



DIME

Scuola Politecnica

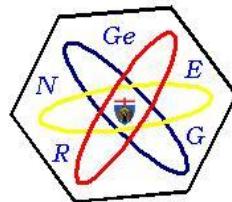
Università degli Studi di Genova

Sezione

TERMOENERGETICA E CONDIZIONAMENTO AMBIENTALE

TEC

Via all'Opera Pia 15/a 16145 Genova - ITALY - Tel. +39 010 353 2861 Fax +39 010 311870



Energetica Nucleare

Classificazione delle Fonti Energetiche



Prof. Ing. Guglielmo Lomonaco

email: guglielmo.lomonaco@unige.it

Tel: +39-010-3352867

Energia e lavoro [1/2]

- *Energia* è una parola che esisteva già nella lingua greca antica ($\epsilon\nu\ \epsilon\rho\gamma\omega\upsilon$) e che in inglese (energy) compare nel 17° secolo
- L'energia è una grandezza fisica che interviene nella realizzazione di processi fisici, chimici, biologici e tecnologici
- Il *lavoro* compiuto da una forza, quando il punto d'applicazione di questa effettua uno spostamento, è dato dalla forza moltiplicata per la componente dello spostamento nella direzione della forza stessa

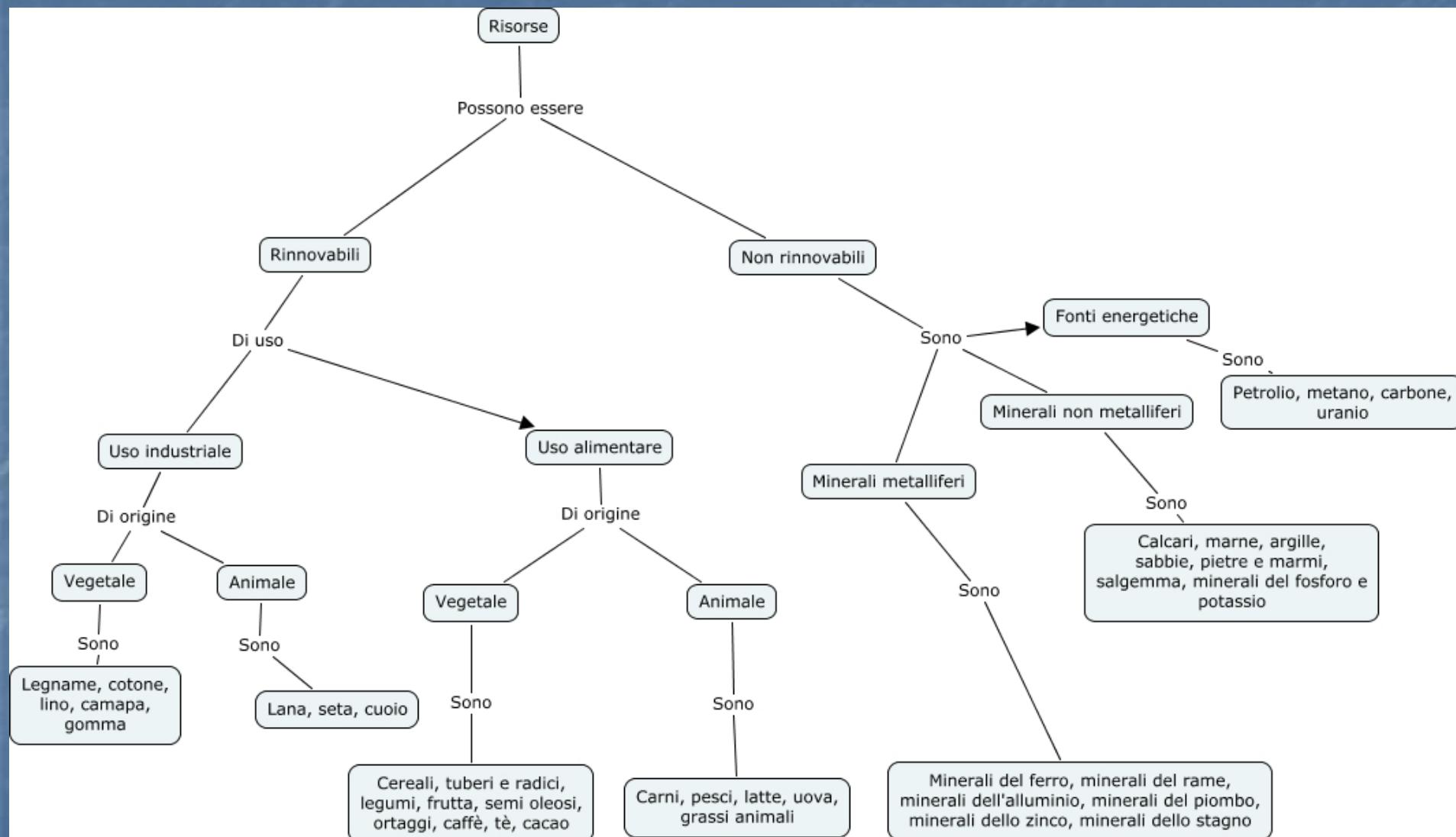
Energia e lavoro [2/2]

- L'*energia*, che può trasformarsi in lavoro, ha le dimensioni di quest'ultimo, ossia quelle di una forza per uno spostamento (come si ottiene immediatamente facendo riferimento all'energia potenziale), ma anche quelle di una massa per il quadrato della velocità (come si ha, in modo diretto, facendo riferimento all'energia cinetica)
- Ne deriva che l'energia per unità di forza (e quindi di peso) ha le dimensioni di una lunghezza e che l'energia per unità di massa ha le dimensioni di una velocità al quadrato

Commodity

- Lavoro, calore e combustibili sono beni commercializzati: si parla di *energy commodities*
- Una commodity è un bene per il quale ci sia una domanda ma che sia fornito senza differenziazione qualitativa in un dato mercato
- La caratteristica delle commodity è che il loro prezzo è determinato come funzione dell'intero mercato

Classificazione «classica» materie prime



CLASSIFICAZIONE DELL'ENERGIA

- Energia meccanica:
 - energia cinetica
 - energia potenziale (gravitazionale)
 - energia elastica
- Energia termica (calore)
- Energia elettrica
- Energia chimica
- Energia nucleare
- ...

Forme di Energia

Presenti in natura

- gravitazionale
- cinetica
- termica
- chimica
- elettrica ed elettromagnetica
- nucleare

Direttamente utilizzate dall'uomo

- termica
- meccanica
- chimica
- elettrica ed elettromagnetica

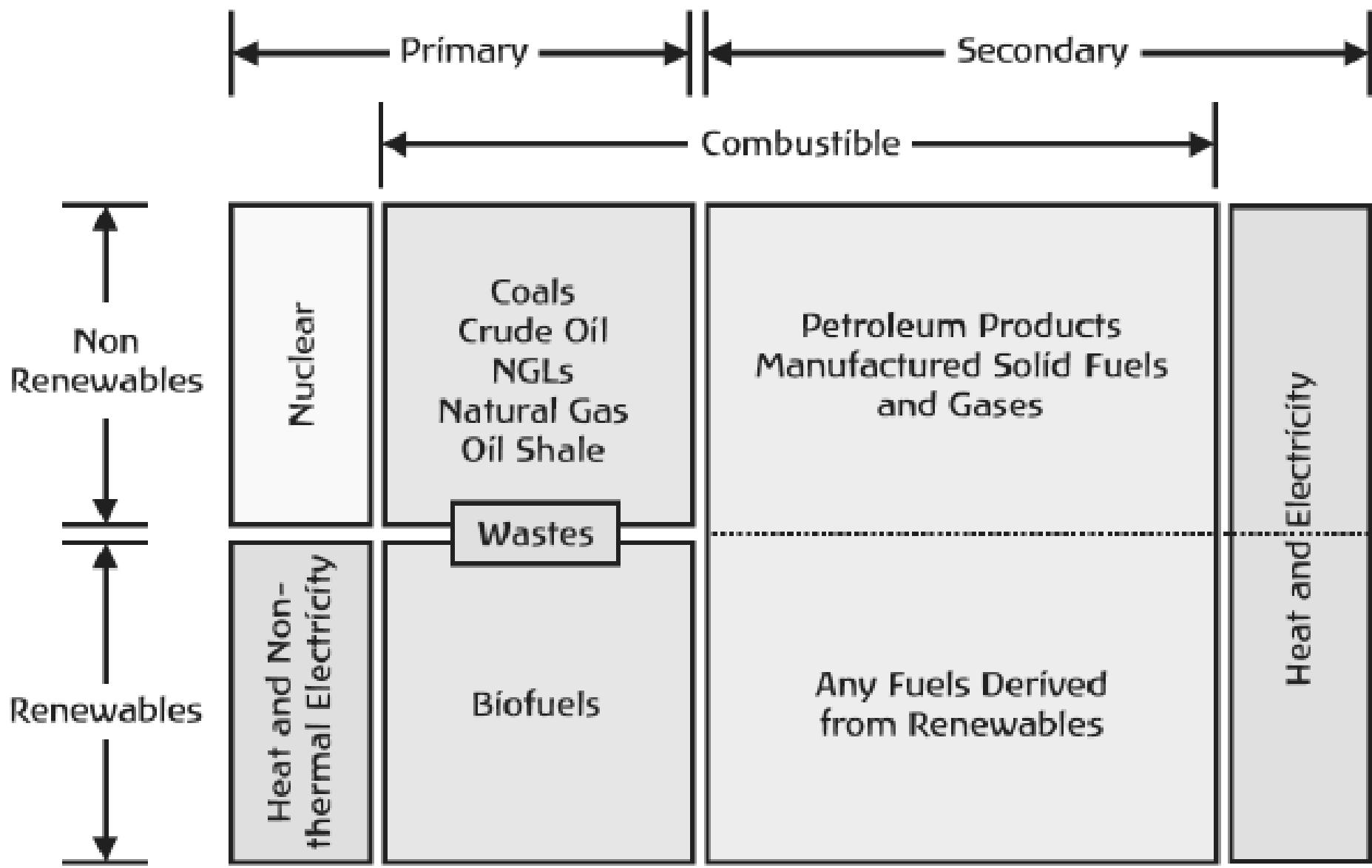
Fonti Energetiche Naturali Fondamentali

- radiazione solare
- campo gravitazionale (sole, luna, terra)
- formazione del sistema planetario e degli elementi chimici

