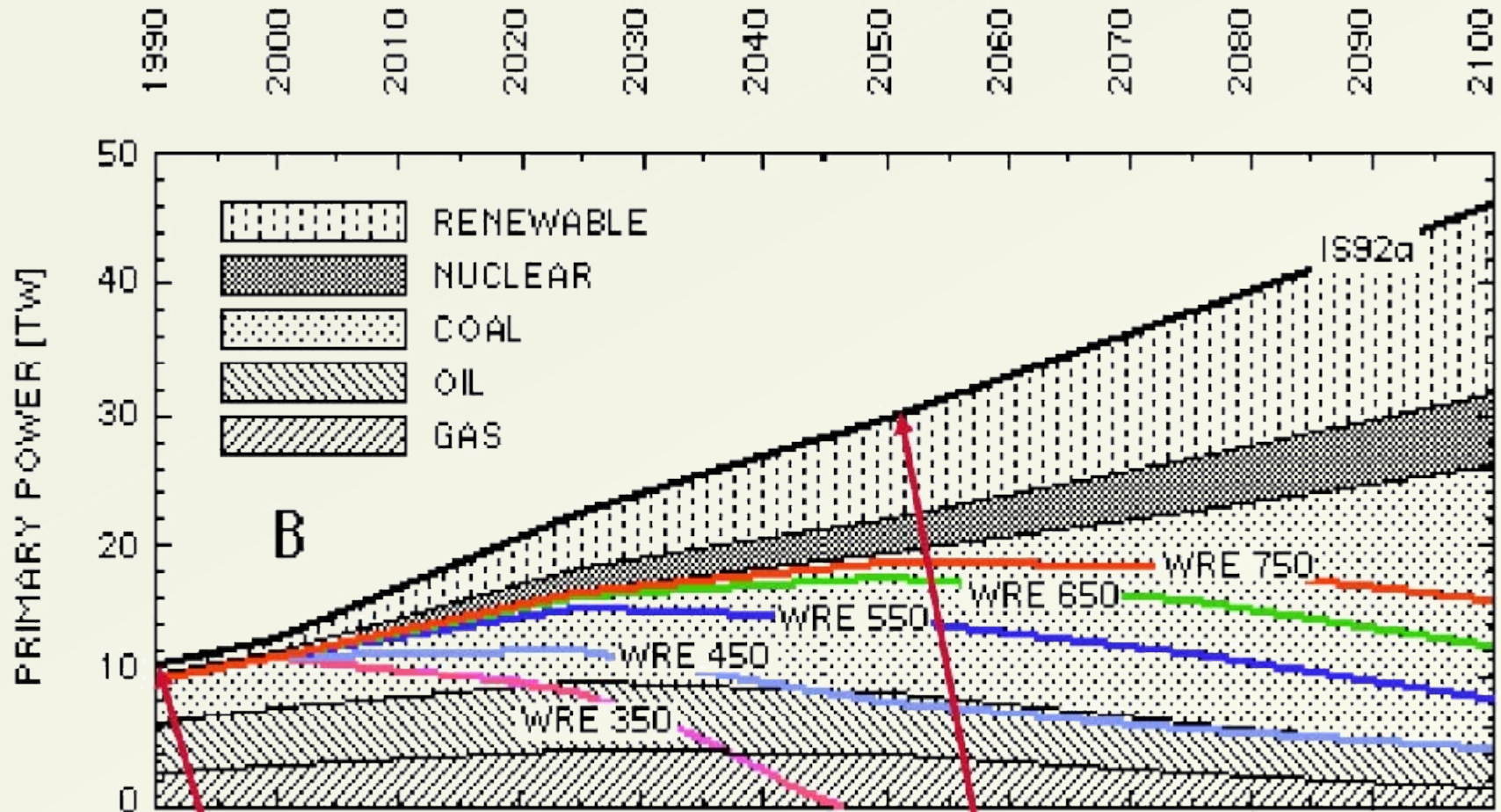


CSun 1500



Introduzione - Previsioni di consumo di energia nel mondo



1990: 12 TW 2050: 28 TW

Introduzione - Energie rinnovabili

- ▶ Producibilità potenziale delle principali fonti rinnovabili



- ▶ La fonte geotermica è limitata dalle capacità di perforazione
- ▶ La fonte eolica sta riscontrando molte ostilità per l'impatto ambientale
- ▶ La fonte solare ha una producibilità estremamente superiore alle altre:
 - ▶ Il sole in un giorno butta sul Sahara tutta l'energia che il mondo consuma in un anno
 - ▶ Allo stato attuale è largamente sottoutilizzato e quindi con enormi possibilità di crescita

Introduzione - Energia solare



Superficie necessaria per produrre l'energia usata dal nord America con la tecnologia attuale

Introduzione - Energia solare

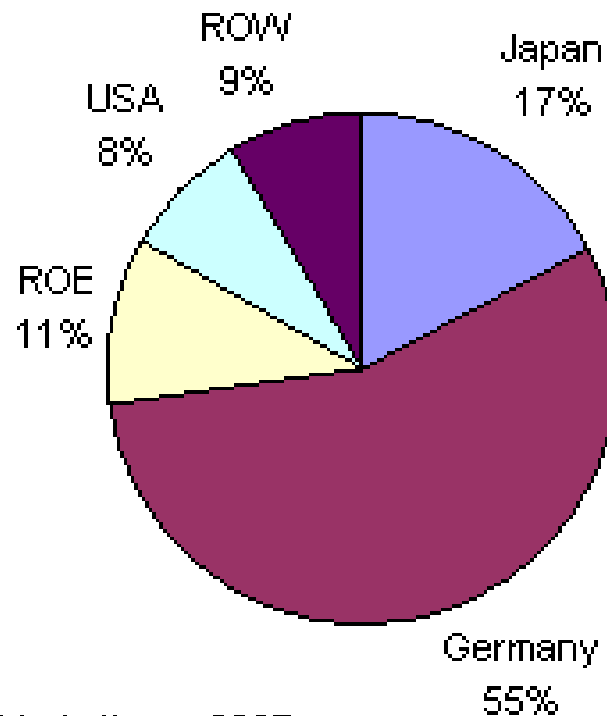


Superficie necessaria per produrre l'energia usata da tutto il mondo con la tecnologia attuale

Mercato fotovoltaico

2006 PV Installations By Market

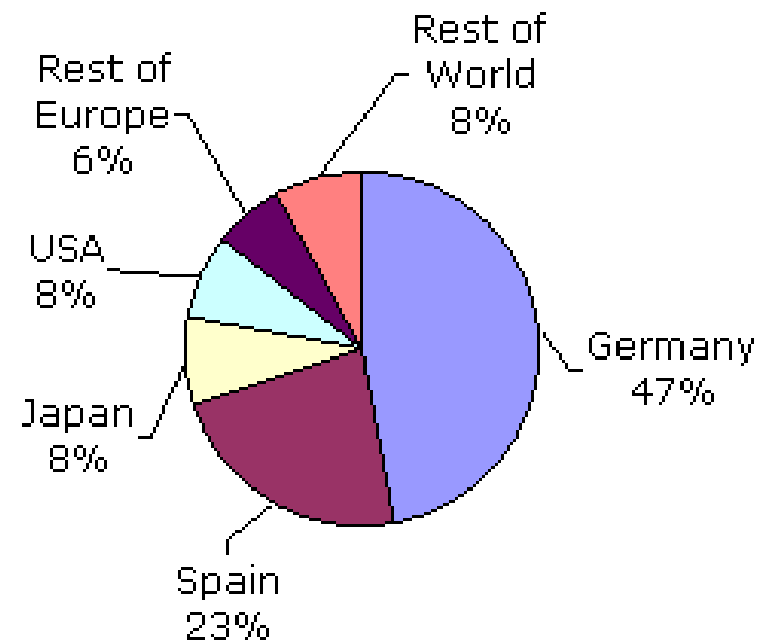
Total: 1744 MW



Source: Marketbuzz 2007

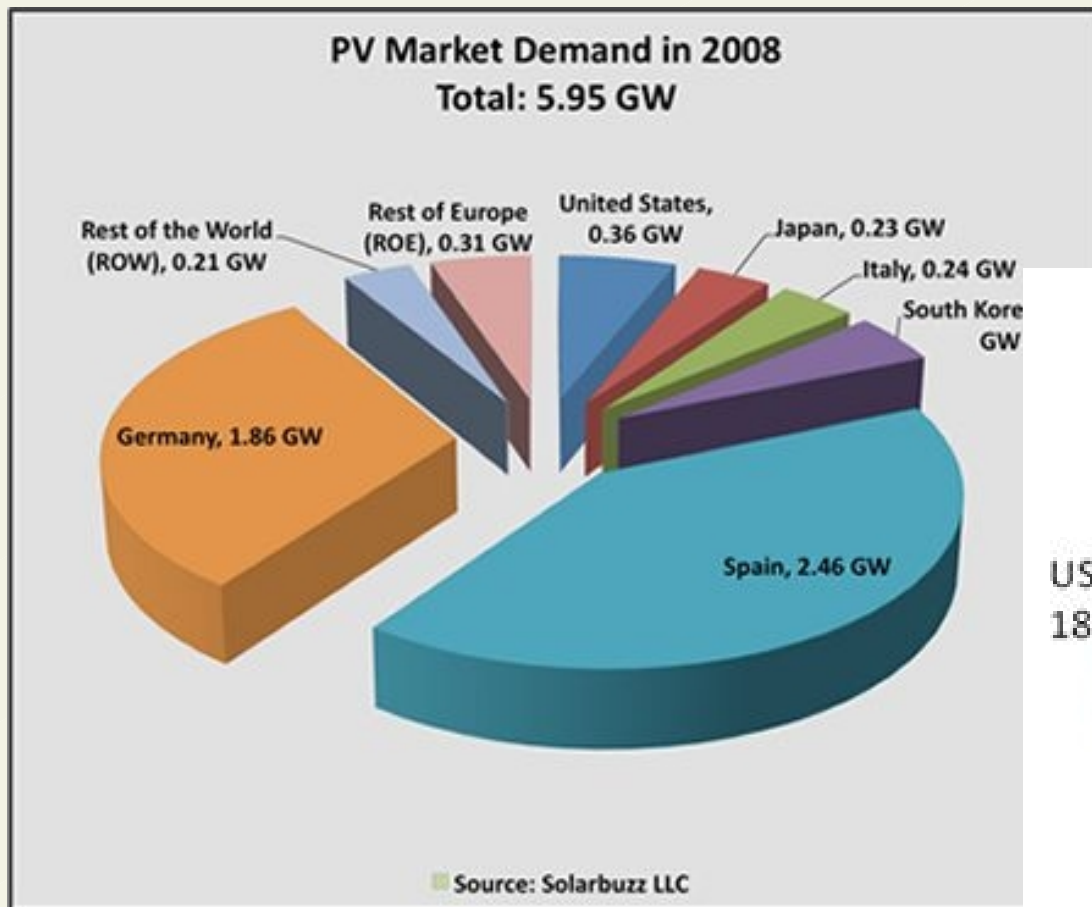
- Mercato pilotato dagli incentivi
 - ♦ La Germania ha molto meno sole degli USA, ma incentivi più alti

World Photovoltaic Market in 2007 2826 Megawatts



Copyright: Solarbuzz LLC

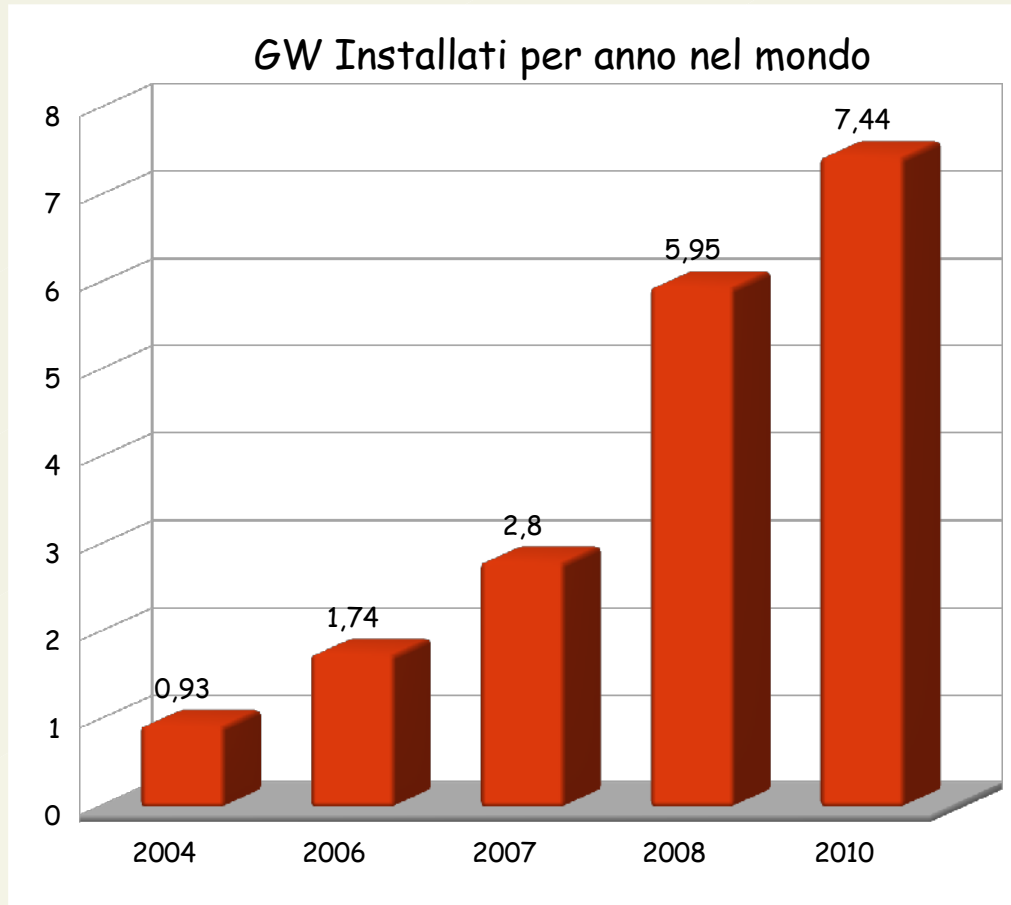
Mercato fotovoltaico



- L'Italia ricopre una piccola percentuale, ma i suoi obiettivi sono:
 - 3GW entro il 2016
 - 9,5GW entro il 2020



