Fare i conti con l'ambiente
Rifiuti acqua energia
Ravenna 2016
18·19·20 maggio

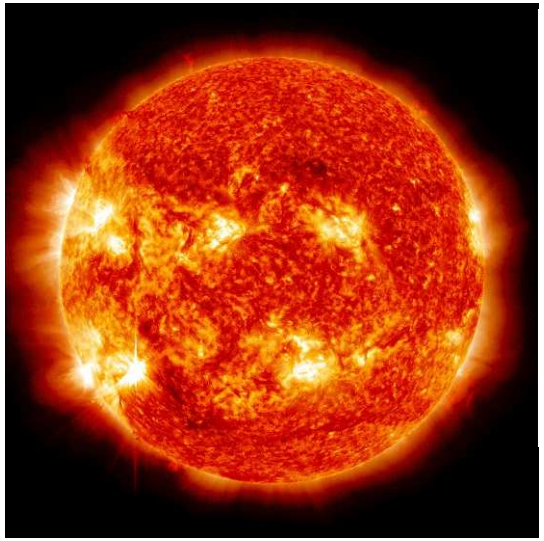
Workshop M – Il Bosco coltivato ad Arte – 2^ edizione, focus biomasse

Utilizzo competitivo dell'energia da biomasse: vantaggi e limiti di una fonte rinnovabile

Paolo Errani
FPM ANFeA,
C.D. Ekoclub Int.l Onlus

www.ravenna2016.it

Quando si dice «trasformazione energetica»



Nucleare

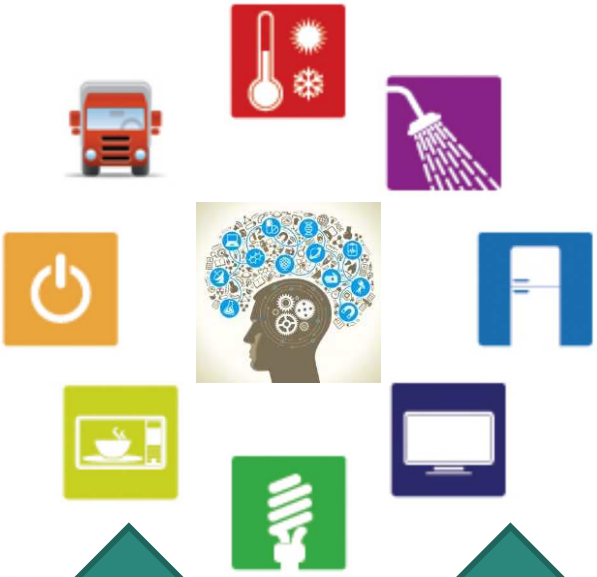
Elettro-magnetismo

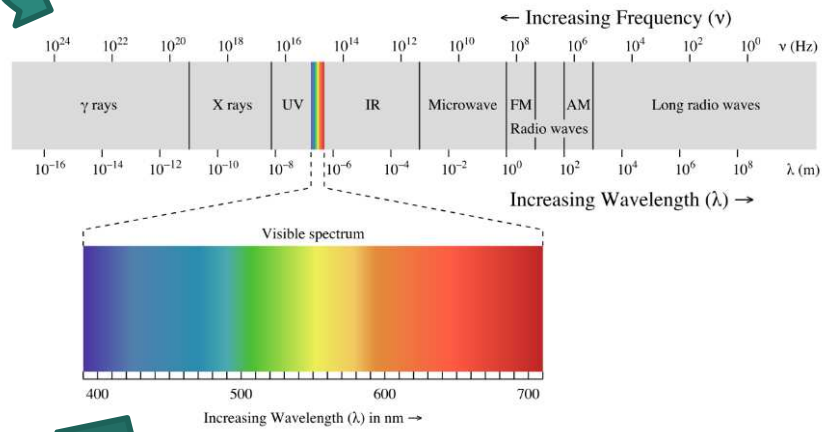
Chimica

Chimica

Elettricità

Calore





Trasformare per sostituire

- Sostituzione

carbone

petrolio

gas

combustione diretta

processamento → ***combustione di bio-carburante***

processamento → ***combustione di bio-carburante***

- Fonti
  - ***c*** sottoprodotti attività agricole e forestali
  - ***c*** rifiuti biodegradabili
  - ***p*** colture energetiche
  - ***p*** batteri geneticamente modificati
  - ***p*** alghe
  - ***g*** sottoprodotti agricoltura ed allevamento
  - ***g*** colture energetiche
  - ***g*** discariche

↓

calore

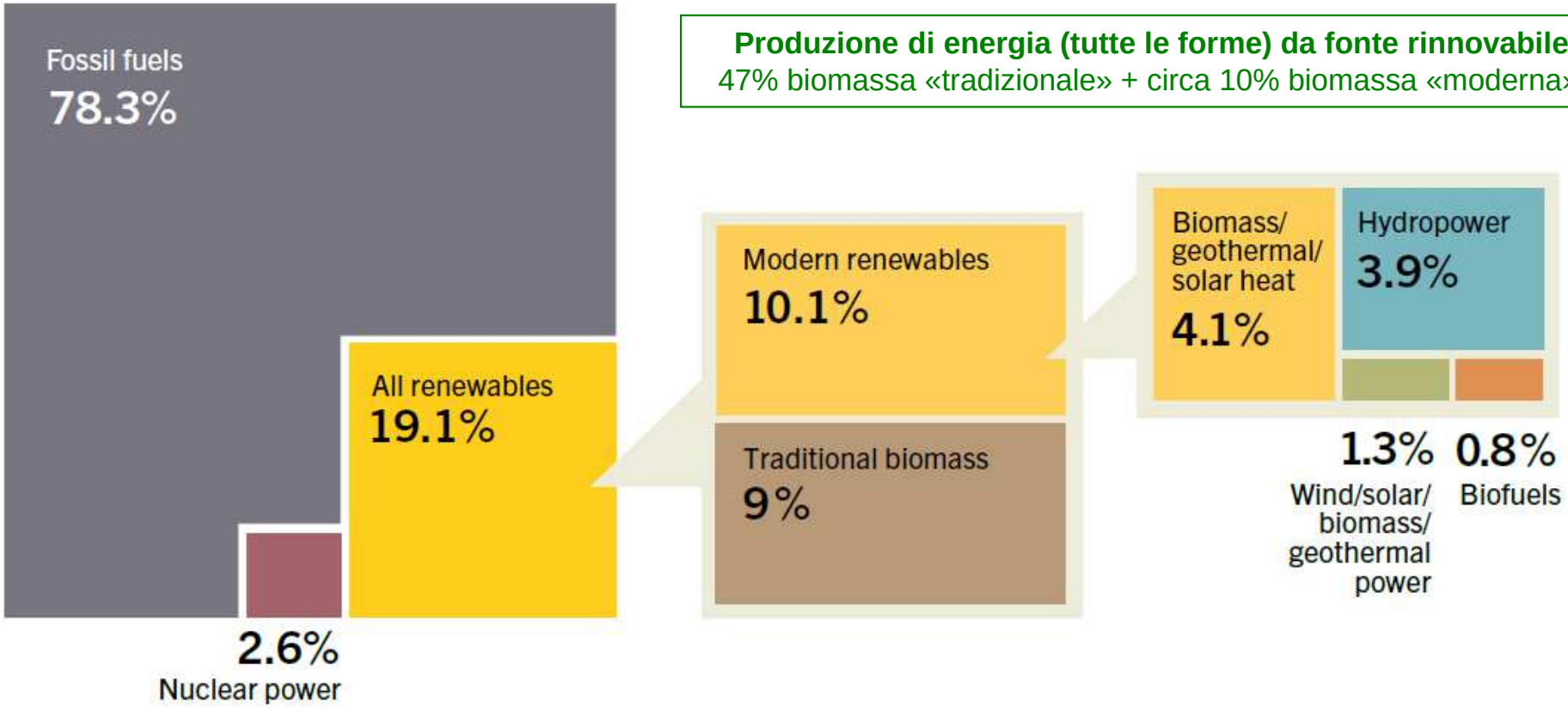
e/o elettricità

Quando si dice «transizione energetica»

Ravenna 18·19·20 maggio 2016

Estimated Renewable Energy Share of Global Final Energy Consumption, 2013

Produzione di energia (tutte le forme) da fonte rinnovabile:
47% biomassa «tradizionale» + circa 10% biomassa «moderna»

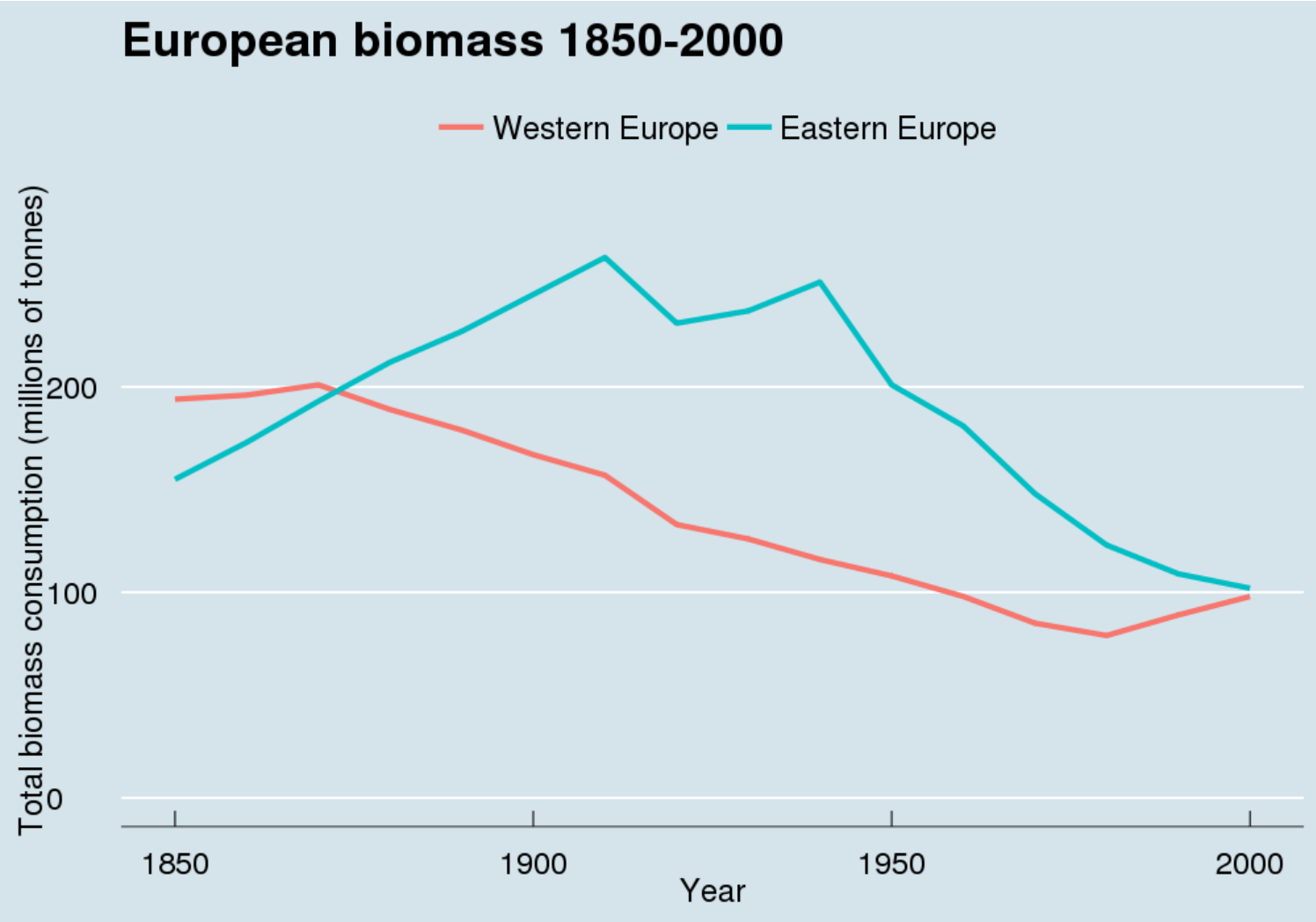


Quando parliamo di «energia rinnovabile», c'è un buon 50% di probabilità che stiamo parlando di legna e sottoprodotti di agricoltura ed allevamento!

www.ravenna2016.it

Fonte: REN21

Quando si dice «transizione energetica»

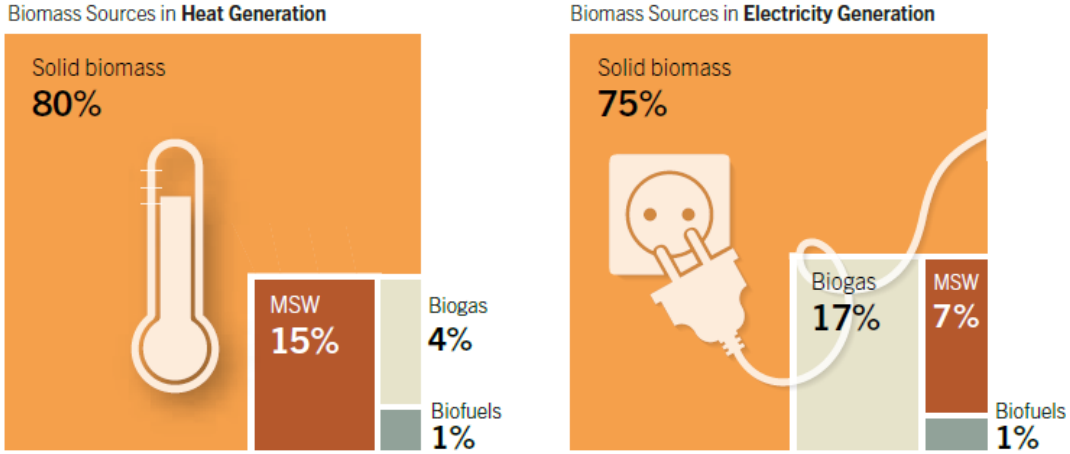


www.ravenna2016.it

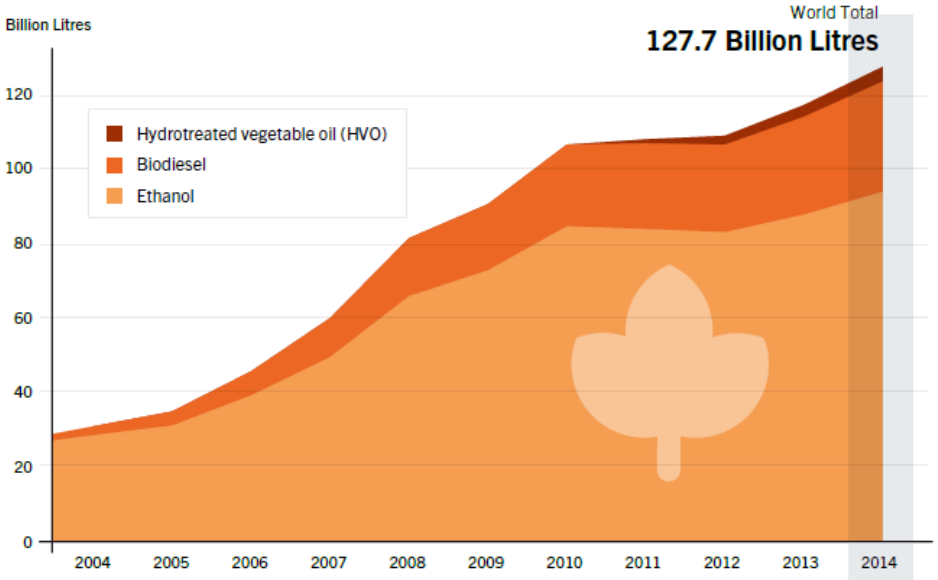
Fonte: Wilson

Il quadro della situazione a livello globale

Shares of Biomass Sources in Global Heat and Electricity Generation, 2014



Ethanol, Biodiesel, and HVO Global Production, 2004–2014



2013-2014 (calore)

