

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



Tesi di laurea

GESTIONE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI A FINE VITA

Candidato:

Marco Panarella

matr.N49/29

Relatore:

Ch.mo Prof. Ing. A. Lancia

Correlatore:

Dr. Ing. M. Tammaro

C.R. ENEA di Portici

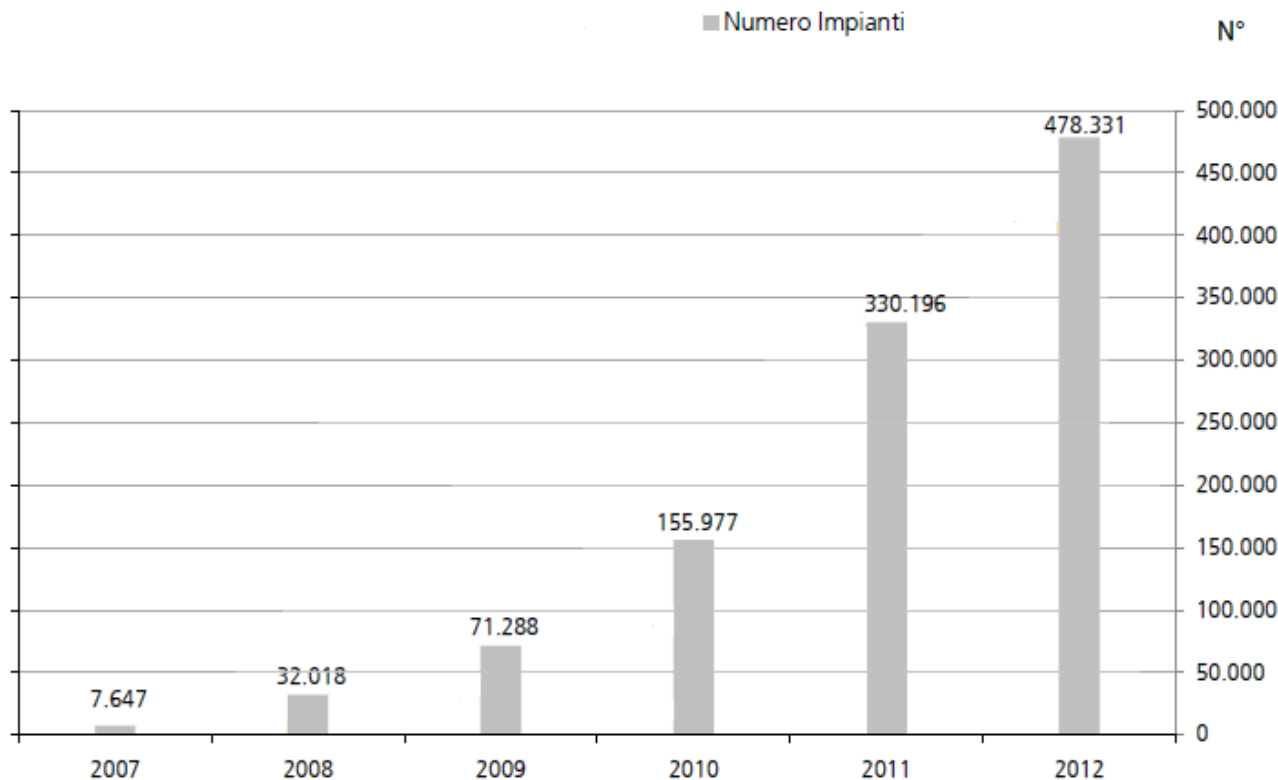
Anno Accademico 2012 – 2013

IL MERCATO FOTOVOLTAICO

In Italia:

In Italia il mercato del fotovoltaico è in continua crescita e negli ultimi anni è aumentato sia il **numero** che la **potenza** installata degli impianti FV.

- ❖ Nel 97% dei comuni italiani è presente almeno un impianto fotovoltaico [GSE 2012]
Il numero più elevato di impianti si trova in **Lombardia e Veneto**.



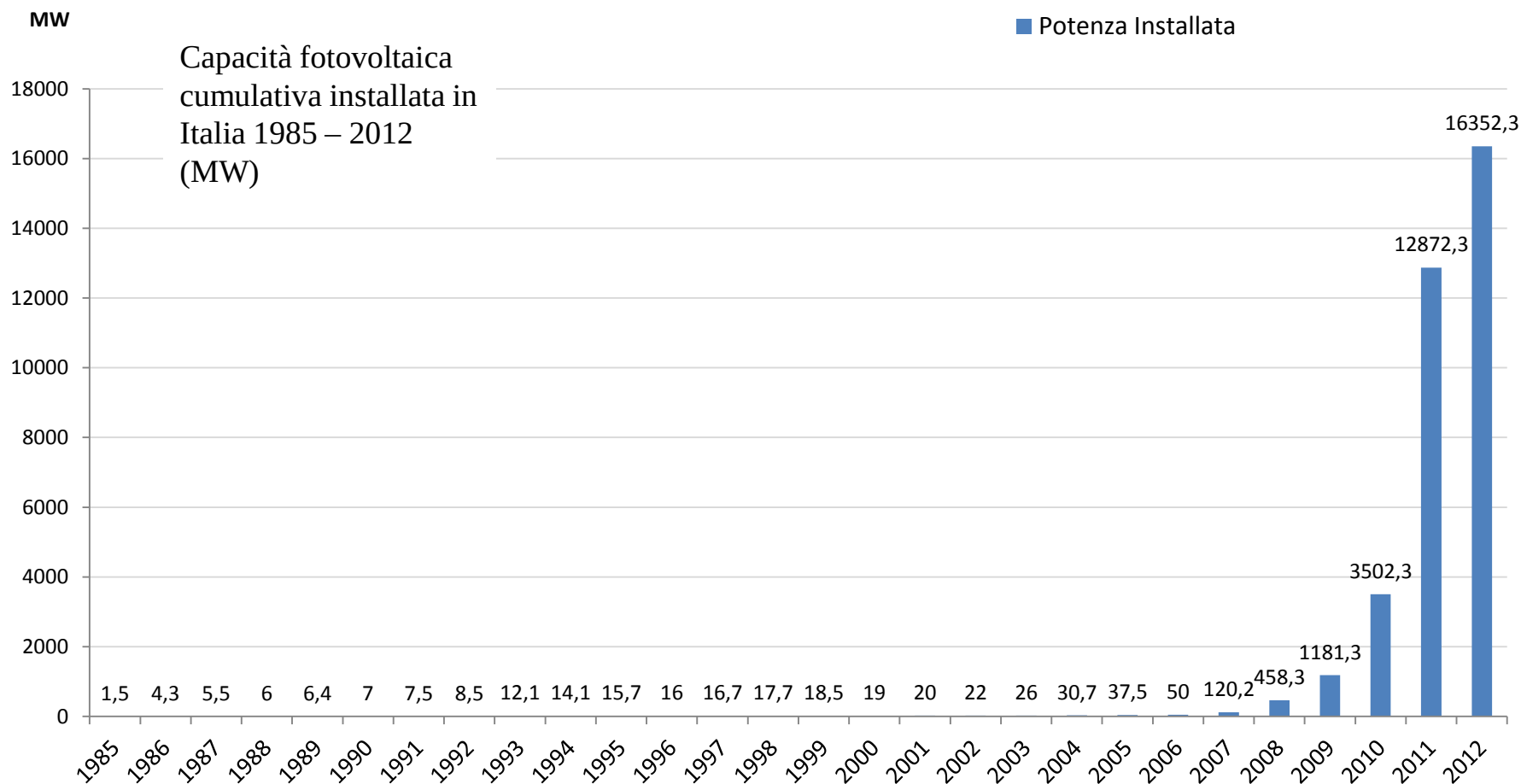
Dal 2008 al 2011 il **numero** degli impianti FV è andato più che raddoppiando di anno in anno.

