



Il Laboratorio Fotovoltaico del Cluster Tecnologico Energie Rinnovabili

Alfonso Damiano

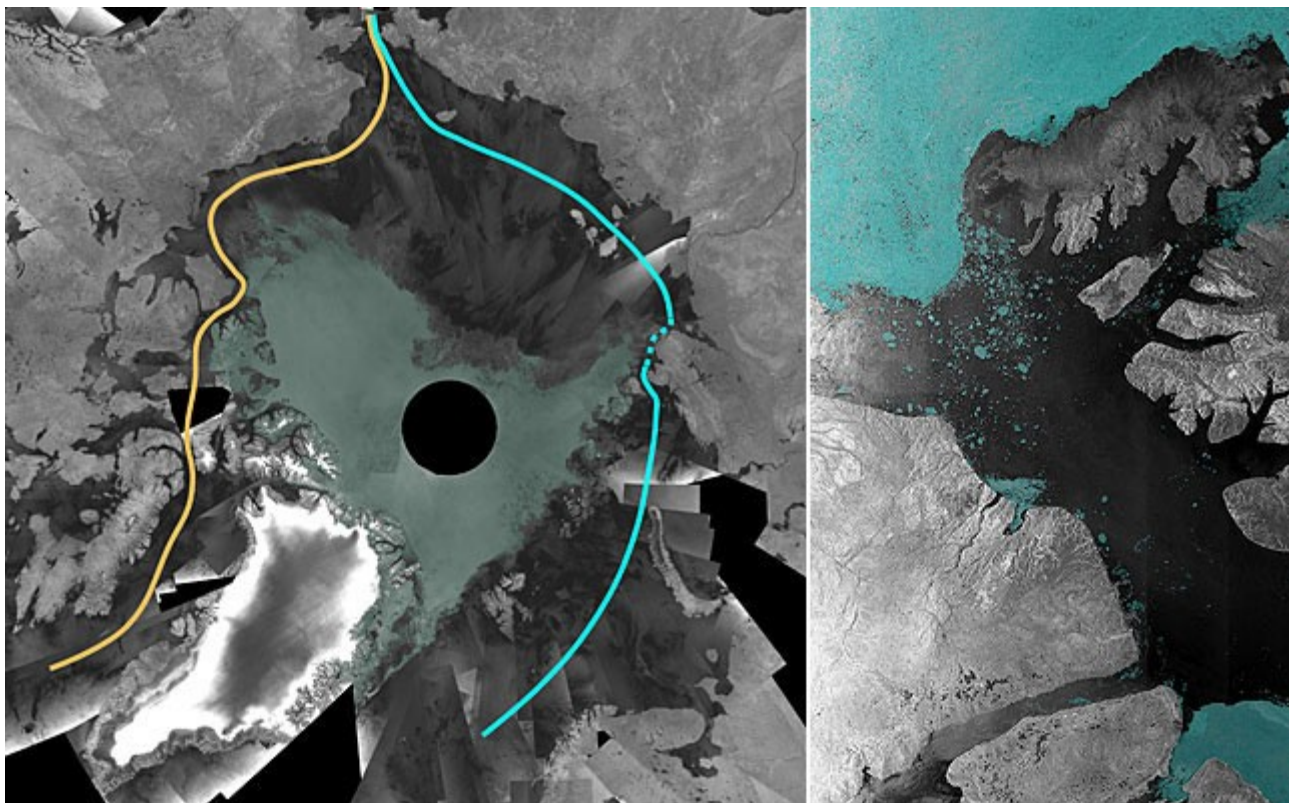


Sommario della presentazione:

- **Analisi di contesto**
- **Stato dell'arte**
- **Prospettive di sviluppo della filiera fotovoltaica**
- **Il Laboratorio fotovoltaico**



Analisi di Contesto

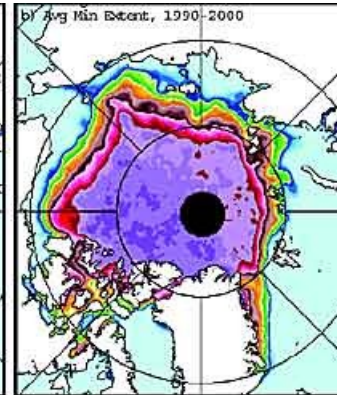
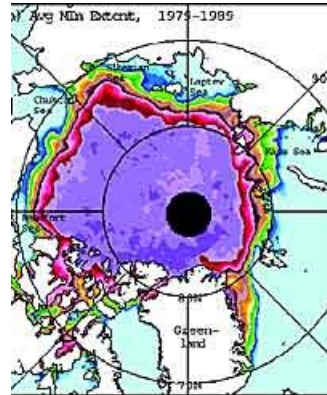




Analisi di Contesto

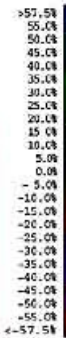
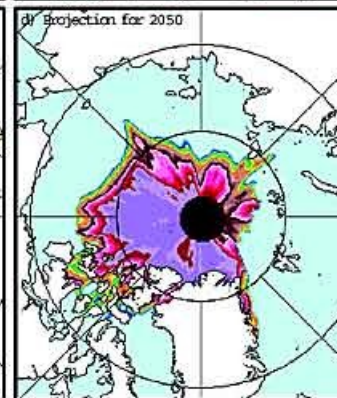
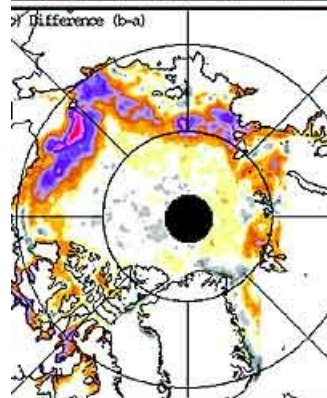


**media dell'estensione
della banchisa
glaciale sull'Artico dal
1979 al 1989**



**media tra
il 1990 e il 2000**

**differenza tra i
due dati precedenti**



**proiezione per
l'anno 2050**

Studio realizzato dalla Nasa





Analisi di Contesto



La causa attualmente più accreditata è quella di un innalzamento della temperatura media terrestre prodotta da un aumento della quantità di CO₂ presente nell'atmosfera.

Il sistema energetico è uno dei settori produttivi a cui è associata la maggior produzione di gas clima alteranti.

Ricerca una via sostenibile che concili lo sviluppo economico, lo sviluppo energetico e la riduzione dei emissioni di CO₂



Analisi di Contesto



11 dicembre 1997 viene redatto il **Protocollo di Kyoto** .

Trentanove paesi sono chiamati in causa a rispondere dei cambiamenti climatici e a sottoscrivere la riduzione delle proprie emissioni dei gas serra del 5,2% rispetto al 1990.

Nel 1992, a seguito di diverse esigenze:

- aumentare l'efficienza energetica;
- aumentare la competitività economica europea;
- aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico;

viene formulata in sede di Parlamento Europeo la Direttiva **96/92/CE**.
Documento di riferimento della liberalizzazione del Mercato dell'energia elettrica



Analisi di Contesto



Nasce l'esigenza di una forma di incentivazione economica per le
Fonti energetiche rinnovabili

Il 16 marzo 1999, con il numero 79, viene emanato il Decreto "Attuazione della Direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica", noto anche come Decreto Bersani (DL 79/99).

- liberalizzazione delle attività di produzione, importazione, esportazione, acquisto e vendita di energia elettrica
- L'articolo 11 del Decreto 79/99 é interamente dedicato alle "Energia elettrica da fonti rinnovabili".

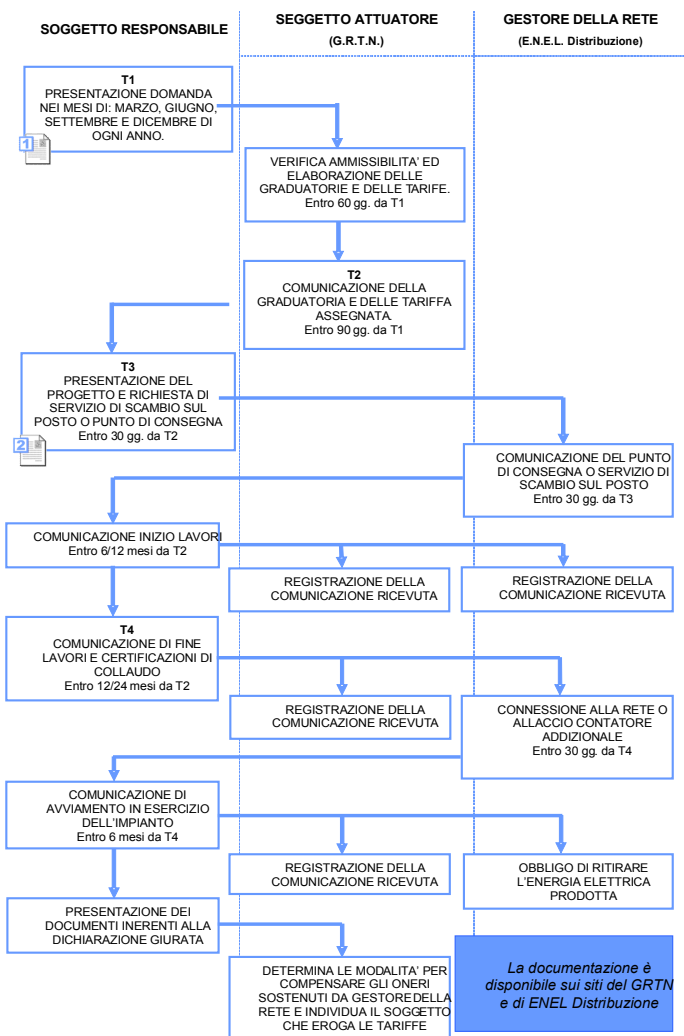
La Direttiva 2001/77/CE viene recepita in Italia attraverso il Decreto Legislativo n. 387 del 29 dicembre 2003.

