo che varia, in relazione allo specifico intervento, da 5 a 8 anni.

Per poter sottoporre un progetto all'AEEG per la certificazione e il rilascio dei relativi CB è necessario raggiungere una dimensione minima che varia in relazione al metodo di valutazione utilizzato. Per gli interventi oggetto della presente iniziativa, la dimensione minima richiesta è pari a 20 tep, raggiungibile aggregando interventi realizzati da diversi soggetti nell'ambito della stessa iniziativa.

## Capitolo 3

### MICROIDROLETTRICO

#### LOCALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO

Il Santerno è un torrente tosco-emiliano, le cui sorgenti e i primi 27 km del corso ricadono nel territorio della Regione Toscana, in provincia di Firenze; è il maggiore affluente del Fiume Reno sia per lunghezza sia, a pari merito con l'Idice, per portata d'acqua (media alla foce 16 mc/s, minima 1 mc/s, massima 936 mc/s)

Il bacino idrografico, nel solo tratto appenninico, chiuso al ponte della Via Emilia a Imola, è di 423 kmq , dei quali 231 in Toscana e 192 in Romagna; comprendendo il tratto di pianura, supera i 700 kmq.

Nasce presso il passo della Futa, a 1222 metri di quota, nel crinale appenninico, in un anfiteatro di argille scagliose, una conca al cui centro si trova Firenzuola. Poi il fiume scorre in una vallata stretta e rocciosa (San Pellegrino); così incassato e tortuoso giunge fino a Castiglioncello, dov'è il confine fra la provincia di Bologna e quella di Firenze. A monte del Coniale riceve da sinistra il suo maggior affluente, il torrente Diaterna (con bacino di 74 kmq, che scende, invece, dal Passo della Raticosa) che, dopo aver percorso una valle assai pregevole dal punto di vista naturalistico (anche perché assai poco antropizzata), gli reca circa un terzo della portata d'acqua complessiva. Altri affluenti da destra del tratto montano sono, presso Firenzuola, il torrente Viola (con un bacino di 14 kmq) e, a monte di San Pellegrino, il torrente Rovigo (con un bacino di 47 kmq). Dopo Firenzuola, il Santerno bagna Castel del Rio: qui la strada provinciale scavalca il fiume lungo il noto Ponte degli Alidosi, costruito nel Medioevo con la caratteristica forma a schiena d'asino. Il fiume tocca poi Fontanelice, Borgo Tossignano, il comune di Casalfiumanese confinante con quello di Fontanelice, dove si trova la nostra opera.

Successivamente, la sua valle si allarga e il Santerno sbocca in pianura, raggiungendo Imola. Poco dopo Imola il fiume riceve, ancora da destra, il Rio Sanguinario (lungo 10 km e con bacino di 23,5 kmq ). Superata Imola, il Santerno passa tra Mordano e Bagnara di Romagna, poi rasenta Sant'Agata sul Santerno ed infine, dirigendosi a nord e poi a nordest,

sfocia nel Reno, presso Villa Pianta, circa 7 km a est della località Bastia. È affiancato da argini per gli ultimi 32 km di pianura.

Nella zona pedecollinare, prima il Rio Sanguinario, poi il Santerno, fin dopo Mordano, marcano il confine fra le Province di Bologna e Ravenna; dopo, il Santerno scorre interamente in provincia di Ravenna.



Figura 10: Individuazione del Torrente Santerno

Dalle valutazioni del luogo si è visto che è utile, ai fini della sinergia delle fonti *rinnovabili* in oggetto, prevedere la realizzazione di un impianto microidroelettrico lungo il corso del Torrente Santerno. Il progetto è pertanto mirato ad ottenere energia elettrica mediante la realizzazione di un'opera a basso impatto ambientale e che quindi risulti essere un contributo oggettivo a favore della realizzazione di uno sviluppo sostenibile.

Gli obiettivi che la tipologia tecnica scelta per la realizzazione persegue si possono riassumere nel seguente elenco:

- gestire l'utilizzo delle risorse idriche a scopo idroelettrico, garantendo la tutela e l'equilibrio dell'ambiente in cui si attua il processo produttivo;
- impiegare le migliori tecniche disponibili, per rendere l'investimento appetibile anche dal punto di vista economico;
- privilegiare sempre l'azione di prevenzione dell'inquinamento alla fonte piuttosto che l'abbattimento dello stesso in momenti e spazi successivi;
- favorire l'inserimento nel paesaggio delle strutture e delle infrastrutture da realizzare; riducendo gli effetti sull'ambiente e sulle persone generati dalle attività.

Si sottolinea come il progetto è da ritenersi conforme alle linee guida per la predisposizione del piano energetico provinciale in cui è evidente l'intenzione di sostenere le fonti di energia alternativa ed anche della linea del PER. Inoltre rimane di estrema importanza strategica sfruttare al meglio le risorse del luogo per creare nuove opportunità per lo sviluppo del nostro sistema economico legate a specifici esempi di innovazione e di uso di risorse locali.

L'impianto viene classificato come un micro-impianto secondo quanto riportato in tabella 5

<b>Denominazione</b>	<b>Potenza nominale (kW)</b>	<b>Salto (m)</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/s)</b>
Micro-impianti	P<100	H<50	Q<10
Mini-impianti	100<P<1000	50<H<250	10<Q<100
Piccoli-impianti	1000<P<10000	250<H<1000	100<Q<1000
Grandi-impianti	P>10000	H>1000	Q>1000

Tabella 5

Operativamente, per giungere alla formulazione del progetto si individuano una serie di passaggi necessari che vengono schematizzati come segue:

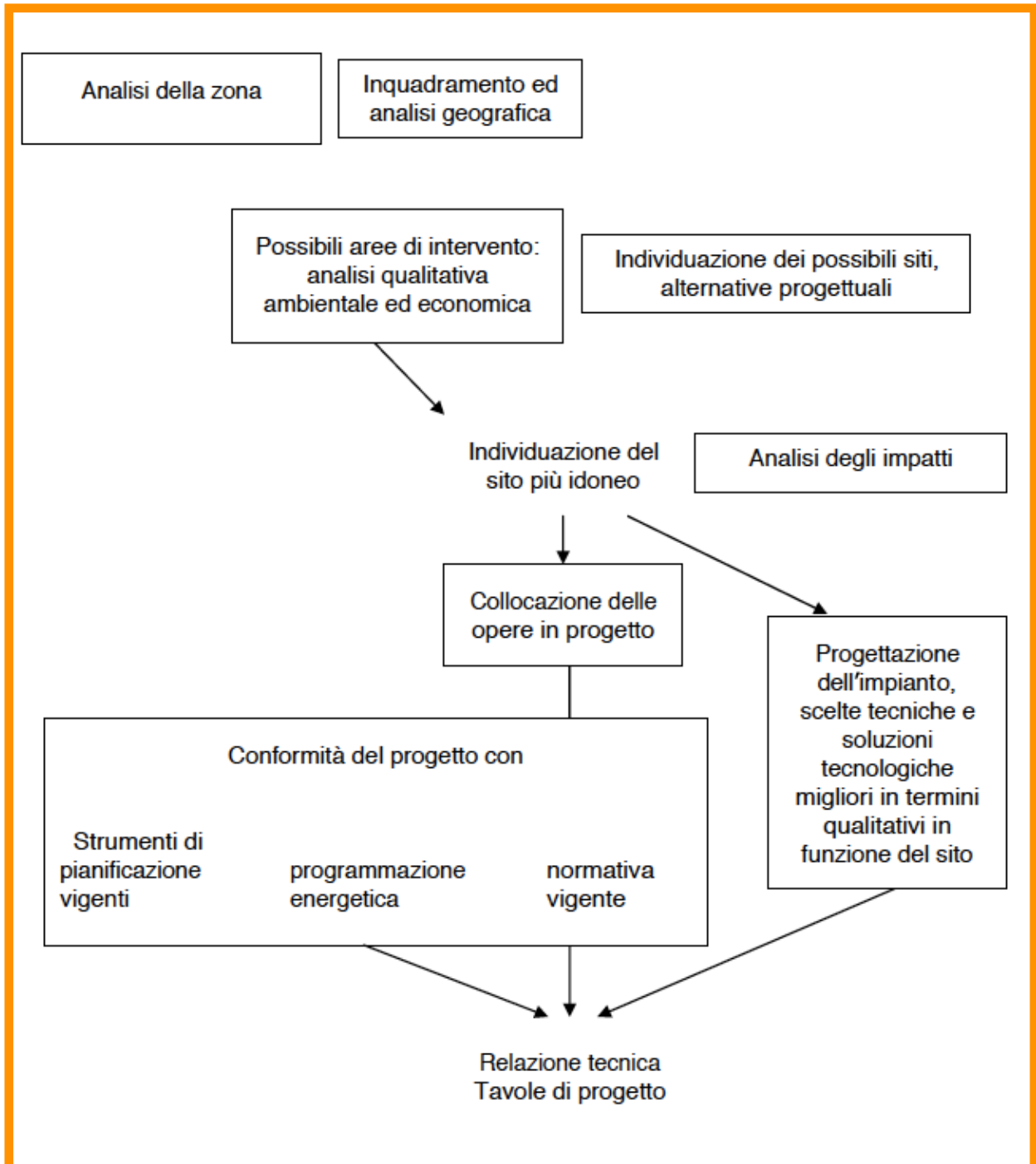


Figura 11: Schema per la stesura del progetto.

Per lo studio dell'andamento medio delle precipitazioni meteoriche all'interno del bacino imbrifero afferente all'opera di presa è necessaria una relazione idraulica idrogeologica.

Si fa presente come la scelta relativa all'ubicazione delle opere necessarie al progetto sia stata fatta non solo in termini tecnici ma anche in relazione alla conformazione e alle caratteristiche della zona. Il progetto in oggetto per la realizzazione di un impianto idroelettrico è stato condotto analizzando la sua conformità con gli strumenti di pianificazione vigenti per il sito in oggetto e seguendo criteri tecnico-funzionali attenti al contesto fluviale e quindi ambientale in cui si andava ad intervenire.

#### CAPTAZIONI POSSIBILI

I calcoli condotti per determinare la potenzialità dell'impianto di produzione vengono riferiti alle portate medie nei vari mesi; negli stessi periodi, però, si hanno anche massime e minime di portata. Dallo studio effettuato sulle portate (sfruttando dati idrometrici e modelli pluviometrici) sono state determinate le seguenti portate descritte in tabella 6. Quindi relativamente al valore determinato per la quantità da lasciare in alveo (deflusso minimo vitale pari a 0,379 mc/s), abbiamo ottenuto i seguenti risultati per le portate captabili e per la produzione di energia elettrica. I prelievi effettivi infatti risultano:

Tabella 6 - Valori del Santerno sfruttabili - avendo già considerato il DMV

<b>MESE</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
<b>gennaio</b>	4,764
<b>febbraio</b>	4,978
<b>marzo</b>	3,853
<b>aprile</b>	4,621
<b>maggio</b>	2,339
<b>giugno</b>	0,758
<b>luglio</b>	0,619
<b>agosto</b>	0,151
<b>settembre</b>	0,321
<b>ottobre</b>	0,793
<b>novembre</b>	2,417
<b>dicembre</b>	5,103

Nell'analisi delle possibili soluzioni impiantistiche si sono prese in considerazione diverse tipologie di macchine: la coclea idraulica, la turbina VLH e la turbina Hydrovolts. Queste sono tutte idonee per un impianto micro idroelettrico, la valutazione sarà in questa sede effettuata in base alle caratteristiche del sito di installazione. Di seguito si presentano le caratteristiche ed i vantaggi delle macchine considerate.



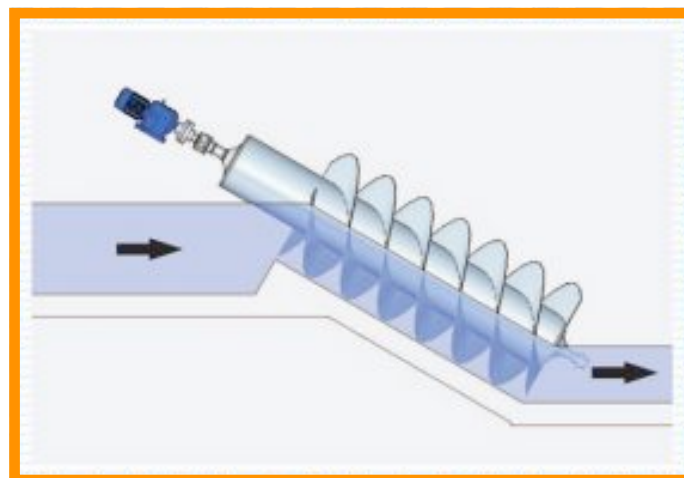
## COCLEA IDRAULICA

Si analizza una prima macchina che si potrebbe adattare alla situazione geografica e torrentizia del Santerno. La coclea o vite idraulica può essere applicata dove si incontrano dislivelli di acqua minimi, poiché sfrutta l'energia potenziale in posizione stazionaria. Nel punto più alto infatti l'energia potenziale dell'acqua è massima e per effetto della conseguente caduta verso il punto più basso, viene convogliata in un rotore collegato ad un generatore che trasforma l'energia cinetica data dal movimento della coclea in energia elettrica. Tale funzionamento è molto semplice. Il fluido entra nella coclea, e precisamente nei suoi 3 scomparti, nel punto più alto, mentre un motore avviato da un impulso elettrico fornito dalla rete elettrica la mette in movimento. I suoi 3 diversi compartimenti, formano singole camere in cui l'acqua entrante spinge grazie alla forza di gravità della terra creando un principio di rotazione. Tutto ciò si ripete finché è sfruttata l'energia potenziale data dal peso stazionario dell'acqua nel punto più alto dell'impianto.

L'energia prodotta dalla rotazione dell'albero della coclea viene trasmessa, attraverso un moltiplicatore a cinghia, ad un generatore.

Il funzionamento è semplice e la velocità di rotazione è minima, quello che vince in questa tecnologia non è la velocità, ma la forza di spinta, ciò che gira piano dura di più.

Figura 12 - Coclea idraulica



## CAMPI DI APPLICAZIONE

Le possibilità di applicazione di tali tipi di impianto sono molteplici. Essi si prestano per lo sfruttamento degli effluenti trattati dagli impianti di depurazione, così come per la ristrutturazione di centrali a turbina di dimensioni ridotte, di ex dighe di irrigazione, di vecchi mulini a ruota.

Per un volume d'acqua tra 0,2 e 5,5 mc/s e dislivelli da 1,4 fino a 10 m le viti idrauliche rendono possibile l'utilizzazione di energia idraulica, mentre tutte le turbine di ogni tipo ne sono escluse per varie ragioni, principalmente per ragioni di costo.

## VANTAGGI APPLICATIVI

- Per il minore battente d'acqua in uscita, le viti idrauliche non hanno bisogno di alcun lavoro nella zona dello scarico a valle. L'installazione in un corso fluviale può avere luogo per lo più senza modificazione dell'alveo naturale.
- Livelli d'acqua variabili e portate variabili in afflusso e in deflusso influenzano il rendimento in modo irrilevante e non hanno influenza sul funzionamento della vite idraulica e sul suo servizio.
- Il funzionamento a secco non danneggia la vite idraulica, così come corpi solidi nella corrente.
- La fattibilità di una centrale idroelettrica con viti idrauliche è quindi maggiore della fattibilità di centrali idroelettriche tradizionali a turbine.
- Si può rinunciare all'uso di griglie fini, usate nelle turbine e nelle ruote ad acqua per l'arresto dei detriti alluvionali.
- Solidità, robustezza, resistenza all'usura.
- Nessuna manutenzione per pulizia, brevissimi periodi di fermo macchina.
- Elevata tollerabilità della fauna ittica, tant'è che l'impiego di una vite idraulica può risolvere allo stesso tempo sia i problemi di energia sia quelli della salvaguardia della migrazione ittica.

## RENDIMENTO E REDDITIVITÀ

Gli impianti a vite idraulica si distinguono per semplicità e robustezza, senza tuttavia rinunciare a buoni rendimenti e quindi ad un elevato profitto annuo.

Investimento ridotto rispetto ad altre tipologie di impianti idroelettrici, costo di manutenzione irrisori rispetto ad un alto profitto annuo garantiscono un periodo di ammortamento molto breve.

Uno dei vantaggi importanti di questa tipologia di impianti è quello di saper sfruttare l'energia idraulica anche a basse portate garantendo comunque un elevato rendimento, come si può notare dal grafico sottostante.

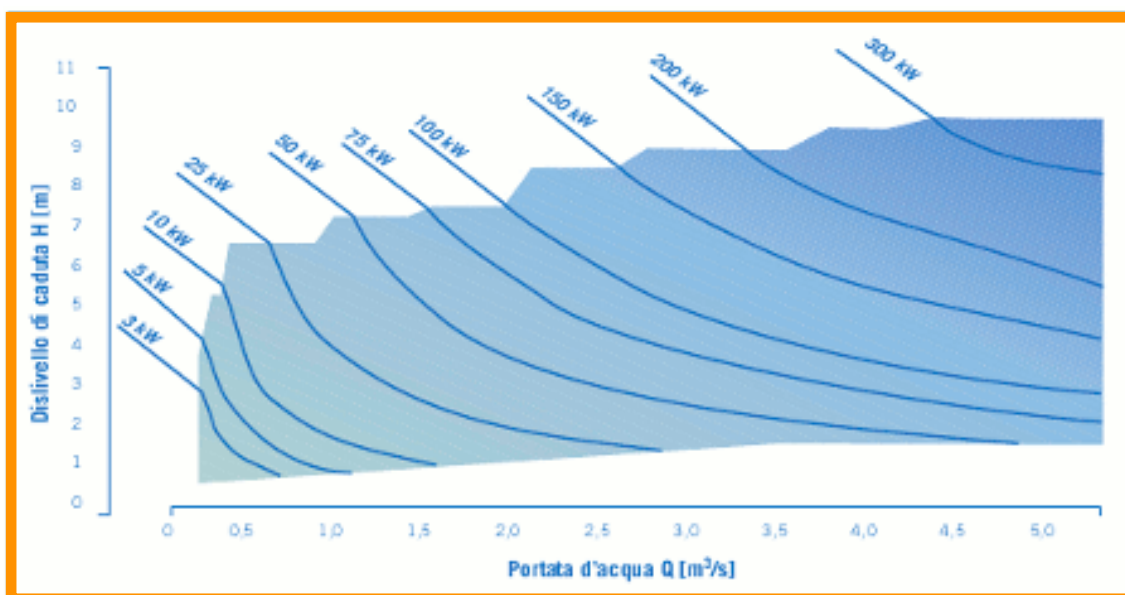


Figura 13 - Rendimento della coclea idraulica a diverse portate

## DESCRIZIONE

Il volume d'acqua da elaborare in una vite idraulica, determina il numero di giri, l'angolo d'incidenza e il diametro esterno del blocco, mentre d'altra parte l'angolo d'incidenza e il dislivello determinano la lunghezza del blocco.

Il numero di giri della vite idraulica è limitato verso l'alto dalla diminuzione di portata per cavitazione e verso il basso dal riempimento del passo dell'elica.

In base al volume d'acqua, il numero di giri varia da 20 giri/min per viti idrauliche di grandi dimensioni a 80 giri/min per viti idrauliche di piccole dimensioni. L'angolo d'incidenza viene spesso determinato dalle esigenze costruttive e varia da 22° a 35°.

A causa del minore battente d'acqua in efflusso, le viti idrauliche non hanno bisogno, se confrontate con gli impianti a turbina, di alcun lavoro di costruzione in sottosuolo nella zona dello scarico a valle. Di conseguenza, l'installazione di una vite idraulica in un corso fluviale può avere luogo per lo più senza modificazione del letto fluviale naturale.

Inoltre la zona del generatore è posizionata al di sopra del livello dell'acqua corrente, mentre invece in una turbina la zona del generatore si trova al di sotto del livello dell'acqua e quindi necessita di un alloggiamento a tenuta stagna.

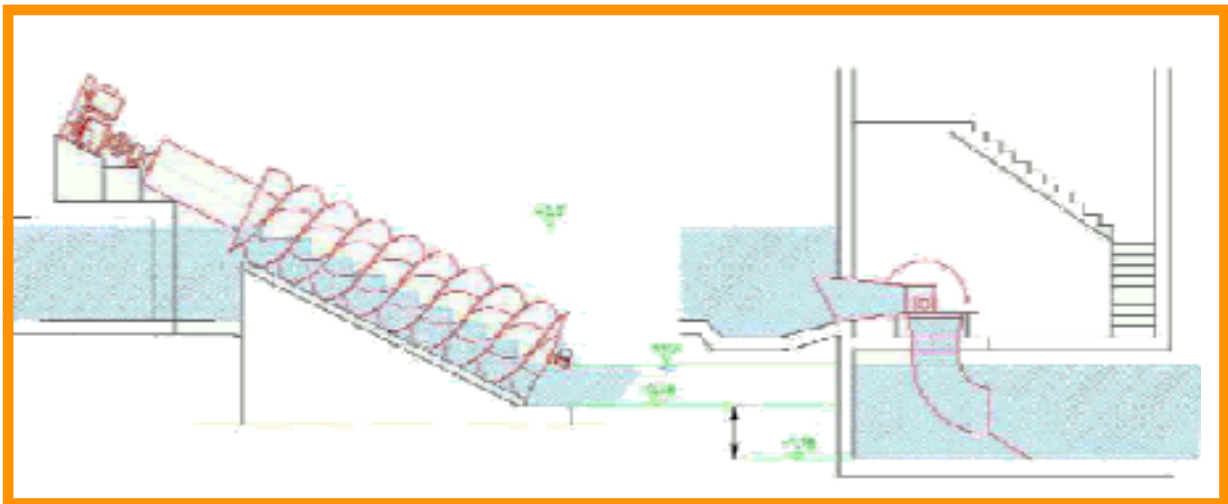


Figura 14 - Confronto fra coclea e turbina

Griglie e sgrigliatori, normalmente utilizzati con turbine tradizionali per il filtraggio dell'acqua da detriti alluvionali e per l'allontanamento della fauna ittica, non sono necessari con la coclea idraulica. I corpi flottanti ed i pesci possono oltrepassare la coclea senza ostacoli e senza danni. Si evitano così le dispersioni energetiche riconducibili alla riduzione del dislivello (o differenza piezometrica) od a perdite di portata; lo stesso vale per le diminuzioni del deflusso dalle griglie, che possono influire negativamente sul rendimento dell'impianto.

Attraverso le grandi luci della griglia grossolana (10-20 cm di luce tra le barre) viene fortemente diminuita la produzione di corpi alle griglie, e di conseguenza anche il costo per la pulizia e i costi di smaltimento ad essa connessi.

Un corpo flottante che entra nell'impianto viene fatto transitare nell'acqua a valle. Livelli d'acqua variabili e portate variabili in afflusso e in deflusso influenzano il rendimento in modo irrilevante e non hanno influenza sul funzionamento della vite idraulica e sul suo servizio.

Il funzionamento a secco non danneggia la vite idraulica, così come corpi solidi nella corrente.

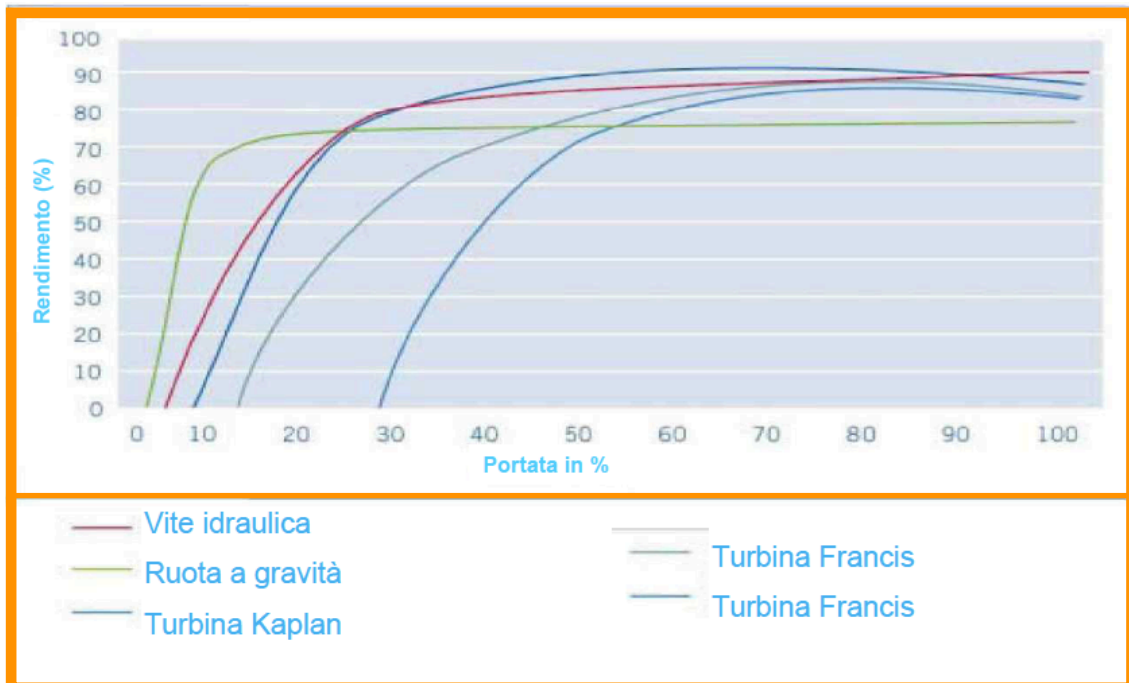


Figura 15 - Curva di rendimento a confronto

Le viti idrauliche raggiungono rendimenti del 85%. Si deve notare l'estensione del campo dei buoni rendimenti, che varia da circa un terzo della portata fino al riempimento completo.

Viene quindi confermato che, in virtù dell'estensione del campo di stabilità del rendimento, queste macchine continuano a raggiungere buone prestazioni anche in caso di scarsa alimentazione.

## VANTAGGI PER LA FAUNA ITTICA

E' noto che impianti di sbarramento e di turbine in genere rappresentano un ostacolo enorme ed un punto di pericolo non solo per pesci risalenti bensì anche per quelli migranti. Centrali idroelettriche di qualsiasi tipo rappresentano un impedimento per le migrazioni di pesci a scopo di deposizione delle uova. Si pensi all'anguilla europea alla trota salmonata (o marina), il salmone o la lampreda di fiume fino alle specie tipiche dei torrenti, sono tutte specie poste a repentaglio. I risultati della distribuzione di lunghezza e frequenza delle singole specie mostra che sia pesci piccoli (maggiori di 8 cm) che quelli più grandi (fino a 58 cm) possono migrare attraverso la coclea a forza idraulica in modo illeso. Anche le specie piccole gobione e scazzone hanno potuto passare attraverso la coclea senza ferite.