Nel 2012 la crescita è stata percentualmente meno consistente, circa il 45% in più dell'anno precedente.

[GSE 2012]

❖ Il fotovoltaico italiano può vantare nel 2011 una **potenza installata** pari a 9 GW, record mondiale nel settore.

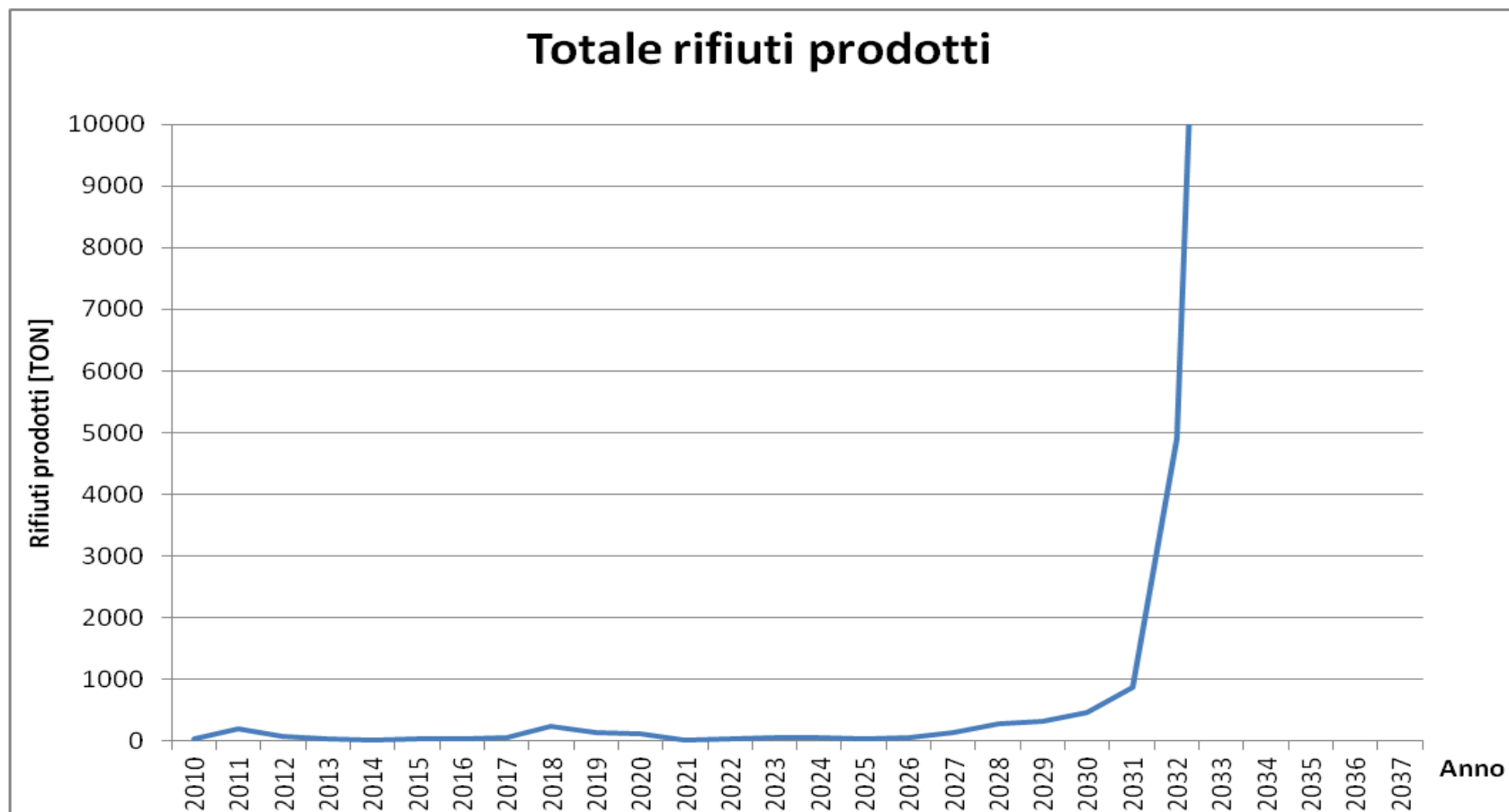
La maggiore potenza si registra in **Puglia** con 2.449 MW installati



