



ASSOCIAZIONE
ITALIANA
PER LA RICERCA
INDUSTRIALE



nanotec IT

CENTRO ITALIANO
PER LE NANOTECNOLOGIE

Le innovazioni del prossimo futuro: Tecnologie Prioritarie per l'Industria

ENERGIA

Lorenzo Siciliano, Massimo Chindemi
eni



Bergamo, 17 giugno 2013 – Parco Scientifico e Tecnologico Kilometro Rosso

Componenti del gruppo di lavoro “Energia”

- Stefano Bellucci Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
- Giancarlo Benelli Enel
- Massimo Camatti GE
- Corrado Carretti SAES Group
- Massimo Cavallari Fincantieri
- Valerio Cinti Enel
- Sandro Cobror M&G
- Paolo Deiana ENEA
- Vincenzo Delle Site CNR
- Lorenzo De Vita Eni
- Michele Di Foggia EMAHT
- Alessandro Fraleoni Morgera Sincrotrone Trieste
- Mario Marchionna Eni
- Dante Pocci CSM
- Jacopo Tonziello Eni
- Arrigo Vienna Eni divisione G&P

Il gruppo è stato coordinato da:

- Lorenzo Siciliano Eni
- Massimo Chindemi Eni

Le informazioni e i pareri espressi in questa presentazione rappresentano il punto di vista dei partecipanti ma non necessariamente quello delle società per cui lavorano.

Tecnologie prioritarie per il settore energia

Tecnologie di trasporto e storage dell'energia

1. LNG
2. CAES (Compressed Air Energy Storage)

Tecnologie di produzione dell'energia e materiali avanzati

3. Compressori per gas acidi
4. Cicli combinati a gas naturale e materiali avanzati
5. Cicli supercritici e materiali avanzati
6. Celle a combustibile: SOFC, PEMFC, DMFC

Tecnologie di impiego delle biomasse

7. Conversione termica e biologica di biomasse a vettori energetici: aviation fuels
8. Waste to fuel

Tecnologie per la valorizzazione dell'energia solare

9. Fotovoltaico avanzato (Celle al silicio, polimeriche e organiche)
10. Solare termodinamico a concentrazione

Tecnologie per l'efficienza energetica

11. Solar Cooling (impianti di condizionamento ad energia solare)
12. Impiego dell'energia geotermica

13. Smart Grid/Smart Metering/Smart Energy

14. Tecnologie di separazione, confinamento geologico e riutilizzo della CO₂

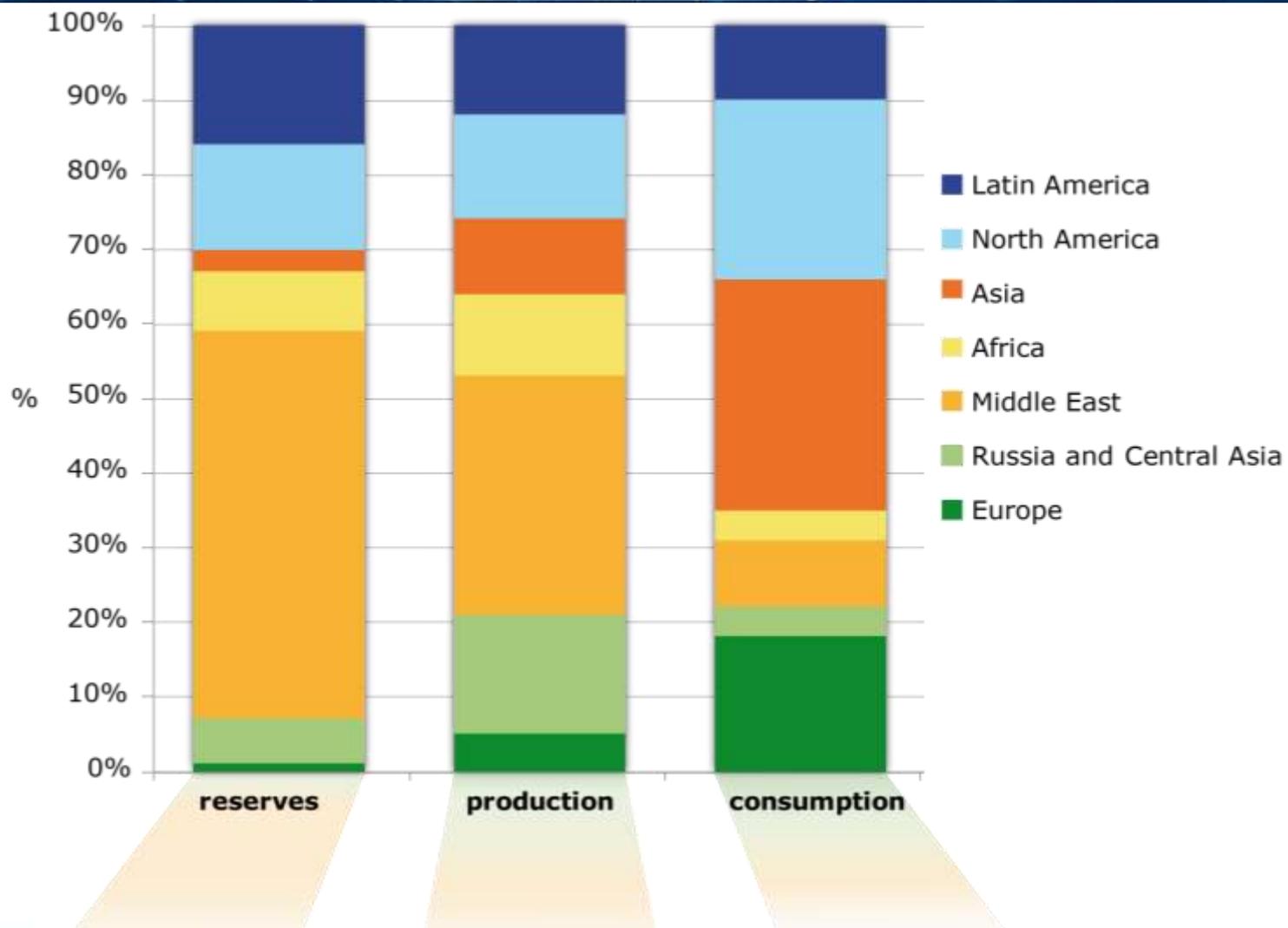
Nuove rispetto alla
passata edizione

Su tutte le tecnologie incluse in questo elenco sono in corso in Italia attività di ricerca & sviluppo.

Profilo del settore

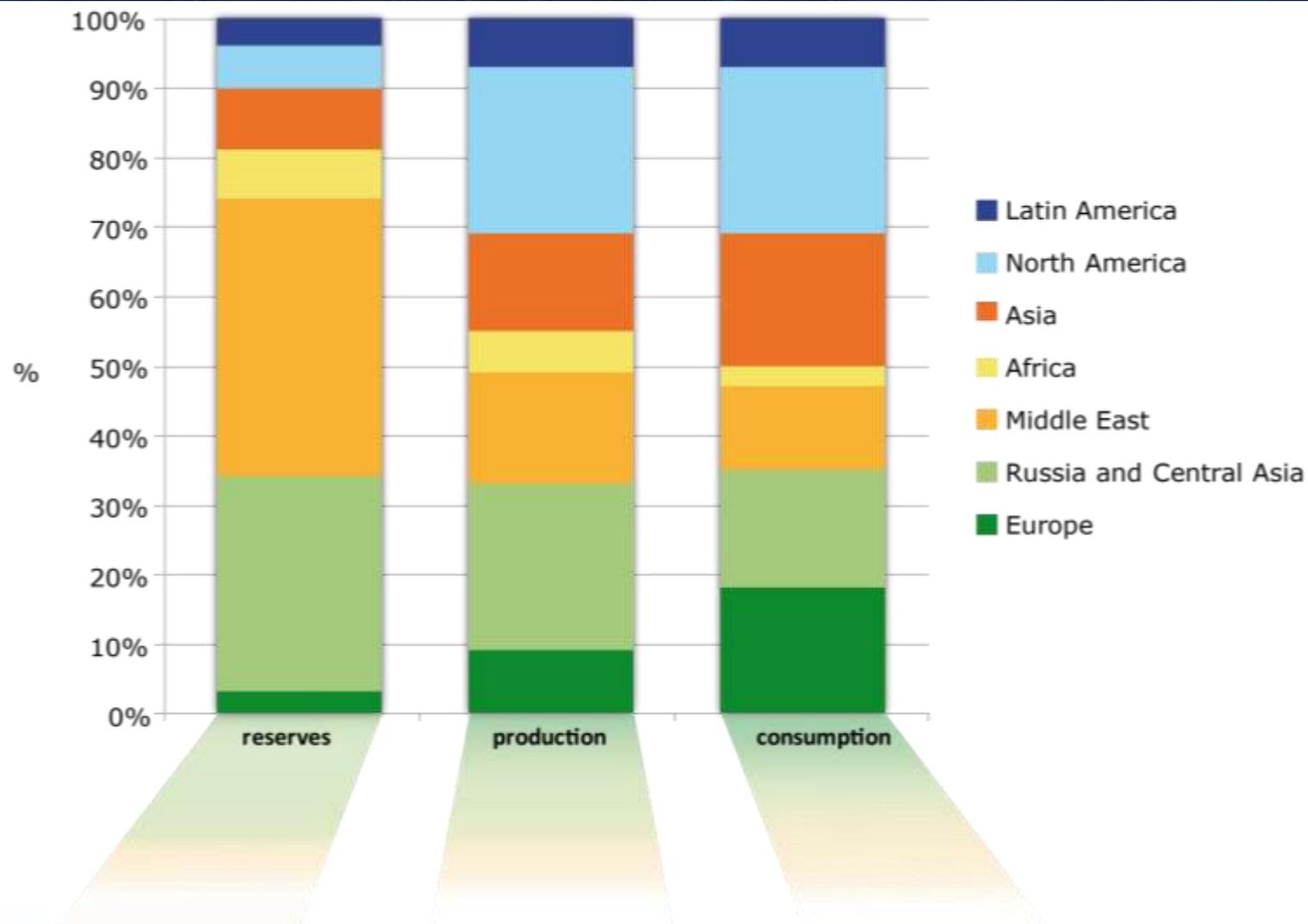
- L'obiettivo del settore energetico è garantire energia affidabile, economica, sicura e ambientalmente sostenibile su scala globale.
- Il sistema energetico si compone di cinque segmenti: esplorazione e produzione, trasporto, conversione/trasformazione, usi finali.
- Punti di attenzione:
 - ✓ **Distribuzione delle fonti.** Per molte fonti primarie (es. i combustibili fossili) le aree di produzione non coincidono con quelle di consumo e sono spesso distanti da queste.
 - ✓ **Trasformazione e utilizzo.** Le fonti di energia primarie devono essere convertite sempre più efficacemente in prodotti energetici per gli usi finali. Rendimenti e impatto ambientale dei processi di produzione e trasformazione e di impiego finale sono elementi di grande attenzione in tale ambito.
 - ✓ **Sicurezza.** Tutte le attività impongono l'impiego di condizioni di sicurezza sia per l'uomo sia per l'ambiente.