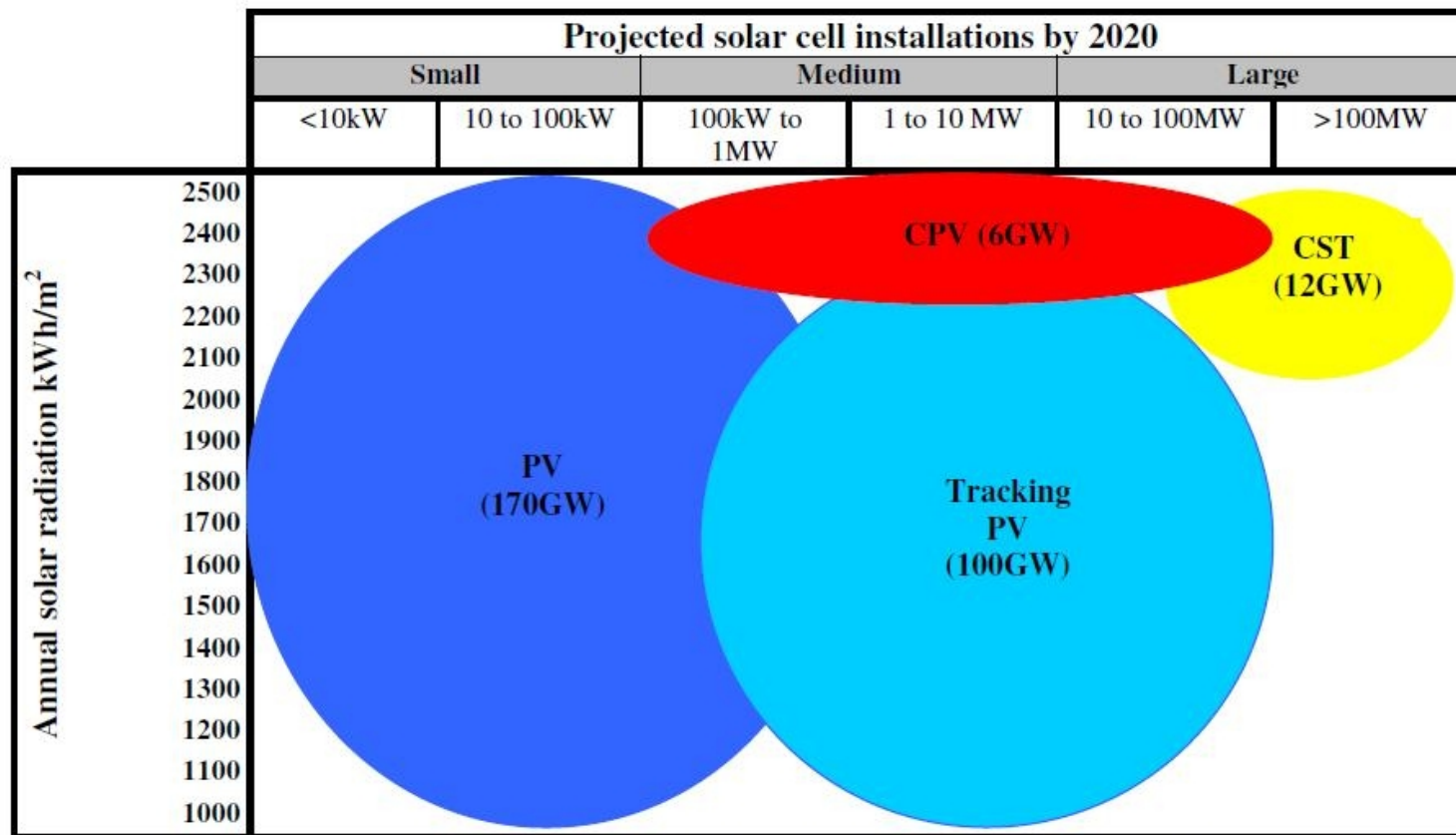
Mercato fotovoltaico



- ➔ Mercato mondiale per un totale di circa 30 miliardi di dollari
- ➔ Mercato italiano di 800 milioni di Euro nel 2008 e 1200 milioni nel 2009

Mercato fotovoltaico

Volume del mercato FV Globale al 2020



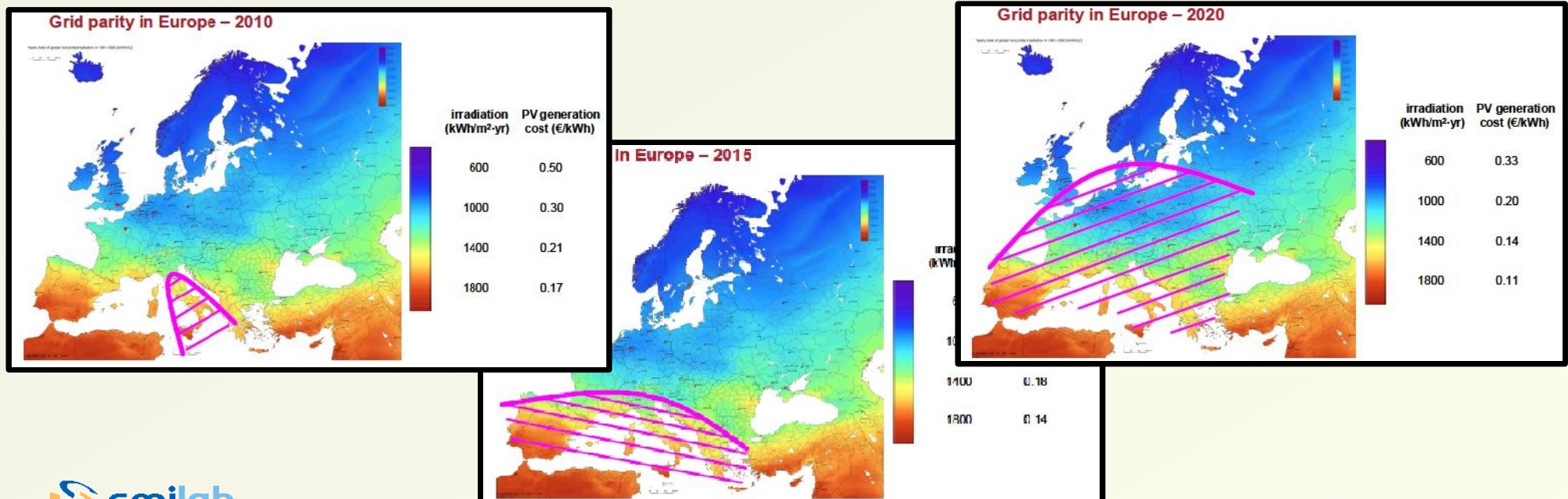
Solar technology penetration based on location and market segments (source: Prometheus Inst. and Greentech Media)

Grid Parity

- La Grid Parity si ottiene quando l'energia elettrica di un sistema fotovoltaico ha un costo pari a quello dell'energia elettrica da fonti convenzionali
 - Dipende dal costo iniziale dell'impianto e dai costi di manutenzione
 - Dipende dal tempo di vita stimato dell'impianto
 - Dipende fortemente dal luogo di installazione
 - Dipende dal costo dell'energia convenzionale in quel luogo



E' l'obiettivo unico dei sistemi fotovoltaici
ed è indipendente da eventuali incentivi



Soluzioni fotovoltaico esistenti

Moduli piani convenzionali

Fissi



Ad inseguimento

1 Asse



2 Assi



+30-40% di energia prodotta

Problemi principali: bassa efficienza e carenza di silicio

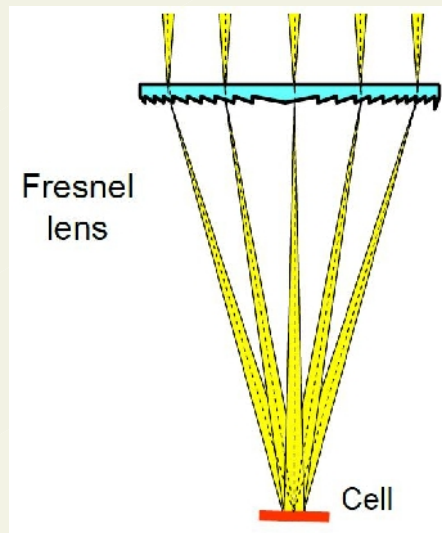
Vantaggi: tecnologia matura e affidabile

Soluzioni fotovoltaico esistenti

Sistemi a concentrazione

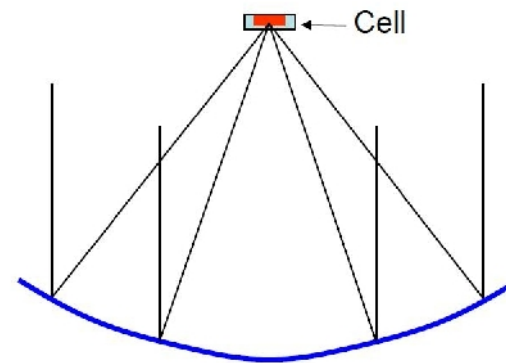
*Richiedono sempre un
inseguitore a 2 assi*

Rifrattivi

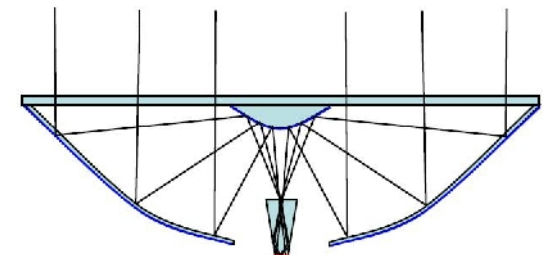


Riflettivi

Parabolic mirror



Cassegrain two-mirrors



- Vantaggi:

- Il materiale fotovoltaico è ridotto del fattore di concentrazione
- Si possono usare celle ad alta efficienza, ma più costose
- Già competitivi con i sistemi piani

- Svantaggi:

- Tecnologia agli inizi - Poca esperienza

Sistemi a concentrazione rifrattivi



Sistemi a concentrazione rifrattivi



Sistemi a concentrazione rifrattivi



Sistemi a concentrazione rifrattivi

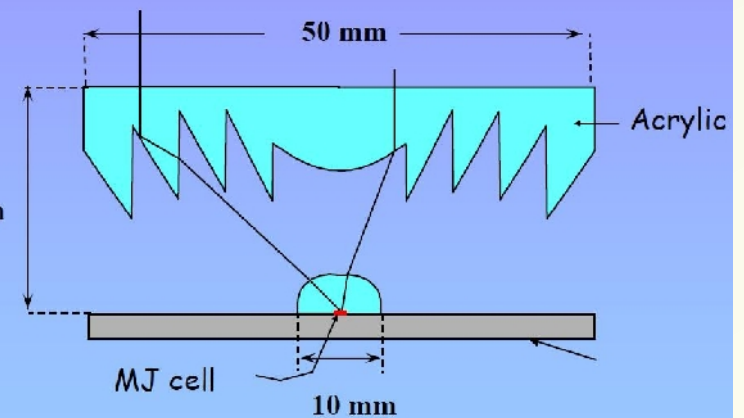


Fraunhofer

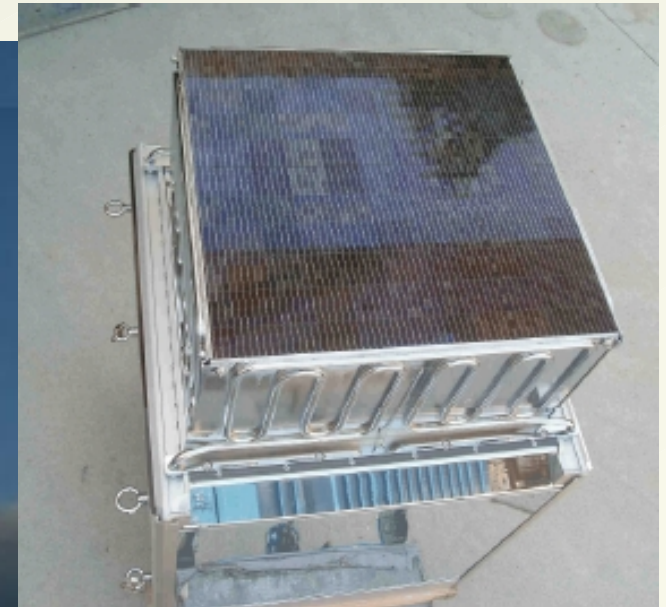


ENEA

1000 suns, Isofoton – MJ solar cells

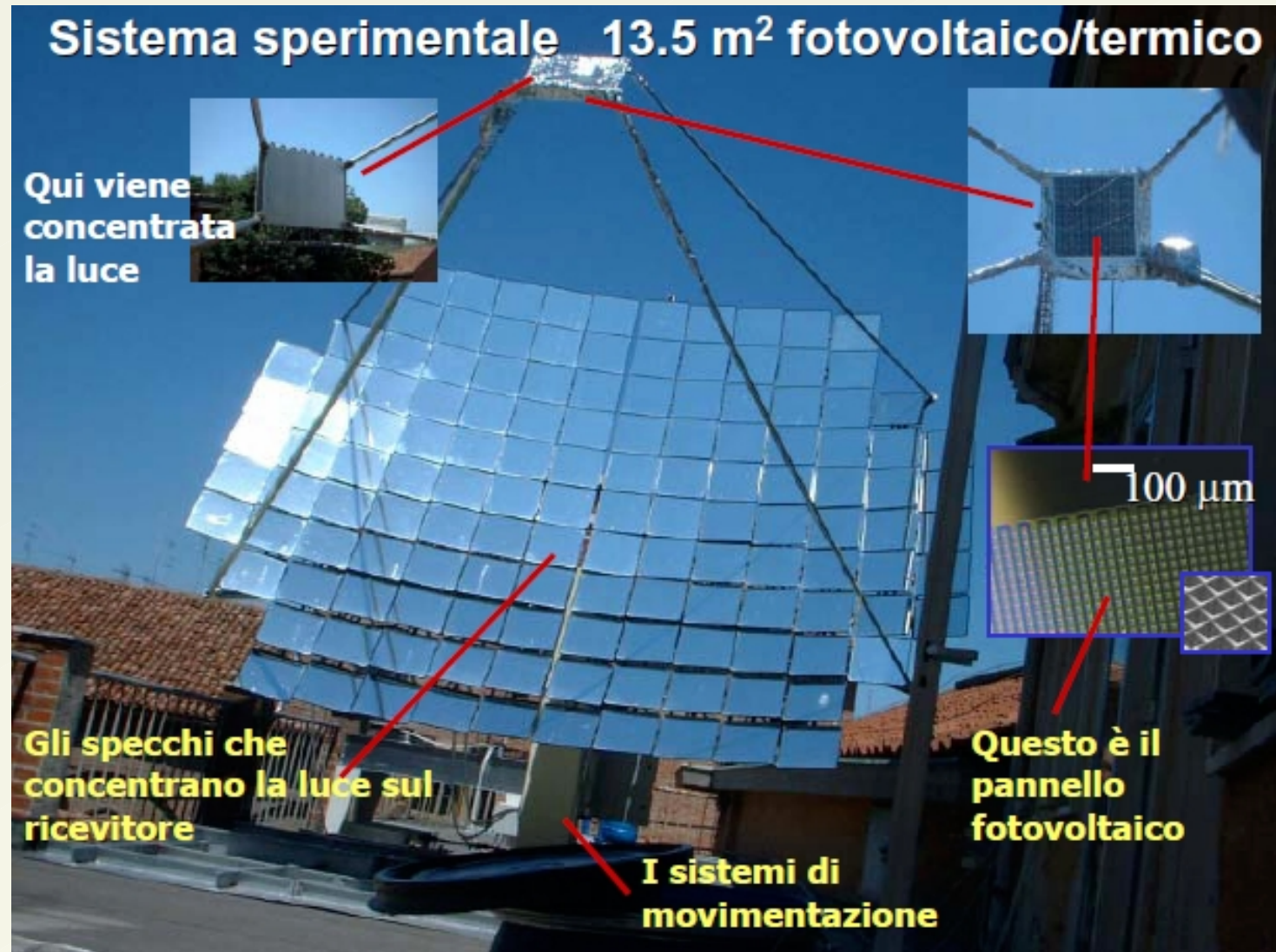


Sistemi a concentrazione riflettivi



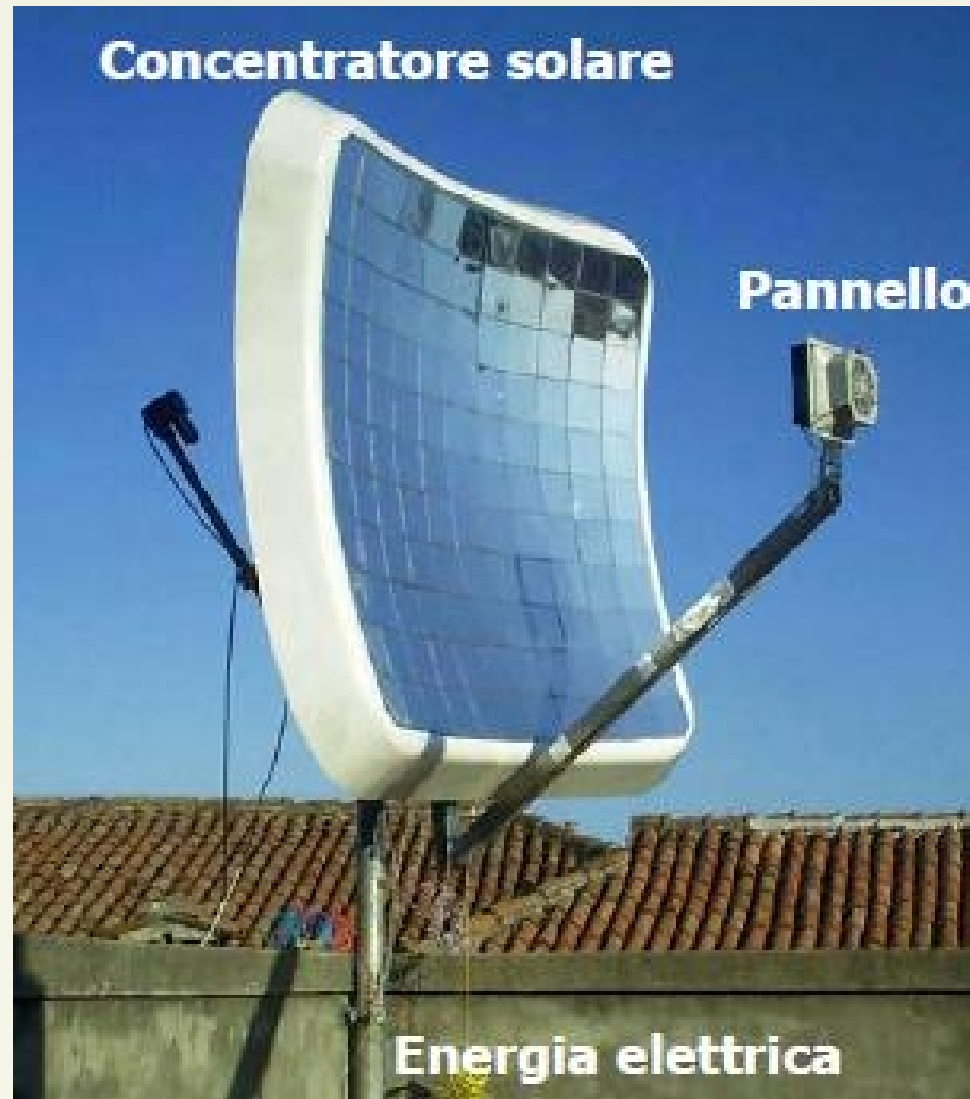
Dimensione: 130m² Potenza: 33KW

Sistemi a concentrazione riflettivi



Università di Ferrara Potenza: 3KW Superficie sfaccettata

Sistemi a concentrazione riflettivi



Università di Ferrara Potenza: 0,6KW Superficie sfaccettata

Sistemi a concentrazione riflettivi



GreenField Solar

Potenza: 1.5KW

Produzione energia elettrica e termica

Soluzione adatta ad uso domestico

Sistemi a concentrazione riflettivi

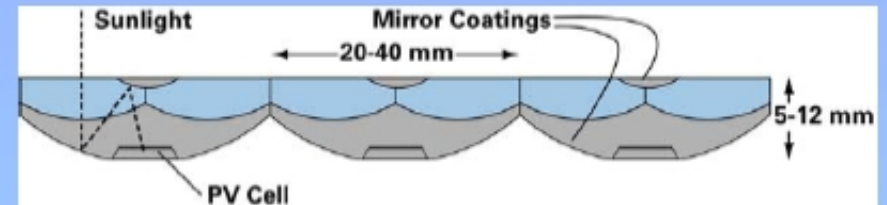


Sistema Cassegrain - Esternamente simile ai rifrattivi

Sistemi a concentrazione riflettivi



Gen-2
(solid version; 1 mm² cells)



Sistemi a concentrazione

	Rifrattivi	Riflettivi Cassegrain	Riflettivi Parabolici
Efficienza ottica	+	+	++
Efficienza complessiva	=	=	=
Compatibilità pannelli piani	Si	Si	No
Gestione termica	Semplice	Semplice	Difficile
Recupero energia termica	No	No	Si
Utilizzo radiazione globale	No	No	No
Aspetti critici	Durata dei materiali plastici Efficienza ottica Precisione puntamento sole		Realizzazione parabola Efficienza specchi Affidabilità Dense array Precisione puntamento sole
Presenza sul mercato	Buona	Pochi	Scarsa
Costo	Non noto		

Soluzione di interesse



Perchè:

- Ha un elevato contenuto di meccanica
- Ci sono molti elementi uguali
- Si può recuperare l'energia termica
- E' facilmente manutenibile
 - I ricevitori si possono sostituire
 - I lamierini lucidati possono essere rimossi e mandati a lucidare
- E' montabile da 2 persone
- Ha un elevato contenuto di materiali riciclabili
- Il costo sembra essere contenuto

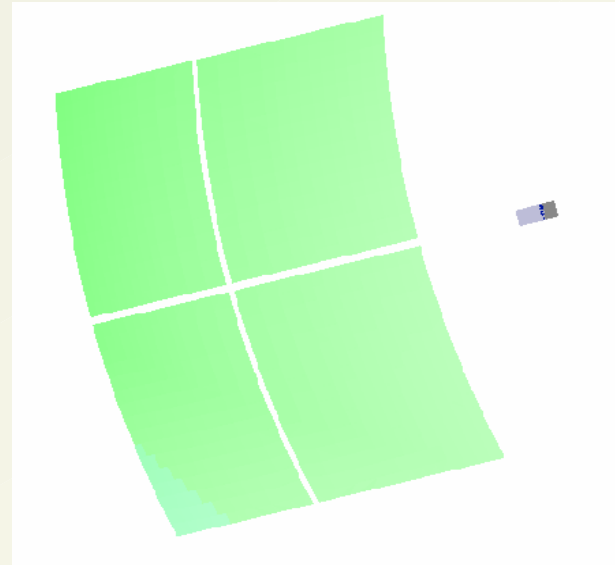
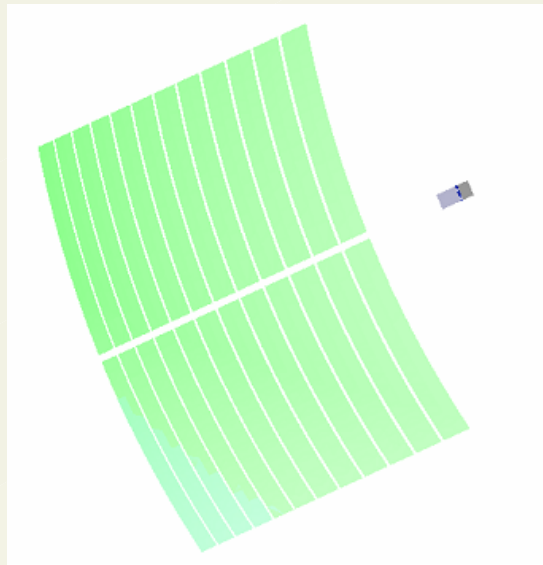
Obiettivi

- Efficienza elettrica complessiva
 - > 20% entro il 2010
 - Dal 21 al 25% entro il 2015
- Concentrazione compresa tra 500 e 750
- Ricevitore di tipo "Dense Array" con celle a tripla giunzione facilmente sostituibile
- Meccanica con funzioni di messa in posizione di manutenzione
- Raffreddamento a liquido con possibilità di recupero del calore
- Sistema di controllo a microprocessore con:
 - Inseguimento a 2 assi ibrido sensore+efemeridi
 - Acquisizione sensori (anemometro, pireliometro)
 - Teleassistenza e comunicazione Ethernet, GPRS, GPS, Bus di campo
 - Integrazione Web Server per rilevamento dati

Obiettivi

- Montabile da non più di 2 persone in una giornata
- Vita operativa maggiore di 20 anni
- Utilizzo di materiali al 90% riciclabili
- Costo complessivo:
 - Nel breve periodo < 4€/Wp
 - Nel medio periodo compreso fra 2 e 2.5€/Wp

Soluzioni di particolare interesse



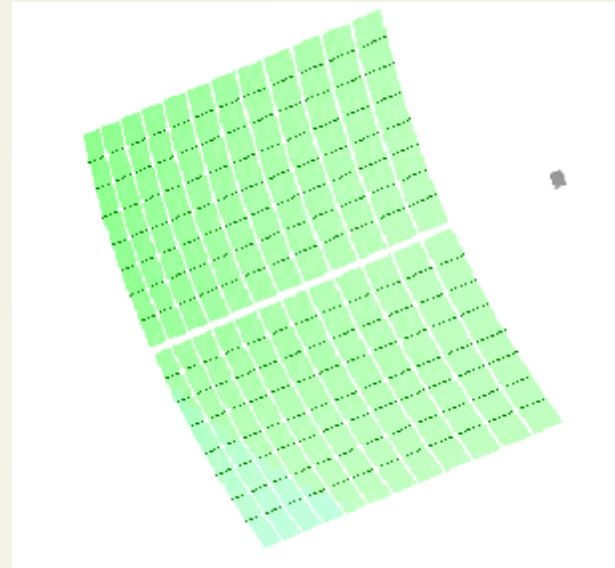
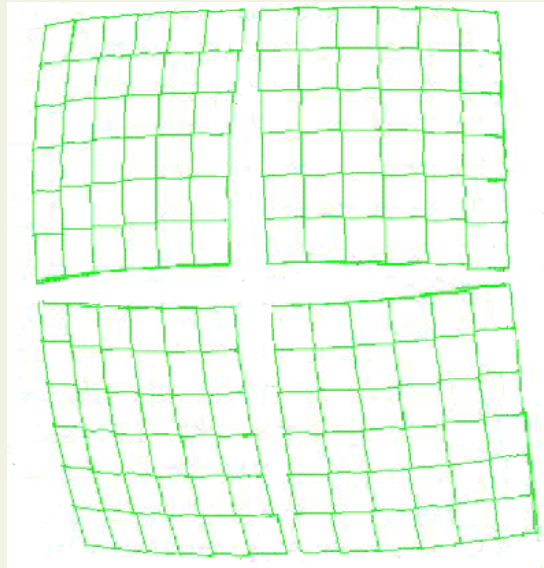
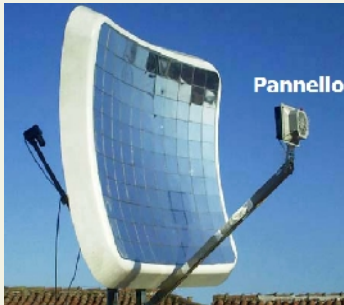
- **Vantaggi particolari**

- Fattore di concentrazione molto elevato nei limiti delle tolleranze e degli errori di posizionamento
- Nel secondo caso un numero inferiore di elementi, ma di dimensioni maggiori

- **Svantaggi**

- Necessita di un omogenizzatore perché la radiazione sulle celle non è uniforme

Soluzioni di particolare interesse



- **Vantaggi particolari**

- Non vi è necessità dell'omogenizzatore
- Nel secondo caso si introducono i vantaggi delle soluzioni precedenti, ma non è stato simulato