In tutto, la coclea a forza idraulica mostra un'alta tollerabilità ittica ed è adatta alla scesa dei pesci. Semmai, soltanto una piccola quantità di pesci (circa un 4%) riportano, secondo le conoscenze, ferite. Inoltre le ferite che riportano sono di natura leggera quale perdita di scaglie ed ematomi.













Figure 16 e BIS - Trota comune (di 35cm) e leucisco rosso di (16cm) dopo il passaggio in coclea



## ESEMPI DI APPLICAZIONI

Di seguito riportiamo una serie di applicazioni della coclea idraulica simili al nostro caso in esame, quindi al di sotto di 1,5 m: come già indicato il range di funzionamento per questa macchina è fino a 10 m per il dislivello di caduta e fino ad una portata di 5500 l/s, considerando un massimo di potenza di 300 kW con un rendimento fino al 90%.

Figura 17 - Esempi di applicazioni

<p>Wassermenge   Portata d'acqua Fallhöhe   Salto Elektrische Leistung   Potenza elettrica</p>	 65 l/s 3,68 m 1,5 kW	 1000 l/s 2,00 m 14,50 kW	 1500 l/s 1,40 m 15,00 kW	 1000 l/s 2,50 m 17,70 kW
<p>Wassermenge   Portata d'acqua Fallhöhe   Salto Elektrische Leistung   Potenza elettrica</p>	 1400 l/s 2,30 m 23,80 kW	 1200 l/s 2,10 m 16,80 kW	 2500 l/s 2,64 m 48,00 kW	 1040 l/s 1,10 m 8,50 kW
<p>Wassermenge   Portata d'acqua Fallhöhe   Salto Elektrische Leistung   Potenza elettrica</p>	 2000 l/s 1,45 m 22,30 kW	 1500 l/s 2,48 m 27,20 kW	 1500 l/s 2,72 m 29,80 kW	 2500 l/s 2,82 m 50,60 kW
<p>Wassermenge   Portata d'acqua Fallhöhe   Salto Elektrische Leistung   Potenza elettrica</p>	 2000 l/s 2,20 m 31,50 kW	 288 l/s 3,42 m 6,30 kW	 1600 l/s 1,00 m 11,50 kW	 109 l/s 2,00 m 1,62 kW

## VERY LOW HEAD TURBINE

La seconda tipologia di macchina che viene presa in considerazione è un brevetto francese datato 2003, esteso poi a livello internazionale nel 2006.

Le turbine sono per definizione ingombranti, il tentativo di renderle più competitive si è sempre concentrato sul massimizzare le prestazioni del prodotto riducendo il diametro delle ruote. In particolare la diminuzione dei diametri porta a delle realizzazioni economicamente insostenibili quando il dislivello è troppo basso. La ricerca del gruppo francese si è mossa in contro tendenza cercando di ridurre il più possibile le opere di approvvigionamento e di restituzione aumentando il diametro della ruota della turbina, integrandola con un blocco autoportante che svolga le medesime funzioni di un impianto convenzionale.

Sono turbogeneratori a testa molto bassa specifici in casi di dislivelli tra 1,4 e 3,2m e con la portata nominale che varia da 10 a 30mc/s. L'ideale sarebbe utilizzare più gruppi in parallelo. Una loro caratteristica molto importante è il lasciar consentire il passaggio dei pesci attraverso le lame della turbine, il concetto viene riassunto dall'azienda francese con il termine *ichthyophilie*®.



Figura 18 - VLH immersa in posizione di lavoro

Figura 19 - VLH in posizione di riposo





Le VLH includono le seguenti funzioni:

- turbina Kaplan standardizzata a otto pale orientabili a seconda del livello e della portata
- una struttura autoportante che permette un assemblaggio completo in fabbrica ed un rapido montaggio o smontaggio sul sito
- un alternatore lento, magnete permanente, ad attacco diretto e velocità variabile
- dispositivo di arresto e di taglio del flusso chiudendo le lame su se stesse senza corrente dalla rete. Le VLH non necessitano di valvole per assicurare l'arresto del gruppo.
- il distributore funge da griglia di protezione
- un rastrello rotante incorporato
- un variatore elettronico di velocità
- apparecchiature di controllo e comando elettronico integrate che assicurano la gestione integrata del generatore e del gruppo elettronico di potenza
- dispositivo di rimozione che permette di portare l'apparecchio fuori dall'acqua per la manutenzione e il ritiro in caso di inondazione. La struttura autoportante è sufficientemente rigida per fare ruotare la VLH attorno ai supporti superiori in una singola operazione.
- il sistema è in comunicazione con l'esterno tramite un modem. L'interfaccia utente può accedere in remoto utilizzando internet.

#### VANTAGGI APPLICATIVI

Lo sfruttamento delle turbine a testa bassa richiede un'infrastruttura che crei il potenziale di caduta. Considerato questo il loro vantaggio viene riscontrato con i seguenti dati certi:

- sono necessarie portate significative associate appunto ad un'ideale infrastruttura
- sono sempre stati favoriti da parte dei produttori gli aspetti della riduzione delle dimensioni e del costo rispetto a quelli dell'ingegneria civile
- il costo dell'ingegneria civile sta diventando non incentivante paragonato alla potenza installata e quindi è il valore aggiunto.

Si deduce che diventa essenziale ottimizzare i costi delle opere di ingegneria. In particolare i volumi di calcestruzzo hanno una crescita esponenziale al diminuire del diametro della testa. Ad esempio, a parità di potenza, quando si passa da una testa di 3 a 1,5 m, il volume di calcestruzzo necessario per l'attuazione di una soluzione convenzionale è moltiplicato per cinque volte.

Il disegno delle VLH permette di superare questa difficoltà e la riduzione delle opere di ingegneria civile è ampiamente evidenziato.

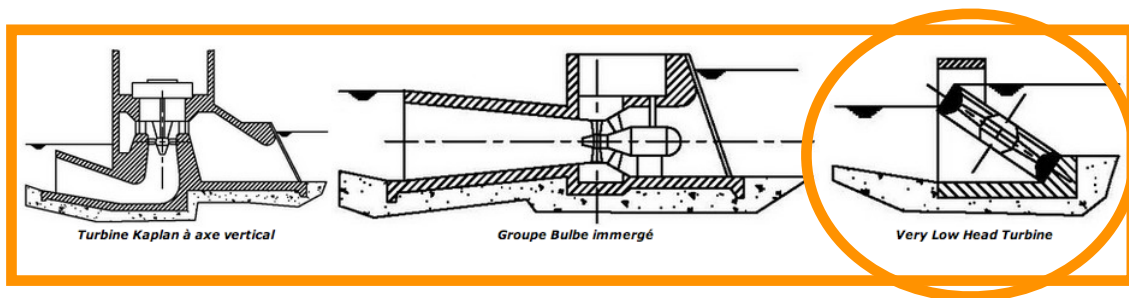


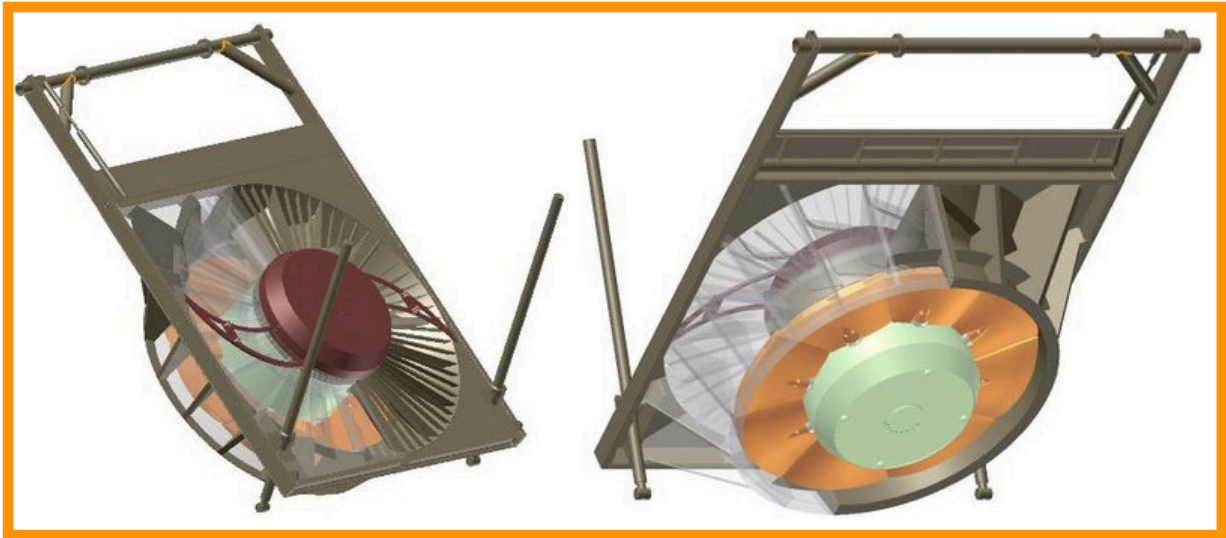
Figura 20 - Comparazione tra diverse turbine

Le infrastrutture necessarie per realizzare un impianto VLH sono ridotte alla forma più semplice: due pareti laterali verticali parallele e una lastra. I volumi di scavo sono ottimizzati per l'inclinazione del gruppo.

#### DESCRIZIONE

Le VLH si presentano come una struttura quasi quadrata autoportante saldata meccanicamente. Ricevono l'orientamento e la direzione. Il gruppo forma una griglia i cui spazi sono stati progettati per evitare l'intasamento. I profili della griglia garantiscono la tenuta meccanica del bulbo contenente il generatore e la turbina. Sopra la prima griglia, una seconda elimina i rifiuti con un movimento lento ed intermittente. Al di sotto il bulbo è costituito dalla ruota della turbina contenente l'alternatore lento, magnete permanente, ad attacco diretto e velocità variabile. Lo statore è in posizione centrale ed i magneti del rotore sono montati all'interno della ruota della turbina.

Figura 21 - La struttura della VLH



L'assemblaggio è pressurizzato, in particolare l'aria compressa utilizzata viene essiccata in modo da impedirne la condensazione. Il mozzo della turbina viene saldato meccanicamente con 8 pale che hanno la possibilità di chiudersi su se stesse. La loro apertura è comandata idraulicamente in base alla portata disponibile e della perdita d'aria netta. L'alternatore a magneti permanenti è accoppiato direttamente alla turbina, il rotore è esterno, gli avvolgimenti statorici sono montati su un albero fisso in posizione centrale.

La velocità dell'alternatore consente alla VLH un rendimento nominale attorno al 40%, rendendola paragonabile alla tradizionale Kaplan. Il variatore è costituito da un raddrizzatore di potenza associato ad una batteria di condensatori e un invertitore che restituiscono un segnale da 50-60Hz. La qualità di questo segnale è tale da non richiedere l'installazione delle così dette trappole da parte del ERDF, inoltre è particolarmente adatto per il funzionamento della rete isolata.

Per definire i parametri di funzionamento della turbina, viene usato un sistema di controllo centrale che si basa sulle misure dell'altezza di caduta e altri parametri di funzionamento.

In definitiva il funzionamento si svolge come segue: l'energia prodotta dal generatore viene raddrizzata dal variatore, passa attraverso un bus DC, viene mantenuta ad un valore stabile di circa 800Vcc e consegnata alla

rete elettrica dall'inverter. L'intera catena di conversione di potenza è gestita dal sistema di controllo centrale. Il sistema VLH produce energia elettrica trifase di alta qualità con un fattore di potenza unitario o domanda regolabile. La sincronizzazione del sistema è completamente automatico, così come l'accoppiamento e il disaccoppiamento dalla rete elettrica.

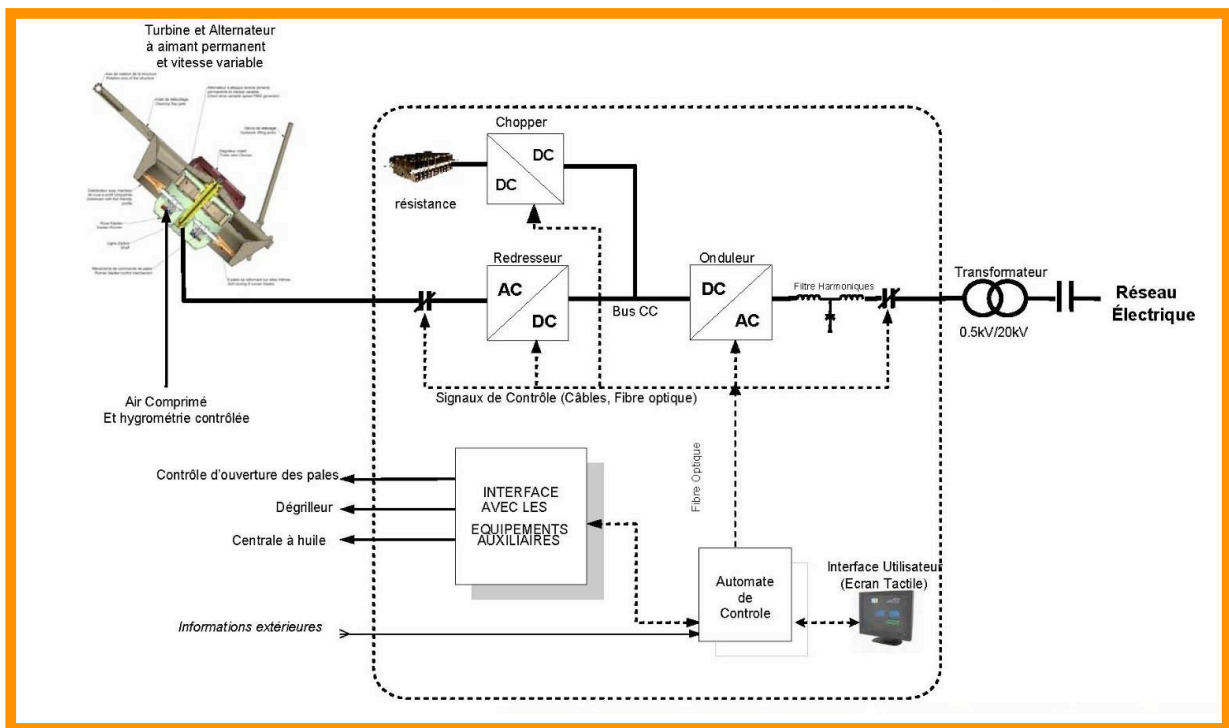


Figura 22 - Diagramma del convertitore di frequenza

### VANTAGGI PER LA FAUNA ITTICA

Altro vantaggio, che è anche una delle principali caratteristiche delle VLH, è il bassissimo impatto sulla migrazione dei pesci: il passaggio dei pesci è consentito dal funzionamento della ruota, cioè dal grande diametro che offre grandi spazi tra le palette e le lame e dalla bassa velocità di rotazione (40 giri/minuto) che determina una velocità minima del flusso dell'acqua al suo interno. Sul gruppo non sono quindi necessari dispositivi di sicurezza di nessun genere.

Negli anni 2007, 2008 e 2010 sono state effettuate campagne di prove sulla prima VLh installata nella località di Millau, i risultati sono stati

incoraggianti su diverse specie di pesci (anguille, salmoni), tra i migliori nel campo di queste macchine. Le campagne hanno anche permesso di migliorare ulteriormente le prestazioni nella salvaguardia ittica. Il tasso di sopravvivenza è stato provato con una media superiore al 92,3%, che fa risultare la mortalità indotta da 5 a 10 volte inferiore a quella di una turbina convenzionale identica.

Tabella 7 - Comparazione tra i criteri accettati e i valori ottenuti dalle simulazioni

<b>Critère N°1:</b> vitesse en périphérie de pales Acceptabilité: 6 à 12 m/s	⇒ <b>Valeur VLH: 4.5 à 8 m/s</b>
<b>Critère N°2:</b> pression minimum rencontrée Acceptabilité: 69 kPa	⇒ <b>Valeur VLH: 94 kPa</b>
<b>Critère N°3:</b> gradient de pression maximum Acceptabilité: 550 kPa/s	⇒ <b>Valeur VLH: 80 kPa/s</b>
<b>Critère N°4:</b> gradient de vitesse maximum Acceptabilité: 180 m/s/m	⇒ <b>Valeur VLH: 10 m/s/m</b>
<b>Critère N°5:</b> jeu pale manteau	⇒ <b>Valeur VLH: 4.5 mm</b>

## SCELTE PROGETTUALI

Dal punto di vista progettuale, ambientale ed estetico le turbine VLH risulterebbero la scelta più interessante ma, le condizioni del Santerno, il caso in esame, non ci permettono di fare questa scelta per via della portata richiesta: infatti non si riesce mai a raggiungere quella minima per il funzionamento di questa turbina.

Situazione simile è avvenuta per un'altra turbina dalle interessanti caratteristiche. Questa è un brevetto Hydrovolts ed è pensata specificatamente per basse portate ma all'interno di canali artificiali o comunque corsi d'acqua privi di detriti. Chiaramente, anche in questo caso, non sono rispettate le richieste del caso.



Figura 23 e BIS -  
Turbina Hydrovolts in fase  
di posa



## Capitolo 4

### IMPIANTO FOTOVOLTAICO

#### CENNI SUGLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI

La tecnologia fotovoltaica permette di trasformare direttamente l'energia del sole in energia elettrica, sfruttando un fenomeno fisico noto come "effetto fotovoltaico", che avviene in strutture elementari chiamate, appunto, celle fotovoltaiche.

La conversione fotovoltaica dell'energia solare avviene all'interno delle celle fotovoltaiche. Un tipico esempio di cella fotovoltaica è la cella al silicio realizzata per mezzo di un cristallo di silicio, elemento semiconduttore caratterizzato da 4 elettroni di valenza. All'interno di un semiconduttore i livelli energetici disponibili per gli elettroni di valenza formano due bande distinte: la banda di valenza e la banda di conduzione. Le due bande energetiche sono separate da un'energia  $E_g$  che dipende dal particolare semiconduttore considerato. In un semiconduttore puro, la banda di valenza è completamente occupata dagli elettroni di valenza del materiale; di conseguenza gli elettroni di valenza non possono muoversi sotto l'azione di un campo elettrico esterno ed il materiale risulta non conduttore.

Se il cristallino di un semiconduttore viene drogato (cioè vengono sostituiti alcuni atomi nella struttura cristallina) con impurezze aventi un numero maggiore di elettroni di valenza (nel caso del silicio si può utilizzare il fosforo che ha 5 elettroni di valenza), gli elettroni di valenza presenti in eccesso vanno ad occupare i primi livelli energetici liberi nella banda di conduzione e possono quindi muoversi liberamente in presenza di un campo elettrico esterno. Il materiale risulta conduttore detto di tipo n. Analogamente, se il cristallo semiconduttore viene drogato con impurezze aventi un numero minore di elettroni di valenza (nel caso del silicio si può utilizzare il boro che ha solo 3 elettroni di valenza), alcuni livelli energetici della banda di valenza non risultano più occupati ed è possibile il moto degli elettroni di valenza in presenza di un campo elettrico esterno (materiale conduttore di tipo p).

Una giunzione p-n è costituita da un cristallino semiconduttore in cui sono presenti due regioni con drogaggio differente: una di tipo p ed una di tipo n. Gli elettroni in eccesso nella regione di tipo n migrano nella regione di tipo p dando origine ad una regione di carica spaziale. L'equilibrio viene raggiunto quando il valore del campo elettrico E presente nella regione di carica spaziale è tale da impedire una ulteriore migrazione di elettroni dalla regione di tipo n a quella di tipo p.

Quando un fotone della radiazione solare incide sulla giunzione p-n è possibile che tal fotone venga assorbito dalla giunzione stessa. Se la sua energia pari ad

$$E_{\text{fotone}} = h \cdot \nu$$

(con:  $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  J·s costante di Planck e  $\nu$  frequenza della radiazione in Hz) è superiore alla differenza di energia  $E_g$  fra la banda di valenza e quella di conduzione, allora nel processo di assorbimento del fotone un elettrone passa dalla banda di valenza a quella di conduzione; si ha cioè la formazione di una coppia elettrone (nella banda di conduzione) - lacuna (nella banda di valenza).

Se la formazione della coppia elettrone-lacuna avviene al di fuori della regione di carica spaziale, dopo un certo tempo, l'elettrone, mediante gli urti con gli atomi del reticolo cristallino passerà nuovamente nella banda di valenza senza quindi portare un contributo alla corrente di conduzione. Viceversa, se la formazione della coppia elettrone-lacuna avviene nella regione di carica spaziale, il campo elettrico presente in questa regione agisce sull'elettrone e sulla lacuna con versi opposti; di conseguenza, se il dispositivo è collegato ad un carico elettrico esterno si origina una corrente di conduzione ed avviene la conversione fotovoltaica dell'energia della radiazione solare in energia elettrica.

La cella costituisce dunque il dispositivo elementare alla base di ogni sistema fotovoltaico per la produzione di elettricità.

La singola cella, di dimensioni intorno ai dieci centimetri, può produrre una potenza da 1 a 2 watt. Per accrescere la potenza, più celle sono collegate tra di loro in maniera da costituire un modulo, la cui potenza può variare tra i 50 e i 100 watt. Analogamente, più moduli possono essere elettricamente collegati per formare un pannello. Più pannelli



costituiscono una stringa, e così via fino a realizzare sottocampi e campi di una centrale elettrica multimegawatt.

La modularità e la staticità dei componenti rappresentano due importanti caratteristiche della tecnologia fotovoltaica, che si traducono in elevata flessibilità e affidabilità delle applicazioni finali.

## TIPI DI PANNELLO

La versione più diffusa di cella fotovoltaica, è quella in materiale cristallino, è costituita da una lamina di materiale semiconduttore il più utilizzato dei quali è il silicio, si presenta in genere di colore nero o blu e con dimensioni variabili dai 10 ai 12 cm.

Se, dei molti materiali che vengono utilizzati per la costruzione dei moduli fotovoltaici, il più utilizzato è il silicio, le due tecnologie più comuni sono il monocristallino e il policristallino.

Una cella di un modulo al silicio monocristallino è costituita da un singolo cristallo di silicio, il che garantisce una massima conducibilità dovuta al perfetto allineamento degli atomi di silicio allo stato puro.

Il rendimento dei moduli al silicio monocristallino si aggira attorno al 14% – 16% e le celle fotovoltaiche sono di colore blu scuro a forma ottagonale, come si può vedere nella prima immagine.

Dopo i vari processi di lavorazione ecco come si presenta il lingotto di silicio minerale prima del taglio delle varie celle, nella seconda immagine.

Il modulo in silicio policristallino, in cui il wafer non è strutturalmente omogeneo ma organizzato in grani localmente ordinati si ottiene riciclando componenti elettronici scartati, ossia il cosiddetto “scraps di silicio” il quale viene rifuso per ottenere una composizione cristallina compatta. Le celle di un modulo policristallino o multi cristallino sono costituite da un insieme di più cristalli di silicio; il rendimento di un modulo policristallino si aggira intorno all'12% – 14% e le celle sono di colore blu intenso di forma quadrata come si può vedere dalla foto qui sotto. Dopo la lavorazione e i vari tagli si ottiene la cella policristallina, la terza figura, e assemblando le celle otteniamo il modulo policristallino:

I moduli in silicio mono o policristallini rappresentano la maggior parte del mercato. Sono tecnologie costruttivamente simili e prevedono che ogni

cella fotovoltaica sia cablata in superficie con una griglia di materiale conduttore che ne canalizzi gli elettroni.



Figura 24 - In senso orario, (1) cella fotovoltaica monocristallina, (2) modulo cristallino, (3) cella fotovoltaica policristallina, (4) modulo policristallino

## REALIZZAZIONE DI UN PANNELLO FOTOVOLTAICO

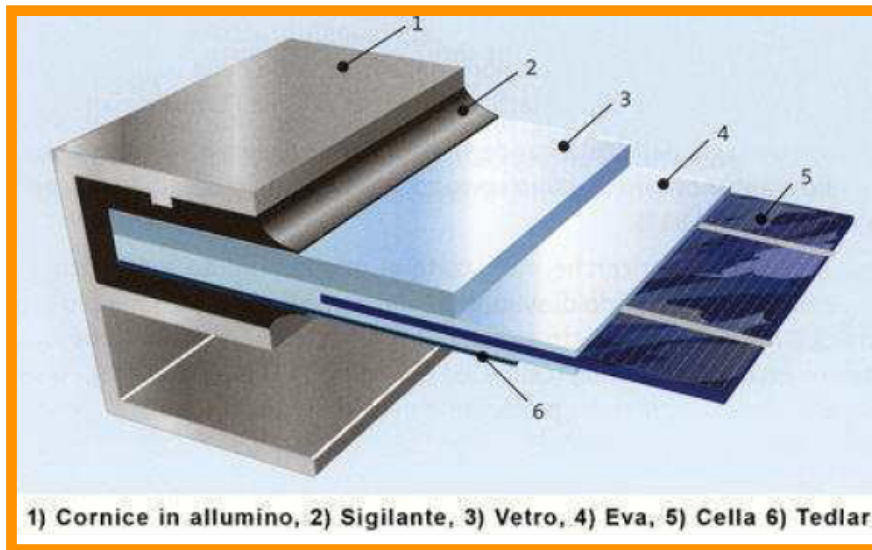
Il modulo fotovoltaico in silicio è costituito da un sandwich di materie prime detto laminato e dai materiali accessori atti a rendere usabile il laminato. Il laminato viene preparato con i seguenti materiali:

- Vetro (i moduli costruiti in Italia abitualmente usano vetro da 4 mm di spessore).
- Etilene vinil acetato - EVA
- Celle mono o policristalline
- Etilene vinil acetato - EVA
- Backsheet (copertura di fondo)

Il vetro viene usato come base su cui viene steso un sottile foglio di EVA. Al di sopra dell'EVA vengono posizionate le celle rivolte con il lato fotosensibile verso il basso, viene steso un altro foglio di EVA e quindi un foglio di materiale plastico isolante (PET o similare) oppure un'altra lastra di vetro. Il vetro è a basso contenuto di ferro per garantire una maggiore trasparenza ai raggi solari ed è temperato. Un vetro di questo tipo lascia passare circa il 91,5% dell'irraggiamento ricevuto.

Il sandwich realizzato in questo modo viene inviato al laminatore, o forno, una macchina nella quale viene creato il vuoto in circa 5 minuti; a questo punto la piastra del laminatore viene riscaldata fino a 145°C per 10 minuti in modo da favorire la polimerizzazione dell'EVA. Trascorso questo tempo il coperchio si apre e il laminato ora è pronto per le lavorazioni successive. Dopo la laminazione il laminato ha raggiunto le caratteristiche richieste per essere installato in quanto, se la laminazione è stata fatta correttamente, il laminato è in grado di resistere alle intemperie per almeno 25/30 anni. Tutte le lavorazioni che vengono fatte successivamente hanno lo scopo di rendere più comodo e pratico l'utilizzo del laminato, ma aggiungono poco per quanto riguarda la sua durata nel tempo.