La distribuzione delle fonti: petrolio (al 31 dicembre 2011)



Fonte: World Oil and Gas Review, eni, 2012

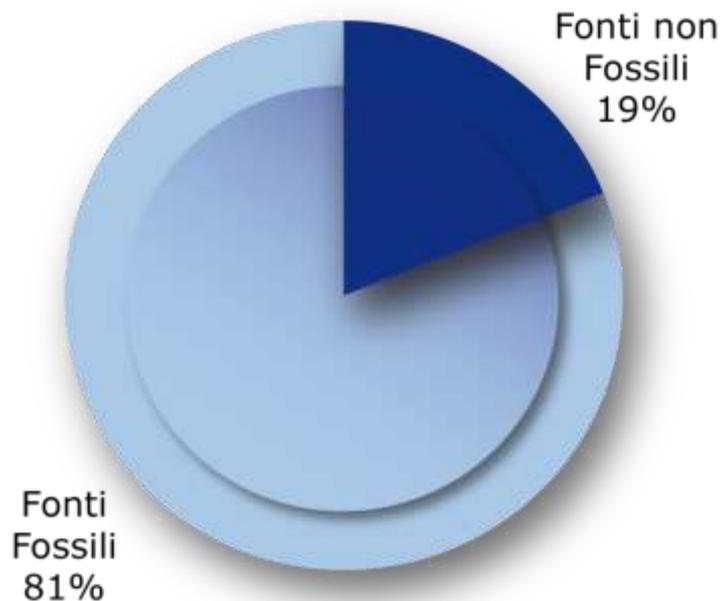
La distribuzione delle fonti: gas naturale (al 31 dicembre 2011)



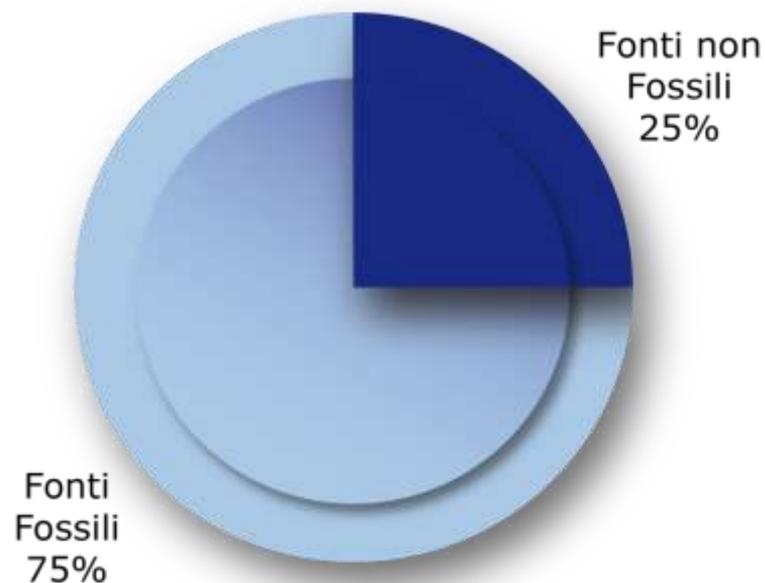
La situazione su scala mondiale

Le fonti fossili rimarranno determinanti per soddisfare la domanda di energia nel lungo periodo.

2010
Totale 12,7 mld TOE



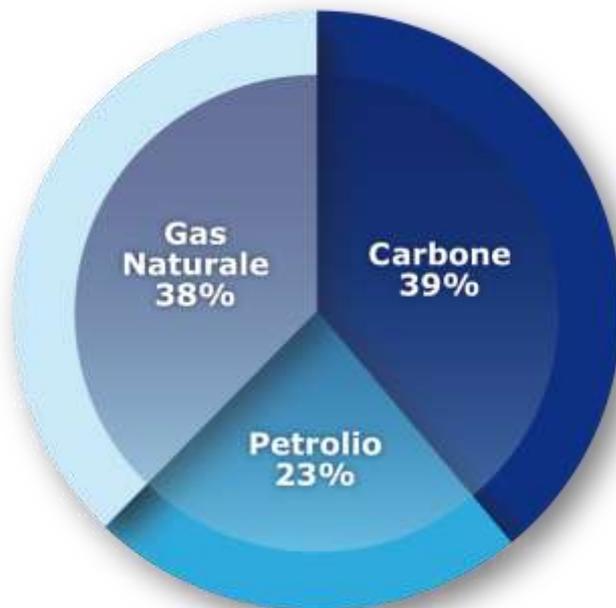
2030
Totale 16,7 mld TOE



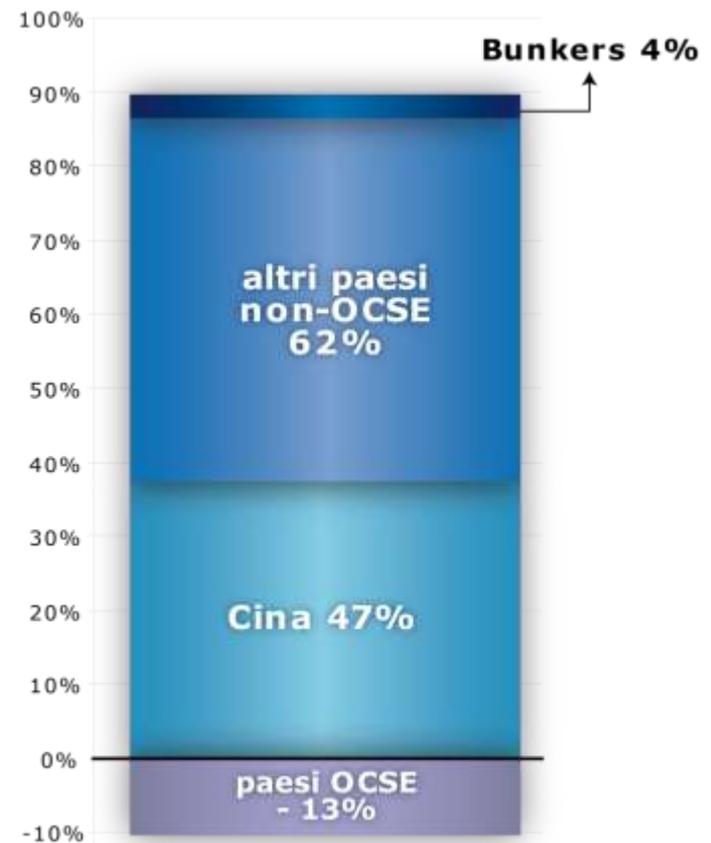
E' in atto la tendenza all'aumento delle emissioni di CO₂

Totale variazione 2009–2030 = +6,8 mld ton CO₂ (+24%)