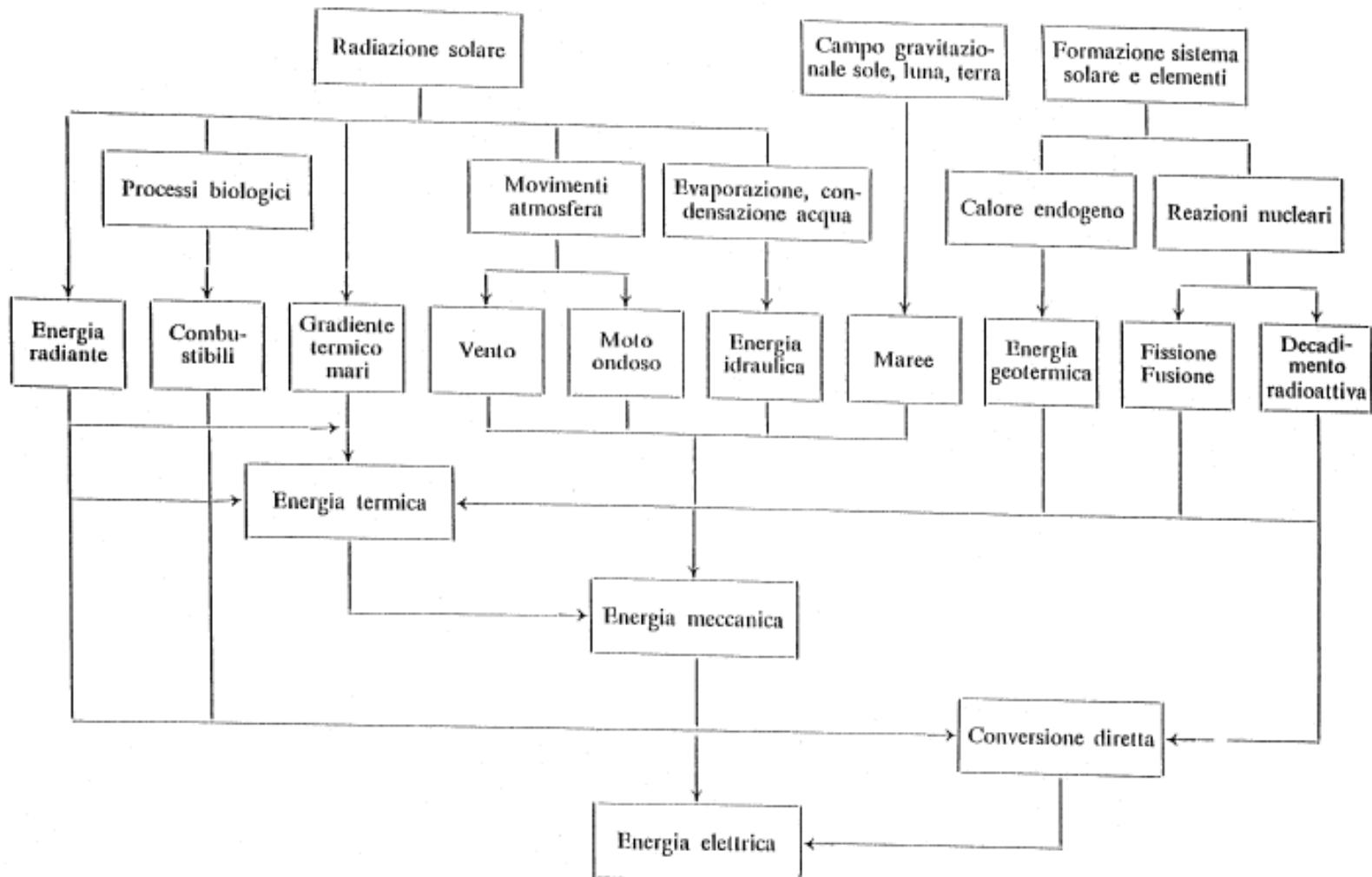
Fonti Energetiche Naturali Primarie (utilizzabili)

- energia radiante (solare)
- energia chimica dei combustibili
- gradiente termico marino
- energia eolica
- moto ondoso e maree
- energia idraulica
- energia geotermica
- energia nucleare da fissione (e da fusione)
- decadimento radioattivo

Fonti Primarie e Secondarie



Trasformazioni dell'Energia



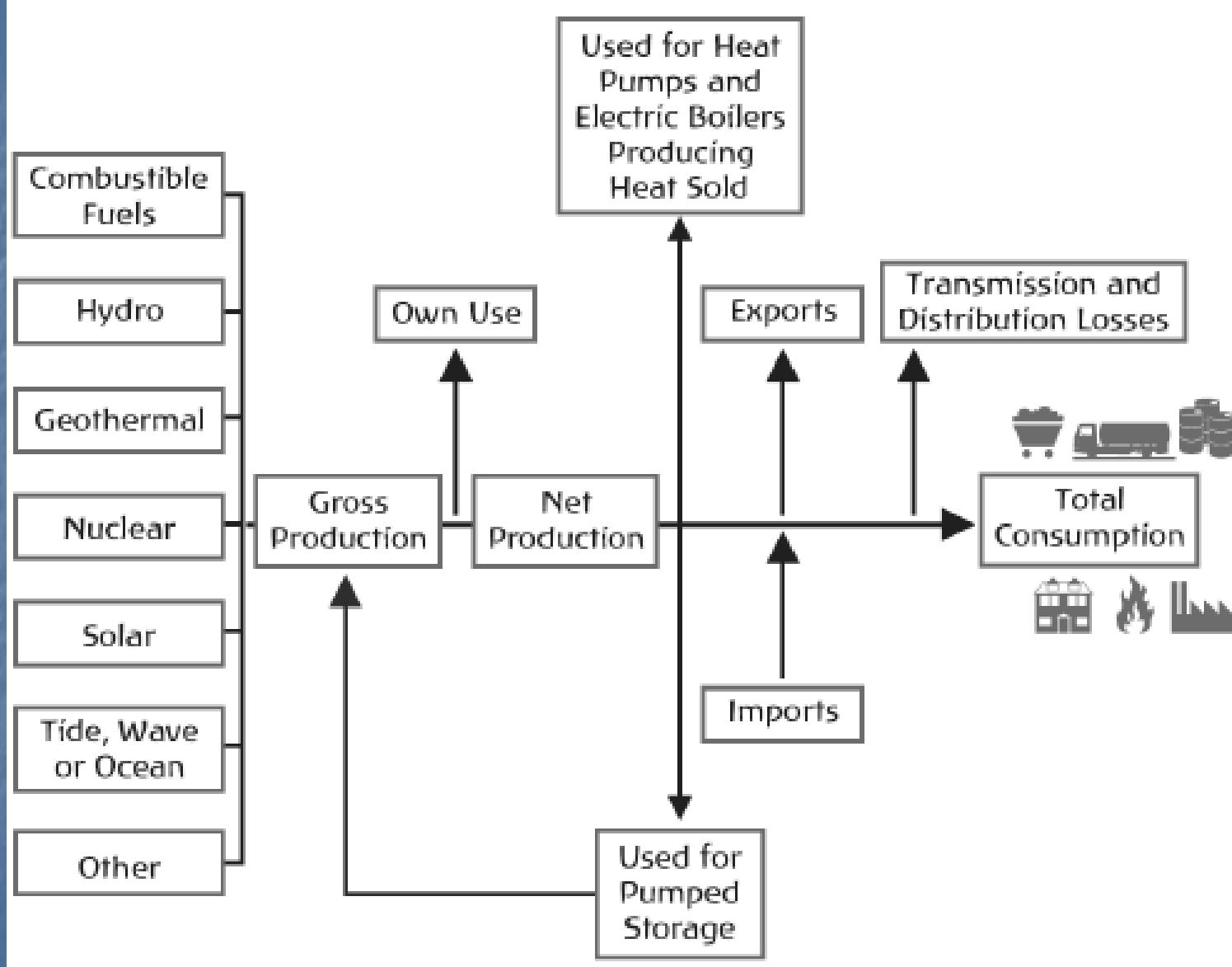
Conversioni di Energie

DA ENERGIA	A ENERGIA						
	Gravitazionale	Cinetica	Termica	Chimica	Elettrica	Elettromagnetica	Nucleare
Gravita-zionale	—	attrazione di masse	<i>sconosciuta</i>	<i>sconosciuta</i>	<i>sconosciuta</i>	<i>sconosciuta</i>	<i>sconosciuta</i>
Cinetica	lancio di masse	—	attrito	dissociazione radiolitica	apparati MHD	accelerazione particelle	<i>sconosciuta</i>
Termica	<i>sconosciuta</i>	efflussi gassosi	—	reazioni endoterme	effetti termoelettrici	radiazioni termiche	<i>sconosciuta</i>
Chimica	<i>sconosciuta</i>	tessuti animali	combustione	—	batterie e celle a combustione	chemiluminescenza	<i>sconosciuta</i>
Elettrica	<i>sconosciuta</i>	motori elettrici	effetti chimici	elettrolisi	—	radiazione elettromagnetica	<i>sconosciuta</i>
Elettroma-gnetica	<i>sconosciuta</i>	fenomeni fotoelettrici	radiazioni termiche	fenomeni fotochimici	fenomeni fotoelettrici	—	reazioni γ
Nucleare	<i>sconosciuta</i>	radiazioni α	fissione e fusione	catalisi da radiazione	batteria nucleare	reazioni γ	—

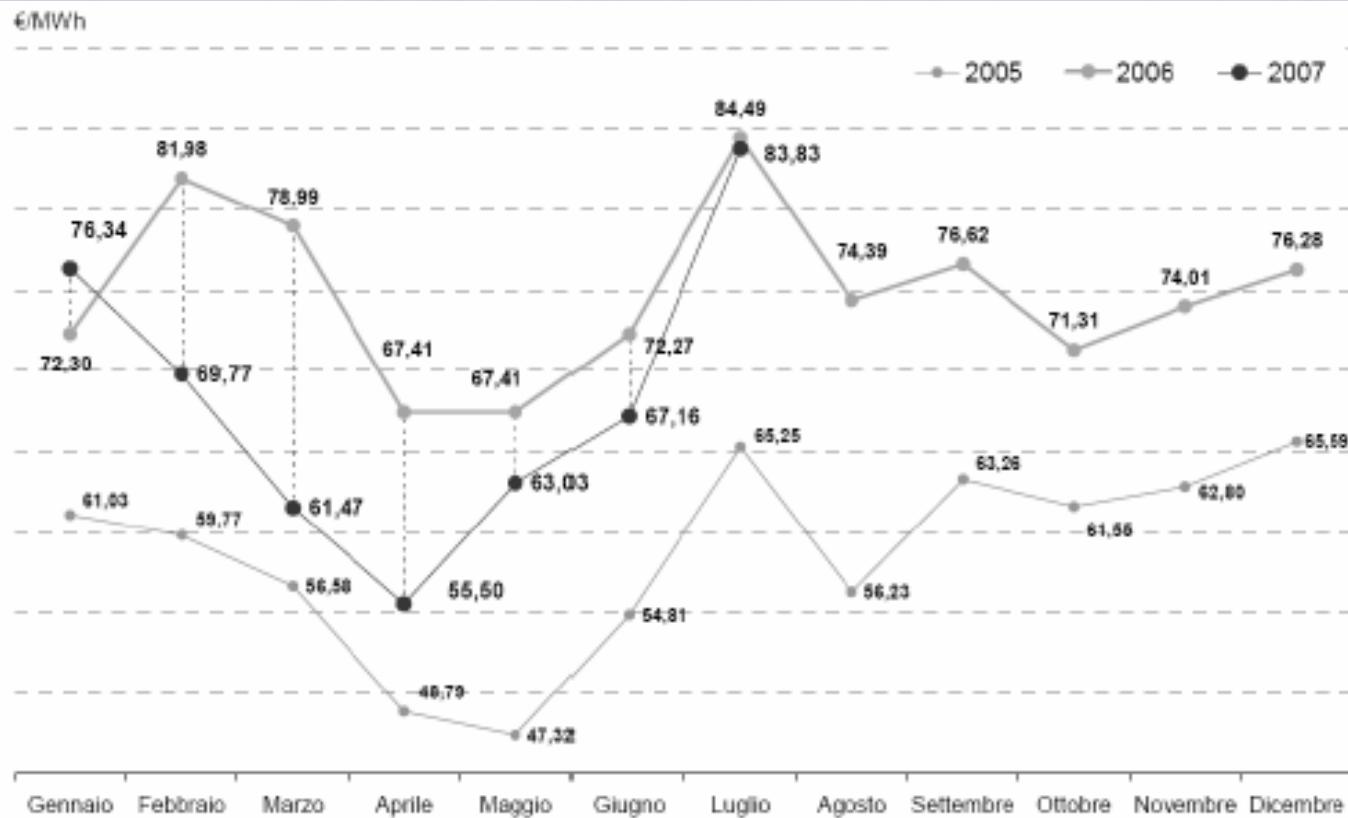
Energia elettrica

- L'energia elettrica è un vettore energetico con un vastissimo ambito di applicazioni
- È convertibile con basse perdite in energia meccanica
- Si considera:
 - Primaria se ottenuta da energia idraulica, eolica, fotovoltaica, tidale e ondosa
 - Secondaria se ottenuta da calore di origine nucleare, geotermica, solare (termico) e dalla combustione (centrali termoelettriche)