- **Svantaggi**

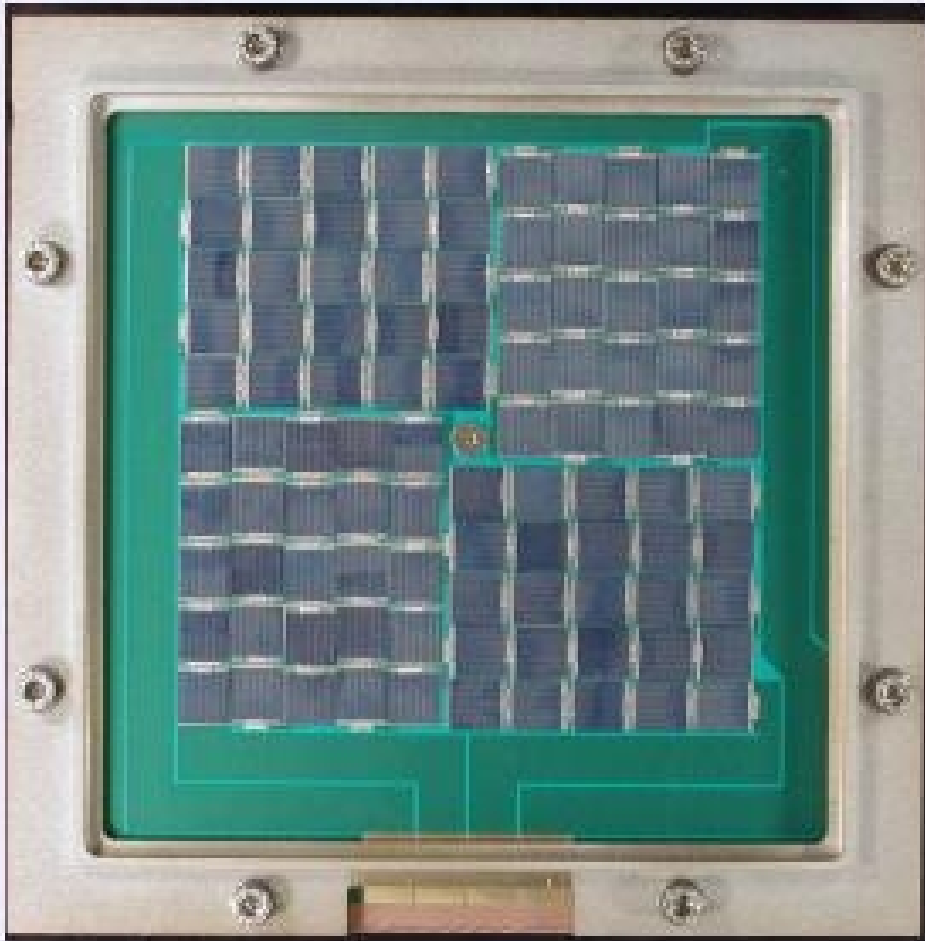
- Fattore di concentrazione pari al numero di facce piane
- Come ottenere delle superfici sfaccettate in modo economico?

Elementi in comune alle 4 soluzioni

Fortunamente le 4 soluzioni sono diverse concettualmente, ma molto simili realizzativamente. Di seguito le parti che possono essere progettate indipendentemente dalla soluzione scelta

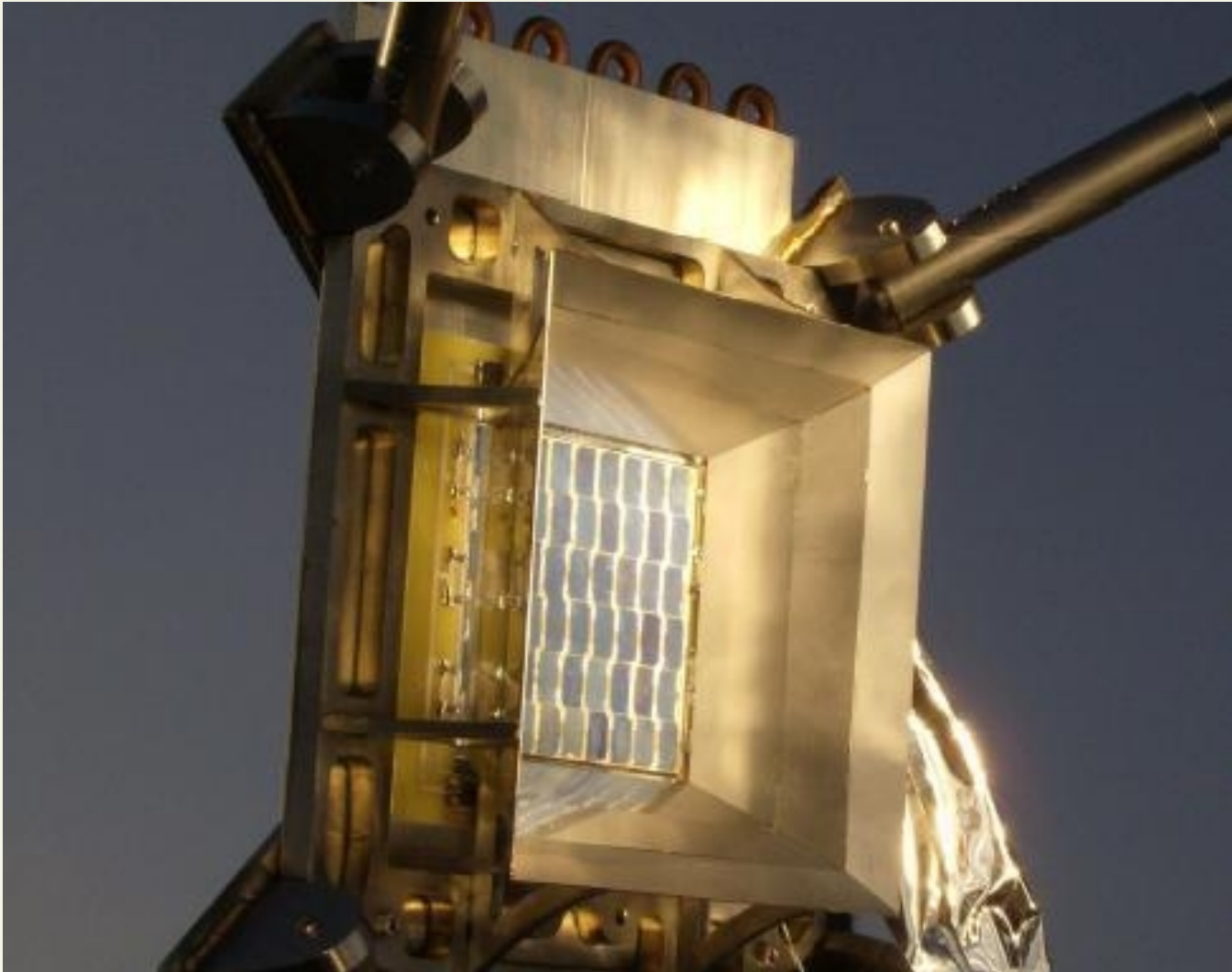
- Ricevitore
 - L'array di celle solare è sempre lo stesso per tutte le soluzioni
 - Nei primi due casi va aggiunto l'omogenizzatore
- Sistema di controllo
 - Centralina di controllo
 - Inverter
- Meccanica dell'inseguitore
- Sistema di raffreddamento

Ricevitore



Ricevitore raffreddato ad aria
Dimensione simile a quello ipotizzato

Ricevitore



Ricevitore raffreddato a liquido con
omogenizzatore minimale

Ricevitore

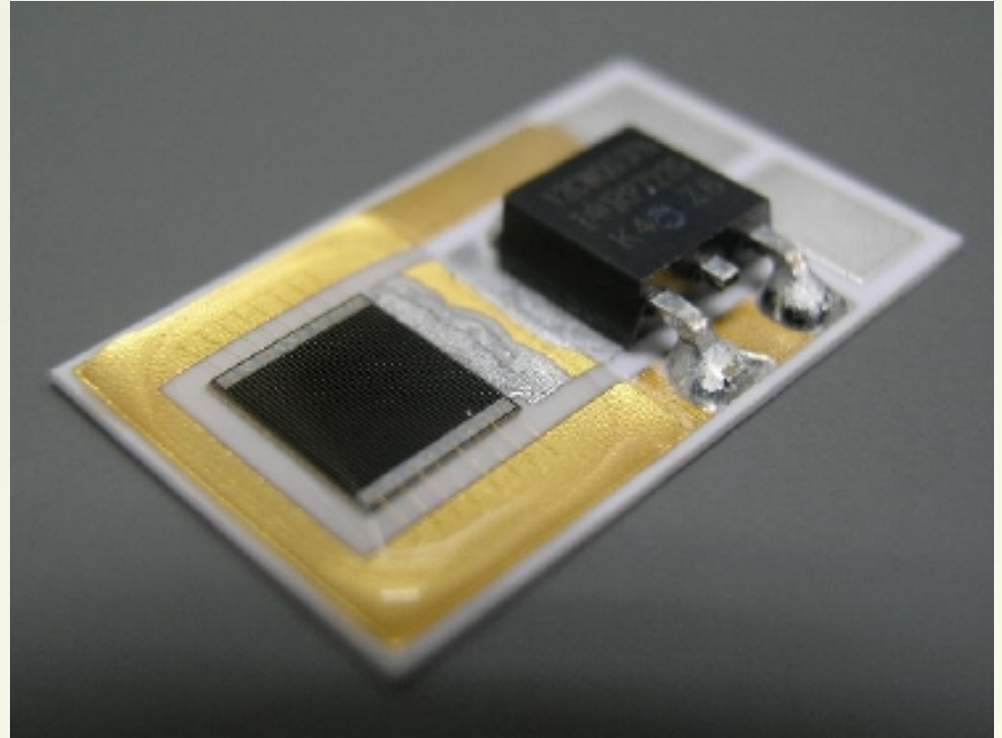
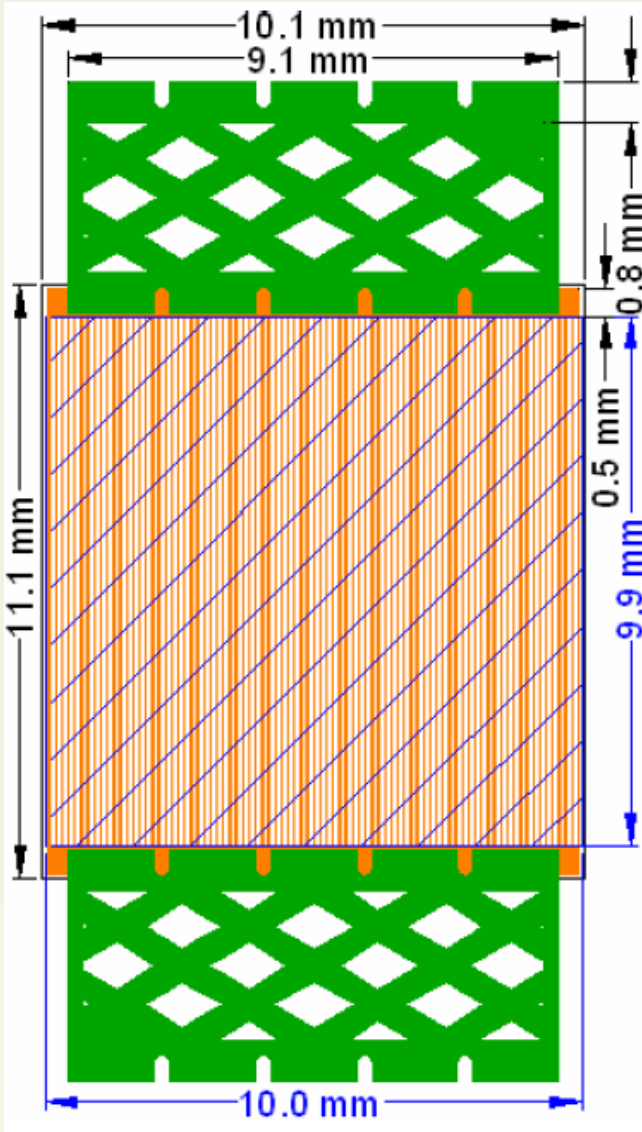
- Tecnologia celle fotovoltaiche
 - Silicio
 - Basso costo
 - Efficienza limitata
 - Non particolarmente adatto alla concentrazione
 - Silicio VMJ
 - Usato da GreenField
 - Efficienza limitata al 20%
 - Sembra adatto alla concentrazione
 - Tripla giunzione
 - Costo elevato $\rightarrow 10\$/\text{cm}^2$ (*Silicio* $< 0.1\$/\text{cm}^2$)
 - Efficienza elevata $\rightarrow$ massimo raggiunto $> 40\%$
 - Adatte ad elevati fattori di concentrazione
 - Stima efficienze raggiungibili $\rightarrow > 50\%$