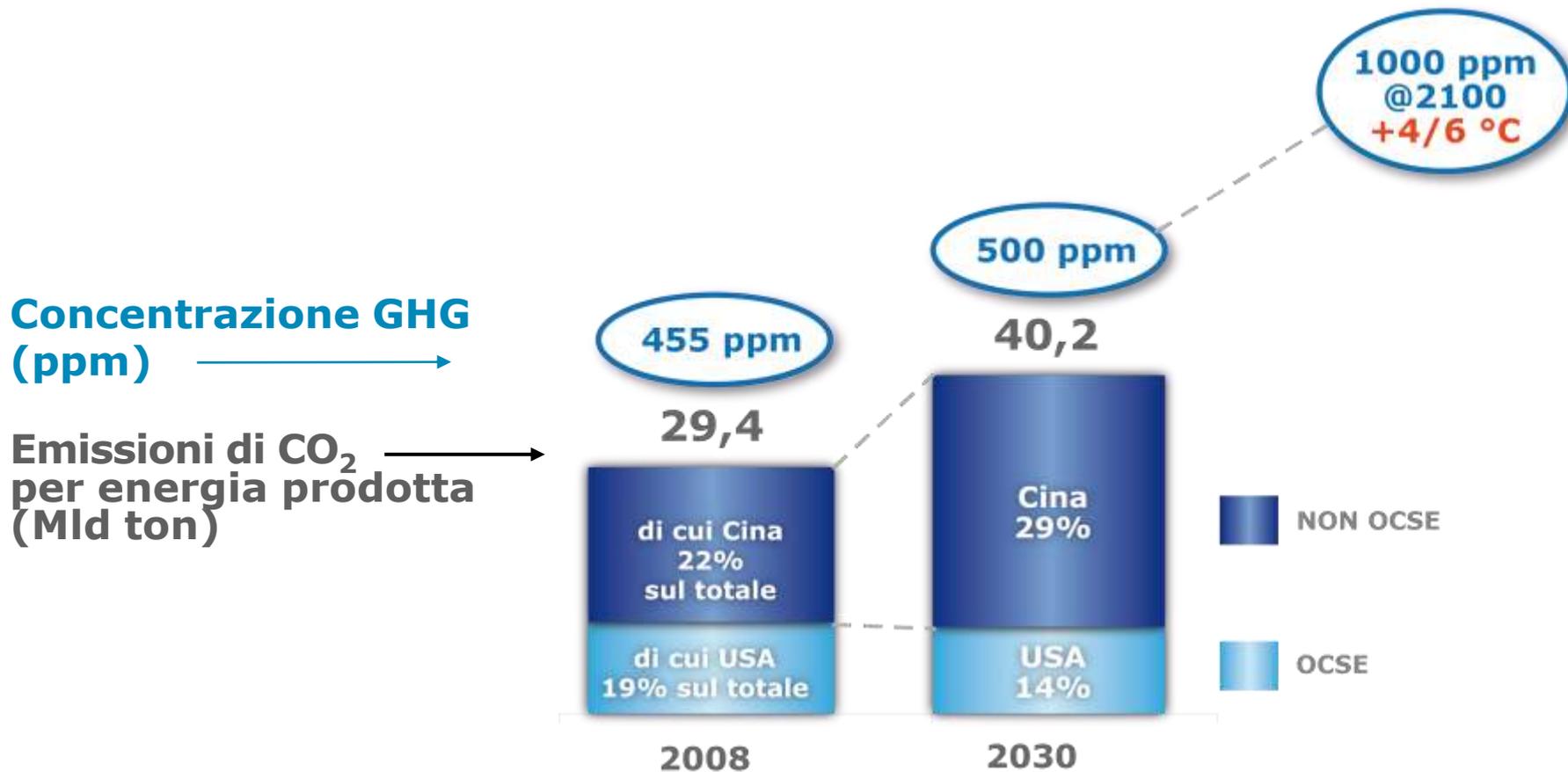
Percentuale per risorsa



Percentuale per regione

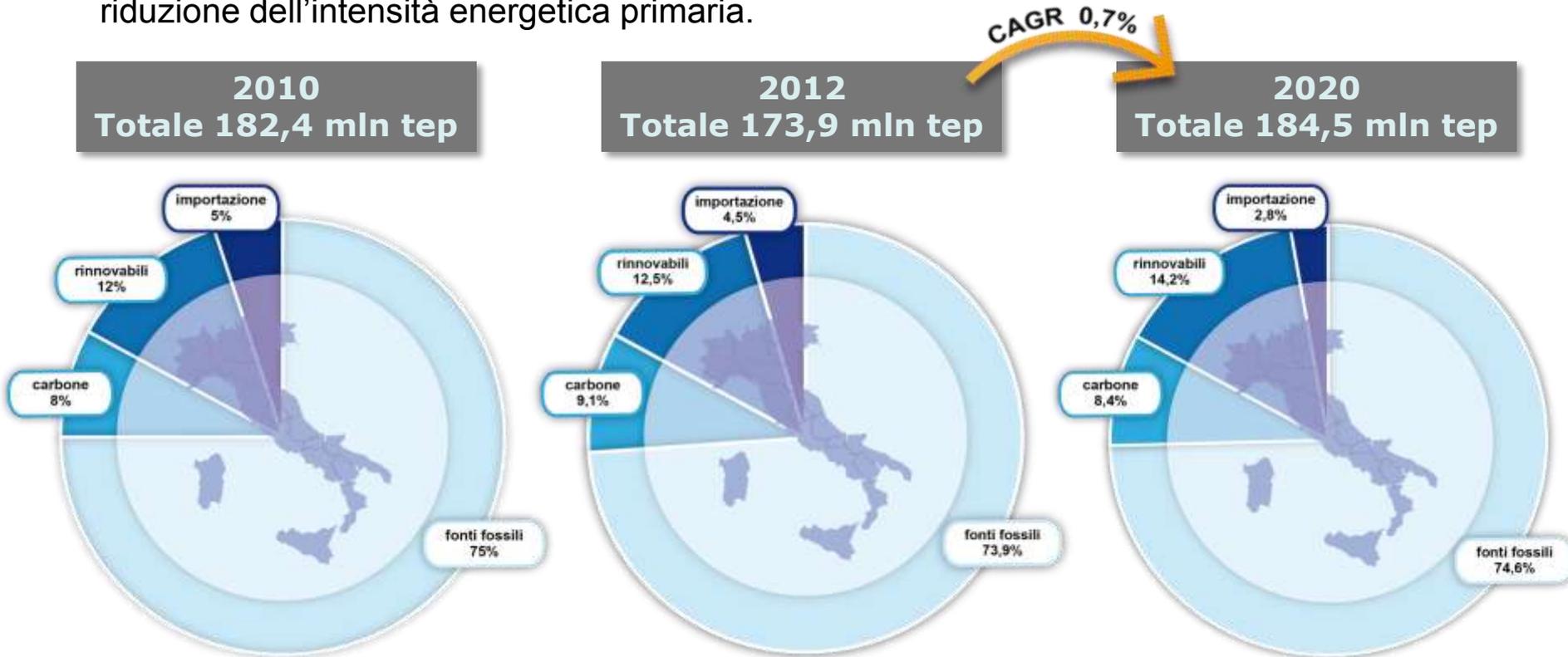


Il trend delle emissioni di gas serra al 2030 oltre potrebbe determinare rilevanti cambiamenti climatici



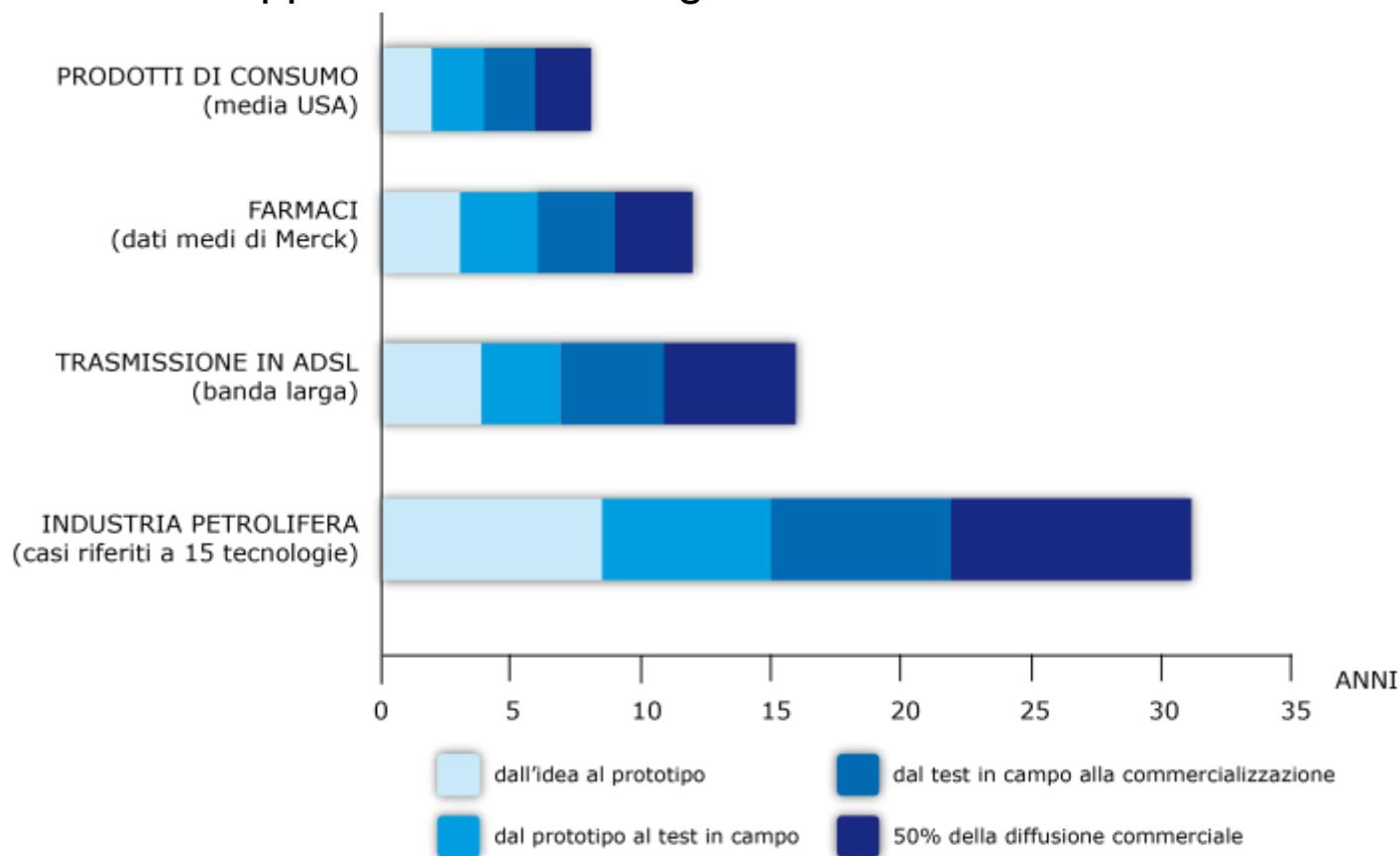
La situazione italiana Fonti di approvvigionamento

- Nel 2010 la dipendenza del sistema energetico nazionale dall'estero nel 2010 si è stabilizzata all'82%, lo stesso valore dell'anno precedente.
- Al 2020 lo scenario prevede una crescita del fabbisogno di energia primaria a un tasso medio annuo dello 0,7%. Questa evoluzione dei consumi implica una significativa e costante riduzione dell'intensità energetica primaria.