«Ciclo» dell'energia elettrica



Mercato dell'energia elettrica (Italia) andamento mensile



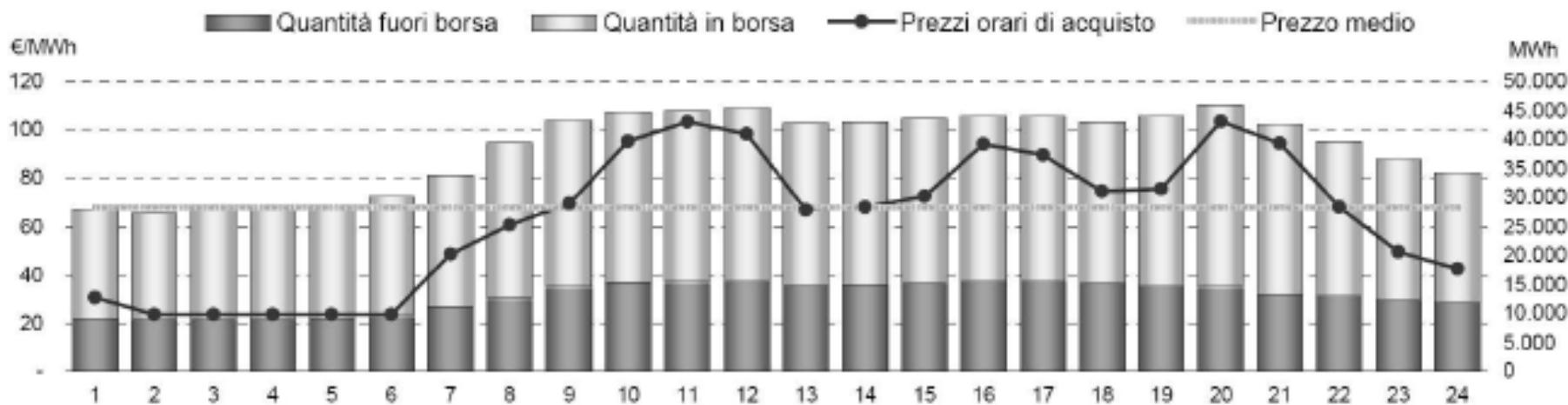
Mercato dell'energia elettrica (Italia) esempio giornaliero



Mercato del giorno prima

lunedì 08 ottobre 2007

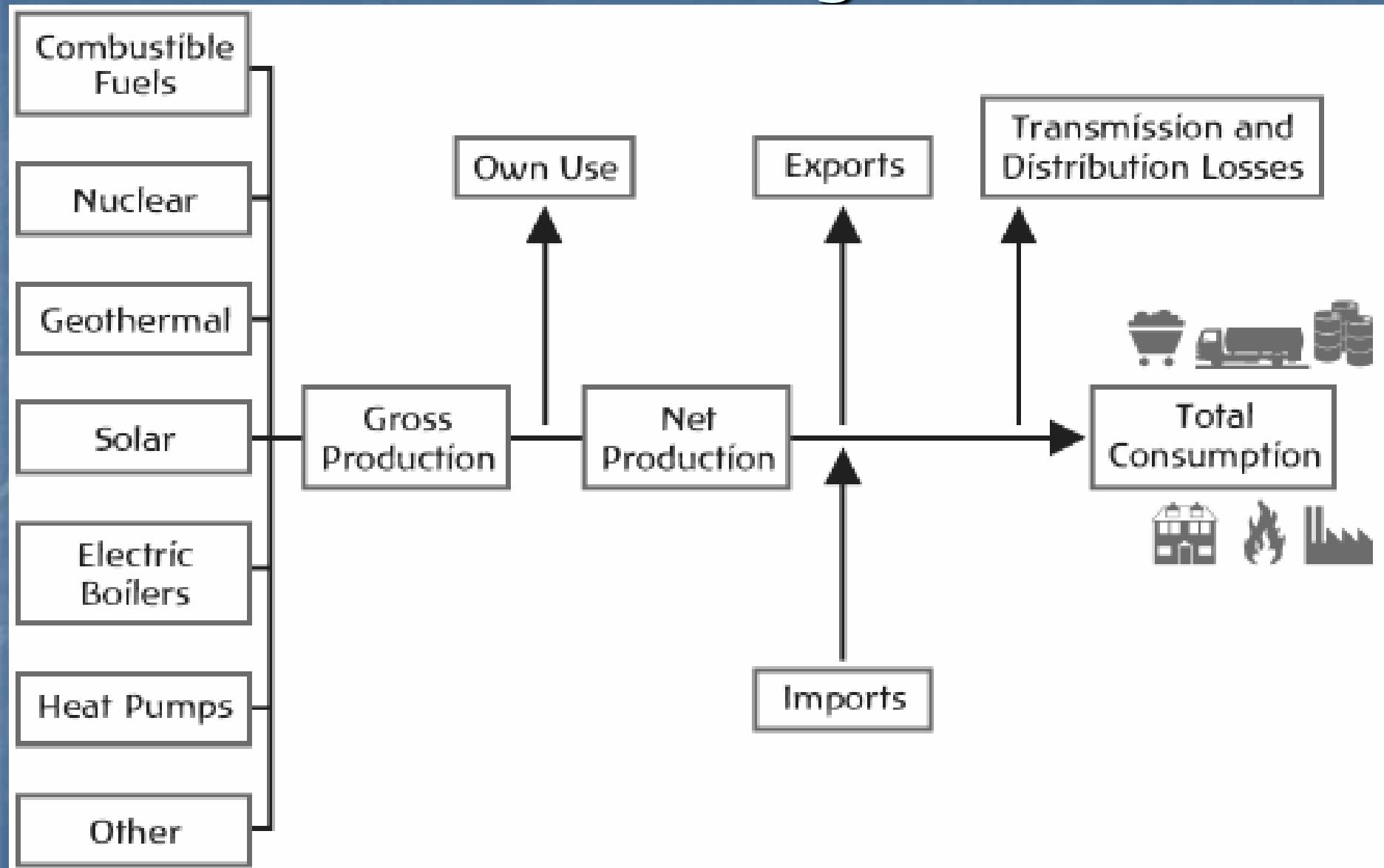
	Prezzo di Acquisto €/MWh	Quantità in borsa MWh	Quantità Totali MWh	Liquidità %
Media giornaliera	63,46	25.691	38.578	66,6%
Media ore di picco	84,23	29.003	44.070	65,8%
Media ore fuori picco	42,68	22.379	33.086	67,6%
Minimo	23,59	18.311	27.300	64,8%
Massimo	103,46	31.391	45.946	68,9%



Energia termica

- L'energia termica è un vettore energetico impiegato per il riscaldamento ambientale e di processo
- Il suo impiego risale all'antichità
- Si considera:
 - Primaria se ottenuta da fonti naturali come geotermia, solare termico, etc.
 - Secondaria se ottenuta da reazioni nucleari o dalla combustione

«Ciclo» dell'energia termica



Fonti di Energia Tradizionali e non

Tradizionali

- Energia idraulica potenziale
- Energia chimica dei combustibili
- Energia geotermica
- Energia nucleare da fissione
- ...

Non Tradizionali

- Energia eolica
- Energia solare e fotovoltaica
- Energia delle maree
- Energia nucleare da fusione
- ...

Fonti di Energia Rinnovabili e non

Rinnovabili

- Energia idraulica potenziale
- Energia geotermica
- Energia eolica
- Energia solare e fotovoltaica
- Energia delle maree

Non Rinnovabili

- Energia chimica dei combustibili
- Energia nucleare (fissione e fusione)

Densità Energetica (centrale da 1 GW_e)

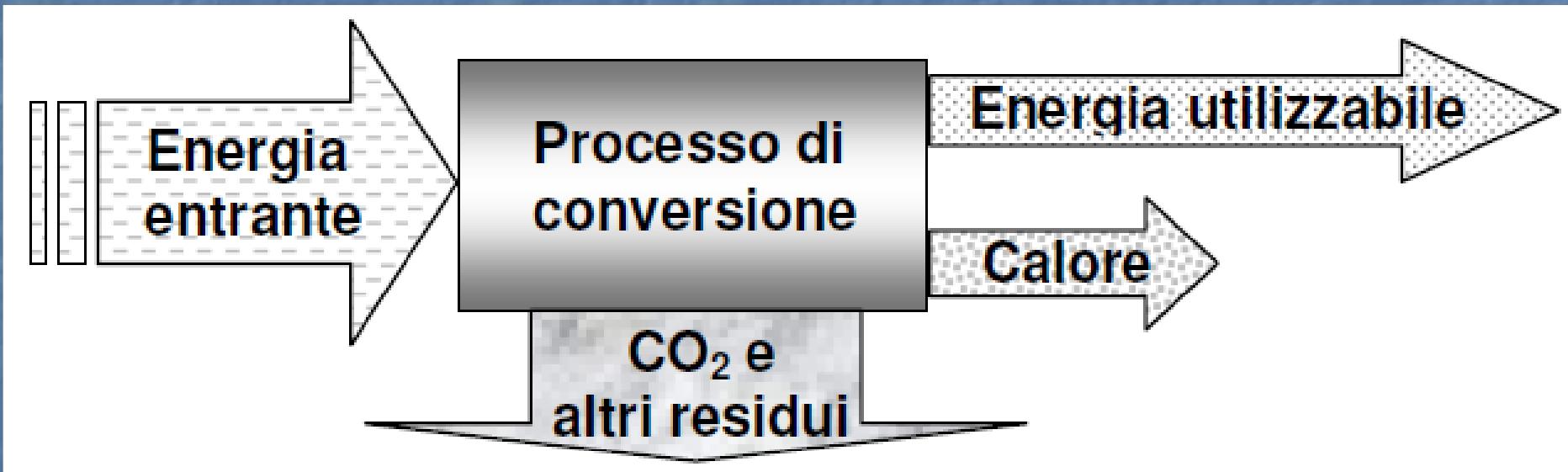
- Centrale nucleare (fissione):
 - richiederebbe circa 30 ton all'anno di U arricchito all'anno che possono essere, in linea teorica, contenute in un spazio limitato, equivalente a **1 vagone ferroviario**
- Centrale termoelettrica a petrolio:
 - richiederebbe circa un milione e mezzo di ton di combustibile all'anno stivabili in circa **28 mila vagoni**
- Centrale termoelettrica a carbone:
 - richiederebbe circa 2 milioni di ton di minerale all'anno trasportabili in **48 mila carri ferroviari**

Combustione [1/2]

- Uno dei processi di trasformazione più noto e certamente uno dei più importanti è quello che riguarda la conversione dell'energia chimica dei combustibili (a base principalmente di carbonio) in energica meccanica
- Quest'ultima viene poi trasformata in energia elettrica mediante generatori o utilizzata direttamente per il trasporto di persone e merci, attraverso i motori a combustione interna

Combustione [2/2]

L'energia contenuta nei legami chimici del combustibile è trasformata attraverso un processo fortemente esotermico (ad esempio la combustione che lega il carbonio con l'ossigeno atmosferico formando anidride carbonica) in energia termica e/o meccanica



Combustibili

- I combustibili possono essere definiti come sostanze capaci di produrre energia termica a seguito di una reazione chimica di combustione
- I combustibili attualmente più noti sono i **combustibili fossili** o naturali che vengono utilizzati dopo opportuni trattamenti
- I combustibili commerciali si distinguono in genere in solidi, liquidi e gassosi
- I combustibili hanno di norma una composizione chimica prefissata: la loro composizione (e quindi anche il loro potere calorifico) varia a seconda del processo produttivo o della zona di estrazione

Combustibili solidi

- Legna
- Carboni
 - lignite
 - antracite
 - litantrace
 - coke
- Non convenzionali
 - rifiuti solidi urbani (RSU)
 - sanse
 - vinacce
 - ...