Introduzione di forme di incentivazione in conto energia per gli impianti fotovoltaici si rimanda ai decreti attuativi (da presentare entro sei mesi)

D.M. 28 luglio 2005 e D.M. 6 febbraio 2006 (Decreto att. Conto energia)

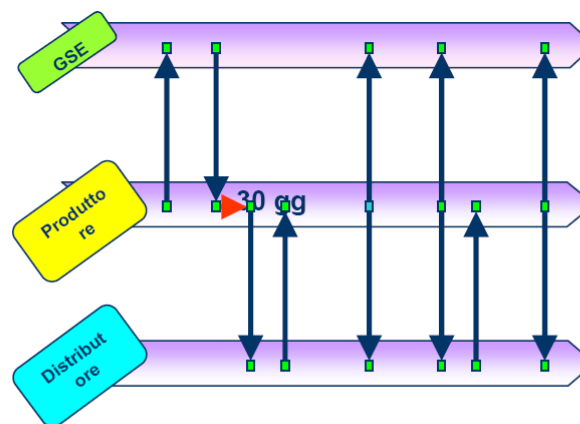


Analisi di Contesto



Incentivi previsti dai DM 28/07/2005 e 6/02/2006

Potenza nominale (kW)	Tariffe incentivanti
fino a 20	0,445 €/kWh
da 20 a 50	0,460 €/kWh
da 50 a 1000	0,490 €/kWh (importo massimo, stabilito in gara)



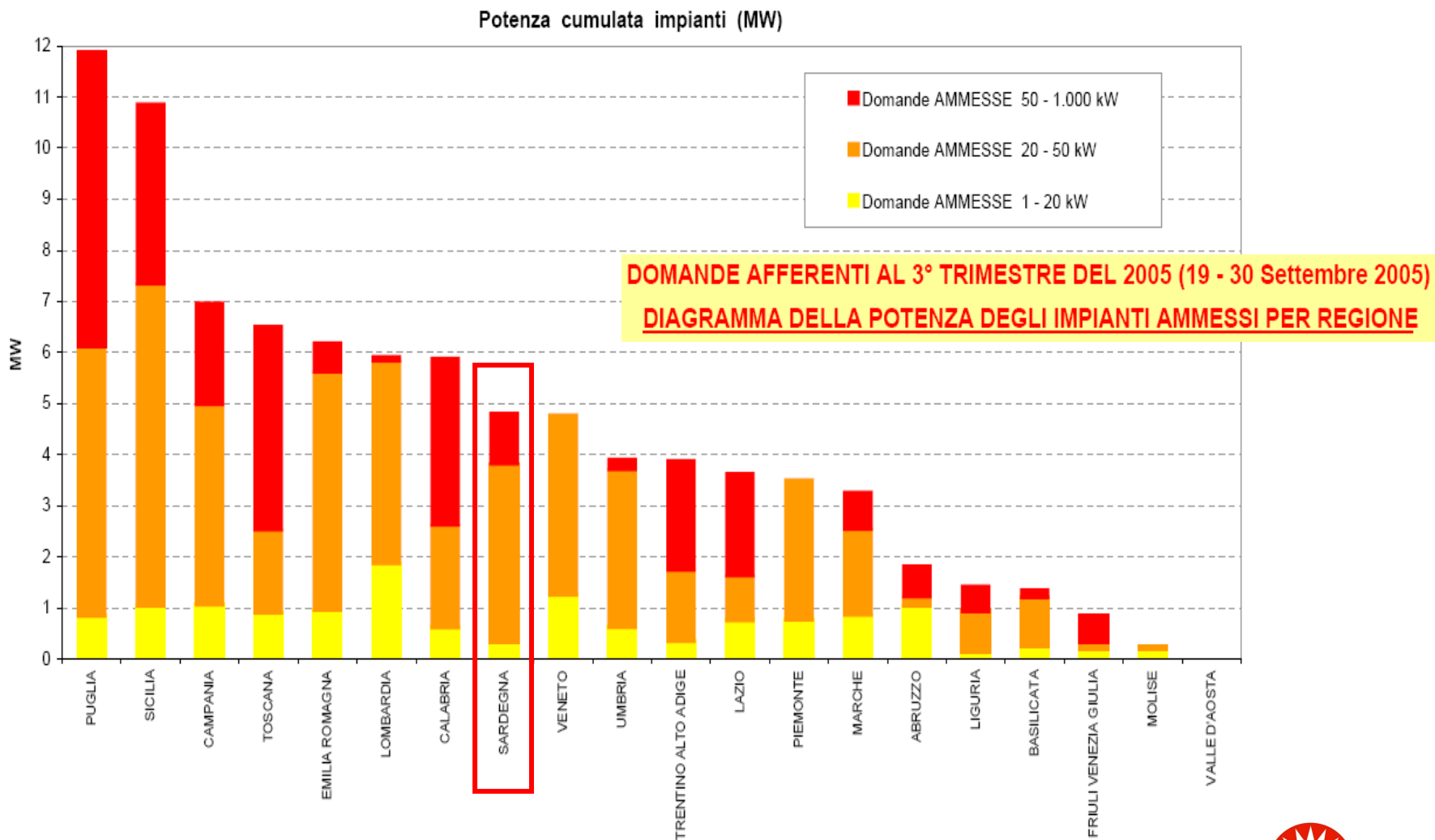
8 passaggi

11 comunicazioni





Analisi di Contesto





Analisi di Contesto



Impianti, ammessi all'incentivazione ai sensi dei DM 28/07/2005 e DM 06/02/2006,
per i quali i soggetti responsabili hanno comunicato la
ENTRATA IN ESERCIZIO
(aggiornamento al 1° marzo 2007)

REGIONE	CLASSE 1: 1 kW ≤ P ≤ 20 kW		CLASSE 2: 20 kW < P ≤ 50 kW		CLASSE 3: 50 kW < P ≤ 1.000 kW		TOTALE	
	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)
LOMBARDIA	284	1.227	9	373	1	68	294	1.668
EMILIA ROMAGNA	209	884	15	634	2	209	226	1.728
VENETO	192	934	8	369	-	-	200	1.303
PIEMONTE	104	477	11	417	-	-	115	894
LAZIO	98	455	3	101	-	-	101	557
TRENTINO ALTO ADIGE	84	472	12	448	-	-	96	919
PUGLIA	72	367	-	-	1	1.000	73	1.367
FRIULI VENEZIA GIULIA	64	267	1	30	-	-	65	297
UMBRIA	40	213	21	936	1	200	62	1.349
MARCHE	59	272	1	50	-	-	60	321
TOSCANA	51	260	3	117	-	-	54	377
SICILIA	48	202	2	98	-	-	50	300
SARDEGNA	27	85	-	-	-	-	27	85
CAMPANIA	17	170	-	-	-	-	17	170
ABRUZZO	17	70	-	-	-	-	17	70
BASILICATA	12	100	2	79	-	-	14	179
LIGURIA	14	80	-	-	-	-	14	80
CALABRIA	9	67	-	-	-	-	9	67
MOLISE	1	3	-	-	-	-	1	3
VALLE D'AOSTA	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale ITALIA	1.402	6.694	88	3.652	5	1.477	1.495	11.823