La ricerca e sviluppo nel settore energetico

- Il time-to-market delle tecnologie energetiche è decisamente più esteso rispetto a quelle di altri settori, è fondamentale avviare per tempo progetti di R&S e iniziative applicative di tecnologie avanzate/innovative.



Trasporto e stoccaggio dell'energia

Gas naturale liquefatto (GNL)

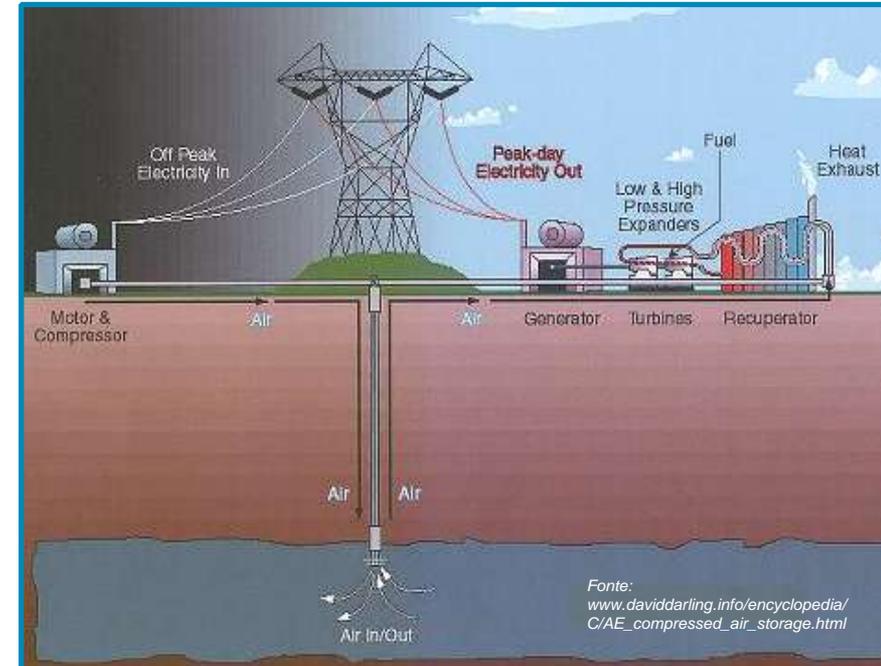
- **Consumi primari di energia.** In Italia il gas naturale copre il 36%; la media europea è pari al 25%.
- Nuovi impieghi del GNL:
 - ✓ In stazioni di servizio per rifornire autoveicoli a metano;
 - ✓ come carburante autocarri o flotte, dotati di serbatoi criogenici e vaporizzatori a bordo;
 - ✓ in impianti industriali;
 - ✓ per utenze commerciali o grandi utenze civili;
 - ✓ per navi su lunghe e brevi distanze in accordo con la normativa IMO;
 - ✓ nel settore ferroviario (California) e nel settore aereo (Lufthansa)
 - ✓ potenziale conversione di biogas

Combustibile	Fattore di emissione		Efficienza (pci) ed emissioni specifiche di CO ₂			
	ton CO ₂ /tep	ton CO ₂ /TJ	Eff. % min	gCO ₂ /kWh	Eff. % max	gCO ₂ /kWh
Gas Naturale	2,35	56,1	40 (ciclo aperto)	506	60 (CCGT)	337
Carbone	3,96	94,6	38 (FBC)	899	50 (IGCC)	683

CAES – Compressed Air Energy Storage

Motivazioni per lo sviluppo

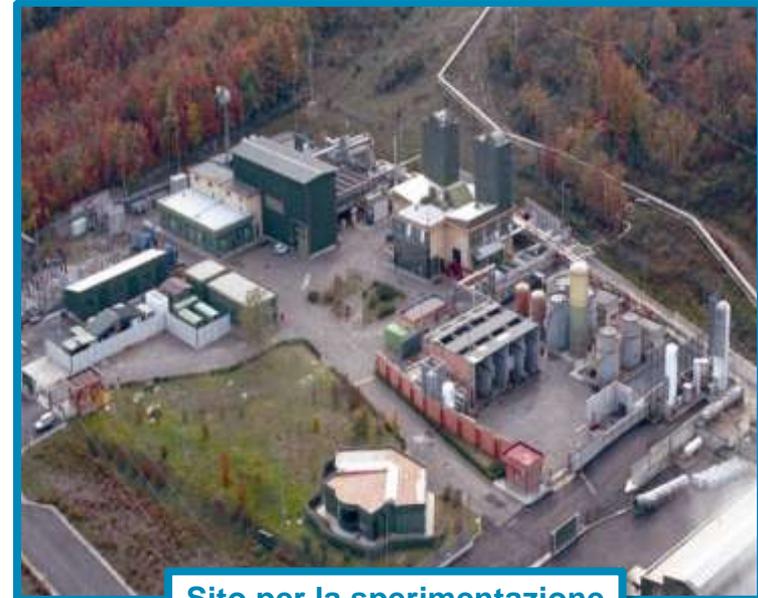
- Durante le ore in cui la domanda della rete elettrica e il costo del kWh sono particolarmente bassi (tipicamente di notte), si utilizza energia elettrica per azionare un motore/generatore che a sua volta aziona un compressore per pompare aria in un *underground storage reservoir* (caverna di sale, miniera dismesse...).
- Il processo è invertito quando la domanda di energia elettrica cresce (ore diurne): l'aria compressa nel sottosuolo viene fatta fluire in superficie, riscaldata con un combustore e fatta espandere in un'apposita turbina accoppiata al generatore che produce elettricità.
- Il successo della tecnologia CAES richiede lo sviluppo di nuove tecnologie nei seguenti diversi settori principali:
 - ✓ Turbomacchine industriali per la compressione di aria ad alta temperatura (400-600 °C) e espansori di elevata potenza (>100 MW)
 - ✓ Sistemi di accumulo di calore ad alta temperatura e pressione (400-600 °C e 50-70 bar) nel caso di CAES adiabatico



Produzione di energia e materiali avanzati

Cicli combinati a gas naturale

- Le macchine rotanti giocano un ruolo fondamentale nella produzione e impiego delle risorse energetiche.
 - ✓ Compressori per gas acidi.
 - ✓ Cicli combinati: attualmente i più efficienti sistemi di produzione di energia elettrica (60%).
- Sviluppi tecnologici
 - ✓ Materiali avanzati in grado di lavorare a temperature $> 1700^{\circ}\text{C}$, a più frequenti cicli di accensione e spegnimento, con maggiore resistenza agli inquinanti introdotti dai differenti fuel (syngas da TAR, biogas, idrogeno).
 - ✓ Sistemi in grado di avere efficienza ed emissioni accettabili anche in condizioni di carico parziale (back-up fonti rinnovabili).

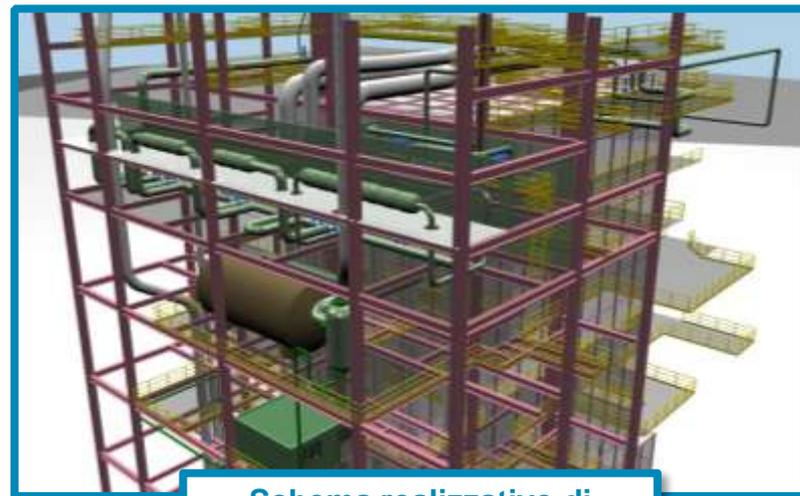


Sito per la sperimentazione di combustori per turbogas

Tecnologie di produzione dell'energia e materiali avanzati

Cicli supercritici e materiali avanzati

- L'utilizzo del carbone per la produzione di energia elettrica (eventualmente in co-feeding con biomasse) è in crescita nei prossimi decenni per il minor costo, la maggiore disponibilità e la diversificazione delle fonti.
- Per minimizzare l'impatto ambientale è necessario incrementare il rendimento energetico e ridurre le emissioni dei cicli a vapore.
- L'incremento di efficienza richiede di raggiungere condizioni ultra-super-critiche (USC): pressione 300-400 bar, temperatura 650- 700°C.
- In tali condizioni rendimenti > 50%, -15% emissioni CO₂ rispetto alla attuale *best technology*.