Combustibili solidi derivati da biomasse legnose

Torba	carbonizzazione di vegetali erbacei, mescolata con terriccio, nessun uso industriale
Lignite	carbonizzazione di piante ad alto fusto
Litantrace	è il carbon fossile, bassa umidità, basso tenore di ceneri, viene distillato per produrre coke e gas combustibili
Antracite	termine estremo del processo di carbonizzazione, basso tenore di sostanze volatili, difficoltà all'innesto, uso domestico per riscaldamento
Coke	porzione di litantrace solida dopo riscaldamento a 900-1000° in assenza di aria, pregiato se poco poroso e resistente a compressione, è utilizzato in altoforno

Legno e carboni

Sostanza	% C	% H	% O	% N	% S	% ceneri	P.C. (kcal/kg)
Legno	50 - 54	6 - 6,5	43,5 - 44	0,3 - 0,5	0	0,5 - 1,2	2.500 - 4.500
Torba	50 - 60	5,5 - 6,5	30 - 48	0,8 - 3	0,1 - 0,2	3 - 25	3.000 - 4.500
Lignite	60 - 75	5 - 6	20 - 45	0,7 - 2	1 - 12	3 - 8	4.000 - 6.200
Litantrace	75 - 90	4,5 - 5,5	5 - 15	0,7 - 2	0,5 - 4	0,5 - 4	7.600 - 9.000
Antracite	92 - 95	2 - 2,5	3	0,5 - 1	0,5 - 2	0,5 - 2	8.300 - 9.000

Combustibili liquidi

- I *combustibili liquidi* sono miscele di idrocarburi (nessuno è costituito da un solo componente):
 - Benzina
 - Gasolio
 - Kerosene
 - Oli combustibili
- Si distinguono a seconda del tenore di zolfo in:
 - ATZ (alto tenore di zolfo, $S < 3\%$)
 - BTZ (basso tenore di zolfo, $S < 1\%$)
 - STZ (senza tenore di zolfo, $S < 0.3\%$, ammesso per usi civili)

Petrolio

- Il petrolio è una miscela di idrocarburi liquidi, utilizzato per produrre combustibili liquidi e gassosi, lubrificanti e materie plastiche
- Noto fin dall'antichità, l'impiego moderno risale ai primi anni del 1900
- La composizione e il potere calorifico variano a seconda del giacimento (Brent, etc.)
- Si considera una fonte primaria e non viene di norma utilizzato direttamente

Origine del petrolio

- Bacini sedimentari marini, caratterizzati da ampia formazione di materia organica in assenza o con scarsa ossidazione
- La materia organica viene sepolta e durante milioni di anni viene in parte trasformata in idrocarburi liquidi (e gassosi)
- Questi tendono a essere «strizzati» fuori dai sedimenti fangosi in via di compattazione e sono spinti negli strati permeabili adiacenti
- Accumulo possibile solo in presenza di una combinazione di strutture e tipi di rocce che creino una riserva ed una trappola (anticlinale)
- Teoria «alternativa» russo-ucraina:
 - origini abiotiche del petrolio nelle profondità della Terra (materiale primordiale eruttato da grandi profondità)
 - abbondanza limitata solo dalla quantità dei suoi componenti presenti al momento della formazione della Terra
 - disponibilità legata sostanzialmente solo dallo sviluppo tecnologico e della competenza nelle esplorazioni

Sfruttamento dei giacimenti di petrolio

- Individuazione del giacimento (prospezione sismica 3D o altre tecniche come la gravimetrica e la magnetica)
- Perforazione (fino a oltre 6 km di profondità, anche off-shore in bacini profondi \sim 3000 m)
- Produzione progressiva:
 - gas (in passato per lo più bruciato in torcia)
 - olio combustibile
- La produzione può essere migliorata (10÷15%) per iniezione di gas (parte superiore del giacimento) o di acqua (parte inferiore), ma aumentano i costi (50÷100%)
- Trasporto via oleodotto e/o petroliera: il 64% del petrolio mondiale è stato esportato nel 2006

Combustibili liquidi derivati del petrolio

Benzina	prima frazione di distillazione (Temperatura di ebollizione = 30-200°C), miscela di idrocarburi con 4-12 atomi di C, alta volatilità, elevato potere antidetonante
Cherosene	seconda frazione di distillazione (T.eb.=150-280 °C), densità più elevata della benzina, bassa volatilità, usato per alimentazione di motori a turbina, riscaldamento
Gasolio	terza frazione di distillazione (T.eb.= 250-350°C), usato per motori diesel, elevata tendenza all'accensione spontanea
Oli combustibili	residui della distillazione, viscosità variabile, ma piuttosto elevata

Caratteristiche derivati del petrolio

Product	Density kg/m ³	Litres per tonne	Gross calorific value (GJ/t)	Net calorific value (GJ/t) ⁽¹⁾
Ethane	366.3	2730	51.90	47.51
Propane	507.6	1970	50.32	46.33
Butane	572.7	1746	49.51	45.72
LPG ⁽²⁾	522.2	1915	50.08	46.15
Naphtha	690.6	1448	47.73	45.34
Aviation gasoline	716.8	1395	47.40	45.03
Motor gasoline ⁽³⁾	740.7	1350	47.10	44.75
Aviation turbine fuel	802.6	1246	46.23	43.92
Other kerosene	802.6	1246	46.23	43.92
Gas/diesel oil	843.9	1185	45.66	43.38
Fuel oil, low-sulphur	925.1	1081	44.40	42.18
Fuel oil, high-sulphur	963.4	1038	43.76	41.57

Combustibili gassosi

- GPL o gas di petrolio liquefatti (miscele di propano e butano ed altri prodotti leggeri di distillazione del petrolio, che, sottoposti a moderate pressioni ~ 10 bar, diventano liquidi e sono contenuti in bombole)
- Gas di città (miscela di idrogeno, metano e monossido di carbonio prodotto dalla distillazione o dalla gassificazione del carbone)
- Gas naturale (ha sostituito il gas di città)
- Gas di impiego industriale:
 - acetilene
 - gas d'altoforno (monossido di carbonio)

Gas naturale

- Il gas naturale è una miscela di diversi gas, ma in prevalenza è composto di CH_4 ($\sim 70\div 90\%$), utilizzato per produrre luce, calore o energia elettrica nelle centrali termoelettriche
- Noto fin dall'antichità (Delfi) era già usato dai cinesi nel 500 a.C.
- La composizione e il potere calorifico variano a seconda del giacimento che può essere associato o meno a quello del greggio (o alle miniere di carbone)
- Si considera una fonte primaria

Trasporto del gas naturale

- Più di 1/4 del gas mondiale viene esportato (3/4 del quale via gasdotto)
- Gasdotto (60 bar):
 - distanza a parità di diametro 1/5 di un oleodotto
 - stazioni di ricompressione ogni 100÷200 km
- Marittimo:
 - GNL a pressione atmosferica e -160°C (vol. = 1/600)
 - terminali di liquefazione (8÷9 Gm^3 - 300 MW_e)
 - navi da 130000 m^3 trasportano 80 milioni Nm^3
- Trasporto e distribuzione nazionale:
 - rete di trasporto (20 bar)
 - stazioni di decompressione
 - rete di distribuzione locale (1÷4 kPa)

Caratteristiche di alcuni combustibili liquidi e gassosi

Combustibile	MJ/volume	kcal/massa
Gasolio	41 MJ/l	9.799 kcal/kg
Benzina	44 MJ/l	10.031 kcal/kg
Alcool etilico	22 MJ/l	6.479 kcal/kg
Propano	99,2 MJ/Nm ³	11.796 kcal/kg
Butano	124,9 MJ/Nm ³	10.984 kcal/kg
Metano	36,0 MJ/Nm ³	11.940 kcal/kg
Idrogeno	10,8 MJ/Nm ³	28.567 kcal/kg

Principali caratteristiche dei combustibili commerciali

Combustibile	densità [kg/m ³]	H_i [MJ/kg]	a_t [kg _a /kg _c]	H/a_t [MJ/kg]	Temp. di accensione [°C]	CO ₂ gen. [kg/MJ]
Legna secca	500-800	18-20	5.8-6.7	3.1		0.096
Lignite		20.5				
Litantrace		26				
Antracite		30.5				
Coke	1000	30.2	10.1	2.99		0.103
RSU(*)	100	8	2.7	2.96		0.103
Benzina	730-760	44	14.7	2.99	400	
Gasolio	815-855	43.3	14.7	2.95	250	0.073
Olio denso	950	41.1	13.8	2.98		0.077
Gas di città	0.56÷0.61	30	10	3.00		
GPL	2.25	46	15.5	2.97	400	0.065
Gas naturale	0.83	47.7	17.3	2.76	560	0.056
Butano	2.7	45.7	15.4	2.97	365	
Acetilene	1.17	48.1	13.3	3.61	305	