L'incremento maggiore di potenza si è avuto dal 2007 al 2012, passando dai 120 MW ai 16.352 MW

Stima rifiuti prodotti da ogni MW di picco installato:

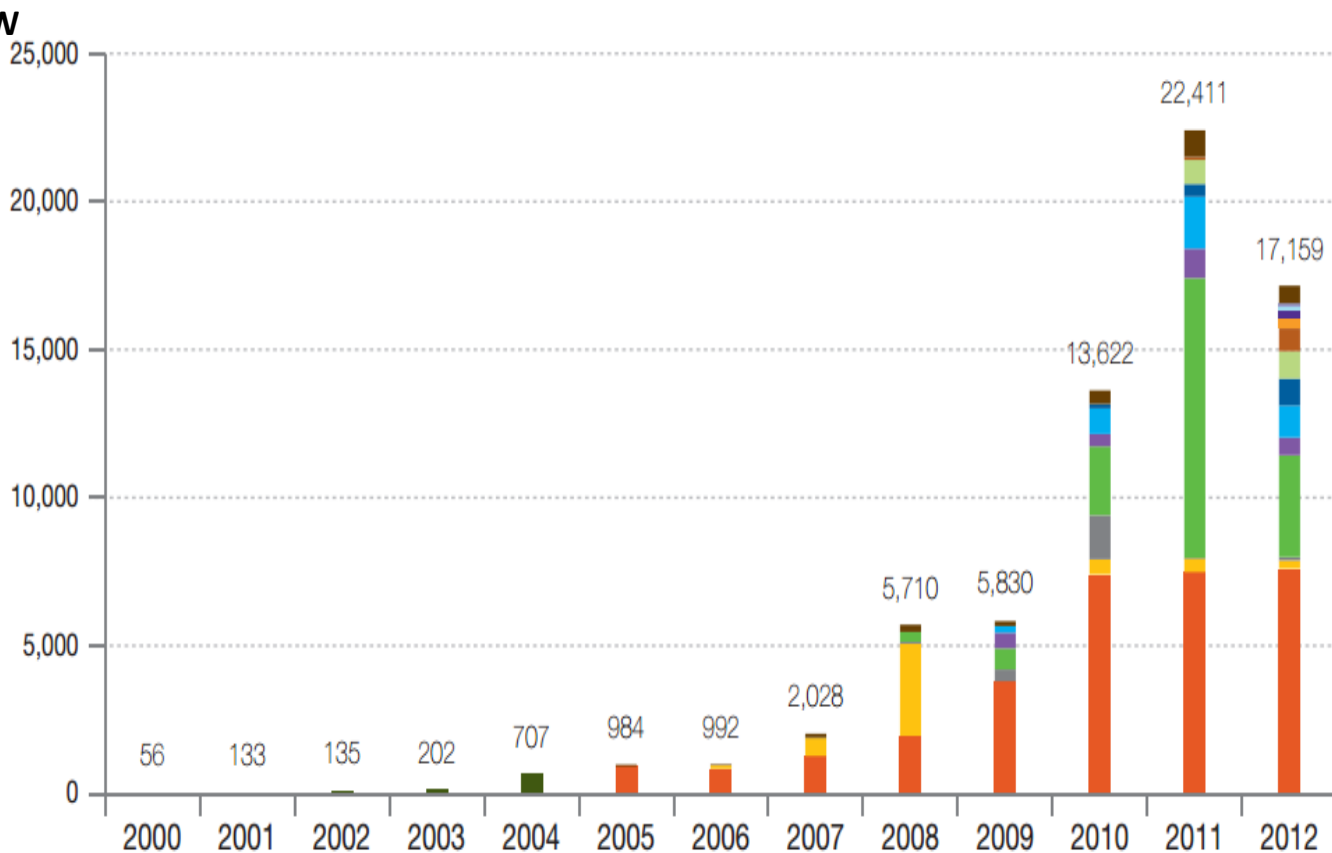
Considerando che la vita di un pannello è 25-30 anni e che 1 MWp ➡ 70-80 t di rifiuto



[ENEA, IEA, PVNews, Solar Energy Report, 2012]

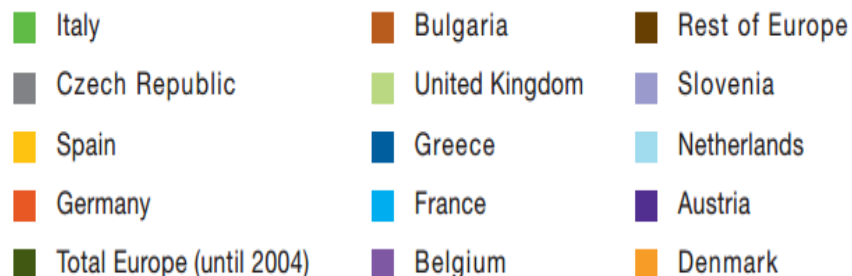
In Europa:

Il mercato FV Europeo ha subito un notevole sviluppo grazie all'impegno degli Stati membri. [EPIA Global Market Outlook fot fotovoltaics,2013]



Dopo la forte crescita della Spagna nel 2008, è stata la Germania l'unico leader nelle installazioni nel 2009.