Ricevitore - Esempi di celle tripla giunzione



Cesi - Milano

Ricevitore - Esempi di celle tripla giunzione



Emcore - USA

Spectrolab - USA

Ricevitore

Serpentina

Dense Array

Dimensioni: 15x15cm
di cui 10x10cm di celle

Raffreddamento e
Collegamenti elettrici

Supporto

Lunghezza = 1.5-1.9 volte la
dimensione dell'array di celle

Dimensioni indicative: 20x20x10cm

Versione con omogenizzatore

Ricevitore

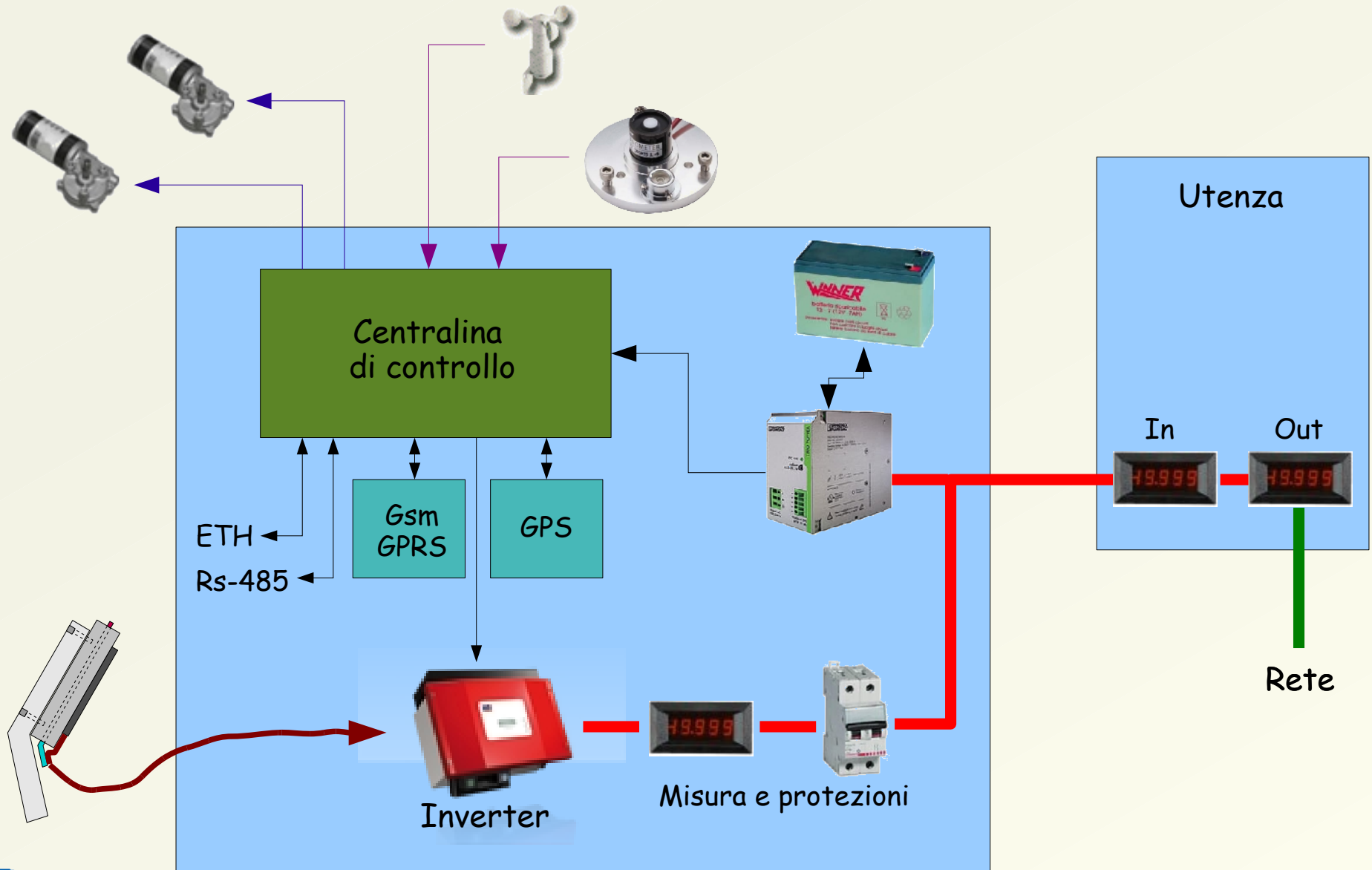
Efficienza

- Indicativamente sull'80% → Una cella al 28% rende il 22%
→ Una cella al 35% rende il 28%

Stima indicativa costi

	<i>Concentrazione = 750</i>		<i>Concentrazione = 500</i>	
• Celle	100 x 7€	€ 700	144x7€	€ 1.008
• Diodi bypass	100 x 1€	€ 100	144x1€	€ 144
• Substrato		€ 10		€ 12
• Dissipatore		€ 58		€ 58
• Cavi		€ 10		€ 10
• Connettori		€ 30		€ 30
• Montaggio		€ 50		€ 75
• Omogenizzatore		€ 0		€ 0
Totale		€ 958		€ 1.337

Sistema di controllo



Sistema di controllo

Stima indicativa costi

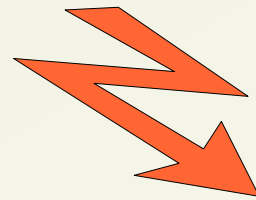
• Centralina	€ 100
• Inverter	€ 800
• Alimentatore	€ 50
• Batteria	€ 12
• Misuratore MID e UTF	€ 180
• Anemometro	€ 100
• Sensore per puntamento	€ 150
• Motori	€ 200
• Quadro	€ 70
• Protezioni	€ 35
• Cablaggio	€ 100

Totale	€ 1.797
--------	---------

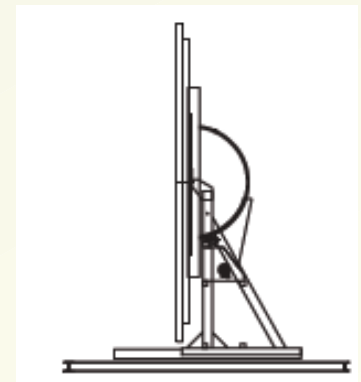
I moduli GSM e GPS sono considerati opzionali

Meccanica

Meccanica di riferimento



Soluzione preferita



Meccanica

- Obiettivi
 - Costo contenuto
 - Errore complessivo angolo di posizionamento $< 4\text{mrad}$ (0.3°)
 - 5m di altezza massima indicativa per la taglia da 1.5KW
 - Posizionamento di sicurezza antigrandine (sensore???) e antivento
 - Facile installazione e possibilità di montaggio sul tetto
 - Facile manutenzione
 - Semplice rimozione degli elementi riflettenti
 - Semplice sostituzione del blocco ricevitore



Meccanica

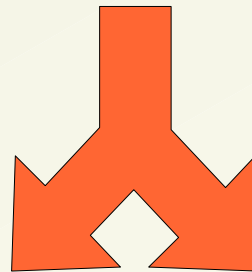
Stima indicativa costi

Effettuata stimando il peso della soluzione Greefield

• Travi HE200	10mt 500Kg	€ 1,6	€ 800,0
• Profilati ad L	24mt 90Kg	€ 1,6	€ 144,0
• Lamierati finitura SB	10Kg	€ 6,0	€ 60,0
Totale			€ 1.004

Sistema di raffreddamento

- Nel caso di un ricevitore a disco riflettente il raffreddamento deve essere attivo perché le potenze in gioco sono elevate
- Più bassa è la temperatura delle celle, maggiore è l'efficienza, ma:
 - Non occorre esagerare nel tener bassa la temperatura perché si sprecherebbe troppa energia con un conseguente calo dell'efficienza
 - La temperatura ottimale la indica il costruttore delle celle
 - Indicativamente tra i 60 e i 100°C → escluse quasi tutte le applicazioni industriali perché vi è poco contenuto di energia



Convezione forzata

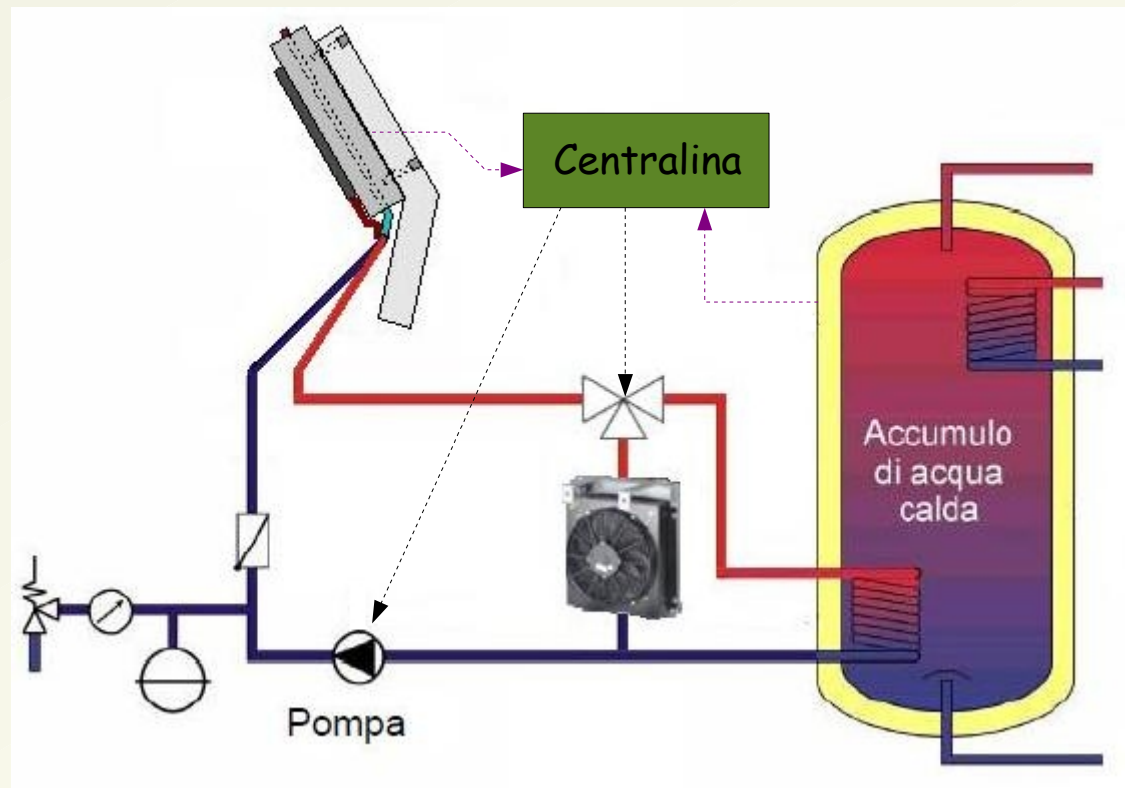
A liquido

Sistema di raffreddamento

- A liquido
 - Circuito di raffreddamento "complesso" e con sistema di controllo
 - Possibilità di recupero dell'energia termica in ambito residenziale con conseguente diminuzione del tempo di recupero dell'investimento
 - Schema di principio

Questioni aperte

- Stessa centralina dell'inseguitore?
- Misura temperatura boiler?
- Misura temperatura ricevitore?



Sistema di raffreddamento

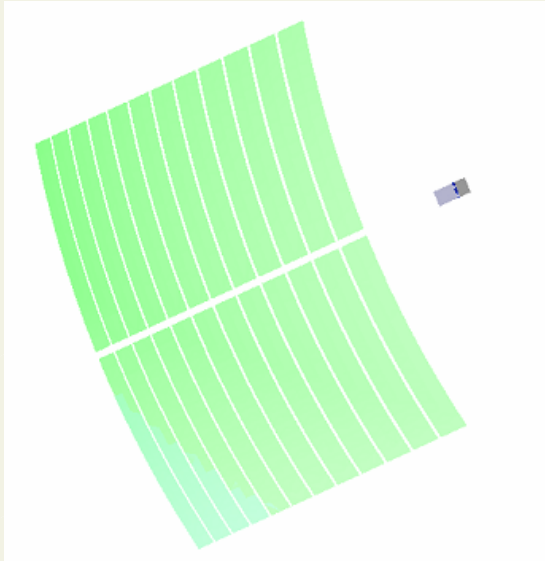
- Convezione forzata
 - Direttamente sul ricevitore → si eliminano i costi dei tubi
 - Da usarsi dove il recupero dell'energia termica non è vantaggioso
 - Particolare riguardo all'affidabilità

Stima indicativa costi

• Tubi isolati	Mt 10	12€/mt	€ 120
• Pompa	8l/min		€ 70
• Vaso di espansione			€ 30
• Valvola 3 vie			€ 100
• Radiatore			€ 150

Totale			€ 470
--------	--	--	-------

Soluzione 1



- Dati tecnici indicativi

- Superficie totale 7.5m^2
- Dimensione lamierini $1.35 \times 0.2\text{m}$
- Superficie utile 7m^2
- Efficienza ottica $(0.85 \times 7 / 7.5)$ 79.3%

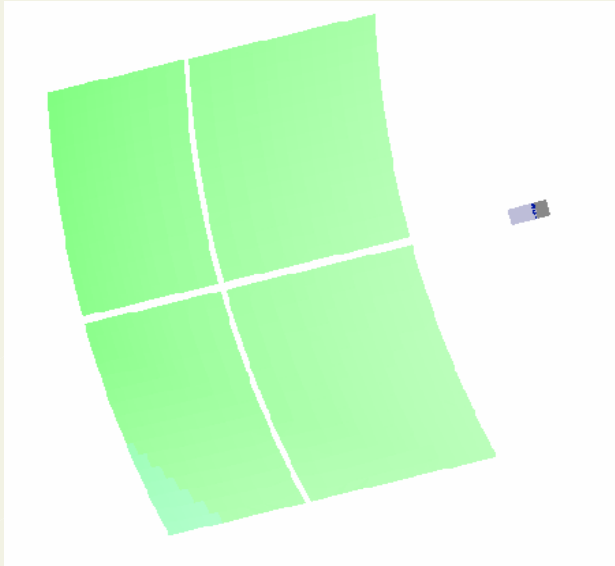
- Pro

- Economica
- Componenti uguali
- Di facile manutenzione

- Contro

- Omogenizzatore
- "Spreco" di superficie riflettente

Soluzione 2



- Dati tecnici indicativi

- Superficie totale 7.5m^2
- Dimensione sezioni $1.35 \times 1.35\text{m}$
- Superficie utile 7.3m^2
- Efficienza ottica $(0.85 \times 7.3 / 7.5)$ 82.7%

