



L'ITALIA SOSTENIBILE

IDEE E AZIONI PER IL FUTURO

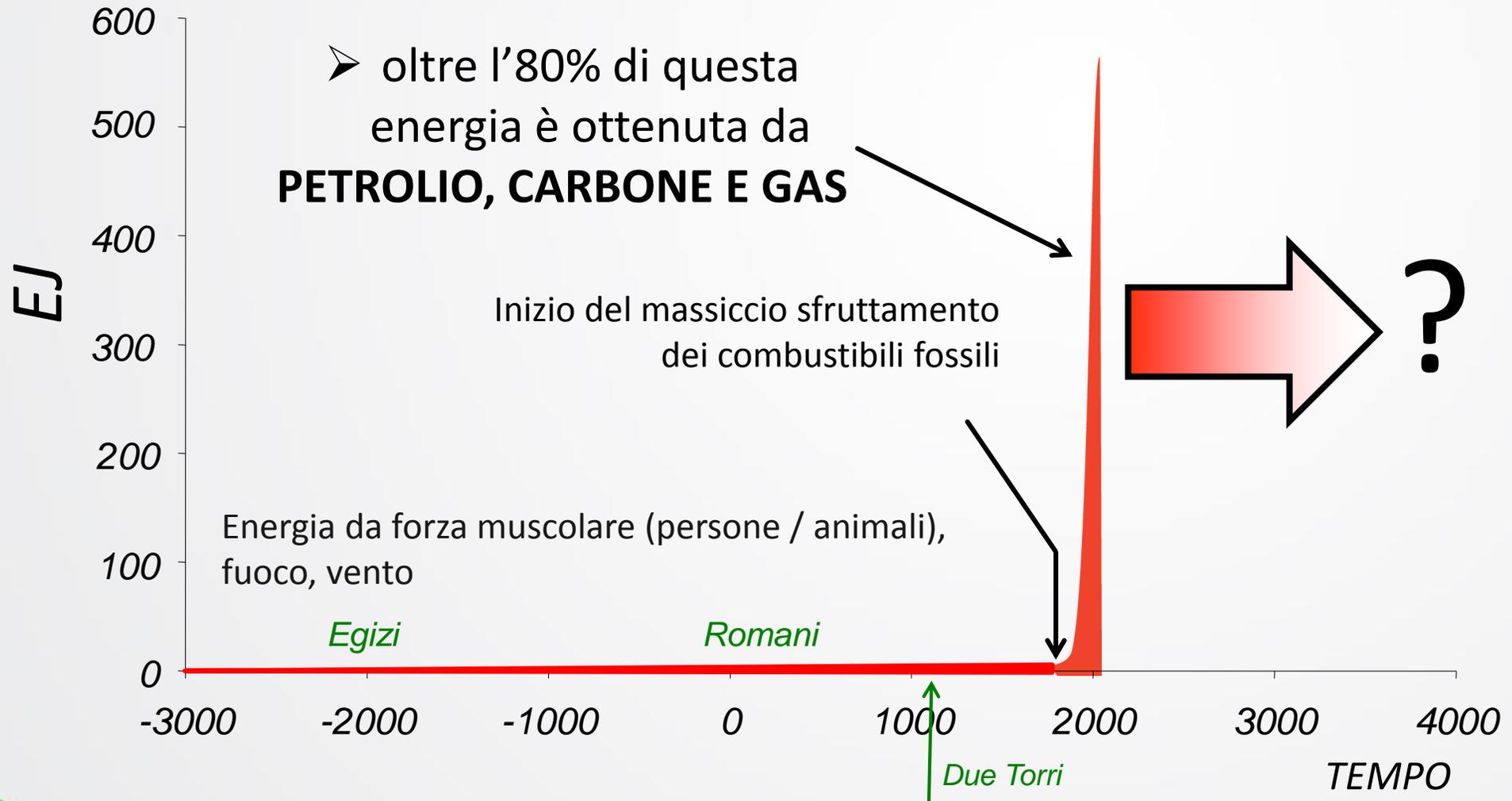
BOLOGNA 20-21 MAGGIO 2016

C.N.R. AREA DELLA RICERCA DI BOLOGNA

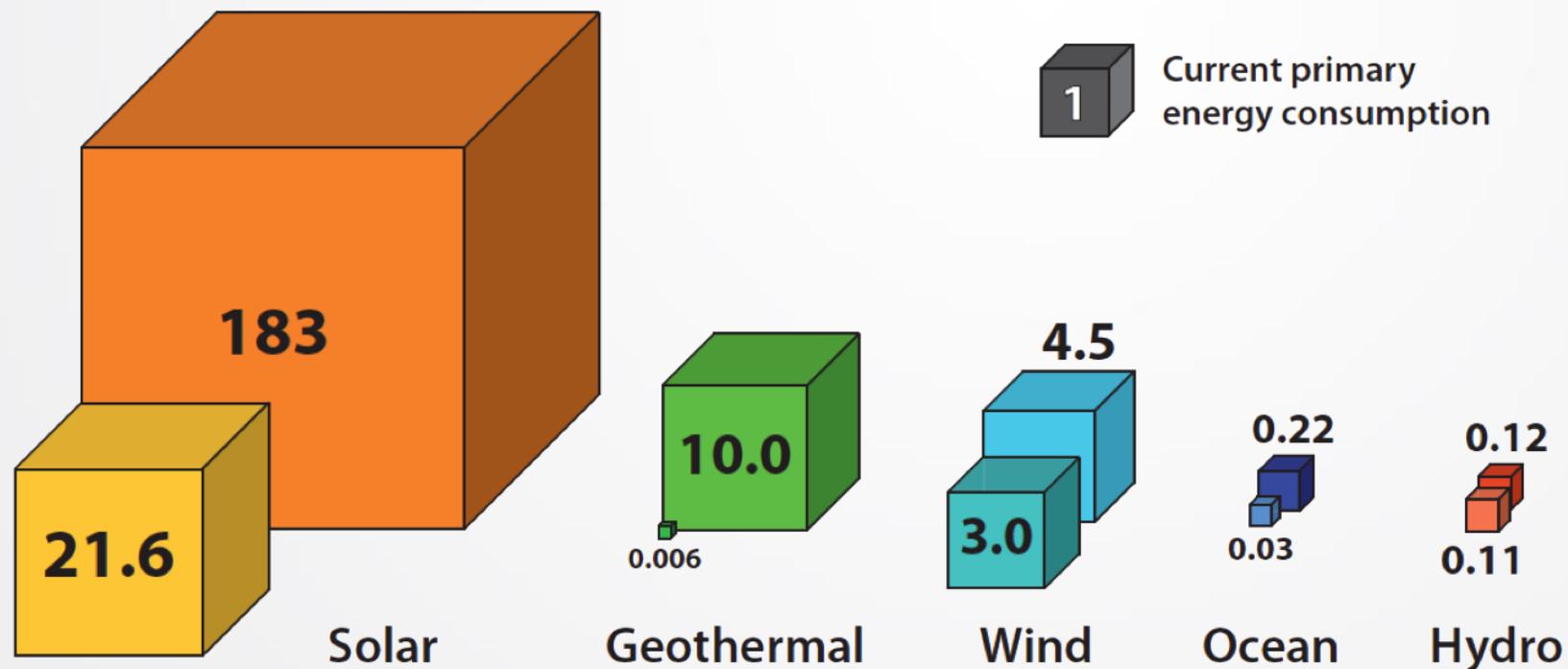
LA TRANSIZIONE ENERGETICA

NICOLA ARMAROLI
CNR-ISOF, BOLOGNA

LA LINEA DEL TEMPO DELL'ENERGIA



LE RISORSE RINNOVABILI SONO SUFFICIENTI PER SOSTENERE LA NOSTRA CIVILTÀ



N. Armaroli, V. Balzani, *Energy for a Sustainable World: From the Oil Age to a Sun-Powered Future*
Wiley-VCH, 2011

IN PRATICA, COSA CI SERVE?