Il 2011 è stato l'anno in cui è stata raggiunta la quota record di 22GW di potenza installata, frutto del boom combinato di Italia e Germania

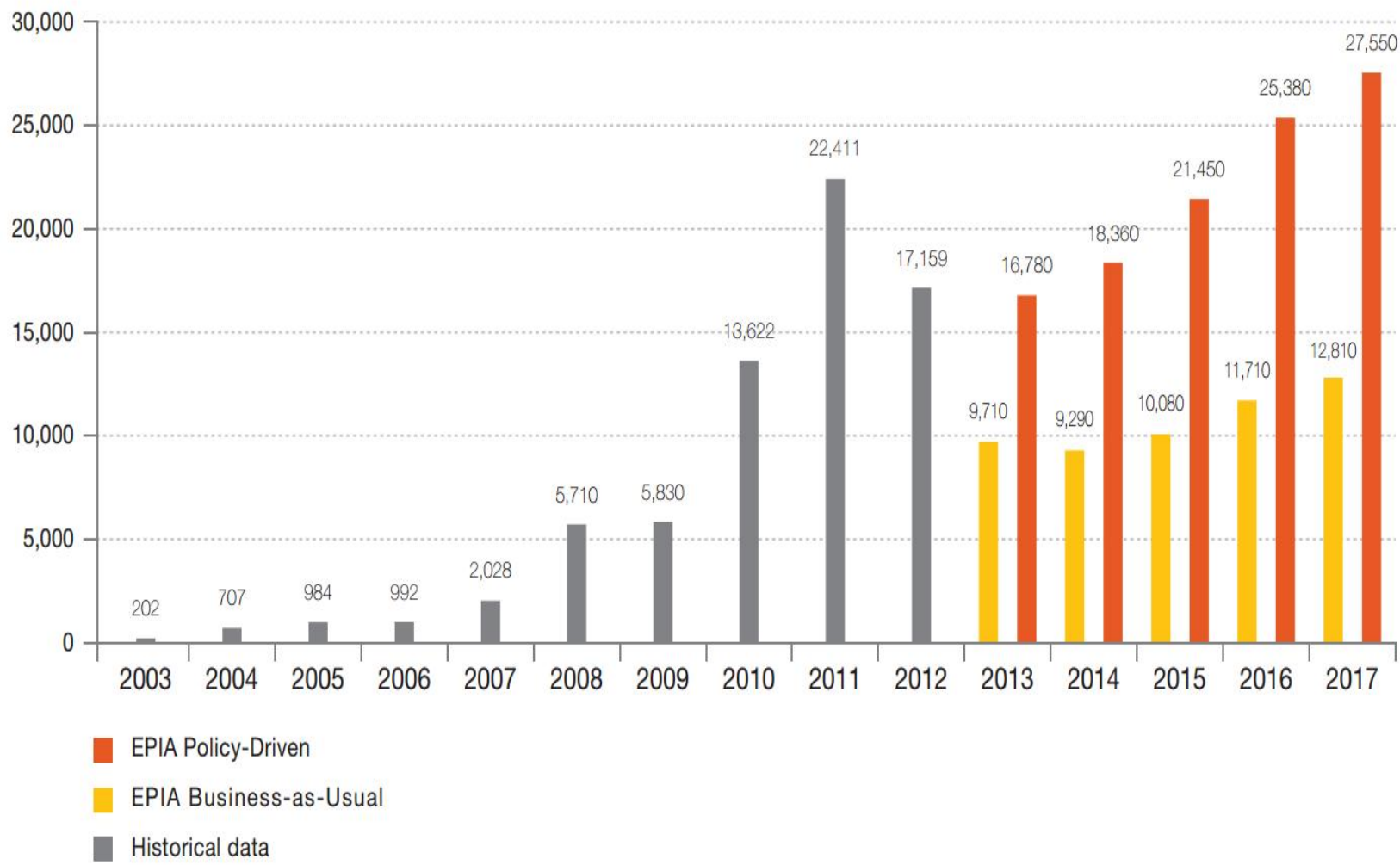


Capacità fotovoltaica
cumulativa installata in Europa
2000 – 2012 (MW)

Il mercato FV Europeo potrebbe andare in contro a due possibili “scenari”: stabile nel 2013, per poi crescere ancora dal 2014 in poi grazie alle nuove tecnologie emergenti (Policy-Driven scenario), oppure in declino (Business-as-Usual)

[EPIA Global Market Outlook fot fotovoltaics,2013]

MW



PANNELLI FOTOVOLTAICI

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Effetto Fotovoltaico

RADIAZIONE
ELETTROMAGNETICA



ENERGIA
CHIMICA



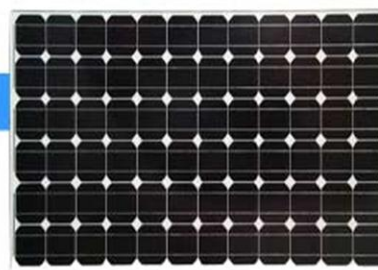
ENERGIA
ELETTRICA

semiconduttore

IL GENERATORE FOTOVOLTAICO



Cella



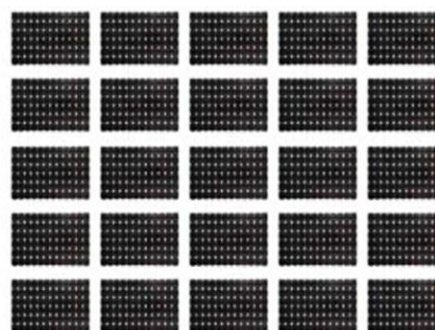
Modulo



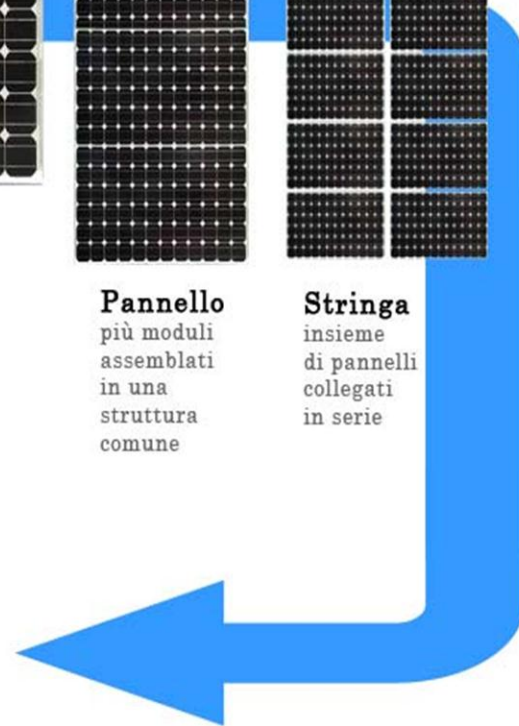
Pannello
più moduli
assemblati
in una
struttura
comune