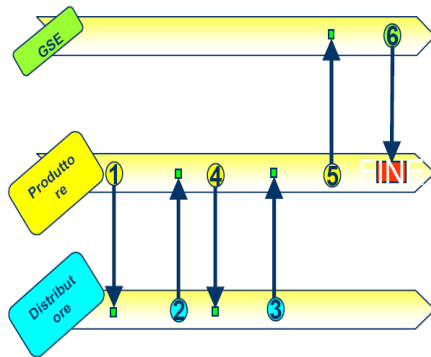




Analisi di Contesto



Nuovo conto energia –DM 19 febbraio 2007



6 passaggi

6 comunicazioni

	Potenza nominale dell'impianto P (kW)	IMPIANTI		
		Non integrato	Parzialmente Integrato	Integrato
A	$1 \leq P < 3$	0,40	0,44	0,49
B	$3 < P \leq 20$	0,38	0,42	0,46
C	$P > 20$	0,36	0,40	0,44

- Maggiore sensibilità del sistema creditizio
- Maggiore dinamismo degli operatori
- Maggiore sensibilizzazione e informazione dell'opinione pubblica



Problematiche associate alla realizzazione di impianti fotovoltaici

Tecnico

Metodologie di progettazione
Allaccio rete di distribuzione
Presenza di batterie (sistemi isolati)
Sistemi di condizionamento della potenza elettrica
Compatibilità elettromagnetica
Sicurezza
Affidabilità

Economico

Gli impianti fotovoltaici sono costosi !!(7-5 €/Wp)
Hanno bisogno di superfici di captazione molto grandi

Autorizzativi

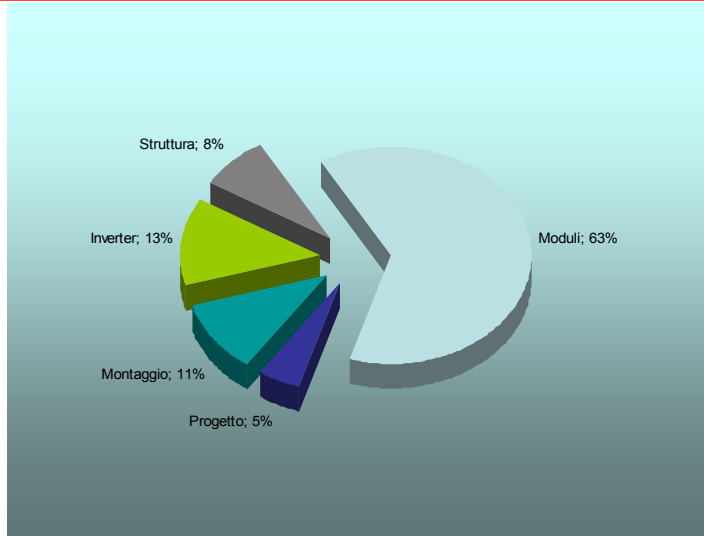
Connessione rete di distribuzione (Enel distribuzione)

Comune
RAS



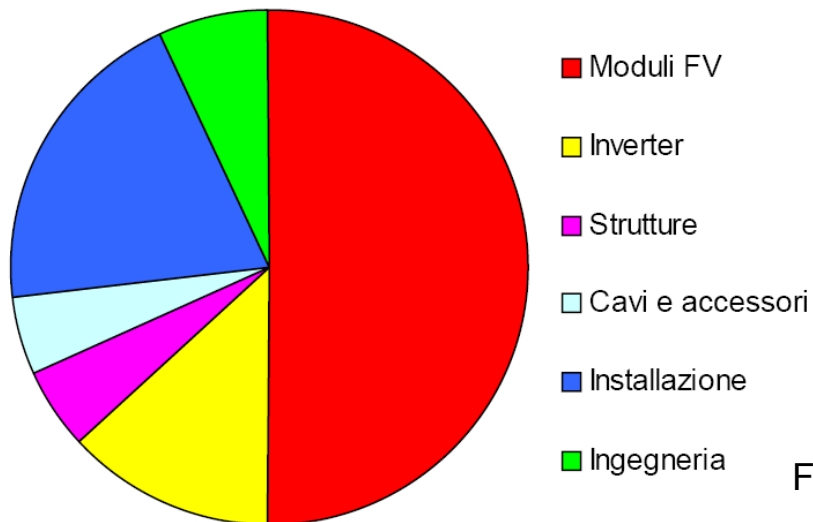
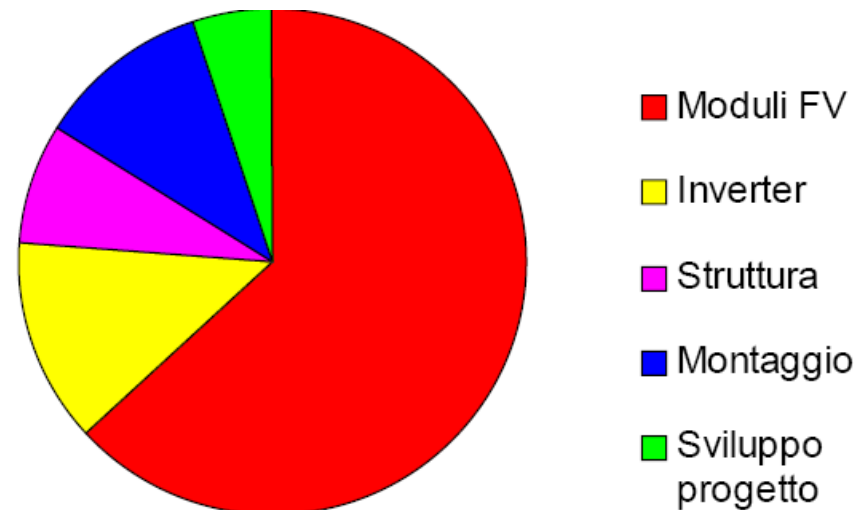


Analisi di Contesto



Costi di un impianto fotovoltaico

Fonte Enel Si

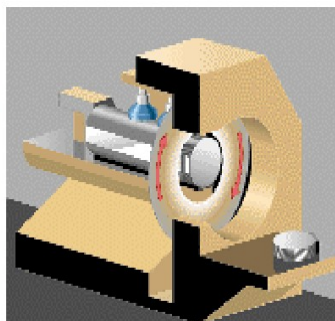
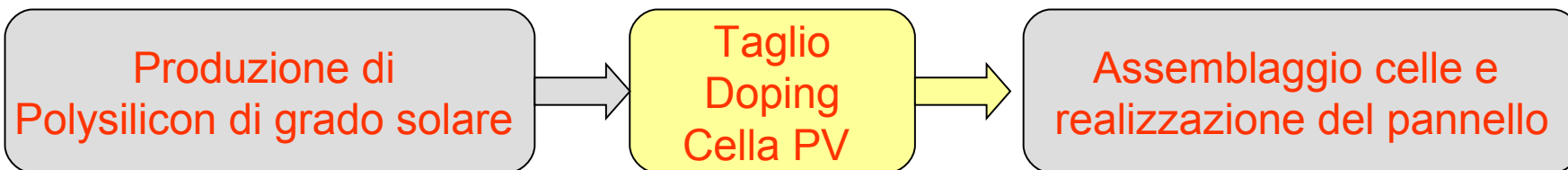


Fonte Norma CEI 82-25



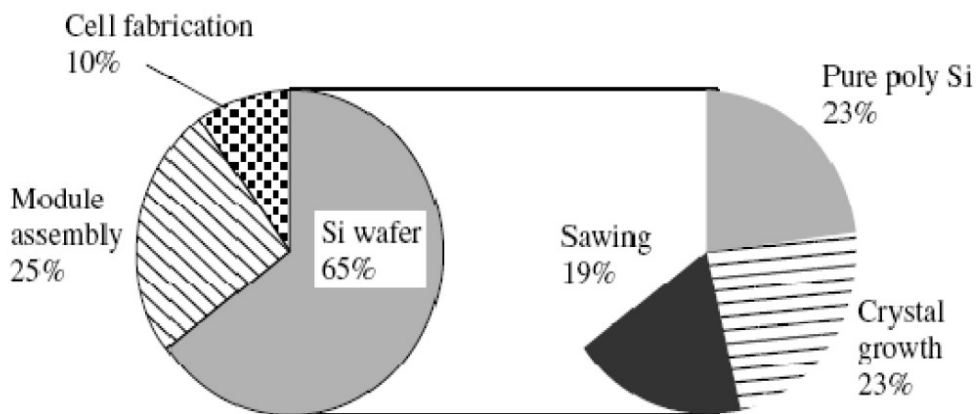
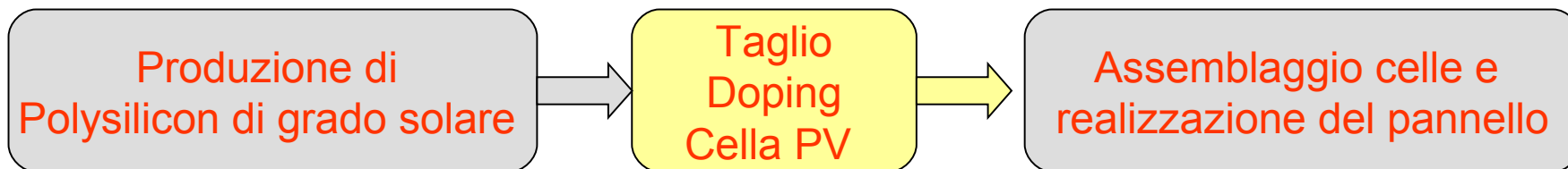