296 GWth → 305 GWth (+3%)
[installazioni moderne]
12500 TWh → 12360 TWh (+1%)
[70% da fonte «tradizionale»!]

UE leader mondiale nella produzione e consumo di calore da fonte «moderna» (23%)

2013-2014 (elettricità)

88 GW → 93 GW (+6%)
396 TWh → 433 TWh (+9%)

USA leader mondiale nella produzione di bioenergia (16%)

Germania 2° (13%)

Cina 3° (10%)

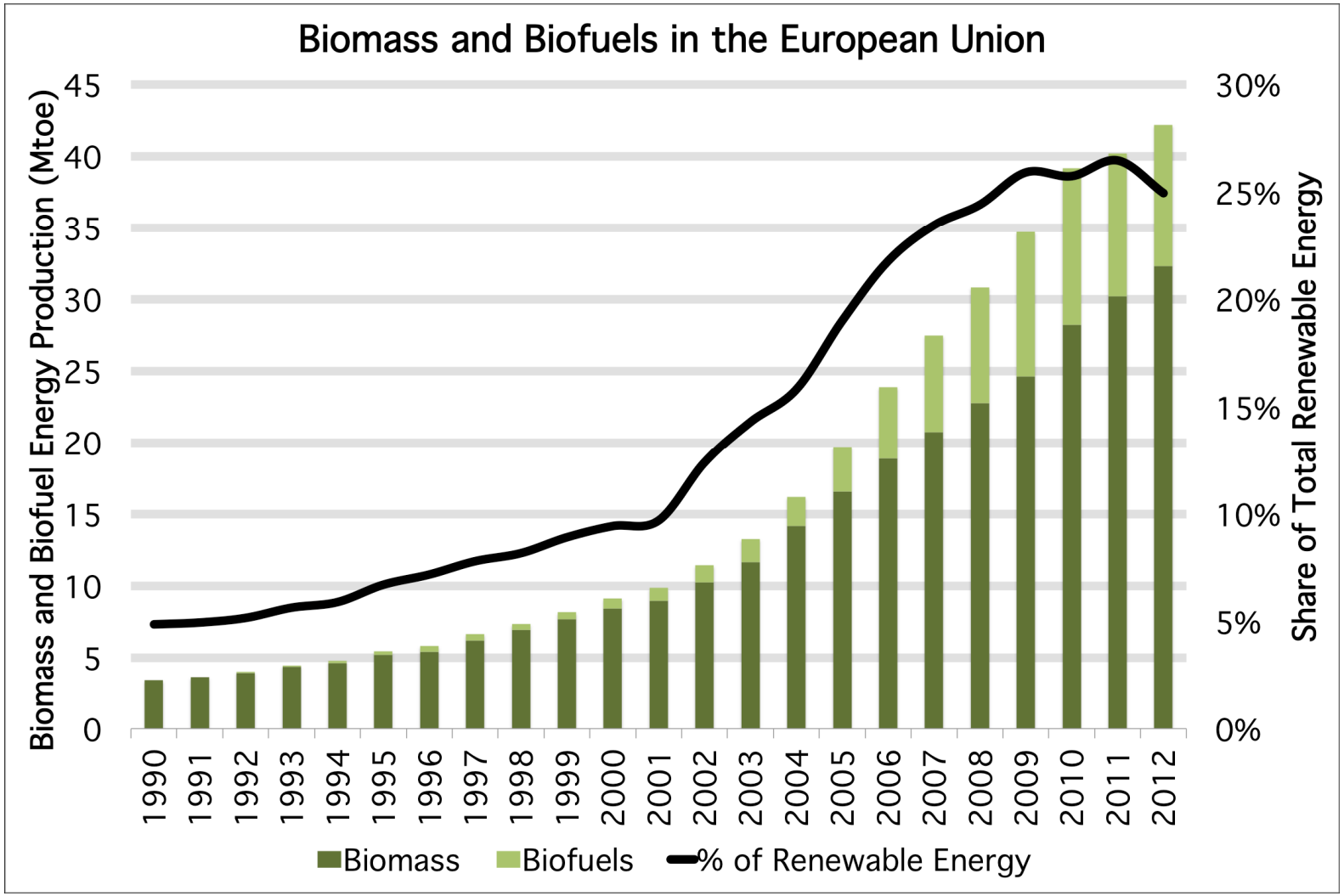
fattore di carico ~ 51-53%

Solid Biomass:
tutte le fonti di bioenergia sia tradizionali sia moderne (legna da ardere, residui della lavorazione della canna da zucchero [bagassa], rifiuti animali, sottoprodotti della lavorazione della carta [black liquor], cippato da potature, paglia, ecc.
MSW:
rifiuti urbani
Biogas:
gas di discarica, da trattamento acque di scarico, da produzione dedicata
Biofuel:
etanolo, biodiesel, olio vegetale idrotrattato [olio di colza, palma, ecc.]

www.ravenna2016.it

Fonte: REN21

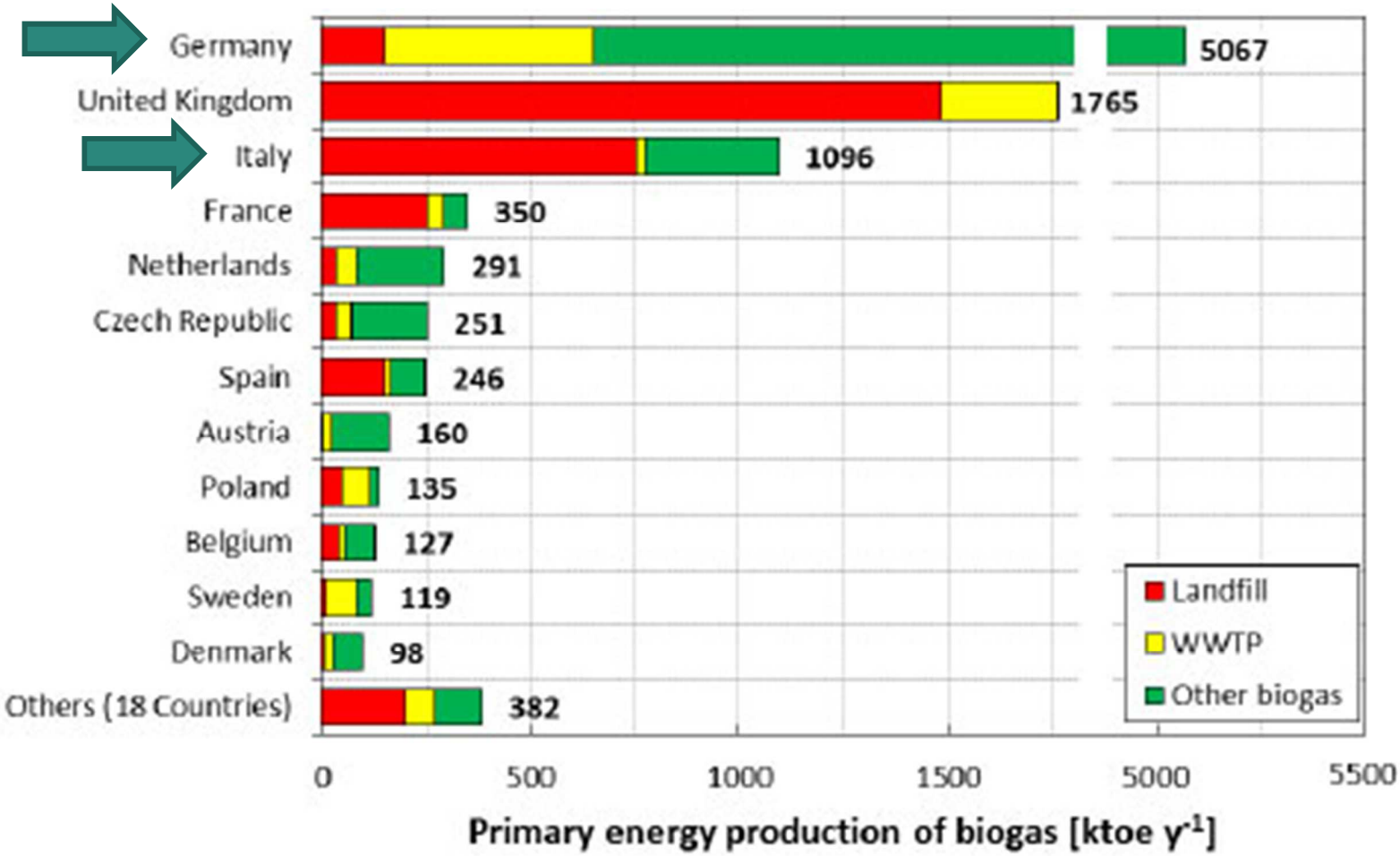
Produzione annua di «bioenergia» in UE e relativo contributo al «mix rinnovabile»



www.ravenna2016.it

Fonte: elaborazione Brektrough Institution su dati BP 2013

Produzione di biogas in Europa (2011)



Landfill = gas di discarica

WWTP = gas da residui trattamento acque di scarico

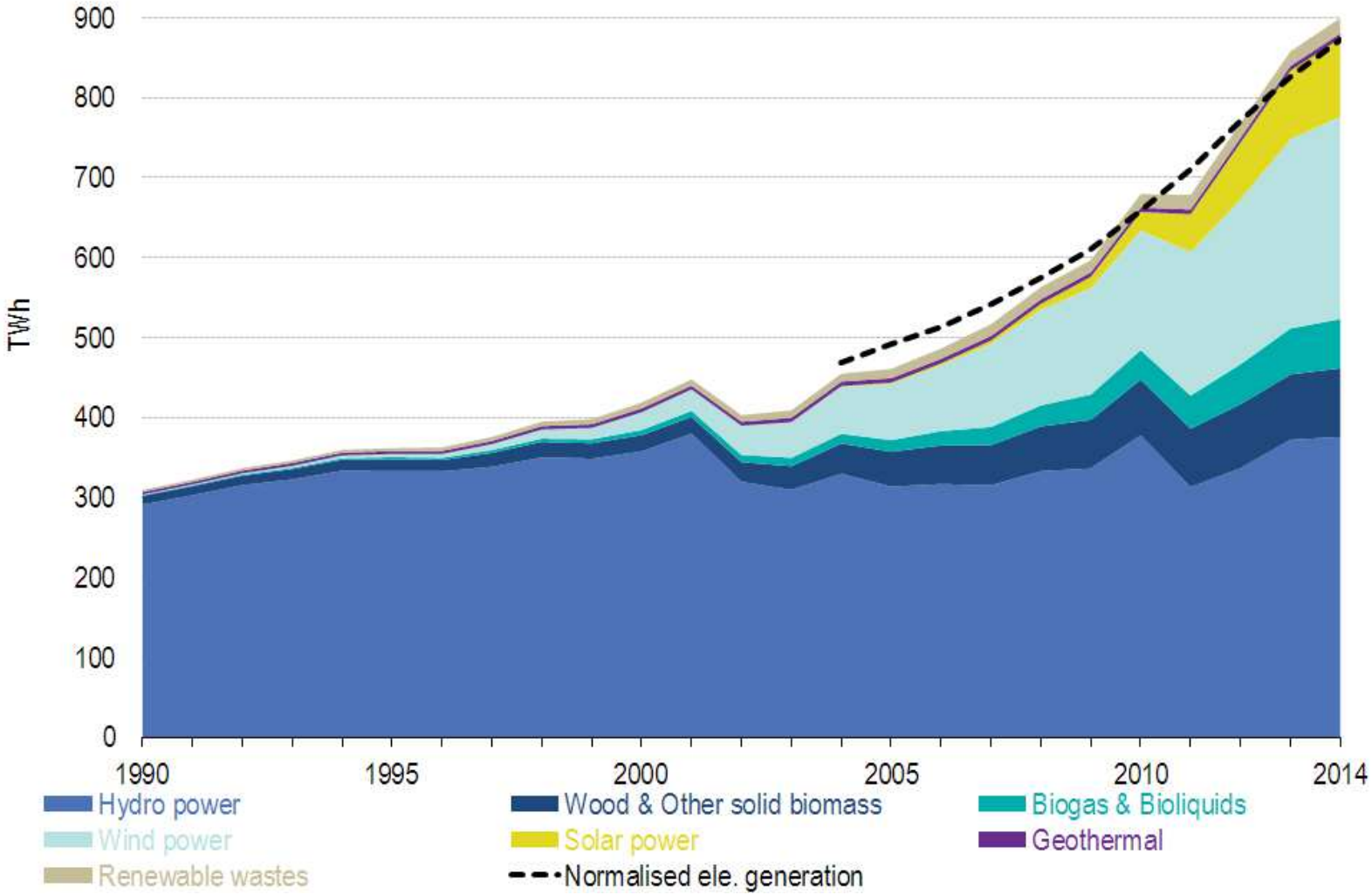
Other = gas da tutte le altre fonti (scarti agricoltura, colture dedicate, liquami allevamenti, residui lavorazione legno, ecc.)