Stringa
insieme
di pannelli
collegati
in serie



Generatore fotovoltaico
insieme di stringhe collegate in
parallelo per ottenere la potenza voluta



PRINCIPALI TECNOLOGIE FOTOVOLTAICHE

Moduli in Silicio Cristallino

Celle in Silicio
Monocristallino

$\eta = 17\%$



MONOCRISTALLINO

Celle in Silicio
Policristallino

$\eta = 15\%$



POLICRISTALLINO

Moduli a Film Sottile

$\eta = 8\%$

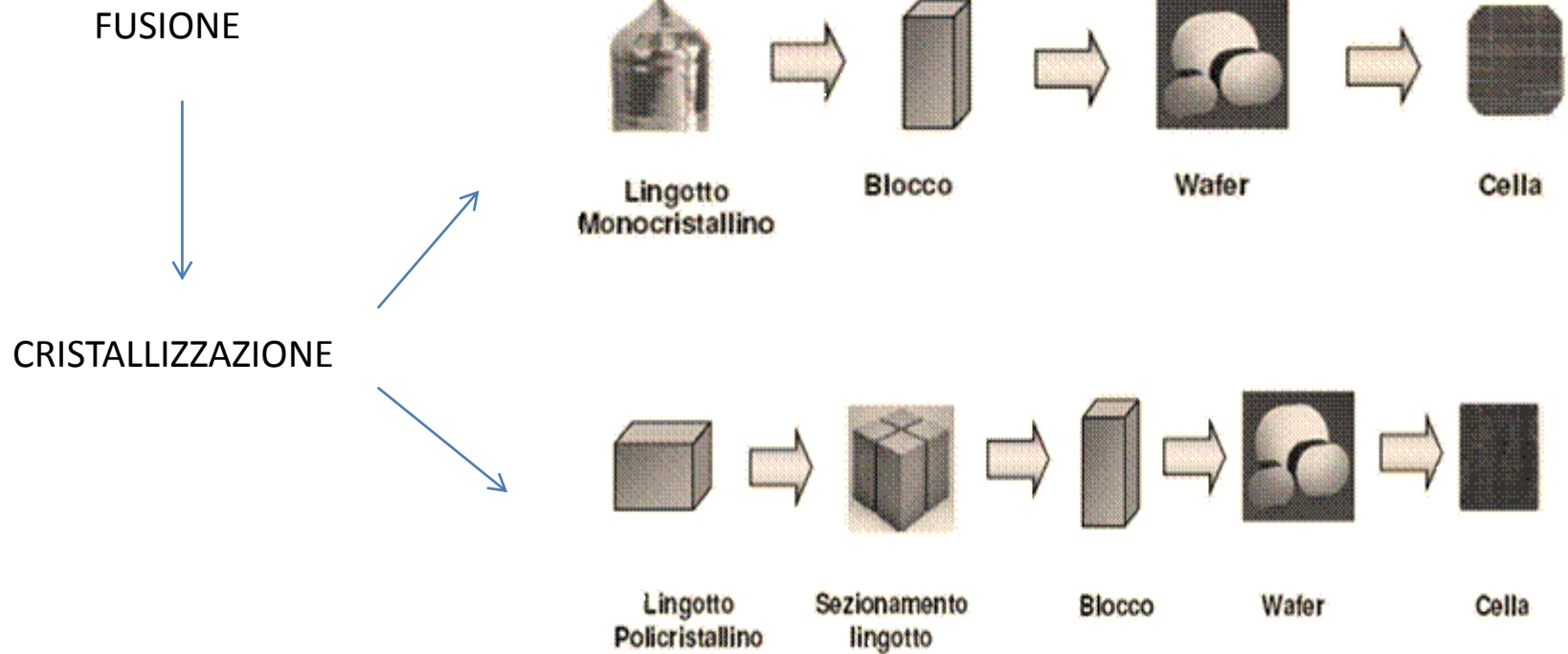


CELLE fotovoltaiche in Silicio Cristallino

Materiale Semiconduttore:
SILICIO



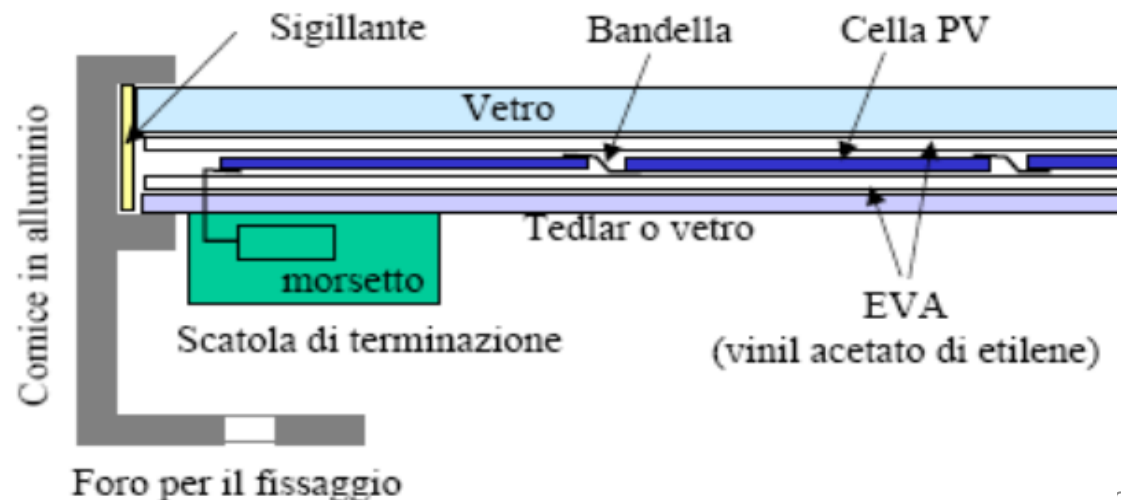
Processo produttivo:



MODULI fotovoltaici in Silicio Cristallino

Struttura del Modulo:

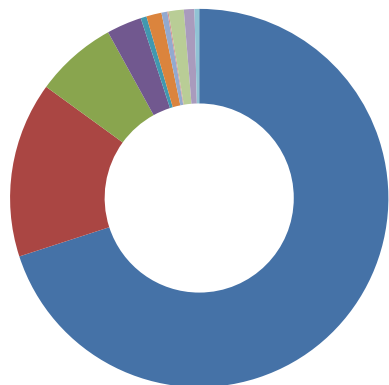
1. **VETRO TEMPERATO A BASSO CONTENUTO DI Fe**
protezione meccanica anteriore per le celle
2. **ETILENE VINIL ACETATO (EVA)**
fissa le celle al vetro
3. **CELLE**
a partire dai contatti anteriori e posteriori sono posti i ribbon, saldati alle celle, al fine di collegarle insieme
4. **ETILENE VINIL ACETATO (EVA)**
fissa le celle al vetro
5. **POLIVINILFLUORURO (PVF) O VETRO**
superficie posteriore di supporto
6. **CORNICE METALLICA**
conferisce rigidezza e stabilità al modulo
7. **CASSETTA DI GIUNZIONE**
protezione delle bandelle terminali che fuoriescono dal “sandwich”



MODULI fotovoltaiche in Silicio Cristallino

Percentuali in peso dei materiali che compongono un modulo FV:

Vetro	60-74%
Alluminio	10-25%
EVA	6-8%
Silicio	3-5%
Rame	0,3-0,4%
Argento	0,1-0,15%
Stagno	0,1-0,12%
Piombo	0,07-0,12%
Junction box	1-2,5%
Adesivi	0,1-2%
Altro	0,5-1%



- Vetro
- Alluminio
- E.V.A.
- Silicio
- Rame
- Argento
- Stagno
- Piombo
- Junction box

Rischi per la salute umana:

MATERIALI	EFFETTI
Rame (Cu)	<i>Polmone, Ossa, Gastro Intestinale, Sistema Nervoso Centrale, Fegato</i>
Piombo (Pb)	<i>Sistema Nervoso Centrale, Gastro Intestinale, Sangue, Reni, Apparato Riproduttivo</i>

RIFERIMENTI LEGISLATIVI

“Direttiva Europea 2012/19/Ue”

entrata in vigore il 13 agosto 2012

Codifica la disciplina sulla produzione, la gestione, la raccolta e lo smaltimento *dei Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE)*

- Tra le apparecchiature elettriche ed elettroniche (AEE) , per la prima volta, rientrano i *pannelli fotovoltaici*.
- I **pannelli fotovoltaici** rientrano nella categoria 4 (Allegato I),

- *Obiettivi minimi da raggiungere:*

	<i>entro il 14 agosto 2015</i>	<i>entro il 14 agosto 2018</i>	<i>dopo il 2018</i>
RECUPERO	75%	80%	85%
RICICLAGGIO	65%	70%	80%

Ogni produttore è responsabile *dei costi di raccolta, trattamento, recupero e smaltimento ecocompatibile dei RAEE* per prodotti immessi sul mercato dopo il 13-08-2005. *Per i rifiuti storici, immessi sul mercato prima di tale data, il finanziamento dei costi incombe sui produttori all'atto della fornitura.*

- Gli Stati membri devono recepire la Direttiva entro il 14 febbraio 2014

Decreti ministeriali 5 maggio 2011 (IV Conto Energia) e 5 luglio 2012 (V Conto Energia)

“Conto energia”:

Politica europea di incentivazione nei confronti della produzione di energia elettrica, da parte di privati, imprese ed enti pubblici, da fonte solare mediante impianti fotovoltaici, permanentemente connessi alla rete elettrica.

In Italia:

<i>D.M. 5 maggio 2011</i>	<i>D.M. 5 maggio 2012</i>
IV Conto Energia	V Conto Energia
il soggetto responsabile di impianti, entrati sul mercato successivamente al 30 Giugno 2012, è tenuto a trasmettere al GSE (Gestore dei Servizi Energetici) il certificato rilasciato dal produttore dei moduli, ove gli stessi dichiarano di essere membri di un consorzio europeo che garantisce la completa gestione a fine vita dei moduli fotovoltaici	

- Mediante il Conto Energia, ogni singolo modulo è tracciato dal momento della immissione sul mercato sino al momento dello smaltimento ed il produttore è responsabile della raccolta dei FV a fine vita.

METODI DI RICICLAGGIO

Materiali riciclabili da un pannello in Silicio Cristallino:

ALLUMINIO **VETRO** **SILICIO** **ARGENTO**

Processi di Riciclaggio:

Operatore	Processo	Stato
Deutsche Solar	Separazione termica, processo chimico	Operativo
First Solar, BNL	Decomposizione termica in gas inerte	Sperimentale
Bp Solar, Soltech-Seghers	Riciclo wafer con acidi minerali/in letti fluidi	Sperimentale
CELLSPEA®	Separazione chimica mediante limonene	Sperimentale
Altri	Frantumazione moduli, separazione meccanica, trattamento acido, fusione, incenerimento	Sperimentale