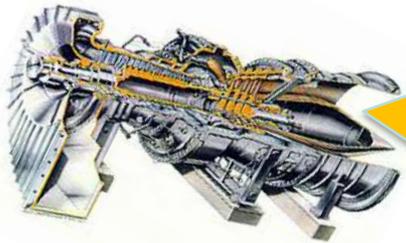
Schema realizzativo di un'infrastruttura per test di durata su condotti per vapore a 700 °C

Tecnologie di produzione dell'energia e materiali avanzati

Cicli supercritici e materiali avanzati

FLESSIBILITÀ OPERATIVA MOTORE E CICLO COMBINATO

- Sviluppare soluzioni per coniugare rapidità di soccorso alla rete, efficienza e impatto ambientale con minimo affaticamento per le parti calde



RICERCA

TECNOLOGIE DI
SIMULAZIONE
AVANZATE

MATERIALI AVANZATI PRO EFFICIENZA MOTORE

- Investigare gli aspetti critici dell'efficienza del motore e in particolare del raffreddamento delle palette di turbina realizzate con anime ceramiche
- Sviluppare anime ceramiche capaci di resistere meglio alle sollecitazioni termiche e meccaniche del processo di colaggio



MATERIALI AD ALTA TECNOLOGIA

Materiali ceramici



Superleghe



Investment casting

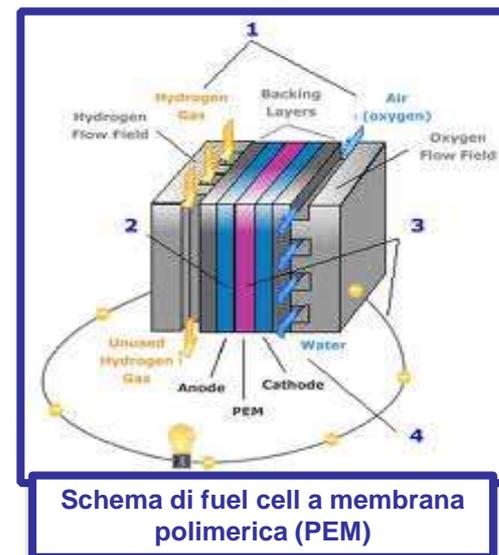
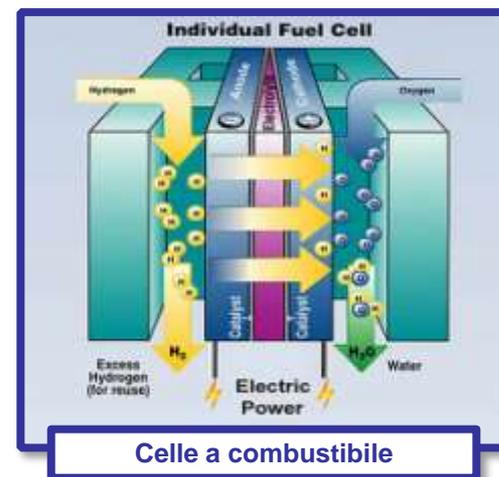


SVILUPPO DELLE TECNOLOGIE DI PRODUZIONE E DI MODELLAZIONE

- Individuare una metodologia che consenta di passare da una logica *trial & error* a quella di *zero defect manufacturing*

Celle a combustibile (Fuel Cells, FC)

- Le celle combustibili convertono l'energia chimica in elettricità senza passare per un ciclo termodinamico.
- Le FC hanno anche i seguenti vantaggi:
 - ✓ efficienze teoriche fino all'83% (che possono salire a oltre il 90% in assetto cogenerativo), ma oggi efficienza < 40%.
 - ✓ emettono solo acqua se si usa idrogeno come combustibile.
 - ✓ l'idrogeno può essere prodotto da acqua e fonte di energia a basso costo e/o rinnovabile.
 - ✓ non hanno parti in movimento, silenziose e di differenti taglie di potenza, da milliWatts a megaWatts.



Celle a combustibile (Fuel Cells, FC)

- Le FC più interessanti attualmente sono :
 - **celle ad ossido solido** (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC). Operano a temperature tra i 700 e i 1.200 °C e i gas residui possono essere usati per alimentare una turbina, con punte di efficienza dell'impianto del 90%. Non richiedono catalizzatore di reforming.
 - **Polymer-Electrolyte** (o Proton Exchange)-Membrane Fuel Cells (PEMFC) ovvero FC ad elettrolita polimerico (a scambio protonico) a membrana. Operano a temperature abbastanza basse (70-85°C) e possono raggiungere piena potenza di erogazione in circa 3 minuti. Richiedono un catalizzatore al platino.
 - **DMFC** (Direct Methanol Fuel Cell) Sono tra le tecnologie più recenti in ambito FCs. Queste pile a combustibile raggiungono un rendimento teorico di circa il 40% (che nella pratica può ridursi fino al 20%; il combustibile incombusto potrebbe essere riciclato, incrementando così l'efficienza totale) e sono operative tra i 60° e i 90°C.

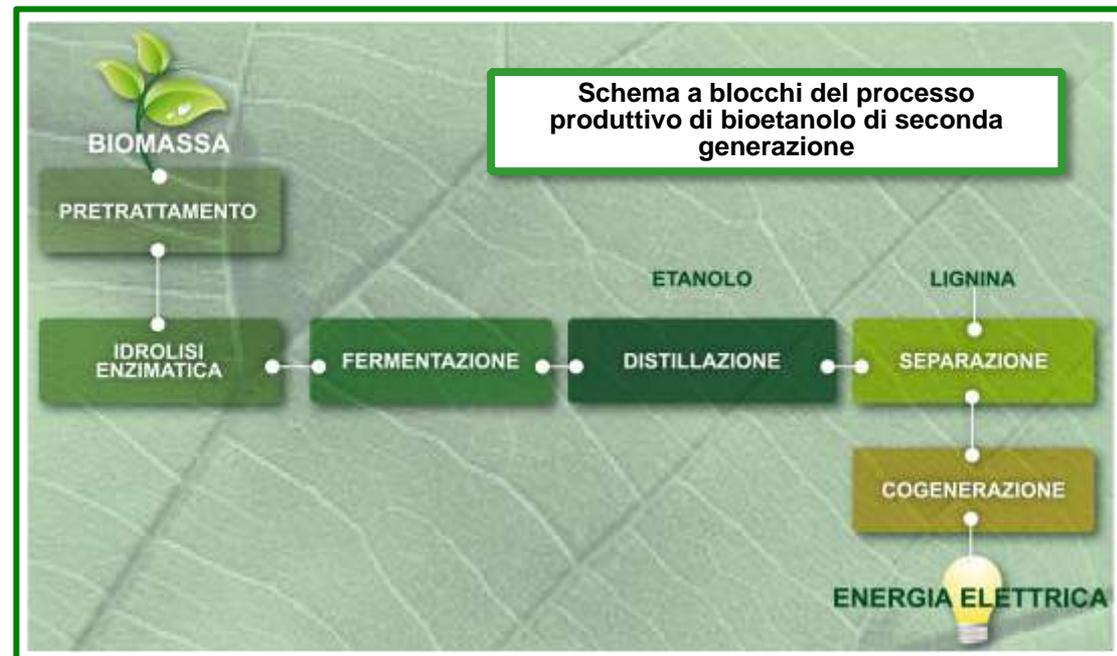
Celle a combustibile (Fuel Cells, FC)

Temi di ricerca

- I principali temi di ricerca per le FCs sono:
 - Per **tutte le filiere**: incremento delle prestazioni e minimizzazione dei fenomeni di avvelenamento e degradazione del catalizzatore, dell'elettrodo e dell'intera cella (target 5000 ore di esercizio; per applicazioni automotive equivalgono a oltre 200.000 km percorsi).
 - Per **PEMFC**: individuazione di materiali alternativi al Platino come catalizzatore di reforming.
 - Per **SOFC**: ottimizzazione del materiale del catodo, dei materiali ceramici in grado di fornire prestazioni di trasporto ionico migliori a temperature inferiori agli 800°C in alternativa alla limitata conduzione ionica di LSM (manganite di lantanio e stronzio); affidabilità della tenuta e delle interconnessioni elettriche; resistenza ai transitori.

Conversione termica e biologica delle biomasse a vettori energetici

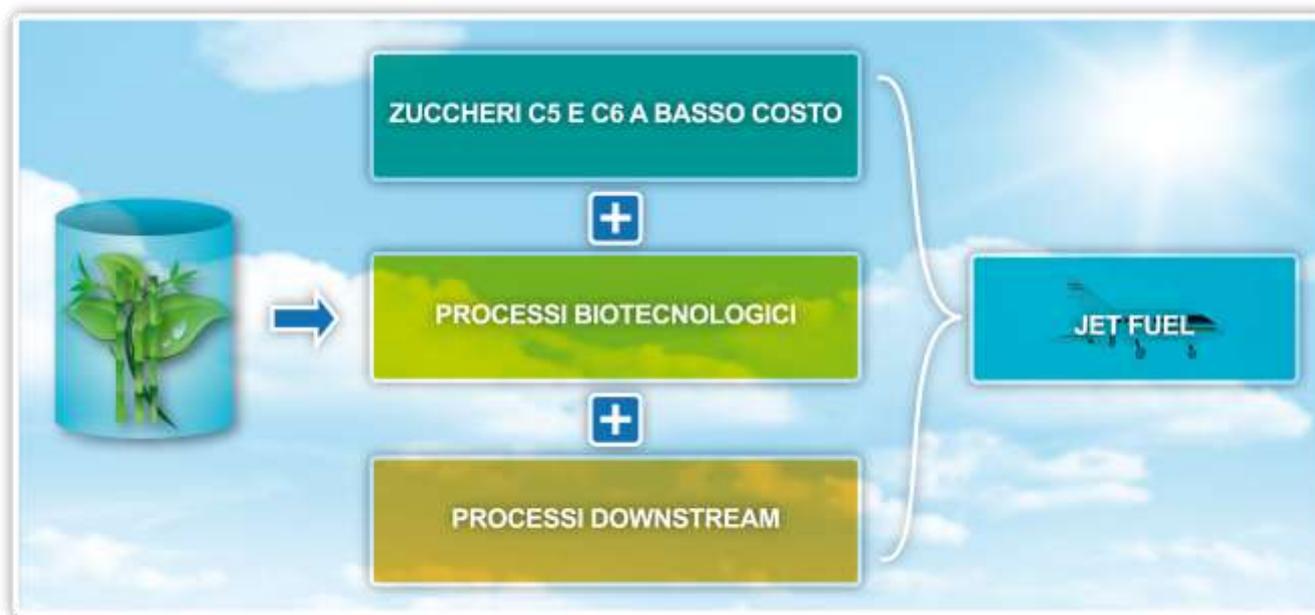
- Biofuel come alternativa ai combustibili di origine fossile per incrementare la sicurezza energetica e ridurre l'impatto ambientale.
- Nell'ultimo decennio la produzione mondiale di biocarburanti di prima generazione è più che quintuplicata passando da 16 a oltre 100 mld litri a fronte di una domanda che nel 2010 si è attestata intorno a 70 mld litri. Le prospettive per il settore, secondo la *International Energy Agency* (IEA), sono ottime con la domanda stimata in crescita al 2050.
- I processi di seconda generazione puntano a raggiungere i seguenti obiettivi:
 - ✓ flessibilità al *feedstock*: scarti forestali, sotto-prodotti, residui agricoli e scarti da coltivazioni ad uso energetico, componente organica di rifiuti urbani;
 - ✓ minor costo delle materie prime;
 - ✓ minor competizione *fuel* vs *food*;
 - ✓ Maggiore efficienza energetica;
 - ✓ minor impatto ambientale.



