

Riscaldamento globale

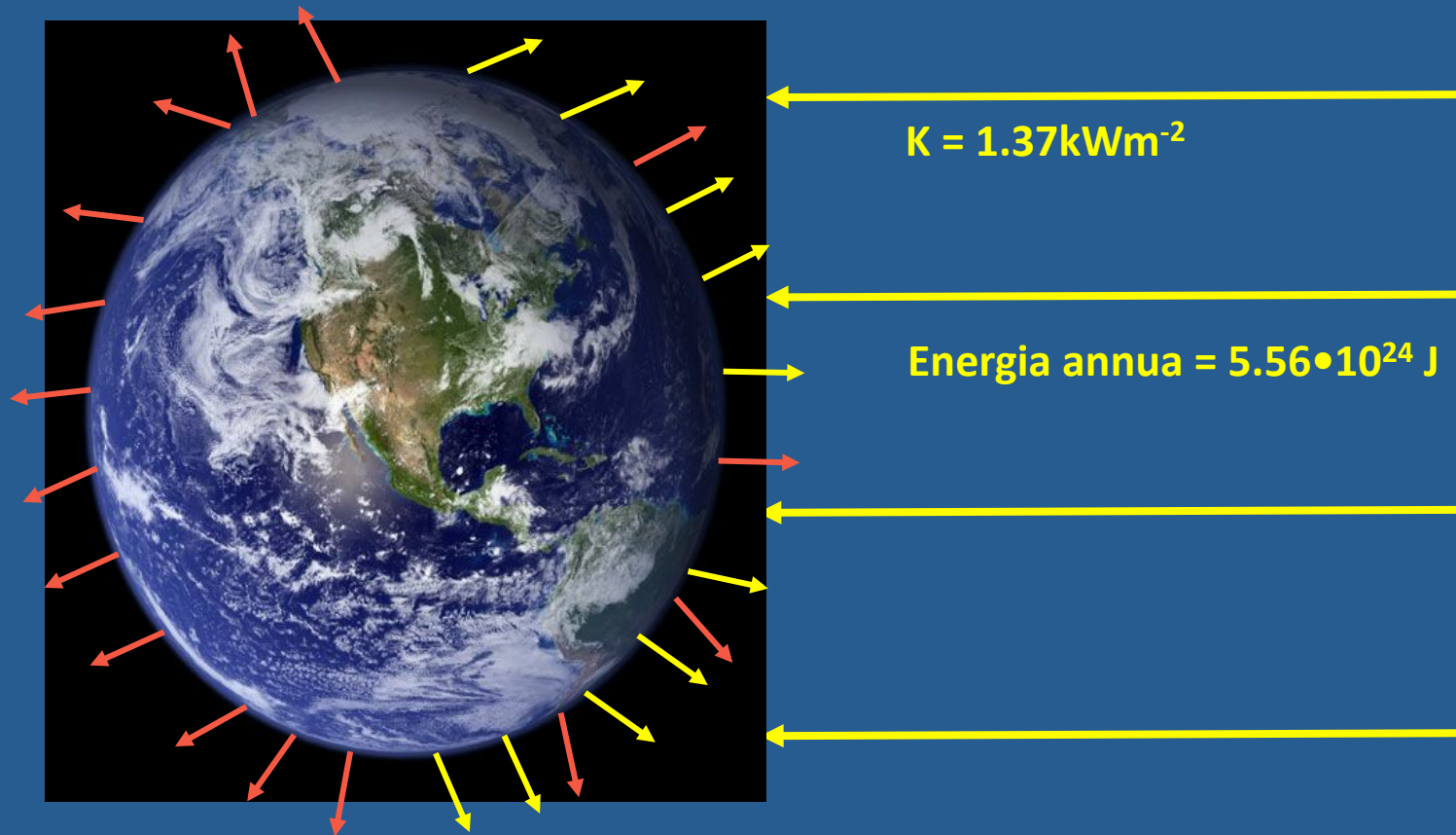
Vivere in un pianeta che cambia

Sant'Ilario 26/02/2018

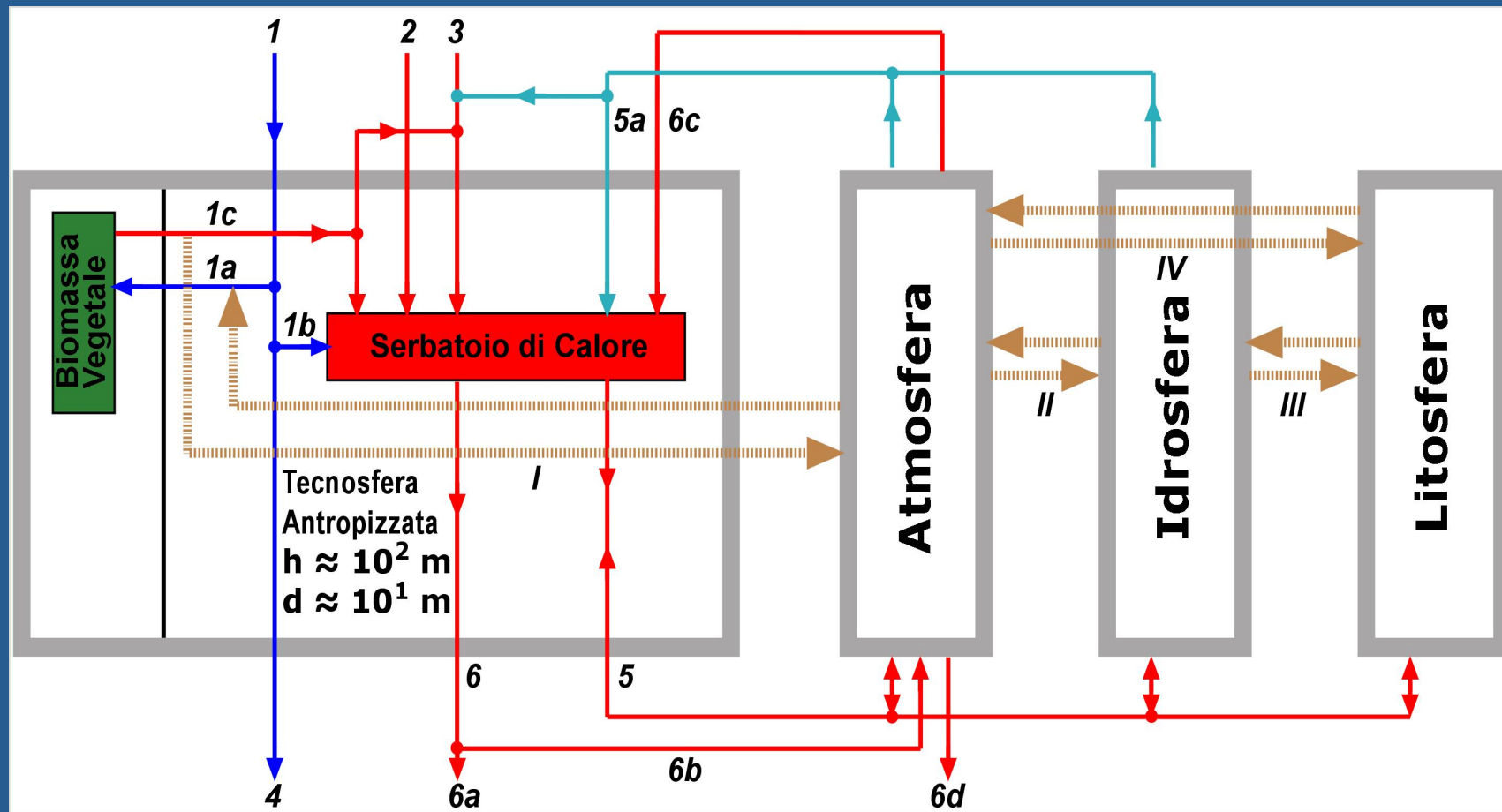
L'umanità sta veramente modificando il bilancio energetico del pianeta?

- La risposta è affermativa
- Le conseguenze di queste modificazioni sono molto difficili da quantificare
- Le modificazioni si possono ridurre, e almeno in linea di principio eliminare, muovendosi verso una situazione di sostenibilità energetica
- Per questo servono razionalizzazione energetica e uso generalizzato di F.E.R.