→ Costi industriali alti

→ Difficoltà nel separare le polveri estremamente fini prodotte nel letto fluido

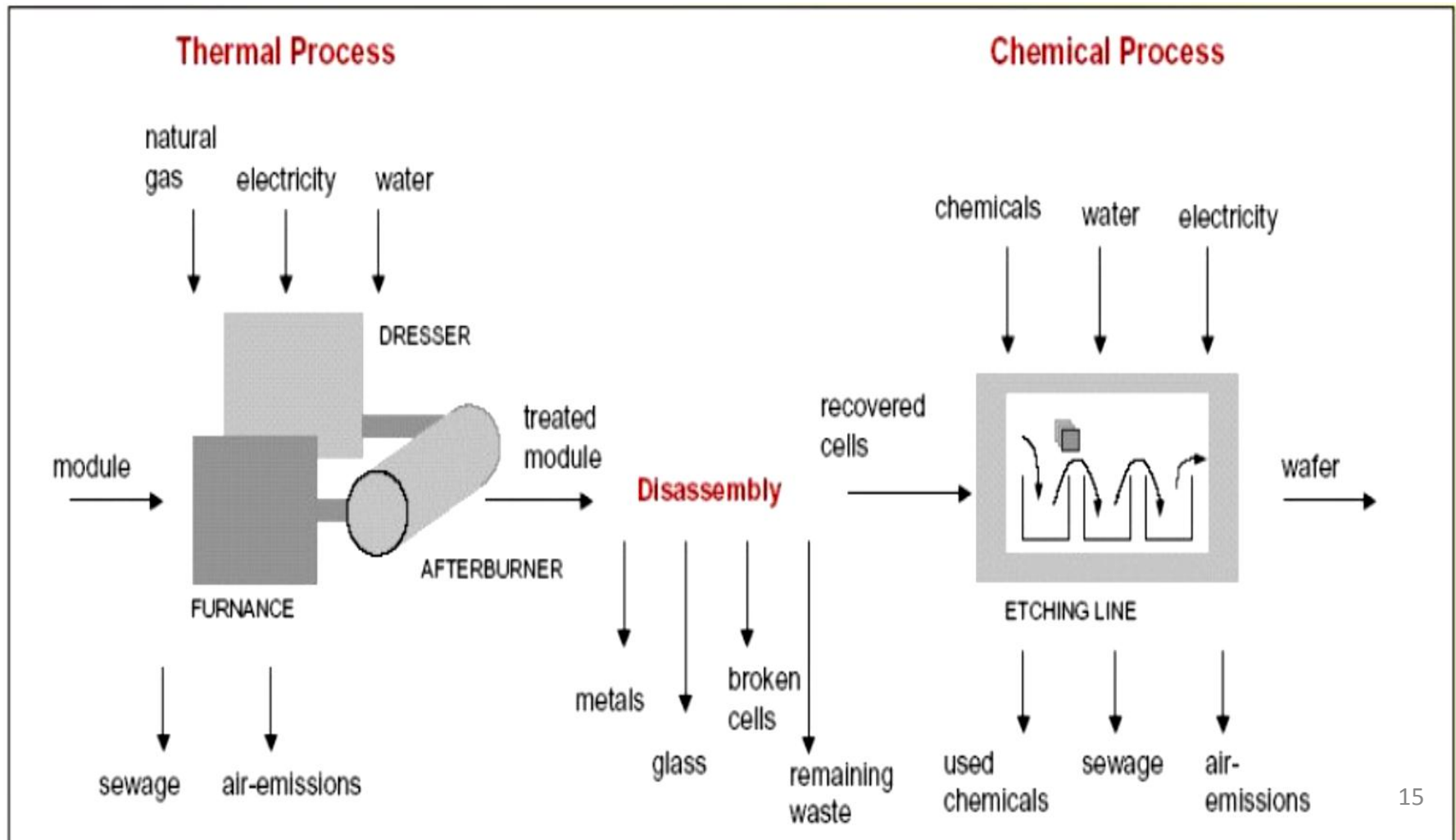
→ Tempi di esecuzione piuttosto lunghi, inadatto a recuperare celle intatte

→ Non garantiscono un grado di separazione sufficiente e non risolvono i problemi di purificazione dei gas esausti.¹⁴

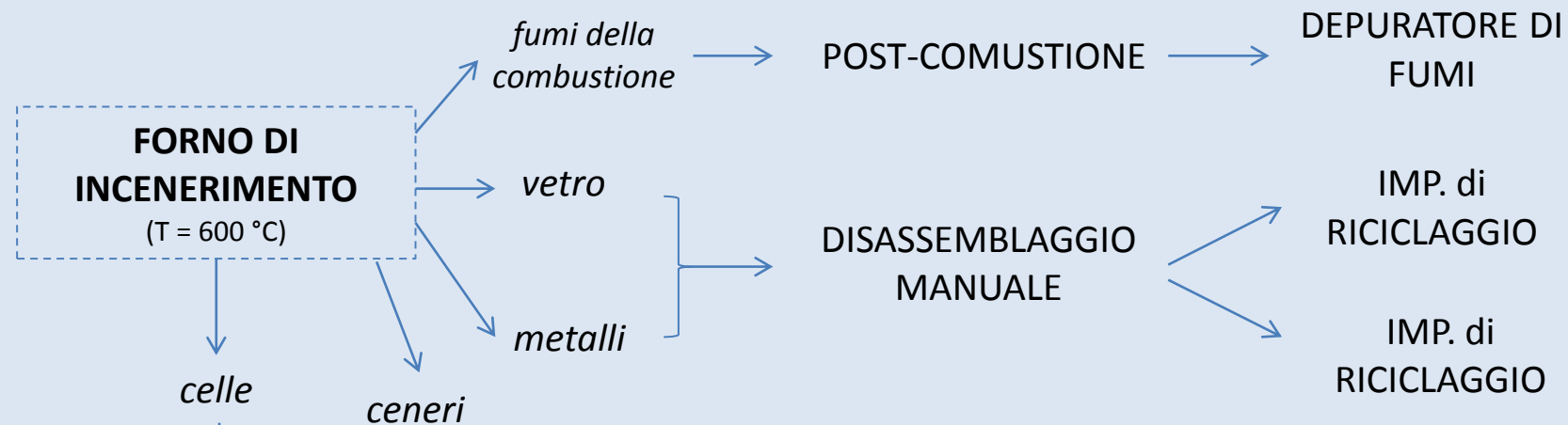
➡ Deutsche Solar

Processo proposto dall'azienda tedesca *Deutsche Solar* per la valutazione della fattibilità economica che mira alla riduzione dei costi e degli impatti ambientali.