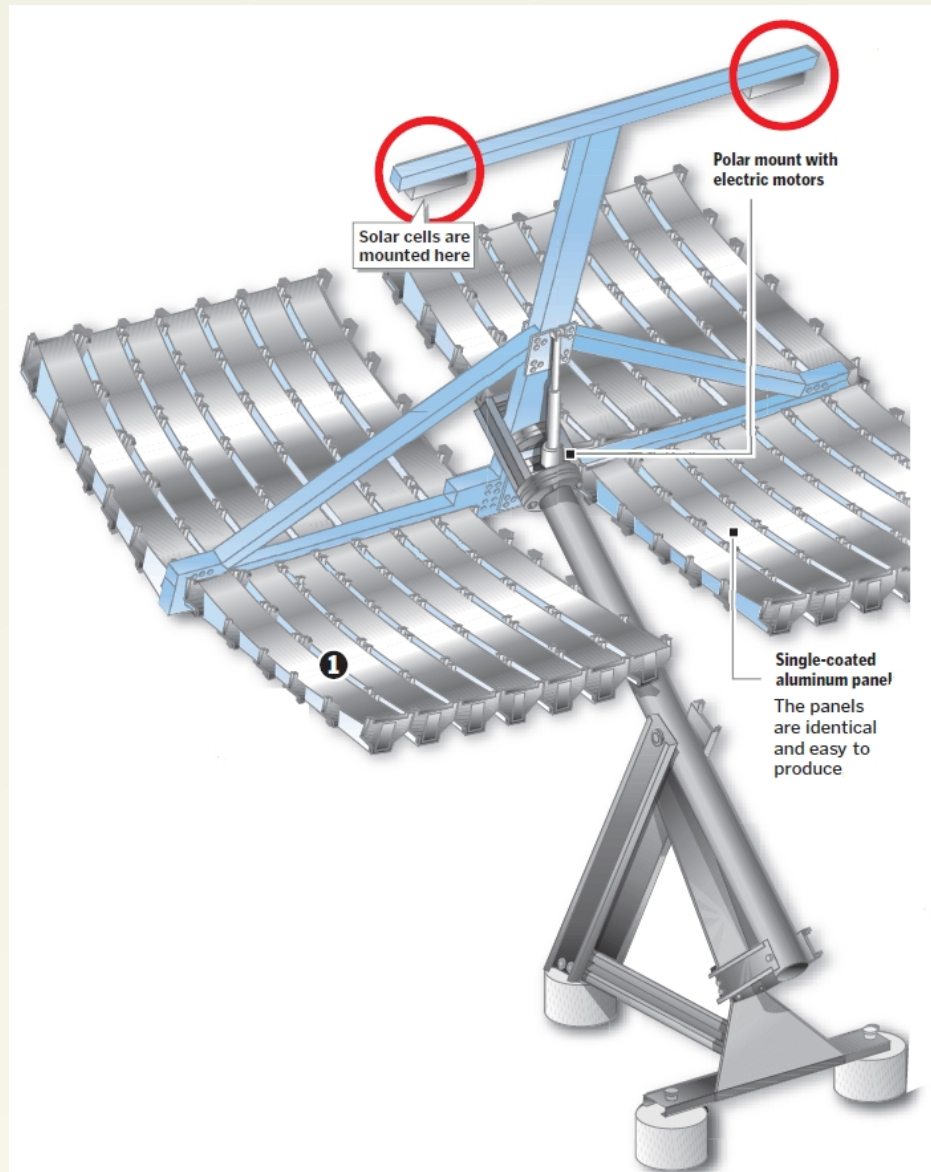
- Pro

- Componenti uguali
- Efficienza ottica superiore

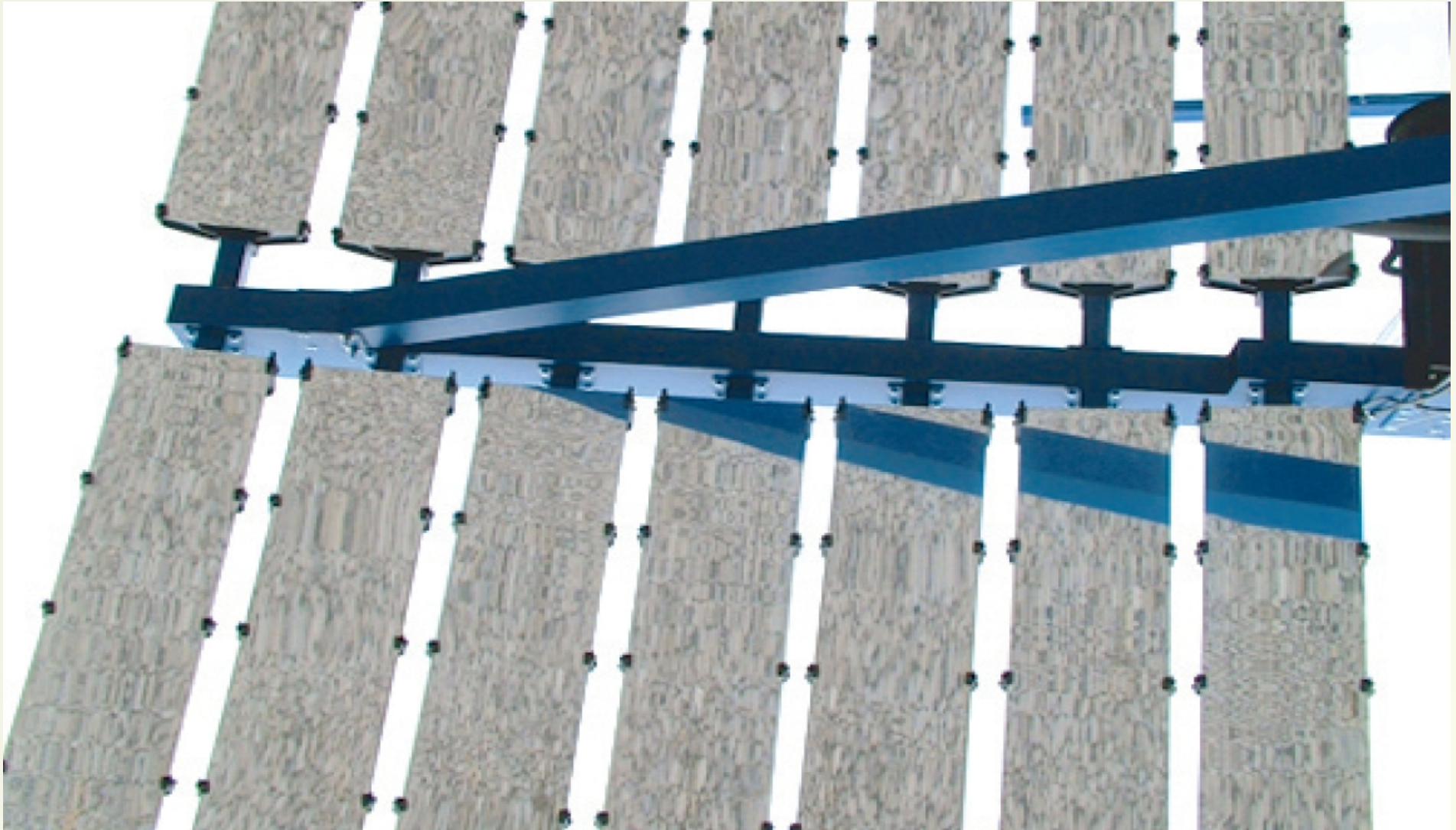
- Contro

- Omogenizzatore
- Minor facilità di manutenzione
- Sistema di fissaggio pannelli più complesso
- Produzione sezioni di parabola più costosa

Soluzioni 1 e 2 - Esempi

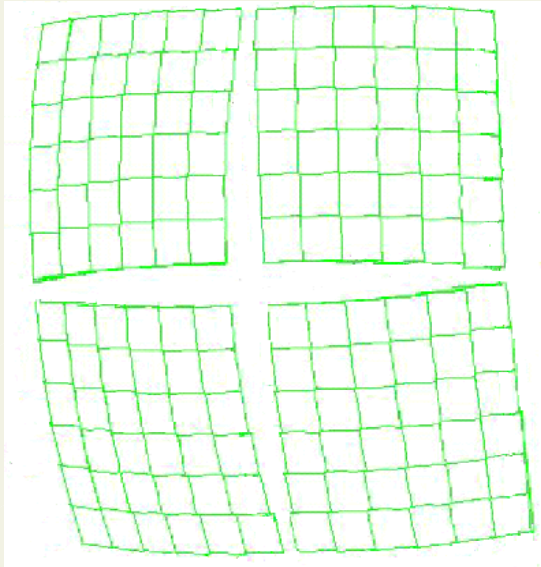


Soluzioni 1 e 2 - Esempi



Spazio tra gli specchi eccessivo → diminuisce l'efficienza

Soluzione 3



- Dati tecnici indicativi

- ▶ Superficie totale 7.5m^2
- ▶ Dimensione sezioni $1.35 \times 1.35\text{m}$
- ▶ Superficie utile 7.3m^2
- ▶ Efficienza ottica $(0.85 \times 7.3 / 7.5)$ 82.7%

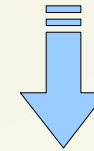
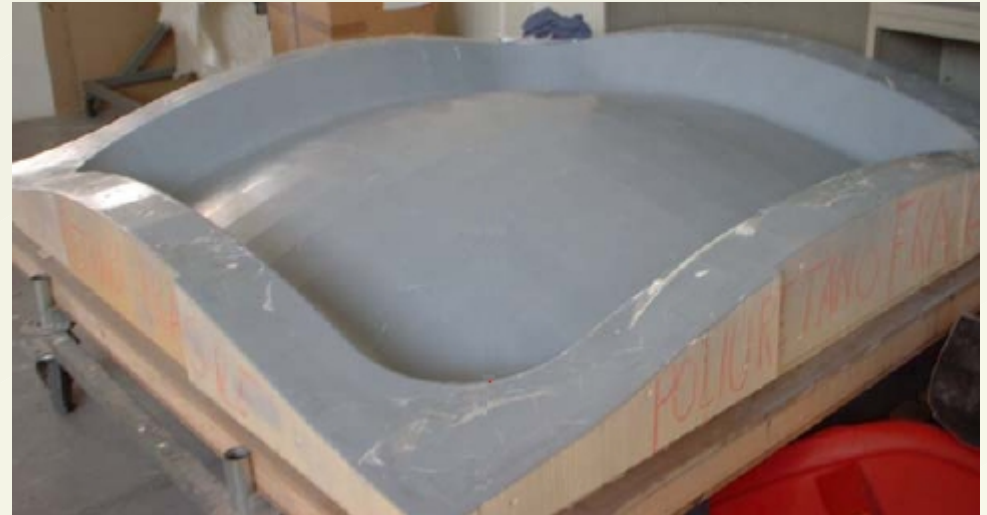
- Pro

- ▶ Componenti uguali
- ▶ Efficienza ottica superiore
- ▶ No omogenizzatore

- Contro

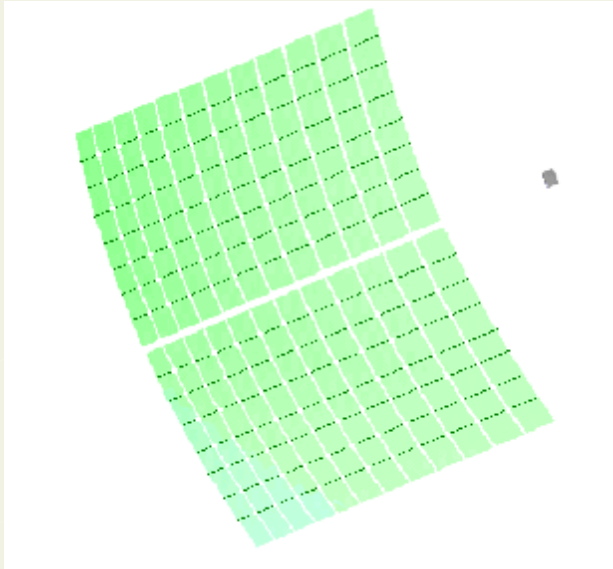
- ▶ Minor facilità di manutenzione
- ▶ Sistema di fissaggio pannelli più complesso
- ▶ Fattore di concentrazione???
- ▶ Per ottenere $C=750$ occorrono circa 200 facce per ogni sezione di parabola

Soluzione 3 - Esempi



- Università di Ferrara e CPower
 - Materiale composito
 - Rivestimento riflettente in PMMA o film polimerici riflettenti

Soluzione 4



- Dati tecnici indicativi

➤ Superficie totale	7.5m ²
➤ Dimensione lamierini	1.35x0.2m
➤ Superficie utile	7m ²
➤ Efficienza ottica ($0.85 \cdot 7 / 7.5$)	79.3%

- Pro

- No omogenizzatore
- Lamierini più facili da maneggiare rispetto alle sezioni di parabola

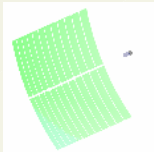
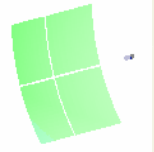
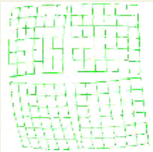
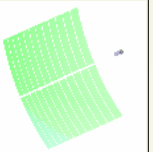
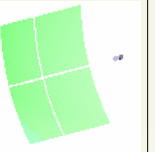
- Contro

- Lamierini non tutti uguali fra loro
- Sistema di fissaggio più complesso (non si può infilare il lamierino come nella soluzione 1)
- **Fattore di concentrazione???**
 - Per ottenere $C=750$ occorrono circa 200 facce per ogni sezione di parabola

Passaggio alle taglie superiori

- Sfortunatamente per tutte e 4 le soluzioni il passaggio alle taglie superiori non è del tutto banale:
 - Occorre mantenere il rapporto f/D nell'intorno dello 0.6
 - All'aumentare della taglia il punto di fuoco si allontana (4-6m per i 10KW)
 - La curvatura della parabola cambia
 - Le sezioni di parabola non sono riutilizzabili
 - I lamierini sì, ma occorre rivedere i supporti per ottenere la forma voluta
 - Il ricevitore va rivisto
 - Riprogettazione dense array
 - Riprogettazione radiatore
 - Il sistema di raffreddamento va ridimensionato
 - Il sistema di controllo rimane simile al di là della taglia dei motori e dell'inverter

Efficienze elettriche

Efficienza celle	28 % Singola giunzione				35 % Tripla giunzione			
Efficienza ricevitore	80 %							
Efficienza inverter	97 %							
Sistema di controllo	10 W							
Inseguitore	50 W							
Sistema di raffreddamento	0 W							
								
Efficienza ottica	79	82	82	79	79	82	82	79
Efficienza omogenizzatore	90	90			90	90		
Superficie totale	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Potenza irradiata	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Potenza al netto dei consumi	1159	1203	1336	1287	1448	1503	1670	1609
Potenza disponibile	1099	1143	1276	1227	1388	1443	1610	1549
Efficienza complessiva	14,6	15,2	17,0	16,4	18,5	19,2	21,5	20,7

Confronto con il mercato

- Solar System (Australia)- Sistemi da 30KW
- Amonix - Sistemi a lenti

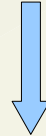
24%



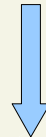
25%

Rendimento termico

L'Università di Ferrara dichiara che all'anno si possono ottenere mediamente 1300KWh di energia termica per ogni KW installato



Per 1.5KW si hanno 2000KWh che equivalgono a circa 215m³ all'anno



Risparmio di circa 60€

Considerazione

In Lombardia si ha un irraggiamento di circa 1500KWh/m² all'anno. Considerate tutte le inefficienze e tolta l'energia elettrica prodotta rimarrebbero circa 6500KWh di energia da sfruttare. Anche con un rendimento del 50% si dovrebbero avere circa 3200KWh termici al posto dei 2000 considerati prima con un significativo incremento del risparmio a circa 100€