Cfr. consumi energia primaria 2011
Germania: 310 Mtep → potenziale copertura da biogas: 1,6%
Italia: 170 Mtep → potenziale copertura da biogas: 0,6%

www.ravenna2016.it

Fonte: EurObserv'ER 2012 e BP 2015

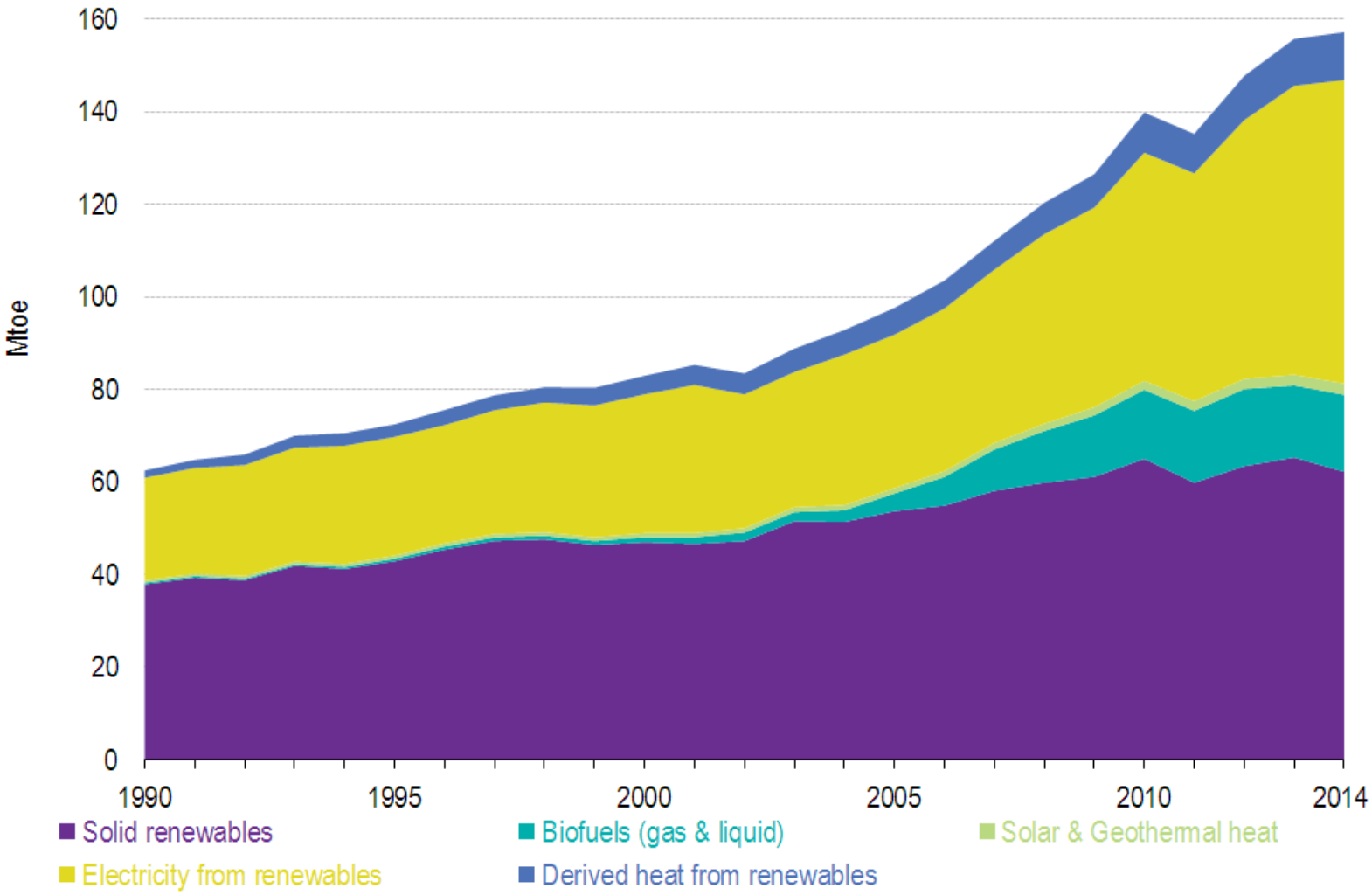
Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in Europa 1990-2014



www.ravenna2016.it

Fonte: Eurostat

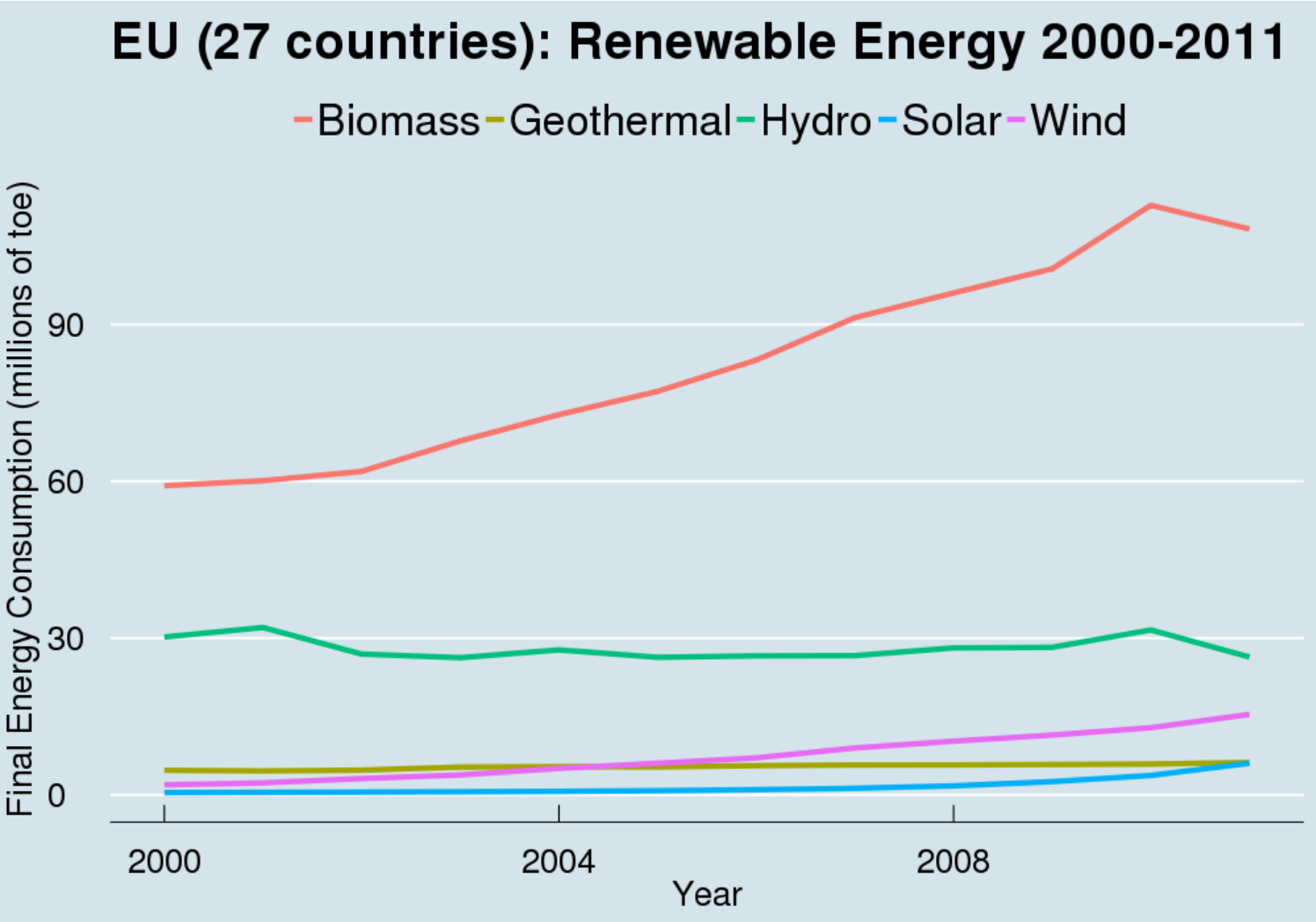
Consumi di energia (tutte le forme) da fonti rinnovabili in Europa 1990-2014



www.ravenna2016.it

Fonte. Eurostat

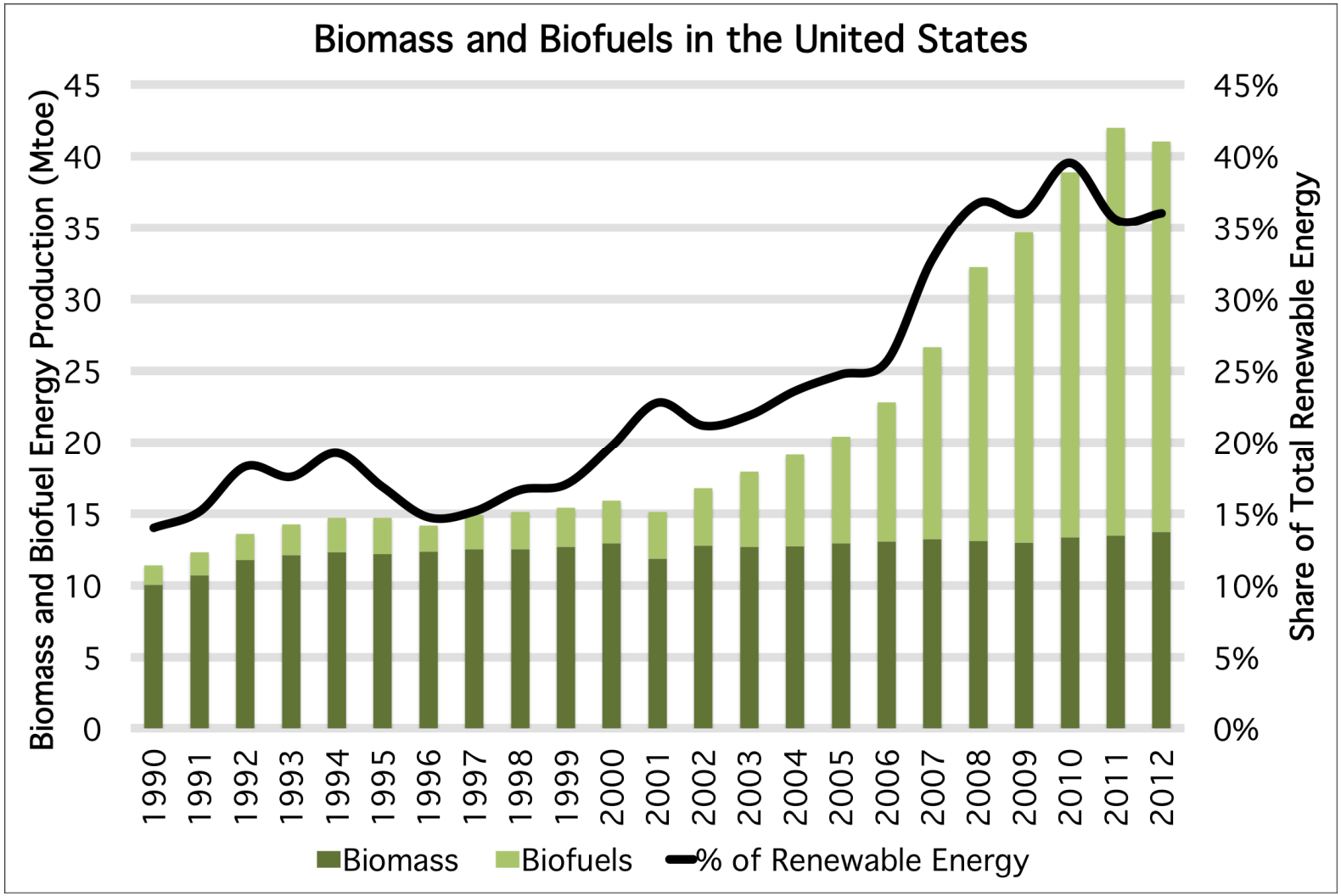
Consumi di energia (tutte le forme) da fonti rinnovabili in Europa 2000-2011



www.ravenna2016.it

Fonte: Wilson

Produzione annua di «bioenergia» in USA e relativo contributo al «mix rinnovabile»



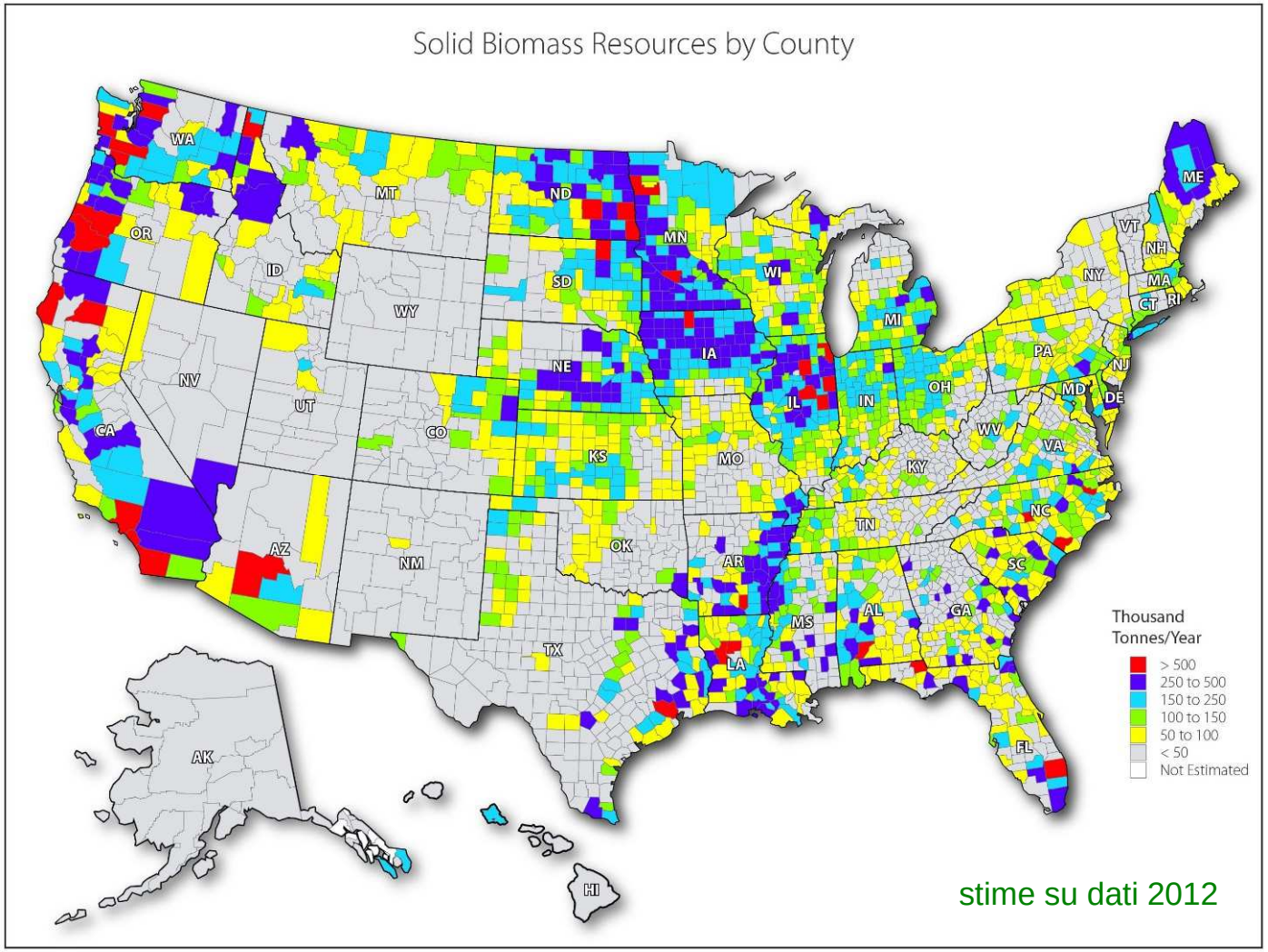
Per quanto riguarda i consumi finali in USA, nel 2013 le bioenergie hanno fornito una copertura pari a circa il 50%, superando ampiamente qualsiasi altra fonte rinnovabile (al secondo posto stabile l'idroelettrico, che doppia l'eolico al terzo posto, molto distanti solare e geotermico)