Figura 25 - Assemblaggio del pannello fotovoltaico



Le tipologie costruttive delle celle fotovoltaiche più comuni sono:

- Silicio monocristallino: presentano efficienza dell'ordine del 16- 17%. Sono tendenzialmente costose e, dato che i wafer vengono tagliati da lingotti cilindrici, è difficile ricoprire con essi superfici estese senza sprecare materiale o spazio.
- Silicio policristallino: celle più economiche, ma meno efficienti (15-16%), il cui vantaggio risiede nella facilità con cui è possibile tagliarle in forme adatte ad essere unite in moduli.
- Silicio "ribbon" (a nastro): preparate da silicio fuso colato in strati piani. Queste celle sono ancora meno efficienti (13,5-15%), ma hanno il vantaggio di ridurre al minimo lo spreco di materiali, non necessitando di alcun taglio. Un approccio alternativo procede con la ricopertura dell'intero modulo con il materiale desiderato e il successivo disegno delle celle da parte di un laser.
- Silicio amorfo depositato da fase vapore: hanno un'efficienza bassa (8%), ma sono molto più economiche da produrre. Il silicio amorfo (Si-a) possiede un bandgap maggiore del silicio cristallino: ciò significa che è più efficiente nell'assorbire la parte visibile dello spettro della luce solare, ma meno efficace nel raccoglierne la parte infrarossa. Dato che il silicio nanocristallino (con domini cristallini dell'ordine del nanometro) ha circa lo stesso bandgap del Si-c, i due materiali possono essere combinati creando una cella a strati, in cui lo strato superiore di Si-a assorbe la luce

visibile e lascia la parte infrarossa dello spettro alla cella inferiore di silicio nanocristallino.

- CIS: basate su strati di calcogenuri. Hanno un'efficienza fino all'11%, ma il loro costo è ancora troppo elevato.
- Celle fotoelettrochimiche: queste celle, realizzate per la prima volta nel 1991, furono inizialmente concepite per imitare il processo di fotosintesi. Questo tipo di cella permette un uso più flessibile dei materiali e la tecnologia di produzione sembra essere molto conveniente. Tuttavia, i coloranti usati in queste celle soffrono problemi di degrado se esposti al calore o alla luce ultravioletta. Nonostante questo problema, questa è una tecnologia emergente con un impatto commerciale previsto entro una decina di anni.
- Cella fotovoltaica ibrida: combina i vantaggi dei semiconduttori organici e di vari tipi di semiconduttori inorganici.
- Cella fotovoltaica a concentrazione: unisce alle tecnologie di cui sopra, delle lenti a concentrazione solare che aumentano sensibilmente l'efficienza. Rappresentano la nuova promettente generazione di pannelli ancora in fase di sviluppo

#### PANNELLI IN SILICIO AMORFO

La tensione prodotta da ogni singolo modulo fotovoltaico è di circa 24 - 40 Volt e, una volta collegati in parallelo tra di loro, le varie correnti si sommano e vengono convogliate all'inverter, in corrente alternata a 220 Volt utilizzabile nell'impianto di casa o per l'immissione nella rete Enel per la compensazione.

Il rendimento di questi pannelli fotovoltaici va dal 6 al 10 % circa, ma, nei primi due mesi di vita, il rendimento diminuisce di circa il 20 %, per poi rimanere stabile, con un degrado delle prestazioni che deve essere garantito, e non deve superare il 20% nei primi 20 anni di funzionamento. In ogni caso la potenza di questi moduli la si calcola proprio considerando immediatamente la perdita iniziale del 20 %, quindi, durante i primi mesi di vita, la resa di un pannello venduto con potenza di 40W, in realtà è di 48W, fino a stabilizzarsi effettivamente sui 40W dopo i primi mesi di funzionamento.

Da un punto di vista di “costo energetico per la natura” il pannello fotovoltaico in silicio amorfo è il prodotto che si difende meglio, in quanto, necessitando di un quantitativo abbastanza basso di energia per essere prodotto, riesce a restituire in pochi anni l'energia che è stata usata per produrlo, e riesce a generarne fino a 10-12 volte di più, nell'arco della sua vita. Questo è un dato molto importante da un punto di vista prettamente 'ecologico', in quanto spesso si rischia di produrre e utilizzare dei prodotti che hanno consumato più energia per venire prodotti, di quanta ne riescano a restituire. Il rovescio della medaglia è che purtroppo, avendo un basso rendimento rispetto agli altri modelli di pannelli fotovoltaici, occorre installarne un numero abbastanza alto ( questo ovviamente non pregiudica il discorso di costo energetico appena fatto ), ma comunque, disponendo di un tetto abbastanza ampio, il problema è risolto, e comunque si risparmia anche economicamente, visto che in pratica il costo per ogni W producibile con questa tecnologia è del 25-40% inferiore rispetto alle altre tecnologie fotovoltaiche.

#### PANNELLI FOTOVOLTAICI IN SILICIO MONOCRISTALLINO E MULTICRISTALLINO

Il rendimento globale di un pannello solare in silicio monocristallino è di circa il 13-17 %, mentre quello di un pannello solare in silicio multicristallino è di circa il 12-14 %.

Quindi, a parità di spazio, rispetto al modulo solare in silicio amorfo, si hanno dei rendimenti doppi, o quasi tripli, ma comunque il costo per ogni Watt producibile del mono-multicristallino rimane comunque superiore. Oltre al fatto che, per produrre questi tipi di moduli fotovoltaici monomulticristallini, viene spesa molta energia, e quindi ogni modulo impiega anche 3-6 anni ( contro i circa 2-3 anni del prodotto in silicio amorfo ) per restituire la sola energia che è stata impiegata per essere prodotto, mentre nell'arco della sua vita ne produrrà 4-8 volte di più, in particolare questo problema è il difetto maggiore del modulo monocristallino.

Un altro difetto abbastanza fastidioso di questa ultima tecnologia fotovoltaica, è legata ad un sostanziale diminuzione, od anche abbattimento del rendimento, in caso di ombre particolari che coprono

anche una piccola porzione del modulo, o nel caso di nuvole, o ancora durante le ore serale o della mattina presto.

Fatto è che comunque questi due tipi di pannelli fotovoltaici rimangono ottimi prodotti di qualità e stabilità del rendimento, che appunto rimane costante e garantito nel tempo, anche per 25 anni e, producendo più energia a parità di spazio occupato ottimizzano lo spazio, magari non eccessivo della parte di tetto sfruttabile che è posta a Sud.

## TIPI DI IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Gli impianti FV si distinguono in due categorie principali a seconda del tipo di accumulo utilizzato:

- Impianti FV per utenze isolate (stand alone), detti anche ad isola: questi tipi di impianti solari fotovoltaici producono corrente elettrica, che viene utilizzata per caricare delle batterie, normalmente a 12-24 Volt, in modo da poter utilizzare l'energia elettrica, prodotta dai moduli fotovoltaici, in un qualsiasi momento della giornata. Normalmente questi tipi di impianti sono usati dove non c'è possibilità di collegarsi alla rete principale. Se si usa corrente elettrica a 220 Volt, bisogna anche installare un inverter, il cui compito è di trasformare la corrente delle batterie in corrente alternata a 220 Volt.
- Impianti FV con connessione alla rete elettrica Enel (grid connected): questi tipi di impianti solari fotovoltaici producono corrente elettrica che viene immessa, una volta convertita in corrente alternata a 220 Volt, nella rete Enel. Questo avviene attraverso un contatore speciale installato dall'Enel: in questa maniera non si ha bisogno di costose batterie per conservare l'energia elettrica prodotta, ma si può riprendere dall'Enel in qualsiasi momento, pagando solo la differenza tra quella prodotta e quella consumata.

## FUNZIONAMENTO

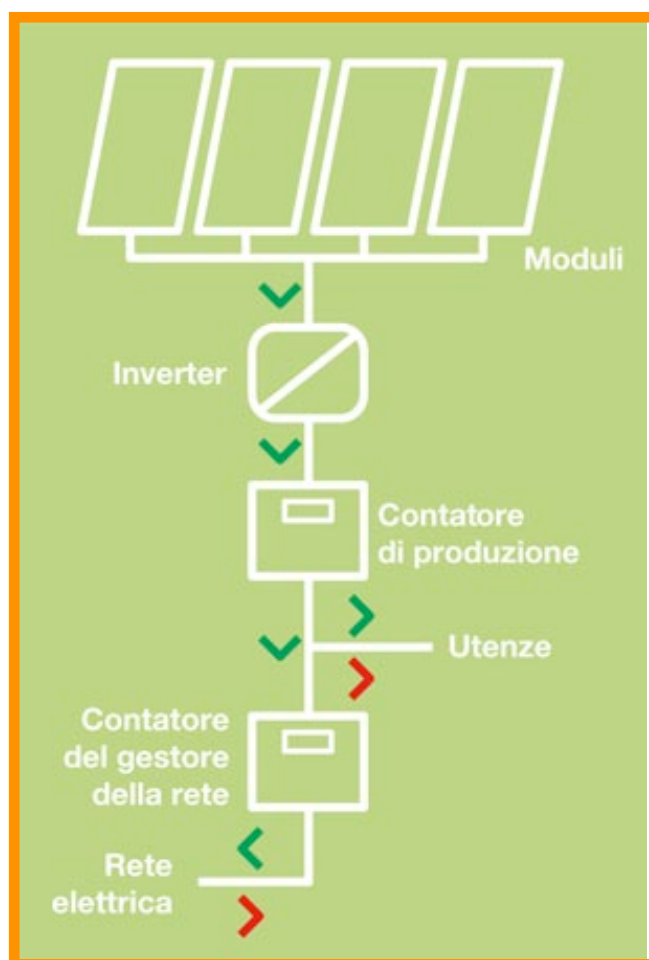
Un impianto fotovoltaico connesso alla rete (grid-connected) ha la particolarità di lavorare in regime di interscambio con la rete elettrica locale. In pratica, nelle ore di luce l'utenza consuma l'energia elettrica prodotta dai pannelli fotovoltaici, mentre quando la luce non c'è o non è sufficiente, oppure se l'utenza richiede più energia di quella che l'impianto

è in grado di fornire, sarà la rete elettrica che garantirà l'approvvigionamento dell'energia elettrica necessaria.

Dall'altro lato, nel caso in cui i pannelli fotovoltaici producano più energia di quella richiesta dall'utenza, tale energia potrà essere immessa in rete. In questo caso si parla di cessione delle "eccedenze" alla rete elettrica locale. Tra gli esempi più comuni vi sono impianti solari installati su tetti di abitazioni, capannoni industriali o aziende agricole, già collegate alla rete elettrica.

E' importante sapere che uno dei requisiti fondamentali per accedere agli incentivi statali del Conto Energia è proprio la connessione a rete dell'impianto.

Figura 26 - Schema di collegamento dell'impianto fotovoltaico con la rete elettrico





## DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

Per determinare il dimensionamento generalmente si seguono i seguenti passi:

3. Determinazione e ottimizzazione della domanda energetica dell'utilizzatore: In questa fase si cerca di determinare, con la massima precisione possibile, la potenza che l'utilizzatore andrà a consumare. Si cerca inoltre di minimizzarla il più possibile, considerando varie possibilità.
4. Sviluppo del concetto: viene scelta la tensione ed il tipo di corrente, alternata o continua, e la presenza di eventuali sistemi energetici di supporto.
5. Scelta e dimensionamento dei componenti di sistema: si vanno a scegliere i vari convertitori necessari per i vari adattamenti in tensione. L'efficienza di questi ultimi non dev'essere trascurata.
6. Dimensionamento del generatore solare e della batteria
7. Dimensionamento del regolatore di carica
8. Dimensionamento dei cavi: le cadute di tensione che si possono verificare a causa di induttanze parassite nei cavi non devono essere ignorate, soprattutto in caso di tensioni basse.

Spesso la ripetizione dei primi quattro passi è necessaria. Si possono presentare varie problematiche come, ad esempio, una variazione nello sviluppo di concetto dovuta a vari fattori, come la difficoltà nell'installazione. Inoltre bisogna contare anche i fattori affidabilità, costo e manutenzione.

Il periodo ottimale in cui operare il dimensionamento è quello in cui la radiazione luminosa è la minore possibile, in modo da calcolare anche il migliore posizionamento dei pannelli e l'angolo di incidenza ottimale.

Nel caso di un impianto connesso alla rete elettrica, la parte di immagazzinamento energetico del sistema non è necessaria. Nelle giornate di sole il sistema provvede alla potenza utilizzata nell'abitazione. Quella prodotta in eccesso viene fornita alla rete. Durante la notte invece il sistema non è in funzione e la potenza viene fornita dalla rete.

Il posizionamento va comunque calibrato in modo da massimizzare l'esposizione solare. In questo tipo di sistemi è di enorme importanza

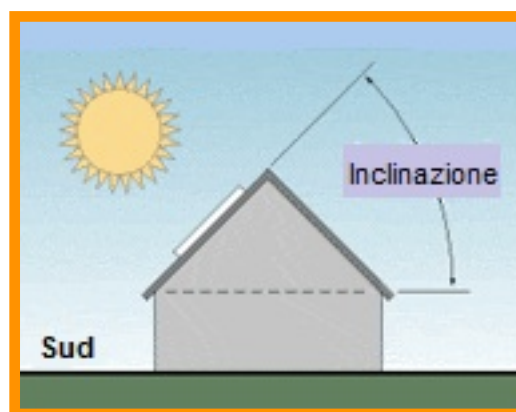
l'inverter. La scelta di questo determina infatti il tipo di sistema che si vuole installare. Il generatore fotovoltaico viene configurato a seconda delle condizioni di input, in modo da adattare la tensione continua. La funzione principale dell'inverter è, infatti, quella di convertire la corrente continua generata dall'impianto fotovoltaico in una corrente alternata a 50 Hz conforme alla rete elettrica.

Tuttavia questo dispositivo possiede altre utilità, ad esempio è suo il compito di cominciare a fornire energia la mattina, quando il generatore fotovoltaico comincia ad erogare potenza sufficiente. Una partenza non corretta richiede energia dalla rete e dev'essere evitata da un buon controllore.

Un inverter intelligente include inoltre un sistema di rilevamento del punto di massima potenza della caratteristica I-V, che può variare a seconda della luminosità e della temperatura, garantendo un trasferimento di potenza ottimale. Nel caso di variazioni di corrente nella rete, inoltre, l'inverter funziona anche da dispositivo di protezione, disconnettendo il collegamento ai pannelli solari. Alcuni dispositivi raccolgono informazioni statistiche sul lavoro dell'impianto, come corrente, tensione e potenza erogata, che possono essere visualizzate da un computer.

## POSIZIONAMENTO DEI PANNELLI SOLARI

Per installare un impianto solare si deve scegliere la posizione più adatta per avere il miglior funzionamento nell'arco dell'anno e contestualmente la migliore posizione a salvaguardia dell'estetica. È possibile installarlo dovunque sia possibile o comunque in posizione tale da essere sempre battuto dal sole durante tutto l'arco dell'anno.



Per i sistemi che si installano sui tetti, la posizione più indicata è un tetto inclinato in direzione Sud (figura 27). È accettata una tolleranza di 45° verso sud-est e 45° verso sud-ovest. In casi dove i tetti sono esposti ad est o ad ovest la resa dell'impianto solare è limitata al solo periodo

primavera/autunno. Questo è dovuto al fatto che il sole durante la stagione invernale ruota più basso all'orizzonte rispetto alla stagione estiva, quindi i raggi arrivano inclinati ed è necessario porre i pannelli in posizione inclinata.

L'inclinazione dei pannelli è, quindi, funzione dell'utilizzo dell'impianto nell'arco dell'anno. Ad esempio se l'impianto viene utilizzato tutto l'anno i pannelli solari saranno posti con inclinazione uguale alla latitudine, con una tolleranza di  $\pm 10^\circ$ , a seconda se si sceglie di ottenere maggiore produzione nei mesi caldi o in quelli freddi.

## AGROVOLTAICO®

L'idea dell'agrovoltaico consiste nell'installare su di un terreno, adibito ad uso agricolo, pannelli fotovoltaici mantenendo al contempo la possibilità di coltivarlo. Il problema dell'utilizzo della superficie agricola destinata all'istallazione di grandi campi fotovoltaici viene in questo modo risolto con una proposta alternativa: se si installano griglie di pannelli a cinque metri di altezza, si può produrre energia e coltivare sul medesimo terreno. Questa l'idea alla base dell'agrovoltaico.

Le aree fertili sono in questo modo sfruttate per la produzione di energia da solare fotovoltaico senza sottrarle all'agricoltura.

La prima azienda agricola a fare uso di questa soluzione innovativa si chiama REM (Revolution Energy Maker).

Il nome del progetto agrovoltaico è esplicativo: Pane e Energia.



Figura 28 -  
Pane e Energia

Lo spunto iniziale è stato preso dalla Storia, infatti deriva dall'idea, mutuata dalla piantata Etrusca, del geniale sfruttamento su più livelli della principale fonte energetica: il sole. Così, 3000 anni fa, filari ad alto fusto erano inframmezzati da alberi da frutto di taglio più basso e colture cerealicole-foraggiere sul piano di campagna.

Quest'idea originale ha aperto la possibilità di pensare ad un modello di integrazione ecosostenibile fra tre fondamentali settori del vivere umano:

- il bisogno di energia

- l'utilizzo del territorio e delle sue risorse
- le produzioni agricole.

In pratica si sfrutta l'energia del sole su più livelli, integrando in maniera ecosostenibile tre fondamentali necessità del vivere umano: il bisogno di energia, l'utilizzo del territorio e delle sue risorse, le produzioni agricole. La tecnologia agrovoltaica consente di superare i limiti dei tradizionali impianti fotovoltaici in termini di compatibilità con l'agricoltura, sostenibilità ambientale e tutela del paesaggio.

Infatti questo tipo d'impianto, per le sue specifiche caratteristiche tecniche, ha un ridotto ombreggiamento (15%) ed un ampio interasse delle strutture, si presta quindi molto bene a qualsiasi tipo di coltivazione e di meccanizzazione agricola. L'altezza dei sostegni consente ai mezzi agricoli di passare senza alcun problema, se necessario comunque i pannelli possono essere disposti parallelamente al suolo in modo da agevolare la circolazione e l'attività, oppure in caso di pioggia e soprattutto di neve.

Il risultato della ricerca è un vero e proprio impianto fotovoltaico ad inseguimento biassiale, perché fatto da una tensostruttura scoperta elevata 5 metri sopra il campo agricolo. I pannelli, che utilizzano celle fotovoltaiche in silicio, si muovono in modo sincronizzato e modificano la propria inclinazione in base al movimento del sole e alle condizioni climatiche, al fine di massimizzare la produzione di energia elettrica. L'esperienza di REM ha fornito dati certi su un aumento della produzione di circa il 15% rispetto ad un impianto tradizionale: questo è possibile vista la combinazione del movimento biassiale ed una conseguente maggiore areazione del modulo fotovoltaico.

Si arriva quindi a creare le potenziali condizioni della nascita di una nuova idea di agricoltore: professionista, antitetico al modello globale basato sul modulo intensivo/estensivo, in grado di creare strutture agricole integrate all'interno del concetto di filiera corta biologica per produrre prodotti di immediato consumo e preservare la biodiversità del territorio.

Questa tecnologia è, inoltre, applicabile anche ai terreni esondabili, lungo le vie di comunicazione, gli argini di contenimento dei fiumi ed in ogni luogo ove sia necessario preservare le aree verdi. Quindi l'agrovoltaico

non si presenta soggetto alle restrizioni della Legge Galasso, almeno secondo la decisione della provincia di Mantova dove è installato, proprio su un argine, uno degli impianti pilota di REM da 3,7 MW.

#### LA STRUTTURA ED I SUOI MECCANISMI

L'intera struttura è integrata con il paesaggio circostante: gli impianti, in pianura, sono adeguatamente mimetizzati dalla presenza di alberi, così l'impatto visivo sull'ambiente agricolo risulta pressoché nullo, sia per la leggerezza costruttiva, sia per le limitate dimensioni dei pannelli che li rendono simili al fogliame di un pergolato molto rarefatto.

Per questi motivi tutti gli impianti sono stati esclusi dalla Valutazione di Impatto Ambientale e tutti i Comuni coinvolti hanno escluso opere di mitigazione o compensazione, alcuni Comuni hanno chiesto addirittura di poter realizzare vicino agli impianti una struttura didattica sperimentale finalizzata alla ricerca di nuovi modelli di agricoltura ed alla diffusione di una nuova cultura di rispetto per l'ambiente.



Figura 29 - La struttura

L'impianto agrovoltaico è costituito da inseguitori solari sospesi (tracker), che dialogano tra loro attraverso un sistema di controllo e comunicazione wireless. La serie di pali, alti almeno 4,5 m e del diametro massimo di 160

mm, sono fissati nel terreno mediante microperforazioni e sostengono i tracker che, per mezzo di un sistema ad inseguimento biassiale omnidirezionale, muovono i pannelli solari.

Nello specifico i tracker ideati da REM sono costituiti da un corpo cilindrico orizzontale (lungo circa 12 m e con un diametro di circa 33 cm) che ruota lungo il proprio asse e che è attraversato da cinque assi secondari (i supporti per i pannelli) che ruotano sincronizzati tra loro.

Su un lato del corpo cilindrico è installato il sistema di controllo e comando della movimentazione, alimentato con energia elettrica che ha un consumo inferiore a 0,1 Kwh/giorno. All'interno è contenuto il sistema meccanico di movimentazione dell'asse principale e di quelli secondari.

L'inseguitore è fissato agli estremi dell'asse principale su due pali di sostegno che lo mantengono in posizione orizzontale rispetto al suolo a un'altezza minima di 4,5 m. Una volta impostate le coordinate geografiche, l'orientamento dell'asse principale e l'orologio, il tracker è in grado di inseguire il sole autonomamente.



Figura 30 - Particolare del tracker: l'asse

Particolare attenzione si deve dedicare al loro montaggio per avere dal sistema il massimo rendimento, ogni tracker viene realizzato e collaudato in fabbrica, trasportato sul cantiere e fissato con delle viti sulle teste dei due pali. I cavi di alimentazione che fuoriescono dagli inseguitori vengono cablati alla rete di alimentazione all'interno della testa del palo; sul lato opposto del palo viene effettuato un analogo cablaggio per i cavi solari. Una volta alimentati, gli inseguitori vengono identificati dalla stazione di controllo che permetterà agli operatori di effettuare il collaudo.

La struttura di sostegno degli inseguitori è costituita da una palizzata posizionata su di una griglia di 12 x 12 m. Ogni palo funge da sostegno per due tracker adiacenti ed è collegato ai pali più vicini da tiranti orizzontali, posti ad un'altezza minima di 4,5 m; in questo modo si forma un reticolo ortogonale di tiranti, sospeso dal terreno tramite palizzata. Per contrastare la spinta orizzontale del vento è necessario ancorare i tiranti a terra, dopo un numero massimo di 6/8 pali, collegandoli ai pali più esterni. L'ancoraggio richiede una fondazione adeguata a reggere la tensione della fune.

#### CARATTERISTICHE TECNICHE

Il sistema di controllo è costituito da un ricetrasmittitore radio a bassa potenza con un raggio di azione di 300 m, che può comunicare con una stazione di controllo locale direttamente o indirettamente attraverso gli altri tracker che fungono da emittenti; tale sistema esegue anche un monitoraggio degli inseguitori, segnalazione di allarme e invio di comandi spontanei o su richiesta di un operatore; è presente poi una centralina meteo per monitorare direzione e velocità del vento, temperatura e umidità, i comandi spontanei servono a mettere in sicurezza i tracker e dipendono dalle condizioni meteo. In caso di vento eccessivo i pannelli vengono posizionati orizzontalmente, in caso di ghiaccio vengono mantenuti lentamente in movimento per evitare la formazione di ghiaccio nei cuscinetti, in caso di grandine vengono mantenuti in posizione verticale. I comandi su richiesta dell'operatore vengono inviati tramite internet dalla centrale di controllo, alla stazione di controllo locale che li invia a sua volta agli inseguitori interessati, e vengono utilizzati soprattutto per le operazioni di manutenzione (lavaggio e riposizionamento dei pannelli). La stazione centrale effettua il monitoraggio di ogni singolo tracker e, in caso di malfunzionamento, invia un SMS agli addetti alla manutenzione e attende conferma. Esegue anche una registrazione dello stato, gli eventi e gli allarmi, consentendo così al supervisore di effettuare verifiche sulla rapidità degli interventi di manutenzione, della vigilanza e sulle condizioni di funzionamento di ogni inseguitore.





Figura 31 - Sistema di controllo del tracker

Ogni tracker è progettato per movimentare dieci pannelli fotovoltaici di dimensioni variabili a seconda della tipologia di pannello che va da 1 x 2 m a 1,15 x 2,30 m con un peso massimo di 27 kg. I cavi di collegamento dei pannelli passano attraverso il proprio asse meccanico e raggiungono l'interno dell'asse principale, dove possono essere collegati in serie o in parallelo in base alla configurazione richiesta. I cavi solari riuniti sono accessibili sul lato dell'inseguitore opposto a quello dove è posizionata l'antenna radio. Ogni inseguitore utilizza moduli fotovoltaici da almeno 280W. In una configurazione a griglia gli inseguitori vengono montati lungo file con gli assi principali preferibilmente in direzione E-O.

Il montaggio dei pannelli avviene in cantiere sulla propria struttura portante, i cavi solari vengono fissati alla struttura, inseriti nella parte terminale dell'asse e attestati ad un connettore. Al termine del montaggio e collaudo il pannello forma un corpo unico con la propria struttura di sostegno, e il connettore solare è pronto per l'allacciamento all'inseguitore. I pannelli pre-assemblati vengono così fissati agli inseguitori (10 per ogni tracker), utilizzando viti a testa speciale.

Per quanto riguarda l'ombreggiamento si va a considerare la superficie dei moduli che varia da 19 a 26,5 mq su una superficie complessiva di 144 mq, quindi si ha un rapporto che va dal 13 al 18% d'ombra su tutta la superficie. Rispetto ad altre tecniche attualmente in uso in agricoltura che generano ombra, il rapporto tra quella prodotta dal sistema agrovoltaiico è

di 2,3 volte inferiore alle serre a tunnel, di 3,9 volte più basso dei semensai e di 5,5 volte minore alle serre fotovoltaiche.