(*) Rifiuti Solidi Urbani

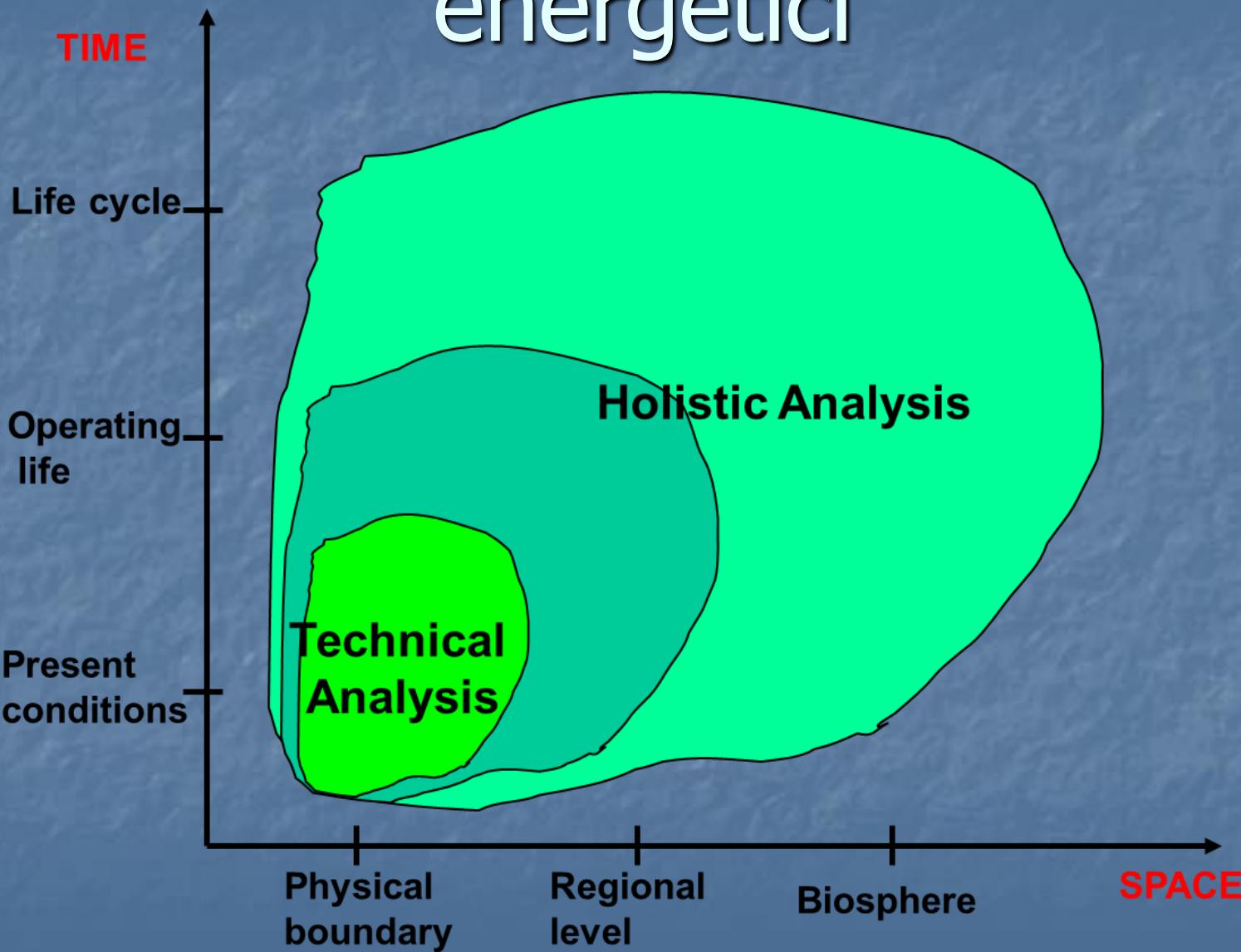
Rendimento

Dispositivo	Trasformazione energia		rendimento
Motore a vapore	da termica	a meccanica	15-25%
Motore a scoppio	da chimica	a meccanica	20-30%
Bruciatore a gas	da chimica	a termica	30-40%
Ferro da stiro	da elettrica	a termica	90-95%
Elettrovalvola	da termica	a elettrica	20-25%
Accumulatore	da elettrica	a chimica	70-75%
Pila	da chimica	a elettrica	60-70%
Dinamo	da meccanica	a elettrica	90-92%
Motore elettrico	da elettrica	a meccanica	85-90%
Centrali elettriche ad olio combustibile	da chimica	a elettrica	35-40%
Centrali a turbogas a cicli combinati	da chimica	a elettrica	55-65%
Centrali elettriche a carbone	da chimica	a elettrica	35-40%
Fotosintesi	da solare	a biomassa	0,5%
Fotovoltaico	da solare	a elettrica	6-15%
Lampade ad incandescenza	da elettrica	a luminosa	<10%
Lampade a led	da elettrica	a luminosa	47-64%

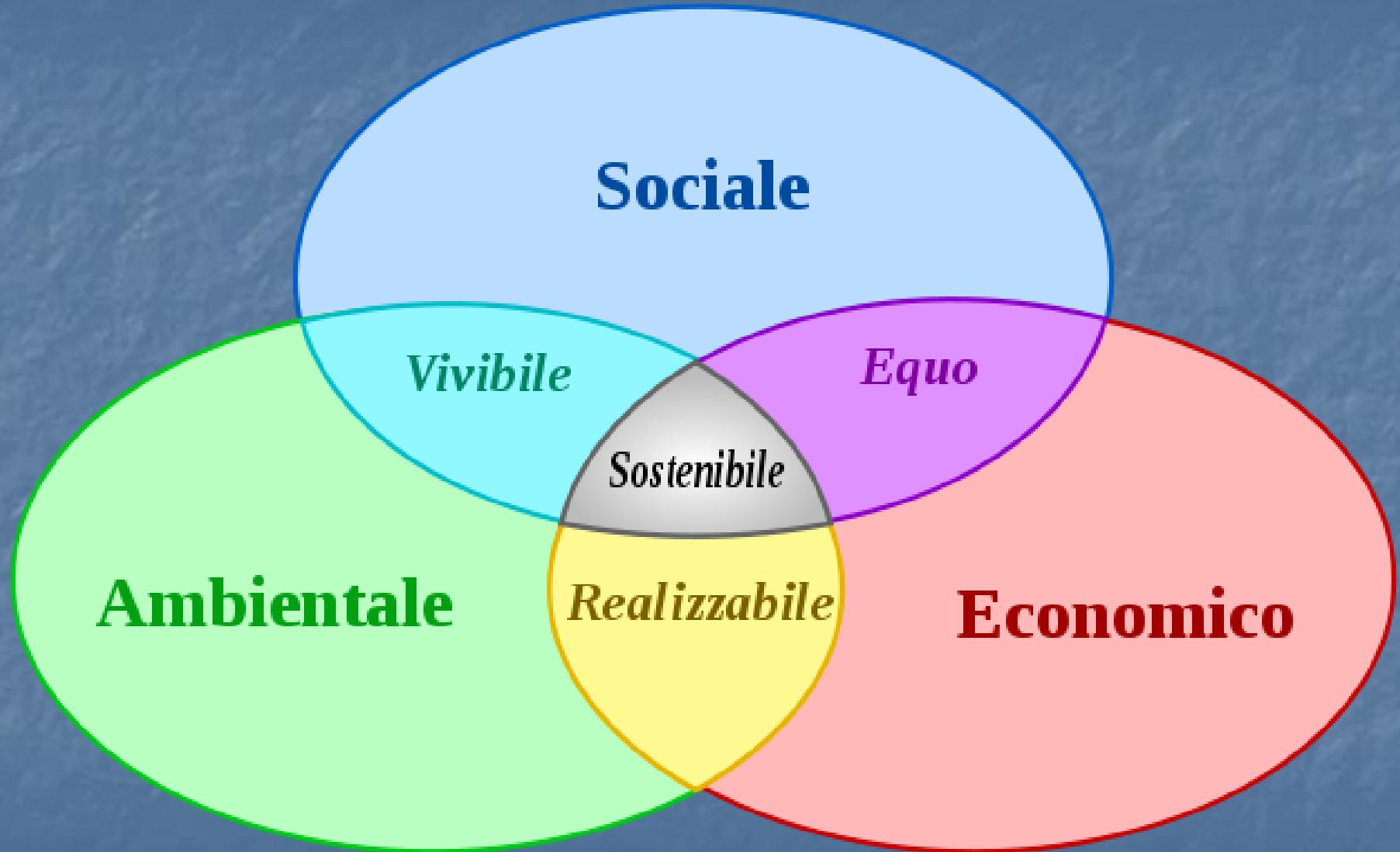
EROEI

- Per misurare la resa energetica di tutta la catena di approvvigionamento di una fonte sono state proposte varie metodologie che permettono di calcolare coefficienti come, ad esempio, il Ritorno Energetico sull'Investimento (in inglese Energy Return On Energy Investment, EROEI)
- Questo indice viene calcolato come rapporto fra l'energia ricavata da un impianto o con una certa tecnologia e tutta l'energia spesa per ottenerlo
- In pratica, può essere utile per confrontare diverse tecnologie o stimare quanta energia viene ricavata da un impianto nella sua vita media rispetto a quella impiegata per costruirlo e mantenerlo

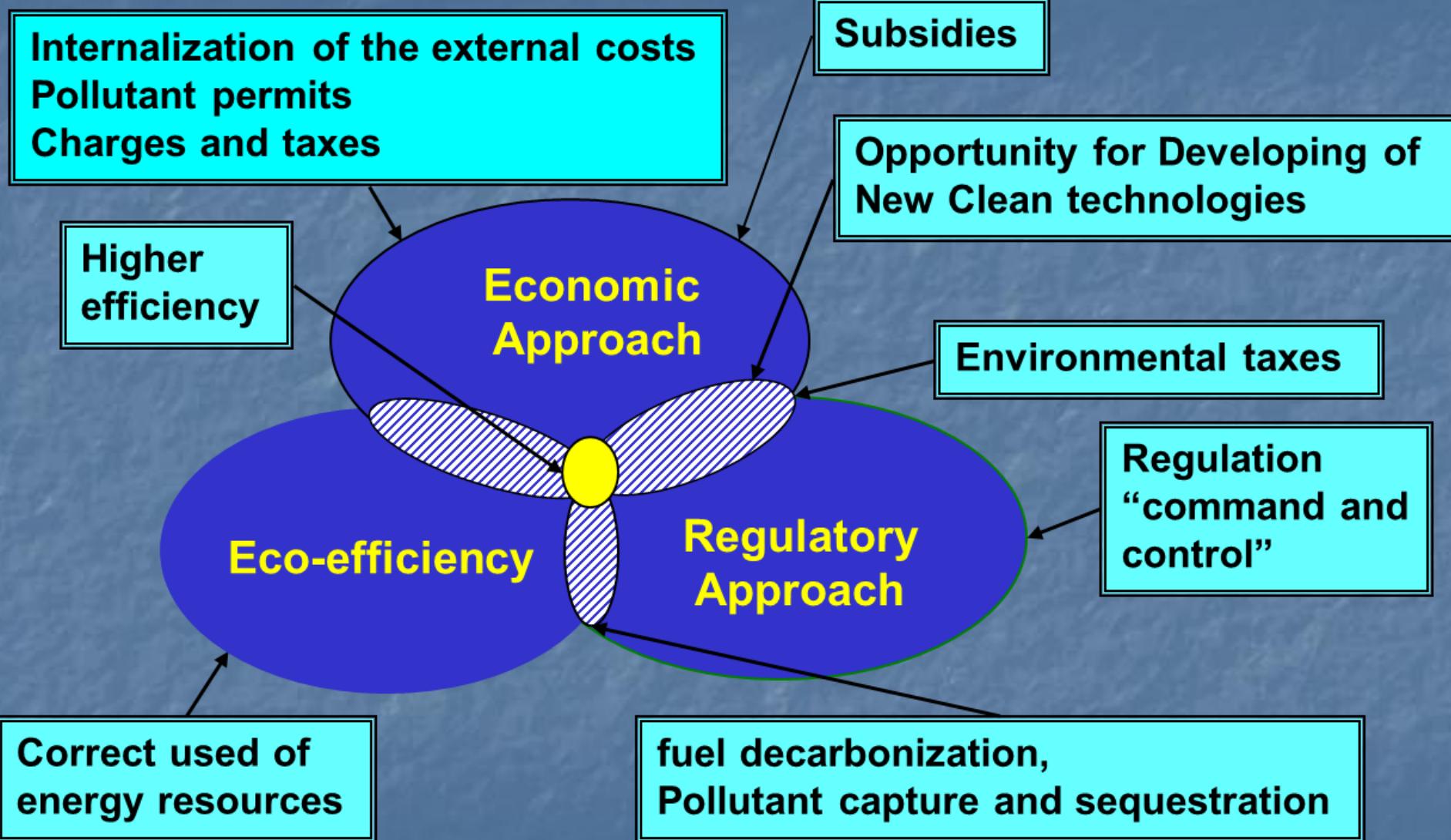
Analisi multi-obiettivo di sistemi energetici