Fonte: grafico – elaborazione Breakthrough Institution su dati BP 2013 altro - Wilson

«Bioenergia potenziale» in USA

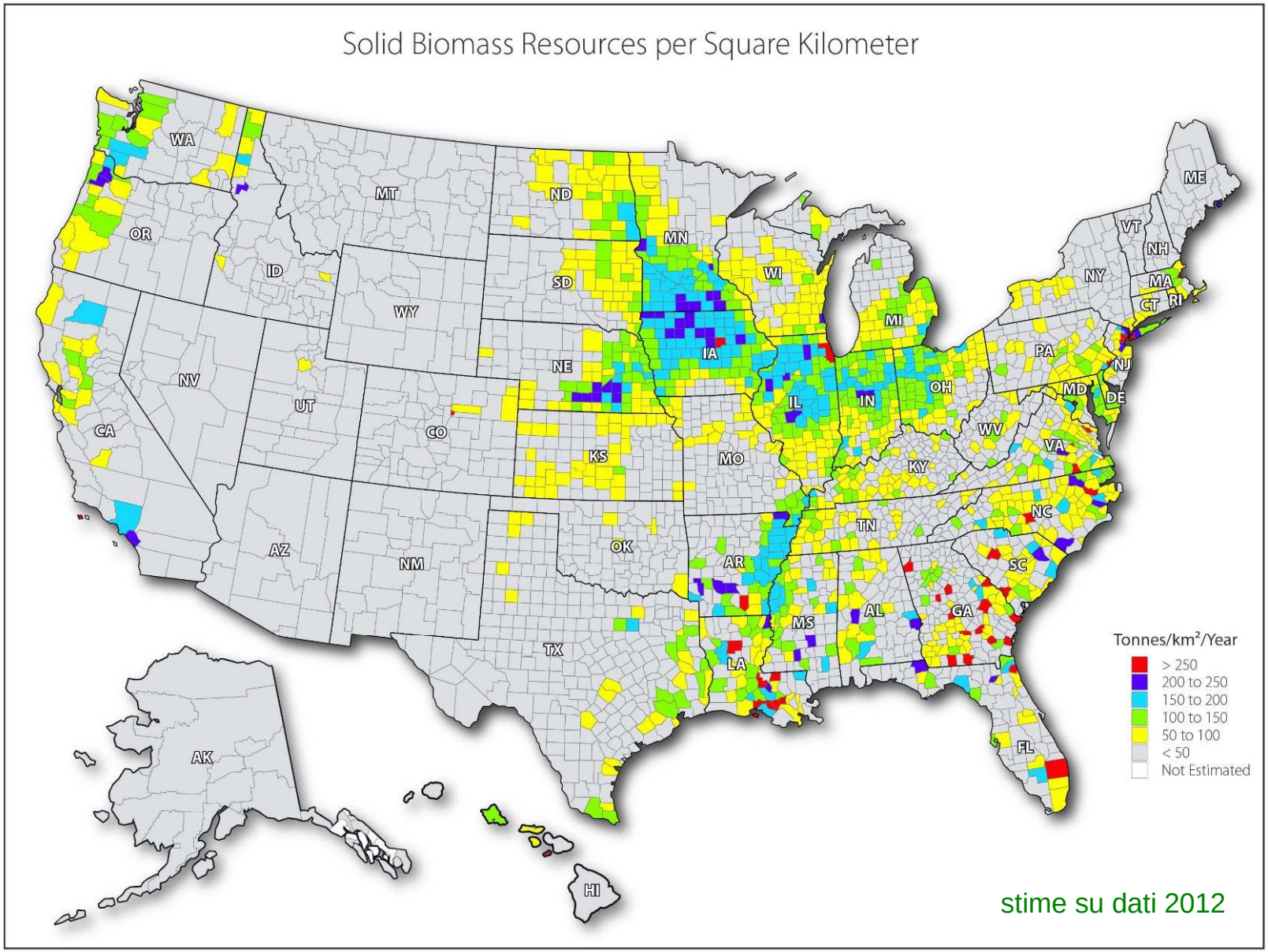
Solid Biomass:

- ***crop residues***
  sottoprodotti agricoltura
  (mais, grano, soia, sorgo, cotone, canna da zucchero, orzo, riso, avena, segale, colza, arachidi, fagioli, semi di girasole, semi di lino, ecc.)
  35% utilizzabile
- ***forest residues***
  sottoprodotti de/forestazione
  (residui da disboscamento, da taglio e lavorazione del legname in fase pre-commerciale)
  50-65% utilizzabile
- ***primary mill residues***
  sottoprodotti lavorazione industriale
  residui già in gran parte utilizzati
- ***secondary mill residues***
  sottoprodotti lavorazione artigianale del legno
  (incluso recupero materiali imballaggio, ecc.)
  residui già in gran parte utilizzati
- ***urban wood waste***
  rifiuti di legno
  (trucioli, segatura, potature, materiale di risulta vario, ecc.)
  già in gran parte utilizzati



Fonte: NREL

«Bioenergia potenziale» in USA



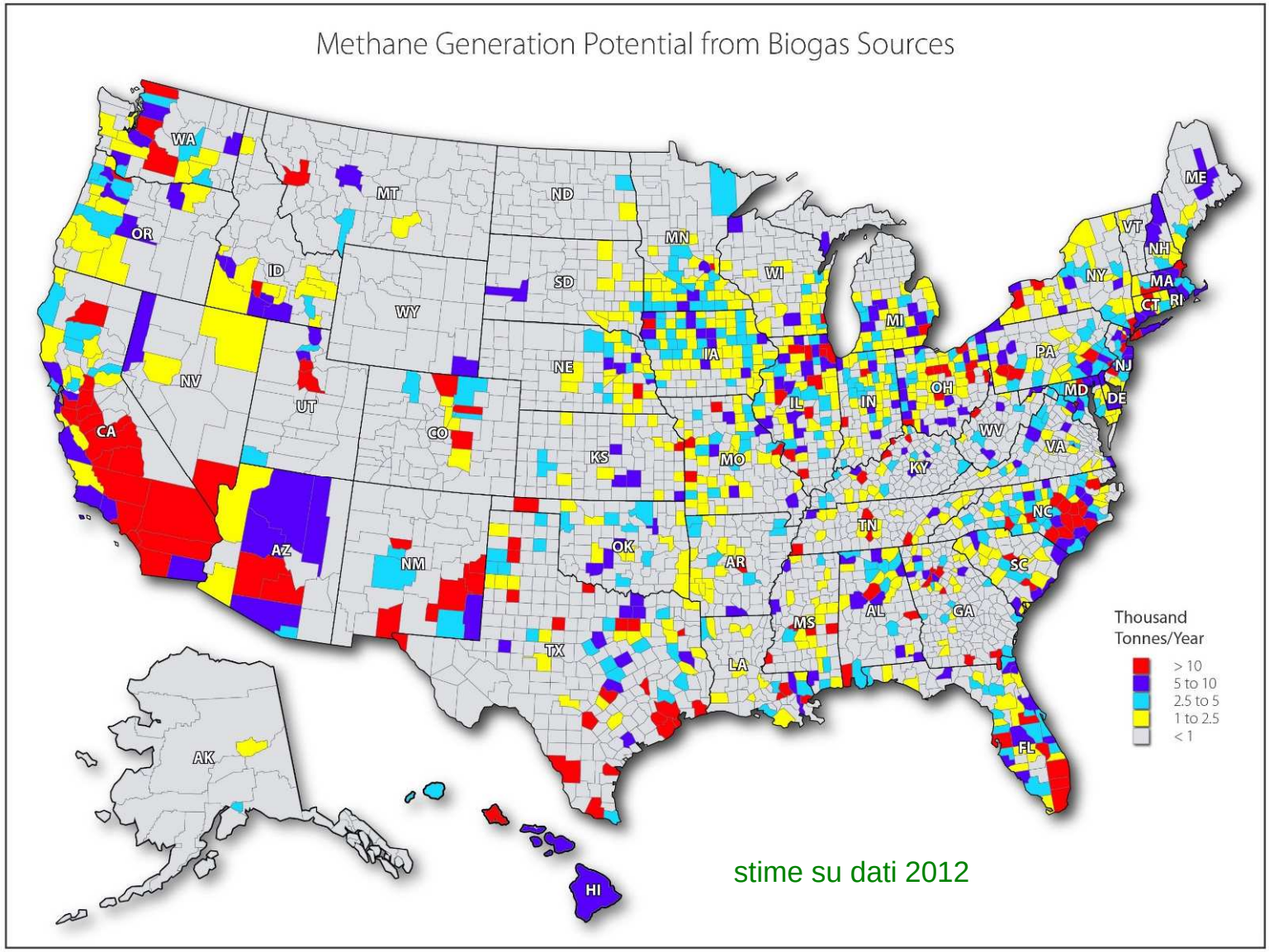
Nel 2013, 140000 km² erano già impiegati per la produzione di etanolo: l'1,1% del fabbisogno energetico del Paese dall'1,4% della sua superficie

Fonte: grafico – NREL
altro - Wilson

«Bioenergia potenziale» in USA

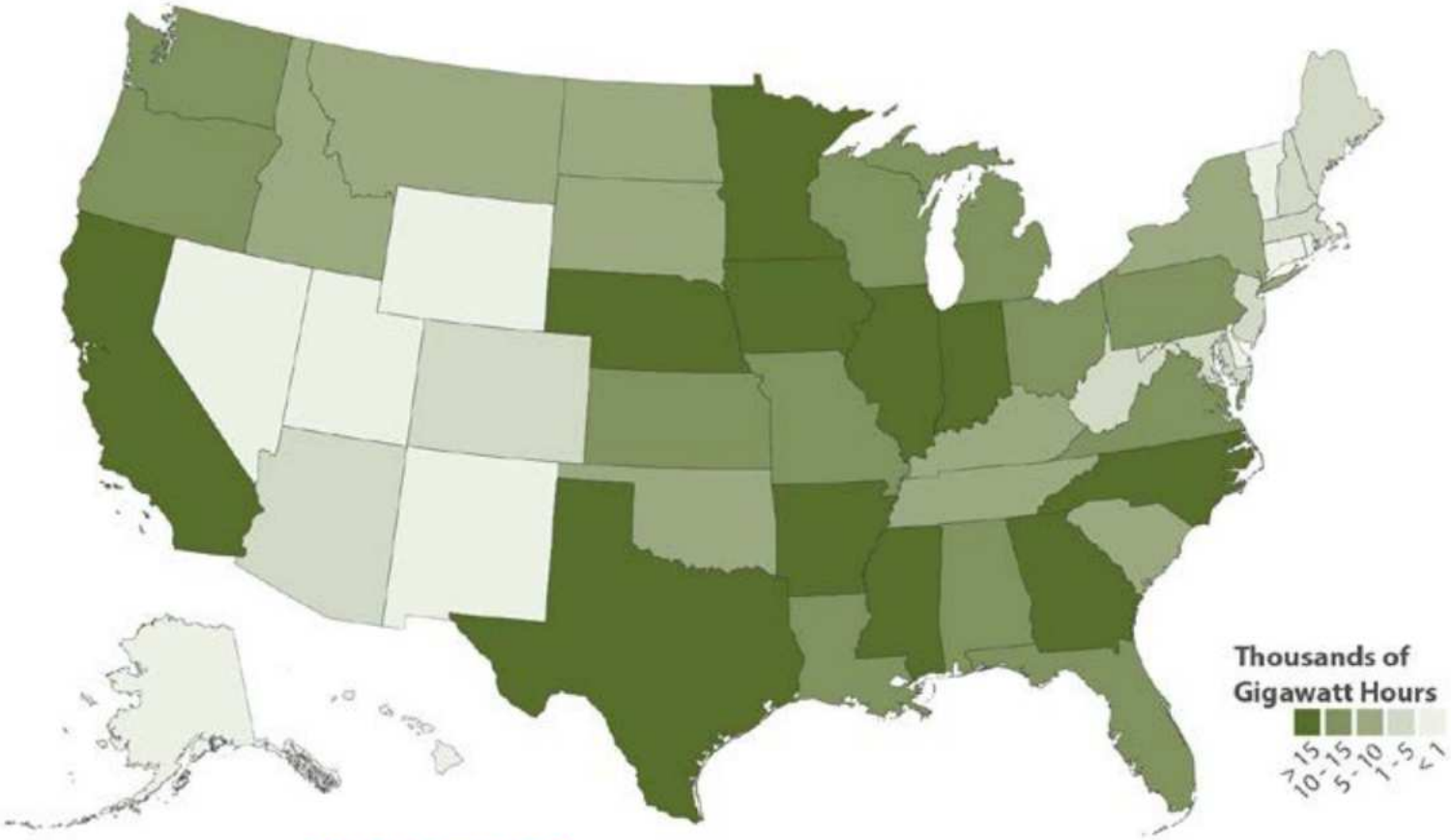
Biogas sources:

- ***landfills***
  metano da discariche
- ***animal manure***
  metano da rifiuti animali
  (escrementi solidi)
- ***wastewater treatment***
  metano da residui del trattamento acque di scarico
  (escrementi solidi)
- ***organic waste***
  metano da rifiuti organici
  (settore agricolo, industriale, commerciale, ecc.)