L'equilibrio del nostro Pianeta



Ante Era Industriale



Legenda: Schema 1

1 - Energia solare entrante $E_{SE} \approx 3 \cdot 10^{24} \text{ J}$

1_a - Fissata nella biomassa $E_{SB} \approx 10^{-5} E_{SE}$

1_b - Trasformata in calore $E_{SC} \approx 0.9 E_{SE}$

1_c - Energia restituita come calore

2 - Energia geotermica $E_{GT} \approx 10^{21} \text{ J}$

3 - Energia da attività antropica

4 - Energia solare uscente $E_{SU} \approx 0.1 E_{SE}$

5 - Energia termica per “macchina del clima”

5_a - Energia meccanica restituita

6 - Energia emessa come radiazione I.R. E_{IR}

6_a - Frazione trasmessa E_{IRt} (uscente)

6_b - Frazione assorbita E_{IRa}

6_c - Frazione riemessa E_{IRau} (uscente)

6_d - Frazione riemessa E_{IRae} (entrante)

I - Scambi gas serra biomassa \leftrightarrow atmosfera

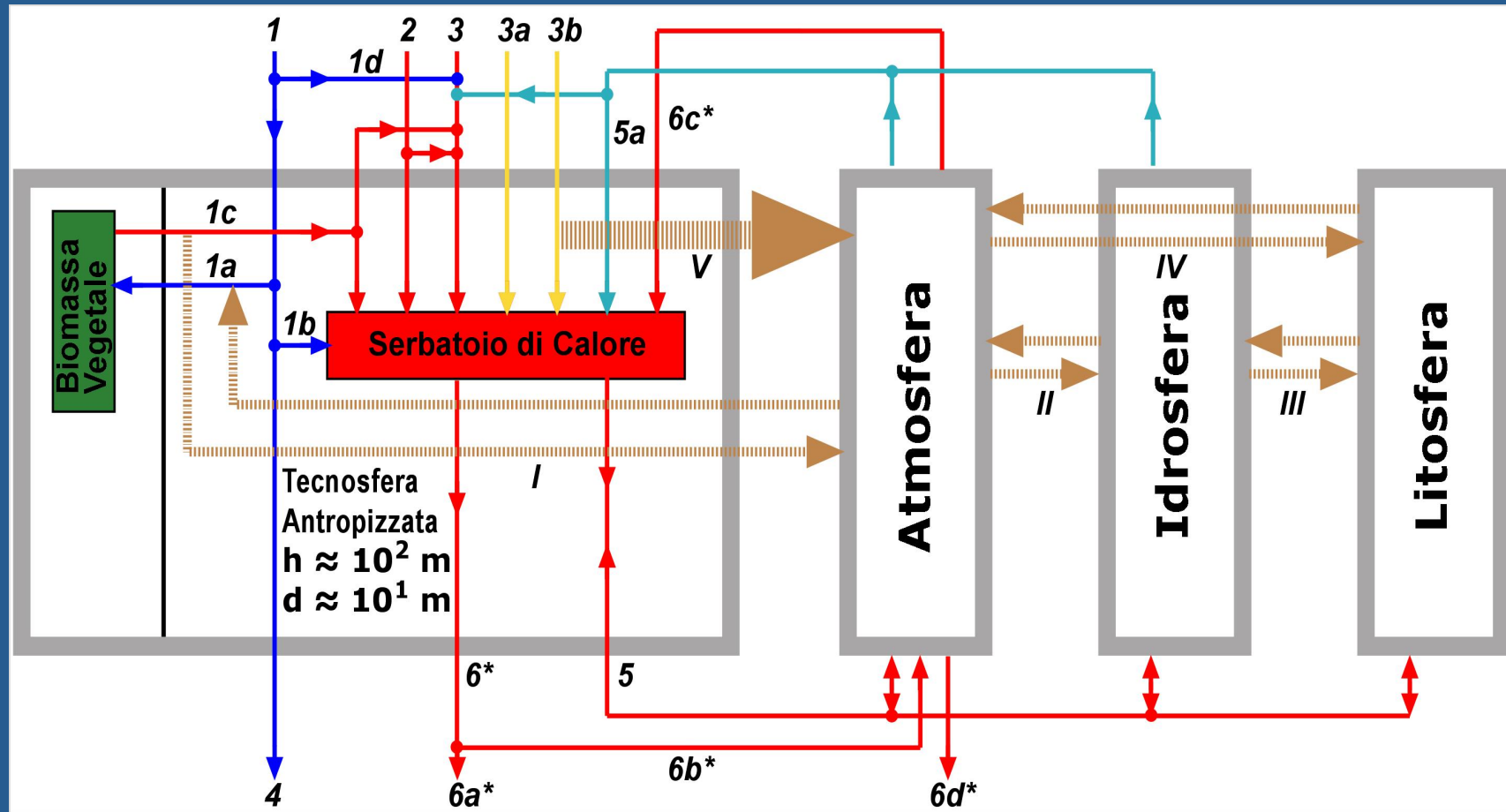
II - Scambi gas serra atmosfera \leftrightarrow idrosfera