Figura 32 - Disposizione dei pannelli

#### TECNOLOGIA WIRELESS

Il valore aggiunto della tecnologia wireless implica che, a comando, tutti i pannelli fotovoltaici si dispongano perpendicolarmente al terreno per consentire un'omogenea distribuzione delle piogge e della neve, e per evitare eventuali danneggiamenti ai pannelli stessi in caso di grandine o di forte vento; inoltre possono disporsi anche parallelamente al terreno per agevolare al massimo la circolazione dei mezzi agricoli.

Si è quindi in grado di gestire il movimento di veicoli automatizzati sotto l'impianto, le modalità di irrigazione e l'apertura di coperture antigrandine; può comunicare con una stazione di controllo remotizzata che effettua il monitoraggio dello stato degli inseguitori, rileva eventuali anomalie e invia comandi spontaneamente o su richiesta di un operatore.

## PLUS ECOCOMPATIBILE

L'intero impianto è realizzato, per il 90%, con materiali non inquinanti (come ad esempio i tracker in alluminio riciclato e non trattato, l'acciaio dei pali di sostegno, il rame dei cavidotti elettrici) e totalmente riciclabili, la cui installazione avviene in modo da garantire una facile rimozione al termine della sua vita operativa (25/30 anni).



Figura 33 - Tracker in alluminio riciclato

Per quanto riguarda, ad esempio, le fondazioni per i pali di sostegno dei tracker (16 cm. di diametro), sono stati utilizzati pali di tipo infisso (prefabbricati cilindrici in cemento armato centrifugato, CAC), cioè senza asportazione di terreno, inseriti nello stesso attraverso battitura. Sono stati utilizzati questi tipi di pali perché non necessitano di getti in calcestruzzo e quindi non c'è transito di betoniere; questo permette di avere un impatto di cantiere limitato sul terreno agricolo, anche perché le macchine per infiggere tutti i tipi di pali sono escavatori a traliccio e fune con pattini cingolati lisci e di ampia larghezza, cioè con bassa pressione specifica al suolo.

I pali infissi nel terreno (40 cm. di diametro) non hanno alcun basamento aggiuntivo in calcestruzzo armato, perciò alla fine della loro vita sarà sufficiente sfilarli dal terreno, separare il ferro dell'armatura dalle piastre di fondazione in acciaio e recuperare il frantumato del calcestruzzo.

L'uso consapevole di materiali più ecologici ha ormai portato a definire gli impianti fotovoltaici con il termine Double Green, ovvero doppiamente ecologici: è ben evidenziata la capacità degli impianti di produrre energia pulita zero emissioni durante il proprio ciclo di vita, ed al tempo stesso di

nella fase di smantellamento l'impianto non grava sull'ambiente con oneri di smaltimento e scarica al momento della sua dismissione.

Alcune critiche sono state sollevate per quanto riguarda la questione dei campi elettromagnetici che si generano intorno ai pannelli, a tal proposito l'azienda REM ha commissionato uno studio specifico che dimostra come l'impatto elettromagnetico sia trascurabile perché le linee elettriche installate con cavo cordato e intrecciato ad una altezza di 4,5 m dal terreno hanno un impatto elettromagnetico pressoché nullo. Le emissioni, infatti, sarebbero di molto inferiori ai 3 microtesla. Mentre i limiti che non devono essere superati - in ambienti particolarmente sensibili, per una distanza di 50-60 cm e non i quasi 5 metri dei pannelli sospesi - sono di 10 microtesla in ogni caso (valore di attenzione) e di 3 microtesla (valore di qualità) nella progettazione di nuovi elettrodi vicino a elettrodi esistenti.

Infine è possibile utilizzare la struttura per irrigare il terreno assorbendo l'acqua piovana: ogni traker può essere dotato di un sistema di controllo valvola che permette, da una sorgente esterna, di dare il comando per l'irrigazione a spruzzo che, mediante il pompaggio e il movimento biassiale giornaliero, permette all'acqua di disperdersi omogeneamente sul terreno. Sarebbe quindi un notevole incentivo sul tema della razionalizzazione idrica: il consumo di acqua sarebbe ottimizzato, non rimarrebbero aree aride o sovrairrigate ma si darebbe spazio ad una gestione autonoma e programmata della distribuzione dell'acqua partendo dal modulo 12x12 della struttura. Ogni impianto potrebbe essere collegato a una stazione meteo che viene utilizzata per attuare l'irrigazione esclusivamente in base a: il tipo di coltura, il periodo in corso, la quantità delle precipitazioni, la temperatura, la forza del vento.

## L'ESPERIENZA REM

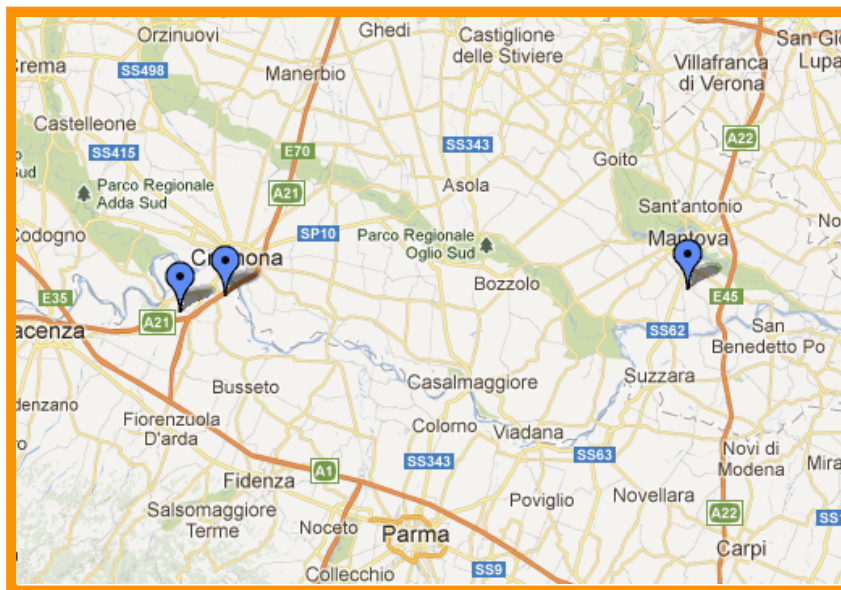


Figura 34 - Localizzazione degli impianti funzionanti

In Italia REM ha programmato la costruzione di quattro impianti pilota, di cui tre già operativi, che a regime raggiungeranno una potenza di picco installata di circa 10 MW. Il primo, inaugurato a maggio 2011, è a Virgilio, in provincia di Mantova. Installato su un terreno di 15 ettari dedicati alla produzione di erbe officinali da estrazione, erbe aromatiche da essiccazione, coltivazioni orticole e piccoli alberi da frutto, ha una potenza di 2,15 MW e una produzione di energia pari al 27% del consumo domestico di tutta la popolazione locale (circa 600 famiglie). Il secondo, a Castelvetro Piacentino, in provincia di Piacenza, sorge su una superficie di 8,6 ettari, ha una potenza di 1,3 MW e una produzione di energia pari al 20% del consumo domestico locale. L'impianto di Monticelli d'Ongina, sempre in provincia di Piacenza, è su un terreno agricolo di 21 ettari; ha una potenza di 3,2 MW e una produzione di energia pari al 49% del consumo domestico locale. I terreni sui quali sorgono gli impianti piacentini sono destinati alla coltivazione di frumento e pomodori. Infine, l'impianto di Marcaria in provincia di Mantova, che sarà realizzato su 25 ettari di terreno e avrà una potenza di circa 3,7 MW, è stato autorizzato con autorizzazione unica; sotto allo stesso saranno coltivate orticole e altri prodotti a filiera corta.

Lo start up degli impianti pilota è di circa 7 MW complessivi nei tre siti già realizzati, che raggiungeranno i 10 MW con il quarto impianto già autorizzato, il progetto ambizioso è, in tempi brevi, un impianto da 100 MW che diventerebbe uno dei più importanti insediamenti mondiali a utilizzare una tecnologia con pannelli fotovoltaici.



Figura 35 - In successione gli impianti di Virgilio (provincia di Mantova) e le immagini del primo raccolto di Monticelli (provincia di Piacenza)

## Capitolo 5

### SERRA CON IMPIANTO FOTOVOLTAICO

#### CENNI SULLA COLTIVAZIONE IN SERRA

Le colture in serra rappresentano un importante comparto produttivo all'interno del settore orticolo-floricolo, con una forte rilevanza economica. Nel bacino del Mediterraneo le colture protette interessano, stando alle stime, una superficie di oltre 40.000 ettari, in larga misura però a basso contenuto tecnologico. L'innovazione del settore, tuttavia, è continua e riguarda sia le strutture sia le tecniche di coltivazione.

Una serra può essere considerata il principale sistema per captare e trattenere il calore del sole. In questo senso, la capacità di utilizzare l'energia solare dipende innanzitutto dalle caratteristiche del luogo in cui la struttura viene realizzata (orientamento, pendenza del terreno, altezza sul livello del mare, presenza di difese naturali) e dalle caratteristiche climatiche e microclimatiche (temperatura, ventosità, radiazione luminosa, ecc.). Tali aspetti devono essere considerati in funzione delle esigenze delle colture che si desidera effettuare e di considerazioni di ordine economico legate alla redditività di queste. Per tali motivi, non esiste un unico tipo di serra ma, in funzione delle caratteristiche dell'area in cui si opera, potrà essere individuata la soluzione più adatta a soddisfare le esigenze delle colture compatibilmente con le prospettive di ritorno economico dell'investimento.

Alcuni tipi di coltivazione hanno reso fino ad oggi economicamente conveniente un condizionamento climatico della serra legato non solo ai fattori naturali, ma anche a specifici impianti di riscaldamento e/o di raffrescamento installati nella struttura. Il sistema serra risulta in questo caso molto complesso; il punto di partenza per comprenderne il funzionamento è comunque sempre l'analisi dei flussi di energia legati ai fattori naturali.

Anche sotto il profilo costruttivo possiamo trovare diversi tipi di serre: a doppia falda, con falde simmetriche o asimmetriche, e a tunnel, con volta semicircolare od ellittica.

Tenendo invece conto del tipo di climatizzazione adottato, che a sua volta è in funzione della coltura praticata, si fa distinzione tra serre fredde, quando non sono climatizzate, serre temperate, quando viene mantenuta una temperatura nelle ore notturne tra i 10 e i 14°C, e serre calde, in grado di mantenere nelle ore notturne temperature tra i 16 e i 20°C.

Climatizzare una serra significa effettuare il controllo non solo della temperatura ma anche dell'umidità relativa, della luminosità ambientale e del ricambio dell'aria. Nelle serre temperate e calde il riscaldamento è la componente più importante. Non essendo sufficiente l'“effetto serra” per garantire la temperatura, il riscaldamento artificiale è quasi sempre indispensabile. Esso si ottiene generalmente con aerotermini, cioè generatori d'aria calda dotati di ventilatori. La tipologia più diffusa per il riscaldamento dell'aria è quella sospesa che insuffla aria calda in una tubazione in film plastico forato, anch'essa sospesa. Per il riscaldamento del substrato di coltivazione si impiegano invece tubazioni in pvc posizionate all'interno dello stesso o sul fondo del bancale. Nella coltivazione a terra le tubazioni vanno interrate ad una profondità di 20-30cm. Nel periodo estivo l'“effetto serra” crea problemi di surriscaldamento per cui occorre raffrescare la serra ricorrendo all'effetto combinato di ombreggiamento e ventilazione naturale o forzata. Vi sono poi sistemi che sfruttano l'evaporazione dell'acqua per produrre il raffrescamento e che non richiedono l'ombreggiamento. Si tratta di cooling system e fog system. Il primo è costituito da ventilatori sistemati su una parete e da una batteria di pannelli alveolati umidificatori collocati nella parete opposta. I ventilatori, dovendo garantire un frequente ricambio dell'aria, hanno elevate portate e sono scelti e posizionati in modo da aspirare dai pannelli umidificatori aria a bassa velocità. La quantità d'acqua da dosare sui pannelli è intorno a 2 litri per mq di pannello.

Il fog system consiste nella diffusione in serra di acqua nebulizzata ad alta pressione (35-40 bar) ad opera di ugelli montati su tubazioni poste sopra la coltura.





Figura 36 - Fog system come tecnica di raffrescamento

#### SERRA FOTOVOLTAICA

I decreti ministeriali definiscono la serra fotovoltaica come un “manufatto chiuso fisso ed ancorato al terreno” che assolve contemporaneamente a due compiti: quello di fornire prodotti agricoli e/o floricoli e quello di produrre energia elettrica da fonte fotovoltaica. Il comma 2 art. 2 della citata L.R. 11 settembre 1986, n. 19 specifica che le serre “devono avere struttura portante in ferro e pareti e superfici di copertura in vetro o materiali simili” al fine di realizzare “un ambiente artificiale mediante speciali condizioni di luce, temperatura e umidità”.

Il Decreto 5 maggio 2011 definisce, in particolare, la "serra fotovoltaica" quel manufatto adibito, per tutta la durata dell'erogazione della tariffa incentivante, a serra dedicata alle coltivazioni agricole o alla floricoltura, in cui i moduli fotovoltaici costituiscono elementi costruttivi della copertura o delle pareti. Inoltre, che presenti le seguenti caratteristiche: il manufatto è praticabile in tutta la sua estensione; la struttura del manufatto, in metallo, legno o muratura, è fissa, ancorata al terreno e con chiusura eventualmente stagionalmente rimovibile; l'altezza minima dal suolo dei moduli fotovoltaici è non inferiore a 2 metri; i moduli fotovoltaici costituiscono elementi costruttivi della copertura o delle pareti se la loro eventuale rimozione compromette la funzione della serra stessa.

La serra fotovoltaica è quindi una realizzazione di lunga durata per la quale si prevede un ciclo di vita di circa 30 anni con, in modalità di totale integrazione architettonica, i moduli fotovoltaici che sostituiscono completamente gli elementi di copertura della serra, senza compromettere la fruibilità del terreno sottostante, che può continuare ad essere coltivato.

Innumerevoli sono gli esempi già attivi in Italia anche con produzione molto elevate, sia come estensione delle coltivazioni che come estensione dell'impianto fotovoltaico. Si pensi a Villasor ad ovest di Cagliari, oppure all'impianto di Merlino, un paese della provincia di Lodi.

Figura 37 e 38 - Su Scioffu, il mega parco serricolo costruito nel comune di Villasor che si estende per 26 ettari e in grado di produrre 20 megawatt di energia elettrica pulita (dall'alto e all'interno)



Per le serre fotovoltaiche il Quinto Conto Energia prevede:

- Ground Cover Ratio (GCR) ovvero rapporto tra la proiezione al suolo della superficie totale dei moduli fotovoltaici installati sulla serra e della superficie totale della copertura della serra stessa non superi il 30% (il limite del 50% è confermato per le serre fotovoltaiche con autorizzazione antecedente alla data di entrata in vigore del Quinto Conto Energia);
- accesso ad una tariffa incentivante pari alla media aritmetica fra quella spettante per “impianti fotovoltaici realizzati su edifici” e la tariffa spettante per “altri impianti fotovoltaici”;
- obbligo, ai fini dell'accesso agli incentivi, dell'iscrizione ad registro gestito dal GSE per le serre fotovoltaiche con potenza nominale superiore ai 12 Kw (detto limite è esteso a 20 KWp per gli impianti che richiedono una tariffa incentivante inferiore del 20% rispetto a quella spettante nel periodo di riferimento);
- entrata in esercizio dell'impianto, in caso di iscrizione al registro, entro un anno dalla pubblicazione della graduatoria.

## OPUS ET VITA

Opus et Vita è un'azienda leader sul mercato italiano nel settore della produzione di strutture per le colture protette, con 29 anni di esperienza nel settore. Grazie al personale altamente qualificato ed alla partnership con alcune delle più importanti aziende europee nel settore dell'impiantistica per le colture protette, la Opus et Vita è in grado di fornire impianti completi e tecnologicamente avanzati. Sono quindi stati interpellati riguardo al progetto dell'azienda agricola Salera.

L'impianto proposto per la presente tesi, è costituito da un gruppo di serre fotovoltaiche modello SFIE 960.2500.25 aventi le seguenti caratteristiche:

- numero navate: 4;
- larghezza navata: 9,6 m;
- lunghezza navate: 70
- altezza in gronda: 2,5 m;
- altezza al colmo: 4,7 m;
- passo (interasse): 2,5 m;
- angolo di Tilt (falda captante): 25°.

La superficie totale coperta dall'impianto è di 2.688 mq.

### SERRA TIPOLOGIA SFIE

La serra SFIE (figura 39 a lato) è una soluzione ibrida, che nasce dall'unione tra una serra fotovoltaica a falde rettilinee ed una serra a volta semicircolare, coniugando i vantaggi delle due tipologie e rispondendo alle esigenze di alcune colture in termini di illuminamento richiesto ed ai requisiti normativi introdotti dal Ground Cover Ratio (GCR).

Le navate, di lunghezza variabile a seconda delle specifiche esigenze del committente, sono disposte lungo la direttrice est-ovest, con la falda captante, sulla quale sono posizionati i moduli fotovoltaici, rivolta verso sud.

Questo modello può essere impiegato anche per la realizzazione di impianti serricoli a singola navata.



In pratica la serra fotovoltaica ibrida offre i seguenti vantaggi:

- miglior rapporto qualità/prezzo
- compatibilità con i parametri imposti dal Quinto Conto Energia e, in particolare, con quello riguardante il Ground Cover Ratio (GCR), che deve essere inferiore al 50%.
- miglior sfruttamento dell'area rispetto ai modelli a singola navata, grazie all'aumento della superficie totale da adibire alla coltivazione sotto serra.
- incremento dell'efficienza energetica dell'impianto serricolo rispetto ai modelli a singola navata, grazie alla diminuzione del rapporto tra la superficie esterna e la superficie coperta.
- possibilità di raggiungere altezze in gronda maggiori
- aumento dell'illuminamento medio sotto serra.

## STRUTTURA

Tutti i componenti della struttura sono realizzati con materiale zincato in accordo alle normative di riferimento in vigore.

In particolare, la struttura è realizzata con i componenti e materiali riportati di seguito.

- Colonne portanti realizzate con tubolare 80x80 mm in acciaio zincato a caldo, spessore 3 mm, altezza 3300 (meno infissione).
- Capriate realizzate con una struttura reticolare composta da:
  - trave di falda realizzata con tubolare 80x40 in acciaio zincato con metodo Sendzimir, spessore 2 mm, lunghezza mm 5000, completa di piastra per ancoraggio su colonna portante;
  - mezzo arco realizzato con tubolare diametro 60 mm in acciaio zincato con metodo Sendzimir, spessore 2 mm, sviluppo 5100 mm, completo di piastra per ancoraggio su colonna portante;
  - montante realizzato con tubolare diametro 60 mm in acciaio zincato con metodo Sendzimir, spessore 2 mm, lunghezza 2100 mm, completo di morsetti e bulloneria per l'assemblaggio;
  - aste (candele) realizzate con tubolare diametro 30 e 48 mm in acciaio zincato con metodo Sendzimir, spessore 1,5 mm, complete di morsetti e bulloneria per l'assemblaggio;
  - tirante realizzato con tubolare diametro 60 mm in acciaio zincato con metodo Sendzimir, spessore 2 mm, lunghezza 9370 mm, completo di morsetti e bulloneria per l'assemblaggio.
- Canali di gronda, per la raccolta dell'acqua piovana, realizzati con lamiera zincata con metodo Sendzimir, spessore 12/10, lunghezza mm 5130, opportunamente sagomati e completi di staffe per il fissaggio.
- Controventi arco realizzati con tubolare diametro 30 mm in acciaio zincato con metodo Sendzimir, spessore 1,5 mm, completi di morsetti e bulloneria per l'ancoraggio.
- Collegamento arco realizzato con tubolare diametro 30 mm in acciaio zincato con metodo Sendzimir, spessore 1,5 mm, completo di bulloneria per l'ancoraggio.
- Controventi colonne portanti con schema a "croce di Sant'Andrea", realizzati con tubolare diametro 48 mm in acciaio zincato con metodo

Sendzimir, spessore 1,5 mm, completi di morsetti e bulloneria per l'ancoraggio.

- Arcarecci (numero 4) realizzati con profili ad "omega" in acciaio zincato pressopiegato 20x60x40 mm, spessore 2 mm.

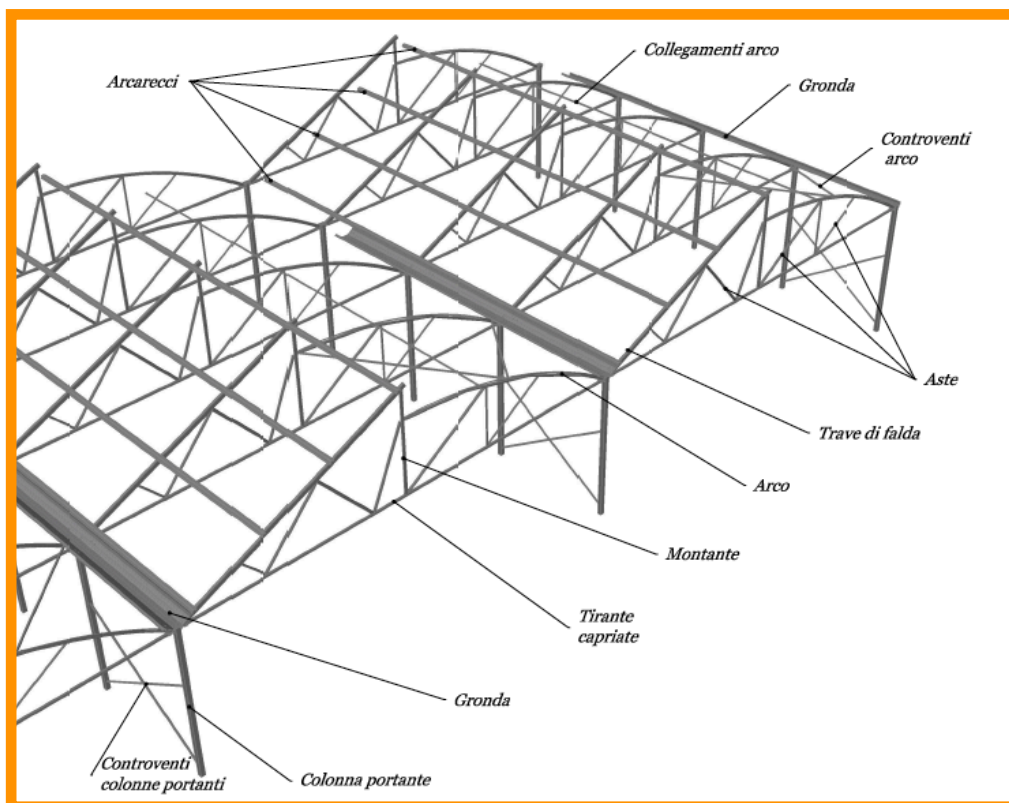


Figura 40 - La struttura della serra - Descrizione degli elementi

## TAMPONATURE

I timpani delle serre sono realizzati con lastre di polycarbonato ondulato con elevata trasparenza e trasmissione luminosa, superficie coestrusa con protezione UV, elevata resistenza agli urti e stabilità delle proprietà nel tempo.

Per il fissaggio dei pannelli in polycarbonato saranno utilizzati opportuni profili ad "omega" realizzati in acciaio zincato con metodo Sendzimir pressopiegato, spessore 1,2 mm.

La rimanente parte delle testate e delle pareti laterali dell'impianto è realizzata con film plastico avvolgibile, ottenuto in coestruzione di polietilene a bassa densità.

Per l'installazione del film plastico saranno utilizzati: profili fissatelo, in acciaio zincato con metodo Sendzimir, completi di guaine in PVC; rulli avvolgitori realizzati con tubolare diametro 27 mm in acciaio zincato a caldo, spessore 1,5 mm, riquadrati ai lati e completi di giunto; barre antiscuotimento realizzate con tubolare diametro 30 mm in acciaio zincato con metodo Sendzimir.

## COPERTURA

La copertura dell'arco è realizzata con film plastico, ottenuto in coestrusione di polietilene a bassa densità.

Per l'installazione del film plastico saranno utilizzati: profili fissatelo, in acciaio zincato con metodo Sendzimir, completi di guaine in PVC; rulli avvolgitori realizzati con tubolare diametro 33,7 mm in acciaio zincato a caldo, spessore 2 mm, riquadrati ai lati e completi di giunto.

## AREAZIONE

L'areazione serve per l'abbassamento della temperatura e per assicurare il necessario ricambio di aria all'interno della serra.

Sarà realizzata mediante: apertura di colmo di tipo "fissa", realizzata mediante rete antiafide, installata attraverso appositi profili, ed apertura manuale sulle pareti laterali e sulle testate dell'impianto di altezza pari a 2000 mm, provvista di rulli avvolgitori.

E' possibile prevedere l'installazione di un sistema di areazione completamente automatico composto da:

- aperture di colmo (su ogni navata) in policarbonato, lunghezza mm 600, complete di motoriduttore dotato di fine-corsa, cremagliere, rullo di trasmissione ed ogni accessorio per la movimentazione;
- quadro elettrico di comando, completo di centralina elettronica per il controllo pioggia, controllo vento e temperatura ambiente. Il quadro elettrico serve esclusivamente per il controllo climatico della serra ed opera in condizioni di sicurezza solo se installato a valle di un quadro generale munito di interruttore differenziale.

## SISTEMA DI ANCORAGGIO

Per l'ancoraggio dell'impianto si ipotizza l'utilizzo di plinti puntuali in cemento armato formati in opera con dimensioni in pianta di 50x50 cm ed altezza pari a 50 cm.

Le dimensioni, la modalità e la quota di posa dei plinti sono condizionati dalla composizione del terreno sul quale è prevista l'installazione dell'impianto.

L'utilizzo di plinti puntuali è subordinato alla verifica dei risultati dell'indagine geologica e dei vincoli previsti dalla normativa vigente.