Fasi del processo:



PROCESSO TERMICO



PROCESSO CHIMICO

La SolarWorld, la società che controlla Deutsche Solar, ha affermato di riuscire a risparmiare il 30% di energia producendo un modulo da celle solari riciclate

END LIFE DEI PANNELLI CRISTALLINI ED IMPATTO AMBIENTALE

Life Cycle Assessment (LCA)

Def. LCA

Strumento di valutazione dei carichi energetici e ambientali relativi ad un processo

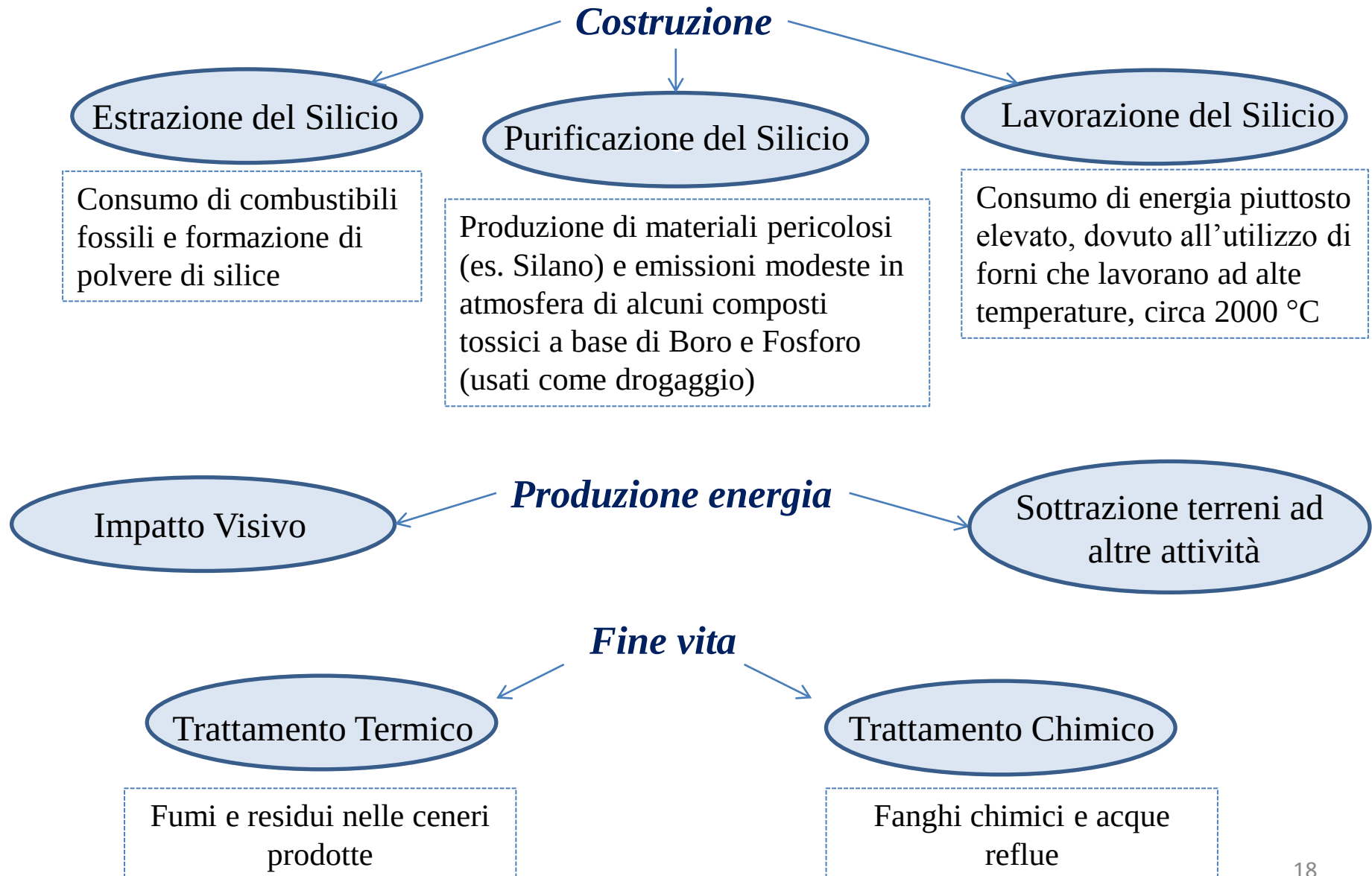
Scopo:

Valutare l'impatto ambientale durante l'intero ciclo vita.

Valutazione degli impatti ambientali:

- **Energy Pay-Back Times (EPBTs);**
- **Emissioni di gas serra;**
- **Emissioni inquinanti;**
- **Emissioni di metalli tossici**
- **Rischi per la salute e sicurezza**

Stato d'arte sulle attività sperimentali sull'impatto ambientale



Gestione non corretta del fine vita

I composti tossici eluiti possono, in caso di eventi meteorici o infiltrazioni di acqua, rappresentare fonte di inquinamento per le acque superficiali, sotterranee e per il suolo.



Test di Cessione:

Atti a simulare il comportamento, a medio e lungo termine, della mobilitazione di sostanze tossiche per la valutazione delle concentrazioni di metallo presenti.

Procedura:

I test vengono condotti utilizzando frammenti ($< 1 \text{ cm}^2$) di moduli rotti, che vengono messi in sospensione in un eluente per 24 ore.

CONCLUSIONI

Il mercato del fotovoltaico negli ultimi anni è stato caratterizzato da una fortissima crescita che ha portato indubbi benefici ambientali.

Tuttavia, dall'analisi dei dati sulle installazioni FV si prevede che, dal 2030 in poi ci sarà un aumento considerevole di rifiuti.

I dati sperimentali ad oggi disponibili, in particolar modo per i pannelli cristallini, relativi all'impatto ambientale della fase di *end life* sono ancora pochi.

La “Direttiva Europea 2012/19/UE impone il recupero dei componenti dei pannelli da smaltire.

L'Italia ha tempo fino al 14 febbraio 2014 per conformarsi a tale Direttiva.

La recente Direttiva Europea sicuramente fornirà un nuovo impulso sia all'industria del riciclaggio che agli studi sperimentali sul corrispondente impatto ambientale.

...Grazie per l'attenzione!