Catena di produzione del pannello fotovoltaico





Catena di produzione del pannello fotovoltaico



Ripartizione dei costi di produzione del pannello



Analisi di Contesto



Produttori di Pannelli fotovoltaici nel mondo (PV Modules) fonte ENF

Europe:	Germany(44)	Italy(17)	Spain(13)	Other Europe(52)
Asia Pacific:	China(199)	Japan(12)	India(20)	Other APAC(15)
Americas:	USA(23)	Canada(2)		Other Americas(3)
Other:	Africa(3)	Middle East(1)		



Analisi di Contesto



Solar Panels (PV Modules) fonte ENF

Top 10 Europe

Name	Region	No.Staff	MWp Sold /2005	Panel Technology
Solon AG	Germany	420	58	Monocrystalline, Polycrystalline
Schott Solar GmbH	Germany	940	57	Polycrystalline, Amorphous
SolarWorld AG	Germany	745	44	Monocrystalline, Polycrystalline
Isofotón	Spain	700(800)	40	Monocrystalline
Solarwatt AG	Germany	350	36	Monocrystalline, Polycrystalline
Aleo Solar GmbH	Germany	225	35	Monocrystalline, Polycrystalline
Sunset Energietechnik GmbH	Germany	500(700)	30	Monocrystalline, Poly, Amorphous
Tenesol (Total Energie)	France	600	30	Monocrystalline, Polycrystalline
Photowatt International SAS	France	600	29	Monocrystalline, Polycrystalline
BP Solar Espana	Spain	500	19	Monocrystalline, Polycrystalline





Analisi di Contesto



Produttori di celle fonte ENF

Europe:	Germany(8)	Italy(3)	Spain(3)	Other Europe(12)
Asia Pacific:	China(38)	Japan(7)	India(10)	Other APAC(11)
Americas:	USA(9)	Canada(2)		Other Americas(0)
Other:	Africa(0)	Middle East(2)		

Name	Region	No.Staff	MWp Sold/ 2005	MWp Sold 2006	Cell Technology
ersol	Germany	260	20	45	Monocrystalline, Polycrystalline
Q-cells	Germany	780	160	240	Monocrystalline, Polycrystalline
Schott Solar GmbH	Germany	940	36	15	Polycrystalline
SolarWorld AG	Germany	745	0.5	0.5	Monocrystalline, Polycrystalline
Sunways AG	Germany	213	16	34	Monocrystalline, Polycrystalline





Analisi di Contesto



Produttori di celle fonte ENF

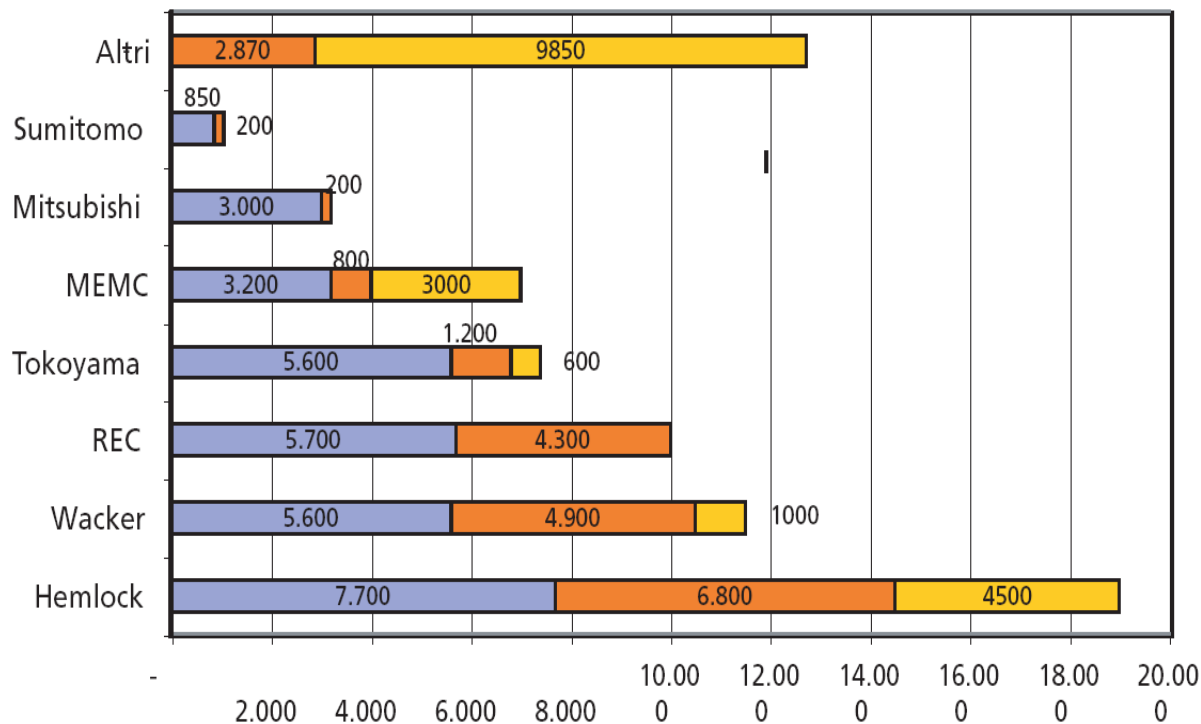
Europe:	Germany(8)	Italy(3)	Spain(3)	Other Europe(12)
Asia Pacific:	China(38)	Japan(7)	India(10)	Other APAC(11)
Americas:	USA(9)	Canada(2)		Other Americas(0)
Other:	Africa(0)	Middle East(2)		

Name	Region	No.Staff	MWp Sold/ 2005	MWp Sold 2006	Cell Technology
ElettroSannio	Italy	15		?	Polycrystalline
EniPower	Italy	78	?	2	Monocrystalline, Polycrystalline
Helios Technology srl	Italy	100	?	8	Monocrystalline





Valori attuali e attesi di produzione di Polysilicon nel mondo



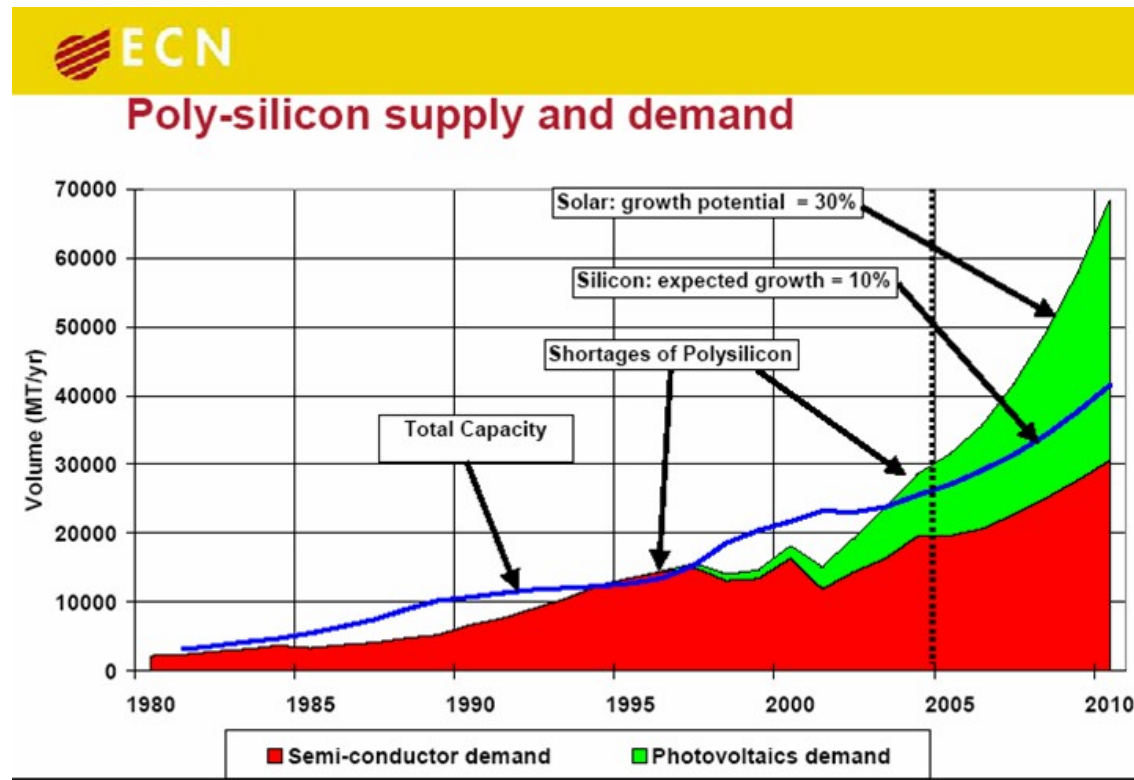
LEGENDA:

- Serie 1: capacità produttiva fine 2005 (Mondo 32.000 t)
- Serie 2: capacità produttiva entro 2008 (Mondo 53.000 t)
- Serie 3: capacità produttiva entro 2010 (Mondo 72.000 t)





Analisi di Mercato della materia prima (polysilicon)





Analisi di Contesto



Consumi energetici specifici nel processo di produzione del silicio(fonte ASPO)

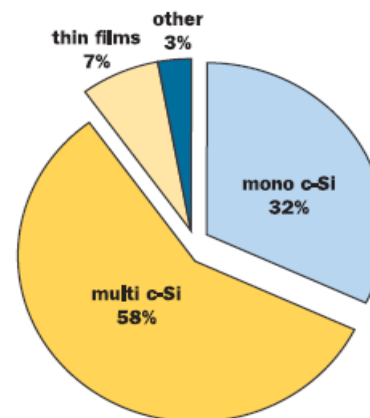
<u>Company</u>	<u>Capacity</u>	<u>Plant cost</u>	<u>Fab Time</u>	<u>Si Cost</u>
<u>Hemlock</u>	<u>4500 Ton</u>	<u>450 M \$</u>	<u>32 Mo's</u>	<u>\$27/kg</u>
<u>Wacker</u>	<u>4500 Ton</u>	<u>400 M \$</u>	<u>40 Mo's</u>	<u>\$25/kg</u>
<u>REC</u>	<u>5000 Ton</u>	<u>450 M \$</u>	<u>36 Mo's</u>	<u>\$26/kg</u>
<u>MEMC</u>	<u>4000 Ton</u>	<u>400 M \$</u>	<u>30 mo's</u>	<u>\$25-28/kg.</u>



Tipologia di Celle usate

Le tecnologie di produzione delle celle fotovoltaiche si dividono sostanzialmente in tre famiglie:

- **Silicio cristallino:** che comprende il monocristallo e il policristallo.
- **Film sottile:** l'amorfo tradizionale, i sistemi eterogiunzione
- **Multigiunzione.**





Silicio cristallino (c-Si)

La tecnologia al silicio cristallino è in questo momento la più utilizzata dal punto di vista industriale.

SILICIO POLICRISTALLINO (mc-Si)

SILICIO MONOCRISTALLINO (Cz-Si).

Vantaggi

Maturità tecnologica, Affidabilità, Lunga durata (25-30 anni circa)

Svantaggi

Costi

Raffinazione del silicio (purezza del silicio di grado solare al 99,9999%) e fuso in lingotti per poi essere tagliato a fette (wafer).

La curva di miglioramento della tecnologia al silicio cristallino è quasi al culmine, (15-17% il rendimento del silicio in laboratorio è del 25%).



SILICIO AMORFO (a-Si:H) TRADIZIONALE

La tecnologia al silicio amorfo è oggetto di numerosi investimenti in ricerca e sviluppo.

E' sicuramente la tecnologia meno costosa e più semplice da produrre, ma anche quella che garantisce i rendimenti più bassi: 6 – 8%.

TECNOLOGIA (FILM SOTTILE)

Derivata dalla tecnologia a silicio amorfo (a-Si:H tradizionale) permette un maggior rendimento di funzionamento, il quale in alcuni casi arriva al 12% (triple junction).

Un modulo PV di tale generazione, paragonata al silicio cristallino C-Si, anche se caratterizzato da una minor efficienza determinata in condizioni standard, a parità di potenza riesce a produrre in base annua un 20% in più di energia.



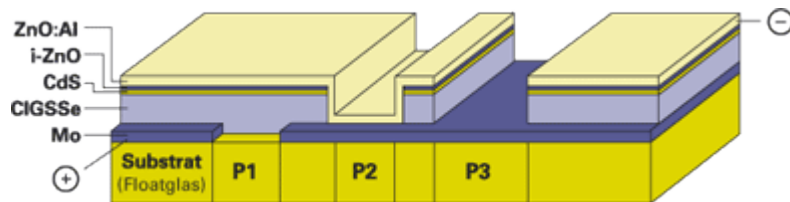
TECNOLOGIA (CIS e CIGS)

film sottile: CIS sta avendo un grande successo grazie agli ultimi risultati ottenuti con la ricerca sul disselenuro di rame/indio.

I risultati ottenuti danno un 13-15% di rendimento su celle testate in laboratorio, mentre aggiungendo del Gallio (CIGS) questo valore, su celle di piccole dimensioni, può addirittura arrivare al 18%.

Attualmente il valore su celle industriali si attesta intorno al 10 - 11%.

Si pensa che in futuro la tecnologia CIS potrà dare risultati equiparabili a moduli di egual misura e potenza costruiti con celle in silicio cristallino, ma con costi di produzione molto minori.





Stato dell'arte

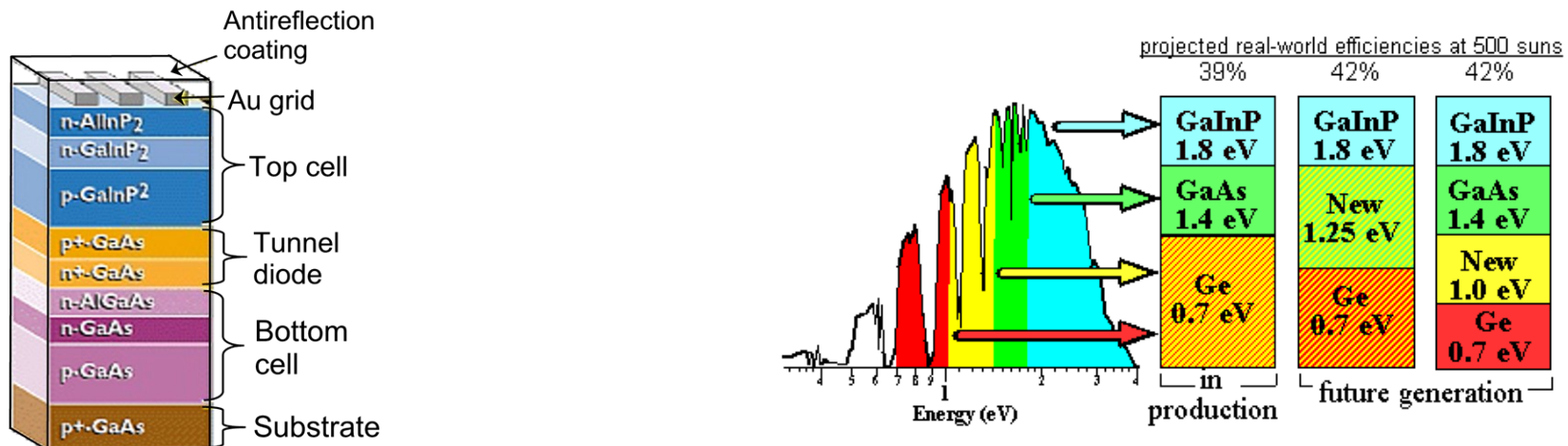


Multigiunzioni ad alta efficienza

Nel 1999 un progetto congiunto tra Spectrolab e il National Renewable Energy Laboratory (NREL) ha raggiunto un record importante nella conversione fotovoltaica, realizzando una cella solare con efficienza di conversione pari al 32,3%.

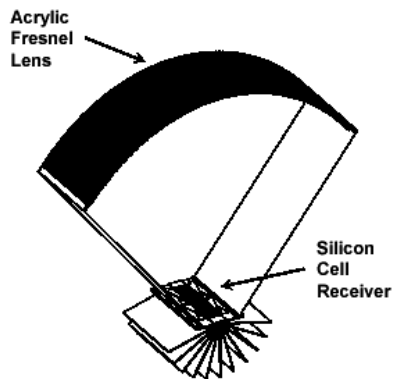
Questa cella a tripla giunzione è stata costruita utilizzando tre strati di materiali semiconduttori, fosfuro di indio/gallio su arseniuro di gallio su germanio (GaInP₂/GaAs/Ge).

La Spectrolab e il National Renewable Energy Laboratory (NREL) ha dichiarato di aver raggiunto la soglia di efficienza di cella del 40%.