Fonte: grafico – NREL
altro - Wilson

«Bioenergia potenziale» in USA



488 TWh

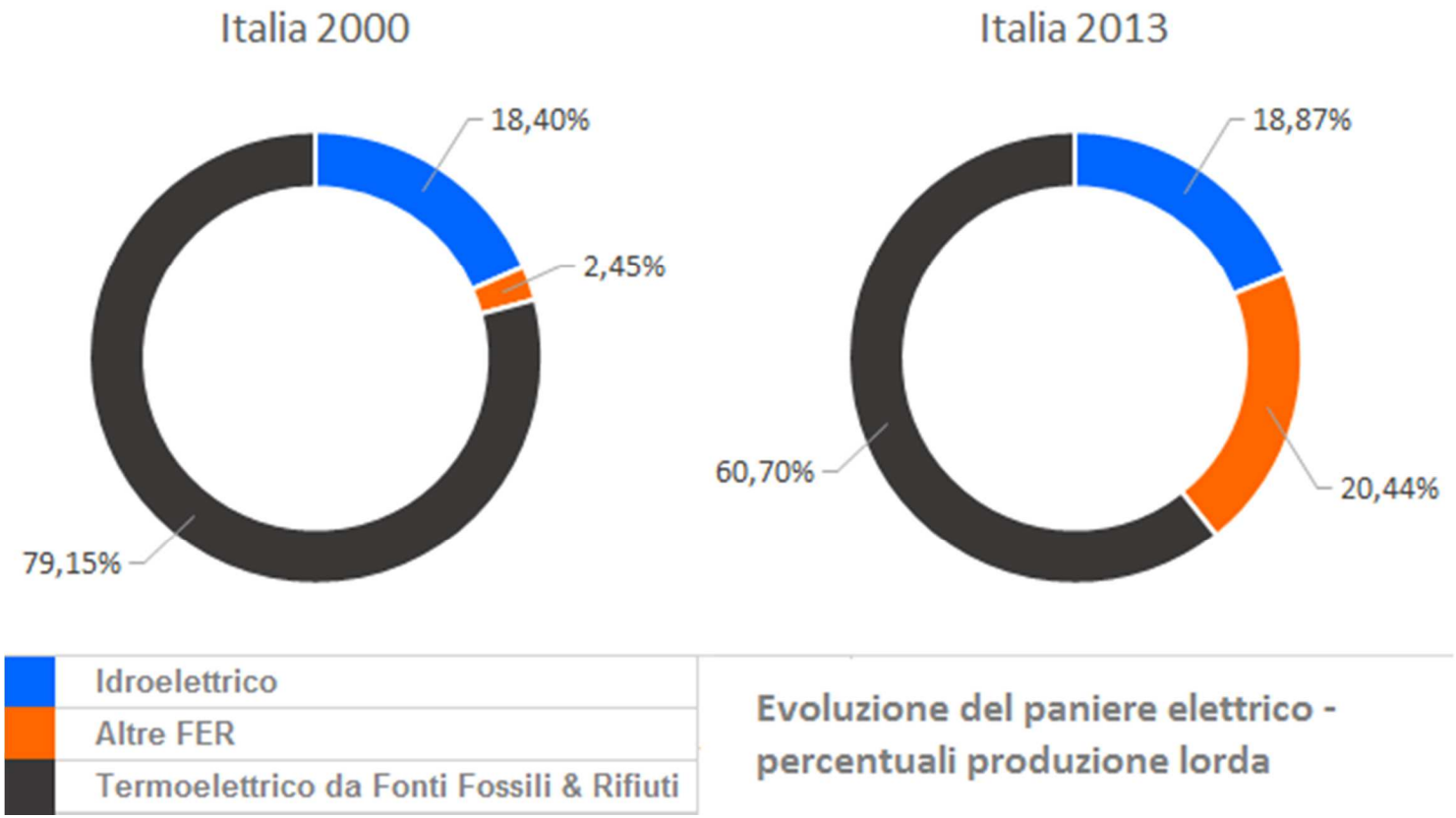
Total estimated technical potential for biopower in the United States

Energia elettrica che potrebbe essere prodotta ogni anno utilizzando in via esclusiva tutta la materia prima disponibile
(i.e. NO biocarburanti)

Cfr. CIL Italia 2015: 326 TWh

Fonte: NREL, GSE

E l'Italia?



copertura CIL* elettricità:

2014 **37,5%**

2015 **32,8%**

*Consumo Interno Lordo = Produzione lorda + Saldo estero - Produzione da pompaggi

Produzione interna lorda – elettricità da FER:

2015

Idraulica 41%

Eolica 14%

Solare 21%

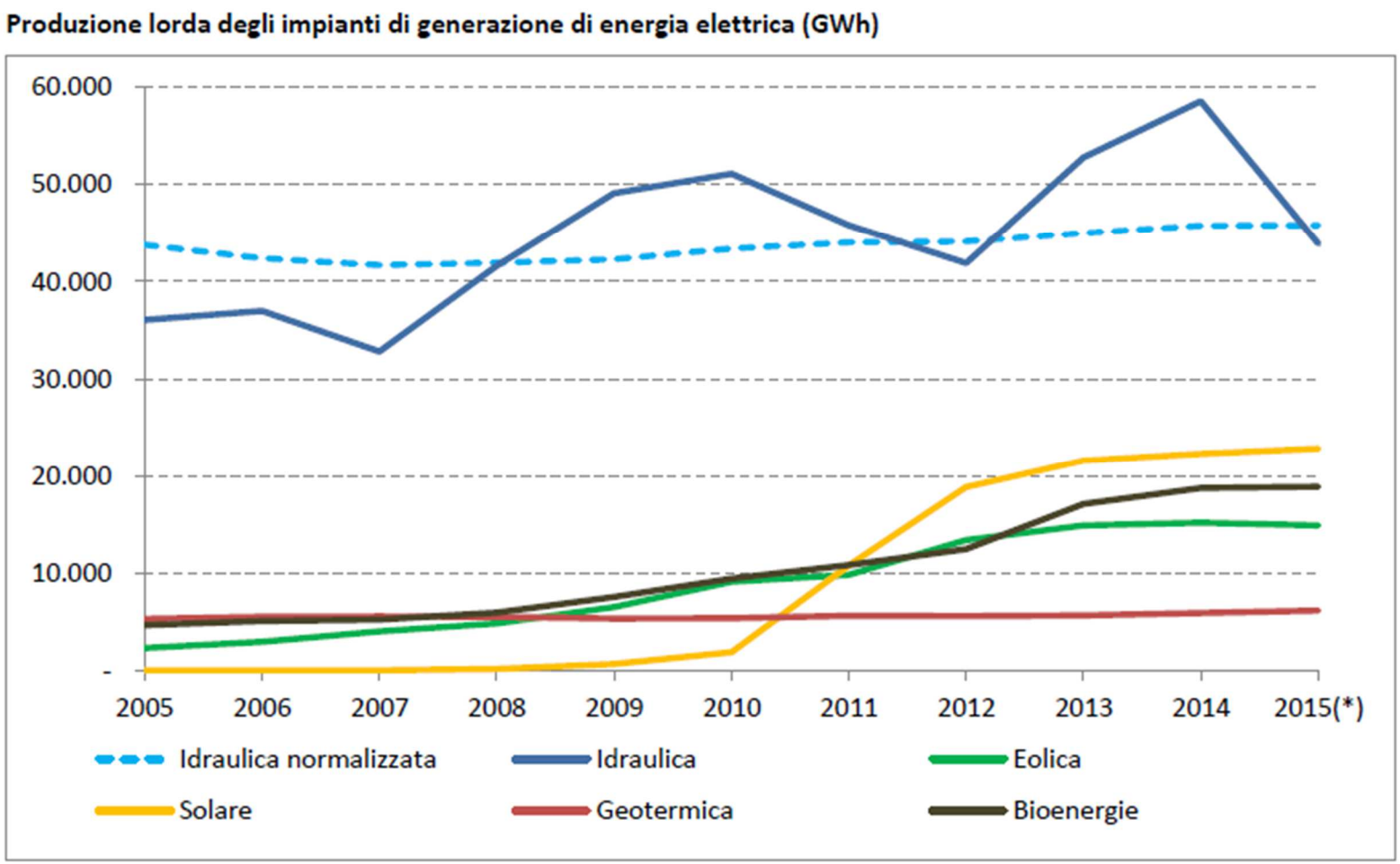
Geotermica 6%

**Bioenergie 18%

**Bioenergie:
biomasse solide
(compresa la frazione biodegradabile dei rifiuti),
biogas,
bioliquidi

Fonte: elaborazione CNeR su dati Terna 2015 e GSE 2016

E l'Italia?



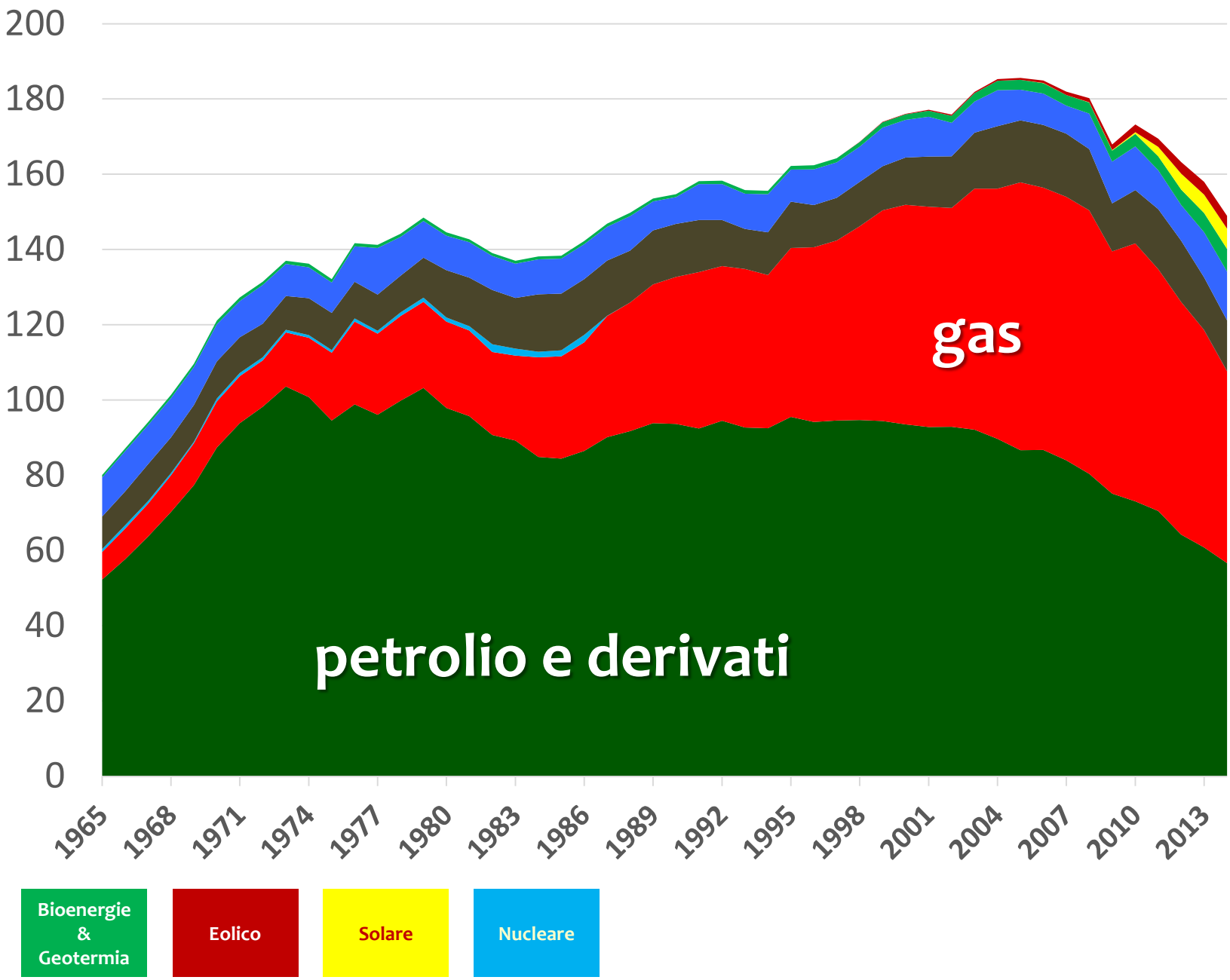
* Stime preliminari

Tipologia di biomasse utilizzate	Potenza installata (MWe)
Biomasse solide	650
Bioliquidi	1042
Biogas da deiezioni animali e attività agricole	945
Biogas da rifiuti e fanghi	442
Rifiuti	954
Totale	**4033**

www.ravenna2016.it

Fonte: GSE (2016) e Terna (2014)

Italia - Consumi di energia primaria per fonte [Mtep]



copertura consumi energia primaria:

1965
FER + Nucleare
15%
(idroelettrico 13%)

2014
FER
19%
(idroelettrico 9%)

www.ravenna2016.it

Fonte: elaborazione CNeR su dati BP 2015

Rinnovabile = Ecologico?