Analisi costi complessiva

	<i>C = 750</i>	<i>C = 500</i>
Ricevitore	€ 958	€ 1.337
Sistema di controllo	€ 997	€ 997
Inverter	€ 800	€ 800
Meccanica	€ 1.004	€ 1.004
Sistema di raffreddamento	€ 470	€ 470
Imballaggio	€ 200	€ 200
Totale costo	€ 4.429	€ 4.808
Costo in €/Wp	€ 2,95	€ 3,21
Prezzo al distributore	€ 6.821	€ 7.404
Prezzo al cliente (IVA al 10%)	€ 9.754	€ 10.588
Opere edilizie	500	500
Pratiche GSE	800	800
Spesa complessiva	€ 11.054	€ 11.888
Costo complessivo €/Wp	€ 7,4	€ 7,9

Analisi costi complessiva - Confronto con altri enti

- Fraunhofer
 - ♦ 2.38€/Wp
 - Isofoton
 - ♦ 2€/Wp di costo
 - ♦ 2.5€/Wp con il profitto
 - Università di Ferrara/CPower
 - ♦ 1.8€/Wp
 - ♦ E' due anni che ci stanno lavorando
 - Arizona public service
 - ♦ 6\$/Wp oggi
 - ♦ 4\$/Wp domani
- 
- Soluzione proposta
 - ♦ 2.95€/Wp a C=750
 - ♦ 3.21€/Wp a C=500
- 
- Obiettivo: 2€/Wp**

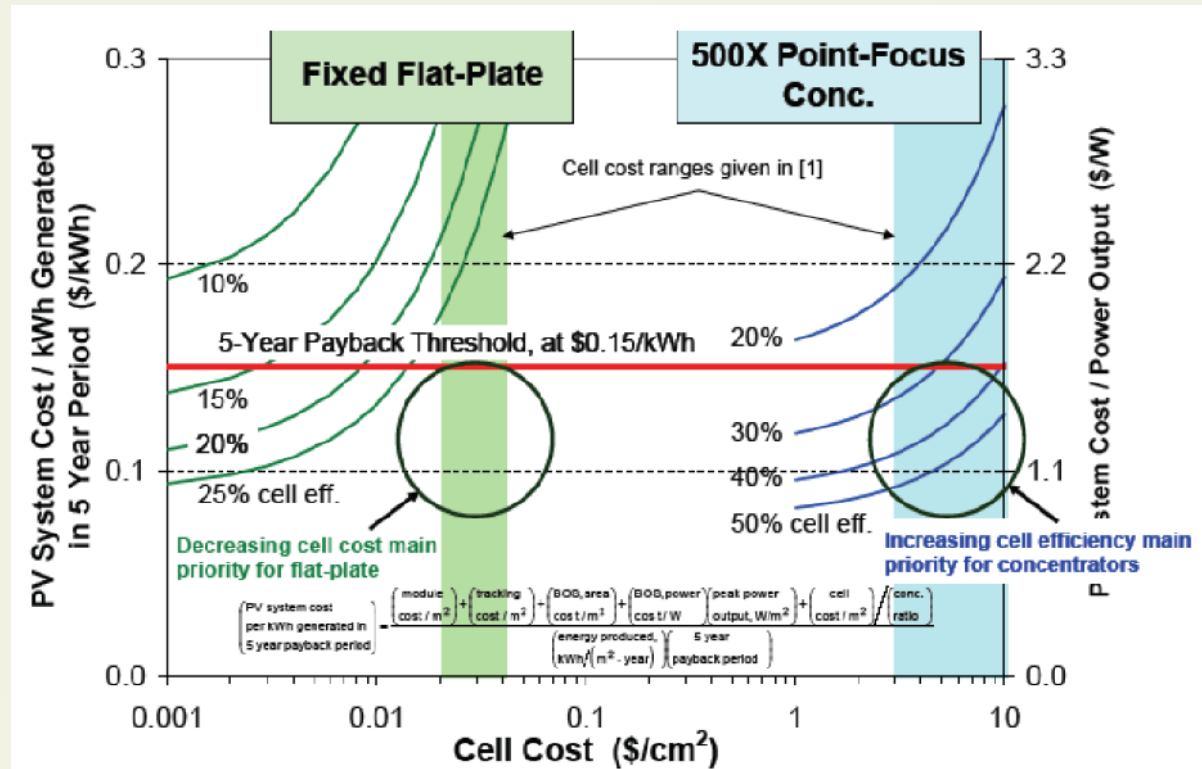
Recupero investimento

Milano	Costo	Kwh/y	€ Elett	€ CH4	Tot	Anni	Guadagno
Piano su tetto 1.5Kwp	11000€	1921	1133		1133	10	11664€
Piano su inseguit. 7.5m ²	10395€	1499	828		828	13	6158€
CSun 1500 - Eff. 20%	11888€	2128	1174	86	1260	9	13320€
CSun 1500 - Eff. 22%	11888€	2340	1292	86	1378	9	15669€
CSun 1500 - Eff. 24%	11888€	2553	1409	86	1495	8	18017€
CSun 1500 - No incent.	11888€	2553	408	86	494	24	-1998€

Catania	Costo	Kwh/y	€ Elett	€ CH4	Tot	Anni	Guadagno
Piano su tetto 1.5Kwp	11000€	2147	1267		1267	9	14339€
Piano su inseguit. 7.5m ²	10395€	1699	938		938	11	8367€
CSun 1500 - Eff. 20%	11888€	2394	1317	86	1403	8	16166€
CSun 1500 - Eff. 22%	11888€	2633	1454	86	1540	8	18905€
CSun 1500 - Eff. 24%	11888€	2873	1586	86	1672	7	21548€
CSun 1500 - No incent.	11888€	2873	460	86	546	22	-975€

Per le taglie da 3KW e da 10KW, l'investimento è ancora migliore perché non tutti i costi aumentano in modo proporzionale mentre la produzione di energia si

Recupero investimento



→ I sistemi a concentrazione possono raggiungere l'obiettivo con celle di efficienza attorno al 30%



Costo a Catania 2400-3000€

Costo a Milano 1700-2400€



Possibile?
Interessante?

→ Obiettivo: recupero investimento in 5 anni a $0.15\$/\text{KWh}$

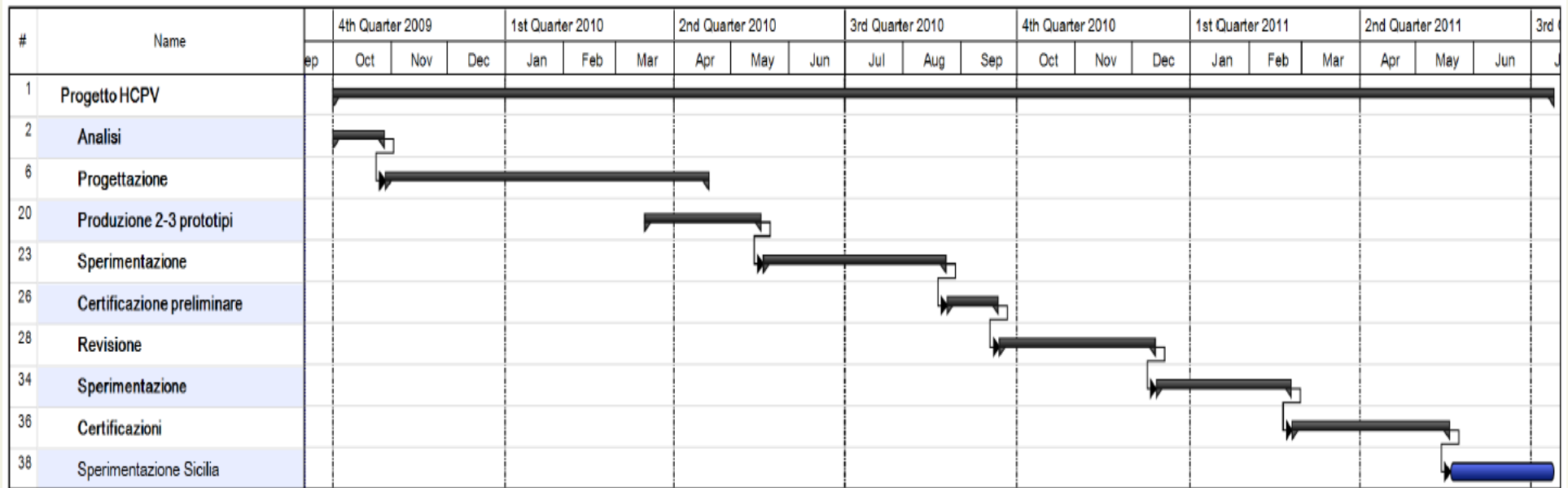
→ I pannelli piani non possono raggiungere l'obiettivo con:

- Efficienza almeno del 20%
- Costo celle $< 0.008\$/\text{cm}^2$



Dicono impossibile
Offerte ricevute: $0.03\text{€}/\text{cm}^2$

Planning



- ➔ Su consiglio del CESI è meglio partire con le celle a singola giunzione perché sono più adatte alla messa a punto del sistema. Solo dopo conviene passare alle celle a tripla giunzione
- ➔ Per fine Maggio 2010 dovrebbe essere disponibile un prototipo
 - ➔ E' una milestone da rispettare perché bisogna sfruttare i mesi di sole
- ➔ La durata complessiva del progetto è sui 19mesi (circa i 18 del finanziamento)

Investimenti

Progetto		Prototipi	Strumentazione	
Analisi	8000	15000	Pireliometro	5000
Progettazione	167800		Piranometro	2000
Produzione 2-3 prototipi	10800		Tracker	15000
Sperimentazione	49400		Power Analyzer	15000
Certificazione preliminare	14000		Data Acquisition system	7500
Revisione	102000		SW simulazione ottica	5000
Sperimentazione	20000		Simulatore solare???	
Certificazione	69000		Varie	2000
Sperimentazione Sicilia	32000			
	€ 473.000	€ 15.000		€ 51.500

Totale complessivo **€ 539.500** *Esclusa la messa in produzione*
Esclusa la progettazione delle taglie superiori

Recupero investimento nel progetto

- In Italia nel 2008 sono stati installati 140MW
- Nel 2009 ne sono stati installati 250MW
- Nel 2010 si stima di installarne più di 500 per un incremento annuo del 119%



Quali potrebbero essere le quantità producibili?

- 
- 100 nel 2011
 - 200 nel 2012
 - 400 nel 2013
 - 800 nel 2014
- <0.03% della
potenza
installata
annualmente



Recupero in Q1 2014

- 
- 500 nel 2011
 - 1000 nel 2012
 - 1500 nel 2013
 - 2000 nel 2014
- <0.3% della
potenza
installata
annualmente

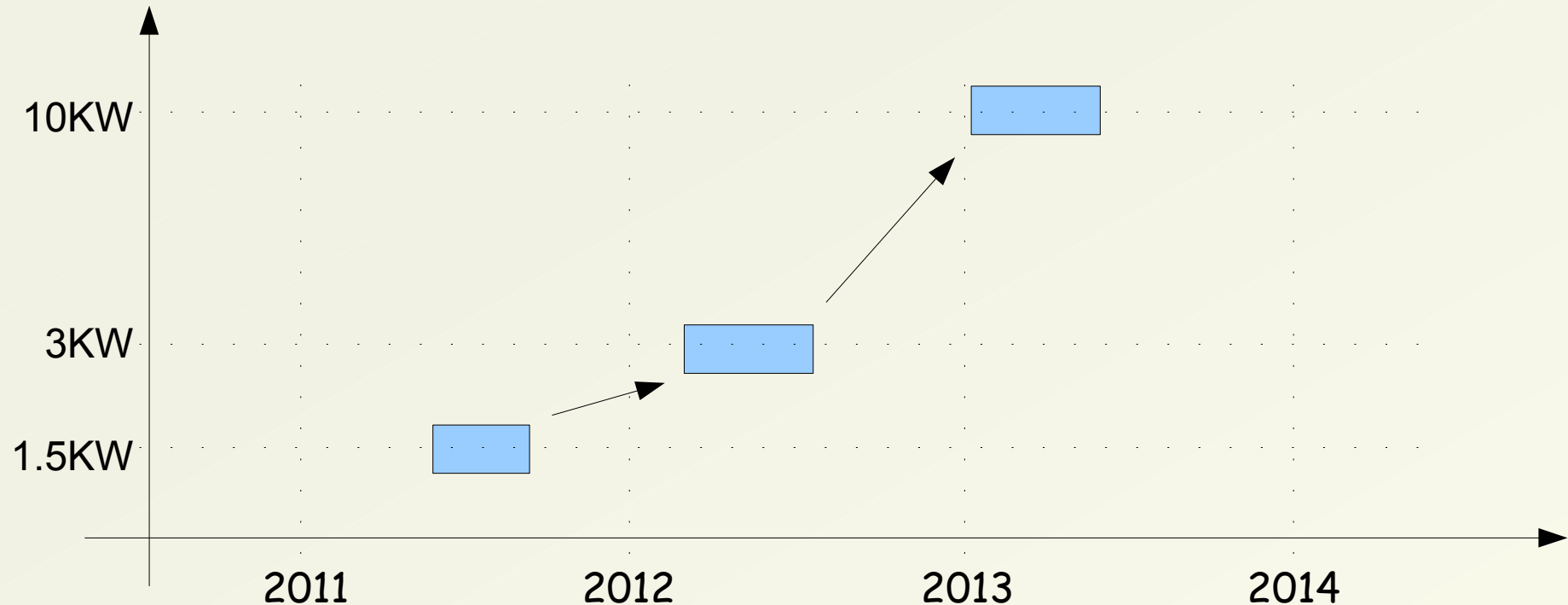


Recupero in Q1 2012

Ipotesi fatte:

- Investimento per la produzione uguale a quello di progetto
- Guadagno di 1000€ per ogni sistema

Roadmap



Perché partire con la taglia da 1.5KW?:

- ◆ Alcune analisi dicono che in Italia gli utenti privati preferiscono le taglie piccole
- ◆ Il costo ridotto è di meno impatto sulla decisione del cliente
- ◆ Mediamente una famiglia consuma 3500KWh/anno. Un sistema di questo tipo ne produce circa 2250 con un risparmio pari a più della metà
- ◆ Non per ultimo una minor difficoltà di progettazione