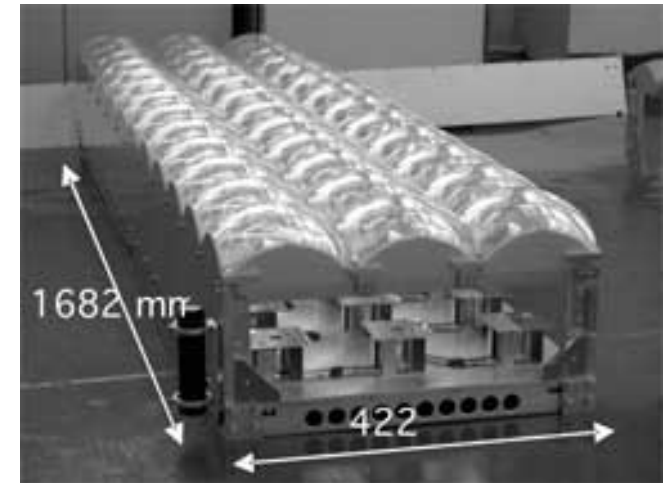
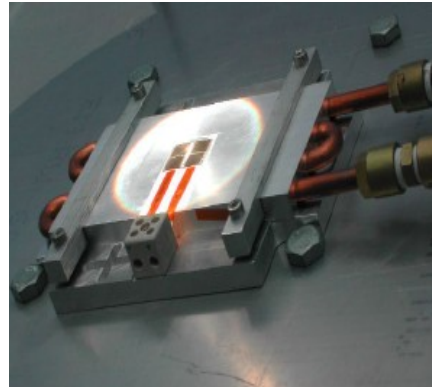
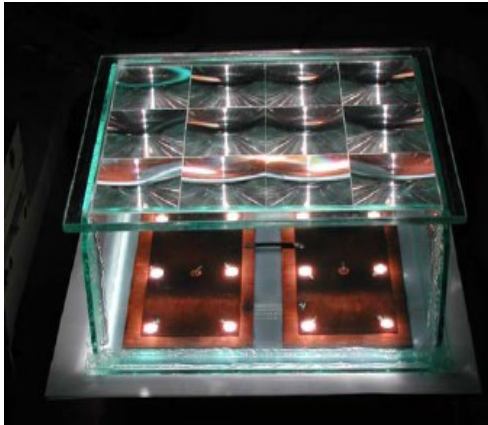


Stato dell'arte





Stato dell'arte



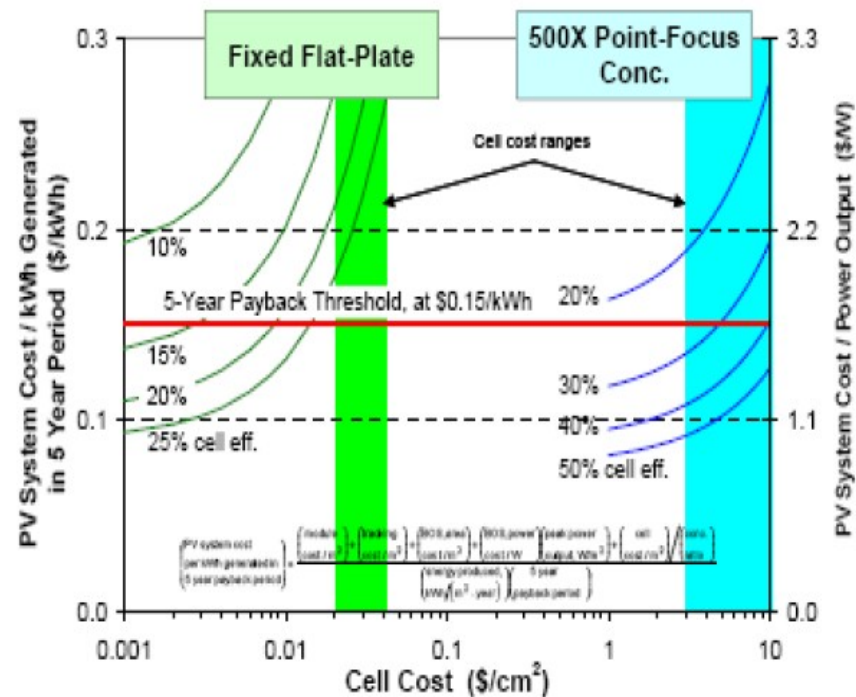
**400X Concentrator System,
installato a Inuyama, Japan**



Stato dell'arte

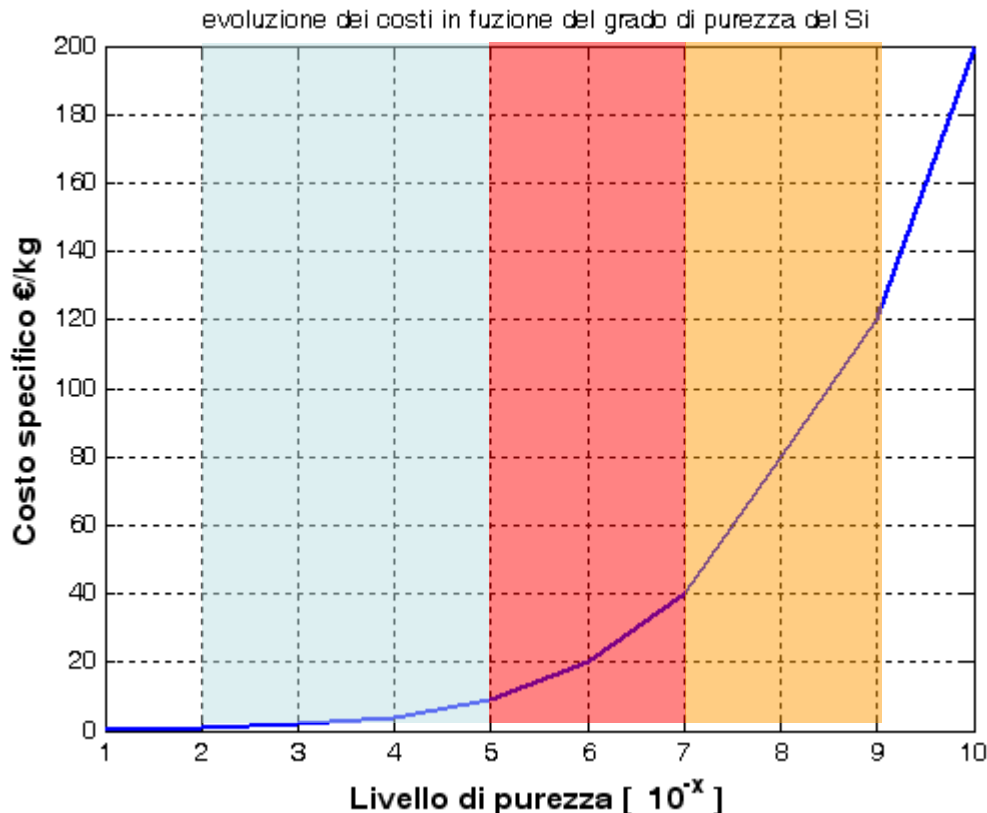


Proiezione economica degli effetti dei sistemi a concentrazione sul costo del kWh da PV



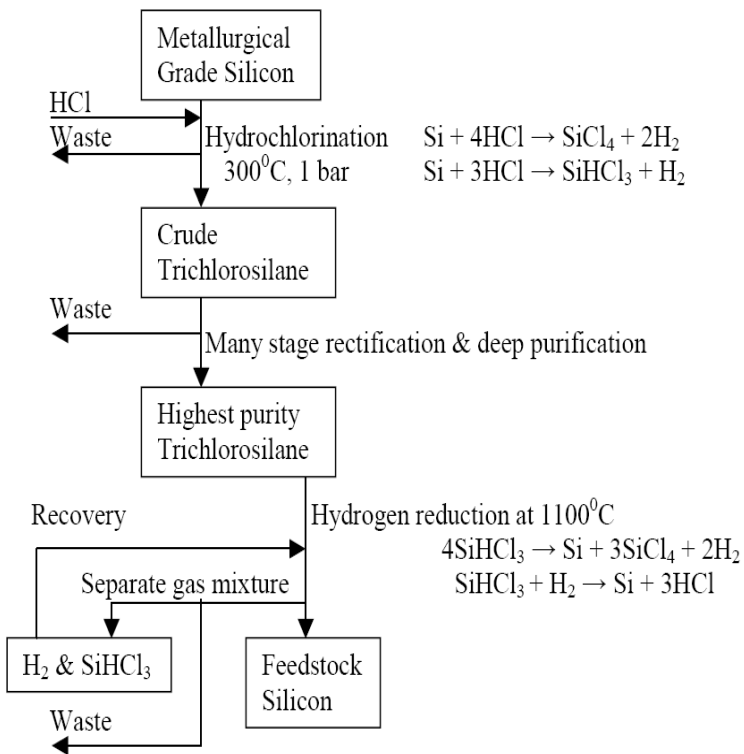


Costo del silicio in funzione del grado di purezza (fonte DOE)