Ravenna 2016
18·19·20 maggio

Sì

a patto di fare i conti con la dura realtà

dati
DOE, MIT, MacKay

tipologia	densità di potenza media erogata su larga scala	unità di misura
eolico onshore	1 - 2,5	W/m^2
eolico offshore	1 - 3	W/m^2
mereomotrice da bacino	3	W/m^2
mereomotrice da flusso	6	W/m^2
fotovoltaico	5 - 15	W/m^2
solare termodinamico a concentrazione	20	W/m^2
termoelettrico da biomasse	0,33 - 1,2	W/m^2
idroelettrico da bacino	0,1 - 11	W/m^2
geotermoelettrico	0,017 - 7	W/m^2
termoelettrico nucleare Gen III	150 - 1000	W/m^2
termoelettrico nucleare Gen IV	1100	W/m^2
termoelettrico da carbone fossile	50 - 125	W/m^2
termoelettrico con CCS	80	W/m^2
termoelettrico da gas fossile	100	W/m^2

Densità di potenza media disponibile (24/7) per metro quadrato di superficie occupata dagli impianti di produzione dell'energia elettrica.

Alcuni chiamano questa grandezza derivata "densità di potenza areale".

Facciamo i conti della serva

Esempi concreti:

London Array (UK)

il parco eolico offshore più grande al Mondo in funzione dal 2013 nel mare di fronte alla foce del Tamigi: capacità 630 MW; area occupata 100 km²; fattore di capacità atteso 39%.

Da cui: 39% (630 MW / 100 km²) ≈ 2,5 W/m².

E questo con una locazione dell'impianto ottimale per quanto riguarda la ventosità.

Shams 1 (UAE)

il parco CSP si estende su 2,5 km² e genera in media 210 GWh all'anno di elettricità, da cui circa 9,6 W/m².

Agua Caliente (AZ, Usa)

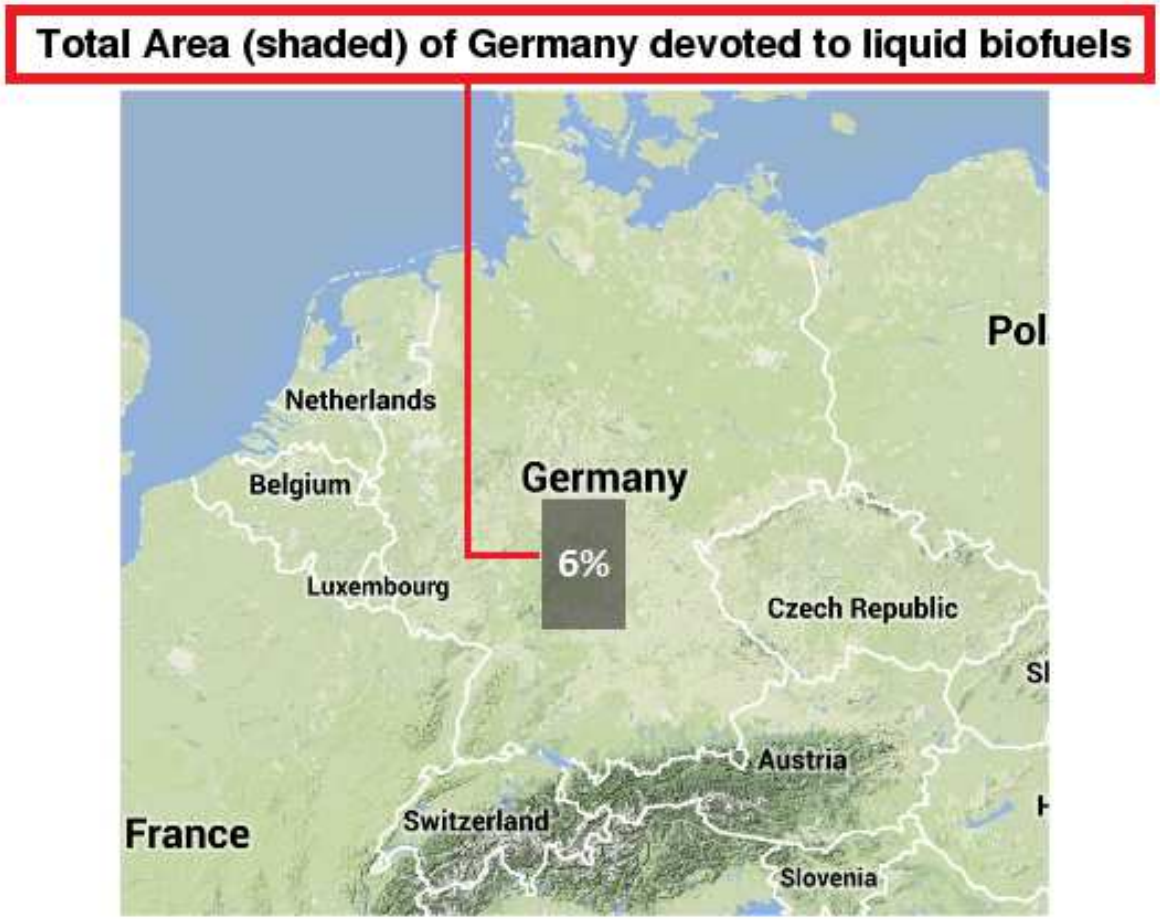
nella top 10 dei parchi fotovoltaici più grandi al mondo si estende su circa 971 ha e produce in media circa 629 GWh all'anno di elettricità. Da cui appena 7,4 W/m².

Solar Star I & II (CA, Usa)

è ancora più grande estendendosi per 13 km².

La sua costruzione ha comportato la realizzazione di circa 85 miglia di strade di servizio. Durante le prime fasi operative tra il 2014 ed il 2015 ha dimostrato di non riuscire a superare gli 11,8 W/m².

Quando si dice che le rinnovabili sono «disseminate»



2 Mha dedicati a colture per la produzione di biocarburanti

17% della superficie coltivabile

6% della superficie totale

2% dei consumi energetici totali

Fonte: Wilson

Facciamo i conti del fisico

Biocombustibile	Caratteristiche merceologiche			Contenuto energetico
	Massa volumica (kg/m^3)	Umidità (%)	Dimensioni standard	PCI (kWh/kg)
Legna da ardere	600 - 800	30 - 20	L 50 -100 cm D 10-15 cm	4
Cippato di legno	250 - 300	35 - 30	L 1,5 - 6,5 cm S 0,3 - 0,5 cm	3,4
Pellet	630 - 650	10 - 8	D 6 - 8 mm L 5 - 40 mm	4,6
Brichette	100 - 120	12 - 15	L 30 cm D 7 - 8 cm	4,3

Il potere calorifico netto delle biomasse solide, e quindi la quantità di calore che è possibile sviluppare nel processo di combustione, varia tra 2.000 - 4.000 kcal/kg (2,3 - 4,6 kWh/kg) in relazione al tipo di materiale e al contenuto di umidità.

L'efficienza di conversione dei moderni sistemi di combustione determina l'effettiva capacità di utilizzare al meglio il contenuto energetico della biomassa e questi sistemi possono essere classificati in:

- impianti di piccole e medie dimensioni per la produzione di energia termica, eventualmente in co-generazione (generalmente da pochi kW_{th} fino a 5 MW_{th});
- impianti di grandi dimensioni per la produzione di energia elettrica, eventualmente in co-generazione (dai 2 MW_e in su).

Facciamo i conti del fisico

Fitomassa arborea

Resa:
5-20 t/ha
(valore medio più comune **10 t/ha**)

Potere calorifico netto:
19 GJ/t (14,4 GJ/t)
(valore medio più comune con recupero energetico del 95%)

Da cui:

190 GJ/ha (144 GJ/ha)

ovvero

0,6 W/m² (0,44 W/m²)
(densità di potenza areale disponibile 24/7)

Centrale elettrica

Fattore di carico:
70%
(valore medio «competitivo» con termoelettrico da combustibili fossili)

Efficienza di conversione:
35%
(valore medio «competitivo» con termoelettrico da combustibili fossili)

Potenza installata:
1 GW

Da cui:

[(70% * 1 GW) / 35%] / 0,6 W/m² ≈ 333000 ha

ovvero

un quadrato di foresta di lato ~58 km (~67 km)

N.B. in rosso dati per legna da ardere (Italia)

Facciamo i conti dell'ingegnere

Caso di studio 1 (sostituzione gas):

Portata rifiuti in ingresso	89,8	ton/gg	**liquami / escrementi solidi**	**provenienza: 10500 capi di bestiame**
Biogas prodotto	1640	m³/gg		
Portata biomasse in ingresso	6,8	ton/gg	**mais insilato**	**provenienza: Italia Centrale**
Biogas prodotto	1250	m³/gg		
Stoccaggio biomassa		333	gg/anno	
Potenza termodinamica fornita dal vapore		392	kW_e	
Potenza elettrica in uscita		361	kW_e	al netto dei consumi interni
Fattore di capacità		54,65%		complessivo
Produzione lorda di energia elettrica		1,88	GWh/anno	contributo mais: 43%
Disponibilità areica di mais		60	ton/ha/anno	
Ampiezza bacino di approvvigionamento		38	ha	

Da cui:

0,28 W/m²

(densità di potenza areale calcolata solo per l'utilizzo della biomassa coltivata ad hoc)

Facciamo i conti dell'ingegnere

Caso di studio 2 (sostituzione carbone):

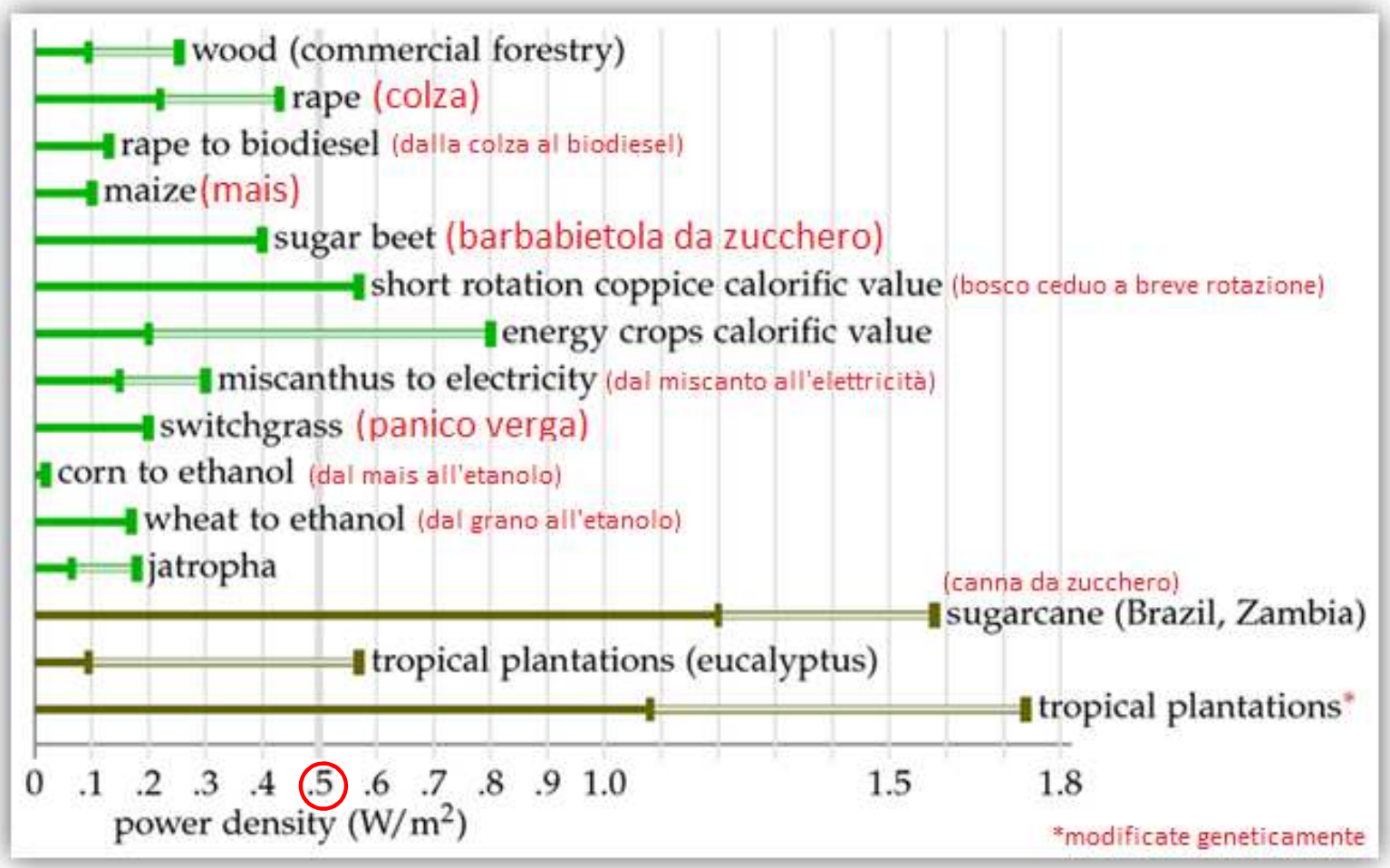
Portata biomasse in ingresso	19,73	ton/h	**paglia**	**provenienza: Italia Meridionale (SE)**
Potere Calorifico Inferiore	3487	kcal/kg		
Potenza introdotta come biomassa	80	MW_{th}		
Perdite	5,995	MW_{th}		
Calore utile ceduto al vapore	74,005	MW_{th}		
Rendimento termico caldaia		92,51%		
Potenza termodinamica fornita dal vapore		25,55	MW_e	
Rendimento totale meccanico + elettrico		95,82%		
Rendimento elettrico lordo caldaia + turbina		30,60%		
Potenza elettrica in uscita		24,482	MW_e	
Disponibilità areica di paglie		1,22	ton/ha/anno	biomassa secca
Disponibilità areica di paglie		1,44	ton/ha/anno	biomassa tal quale alla raccolta (15% umidità)
Ampiezza bacino di approvvigionamento		110000	ha	valore conservativo per un **prelievo sostenibile** (range di studio 2500-5000 km²)

Da cui:

0,012-0,021 W/m²

(range fattori di carico: 60%-100%)

Su che cosa conviene puntare?



Densità di potenza areale «estraibile» da tipi di biomasse diversi e per utilizzi energetici diverse
(le barre vuote indicano *range* legati alle condizioni di irrigazione e fertilizzazione).