Distribuzione dei consumi finali di energia finale nei paesi ricchi

~ 25 %



ELECTRICITÀ



COMBUSTIBILI (trasporti, calore)

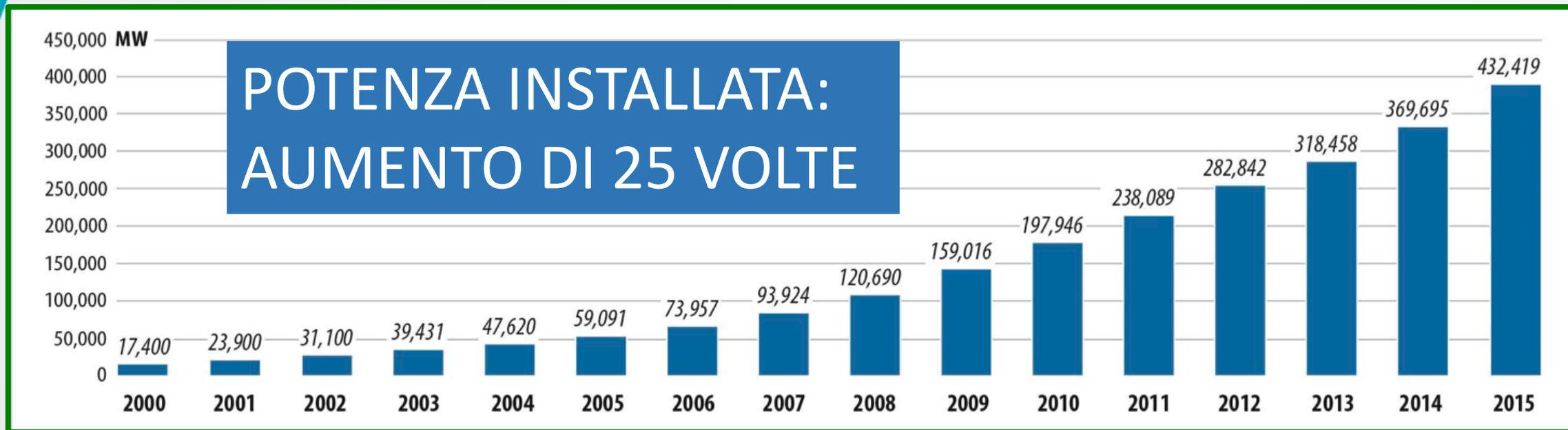
~ 75 %



ELETTRICITÀ SOLARE



SVILUPPO MONDIALE EOLICO 2000-2015



GWEC – Global Wind Energy Council, 2016

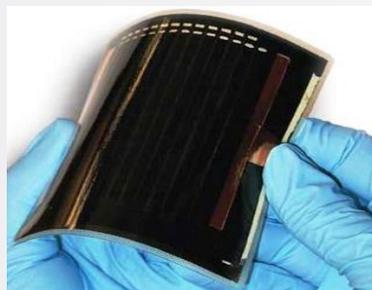
2015: 820 TWh, 3.5% della produzione mondiale
≈ 120 centrali convenzionali da 1000 MW e 7000 ore/anno

SVILUPPO MONDIALE FOTOVOLTAICO 2000-2015

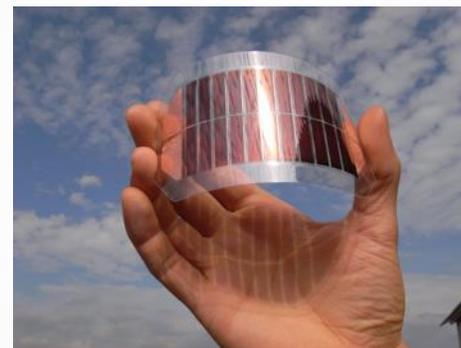


2015: 260 TWh, 1.1% della produzione mondiale
37 centrali convenzionali da 1000 MW e 7000 ore/anno

TECNOLOGIE FV "ALTERNATIVE"



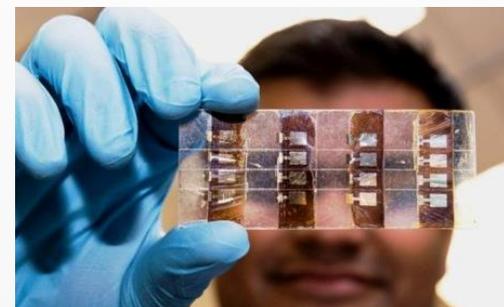
FILM SOTTILE
(CdTe, CIGS, α -Si)
Sul mercato (< 5%)



FOTOVOLTAICO
ORGANICO
11.0%; 1 cm² (cella)



DSSC
11.9%; 1 cm² (cella)