III - Scambi gas serra idrosfera \leftrightarrow litosfera

IV - Scambi gas serra atmosfera \leftrightarrow litosfera

Concentrazione $\text{CO}_2 \approx 280 \text{ ppm}$

ATTUALMENTE



Legenda: Schema 2

Dati anno 2015 : totale mondiale $\approx 5.70 \cdot 10^{20}$ J

3 - Da fonti rinnovabili	$E_{AR} \approx 0.78 \cdot 10^{20}$ J (13.7%)
3 _a - Da “combustibile” nucleare	$E_{AN} \approx 0.28 \cdot 10^{20}$ J (4.9%)
3 _b - Da combustibili fossili	$E_{AF} \approx 4.64 \cdot 10^{20}$ J (81.4%)

Fonte: IEA key world energy statistics 2017

www.iea.org/publications

V- Immissione in atmosfera di gas serra da combustione di combustibili fossili :

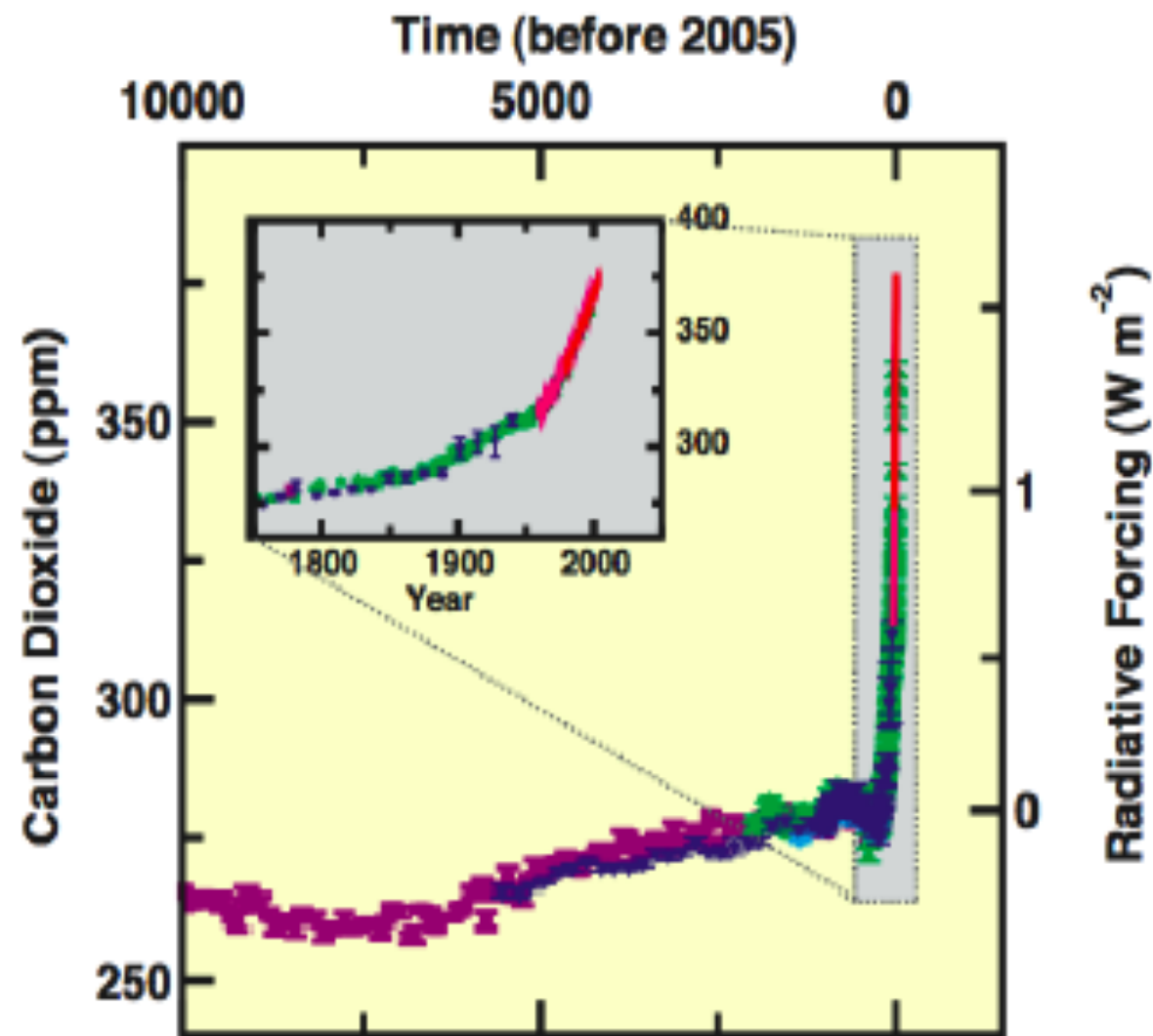
≈ 32 Gton CO₂

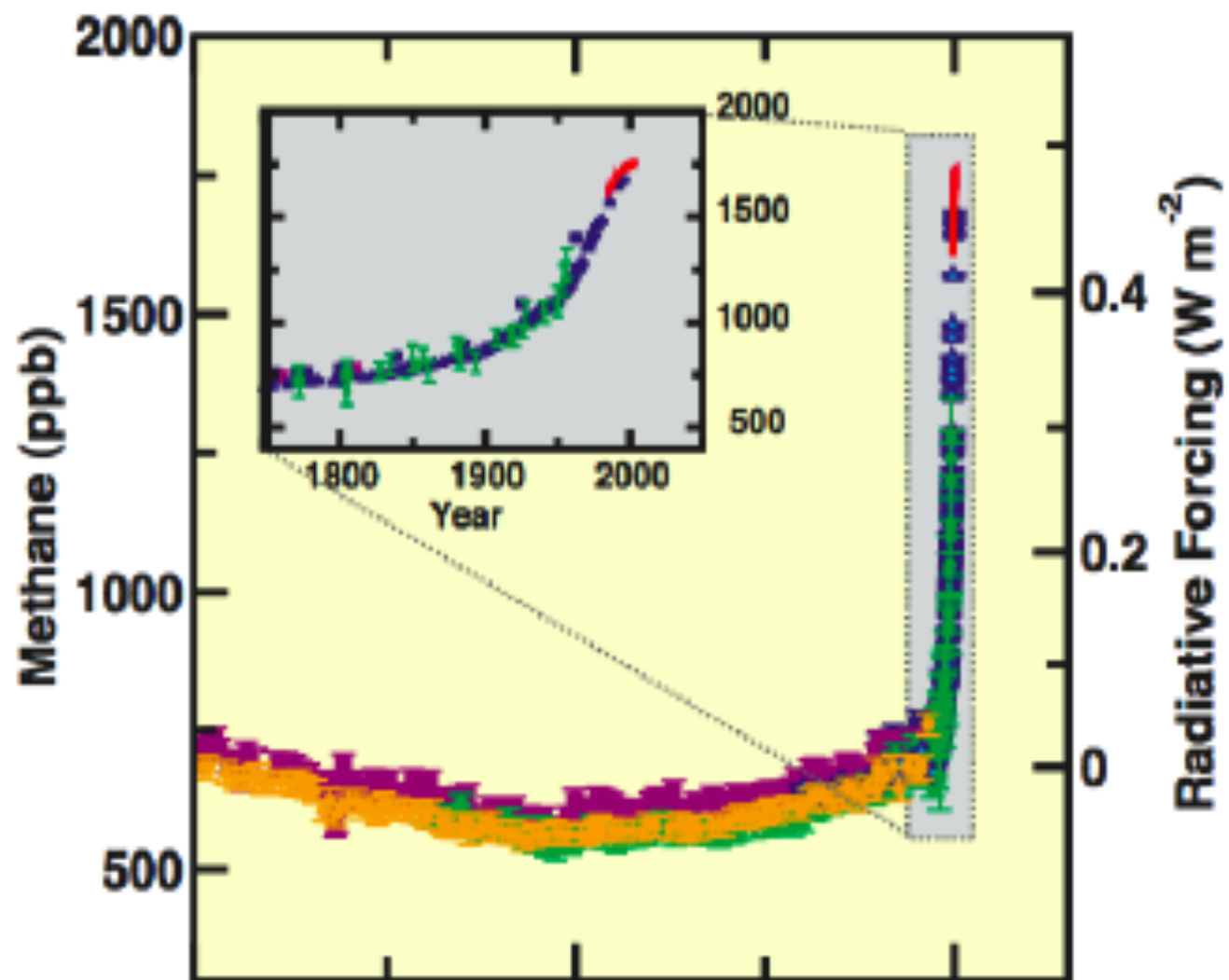
Fonte: International Energy Agency www.iea.org