Valore medio di riferimento per l'Europa: **~0,5 W/m²**

Fonte: MacKay

Miscanthus in Britannia

Resa:
14 ton/ha/anno
(media pesata)

Potere calorifico netto:
17 MJ/kg
(1 kWh = 3,6 MJ)

→ 0,75 W/m²

Convertendo in elettricità

→ 0,24 W/m²

(con rendimento elettrico lordo caldaia + turbina del 31 %)

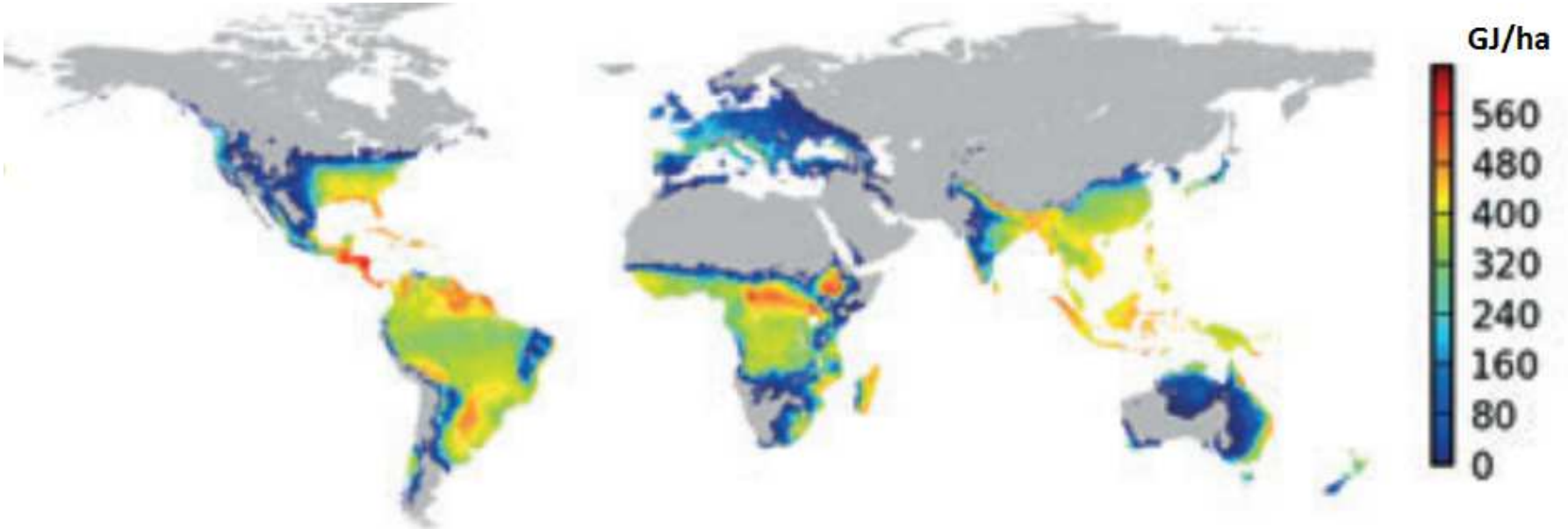
Cfr. paglia Italia S-E: ~0,02 W/m²

…tra gli aspetti non trascurabili del miscanto…

www.ravenna2016.it

Miscanthus

«Bioenergia potenziale» distribuzione globale



A. senza restrizioni: ***densità di potenza areale netta*** *(disponibile 24/7)* valore medio pesato

0,8 W/m²

[1,58-0,16 W/m²]

B. con restrizioni (uso del suolo, costi, emissioni): ***densità di potenza areale netta*** *(disponibile 24/7)* valore medio pesato

0,04 W/m²

[0,11-0,02 W/m²]

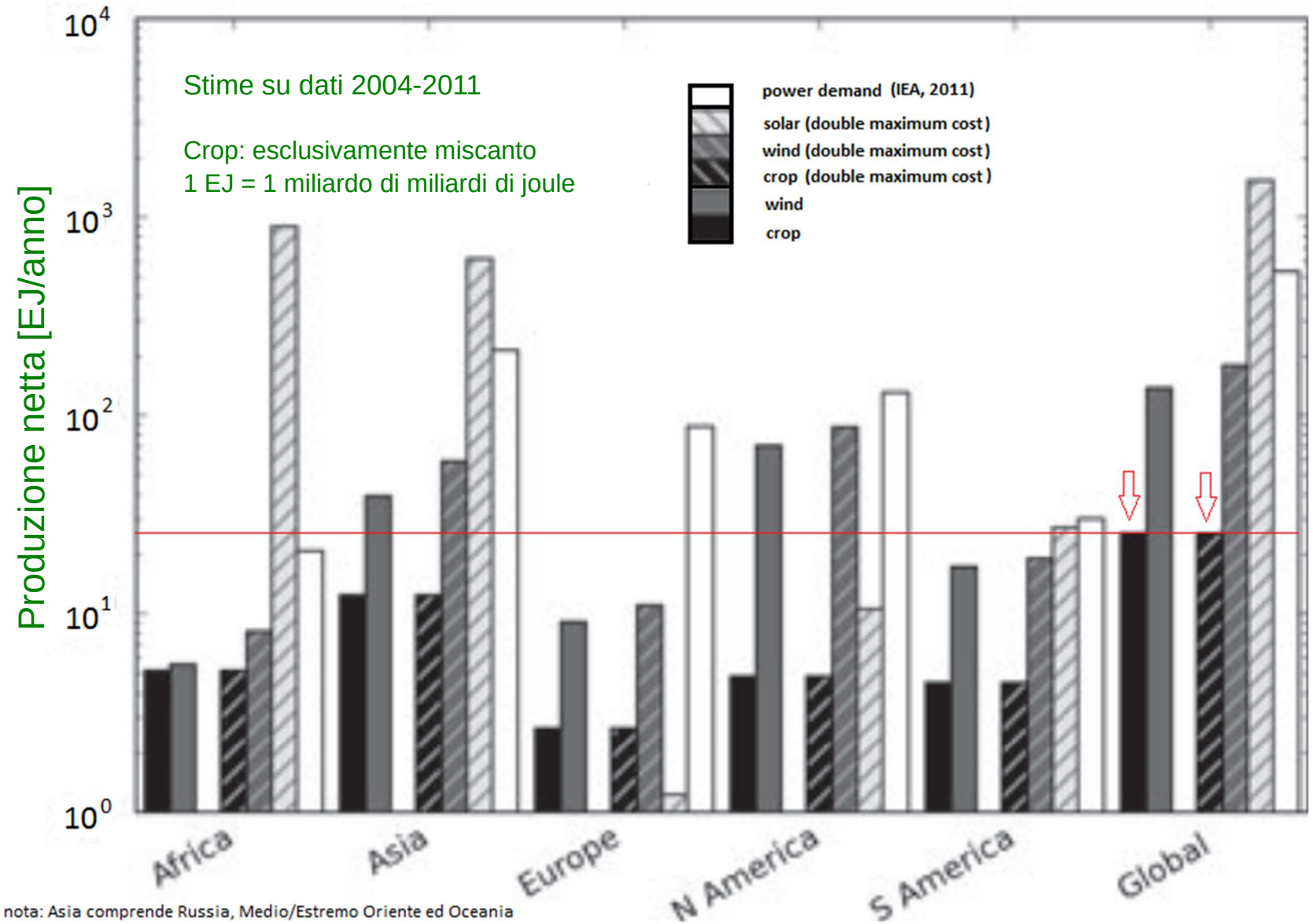
1 ha = 10000 m²
1 W/m² = 315,6 GJ/ha/anno

Stime su dati 2004-2011
N.B. fertilizzazione trascurabile

Fonte: Pogson et al.

Miscanthus vs. Solare ed Eolico

risposta al fabbisogno energetico



nota: Asia comprende Russia, Medio/Estremo Oriente ed Oceania

L'energia estraibile dalle coltivazioni di miscanto subisce principalmente limitazioni di tipo chimico e fisico (ivi compreso l'uso dei terreni coltivabili o da preservare per le foreste), e non è sensibile a variazioni consistenti dei costi di produzione.

Molto diversa la situazione per la fonte solare: se non si permettono costi doppi dei valori max. attuali, scompare dalla competizione!

www.ravenna2016.it

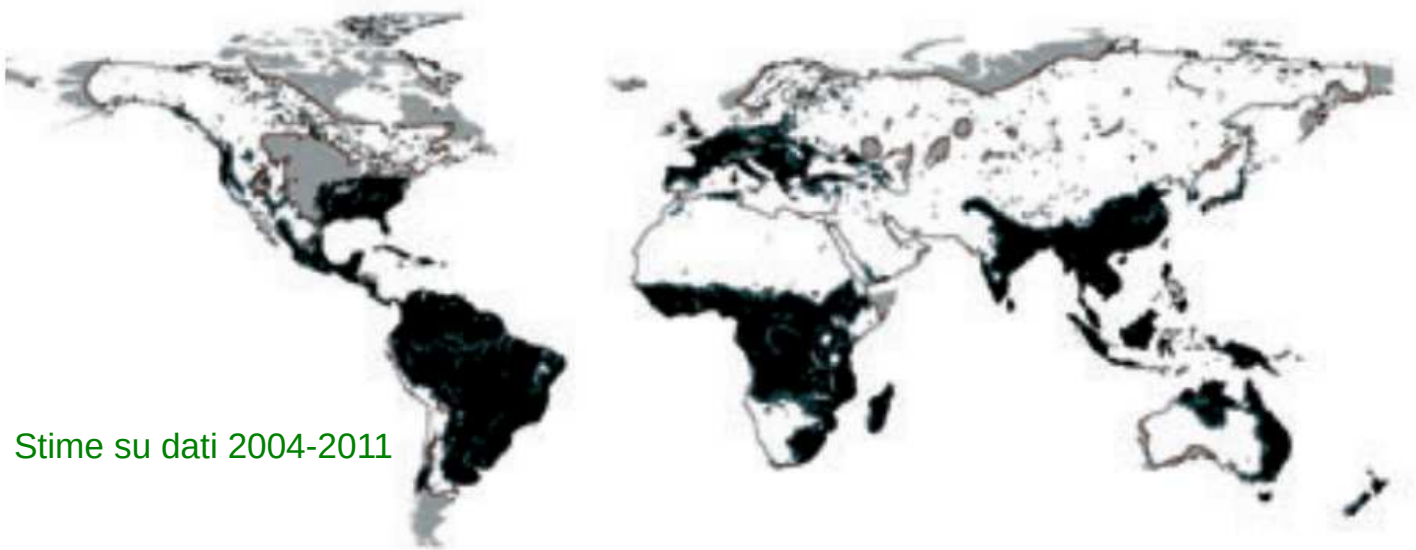
Fonte: Pogson et al.

Miscanthus vs. Solare ed Eolico

massima potenza per unità di superficie

(esclusivamente miscanto)

A. senza restrizioni:
vince la fonte solare praticamente ovunque



Stime su dati 2004-2011

B. senza permettere il raddoppio dei costi:
la fonte solare scompare dalla competizione

Fonte: Pogson et al.

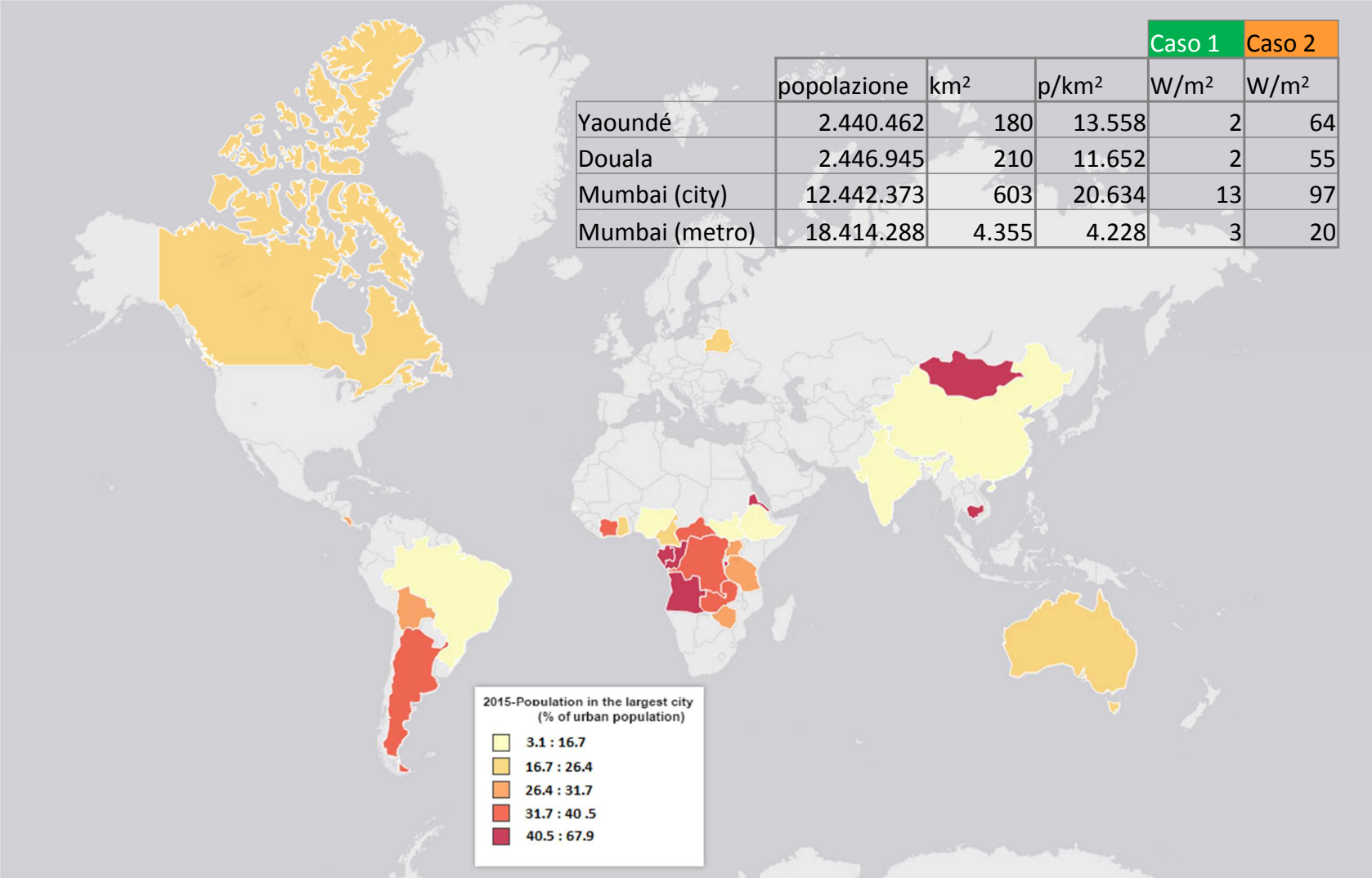
Energia «low carbon» a km0

dove-come-quando davvero è fattibile

	Population density (people per km² of land area)	Population (mln)	Urban population	Population in the largest city (% of urban population)	Population in urban agglomerations > 1 million (% of total population)	primary energy consumption per capita (toe)	power density consumption (W/m²)	japanese style [3,56 toe per capita] power density consumption (W/m²)
Canada	3,91	35,5	81,7%	20,3%	45,5%	9,36	0,05	0,02
Belarus	46,67	9,5	76,3%	26,4%	20,1%	3,02	0,19	0,22
Angola*	19,43	24,2	43,3%	50,4%	26,8%	0,32	0,01	0,09
Cameroon*	48,18	22,8	53,8%	23,9%	25,3%	0,12	0,01	0,23
Ethiopia*	96,96	97,0	19,0%	17,2%	3,3%	0,04	0,01	0,46
Nigeria*	194,86	177,5	46,9%	15,1%	15,4%	0,13	0,03	0,92
Argentina	15,71	43,0	91,6%	38,2%	41,6%	2,00	0,04	0,07
Bolivia*	9,75	10,6	68,1%	28,2%	47,7%	0,69	0,01	0,05
Brazil	24,66	206,1	85,4%	11,8%	39,4%	1,44	0,05	0,12
Australia	3,06	23,5	89,3%	21,4%	59,1%	5,24	0,02	0,01
Cambodia*	86,84	15,3	20,5%	53,6%	11,0%	0,16	0,02	0,41
China	145,32	1364,3	54,4%	3,1%	23,2%	2,18	0,42	0,69
India	435,66	1295,3	32,4%	6,0%	14,2%	0,49	0,28	2,06