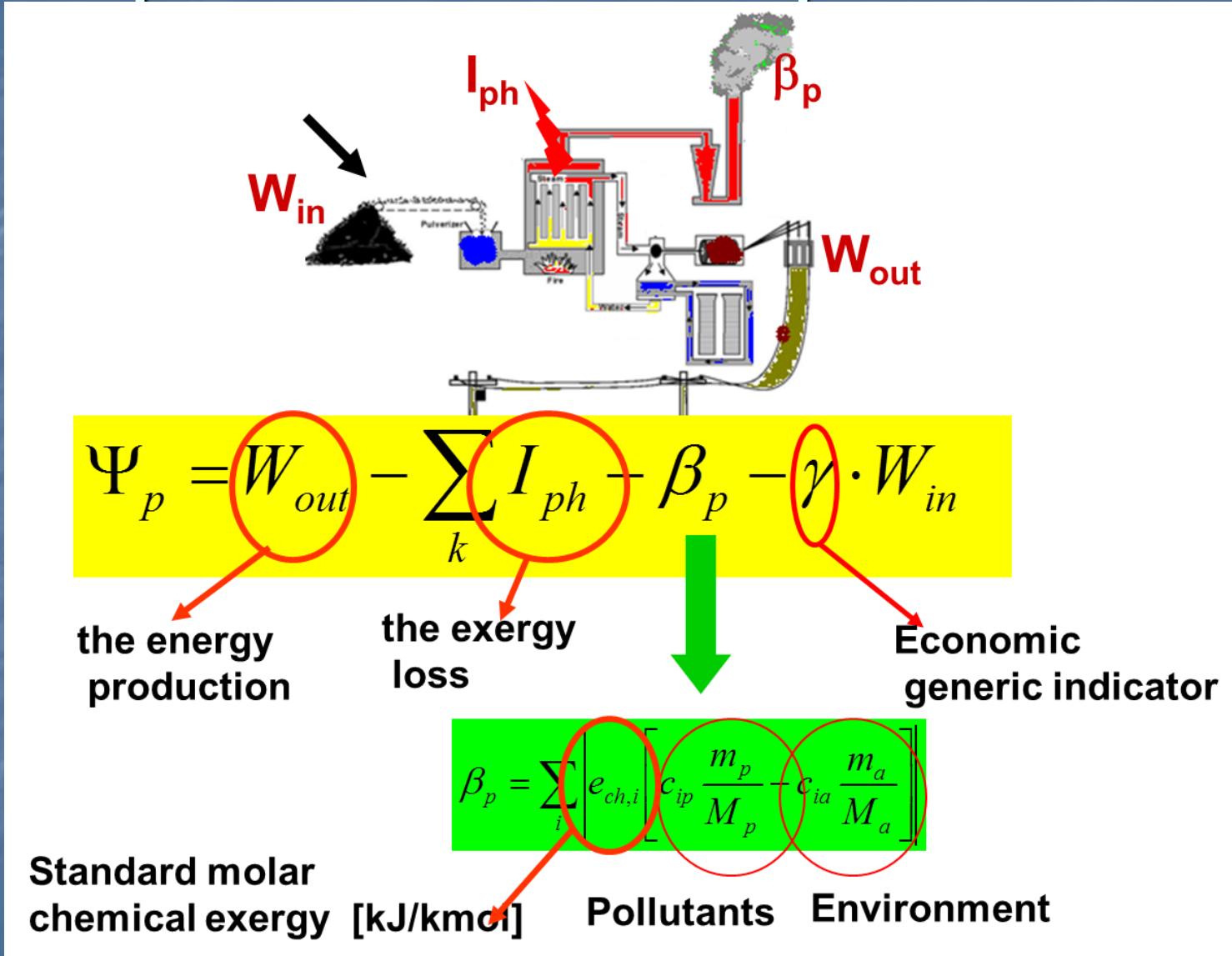
Sviluppo Sostenibile



Approcci per analisi di sostenibilità



Esempio di funzione parametrica



Parametri per definizione funzione

Macro-aspects	Indicators
Thermodynamic	<p>Relative to the First law of thermodynamics</p> <p>Relative to the second law of thermodynamics</p> <p>Irreversibility of the single components of the plant</p> <p>Quality index of the fuel utilization</p> <p>Raw energy conversion coefficient</p>
Environmental	<p>Emission to the atmosphere/energy produced (CO₂, NO_x, SO_x, CH₄)</p> <p>Emissions to the water/energy produced (release P- and N- rich waste into water bodies)</p> <p>Heat Reject to the Environment/energy produced (specially to the water bodies)</p> <p>Land use/energy produced</p> <p>Fuel resource used/energy produced</p> <p>Stratospheric O₃ depletion/energy produced</p> <p>Tropospheric O₃ and "Photosmog" /energy produced</p> <p>Ecotoxicity (heavy metals, toxic waste etc.) /energy produced</p> <p>Ecological Footprint</p>
Economic	<p>Total Capital Costs of the plant/energy produced</p> <p>Operation and Maintenance Costs/energy produced</p> <p>Cost of Resources/energy produced</p> <p>Profit index</p> <p>Unit energy cost</p> <p>Internal Rate of Return</p> <p>Microeconomics analysis considering the whole plant life cycle</p> <p>The life-cycle costing</p> <p>Internal rate of return</p>

Sull'energia nucleare il popolo italiano è disinformato...

Sin dal 1973 la Commissione dell'Unione Europea conduce inchieste periodiche, note come Eurobarometri, sull'opinione e gli atteggiamenti dei cittadini europei nei confronti di varie tematiche di interesse, fra cui l'energia nucleare.

Indagini statistiche dell'Eurobarometro dimostrano inconfutabilmente che una adeguata conoscenza della tematica e favore per essa sono in relazione crescente.

Alcuni risultati relativi all'Italia...

“Alcuni centri di ricerca producono rifiuti radioattivi: vero o falso?”



VERO



FALSO

**Più alta percentuale di risposte corrette: Svezia (86%)
Italia (14%)**

“Alcuni ospedali producono rifiuti radioattivi di basso livello: vero o falso?”



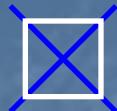
VERO



FALSO

**Più alta percentuale di risposte corrette: Belgio (84%)
Italia (21%)**

“Ci sono diverse categorie di rifiuti radioattivi, intermedia, bassa ed alto livello. Vero o falso?”



VERO



FALSO

**Più alta percentuale di risposte corrette: Slovenia (88%)
Italia (18%)**

“Alcune industrie non-nucleari producono rifiuti radioattivi di basso livello: vero o falso?”



VERO



FALSO

**Più alta percentuale di risposte corrette: Repubblica Ceca (79%)
Italia (20%)**

Emissioni di CO₂ evitate con il nucleare negli USA già nel 2008

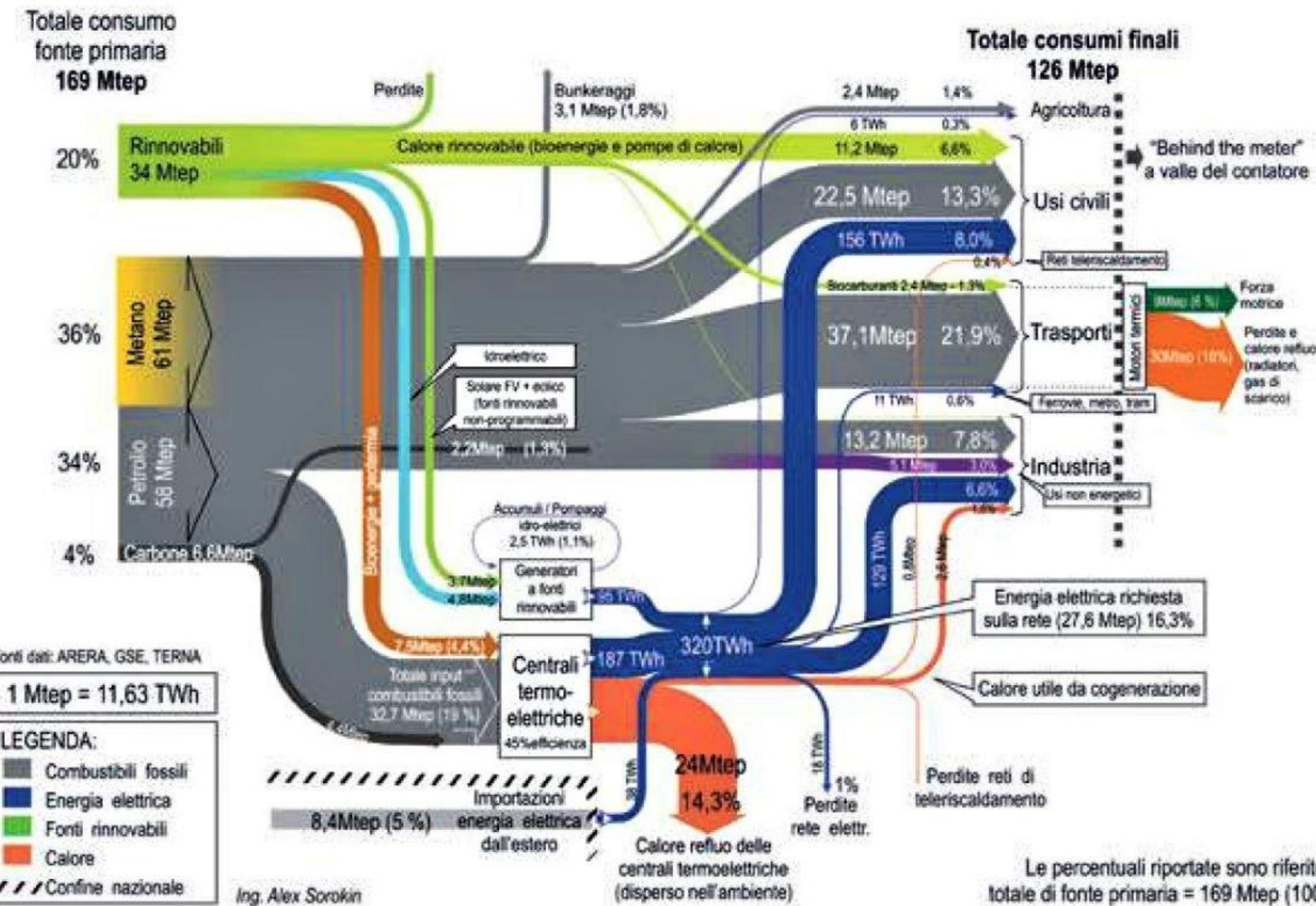
- ~20% la quota di nucleare nella produzione di elettricità statunitense
- 692 milioni di tonnellate/anno
- **Pari circa alle emissioni CO₂ originate dalla circolazione di tutte le autovetture negli USA**
- Corrisponde al 29% del totale delle emissioni statunitensi di CO₂ da settore elettrico: 2386 miliardi di tonnellate/anno (dati WEO 2008 EIA)