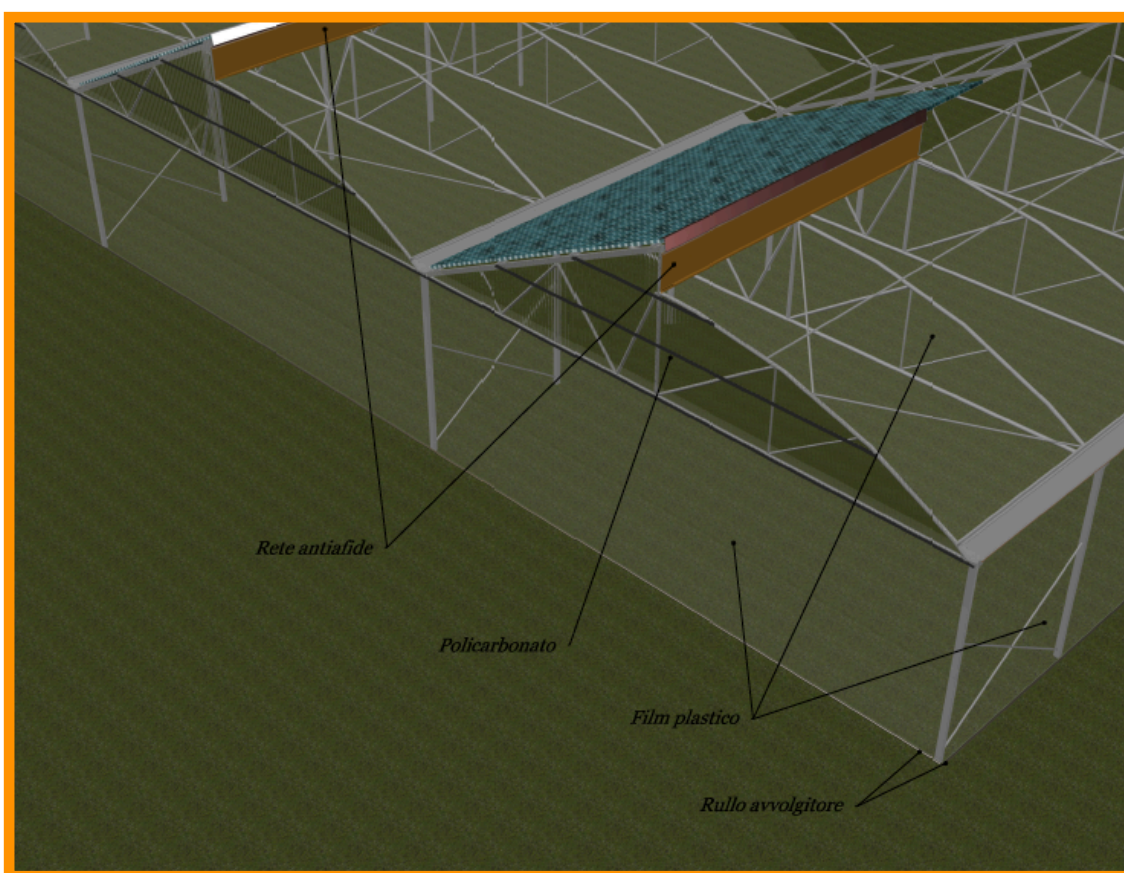


Figura 41 - Ricostruzione fotorealistica

Per quanto riguarda i sistemi di fissaggio dei moduli fotovoltaici sulla falda della serra, sono disponibili sistemi di fissaggio in alluminio adattabili a qualunque tipo di modulo e studiati per ridurre al minimo i costi e i tempi di montaggio.



## SERRA TIPOLOGIA SFU

Un'ulteriore tipologia di serra fotovoltaica è il I modello SFU: monofalda a singola navata. Questo impianto ha la possibilità di rispondere in maniera efficace alle leggi e alle norme vigenti nei termini delle restrizioni sul rapporto tra superficie coperta e superficie totale dei terreni agricoli, soprattutto in funzione della facilità di installazione dei pannelli. Per ottenere un Ground Cover Ratio (GCR) inferiore al 50% è possibile infatti utilizzare solo metà della superficie disponibile della falda per l'integrazione di moduli fotovoltaici.

Per quanto riguarda i principali parametri dimensionali si nota, rispetto alla SFIE, che:

- ha una larghezza di campata che può essere uguale o inferiore, comunque non superiore;
- l'interasse rimane pressochè identico;
- l'altezza di gronda rimane la medesima;
- l'altezza di colmo si presenta sempre superiore;
- superiore, in tutti i tipi di SFU, è anche la lunghezza della falda captante.

La struttura presenta le stesse caratteristiche del modello SFIE a livello di materiali impiegati, tipologie di tamponature, meccanismi di areazione, ancoraggio al suolo e fissaggio dei moduli fotovoltaici. La differenza costruttiva essenziale è la presenza di arcarecci ed archi nelle capriate.

Figura 42 - Esempio di serra tipologia SFU



## Capitolo 6

### GEOTERMICO

#### DEFINIZIONE

La Terra contiene un'enorme quantità di calore, generato sostanzialmente dal decadimento di isotopi radioattivi nucleari. Il calore interno si dissipa con regolarità verso la superficie della terra ed è emesso nell'atmosfera.

La geotermia è la disciplina che studia l'insieme dei fenomeni naturali coinvolti nella produzione e nel trasferimento di questo calore proveniente dall'interno della Terra.

Le risorse geotermiche sono classificate in funzione della temperatura dei fluidi:

- alta entalpia per temperature superiori ai 150°
- media entalpia per temperature comprese tra 90° e 150°,
- bassa entalpia al di sotto dei 90°.

L'entalpia è una grandezza fisica che misura la quantità di energia che un sistema può scambiare con l'ambiente.

#### RISORSE GEOTERMICHE IN EMILIA ROMAGNA

Il calore della Terra è una fonte di energia primaria disponibile anche in Emilia-Romagna. Pur non essendo disponibili fonti geotermiche ad alta entalpia ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ), nell'Appennino emiliano-romagnolo e nella pianura sono presenti sorgenti termali e pozzi con anomalie termiche positive, indicativi di sistemi a bassa e media entalpia che possono essere sfruttati soprattutto per usi diretti del calore. Ad esempio, a Ferrara da molti anni è in corso uno sfruttamento di acque calde profonde ( $T \cong 100^{\circ}\text{C}$  a profondità tra 1.100 e 1.500 m) per alimentare una centrale di teleriscaldamento mentre in Appennino, a Bagno di Romagna e Porretta, sono noti bagni termali fino dall'epoca romana. Già all'inizio degli anni '80 la Regione Emilia-Romagna ha promosso uno studio geologico sul potenziale geotermico del territorio regionale. Una delle principali conclusioni di questo studio è che, data l'assenza di intrusioni magmatiche (plutoni) nel sottosuolo dell'Emilia-Romagna, le cause delle anomalie termiche positive sono da ricercare nella struttura tettonica di

questo settore di catena. Non dimentichiamo, infatti, che l'Appennino è una catena ancora in formazione e che il vero fronte non coincide con il limite morfologico collina-pianura ma è localizzato in corrispondenza del Po, sepolto sotto i depositi quaternari padano-adriatici.

Poiché le condizioni geologiche che determinano le anomalie termiche positive delle zone termali sono presenti anche in altre aree della regione, la prospettive di trovare altre risorse geotermiche sono reali.

Gli studi geologici degli ultimi 20 anni hanno reso disponibile una notevole mole di nuove informazioni sul sottosuolo di tutto il territorio regionale.

Prendendo spunto dalle conclusioni dello studio sopra citato, sono stati revisionati i dati geologici disponibili sull'assetto tettonico dell'Appennino, della Pianura Padana e della costa adriatica.

E' stata perciò realizzata una carta che mette a confronto i principali elementi tettonici della regione, sia unità che strutture, con la localizzazione di acque calde. E' interessante notare che le sorgenti termali sono soprattutto localizzate in particolari contesti geologici in cui affiorano gli orizzonti geologici generalmente più profondi ("finestre tettoniche") e in corrispondenza di importanti strutture di sollevamento (Bobbio, Quara, Salsomaggiore Terme e Tabiano Bagni, S. Andrea Bagni), o in prossimità di zone di faglia di interesse regionale (Porretta Terme, Bagno di Romagna, Lesignano Bagni, Castrocaro Terme, Castel S. Pietro Terme, Riolo Terme, Monticelli Terme). Molte di queste strutture mostrano indizi di attività tettonica recente.

Inoltre, tutte le principali sorgenti termali (Bobbio, Quara, Porretta Terme, Bagno di Romagna) e anomalie termiche del settore appenninico sono ubicate a monte di un'importante struttura geologica profonda che provoca il sollevamento della crosta superiore di questo settore, con conseguente risalita verso la superficie di corpi geologici profondi (calcari mesozoici, successioni oligo-mioceniche) e l'erosione delle rocce di copertura ("Liguridi") che in queste aree risultano fortemente ridotte o addirittura assenti.

In pianura le acque calde sotterranee sono localizzate al di sopra degli archi delle dorsali sepolte, in particolare tra Fiorenzuola d'Arda (PC) e

Reggio Emilia, tra Reggio Emilia e Ravenna e lungo la costa tra Cervia (RA) e Rimini.

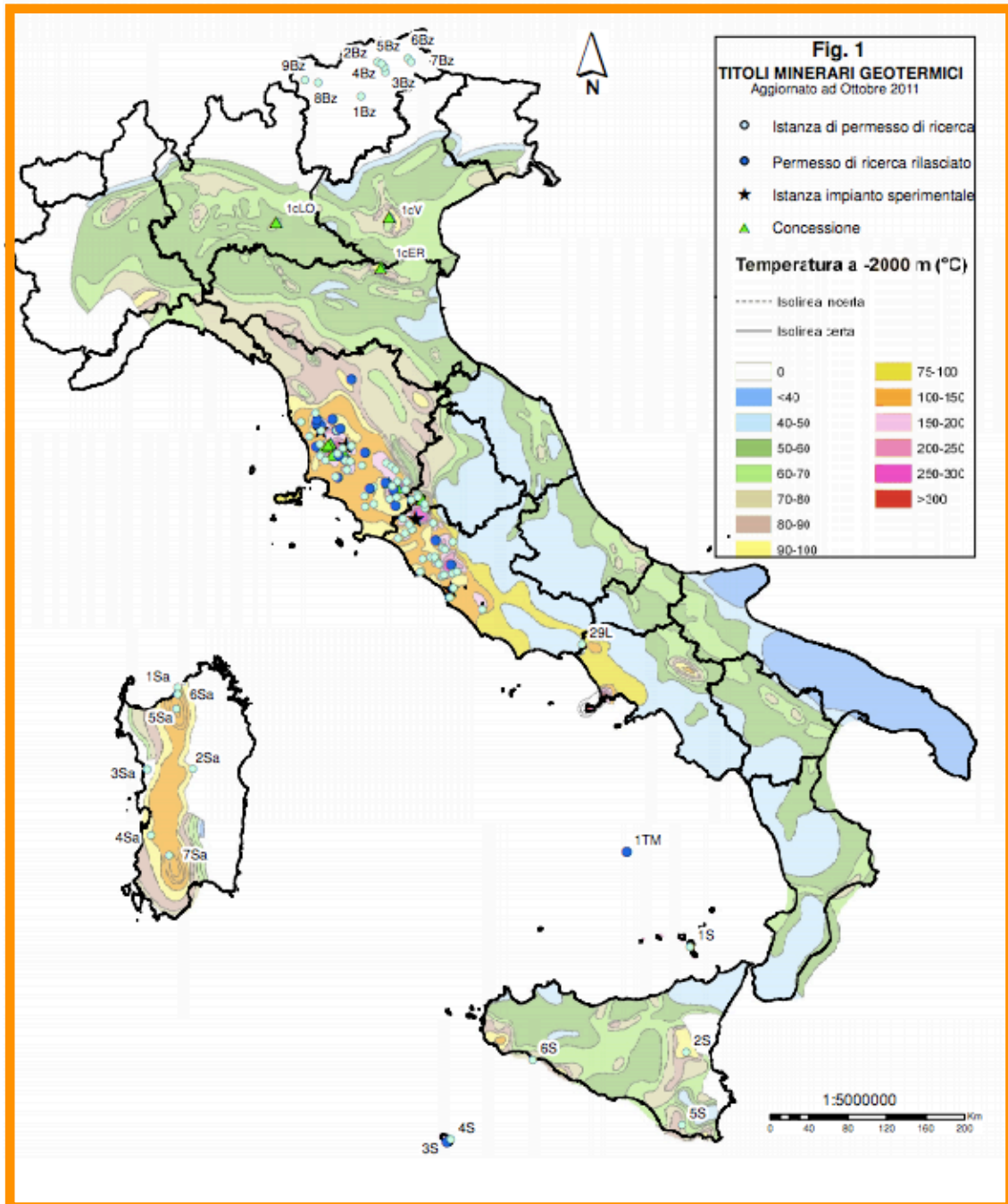


Figura 43 - I titoli minerari geotermici in Italia (aggiornati ad ottobre 2011)  
 - elaborazione grafica STEAM S.r.l. - Pisa

## ALTA E MEDIA ENTALPIA

Lo sfruttamento delle risorse geotermiche ad alta temperatura è il più conosciuto e consiste nella produzione di energia elettrica attraverso turbine alimentate con fluidi ad alta temperatura e pressione. L'Italia ha un'antica tradizione in questo campo e costruisce impianti all'avanguardia (come per esempio a Larderello, in Toscana).

A temperature più basse (media entalpia) il calore può essere sfruttato in maniera diretta per la produzione di energia termica (riscaldamento di edifici, serre, processi industriali, etc.).

Per loro natura, questo tipo di applicazioni ad alta e media entalpia sono attuabili solamente in alcune zone specifiche dove, a causa di anomalie geotermiche, fluidi ad alta temperatura sono disponibili a profondità accessibili.

## BASSA ENTALPIA

In assenza delle anomalie sopra citate è invece possibile estrarre il calore dalla terra attraverso pompe di calore geotermiche: si tratta del geotermico a bassa entalpia la cui applicazione principale consiste nel riscaldamento e raffreddamento di edifici e nella produzione di acqua calda sanitaria ad uso residenziale o anche industriale per processi a bassa temperatura (es: serre, ittiocolture).

Diversamente dai casi precedenti, il geotermico a bassa entalpia è praticabile ovunque, a qualsiasi latitudine e su quasi tutti i tipi di terreno.

Infatti, al di sotto di 10 metri di profondità, dove l'energia solare provoca delle oscillazione termiche, il sottosuolo presenta ovunque una temperatura quasi costante, che in Italia oscilla tra i 12° ed i 14° nei primi 150 metri.

L'utilizzo di risorse geotermiche a bassa entalpia è da ritenersi vantaggioso, poiché tali risorse sono particolarmente abbondanti, ampiamente diffuse e facilmente accessibili. In molti casi, infatti, non è necessaria la perforazione di pozzi, poiché possono essere direttamente utilizzate sorgenti termali oppure i reflui delle centrali geotermoelettriche. L'utilizzazione ottimale del calore geotermico avviene generalmente mediante sistemi a cascata, sfruttando il calore residuo in più impianti a decrescente richiesta termica.

La risorsa geotermica a bassa e media entalpia può essere utilizzata nei seguenti settori, riguardo alle condizioni termiche, idriche e di sistema:

- per teleriscaldamento;
- per riscaldamento e/o raffrescamento domestico di piccole e medie utenze;
- per usi agricoli e zootecnici;
- per usi industriali;
- per uso termale.

### GEOTERMICO APPLICATO ALLA SERRA

Gli usi agricoli dei fluidi geotermici comprendono le coltivazioni a cielo aperto ed il riscaldamento di serre. L'acqua calda può essere usata nelle coltivazioni a cielo aperto per irrigare e/o riscaldare il terreno. All'aperto la miglior soluzione sembra quella di combinare il riscaldamento del terreno e l'irrigazione. Infatti il maggior problema dell'irrigazione con acqua calda sta nel fatto che, per ottenere una variazione utile della temperatura del terreno, è necessaria una quantità grande di acqua, a temperatura sufficientemente bassa da non danneggiare le piante. Quindi, per far sì che ci sia un reale riscaldamento del terreno viene adottato un sistema di irrigazione subsuperficiale accoppiato con un sistema di tubi riscaldanti inseriti nel terreno. In questo modo si elimina il rischio di ridurre la conducibilità del terreno stesso, a causa della diminuzione di umidità intorno ai tubi, e dare origine ad un isolamento termico.

La composizione chimica delle acque geotermiche usate per l'irrigazione deve essere sempre controllata attentamente per evitare effetti dannosi sulle piante. Nelle coltivazioni a cielo aperto, il controllo della temperatura può consentire:

- di prevenire i danni derivanti dalle basse temperature ambientali,
- di estendere la stagione di coltivazione, di aumentare la crescita delle piante ed incrementare la produzione,
- di sterilizzare il terreno.

L'utilizzazione più comune dell'energia geotermica in agricoltura rimane però il riscaldamento di serre, ormai sviluppato su larga scala in molti paesi. La coltivazione di verdure e fiori fuori stagione o in climi diversi da quelli originari può essere realizzata avendo a disposizione una vasta

gamma di tecnologie. Sono disponibili molte soluzioni per avere ottime condizioni di crescita, basate sulla miglior temperatura di sviluppo di ciascuna pianta, e sulla quantità di luce, sulla concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'ambiente della serra, sull'umidità del terreno e dell'aria, e sul movimento dell'aria.

Il riscaldamento delle serre può essere

- a circolazione forzata d'aria in scambiatori di calore,
- a circolazione d'acqua calda in tubi posti sopra o nel terreno, o anche in condotte alettate situate lungo le pareti o sotto i pancali,
- con una combinazione di questi sistemi.

L'uso dell'energia geotermica per il riscaldamento delle serre può ridurre significativamente i costi operativi, che in alcuni casi rappresentano il 35% del costo dei prodotti (verdure, fiori, piante da appartamento, piantine da sviluppo).

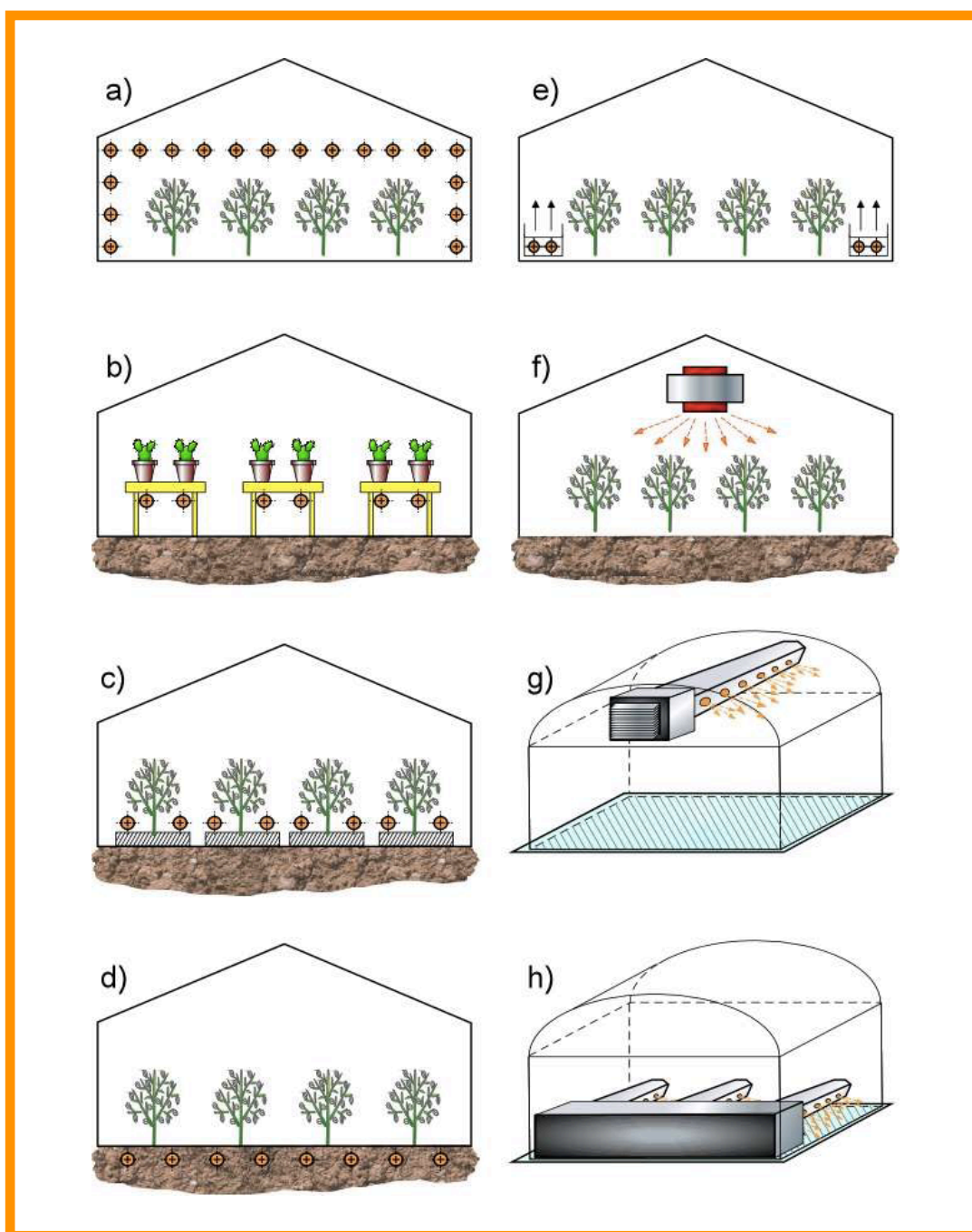


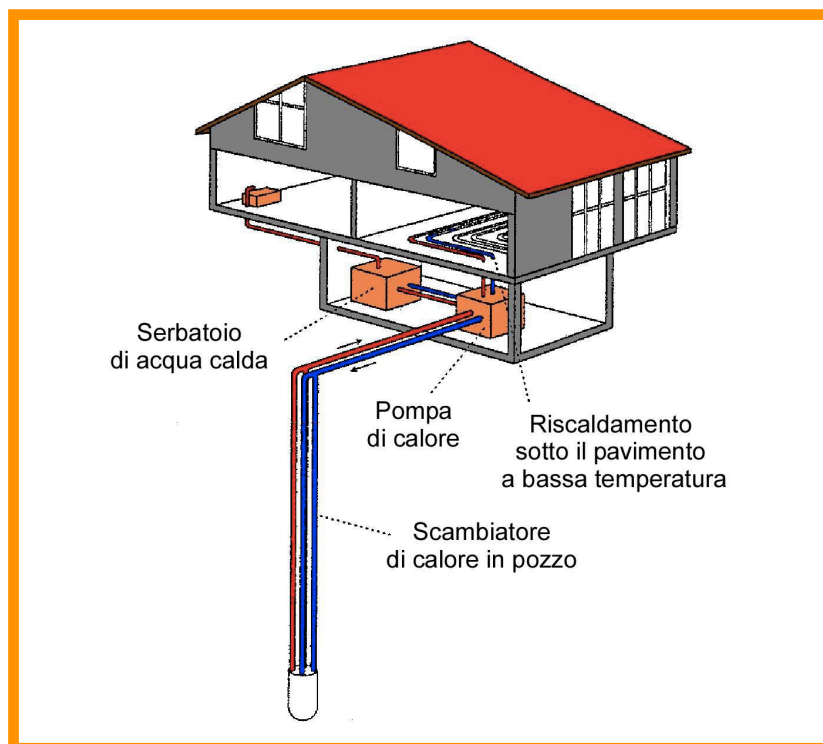
Figura 44 - Sistemi di riscaldamento delle serre geotermiche. Riscaldamento a convezione naturale: (a) tubi sospesi, (b) pancali riscaldati, (c) tubi posizionati in basso. Riscaldamento del terreno (d). Riscaldamento ad aria forzata: (e) convettori laterali, (f) ventilatori sospesi, (g) convettori posizionati in alto, (h) convettori posizionati in basso.



## GEOTERMICO APPLICATO AGLI EDIFICI

Il riscaldamento e il raffreddamento degli edifici con l'energia geotermica si è diffuso notevolmente a partire dagli anni '80, a seguito dell'introduzione nel mercato e della diffusione delle pompe di calore. I diversi sistemi di pompe di calore disponibili permettono di estrarre ed utilizzare economicamente il calore contenuto in corpi a bassa temperatura, come terreno, acquiferi poco profondi, masse d'acqua superficiali, ecc. Molte pompe di calore sono reversibili e quindi si può operare alternativamente in due modalità: riscaldamento e raffreddamento.

Figura 45 - Esempio di sistema di riscaldamento domestico con pompa di calore connessa al terreno



Attualmente, la climatizzazione degli edifici rientra tra le principali applicazioni della geotermia. Gli impianti di riscaldamento e di condizionamento che sfruttano la geotermia, rappresentano una scelta razionale ed economica nel campo dell'utilizzo dell'energia, con realizzazioni impiantistiche che consentono di massimizzare il rapporto energia utilizzata rispetto alle risorse impiegate.

## POMPE DI CALORE

La pompa di calore è una macchina termodinamica la quale, con l'ausilio di una forza motrice, assorbe calore da una sorgente ad una certa temperatura per trasferirlo ad un serbatoio caldo a temperatura maggiore (pompa di calore per il riscaldamento invernale). Si dice reversibile quando invertendone il ciclo di funzionamento opera come refrigeratore e la sorgente fredda diventa il serbatoio di accumulo termico (pompa di calore reversibile per la climatizzazione estiva).

In generale le pompe di calore per la climatizzazione degli edifici possono sfruttare come serbatoio esterno l'aria, l'acqua o il terreno.

L'efficienza di queste macchine è influenzata in maniera significativa dalle temperature di esercizio, o meglio dal dislivello di temperatura tra ambiente interno e sorgente esterna, che deve essere quanto più possibile contenuto. Ciò comporta un grosso limite per quei sistemi che utilizzano l'aria come sorgente esterna. Infatti in inverno la temperatura esterna risulta minore proprio quando maggiore è la richiesta di calore per riscaldare. Un'efficace alternativa all'aria è costituita dall'impiego di una sorgente esterna caratterizzata da elevata inerzia termica, come possono essere il terreno o l'acqua che presentano temperature meno sensibili alla stagionalità. E' in quest'ultimo caso che si parla di pompe di calore geotermiche.

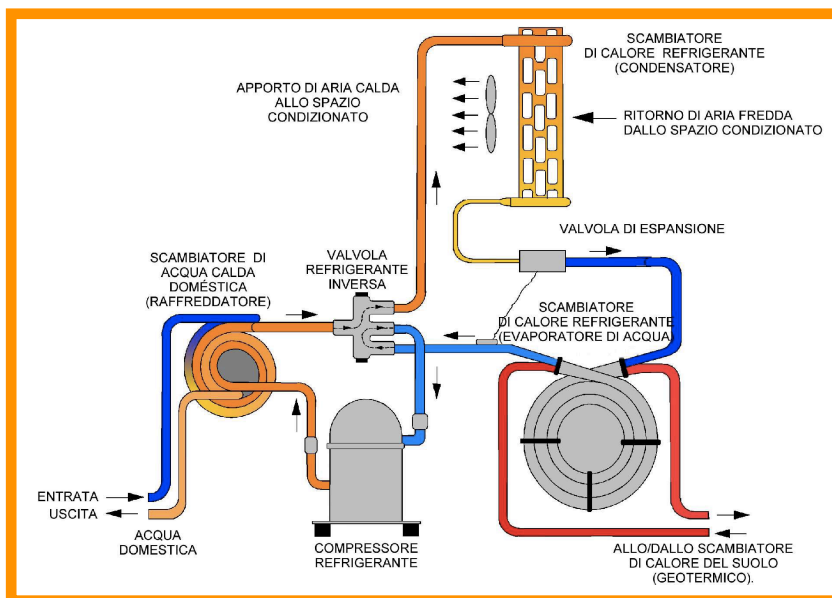


Figura 46 - Schema di pompa di calore in posizione di riscaldamento

La dizione pompa di calore geotermica viene usata in maniera generica per indicare varie tipologie di sistemi che utilizzano il terreno, l'acqua di falda o i grandi specchi d'acqua di superficie come serbatoio termico. L'ASHRAE ha individuato una nomenclatura standard per differenziare i vari tipi di sistemi geotermici a pompa di calore.