*Fonte dati su consumo energia primaria:
International Energy Statistics, January 2016 (dati più recenti risalenti al 2012)

Fonte: elaborazione su dati World Data Bank e BP 2015



	popolazione	km²	p/km²	Caso 1 W/m²	Caso 2 W/m²
Yaoundé	2.440.462	180	13.558	2	64
Douala	2.446.945	210	11.652	2	55
Mumbai (city)	12.442.373	603	20.634	13	97
Mumbai (metro)	18.414.288	4.355	4.228	3	20

Ravenna 18·19·20 maggio 2016

Dati incoraggianti

→ vale la pena approfondire

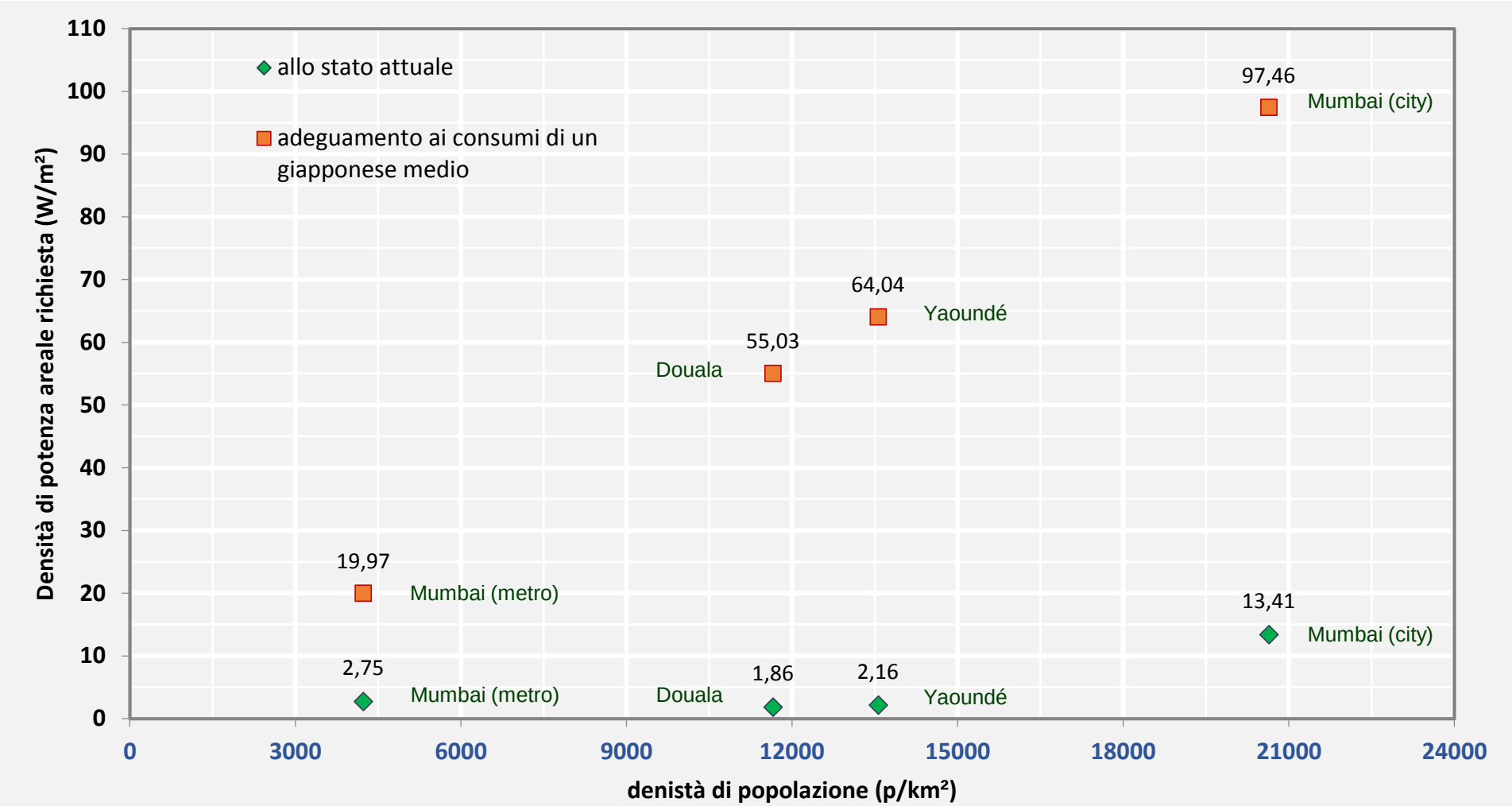
	Population density (people per km² of land area)	Urban population (% of total)	Population in the largest city (% of urban population)	Population in urban agglomerations > 1 million (% of total population)	Primary energy consumption (Mtoe)	Primary energy consumption per capita (toe)	Power density consumption (W/m²)	Power density consumption [target*] (W/m²)	Net power density from miscanthus [bottom value**] (W/m²)	Net power density from miscanthus [top value***] (W/m²)
Cameroon	48,18	53,8%	**23,9%**	25,3%	2,77	0,12	**0,01**	**0,23**	**0,03**	**1,11**
India	435,66	32,4%	**6,0%**	14,2%	637,76	0,49	**0,28**	**2,06**	**0,07**	**0,74**

* average Japanese: 3,56 toe/y
** mean net effective power density accounting for land use, cost and carbon restrictions
*** unrestricted mean net power density

www.ravenna2016.it

Energia «low carbon» a km0

dove-come-quando davvero è fattibile

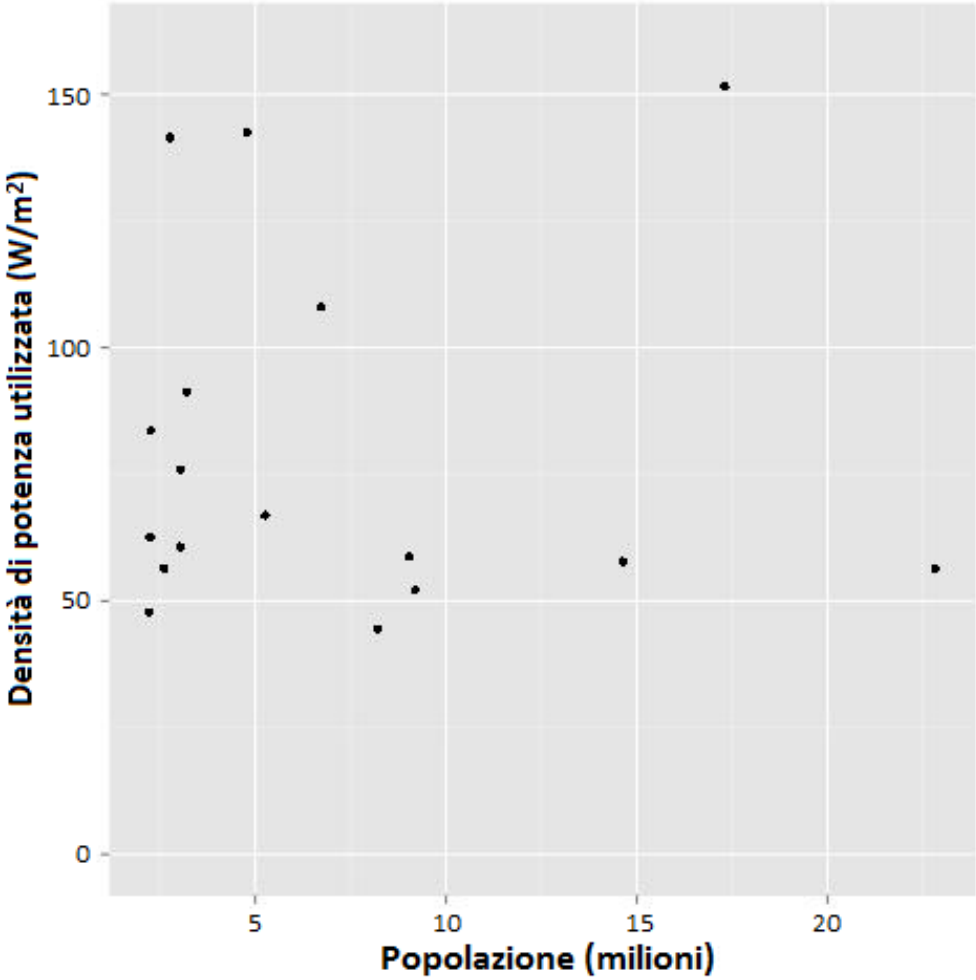


Consumi di energia primaria

- valore medio in **Camerun**: **0,12** tep pro capite
- valore medio in **India**: **0,49** tep pro capite
- valore medio in **Giappone**: **3,56** tep pro capite

Energia «low carbon» a km0

dove-come-quando davvero è fattibile



Densità di potenza media utilizzata in 17 delle 200 aree metropolitane più grandi del Mondo,
tutte situate in India
e nelle quali si è assunto che i consumi degli abitanti siano conformi a quelli di un giapponese medio.

Nei Paesi in via di sviluppo nessuna delle tecnologie attuali permette la copertura dei consumi delle megalopoli attraverso l'utilizzo di fonti rinnovabili – a meno che non si rinunci alla ricerca di condizioni di vita migliori.

Bibliografia

- David J.C. MacKay, Sustainable Energy - without the Hot Air, UIT, Cambridge, UK, 2008

disponibile gratuitamente in lingua originale al link:
http://www.withouthotair.com/
e nella traduzione in italiano a cura di Alessandro Pastore, Paolo Errani e Simone Gallarini, al link:
http://www.withouthotair.com/translations.html

- Vaclav Smil, Power Density Primer: Understanding the Spatial Dimension of the Unfolding Transition to Renewable Electricity Generation (Part I-V), mastersource.org, 2010
- Robert Wilson, Biomass: The World's Biggest Provider of Renewable Energy, theenergycollective.com, 2014
- Robert Wilson, Biomass: the hidden face of the Energiewende, energypost.eu, 2014
- Niclas Scott Bentsen, Claus Felby, Biomass for energy in the European Union - a review of bioenergy resource assessments, Biotechnology for Biofuels, 2012, DOI: 10.1186/1754-6834-5-25
- Vincent K.M. Chenga, Geoffrey P. Hammond, Life-cycle energy densities and land-take requirements of various power generators: A UK perspective, Journal of the Energy Institute, 2016, DOI: 10.1016/j.joei.2016.02.003
- Mark Pogson, Astley Hastings, Pete Smith, How does bioenergy compare with other land-based renewable energy sources globally?, GCB Bioenergy, 2013, DOI: 10.1111/gcbb.12013

Bibliografia

- Liesbeth de Schutter, Stefan Giljum, A calculation of the EU Bioenergy land footprint - Discussion paper on land use related to EU bioenergy targets for 2020 and an outlook for 2030, Institute for the Environment and Regional Development, Vienna University of Economics and Business (WU), 2014
- Helmut Haberl et al., The global technical potential of bio-energy in 2050 considering sustainability constraints, Current Opinion in Environmental Sustainability, Volume 2, Issues 5–6, 2010, DOI: 10.1016/j.cosust.2010.10.007
- Will Boisvert, Harmonic Destruction - How Greens Justify Bioenergy's Assault on Nature, thebreakthrough.org, 2014
- David J.C. MacKay, Solar energy in the context of energy use, energy transportation, and energy storage, Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2013, DOI: 10.1098/rsta.2011.0431
- AA.VV., Energia low carbon a chilometro zero – zero soluzioni, molti problemi, nucleareeragione.org, 2016
- Lee M. Millera et al., Two methods for estimating limits to large-scale wind power generation, PNAS, vol. 112 no. 36, 2015, DOI: 10.1073/pnas.1408251112
- Amanda S. Adams, David W. Keith, Are global wind power resource estimates overstated?, Environmental Research Letters, Volume 8, Number 1, 2013, DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/015021
- AA.VV., The Future of Solar Energy - An Interdisciplinary MIT Study led by the MIT Energy Initiative, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (MA), Usa, 2015

www.ravenna2016.it

Bibliografia

- AA.VV., Memorandum COP21, nucleareeragione.org, 2015
- AA.VV., Renewables 2015 Global Status Report, Renewable Energy Network for the 21st Century (REN21), 2015
- Eurostat, Energy from renewables sources, ec.europa.eu/eurostat (dati di febbraio 2016)
- National Renewable energy laboratory (NREL), Dynamic Maps, GIS data & Analysis Tools, Biomass Maps, nrel.gov
- AA.VV., U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis, Technical Report NREL/TP-6A20-51946, 2012
- The World Bank, Wold DataBank, databank.worldbank.org
- BP, BP Statistical Review of World Energy June 2015, bp.com
- Tavolo di Filiera per le Bioenergie, D. M. n. 9800 del 27 aprile 2012, Gruppo di Lavoro n. 1, Stato dell'arte della bioenergia in Italia, 2013 (2014)