Nucleare & Salute

- Uno studio della Columbia University è stato condotto su 53000 lavoratori di 15 centrali nucleari statunitensi, seguiti per 18 anni (1979 e 1997):
 - Lo studio ha evidenziato un tasso di mortalità inferiore del 60% ai valori medi di quelli rilevati su una popolazione similare per sesso ed età
 - I ricercatori lo hanno soprannominato “effetto lavoratore sano” (i dipendenti effettuano regolarmente dei check up sanitari)
 - Uno dei risultati più rimarchevoli della ricerca è che la correlazione tra il tasso di mortalità per leucemia e tumore sui lavoratori nucleari non è statisticamente rilevante ed è allineato alle altre fasce di popolazione
- Analoghi studi con analoghi risultati sono stati fatti in Francia e in UK
- The NCI (National Cancer Institute) report, *Cancer in populations living near nuclear facilities*, studied more than 900000 cancer deaths from 1950-1984 from mortality records in counties containing nuclear facilities:
 - At the time, it was the broadest study of its type ever to be conducted
 - The NCI report showed no increased risk of death from cancer for residents of the 107 US counties containing or closely adjacent to 62 nuclear sites including all of the country's power reactors operational before 1982

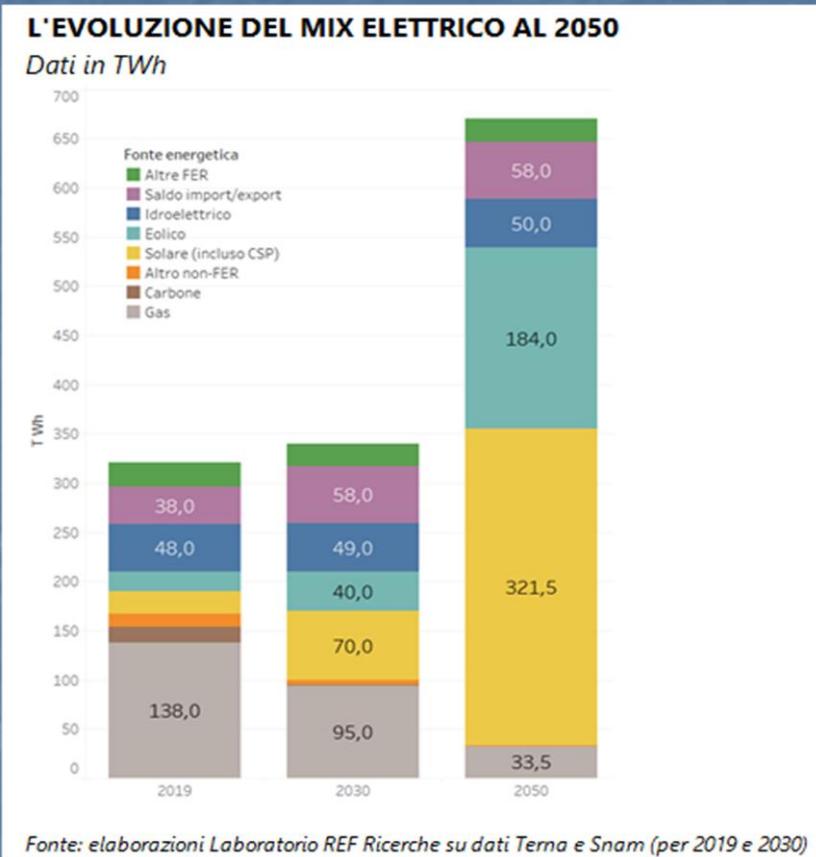
Bilancio energetico - Italia 2019

Principali fonti, flussi ed usi finali dell'energia



...ed il futuro?

- Facendo riferimento all'anno 2050 viene delineata la seguente situazione:



- Domanda di **670 TWh (doppia rispetto al 2019)**
- 5 % del fabbisogno coperto da combustibili fossili (gas)
- Aumento marginale idroelettrico
- Saldo Import/export mantenuto costante
- Contributo di altre fonti di energia rinnovabile costante
- Circa **505 TWh coperti da uno sviluppo sostenuto di solare ed eolico in tutte le loro declinazioni**
- Lo scenario elettrico risulta completamente stravolto e si avrebbe una produzione gigantesca delle rinnovabili: **aumento di generazione di 14 volte per il solare e di 9 volte per l'eolico, con tassi di installazione annui di potenza moltiplicati più volte (per il solare ad esempio diverrebbe 10 volte più grande rispetto a quello che ha contraddistinto il 2019)**

Le problematiche di un mix di generazione sbilanciato sulle fonti rinnovabili

- Non programmabilità della produzione elettrica (in assenza di stoccaggio)
- Lievitazione dei costi per lo stoccaggio ed il trasporto dell'energia
- Scarsa sicurezza/stabilità di rete
- Limitata disponibilità di materie prime critiche necessarie per la costruzione di tali tecnologie

ITALIA (PNIEC) Scenario 1: installazione di alcuni impianti nucleari di grossa taglia con riferimento allo scenario energetico al 2030

- 121.8 TWh derivanti dall'uso dei combustibili fossili
- Si ipotizza di coprire 1/3 di questi (40.6 TWh) attraverso l'inserimento dell'energia nucleare nel sistema elettrico
- 4 reattori EPR da 1600 MWe, investimento stimato di 16 miliardi di euro
- Risparmio di oltre 4 miliardi di m³ di gas il cui costo (attualmente) si aggirerebbe tra i 4.5 e 5 miliardi di euro
- Il prezzo del kWh nucleare dipende dal costo del combustibile nell'ordine del 5 %
- Soluzione implementativa di difficile realizzazione per limiti temporali, burocratici e di accettazione sociale



Italia (PNIEC) Scenario 2:

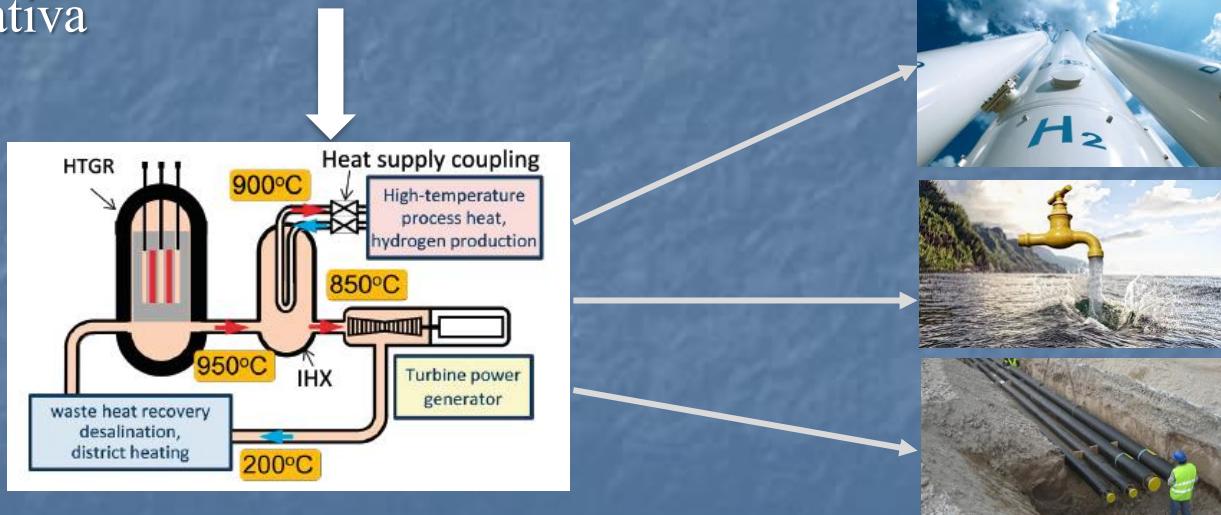
installazione combinata di impianti nucleari di grossa taglia ed alcuni reattori HTR con riferimento allo scenario energetico al 2050

- Ipotizzando in questo scenario di ricoprire una quota energetica ragionevole del 20% sul totale (pari a 134 TWh) attraverso lo sfruttamento dell'energia nucleare le possibili implementazioni sarebbero le seguenti:
 - 11 reattori EPR
 - 16 reattori AP1000
 - Installazione combinata di 10 reattori EPR e 5 HTGR (es. GTHTR300C)
- Di notevole interesse è l'ultima implementazione proposta, nella quale si potrebbe valutare lo sfruttamento del calore nucleare per attività cogenerativa in diversi ambiti
- I reattori HTR installati darebbero (a scelta del gestore in funzione dell'andamento della domanda) la possibilità di alimentare la rete elettrica in perfetta analogia ai reattori di grande taglia oppure di partecipare a processi cogenerativi



Italia (PNIEC) Scenario 3: installazione esclusivamente di reattori HTR [1/2]

- Nel terzo scenario si fa l'ipotesi di installare esclusivamente dei reattori HTR, non prendendo in considerazione lo sfruttamento di impianti di grossa taglia con l'immediato vantaggio di non dover affrontare tematiche spinose come i notevoli costi di realizzazione, tempi di implementazione piuttosto lunghi e problemi di manutenzione e sicurezza, quest'ultima punto di forza invece per i reattori considerati
- Viene ipotizzato di coprire una quota del carico più contenuta rispetto allo scenario 2 per non dover installare un numero di reattori eccessivo, disponendo però di un'ampia capacità cogenerativa



Italia (PNIEC) Scenario 3: installazione esclusivamente di reattori HTR [2/2]

In uno scenario di questo tipo si potrebbero effettuare le seguenti ipotesi ed assunzioni, con lo scopo di delineare una valutazione termo-economica di riferimento:

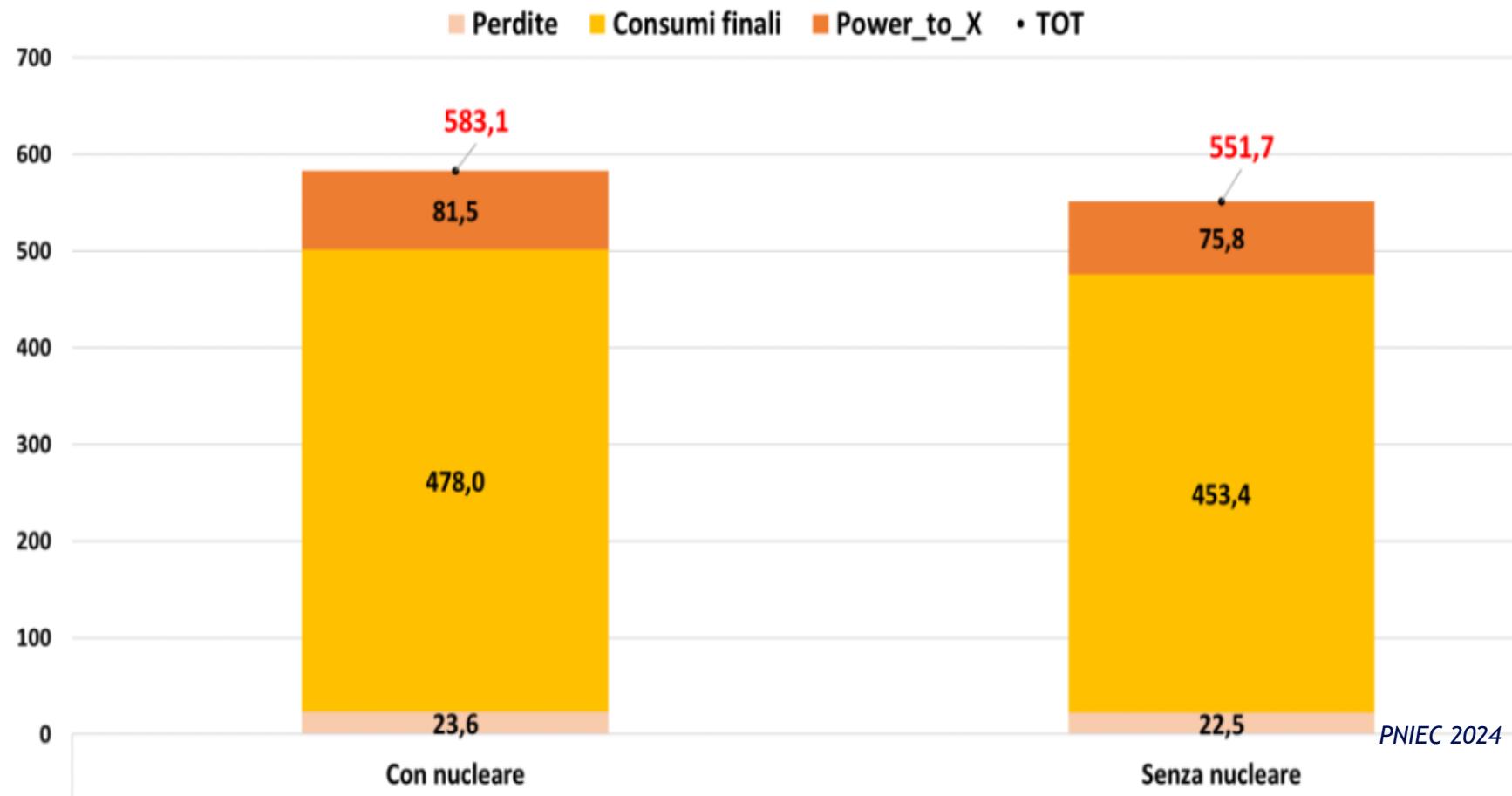
- Potenza media installata per ciascun reattore di 250 MW_e
- Obiettivo: soddisfacimento del 5% della domanda di riferimento stimata al 2050



- Installazione di circa 17 reattori
- Costo stimato per ciascun reattore 1-2 miliardi di euro (1/2 o 1/3 dei reattori EPR e AP1000)
- Installazione più semplice e rapida, con più possibilità di localizzazione sul territorio



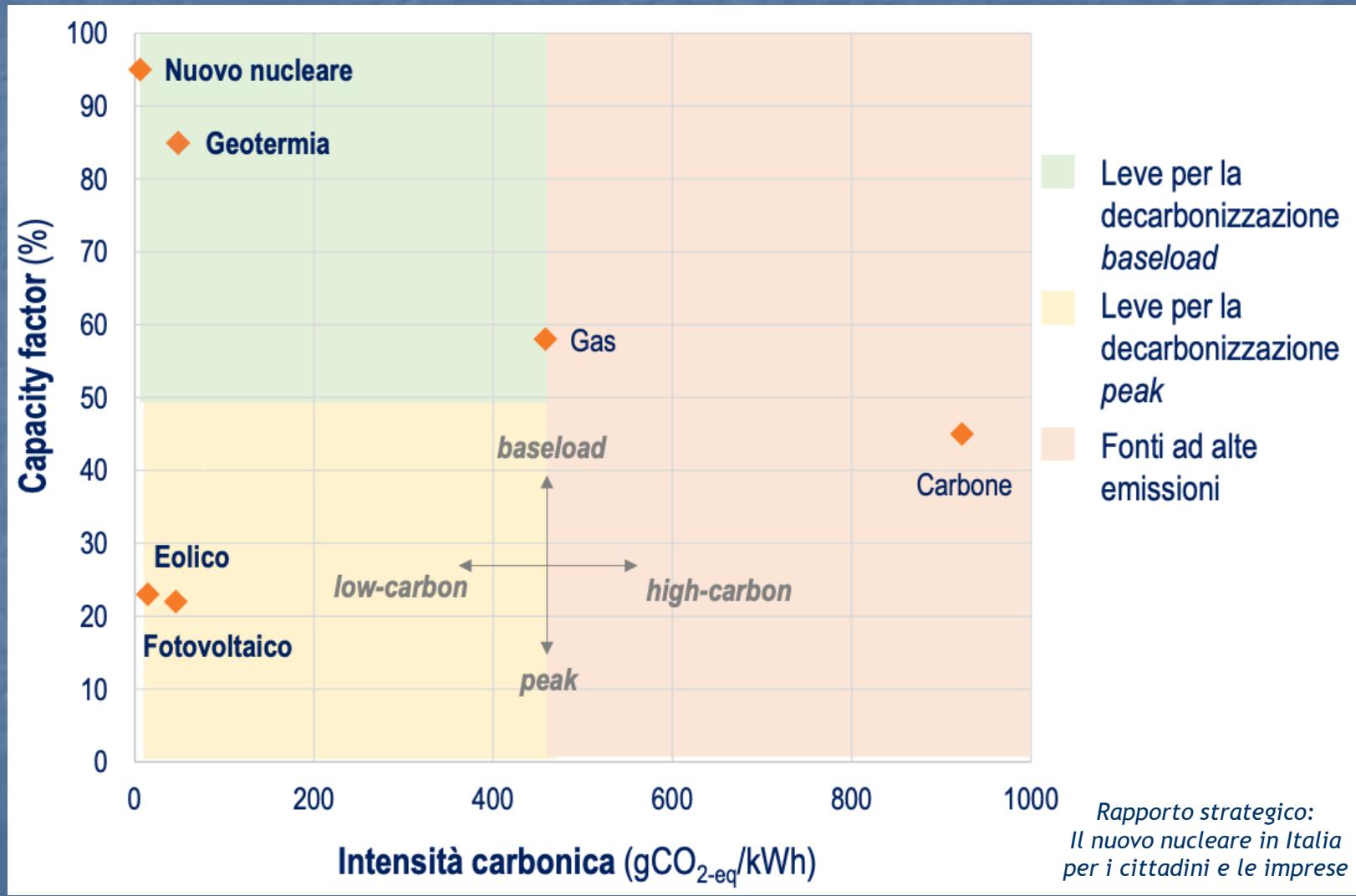
Previsioni al 2050 del PNIEC 2024



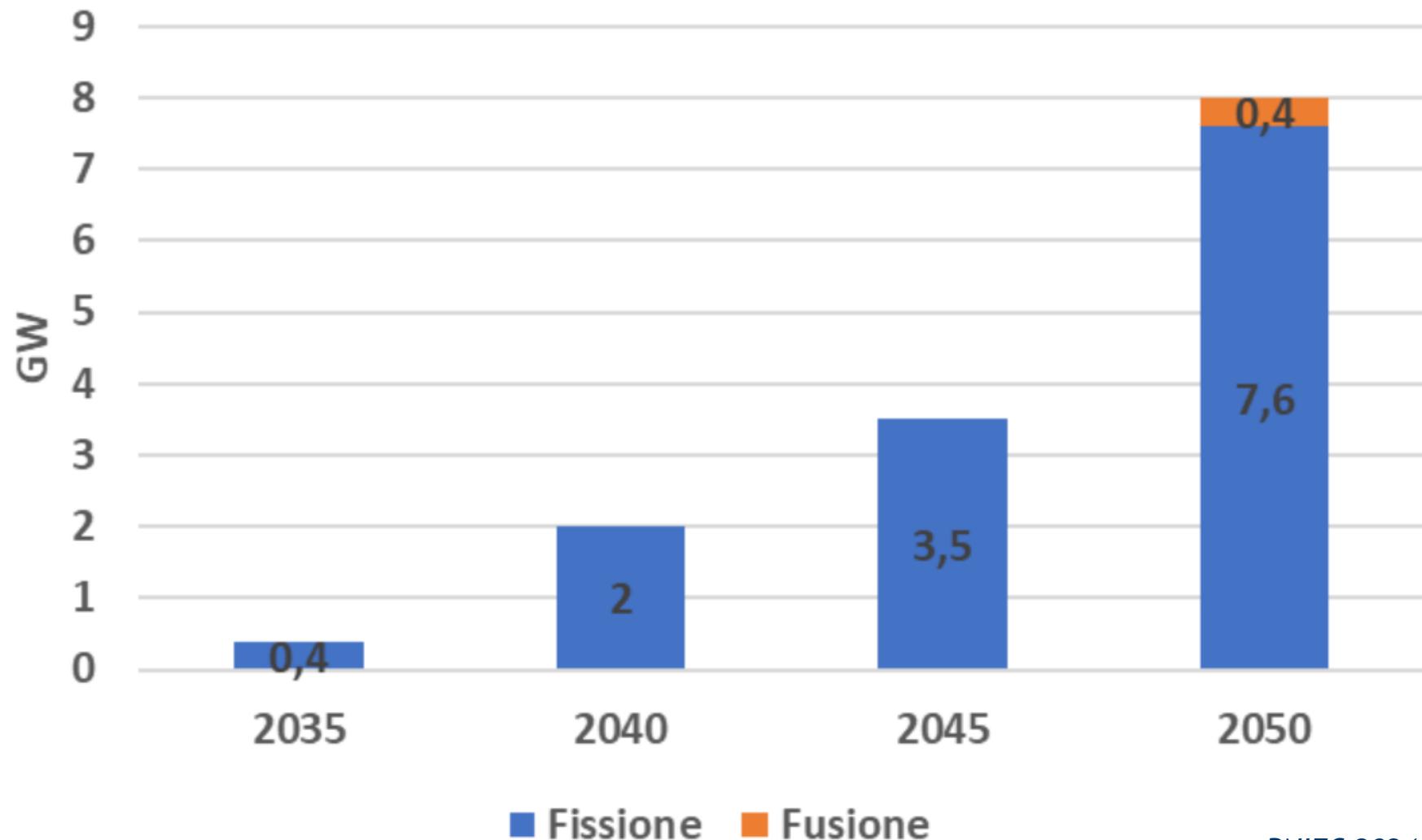
Scenari futuri delineati dal PNIEC 2024

- *Nucleare moderato*: Attualmente risulta lo scenario più attendibile e prevede una reintroduzione dell'energia nucleare che arrivi al 2050 con una capacità installata di 8 GW
- *Nucleare senza limitazione*: Rappresenta uno scenario ancora utopistico dove vengono utilizzare tutte le risorse disponibili, permettendo di arrivare al 2050 con una capacità installata di 16 GW

Un confronto fra il nuovo nucleare e le fonti rinnovabili



Evoluzione della potenza nucleare installata



PNIEC 2024

Possibile sviluppo della flotta di reattori italiani (esempio)

Tipologia di reattore	Numero di unità operative al 2035	Numero di unità operative al 2040	Numero di unità operative al 2045	Numero di unità operative al 2050
NUWARD™	2	7	12	17
LFR-AS-200	0	0	2	6
HTR-PM	0	0	2	4
Fusione nucleare	0	0	0	1
Capacità installata [GW]	0.68	2.38	4.9	8.22

Lo scienziato non è l'uomo
che fornisce le vere risposte:
è quello che pone le vere domande
(Claude Lévi Strauss)