PEROVSKITE
15.6%; 1 cm² (cella)

M. Green *et al.* *Prog. Photovolt: Res. Appl.* **2016**, 24, 3

NON vi sono prospettive di sostituzione della tecnologia c-si
nel breve-medio termine: **19.2%; 15130 cm² (modulo)**

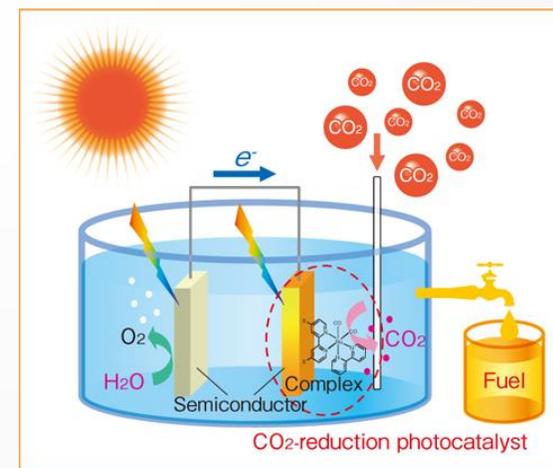
COMBUSTIBILI SOLARI



PRIMA GENERAZIONE
SOLO IN POCHE REGIONI DEL MONDO

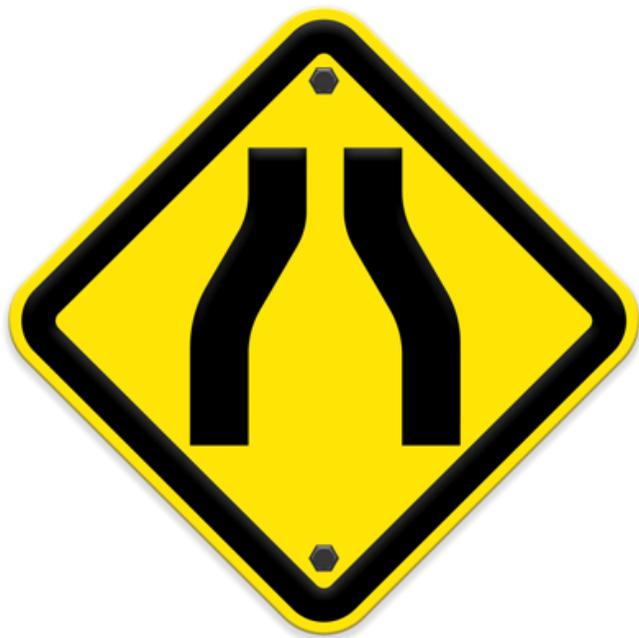


SECONDA GENERAZIONE
IN FASE INIZIALE



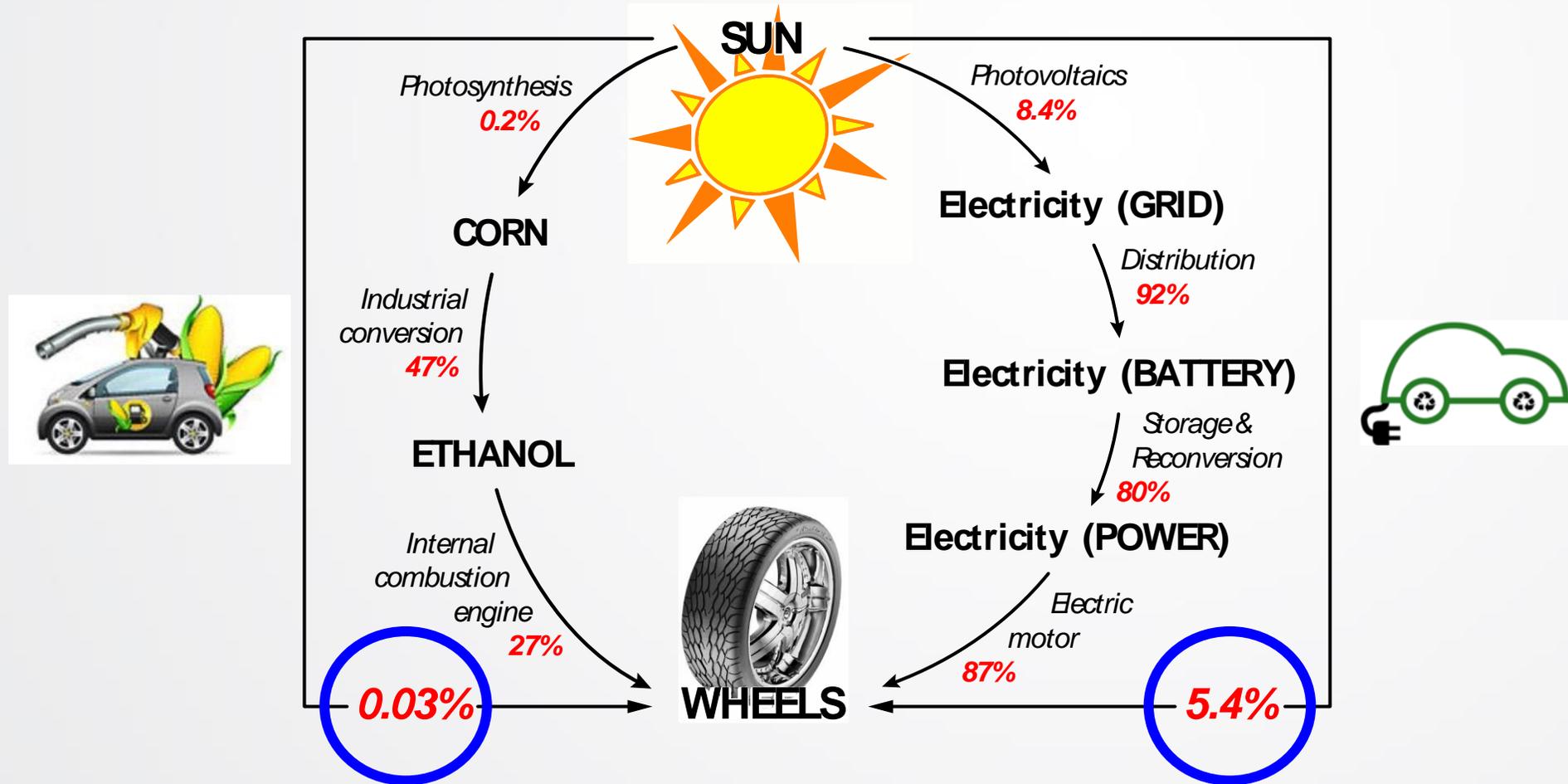
TERZA GENERAZIONE
(FOTOSINTESI ARTIFICIALE)
ANCORA NECESSARIA MOLTA RICERCA

I COLLI DI BOTTIGLIA



- LA TRAPPOLA MATERIALE
- LA TRAPPOLA DEL RITORNO ENERGETICO

LA TRAPPOLA "MATERIALE" – Un esempio



E. Williams et al., *Environ. Sci. Technol.* **2015**, 49, 6394

E' REALISTICO UN PASSAGGIO MASSICCIO ALL'AUTO ELETTRICA? (senza espandere il sistema elettrico in maniera insostenibile ...)



CONSUMO: 0.18 kWh/km

In Italia: **37 milioni di auto**

Chilometraggio medio: **12 000 km/anno**

Se elettriche, consumerebbero **80 TWh**
(considerando tutte auto di lusso!)

In Italia produciamo oltre 120 TWh
solo da rinnovabili



MA LE BATTERIE AL LITIO ...



Nuove auto vendute annualmente: **70 milioni**

Se elettriche: **≈ 700 000 ton**

Attuale produzione mondiale di Litio: **33 000 ton/a**
(USGS, 2015)



NON vi sono limiti nella **disponibilità di fotoni (solari)** per la transizione energetica, **MA** vi sono limiti di **disponibilità materiali (terrestri)** per la produzione di convertitori e accumulatori di energia