Questi sono:

- Pompe di calore ad acqua di superficie (Surface Water Heat Pumps – SWHP): operano utilizzando come sorgente termica acque superficiali. Si distinguono i tipi diretto, quando l'acqua viene prelevata dal suo corso naturale e qui reimpressa dopo lo scambio termico con la pompa di calore, e indiretto, dove l'acqua non è prelevata dal suo corso naturale, ma scambia calore tramite tubazioni immerse.
- Pompe di calore ad acqua di falda (Ground Water Heat Pumps – GWHP): operano utilizzando come sorgente termica acqua sotterranea di falda prelevata tramite pozzi. Dopo lo scambio termico con la pompa l'acqua può essere scaricata in acque superficiali (impianto a singolo pozzo) oppure reimpressa nella falda a mezzo di un altro pozzo (impianto a doppio pozzo).
- Pompe di calore accoppiate al terreno (Ground-Coupled Heat Pumps – GCHP): in questo caso è la massa stessa del terreno che agisce da sorgente termica, senza alcun prelievo d'acqua, e l'accoppiamento con la pompa di calore è realizzato attraverso tubazioni di scambio termico inserite nel terreno e percorse da un fluido termovettore. Lo scambiatore a terreno può avere sviluppo orizzontale con tubazioni dritte (sonde orizzontali), sviluppo orizzontale con tubazioni avvolte a spirale (sonda a spirale) o sviluppo verticale con tubazioni poste in perforazioni a pozzo (sonde verticali).

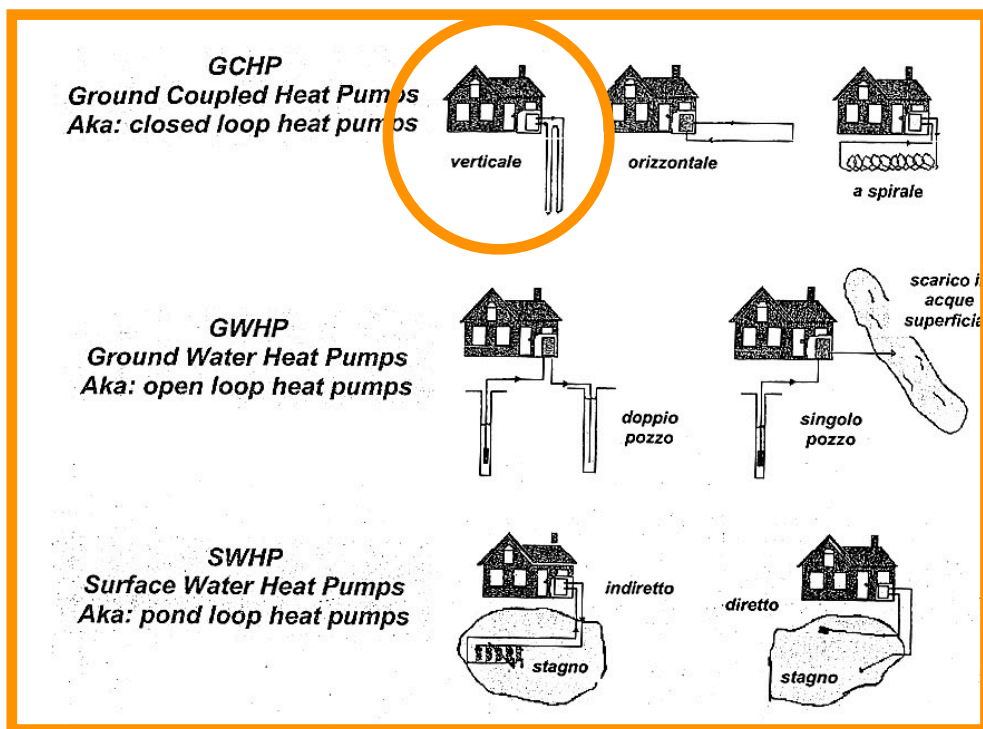


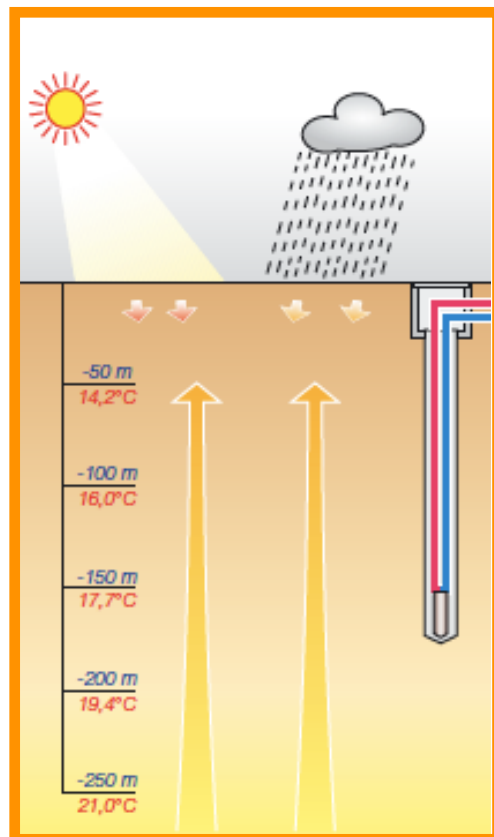
Figura 47 - Differenti tipi di sistemi geotermici a pompe di calore

Tra le tre tipologie di pompe di calore geotermiche elencate sopra quelle di maggior interesse risultano essere le pompe di calore accoppiate al terreno. Infatti è facile comprendere come sia le pompe di calore ad acqua superficiale, sia le pompe di calore ad acqua di falda richiedono situazioni ambientali particolari legate alla disponibilità idrica e soprattutto comportano maggiori vincoli legislativi sull'inquinamento termico delle acque. Per tale motivo in seguito la trattazione verrà concentrata sulle pompe di calore accoppiate al terreno, in particolare su quelle con scambiatore a sonde verticali che rispetto a quelle con sonde orizzontali presentano una serie di vantaggi (minore necessità di superficie orizzontale esterna richiesta, minore lunghezza totale di tubo, migliori rendimenti energetici).

### SONDE GEOTERMICHE VERTICALI

La caratteristica principale a vantaggio dell'utilizzo del terreno come sorgente termica è la sua elevata capacità di accumulo. Questo consente di avere una temperatura media del terreno, anche a modeste profondità, pressoché costante durante tutto l'anno, permettendo buoni valori di prestazioni delle pompe di calore.

Infatti in generale l'ampiezza dell'escursione termica giornaliera si riduce di un fattore circa 10 a pochi centimetri di profondità (vedi figura 48 a lato), mentre quella dell'escursione stagionale si riduce dello stesso fattore dopo alcuni metri e in ogni caso nel terreno indisturbato la temperatura oscilla rispetto ad un valore medio che è praticamente pari alla temperatura media annuale della località in esame. Pertanto si può ragionevolmente considerare trascurabile l'influenza dell'escursione termica stagionale per le sonde geotermiche verticali e si può quindi assumere in modo lecito il terreno come una sorgente termica a temperatura costante durante tutto l'anno.



Le sonde geotermiche verticali (SGV) sono tra le più diffuse tecnologie per lo sfruttamento del terreno e utilizzano la risorsa geotermica di scarsa profondità e bassa temperatura. Funzionano come degli scambiatori di calore installati in perforazioni, in prossimità dell'edificio da riscaldare, che vanno dai 50 fino ai 400 metri di profondità. Le tubazioni sono realizzate in PEAD flessibile, di diametro esterno 20-40 mm, disposte a forma di U, doppia U oppure a tubi concentrici. Il diametro di perforazione dei pozzi è compreso tipicamente tra 75 e 180 mm. Una volta realizzato il foro, vengono prima posizionati i tubi della sonda e poi si procede al successivo riempimento della perforazione con un getto indurente che ingloba i tubi. I materiali in genere utilizzati per il riempimento sono costituiti da bentonite o miscele bentonite-cemento o bentonite-calcestruzzo. Il parametro critico di scelta del materiale di riempimento è la sua conducibilità termica, in quanto incide sull'efficienza di scambio termico con il terreno, essendo proprio la zona circostante le tubazioni quella interessata dal massimo flusso di calore. Al fine di migliorare tale

conducibilità si possono utilizzare anche additivi, quali la quarzite, la polvere di allumina o di ferro, il carburo di silicio.

Qualora si debba soddisfare una richiesta di potenza contenuta, come nel caso dei piccoli impianti domestici, la sonda può essere unica, mentre per gli impianti di maggiore potenza si ricorre ad una molteplicità di sonde con disposizione in linea o a maglia quadrata. In quest'ultimo caso, per limitare l'interferenza termica tra sonde contigue il passo è usualmente compreso tra 4,5 e 8 m.

Le SGV possono essere installate in quasi tutti i tipi di formazioni rocciose: il numero e la profondità delle perforazioni sono determinati in base al volume dei locali da scaldare ed al tipo di terreno.

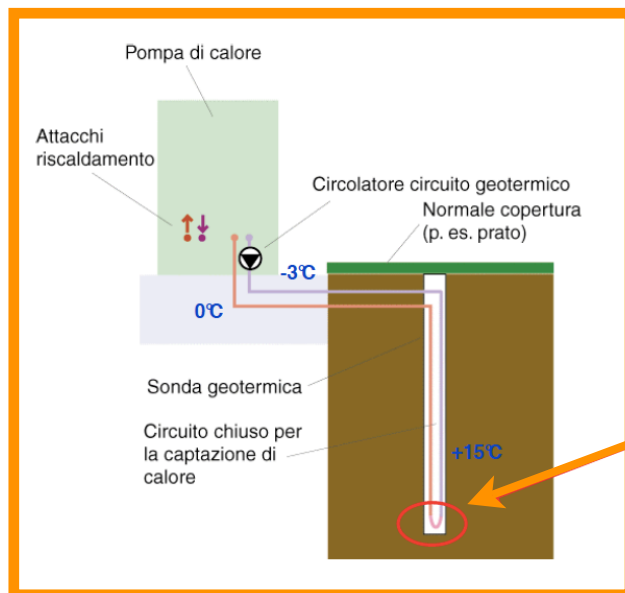


Figura 49 - Sorgenti di calore - a destra una sonda geotermica



## PRINCIPI DI DIMENSIONAMENTO

Nel progetto di impianti geotermici dobbiamo distinguere due casi:

- Short term influence (impianti che lavorano alla massima potenza in uscita)
- Long term influence (impianti che lavorano ad una potenza media in uscita)

In entrambe le situazioni, la temperatura prescritta all'impianto, ad esempio la temperatura minima di evaporazione della pompa di calore e

le temperature limite di funzionamento determinate dal terreno devono essere scrupolosamente osservate.

E' importante avere ben presente la differenza tra la richiesta in riscaldamento e condizionamento di un edificio o di un processo tecnologico ed il calore estratto o ceduto al sottosuolo.

In riscaldamento, una pompa di calore con Coefficient of Performance (COP) pari 4, avrà circa 3 kW sull'evaporatore che vengono forniti dal terreno e 1 kW di elettricità che devono essere forniti al compressore, mentre 4 kW saranno disponibili al condensatore per essere trasferiti all'impianto.

Nel caso di pompe di calore geotermiche funzionanti con sonde verticali, un sottodimensionamento comporta uno sfruttamento eccessivo del pozzo durante il periodo di riscaldamento, con conseguente scarsa rigenerazione durante il periodo estivo.

## POSSIBILI EFFETTI RIGUARDO L'IMPIEGO TERMICO DEL SOTTOSUOLO

Per le pompe di calore geotermiche con sonda verticale, l'influenza dell'energia solare e l'effetto di percolazione dell'acqua del terreno influisce parzialmente nel primo tratto di lunghezza della sonda geotermica, mentre le parti più profonde, al di sotto della neutral zone, risentono completamente del calore trasportato dal sottosuolo e dalle acque sotterranee. Si può tranquillamente affermare che nel lungo periodo si viene ad instaurare un equilibrio termico. Pertanto oltre alla potenza estraibile per metro lineare, dobbiamo sempre tenere in considerazione la potenza in kWh/ma estratta.

La rigenerazione delle temperature nel sottosuolo inizialmente avviene molto rapidamente. Più avanti nel tempo, la temperatura tenderà asintoticamente al valore di prima estrazione.

Pertanto un corretto dimensionamento della profondità di estrazione della sonda, consente di evitare un eccessivo impoverimento del pozzo di estrazione, garantendo il reintegro della potenza mancante attraverso l'apporto solare sopra la neutral zone.

## Capitolo 7

### MICROALGHE

#### CARATTERISTICHE GENERALI

Le microalghe sono una pianta tallofita primitiva, priva di radici, stelo e foglie, contenenti clorofilla quale pigmento fotosintetico. La loro struttura è sostanzialmente funzionale a tale processo biochimico, senza ulteriori apparati oltre la cella, il che consente loro di adattarsi facilmente in diversi ecosistemi sperimentando un ampio range di salinità, temperatura e pH. Comprendono una grande varietà di specie adattate a condizioni molto diverse ed hanno una capacità di moltiplicarsi velocemente e di raggiungere densità di biomassa superiori alle piante terrestri.

Le microalghe si suddividono fra organismi unicellulari procarioti ed eucarioti. Le celle procarioti (es: Cyanobacteria) sono prive di un nucleo, sono delimitate dalla membrana cellulare, non possiedono organuli e hanno una struttura interna molto semplice. Le celle eucarioti, invece, sono dotate di nucleo. Rispetto a quanto detto, i cianobatteri non producono tipicamente interessanti quantità di lipidi e la classe di maggior interesse per l'applicazione su scala industriale è quella degli eucarioti.

I principali fattori che condizionano la crescita delle microalghe sono:

- Approvvigionamento di energia luminosa. La quantità di biomassa che può essere prodotta cresce con l'intensità della luce fino ad un punto, detto di saturazione, oltre il quale la crescita crolla.
- Apporto di fonti di carbonio, fosforo, azoto; quindi potassio, magnesio, ferro e manganese in tracce (le alghe eterotrofe richiedono fonti esterne di carbonio, quali ad esempio il glucosio).
- Mantenimento di pH compreso fra valori di 7 e 9. La presenza di un ambiente basico inibisce la crescita delle microalghe.
- Miscelazione: una leggera turbolenza riesce a mantenere le microalghe in sospensione, migliorando l'efficienza di utilizzazione della luce, lo scambio dei gas e la distribuzione dei nutrienti.
- Rimozione di ossigeno per concentrazioni superiori a 7,5 milligrammi su litro ovvero 7,5 grammi per metro cubo di acqua.
- Mantenimento di temperature di 20-30 °C.



- Mantenimento di un ambiente di crescita funzionale alla specie.
- In più, dobbiamo ricordare che una condizione di scarso approvvigionamento di azoto fra i nutrienti induce una superiore produzione di lipidi, a discapito però della produzione di biomassa.

## USI E VANTAGGI DELLE MICROALGHE

Le microalghe convertono l'energia solare con un'efficienza molto più alta delle piante terrestri e sono in grado di fissare l'anidride carbonica (procurandosi il carbonio per la crescita e la produzione di olio), contribuendo alla mitigazione dell'effetto serra e producendo biocombustibili innovativi, nonché metano ed idrogeno (tramite diversi processi di estrazione e raffinazione). Questa caratteristica apre nuove prospettive nel campo delle *energie rinnovabili*, per la produzione di biocarburanti da microalghe coltivate in mare, in laghi e stagni artificiali, o in terreni di scarso valore agricolo, senza interferire con l'agricoltura alimentare. I motivi per i quali le colture algali sono al centro delle ricerche scientifiche e destano interesse sono numerosi e rilevanti, si vede di seguito un elenco di cosa è possibile ricavare:

- biodiesel, da microalghe ricche di olio, attraverso il processo di transesterificazione.
- bioetanolo, da microalghe ricche di carboidrati, attraverso il processo di fermentazione.
- idrogeno, attraverso fermentazione anaerobica dei carboidrati accumulati tramite la fotosintesi.
- biogas, attraverso la generazione di metano a partire da biomasse microalgali eventualmente miscelate con altri materiali di origine vegetale.

Senza tralasciare che, le microalghe, viste le quantità dei loro costituenti (carboidrati 8-64% s.s. - proteine 6-71% s.s.) possono essere impiegate come materie prime per la produzione congiunta di altre merci da destinare a diversi mercati: da quello nutraceutici di elevato valore (mercato di nicchia) ai mercati degli additivi per i mangimi animali, gli usi per l'acquacoltura, delle bioplastiche e della generazione elettrica (prodotti di medio-alto valore). Vi sono anche diversi impieghi delle alghe nel campo della sanità: costituiscono materie prime per la produzione di

farmaci per la cura di diverse patologie, quali colesterolo, osteoporosi, stress, cancro, invecchiamento delle cellule. Infine possono avere impiego anche nella depurazione delle acque e nel trattamento dei reflui.

La versatilità, sia che si parli di micro che di macroalghe, è il primo fattore di successo di questa risorsa. Come sopra indicato, svariate sono le condizioni operative che ne consentono la crescita, innumerevoli sono le specie, ampie sono le caratteristiche, per composizione, della biomassa prodotta.

Queste colture, opportunamente favorite da sali nutritivi, luce e anidride carbonica hanno una notevole rapidità di crescita, molto maggiore delle piante terrestri. L'efficienza di conversione dell'energia solare in biomassa, e quindi la produttività per ettaro, è molto maggiore di quella ottenibile con le colture tradizionali. Ad esempio, da un ettaro di girasole o di colza si possono produrre 700-1.000 kg di olio per anno, mentre le colture algali, se realizzate in adeguati impianti a fotobioreattori, possono superare le 20 tonnellate di olio per ettaro all'anno.

Tabella 8 - Confronto tra le microalghe e le altre colture oleaginose per la produzione di biodiesel

<i>Materia prima</i>	<i>Contenuto lipidico (% olio/s.s.)</i>	<i>Rendimento in olio (L olio/ha)</i>	<i>Suolo utilizzato (m<sup>2</sup>/kg biodiesel)</i>	<i>Resa in biodiesel (kg biodiesel/ha)</i>
Mais	4	172	66	152
Soia	18	446-636	18	562
Jatropha	28	741-1.892	15	656
Camelina	42	915	12	809
Colza	41	974	12	946
Girasole	40	1.070	11	1.156
Olio di palma	36	5.366-5.950	2	4.747
Microalghe (basso contenuto in olio)	30	58.700	0,2	51.927
Microalghe (medio contenuto in olio)	50	97.800	0,1	86.515
Microalghe (elevato contenuto in olio)	70	136.900	0,1	121.104

Caratteristica fondamentale è la compatibilità con l'esistente infrastruttura dei combustibili destinati al trasporto (raffinazione, distribuzione e utilizzo finale). Infatti, il biofuel ottenibile dalla trasformazione dei lipidi estratti dalle microalghe, presenta proprietà del tutto analoghe al tradizionale diesel di origine fossile, il che lo rende facilmente miscelabile e/o sostituibile in tutte le fasi di processamento ed impiego finora consolidate. Un altro valore aggiunto molto importante è che, oltre a non competere con le colture agro-alimentari per terreni fertili, non richiedono pesticidi e si possono realizzare su acqua di mare o su acque reflue oltre che in acqua dolce. Infine, le colture algali consumano grandi quantità di CO<sub>2</sub> (circa due chilogrammi di CO<sub>2</sub> per ogni chilogrammo di biomassa algale prodotta), addirittura è dimostrato che possono efficientemente prelevarla dai fumi di combustione delle centrali termoelettriche.

#### TECNICHE DI COLTIVAZIONE

Innanzitutto la crescita microalgale che avviene in tre fasi principali: fase esponenziale, fase lineare o stazionaria, fase decrescente.

- Fase esponenziale: il tasso di crescita della popolazione rimane sempre positivo nel tempo e dipendente da nutrienti, temperatura e illuminazione disponibili nell'ambiente (all'inizio il basso numero di cellule in coltura rende minimo l'ombreggiamento reciproco e ogni cellula si trova in saturazione luminosa).
- Fase lineare o stazionaria: il tasso di crescita della popolazione è molto rallentato o azzerato e la concentrazione algale raggiunge un valore elevato.
- Fase decrescente: fase in cui le cellule tendono a morire, essendo sospesa sia la fase di divisione sia la fase metabolica. Coincide in genere con eccessiva concentrazione algale, esaurimento di nutrienti nel mezzo di coltura o con l'instaurarsi di condizioni avverse alla crescita quali temperature non idonee, presenza di sostanze tossiche, illuminazione inadeguata.

Definito questo si prende in considerazione la coltura in fotobioreattori in serra fotovoltaica, anche se vi è la possibilità, ad oggi la più diffusa, di effettuare coltivazioni in vivai circolari all'aperto.

La funzione basilare dei fotobioreattori è quella di garantire un processo controllato nel quale è possibile produrre biomasse microbiche e/o metaboliti.

Il criterio principale con cui viene creato e realizzato un fotobioreattore è quello di permettere alla biomassa la migliore efficienza nella conversione dell'energia luminosa, cercando di garantire una equilibrata e costante quantità di luce.

Consistono essenzialmente di un set di tubi di plastica o vetro dal diametro contenuto per limitare le zone oscure al suo interno. Le configurazioni dei collettori solari sono differenti tra loro e possono essere: verticale, orizzontale ed inclinata. Questi sistemi necessitano di tecnologie avanzate, soprattutto per il controllo di tutti i parametri di processo (pH, temperatura, mass transfer, concentrazione cellulare, rifornimento di nutrienti e idrodinamica).



Figura 50 - Fotobioreattore per coltivazione di biomassa algale

I fotobioreattori presentano un grado di complessità decisamente maggiore rispetto ai sistemi aperti ma consentono uno stretto controllo dei parametri chimico-fisici e biologici della coltura e una migliore resa produttiva. In compenso sono preferibili per le colture massive di elevata purezza, necessarie o per l'estrazione di biomolecole di alto valore commerciale o per inoculi di colture in sistemi aperti.

Le maggiori criticità sono da imputare a eventuali incrementi di temperatura che richiedono sistemi di raffreddamento e al rischio di accumulo dell'ossigeno, prodotto per fotosintesi, che richiede sistemi di eliminazione di questo gas. Questi problemi, uniti all'elevato costo di mantenimento, limitano le dimensioni dei fotobioreattori.

Per quanto riguarda le dimensioni, i sistemi di coltivazione costituiti da fotobioreattori vanno dalle centinaia di metri quadrati fino a poche migliaia (7-8.000 metri quadri) risultando quindi più piccole di oltre due ordini di grandezza rispetto alle dimensioni massime delle vasche all'aperto, nell'ordine di grandezza degli ettari (1 ettaro = 10.000 metri quadri).

Nel caso di colture massive si inizia con ceppi di mantenimento fino a raggiungere i volumi di utilizzo. A questo punto le colture possono essere mantenute in modo semi-continuo, continuo e discontinuo:

- Semi-continuo: consiste nel mantenere attiva la coltura per lunghi periodi di tempo, prelevandone ad intervalli il 20-30%. I prelievi cominciano quando la concentrazione algale è dell'ordine di milioni di cellule su millimetro.
- Continuo: quando prelievo e ricambio sono continui.
- Discontinuo: consiste nel portare la coltura alla massima concentrazione possibile e nell'utilizzo completo in una sola volta della biomassa ottenuta.

Lo step successivo, dopo aver raggiunto livelli di crescita e produttività prefissati, è la raccolta: la biomassa algale deve essere raccolta e separata dalla fase liquida. Questo rappresenta un passaggio fondamentale e un limite nei processi di produzione andando ad incidere per ben il 30% sui costi totali di produzione della biomassa.

A rendere complesso tale step è soprattutto la bassa concentrazione delle celle algali (dagli 0,5 agli 8 g/litro a seconda che il sistema di coltivazione sia in bacini all'aperto o in fotobioreattori) e le ridotte dimensioni delle stesse (da 2 a 40  $\mu\text{m}$ ). La biomassa deve quindi essere concentrata di oltre 100 volte per raggiungere una densità sufficiente (almeno 50 g/litro di biomassa e preferibilmente 100 g/litro o oltre) a consentire la sua raccolta e il suo successivo processamento.

## METODI DI RACCOLTA

Le principali di tecniche per la raccolta:

- La flocculazione: è il metodo generalmente più diffuso per raccogliere le microalghe, applicabile alla maggior parte dei ceppi. Essa sfrutta la carica negativa delle pareti cellulari che viene neutralizzata dall'agente flocculante consentendo la formazione di grandi fiocchi che successivamente vengono recuperati per sedimentazione o per flottazione ad aria disciolta.
- La filtrazione: è una tecnica impiegata per separare il fluido dalla parte solida (microalghe) per mezzo di microfiltri. La filtrazione è limitata a tipi di microalghe, singole o che producono colonie, di dimensioni uguali o superiori ai 20  $\mu\text{m}$  per fare in modo che la raccolta risulti efficace. Infatti, filtri con maglie più strette di 20  $\mu\text{m}$  impediscono il flusso dell'acqua e si intasano rapidamente.
- La centrifugazione: è un sistema impiegato per accelerare la separazione di fase (microalghe dalla soluzione) mediante l'uso della forza centrifuga o più precisamente dell'accelerazione centrifuga.

Tra le tecniche di flocculazione da notare la bioflocculazione, seguita dalla sedimentazione per gravità che sono certamente l'opzione di raccolta a più basso costo. Questa tecnica consiste nell'aggregazione spontanea delle cellule algali in grandi fiocchi che si depositano poi rapidamente. Sfortunatamente, il processo di bioflocculazione non è ancora ben conosciuto: dipende dalla produzione, da parte delle cellule algali, di polimeri che fanno aggregare le cellule tra loro.