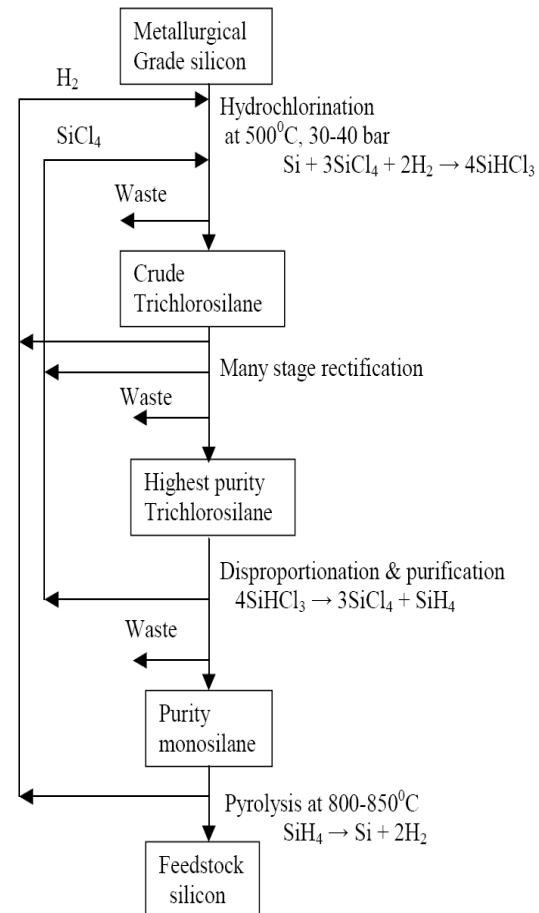




Processi di produzione del Silicio



Schema di produzione del silicio di grado elettronico (Processo Siemens)



Schema di produzione del silicio di grado elettronico (Processo Union Carbide)





Stato dell'arte



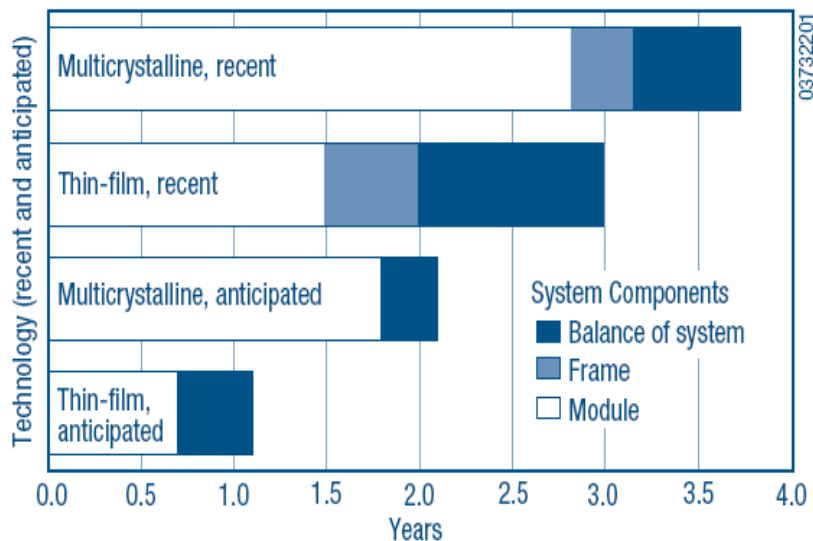
Consumi energetici specifici nel processo di produzione del silicio (fonte ASPO)

Materiale	Silicio monocristallino			Silicio policristallino		
	Grado di purezza	Consumo energetico (kWh/kg)	Costo cumulato (euro/kg)	Grado di purezza	Consumo energetico (kWh/kg)	Costo cumulato (euro/kg)
Produzione Si metallurgico $\text{SiO}_2 + \text{C} = \text{Si} + \text{CO}_2$	95%	30	0.9	95%	30	0.9
Produzione triclorosilano $\text{Si} + 3\text{HCl} = \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$	98.9%	5	2	98.9%	5	2
Purificazione SiHCl_3 (distillazione)	2 parti per miliardo (distillazione triplo stadio)	15	6.5	1 ppm (distillazione singolo stadio)	5	4.5
Deposizione Si puro microcristallino (reazione con H_2 a 1000 °C, processo Siemens) $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 = \text{Si} + 3\text{HCl}$	2 ppmiliardo	450	60	1-10 ppm (processo Union Carbide alternativo a Siemens)	30	20-10
Fabbricazione monocristalli	1-0.1 ppmiliardo (Czochralski)	75	100-200	1-10 ppm (casting)	30	30-40
Totale spesa energetica		575			100	





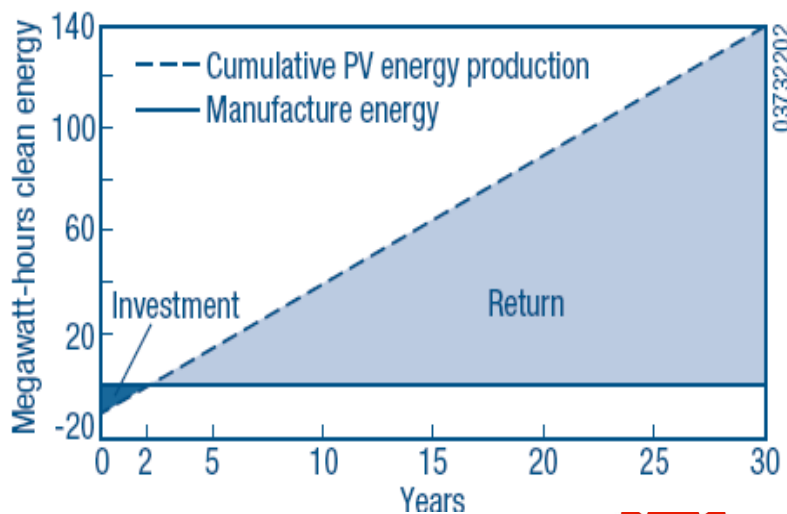
Energy Pay Back per impianti fotovoltaici (fonte DOE)



Energy Pay Back:

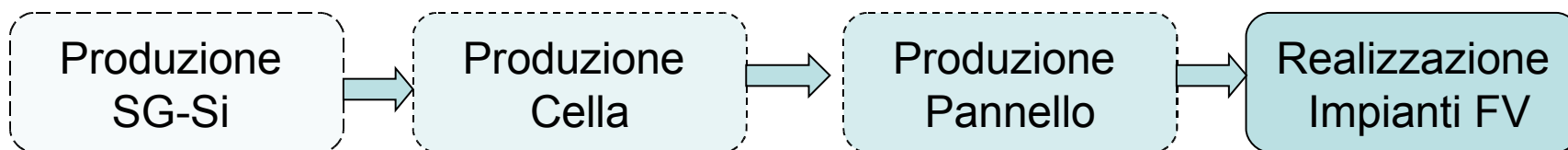
Tempo di funzionamento dell'impianto necessario a produrre la stessa quantità energia utilizzata per la sua realizzazione.

Consumo energetico per produrre le celle monocristalline 600 kWh/m² 420 kWh/m² per il policristallino.