Biocombustibili

Motivazioni per lo sviluppo

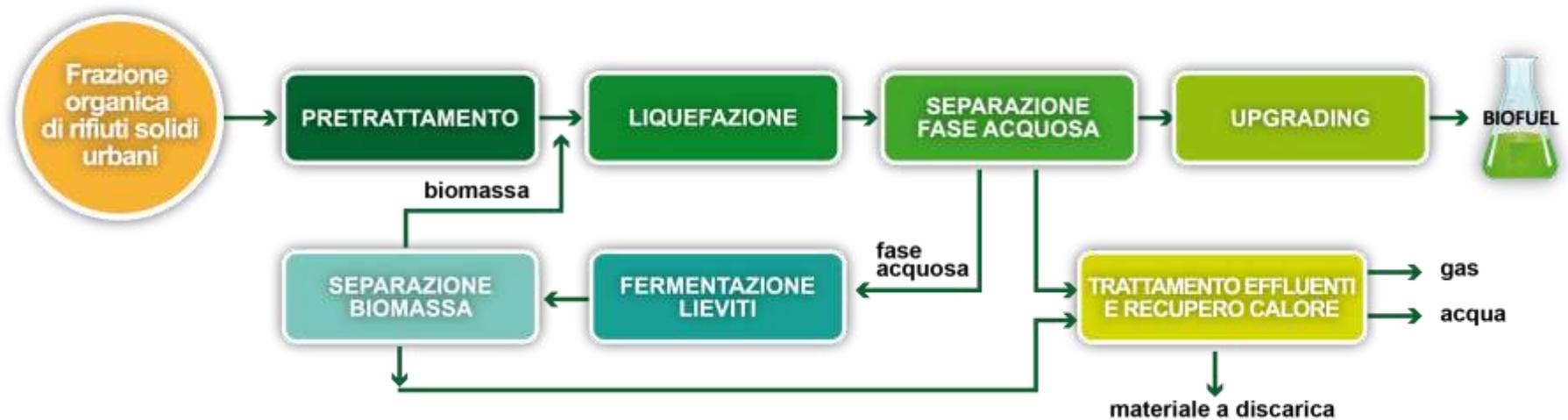
- La domanda di biocombustibili è in continua crescita: oltre al trasporto *light-duty* (autoveicoli), l'impiego di biofuel sta interessando altri settori come ad esempio l'aeronautico e il navale.
- Il Flightpath 2050: Europe's Vision for Aviation è una roadmap che punta a raggiungere una produzione annua di biocombustibili per aviazione di 2 mln ton. entro il 2020.



Tecnologie waste to fuel

- I processi *waste to fuel* puntano a risolvere sinergicamente due problematiche:
 - ✓ la produzione sostenibile di energia
 - ✓ lo smaltimento dei rifiuti
- La conversione della biomassa in biocombustibili di seconda generazione può seguire due strade principali:
 - ✓ liquefazione e *pirolisi* che portano alla formazione di un bio-olio (da sottoporre eventualmente a *upgrading*); gassificazione a *syngas* e conversione a idrogeno, metanolo, etanolo, bio-diesel, benzina.
 - ✓ **biochimica** – digestione anaerobica per la produzione di biogas, compostaggio e trasformazione enzimatica della cellulosa e dell'emicellulosa in zuccheri semplici seguita da fermentazione per ottenere bioetanolo.

Waste to Fuel Schema di processo



Tecnologie per la valorizzazione dell'energia solare

Il fotovoltaico

- **Prima generazione:** silicio mono e policristallino efficienza dei moduli 13-20 % (mono) 11-15% (poli). Durata garantita 25 anni. Costituisce circa il 90% della capacità globale installata. Sviluppi futuri: miglioramento dell'efficienza verso il limite teorico (30%) e riduzione dei costi.
- **Seconda generazione:** Film sottile di silicio amorfo, Cadmio-Tellurio (CdTe), con rame (Copper-Indium-Selenide, CIS e CIGS, con Gallio). Spessore 100 volte inferiore al silicio cristallino, efficienze inferiori (12% amorfo, ca.16% gli altri), costi ridotti fino al 50%. Costituisce il 10% della potenza globale installata.
- **Terza generazione:** celle a quantum dots, celle organiche (Organic Photovoltaic, OPV), celle ibride organiche-inorganiche (Dye Sensitized Solar Cells, DSSC), efficienza 3-10%, costi potenzialmente molto bassi e sistemi di produzione estremamente efficienti (es. Roll-to-Roll), durata ancora limitata. E' il settore in cui lo stato embrionale delle tecnologie può consentire i più elevati incrementi di efficienza e le maggiori riduzioni di costi.
- **Fotovoltaico a concentrazione:** fattori di concentrazione 20x-1000x, efficienza cella 25% per C-Si a bassa concentrazione (fino a 100 x) e 43% per celle a multigiunzione (Ge, GaAs, InGaAs, InGaP) a elevata concentrazione (>500x). Per queste ultime efficienza modulo 29%, in prospettiva cella 50%, modulo 35-40% con riduzione dei costi < 30%, ideali per impianti di grande scala in alternativa al CSP.

Tecnologie per la valorizzazione dell'energia solare

Fotovoltaico organico

Punti di forza:

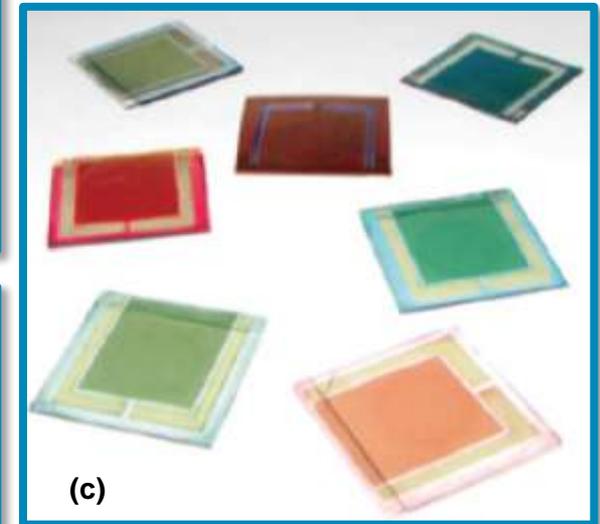
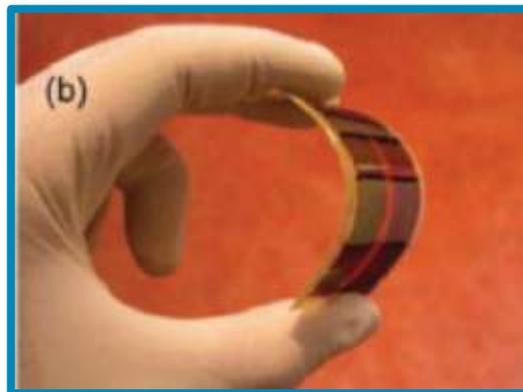
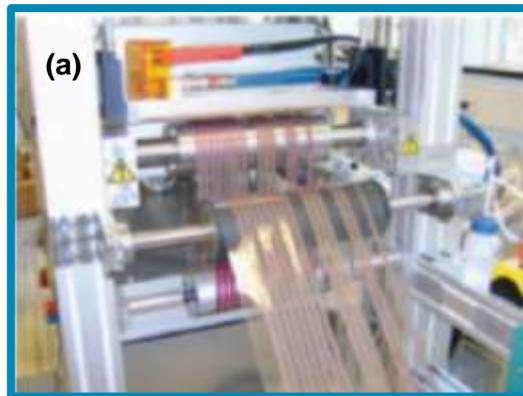
- ✓ flessibilità
- ✓ forma e dimensione modulabili
- ✓ leggero
- ✓ potenzialmente a basso costo

Punti di debolezza:

- ✓ efficienza bassa (ca.10% in laboratorio)
- ✓ non ancora commerciale
- ✓ durata ancora limitata

Esempi di fotovoltaico organico:

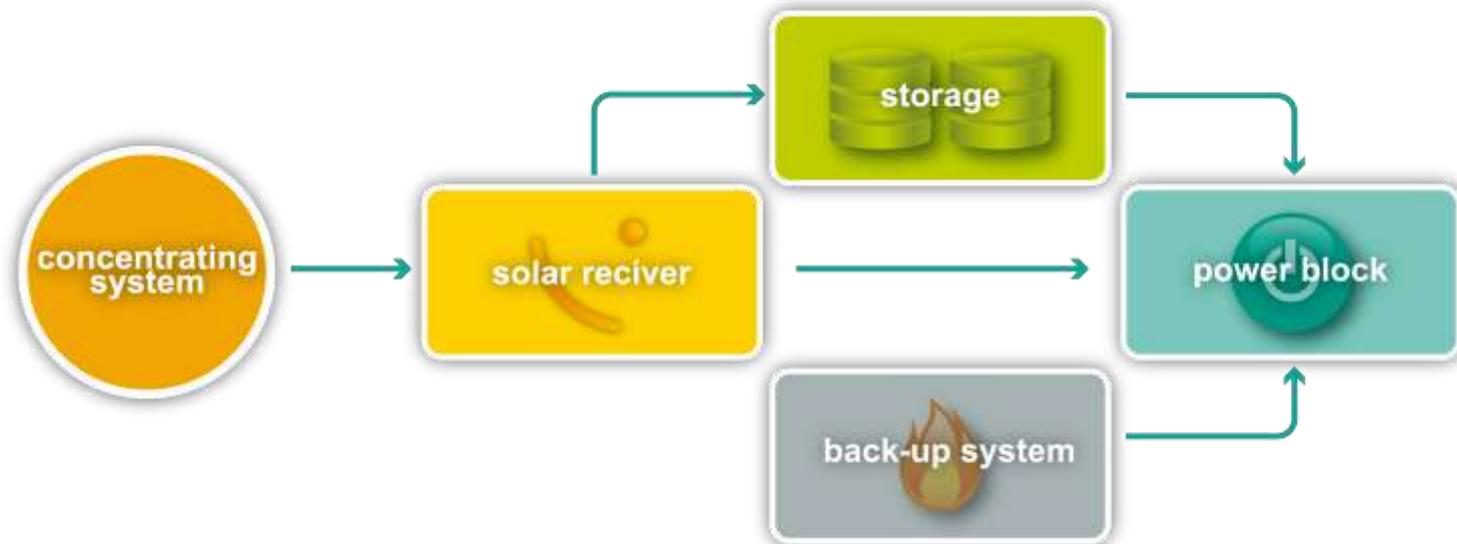
- a) processo di produzione roll-to-roll;
- b) dispositivo flessibile;
- c) dispositivi semitrasparenti di differenti colori



Tecnologie per la valorizzazione dell'energia solare

Solare termodinamico a concentrazione CSP

- Il CSP sfrutta il principio della concentrazione dell'energia solare per ottenere calore ad alta temperatura da impiegare in processi industriali tra cui ad esempio cicli a vapore convenzionali per la produzione di energia elettrica
- Installati fino a oggi oltre 1000 MW



Tecnologie per la valorizzazione dell'energia solare

Solare termodinamico a concentrazione CSP

- 3 architetture basate su:
 - a. Collettori parabolici lineari 90% del mercato, ricerche in corso su: Il tubo ricevitore, il fluido termovettore ($T > 500^{\circ}\text{C}$), gli specchi, la struttura di supporto.
 - b. Torri solari elevate efficienza che dovrebbe consentire di raggiungere prima la *grid parity* ricerche in corso sul ricevitore centrale che rappresenta l'elemento più delicato del sistema.
 - c. Dischi parabolici minore potenza (kW), alternativo al fotovoltaico off-grid.



Tecnologie per l'efficienza energetica

Solar cooling

Tipologie

- ✓ sistemi ad assorbimento (maggioranza del mercato);
- ✓ sistemi ad adsorbimento (applicazioni meno frequenti, ma in crescita);
- ✓ desiccant cooling (DEC) – ciclo aperto;

Tipo di sorbente	Cicli chiusi Produzione acqua refrigerata		Cicli aperti Condizionamento aria diretto	
	solido	liquido	solido	liquido
				
Tipici materiali in uso	Acqua - Silicagel, Ammoniaca - Sali A.	Acqua - LiBr Ammoniaca - acqua	Acqua - Silicagel, Acqua - Cl di Litio	Acqua - Cloruro di Calcio Acqua - Cloruro di Li
Tecnologie disponibili sul mercato	Macchine ad Adsorbimento	Macchine ad Assorbimento	Raff. Evaporativo con Ad-assorbimento	-
Potenza frigorifera [kW]	7 - 430 kW	4.5 kW fino >5 MW	20 kW - 350 kW (pro Modul)	-
Efficienza (COP)	0.3-0.7	0.6-0.75 (1-effetto) < 1.2 (2-effetto)	0.5 fino >1	fino >1
Tipiche temperature di alimentazione	60-95°C	80-110°C (1-effetto) 130-160°C (2-effetto)	45-95°C	45-70°C

Motivazioni per lo sviluppo:

- Minore utilizzo di fonti fossili e riduzione delle emissioni di CO₂.
- Riduzione dei consumi elettrici.
- Riduzione del carico sulla rete elettrica in particolare durante il picco estivo.
- Possono fornire calore nel periodo invernale.
- Possono utilizzare correnti a bassa entalpia.

Tecnologie per l'efficienza energetica

Solar cooling – Temi di ricerca

- Ricerche in corso:
 - Cicli termodinamici, fluidi refrigeranti, effetto termoelettrico;
 - Scambiatori di calore, nanotecnologie, sistemi di combustione e modulazione avanzati, pompe della soluzione ricca, scambiatori a microchannel;
 - Materiali e processi di saldatura;
 - Sistemi integrati di controllo e gestione degli impianti per applicazioni mass market.

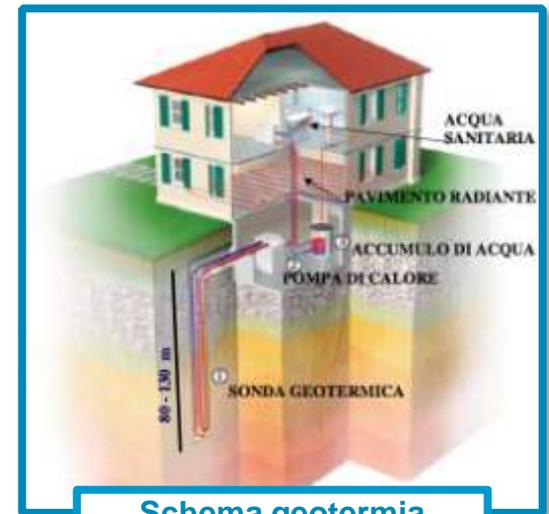
Tecnologie per l'efficienza energetica

Impiego dell'energia geotermica

- Le applicazioni dell'energia geotermica possono essere suddivise in 3 categorie principali:
 - ✓ per produzione di **energia elettrica** (risorse ad alta-media entalpia), con impianti flash che utilizzano direttamente il vapore acqueo geotermico o mediante ciclo binario;
 - ✓ per usi diretti del **calore** (risorse a bassa-media entalpia): usi termali, processi industriali, teleriscaldamento;
 - ✓ per la **climatizzazione** degli ambienti (risorse a bassa entalpia), per mezzo di pompe di calore geotermiche.



Impianto geotermico a Larderello



Schema geotermia bassa entalpia

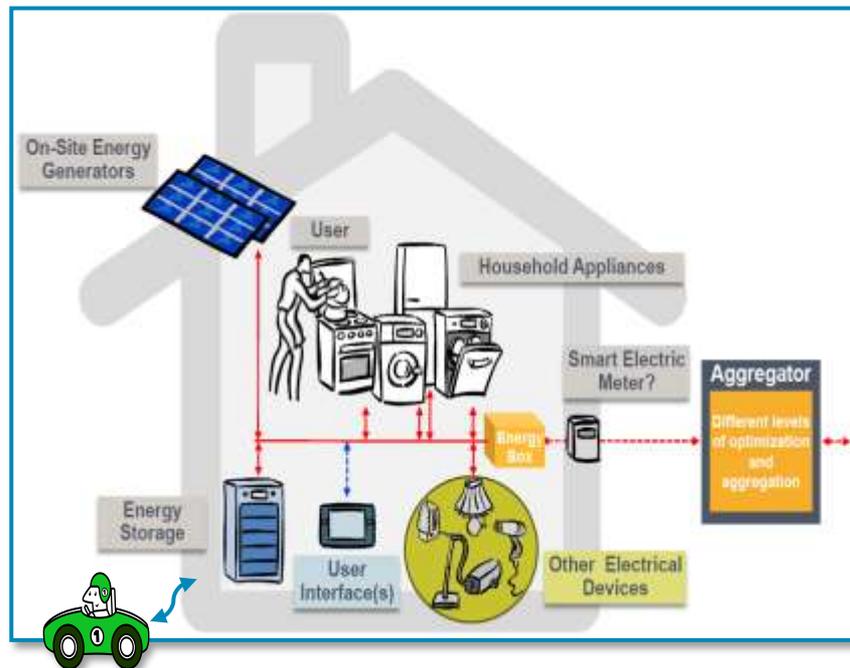
Tecnologie per l'efficienza energetica

Impiego dell'energia geotermica

Motivazioni per lo sviluppo:

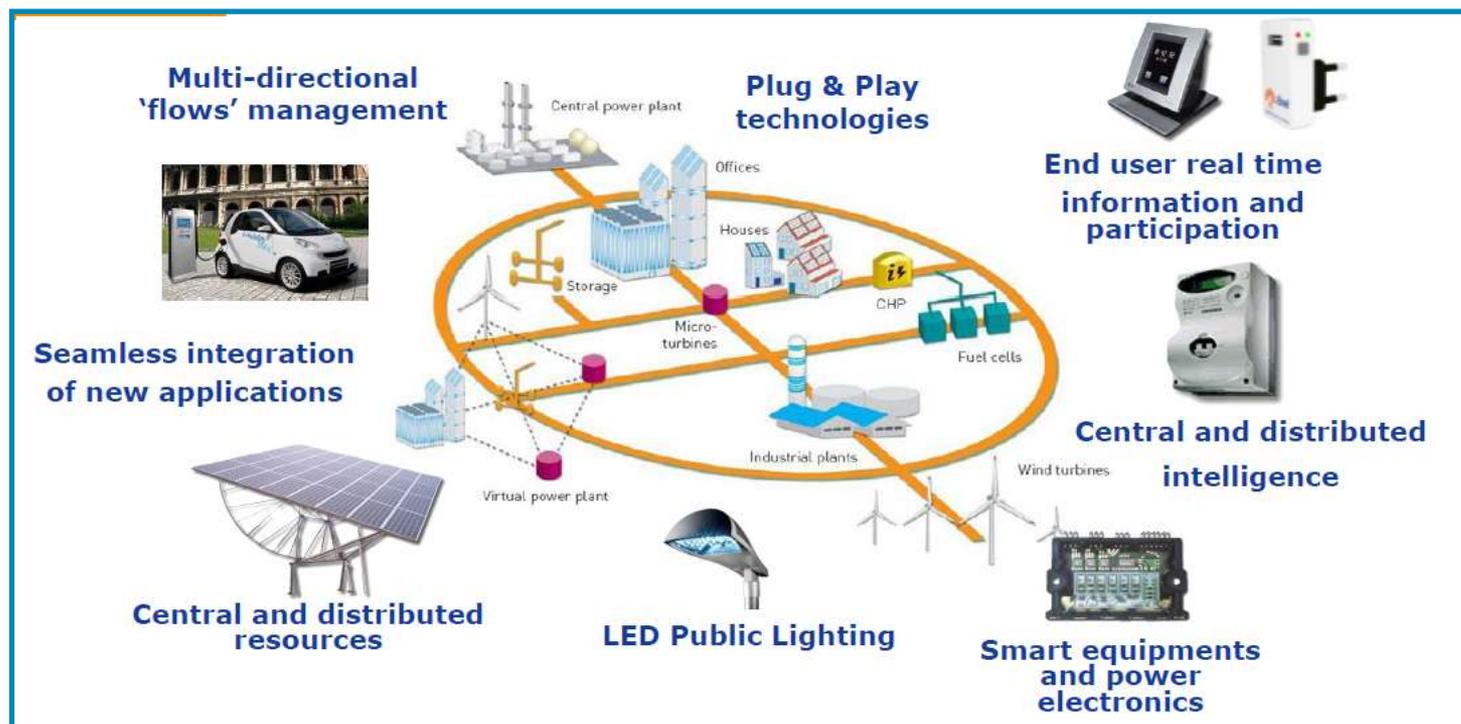
- Minore utilizzo di fonti fossili e riduzione delle emissioni di CO₂.
- La geotermia è una fonte rinnovabile e programmabile.
- Ampia gamma di applicazioni: dalla scala industriale ai piccoli impianti domestici.

Smart Grid/Smart Metering/Smart Energy



La Smart Grid è una rete energetica in grado di integrare intelligentemente le azioni di tutti gli utenti connessi, siano essi consumatori, produttori o aventi il doppio ruolo di consumatori e produttori (anche definiti “Prosumers”) al fine di distribuire energia in modo efficiente, sostenibile, economicamente conveniente e sicuro

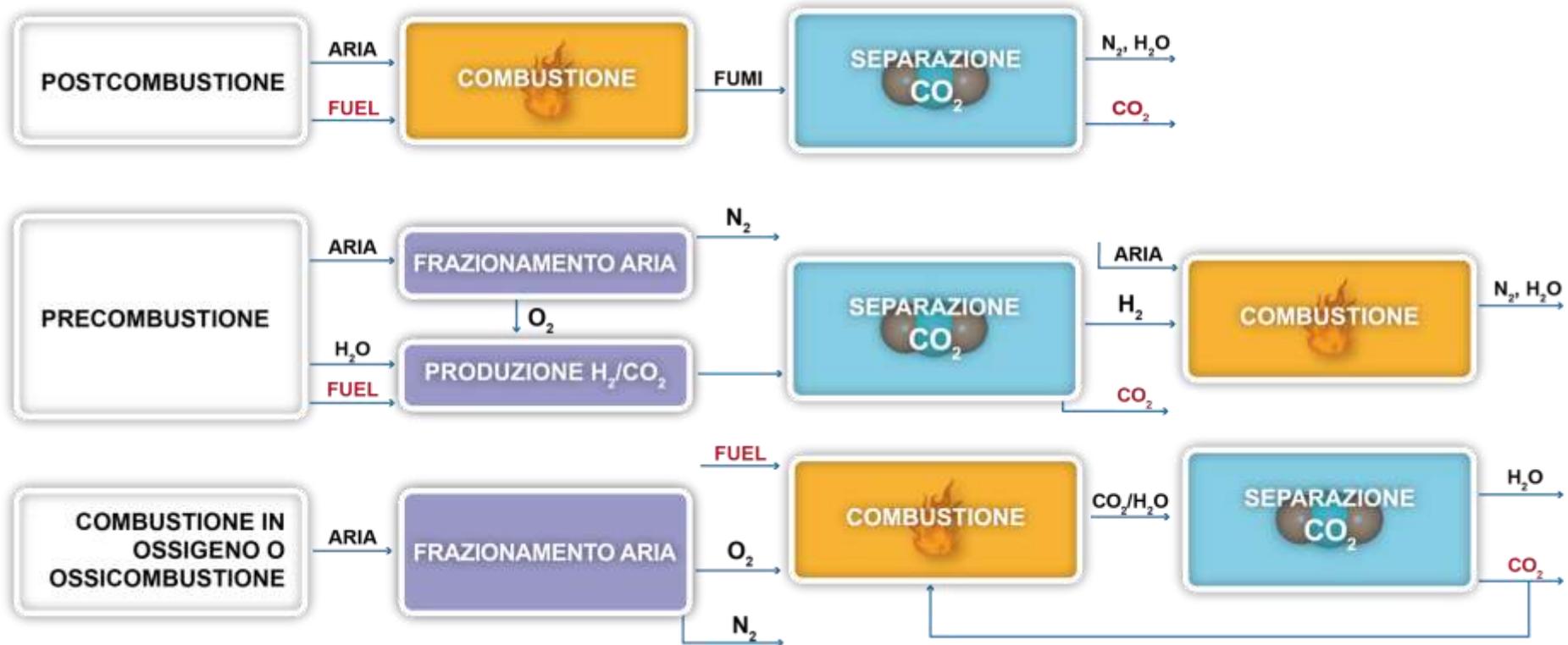
Smart Grid/Smart Metering/Smart Energy



Una smart grid richiede per essere tale una forte integrazione delle tecnologie ICT (Information Communication Technology) nella gestione delle reti

Tecnologie di separazione, confinamento geologico e riutilizzo della CO₂

Separazione



Tecnologie di separazione, confinamento geologico e riutilizzo della CO₂

Separazione: opzioni avanzate

Ossicombustione pressurizzata



Chemical looping combustion

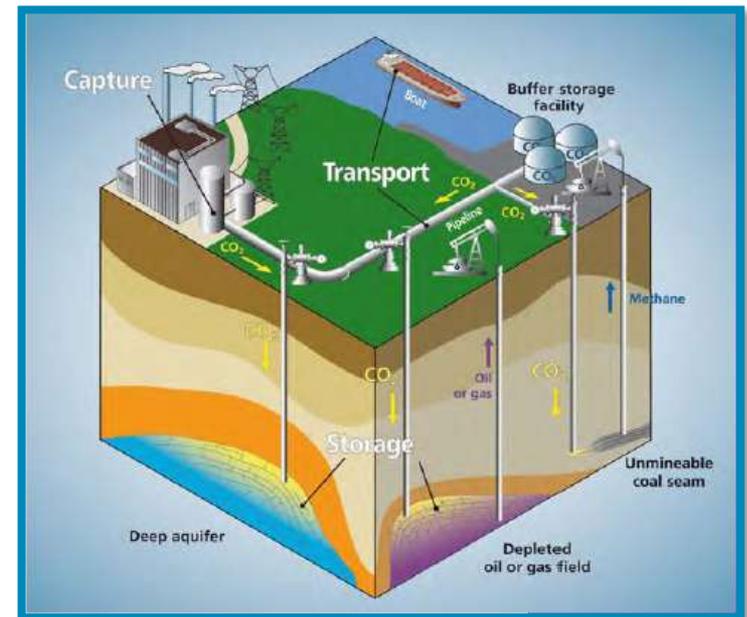


Il **solido** (ossidi di metallo o, in una variante, ossido di calcio) fatto circolare tra i due reattori ha funzione di **"carrier" di ossigeno**

Tecnologie di separazione, confinamento geologico e riutilizzo della CO₂

Confinamento geologico

- Il confinamento geologico comprende diverse modalità: iniezione in acquiferi salini profondi, iniezione in pozzi depleti di petrolio o gas oppure in strati carboniferi non sfruttabili; sono sviluppate anche tecnologie di uso della CO₂, iniettata in pozzi in esercizio per aumentare la produzione di idrocarburi estratti Enhanced Oil Recovery (EOR).





Grazie per l'attenzione!

Le innovazioni del prossimo futuro:
Tecnologie Prioritarie per l' Industria

ENERGIA

Lorenzo Siciliano, Massimo Chindemi
eni

Bergamo, 17 giugno 2013 – Parco Scientifico e Tecnologico Kilometro Rosso