IL RITORNO ENERGETICO



CONCETTO: OCCORRE SPENDERE ENERGIA PER AVERE ENERGIA UTILE

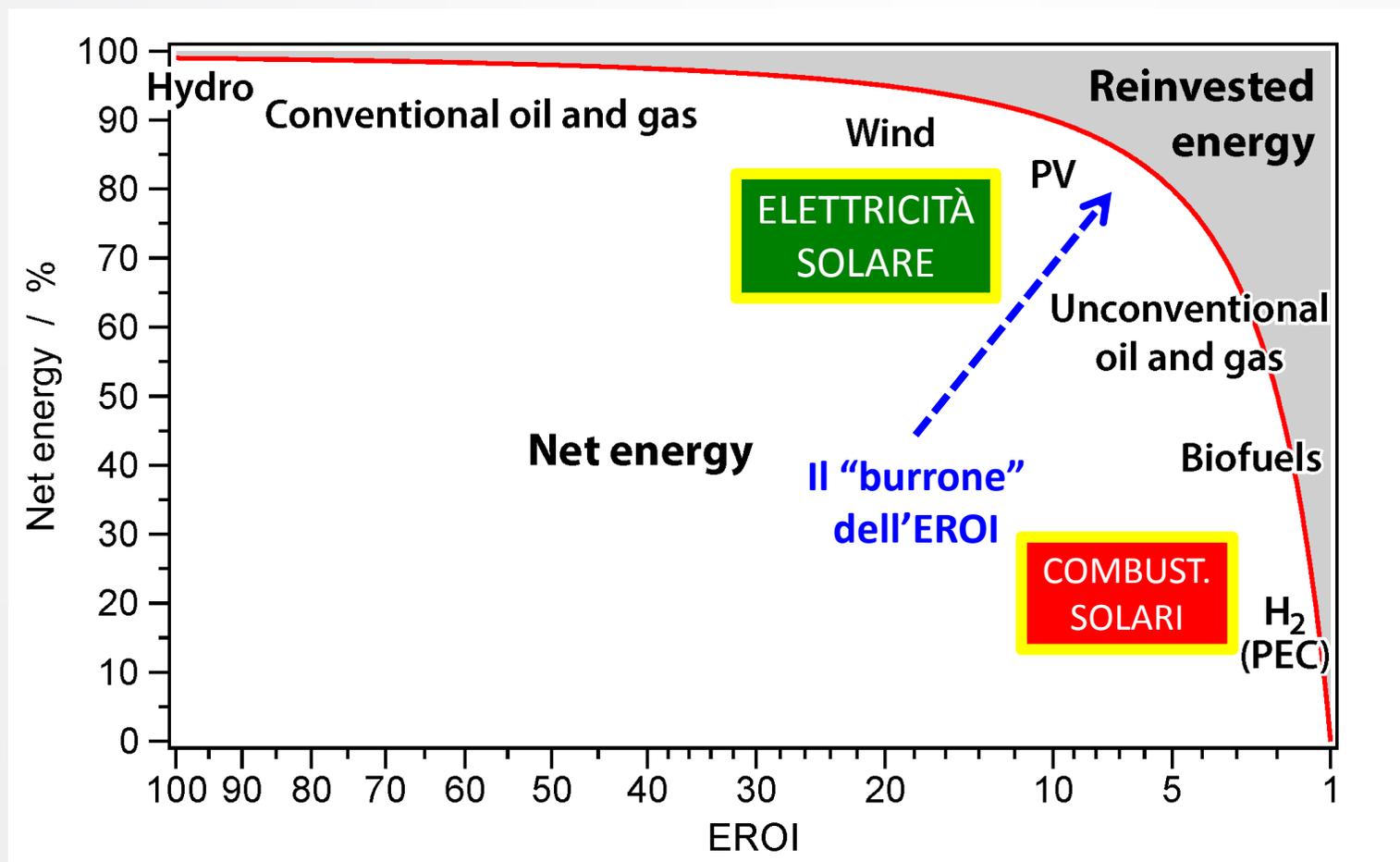


EROI = energia ottenuta/energia investita = E_{out}/E_{in}

Energia netta = $E_{out} - E_{in}$

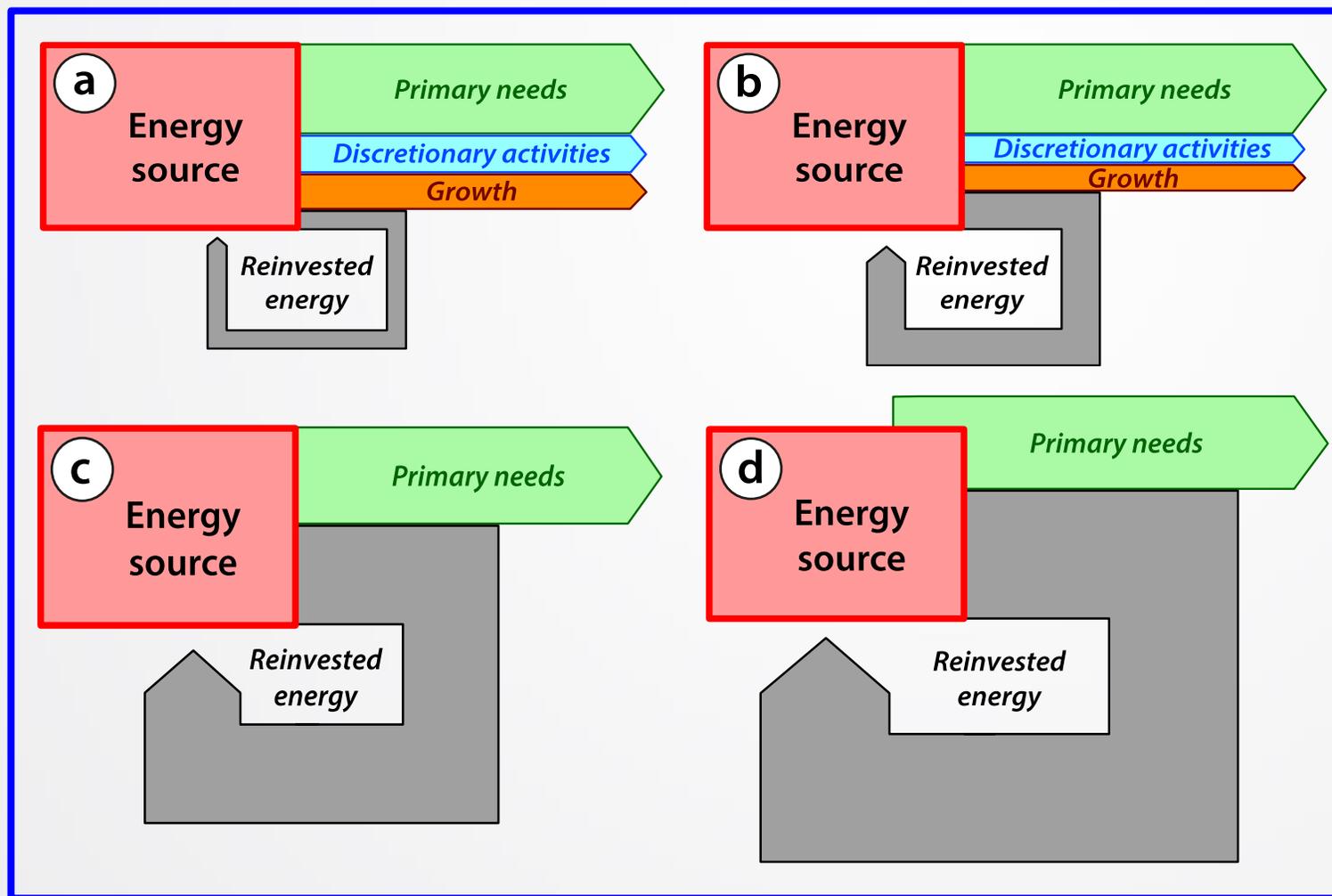
Energia netta = $E_{out}(1-1/EROI)$

EROI vs. ENERGIA NETTA



Chem. Eur. J. **2016**, *22*, 32-57

EROI: IMPLICAZIONI SOCIALI



CONCLUSIONI

- La transizione energetica è **già cominciata**
- Il solare elettrico (FV, eolico) è **fortemente consolidato** e in grande crescita
- I combustibili solari sono a un **livello molto inferiore di sviluppo**. 3a Generazione: NON è sul mercato, e richiede ancora investimenti consistenti in R&D
- Nella “equazione energetica” il **fattore limitante** non sono i fotoni ma gli atomi
- Una sfida immensa: aumentare la disponibilità energetica a livello mondiale, **cambiando al contempo la base energetica primaria** da fossile a rinnovabile
- Questo accadrà nel contesto di **una crisi climatica e di risorse** senza precedenti
- In questo quadro, potrebbero essere messi in evidenza i **limiti fisici dello sviluppo economico**



AGENDA 2030 DI
BOLOGNA