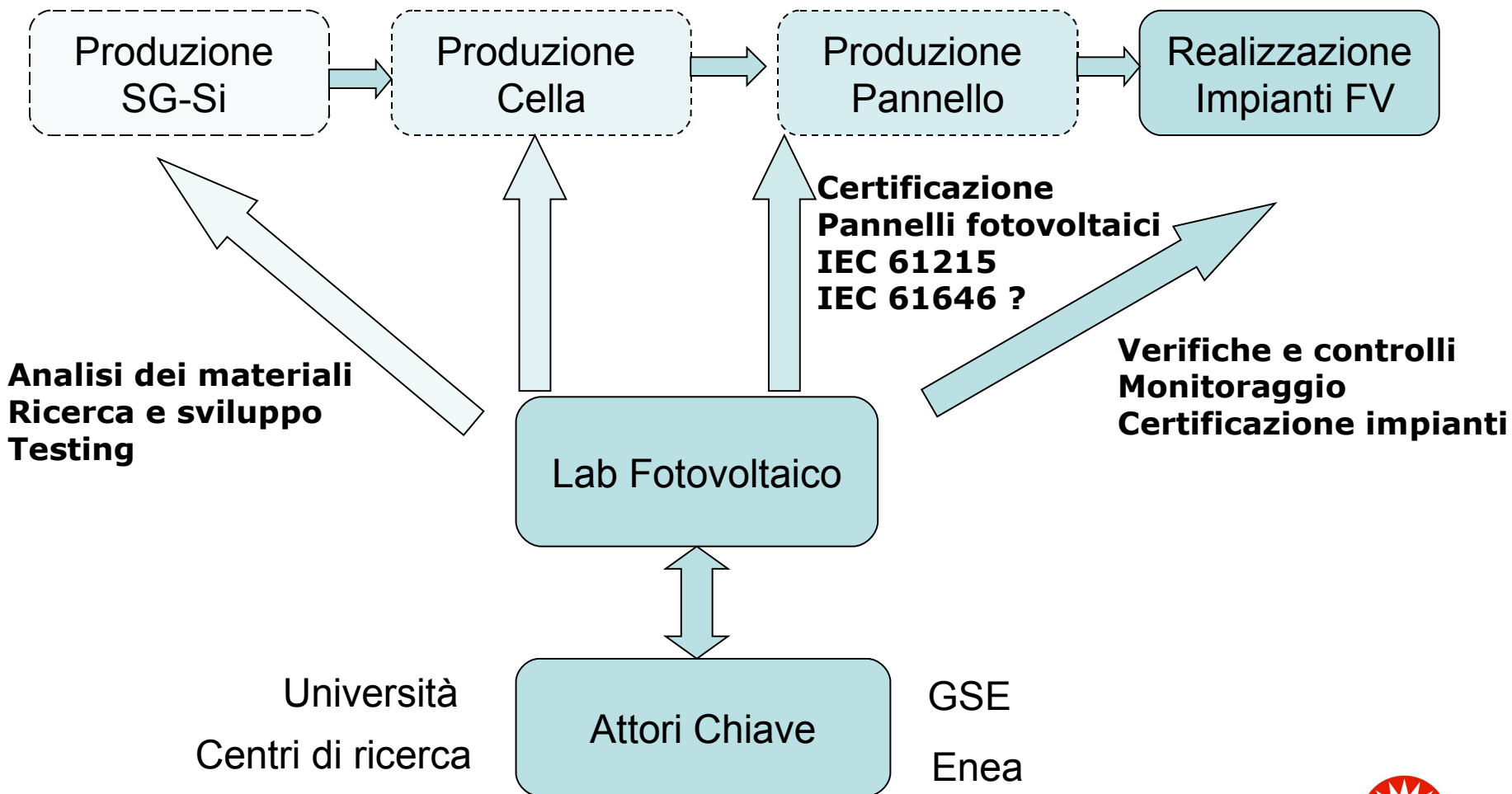
Ipotesi di sviluppo di una filiera fotovoltaica



**In questo contesto che funzione deve svolgere
il Laboratorio Fotovoltaico ?**



Laboratorio Fotovoltaico





Articolo 11

(Verifiche e controlli)

1.(omiss..) Il soggetto attuatore definisce e attua modalità per il controllo, anche mediante verifiche sugli impianti, di quanto dichiarato dai soggetti responsabili.

Articolo 14

(Monitoraggio della diffusione, divulgazione dei risultati e attività di informazione)

*Anche ai fini di quanto previsto all'articolo 15, il soggetto attuatore e l'ENEA organizzano, su campione significativo di impianti i cui soggetti responsabili sono **soggetti pubblici** e in modo da rappresentare le diverse tecnologie e applicazioni, un sistema di rilevazione dei dati tecnologici e di funzionamento*

Articolo 15

(Monitoraggio tecnologico e promozione dello sviluppo delle tecnologie)

L'ENEA, coordinandosi con il soggetto attuatore, effettua un monitoraggio tecnologico al fine di individuare le prestazioni delle tecnologie impiegate per la realizzazione degli impianti fotovoltaici realizzati nell'ambito dei decreti interministeriali 28 luglio 2005 e 6 febbraio 2006 e nell'ambito del presente decreto, segnalando le esigenze di innovazione tecnologica.

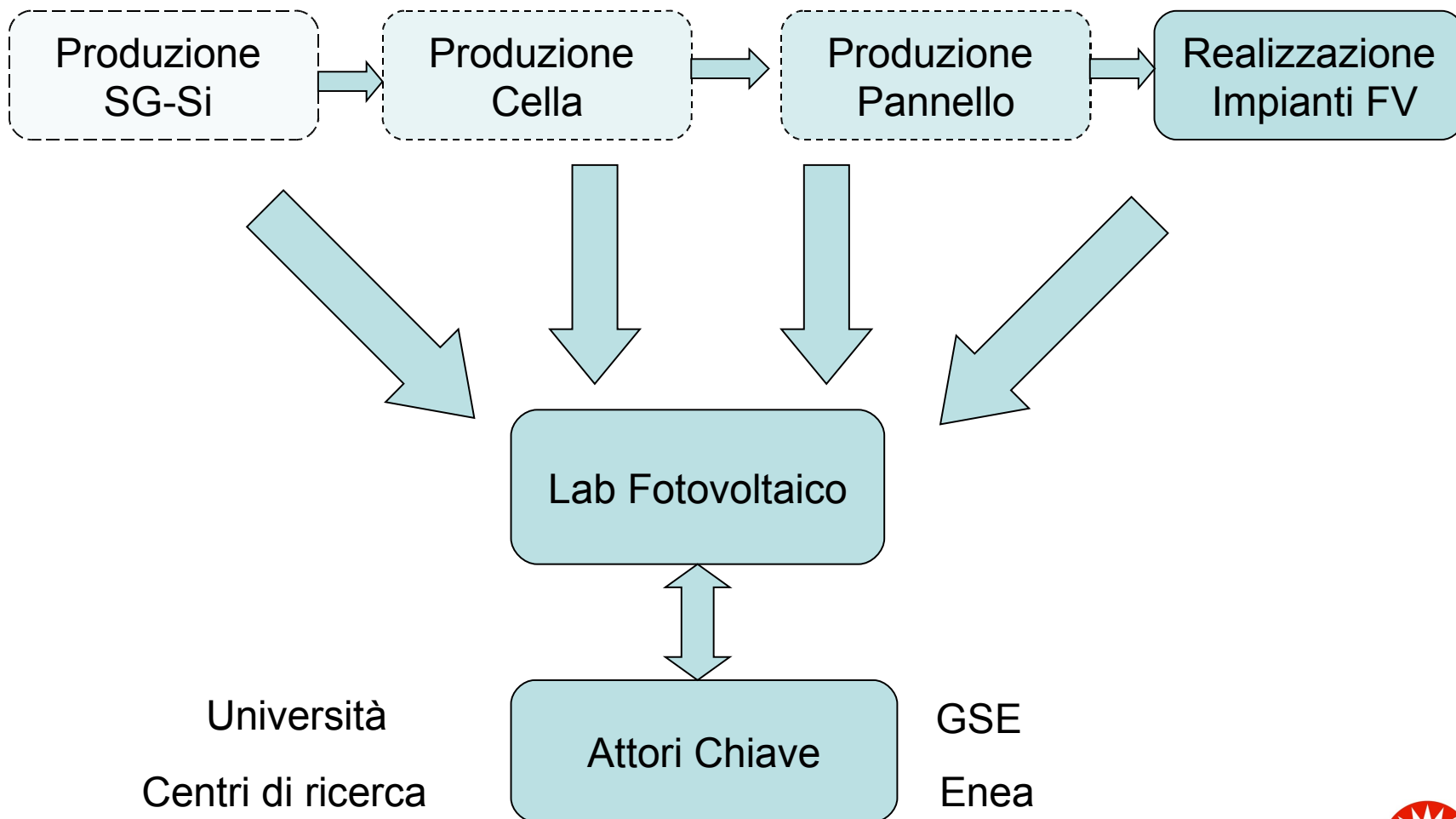


Sedi e Centri di Ricerca





Laboratorio Fotovoltaico





Lab Fotovoltaico

Sezione
Interfaccia rete

Sezione
Informatica

Sezione
Testing e monitoraggio
Outdoor

Sezione
Testing e certificazione
Indoor



Attività programmate nell'ambito del progetto Cluster

A – Progettazione ed attuazione di un'indagine ricognitiva

- A1. Raccolta di tutte le tecnologie disponibili per i diversi settori
- A2. Ricerca di tutte le informazioni sulle installazioni relative agli impianti fotovoltaici in Sardegna;
- A3. Valutazione delle diverse tecnologie adottate e analisi tecnica ed economica.

B – Trasferimento tecnologico alle imprese

- B1. Organizzazione di seminari e workshop sulle tecnologie e sui processi della filiera fotovoltaica
- B2. Redazione di opuscoli informativi relativi alle tecnologie e ai processi della filiera fotovoltaica

C – Assistenza e promozione delle attività di R&S

- C1. Supporto scientifico alle imprese e altri enti per le attività di ricerca e sviluppo in corso di svolgimento
- C2. Promozione della partecipazione di imprese e altri enti regionali a programmi nazionali e internazionali di ricerca e sviluppo (valutazione dell'idea progettuale, ricerca partner, organizzazione di convegni e seminari)



Grazie per l'attenzione