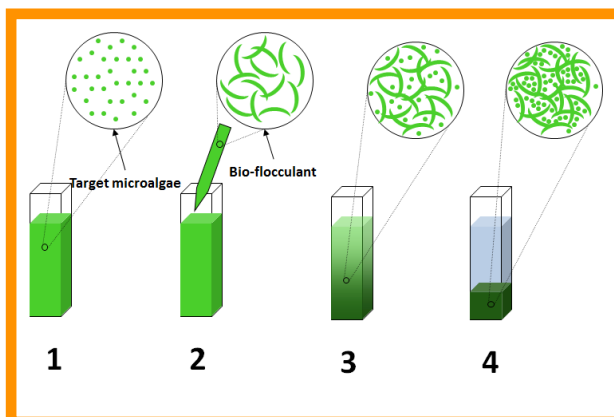


Figura 51 - Processo di bioflocculazione

Altri fattori che influenzano il processo sono il ceppo e la specie algale, le condizioni ambientali e la scarsità ad esempio di azoto o altri nutrienti. Mancano ancora studi specifici.

## TECNICHE DI CONVERSIONE DELL'ENERGIA DALLA BIOMASSA

Il processo di raccolta delle microalghe lascia un prodotto finale ancora molto ricco di brodo di coltura. Le concentrazioni delle celle microalgali sono infatti dell'ordine del 15-25%.

Per questo motivo, generalmente, la biomassa richiede un processo di essiccamento o drying, preliminare ai successivi trattamenti termochimici o biochimici, che dipende soprattutto dal tipo di prodotto che si vuole ottenere. Di seguito si riportano i procedimenti necessari per la conversione della biomassa:

- Essiccamento: i metodi più comuni sono: spray drying, drum drying, freeze drying e sun drying (essiccamento al sole).

L'essiccamento al sole è la soluzione più economica, ma anche più lunga e tale da richiedere l'apposita allocazione di elevate superfici. Lo spray drying è un metodo molto costoso e sostanzialmente serve per nebulizzare ed essiccare la biomassa raccolta con aria calda circolante in una camera apposta. Il freeze drying, anche conosciuto come liofilizzazione, è un processo tecnologico che permette l'eliminazione dell'acqua dalla fanghiglia microalgale con il minimo deterioramento della struttura e dei componenti delle celle microalgali. Rimane un metodo molto costoso.

Il procedimento successivo è l'estrazione dei lipidi, attraverso solventi oppure con metodi meccanici

- Processi termochimici: questi si basano sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia, è necessario però avere un grado di umidità inferiore al 30%. Il primo processo è la gassificazione per cui è stato studiato un apposito metodo a bassa temperatura per biomasse ad elevata umidità (maggiore di quel 30%). Questo consente di produrre un gas ricco di metano ad elevata temperatura (400 °C) ed alta pressione (20 MPa) usando un catalizzatore metallico, tipicamente il nickel. Alternativamente si effettua la gassificazione in acqua supercritica.

Successivamente si ha la liquefazione: una tecnica di conversione applicabile alle microalghe che consente di ottenere sia gas che oli combustibili, oltre che residui di reazione. La reazione avviene in

soluzione acquosa, senza richiedere l'essiccamento della materia prima, con sali alcalini ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) a circa  $300^\circ\text{C}$  e  $10\text{Mpa}$ .

Infine la pirolisi che è un processo di decomposizione termochimica di materiali organici ottenuto mediante l'applicazione di calore, a temperature comprese tra  $400$  e  $800^\circ\text{C}$ , in completa assenza di un agente ossidante, oppure con una ridottissima quantità di ossigeno. I prodotti della conversione sono biofuel, char ed una frazione gassosa.

La pirolisi richiede un'alimentazione secca pertanto è necessario applicare metodi preventivi di drying della biomassa algale raccolta.

In funzione delle condizioni operative applicate si distinguono processi di slow, fast e flash pyrolysis, dove la distinzione è dalla velocità di avvenimento del processo con conseguenti differenze di prodotti ottenuti.

In generale si può affermare che gli oli da pirolisi di microalghe presentano, però, più elevati rapporti di H/C e minori contenuti di ossigeno rispetto alla biomassa tradizionale (legno, girasoli, paglia).

- Trattamenti biochimici: la conversione biochimica dell'energia contenuta nelle microalghe implica la trasformazione di sostanze naturalmente prodotte durante la fotosintesi quali lipidi o polisaccaridi.

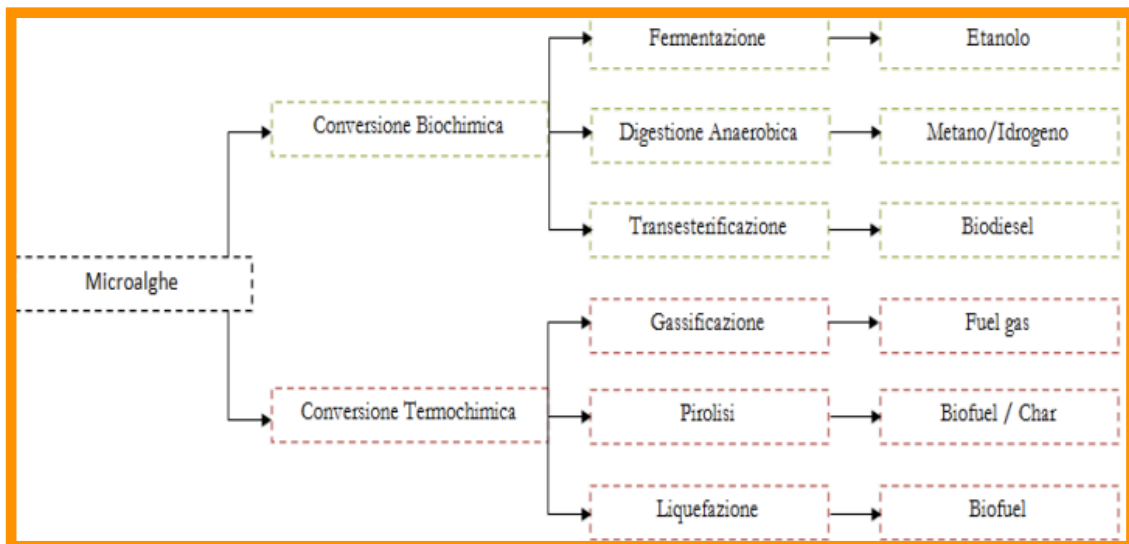


Figura 52 - Schema delle tecniche di conversioni applicabili alle microalghe



Ogni caso è a se stante e necessita comunque di un'analisi singola che determini il mix giusto delle tecniche appena descritte.

Non possiamo, quindi, stabilire un metodo di lavorazione a priori, visto che ci sono vari parametri da considerare: tipo di microalga, costi, condizioni di coltivazione, prodotto finale e qualità che si vuole ottenere dalle successive lavorazioni, tecnologie a disposizione etc..

Di seguito, in figura, vengono mostrati tutti i possibili passaggi ed utilizzi.

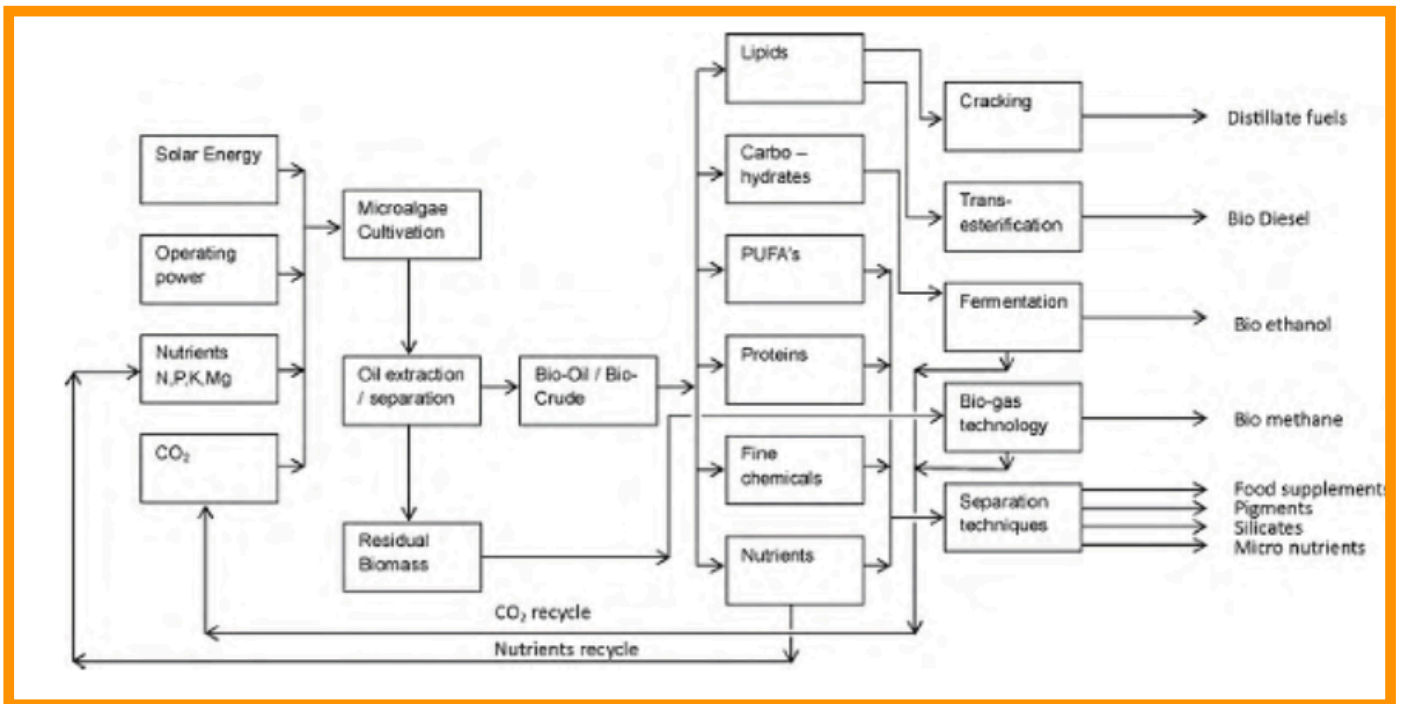


Figura 53 - Ipotesi di una bioraffineria di biomassa algale

Una bioraffineria può produrre simultaneamente biodiesel dagli oli e mangimi, bioetanolo, biogas, energia elettrica dalla biomassa che residua dal processo produttivo.

Concludendo, molti dei procedimenti descritti sono in fase sperimentale e non sono ancora stati commercializzati. Il maggior potenziale di sviluppo è legato alla produzione di biodiesel che consentirebbe una netta riduzione delle emissioni di CO2 rispetto all'uso di combustibili fossili senza sottrarre risorse alle coltivazioni terrestri per fini alimentari.

## Capitolo 8

### SCELTA DELLE COLTIVAZIONI E DELLE LAVORAZIONI

#### STRUTTURA AGRICOLA REGIONALE

Da un confronto con il livello nazionale, l'agricoltura emiliano romagnola ha accelerato nell'ultimo decennio il consolidamento delle proprie unità produttive; la dimensione media aziendale, infatti, si è attestata su un valore di 14,59 ettari (SAU media) contro 11,58 ettari del Nord Italia ed il 7,96 dell'Italia.

Su una SAU complessiva di 1.064.213,79 ettari, i seminativi erano nel 2010 estesi per una superficie di pari al 78,05%, le legnose agrarie erano presenti con una percentuale del 12,18% ed i restanti altri usi del suolo (prati permanenti e pascoli ed orti familiari) si estendevano per un altro 9,77 %.

Nei seminativi i valori più evidenti sono rappresentati dal notevole aumento verificatosi in dieci anni delle superfici destinate a grano duro estesosi prevalentemente in pianura ed il calo evidente della coltivazione della barbabietola da zucchero (- 64,6%) per effetto delle scelte di politica comunitaria avvenute nel periodo intercensuario. Per gli altri seminativi si segnala un aumento delle superfici destinate al pomodoro da industria, il calo della superficie a soia ed il lieve incremento, su base regionale, dei prati avvicendati (medica ed altre avvicendate), ma in conseguenza di un saldo positivo determinato da un incremento netto di quasi 22.000 in pianura (+19,2%) a fronte di una perdita secca per queste colture nelle aree montane (-20,7%) e collinari (-3,4%) per un oltre 14.000 ettari.

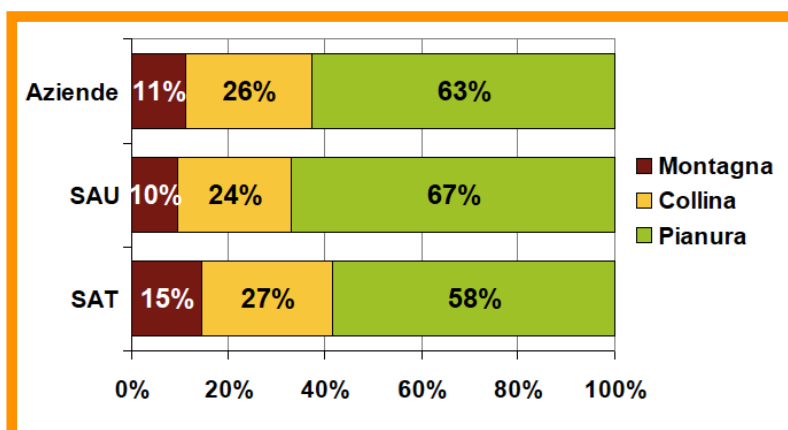


Figura 54 -  
Distribuzioni  
percentuali per  
zone altimetriche

Le superfici a legnose agrarie - compresa la vite - sono diminuite in dieci anni del 14,3%; il numero di aziende corrispondenti è diminuito in misura molto maggiore (- 39,5%). Le superfici medie aziendali per tutte queste colture sono di conseguenza aumentate, con un'intensificazione della specializzazione produttiva e, forse, un rinnovo varietale - in particolare della frutta estiva - in risposta alla forte volatilità dei prezzi di mercato che ha interessato il comparto nel corso dell'ultimo decennio.

Coltivazioni	Aziende		Superficie investita	
	2010	Var. % 2010/2000	2010	Var. % 2010/2000
Seminativi	56.547	-29,7%	830.570,99	-3,4%
Legnose agrarie	36.778	-39,5%	129.630,87	-14,3%
Orti familiari	22.216	-32,2%	1.451,00	7,1%
Prati permanenti e pascoli	13.752	-37,8%	102.560,93	-12,3%
<b>SAU</b>	<b>72.958</b>	<b>-31,1%</b>	<b>1.064.213,79</b>	<b>-5,8%</b>

Tabella 9 - Distribuzione percentuale della SAU al 2010

Per le frutticole, i casi più evidenti sono: calo per pesco e nettarine di oltre 10.000 ettari, calo meno evidente per il pero (-5875ha), un consolidamento che interessa un aumento di 945 ha per l'actinidia ed una sostanziale conferma delle superfici destinate al ciliegio, al susino ed all'albicocco.

La superficie a vite, pur riducendosi per i vini da tavola, ha registrato un incremento di quasi 5.800 ettari per i vini di qualità, con un conseguente consolidamento delle superfici medie aziendali che sono passate da 2,22ha nel 2000 a 2,87ha nel 2010. Il calo delle superfici a vite è stato più evidente in pianura e collina.

Di rilievo sono persino le informazioni relative alla produzione biologica e alle produzioni di qualità certificate secondo la normativa comunitaria DOP e Igp. Nel complesso, le superfici destinate a tali produzioni interessano 42.416,19 ettari, il 3,98% della SAU regionale.

Per il biologico, le produzioni vegetali più significative, in termini di superfici dedicate, sono i cereali (11.883,18ha), seguono i prati

permanenti e pascoli (11.694,83ha), poi fruttiferi e viti (5.523,31ha) e le ortive (2.232,04ha).

Gli analoghi dati delle produzioni DOP/Igp sono: per le produzioni vegetali i fruttiferi (4.981,76ha), la patata (870,56ha) ed i cereali (603,40ha).

<b>Cereali</b>	<b>34%</b>
<b>Prati permanenti e pascoli</b>	<b>33%</b>
<b>Fruttiferi</b>	<b>9%</b>
<b>Vite</b>	<b>7%</b>
<b>Ortive</b>	<b>6%</b>

Tabella 10 - Quota di superficie biologica per le principali coltivazioni

#### ANALISI DELLE COLTURE INTEGRABILI CON L'AGROVOLTAICO

L'impianto agrovoltico è praticabile con le normali tecniche colturali ed operative con indirizzi produttivi tradizionali, ma si presta anche ad attuare indirizzi innovativi ed avanzati su larga scala, quali l'orticoltura di pieno campo, o l'orticoltura protetta, che ben si integrerebbero con gli spazi della struttura.



Figura 55 - Particolare della semina nell'azienda di Virgilio (MN)

Si analizza di seguito la compatibilità delle colture più comuni in regione con la particolare situazione dell'azienda agricola oggetto di studio.

**GRANO:** le radici di questa pianta non sono eccessivamente profonde e tanto meno robuste, quindi da questo punto di vista non dovrebbero dare problemi alle strutture le piante raggiungono circa i 2 metri e 20 di altezza, da un punto di vista della struttura agrovoltica non ci danno problemi. Il polline prodotto da questa pianta ed, in generale, di per se non crea alcun problema alla struttura agrovoltica.

MAIS: le piante di mais raggiungono all'incirca i 2 metri di altezza quindi non danno problemi alla struttura agrovoltica, non necessitano di strutture di sostegno visto che il loro fusto è abbastanza robusto, le radici lo sono altrettanto ma vanno in profondità quindi non recano problemi alla struttura di sostegno o ai cavi interrati, anche il polline non arreca disturbo ai moduli agrovoltici.

CAROTA, PATATA E ORTAGGI VARI: questi sono tutti indicati come coltura da impiantare in un campo agrovoltico, essi non presentano altezze fastidiose con le strutture, le radici non sono infestanti e sono per lo più superficiali.

POMODORO: il pomodoro è una pianta che raggiunge anche i 2 metri di altezza, siccome si sviluppa verso l'alto ma non ha un solido fusto va collegata a una struttura di sostegno che supera di poco l'altezza della pianta, le radici non sono molto profonde e non sono infestanti, anche l'impollinazione non presenta particolari problemi per le strutture agrovoltiche.

VITE: la vite è una pianta rampicante, ha bisogno di una struttura di sostegno, che può appoggiarsi a quella esistente. Le radici sono robuste ma non invasive anche perché si sviluppano in profondità, il polline della vite non crea particolari problemi ai moduli agrovoltici.

PESCO: essendo una pianta di medio alto fusto che non presenta eccessivi ingombri, basta tenere in considerazione il fatto che le radici si sviluppano sia in profondità che in larghezza quindi sarebbe bene tenersi a un paio di metri di distanza dai pali di sostegno, il polline non manifesta problemi nei riguardi dei pannelli fotovoltaici.

## TIPOLOGIE DI LAVORAZIONI



Figura 56 - Sistema di irrigazione per aspersione

Per quanto riguarda il sistema di irrigazione si predilige l'irrigazione a pioggia e per aspersione con facile integrazione con la struttura soprastante. Nel caso della vite, i tubi possono anche essere direttamente collegati ai filari.

Per la movimentazione dei mezzi agricoli, basti considerare le già attive esperienze, soprattutto quella di Monticelli D'Ongina, che ha fatto il primo raccolto di grano nell'anno 2012. In questa azienda agricola tutte le lavorazioni del terreno e gli interventi colturali successivi sono avvenuti con facilità, seguendo il senso longitudinale delle corsie dell'impianto, con facile accesso dei mezzi agricoli (trattori ed attrezzi operativi collegati) e lasciando solamente una striscia di terreno non lavorata (che non supera i 30 cm) sotto gli elementi verticali (pali in acciaio) di sostegno dell'impianto.

Figura 57 - La seminatrice



La semina, avvenuta il 24 Ottobre 2011 con seminatrice pneumatica a righe (di 4,50 metri di larghezza), ha utilizzato circa 200 Kg di seme per ettaro. È evidente dall'immagine come macchine operatrici ingombranti non siano limitate dalla struttura dell'impianto. L'interasse di 12 metri ed l'altezza libera da terra non inferiore a 4,5 metri è funzionale alla circolazione anche delle macchine più ingombranti. La prova che l'operatività di gestione agricola del suolo sottostante l'impianto agrovoltaico non ha limitazione alcuna, è che tutto il prodotto ottenuto è raccogliibile e, dopo la trebbiatura, è stata raccolta anche la paglia con normale operazione di pressatura in balle cilindriche.

La movimentazione dei mezzi è inoltre facilitata anche dalla posizione flat dei pannelli fotovoltaici: i singoli tracker disposti dalla stazione in remoto agevolano le operazioni dei mezzi agricoli in tutta sicurezza ma, attraverso la tecnologia wireless, è immediato il rilevamento di eventuali anomalie o danneggiamenti all'impianto stesso.



Figura 58 e 59 - Operazioni di trebbiatura e imballaggio



## ANALISI DELLE COLTURE MEGLIO INTEGRABILI CON LA SERRA FOTOVOLTAICA

La serre fotovoltaica è compatibile con una molteplicità di colture. Necessario è uno studio agronomico approfondito che sappia valutare l'esposizione delle serre, la percentuale di copertura della falda - oggi imposta dalle norme vigenti - oltre alle normali valutazioni che devono obbligatoriamente farsi per la costruzione di una serra. Tra le diverse colture compatibili con una copertura fotovoltaica delle serre abbiamo:

- asparagi
- funghi
- carciofi
- ortive (lattughino, valerianella, spinacino etc)
- fragole
- fiori Recisi (tipo orchidee, crisantemi etc)
- verdure Bianche (tipo cavolfiore, cipolla, finocchio, porri e sedano)

Il progetto iniziale ha preso in considerazione anche le piante officinali:

- achillea
- camomilla
- centaurea minore
- cimicifuga
- lavanda
- maggiorana
- melissa
- menta
- piantaggine
- rodiola rosea
- valeriana
- verga d'oro

Valutando però le caratteristiche di ogni singola pianta, scelte tra le principali specie coltivate, si è dedotto che la serra, in generale, e quella fotovoltaica per la maggiore ombreggiatura, non è la struttura idonea. Le officinali da prodotto secco e oli essenziali sono colture da pieno campo e pieno sole e troppo poco redditizie per l'ambiente chiuso che rende difficile una meccanizzazione a pieno campo per l'impianto, cura e raccolta delle erbe. Quindi l'ipotesi delle officinali è da scartare per la



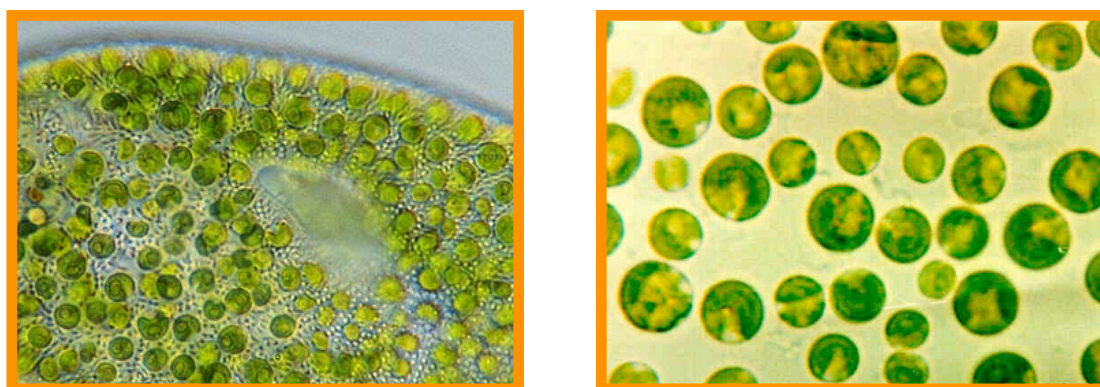
serra fotovoltaica, ma si può tenere presente per l'impianto agrovoltaico, magari inserendo una o più coltivazioni nella necessaria pianificazione delle rotazioni colturali.

Cercando un'idea innovativa, in linea con le attenzioni di questo progetto alle *energie rinnovabili*, e considerando le condizioni di ombreggiamento della serra fotovoltaica, una delle tecnologie applicabili è la coltura massiva di biomasse microalgali, con la tecnica dei fotobioreattori.

L'alga che è relativamente più semplice da coltivare è la clorella - *Chlorella* spp. Si tratta di una specie mixotrofica che presenta, oltre ad innumerevoli proprietà utilizzabili in ambito nutraceutico (effetti antiossidanti, anticancro, immunostimolanti, depurativi), interessanti caratteristiche per la produzione di energia. Infatti, appartiene a quelle specie caratterizzate da elevate produttività di biomassa e contenuto di lipidi.

Il genere *Chlorella* è stato coltivato intensivamente in vivai con contenuti in olio dal 25 al 32%, con punte massime per *Chlorella pyrenoidosa* fino all'85% e 55% per *C. protothecoides*. I lipidi contenuti appartengono alla classe dei trigliceridi, pertanto adatti alla conversione biochimica.

Figura 60 - Ingrandimenti della microalga considerata



Chiaramente, considerando nel progetto questa tipologia innovativa di coltura, sarà necessario prevedere anche la riorganizzazione dei fabbricati a servizio dell'azienda agricola, in quanto saranno necessari spazi aggiuntivi per i processi di essiccamento, per quelli termochimici e

biochimici. Dal punto di vista pratico le esigenze colturali ed organizzative sono notevoli.

Figura 61 -  
Esempio di fotobioreattori



L'illuminazione necessaria per la coltura deve essere indiretta, comunque si prevede l'uso di lampade per garantire la fotosintesi 24h/24h, al riguardo si stima che il consumo energetico, dovuto quasi esclusivamente a questa necessità, per cluster base è di 3 kW/h (0,5 kW/h x 6 reattori).

Il chiller, normalmente ha una potenza elettrica 3,5 kW. Il consumo essendo intermittente si può considerare circa 2kW/h. La soffiante invece funziona 24h e consuma 0,5 kW/h.

A questo si deve aggiungere un consumo di circa 30 kg di CO<sub>2</sub> per settimana, sempre per cluster base.

Coltivando clorella come microalga, la concentrazione che si raggiunge nei reattori è di circa 5 g/litro. La raccolta viene programmata una volta alla settimana tutte le settimane.

Il volume di acqua di un cluster base è di  $90 \times 6 = 540$  litri. In realtà si raccolgono settimanalmente  $2/3$  del volume disponibile (360l). Fatta la raccolta si riporta il volume della biomassa al massimo aggiungendo 360 l di acqua addolcita. Ogni tre giorni vanno aggiunti i nutrienti, il cui costo è trascurabile, se si considera il terreno di Walne.

Una volta raccolta la biomassa è necessario essicarla. Prima di tutto si elimina la maggior parte dell'acqua con la microfiltrazione. Partendo da

360 litri si ottengono circa 10 litri di biomassa concentrata. Il consumo di energia per microfiltrare è basso, circa 0,5kW/h per circa 2 o 3h. Ottenuto il liquido concentrato è necessario procedere all'essiccazione. Per questa funzione si può scegliere tra forni ad aria calda, rotativi oppure aria ultra secca. La massa da essiccare si è ridotta a 10 kg circa. Sperimentalmente 360 litri di biomassa contengono circa 1800 g di microalga.