Aspetti critici

I Sistemi Fotovoltaici

Impianti dinamici: problematiche ancora aperte

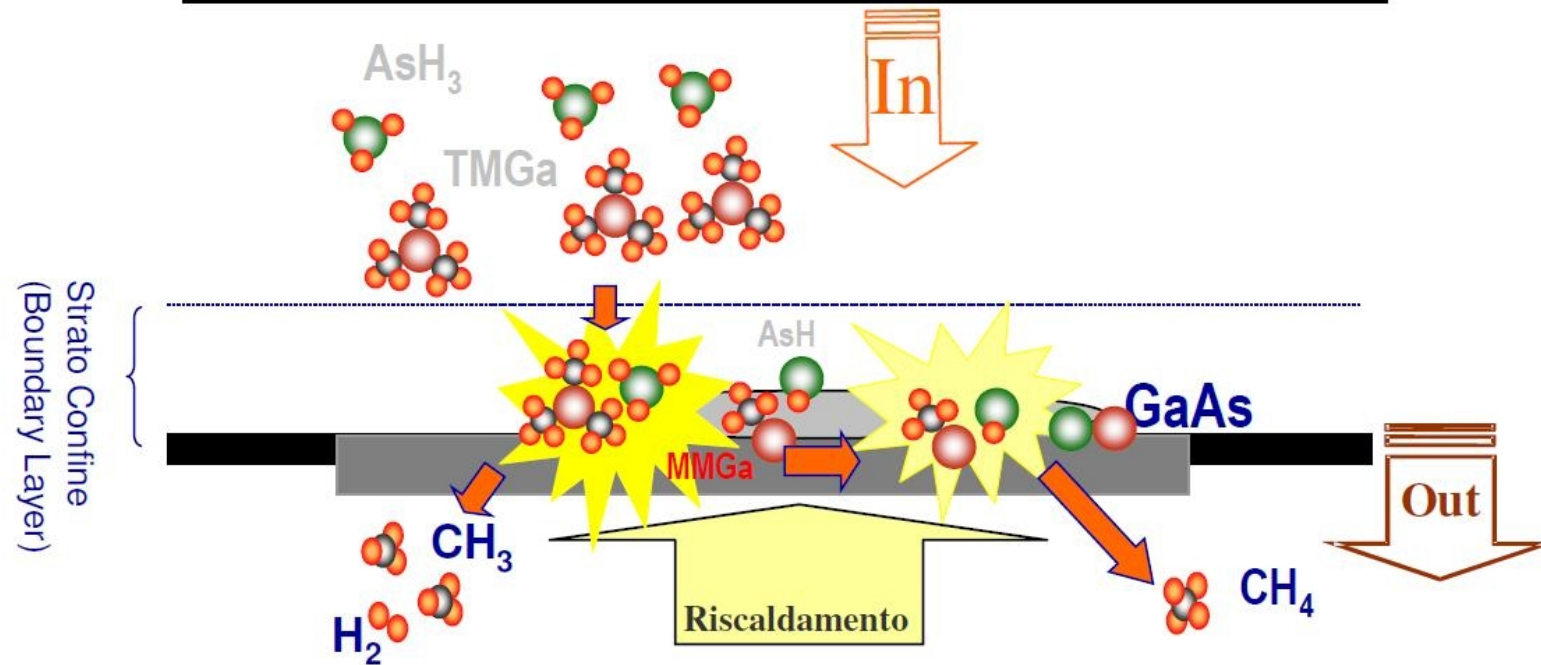
- Identificazione della **taglia impiantistica ottimale** (superficie fotovoltaica del singolo Tracker) e del miglior sistema di controllo;
- **Principi costruttivi** molto differenti (per distribuzione carichi su torri e fondazioni);
- Sviluppo di differenti **progettualità singole** e soluzioni ad hoc per integratori;
- Indisponibilità su vasta scala di **forniture** di apparecchiature;
- Clamorosi **casi di insuccesso** tecnico e/o tecnologico;
- Forti problematiche connesse all'**azione del vento** (perdita di producibilità per lunghi periodi ed innesco di rotture a fatica) ed alla **stabilità del sistema di puntamento**;
- Problematiche connesse all'**impatto ambientale** dei dispositivi a maggior altezza;

Le tecnologia di fabbricazione MOCVD

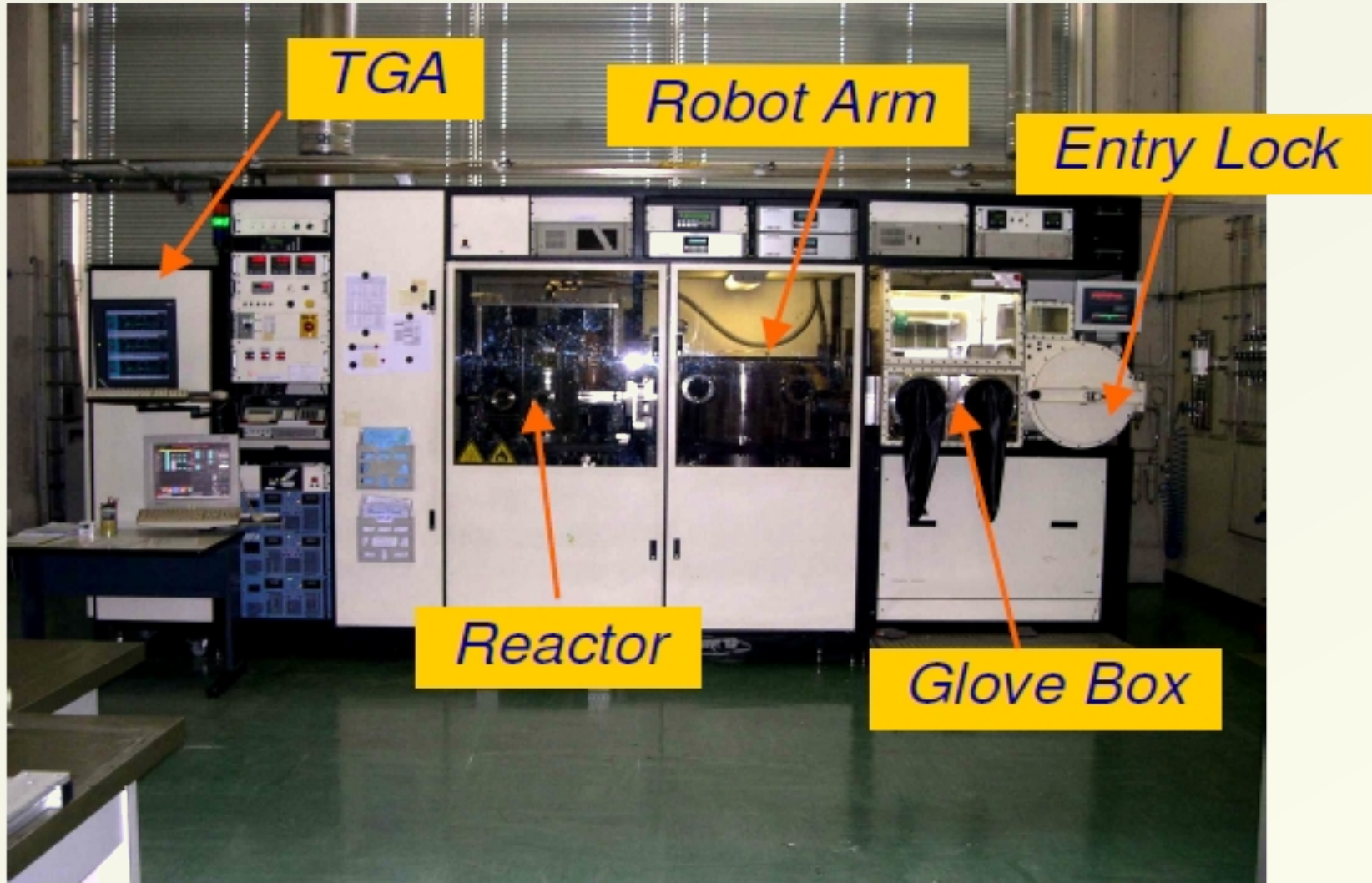
Esempio semplificato di deposizione del GaAs (reattore verticale)

I reagenti (metallorganici ed idruri) in fase gassosa vengono trasportati sul substrato

I reagenti vengono lì decomposti per effetto termico e danno luogo alla fase solida



Appendici - Produzione celle



Reattore MOCVD Veeco 450G

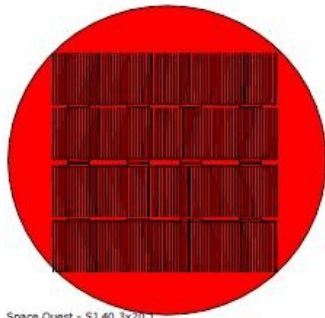
Processi dopo la crescita epitassiale

- Realizzazione delle griglie
- Deposizione dei contatti metallici sul fronte e sul retro
- Taglio del wafer
- Processi chimici di pulizia ed attacco
- Deposizione del rivestimento antiriflettente
- Misura delle caratteristiche
- Prove di accettazione

Appendici - Produzione celle

Deposizione del contatto frontale

Wafer con mascheratura
fotolitografica



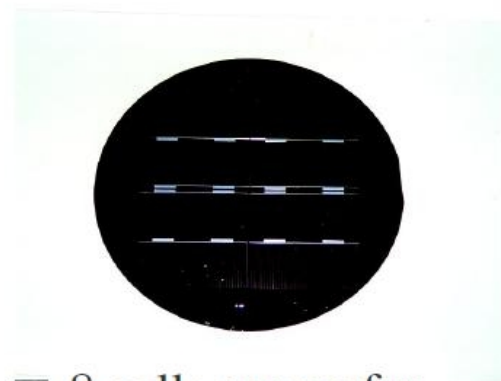
Space Quest - S3 40.3x20.1



- **Tecniche di deposizione:**
- Evaporazione termica o da cannone elettronico (PVD)
- Sputtering (non applicabile a celle solari)
- galvanica (per dispositivi a basso costo)
- screen printing (per dispositivi a basso costo)



Lift off
rimozione meccanica o chimica della mascheratura

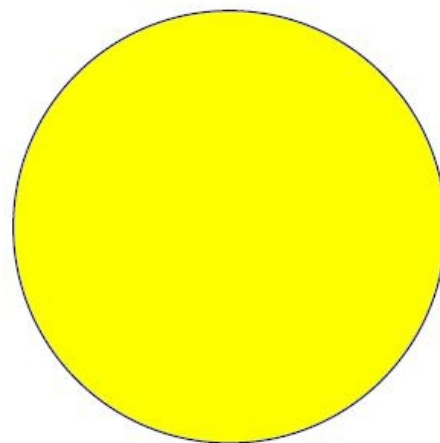
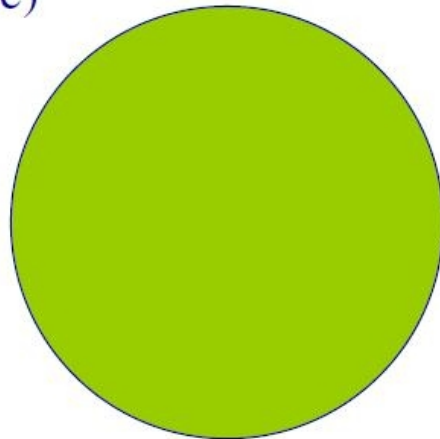


— 8 cells per wafer

Appendici - Produzione celle

Deposizione del contatto sul retro

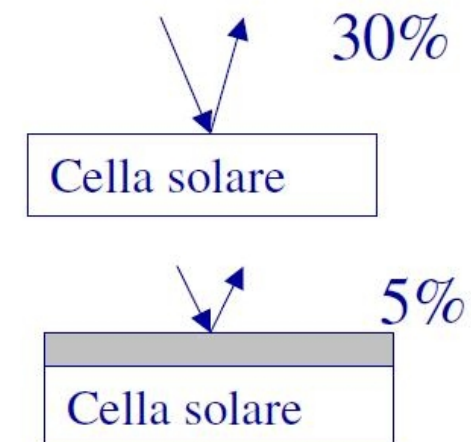
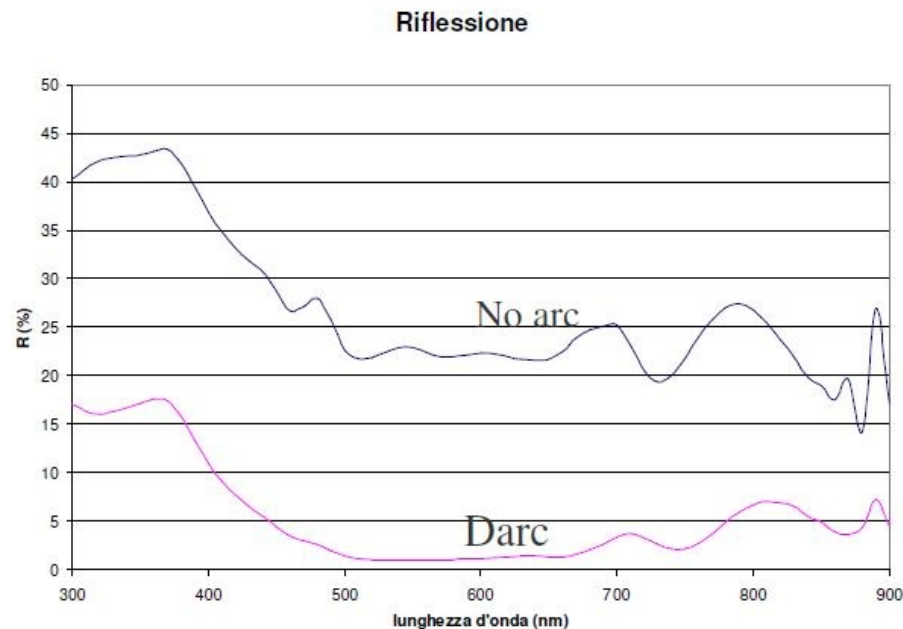
Retro del wafer epitassiale
(Ge)



- **Tecniche di deposizione:**
- Evaporazione termica o da cannone elettronico (PVD)
- Sputtering (non applicabile a celle solari)
- galvanica (per dispositivi a basso costo)
- screen printing (per dispositivi a basso costo)
- **Lega**
- per ottenere una bassa resistenza elettrica di contatto ed una buona adesione viene effettuato un processo ad alta temperatura

Appendici - Produzione celle

Deposizione del rivestimento antiriflettente



Il rivestimento antiriflettente, oltre a diminuire la perdita per riflessione, protegge la cella solare nel periodo di immagazzinamento

Appendici - Produzione celle

Taglio del wafer

- Scribing
- solo per celle al GaAs
- Laser
- per celle al silicio
- Dicing saw
- Per tutti i tipi di celle solari