CONCLUSIONI

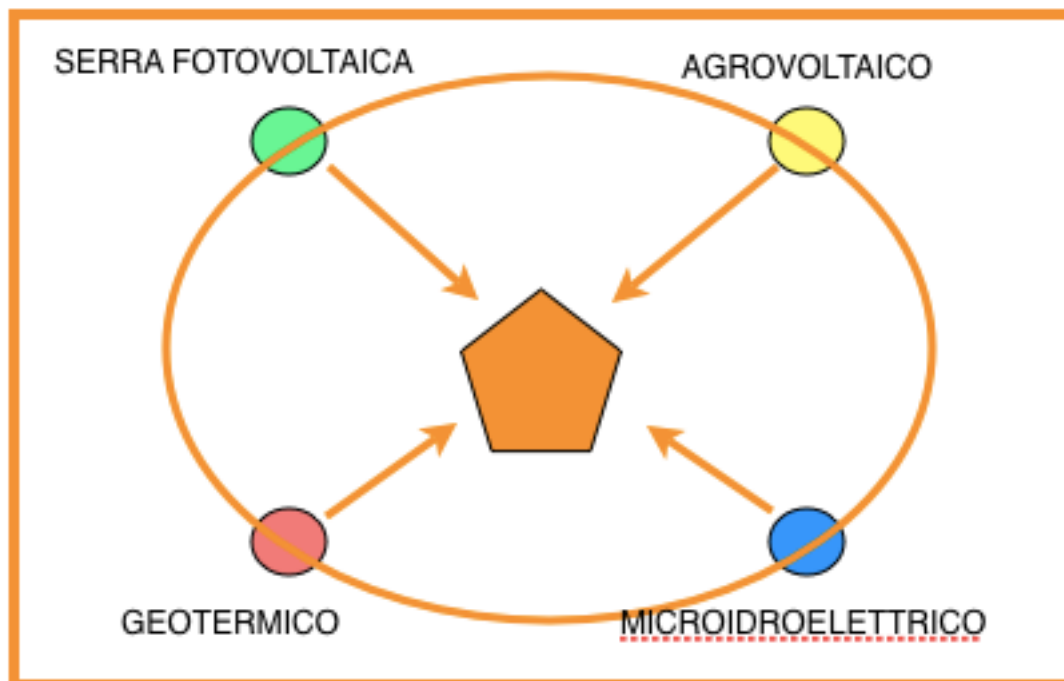


Figura 61 - Sinergia delle fonti *rinnovabili*

ENERGIA, AGRICOLTURA E SINERGIA

La forza del progetto è la sinergia delle *energie rinnovabili*, si pensi a quanto analizzato fino ad ora: il microidroelettrico, gli impianti fotovoltaici, l'impianto geotermico. L'accoppiamento di questi sistemi mira a garantire una maggiore, se non totale, indipendenza dal punto di vista energetico per l'azienda agricola Salera.

Si vuole dimostrare che la multifunzionalità del settore agricolo diventa una nuova dimensione operativa, caratterizzata da un approccio innovativo, aperto al contributo di diverse discipline e tecnologie. Questo avviene affiancando l'efficienza del processo di produzione vegetale a quella della produzione energetica.

Valutando le singole fonti è immediato dedurre che: nel periodo invernale, consultando i dati delle portate, si ha il momento di maggiore resa dell'impianto microidroelettrico, mentre per i due impianti fotovoltaici il massimo rendimento è nella stagione estiva, presumibilmente nei mesi di

maggiore insolazione cioè luglio e agosto. Stimando le produzioni a dicembre, il contributo dell'idroelettrico è pari circa a 16600 kWh, mentre il solo agrovoltaico produce 11850 kWh. Nei mesi estivi si verifica l'opposto (per esempio in agosto 33300 kWh contro 1128 kWh). Si possono definire i due impianti come complementari. Il contributo dell'energia geotermica è invece costante tutto l'anno, a servizio della casa e della serra fotovoltaica. Si avvalorava la tesi per cui l'azienda riesca quindi ad essere, o ad avvicinarsi, all'autosufficienza energetica, arrivando a considerare in sinergia anche la produzione di energia e l'attività agricola: si chiude il cerchio.

### CURVE DI CARICO

Nell'affrontare il problema energetico all'interno di un'azienda agricola, il primo passo da compiere è l'acquisizione delle curve di carico aziendali, intendendo con questo termine la variazione della domanda energetica dell'azienda, articolata per tipo di energia e disaggregata per periodi di utenza.

Si deve sempre tenere a mente che l'attività in una azienda agricola è estremamente differenziata e conseguentemente anche la domanda di energia segue un andamento caratterizzato da numerose punte a livello sia giornaliero sia mensile.

La acquisizione delle curve di carico, pertanto, si impone per due motivi:

- in primo luogo per una effettiva conoscenza delle esigenze e della loro collocazione spazio-temporale;
- in secondo, per sottoporre ad attento esame il loro andamento onde riscontrare eventuali possibilità di attenuazione delle punte (picchi).

Questo aspetto è di assoluta importanza quando si tratta di *energie rinnovabili*. A causa della loro rigidità - cioè della loro scarsa attitudine a seguire le variazioni dei fabbisogni energetici, dovuta alla stretta dipendenza da condizioni esterne non modificabili (esempio: energia solare) - nel dimensionamento di un impianto si pone la necessità di scegliere tra due soluzioni, entrambe lontane da quella ottimale:

- dimensionamento sulle punte di richiesta, il che comporta un basso coefficiente di utilizzazione dell'impianto stesso ed la conseguente immissione in rete quando questa non è utilizzata;

- dimensionamento per la copertura del carico costante di base, il che significa soddisfare una modesta quota della domanda e quindi sostituire solo in piccola parte l'energia convenzionale con l'*energia rinnovabile*.

Nel nostro progetto, considerando soprattutto la sinergia tra le diverse fonti, si pensa di dimensionare secondo i picchi di richiesta, di sicuro non indifferenti considerati i consumi della serra fotovoltaica, del fabbricato centrale di notevole dimensioni e delle scelte di produzione.

#### DIMENSIONI DELLE FONTI *ENERGETICHE RINNOVABILI*

Nello specifico vediamo come sono articolate le produzioni dalle fonti *rinnovabili*.

- La potenza nominale dell'impianto microidroelettrico installato sarà, per definizione, inferiore a 100 kW, esattamente di 22,3 kW. Il salto a disposizione è di 1,45 m mentre la portata è sempre al di sotto dei 10 mc/s quindi la scelta della coclea idraulica è stata obbligata dalle condizioni geofisiche. La vite in ottime condizioni riesce ad avere un rendimento fino al 90% ma nel nostro caso si presentano al massimo condizioni medie, il rendimento sarà minore. Considerando i dati appena citati l'energia totale annua prodotta dal microidroelettrico è di 135000 kWh. Valori aggiunti della coclea sono la quantità minima di opere civili da realizzare e il minimo impatto sulla fauna ittica.

Questa fonte viene tenuta in considerazione a livello di complementarietà della produzione fotovoltaica, concludendo la scelta della tipologia di turbina e del sito rendono vantaggiosa la sua realizzazione.

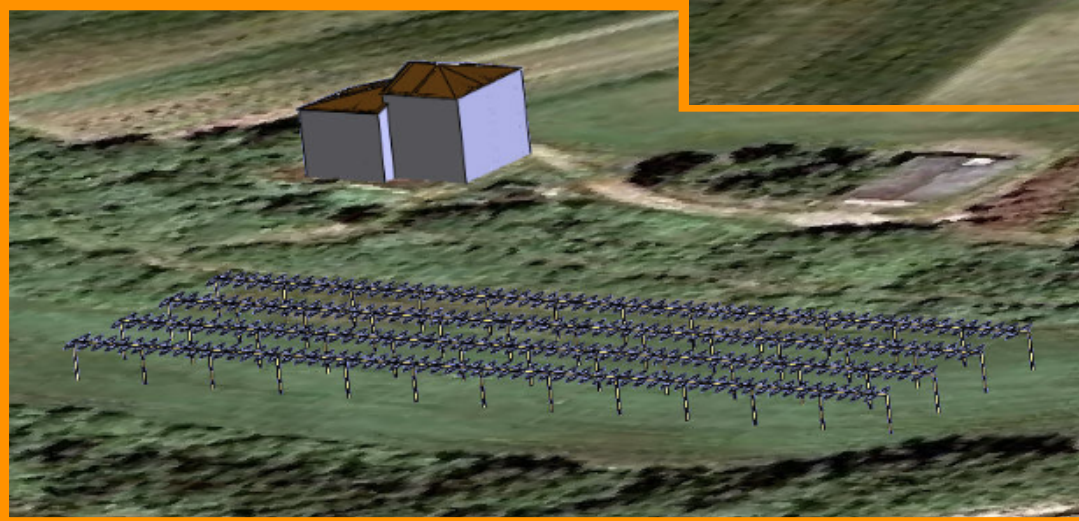
- Per il fotovoltaico si sommano i due contributi: la serra fotovoltaica che ha una potenza totale pari a 200 kW equivalente anche alla produzione dell'agrovoltico. Sommando si arriva ad avere come potenza di picco 400 kW. Dalla letteratura si può ricavare il coefficiente specifico della zona dove è ubicata l'azienda con cui trovare poi l'energia oraria annuale:

$$400 \text{ kW} * 1375 \text{ kWh/anno/kW} = 550000 \text{ kWh/anno}$$

Si ricordi che il reale vantaggio riguarda l'agrovoltaico: la tipologia di impianto permette infatti di avere un totale di ore equivalenti pari a 1500 mentre abitualmente nella nostra zona l'ammontare è di 1100 ore equivalenti. La formula corretta per il caso in esame diventa la somma del contributo della serra e di quello dell'impianto ad inseguimento biassiale

$$275000 \text{ kWh/anno} + 316250 \text{ kWh/anno} = 591250 \text{ kWh/anno}$$

Figura 62 - Il particolare 3D della serra fotovoltaica (in alto) e quello dell'agrovoltaico (in basso)



- Partendo dal geotermico per l'edificio, per un giusto dimensionamento sono necessarie: le caratteristiche fisiche dell'edificio, quali l'orientamento e il grado di isolamento, e la valutazione delle perdite di calore attraverso le pareti e le superfici vetrate. Anche se in questa sede non verrà approfondito, si considera parte integrante del progetto la totale riqualificazione degli edifici. La casa nella proprietà dell'azienda agricola viene ristrutturata seguendo tutti i canoni della massima coibentazione rivolti al risparmio energetico. In questo modo l'utilizzo di una fonte

sostenibile per il riscaldamento viene ottimizzato e ne risulta la massima resa.

Il volume della casa è di 600 mq, si procede al dimensionamento prendendo una situazione peggiorativa teorica di -5°C in esterno. Considerando il fabbisogno termico comprendente sia il riscaldamento che la produzione di acqua calda ad uso sanitario per un totale di 60 kW.

Per la pompa di calore ad uso dell'impianto geotermico si è scelto un modello con una scheda tecnica nelle media comune ed un COP (Coefficient of performance) pari a 3,9. Dal terreno si estraggono 42 kW di cui 15 (= 60/3,9) sono di energia elettrica a servizio della pompa.

Per il dimensionamento delle sonde verticali la prima informazione da acquisire è la potenza termica (calore) estraibile dal terreno, a questo scopo si effettua un test di resa termica. Il dato medio considerato è 45 W/m ed è funzione delle caratteristiche geologiche del terreno.

Si rapportano i dati e si ottengono i metri di sonde necessarie

$$42 \text{ kW} / 45 \text{ W/m} = 930 \text{ m}$$

Arrotondando per eccesso e assumendo le SGV di 120 m ognuna, si ricava il numero totale delle sonde da installare che è pari a 9.

Notevoli ma variabili sono le esigenze energetiche sia termiche sia elettriche all'interno della serra fotovoltaica, soprattutto nell'ottica dell'applicazione della coltivazione della Chlorella. In particolare la richiesta termica deriva dall'esigenza di mantenere una temperatura costante di 25-30°C mentre quella elettrica è connessa all'esigenza di avere una costante illuminazione artificiale per garantire un tasso di crescita delle alghe economicamente vantaggioso. Sempre nell'ottica della scelta di cui sopra non vengono considerate le necessità di umidificazione dell'aria e irrigazione del terreno tipiche delle altre colture. Sono richiesti ingenti quantitativi energetici come meglio definito in seguito. Il calcolo del fabbisogno termico della serra è piuttosto complesso a causa del numero di variabili in gioco; per tale motivo, sono state sviluppate delle procedure semplificate per questo genere di



calcolo. Una formula di semplice impiego, ma che permette di ottenere solamente un valore indicativo è la seguente:

$$Q = K_r * S * (t_i - t_e)$$

Q = fabbisogno termico della serra (kcal / h);

K<sub>r</sub> = coefficiente globale di trasmissione del calore (kcal / h \* mq \* °C);

S = superficie totale della copertura (mq);

t<sub>i</sub> = temperatura interna della serra che si desidera mantenere (°C);

t<sub>e</sub> = temperatura esterna alla serra (°C).

Si tratta di una formula relativa alle perdite per conduzione attraverso il materiale di copertura. Il coefficiente K<sub>r</sub> di trasmissione del calore è un coefficiente globale che dovrebbe comprendere le più importanti fonti di dispersione del calore.

	Velocità del vento		
	Nulla	debole	forte
Film plastico	7,2	8	9
Vetro singolo	6	6,6	7,5
Doppio strato (vetro + plastica)	4,5	5	6
Hortiplus	4,5	4,9	5,6
Doppio strato (vetro + vetro)	3,5	4	5
Polycarbonato	3	3,4	3,8

Tabella 11 - Valori del coefficiente globale di trasmissione del calore (K<sub>r</sub>) in kcal / h \* m<sup>2</sup> \* °C

Il fattore S, inoltre, considera la copertura nel suo complesso: superfici trasparenti e non. Queste ultime, tuttavia, vengono considerate per metà. I limiti della suddetta formula, risiedono nel fatto che non sono considerate tutte le possibili fonti di dispersione. Questo è però accettabile se il dato così calcolato viene utilizzato per dimensionare l'impianto di riscaldamento della serra; in tale caso, infatti, il dimensionamento viene effettuato ipotizzando le peggiori condizioni ambientali. Queste si verificano nelle prime ore del mattino in inverno e ciò significa che:

- l'apporto dell'energia solare può essere trascurato,

- le perdite attraverso il suolo sono minime poiché la sua temperatura è allo stesso livello di quella dell'aria,
- l'attività della coltura è minima e non vengono effettuate operazioni colturali all'interno della serra,
- non si ricorre alla ventilazione e quindi le perdite per ricambio di aria sono limitate.

Le perdite per irraggiamento, che non sono trascurabili, possono invece essere comprese nel coefficiente  $K_r$  in quanto risultano variabili a seconda del materiale di copertura.

Per quanto concerne i valori di temperatura da impiegare nella formula, il valore di  $t_i$  corrisponde alla temperatura più alta che si vuole mantenere all'interno della serra durante la notte. Il valore di  $t_e$ , invece, dipende dalla presenza o meno di un impianto per il riscaldamento integrativo: se è prevista l'installazione,  $t_e$  può corrispondere alla temperatura minima assoluta raggiunta in zona negli ultimi anni, in caso contrario  $t_e$  sarà uguale alla temperatura media minima stagionale calcolata su più anni.

Senza entrare nei calcoli specifici si intuisce già dagli ordini di grandezza che dimensionare l'intera superficie della serra (oltre i 2000 mq) per la coltivazione massiva della biomasse algali risulta svantaggioso senza un impianto di riscaldamento integrativo.

Quindi si decide di adottare un cluster così organizzato: 9 reattori con automatismi vari (controllo pH, temperatura, ecc), un chiller ed una soffiante.

La serra fotovoltaica, modello SFIE, ha disponibile l'altezza minima (che deve essere di almeno 4 metri per permettere la pulizia dei reattori) solo al colmo. Si sceglie di concentrare l'impianto per le alghe nella navata centrale, adeguatamente coibentata e per una superficie totale molto più limitata, circa 240 mq. In questo modo si abbatta notevolmente il fabbisogno termico e si può rivalutare l'impiego del geotermico. Nella restante parte della serra si possono coltivare fragole oppure orticole che richiedono temperature inferiori, sostenibili anche da una bassa entalpia.

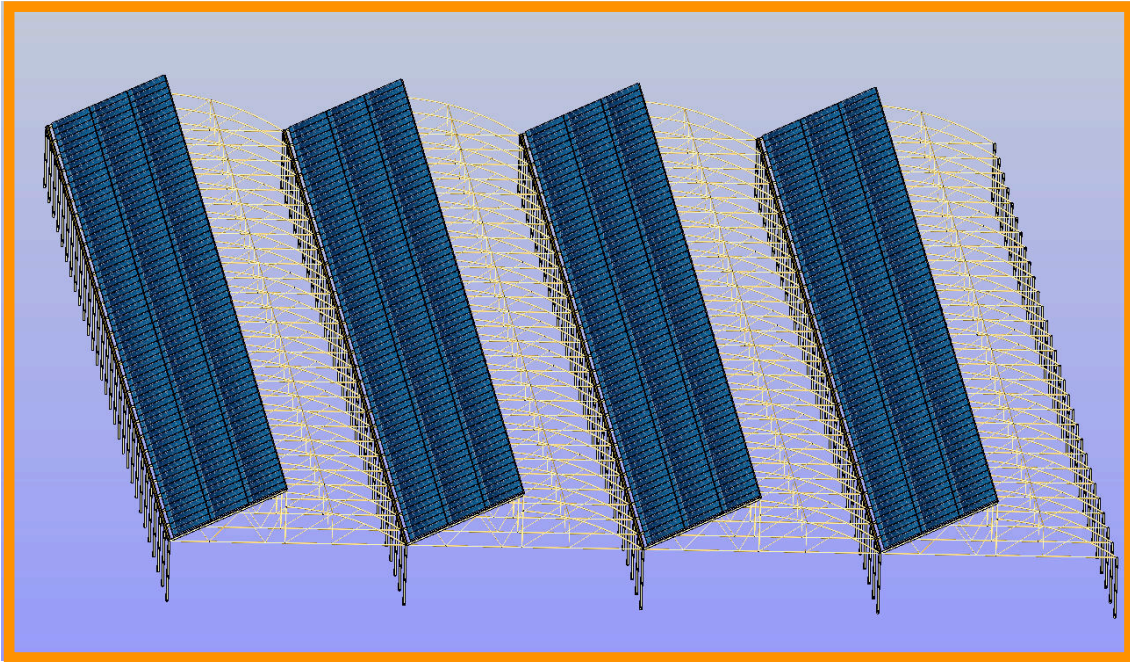


Figura 63 - Modellizzazione 3D della serra modello SFIE

Nel caso si prenda invece in considerazione il modello SFU, non si hanno problematiche riguardo all'altezza, ma rimane sempre il fatto che la coltivazione delle biomasse algali deve essere circoscritta ad una zona definita e molto ben coibentata.

Concludendo il dimensionamento del geotermico si vede che il numero delle SGV va almeno triplicato.

## VALORE ETICO AGGIUNTO

Dovendo fare un bilancio finale del progetto analizzato si ripensi brevemente allo sviluppo delle forme di energia dal carbone ad oggi.

La tendenza è sempre stata quella di concentrare le produzioni in grandi impianti per poi ricorrere alla distribuzione tramite le rete elettrica. Questa modalità ha molti limiti, due i principali: svolgendo i processi in un unico sito si aumenta l'impatto ambientale, come inquinamento nelle sue diverse forme, rendendo le zone limitrofe non fruibili soprattutto a livello residenziale; l'utilizzo della rete elettrica è poi soggetto a maggiori possibilità di perdite e dispersioni, dovendo spesso percorrere molti chilometri.

Questa tendenza è stata utilizzata inizialmente con le fonti fossili e con lo stesso schema veniva riproposta per le fonti *rinnovabili* in un primo periodo. Come esempio si visualizzino i grandi impianti idroelettrici, eolici o fotovoltaici. In Italia c'è stata un'installazione selvaggia di grandi centrali idroelettriche arrivando ad avere il primato a livello europeo, ma con dei costi ambientali non indifferenti. Il fotovoltaico ha suscitato una serie di problematiche: da quando sono stati incentivati gli impianti a terra, è cominciata la giusta polemica sulle ampie distese di pannelli che, a livello economico, supportate dagli incentivi, erano più remunerative, ma sottraevano terreno all'agricoltura penalizzando le produzioni nazionali, facendo di conseguenza aumentare i costi.

Recentemente sono state considerate ulteriori soluzioni che coniughino le esigenze energetiche con le fonti *rinnovabili*. La risposta che oggi viene data è il contenimento della grandezza degli impianti per incentivare le piccole produzioni che puntano a rendere autosufficiente il produttore, o per lo meno a fornire le zone limitrofe, utilizzando la rete più che altro come bilanciamento e non per il trasporto dell'energia. Dal megawatt al milliwatt è uno slogan che riassume efficacemente il concetto.

Il lavoro studiato avrà chiaramente dei picchi di produzione alti in determinati periodi dell'anno e dei picchi negativi in altri, ma in particolare dovrà servire ad attuare una microgenerazione integrata con l'attività agricola. Svolta questa funzione, possiamo ritenere si abbia raggiunto lo scopo.

## BIBLIOGRAFIA

- Le fonti rinnovabili 2010 - Ricerca ed innovazione per un futuro low carbon (Enea, 2010)
- Secondo Piano Attuativo del Piano Energetico Regionale 2011-2013 - Sintesi non tecnica (Regione Emilia Romagna)
- Strategia energetica nazionale: per un'energia più competitiva e sostenibile - Documento per consultazione pubblica (2012)
- Dossier Micro-Idroelettrico (Progetto RES&RUE Dissemination)
- Strategie di azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia (Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio)
- Il micro idroelettrico tramite l'impiego della vite idraulica: proprietà e applicazioni (Zaramella, Tregnaghi)
- Perizia ittologica sulla tollerabilità della vite perpetua a forza idraulica protetta da brevetto e prodotta dalla ditta Ritz-Atro Pumpenwerksbau GmbH (Dr. Hartmut Späh)
- Relazione idrologica idraulica - Realizzazione di un impianto idroelettrico ad acqua fluente: produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile - Studio tecnico Ing. Furio Cinotti (2011)
- Sintesi non tecnica - Realizzazione di un impianto idroelettrico ad acqua fluente: produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile - Studio tecnico Ing. Furio Cinotti (2010)
- Analisi tecnica ed economica di sistemi fotovoltaici a concentrazione e agrovoltaici (Tesi di laurea di Valerio Grazia, anno 2011-2012)
- Impianto agrovoltaico integrato con la produzione agricola (Dott. Nardino Mosconi, 2012)
- I sistemi fotovoltaici (Tesi di laurea di Niccolò Antonello, anno 2009-2010)
- Le tecnologie fotovoltaiche (Tesi di laurea di Nicola Persegona, anno 2010-2011)
- Tipologie di serre e tecniche di coltivazione (Pietro Piccarolo, 2008)
- Le pompe di calore (Idraulica n.33, dicembre 2007)
- Geotermia per la climatizzazione (Francesco Tinti, 2008)
- L'energia geotermica: una fonte rinnovabile e sicura (Ciro Manzo)
- La geotermia in Italia (Analist)

- Sfruttamento dell'energia geotermica - Allegato E - Piano energetico Ambientale Provinciale (Provincia di Ascoli Piceno, 2006)
- Cos'è l'energia geotermica? (Mary H. Dickson, Mario Fanelli - Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR , Pisa, 2004)
- Le microalghe nel settore dei biocombustibili. Sviluppo e sostenibilità (Energia, ambiente e innovazione, 2012)
- Produzione di energia ed elettricità da alghe (Tesi di laurea di Antonio Mazzitelli, anno 2009-2010)
- Studio delle caratteristiche di crescita di microalghe in impianti indoor ed outdoor per la produzione di biomassa algale pregiata (Tesi di dottorato di ricerca di Marianna Caiazza)
- Scenario globale delle fonti di energia, rinnovabili e non: prospettive della biomassa algale (Tesi di laurea di Lorenzo Meini, anno 2010-2011)
- 6° censimento generale dell'agricoltura in Emilia Romagna (Regione Emilia Romagna, 2012)
- Curve di carico (Prof. Marco Fiala)
- Efficienza energetica nelle serre (ARSIA DIAF, 2002)
- Dai megawatt ai milliwatt - La gestione ambientale nel tessuto economico della provincia di Latina. Proposte per uso efficace delle risorse (Bioeco)
- Risparmio energetico ed energie alternative nelle aziende agricole: valutazioni di applicabilità e analisi energetiche LCA nel caso studio della provincia di Forlì-Cesena (Tesi di laurea di Chiara Mantellini, anno 2002-2003)
- [www.enea.it](http://www.enea.it)
- [www.regione.emilia-romagna.it](http://www.regione.emilia-romagna.it)
- [www.daonline.info](http://www.daonline.info)
- [www.opusetvita.com](http://www.opusetvita.com)
- [www.ritz-atro.de](http://www.ritz-atro.de)
- [www.vlh-turbine.com](http://www.vlh-turbine.com)
- [www.pianteofficinali.org](http://www.pianteofficinali.org)
- [www.sergiofiorenza.it](http://www.sergiofiorenza.it)
- [www.osservatorioeconomico.com](http://www.osservatorioeconomico.com)
- [www.revolutionenergymaker.com](http://www.revolutionenergymaker.com)
- [www.fippo.org](http://www.fippo.org)

- [www.hydrovolts.com](http://www.hydrovolts.com)
- [www.separeco.it](http://www.separeco.it)
- [www.andritz.com](http://www.andritz.com)
- [www.wetengineering.com](http://www.wetengineering.com)

## RINGRAZIAMENTI

Il mio ringraziamento sentito va, innanzitutto, alla proprietaria dei terreni della Salera, la Signora Ravanelli, che ci ha fornito una base reale su cui realizzare questa tesi e a tutte le aziende che, a loro modo, con cortesia ed entusiasmo, hanno contribuito alla sua stesura.

A Revolution Energy Maker per la disponibilità nel condividere i dati e l'esperienza sui loro innovativi impianti agrovoltaici.

Ad Opus et Vita per i progetti e le indicazioni sulle serre fotovoltaiche.

All'azienda Separeco per il contributo essenziale sulle microalghe.

A Protosa, in particolare: al reparto 4DP composto da Lorenzo, Emanuele, Manuel e Valentina; a REM nelle persone di Chiara, Alberto e Marco.

Un grazie sincero a Roberto Saponelli, che mi ha seguito nel lavoro e aiutato nella quadratura del cerchio, facendomi comprendere il significato, di conseguenza anche il potenziale, della microgenerazione integrata.

Infine, a me.