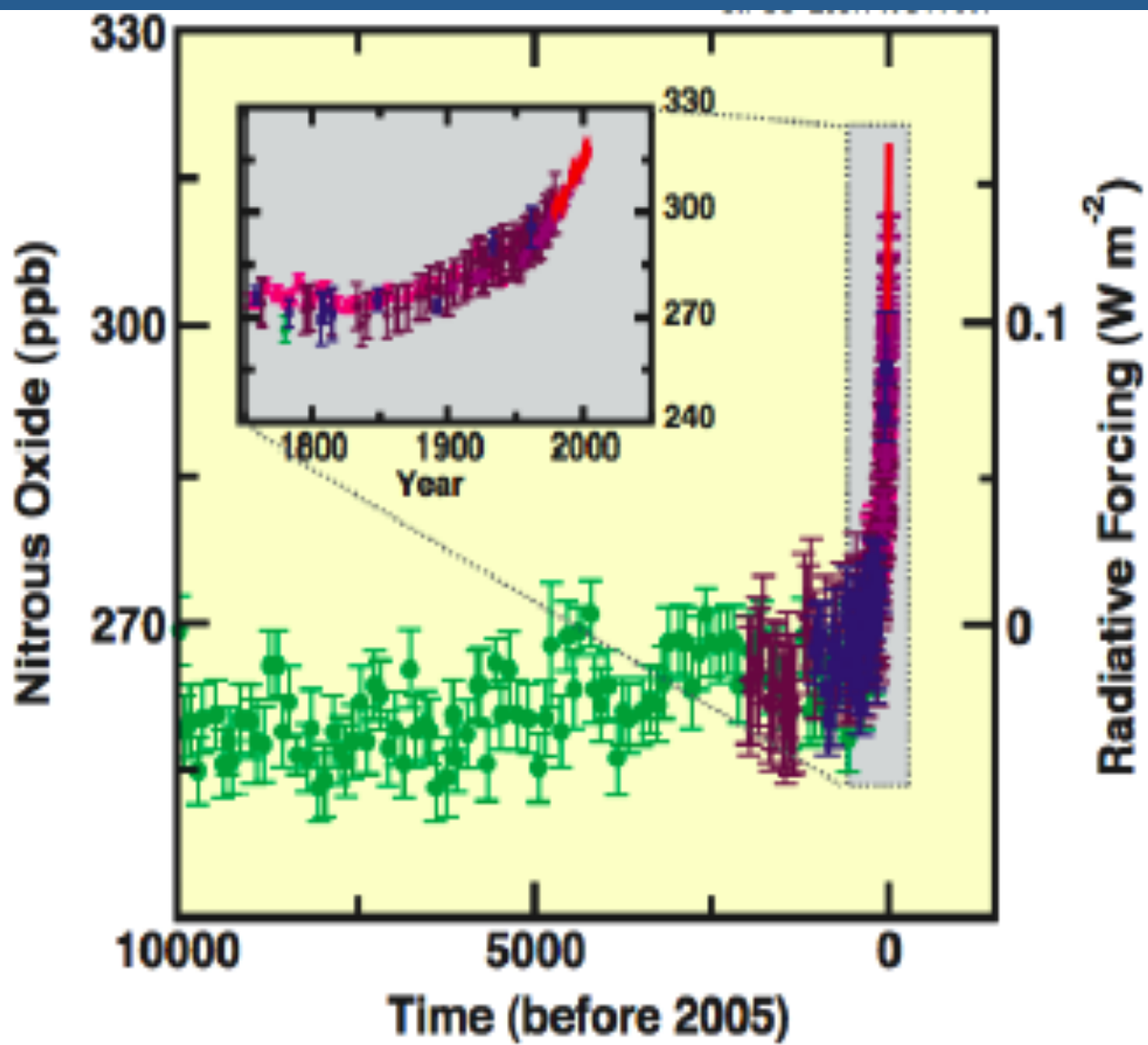
Concentrazione CO₂ (16/10/2017-Mauna Loa): 403.87 ppm www.esrl.noaa.gov

Flussi di radiazione IR modificati !

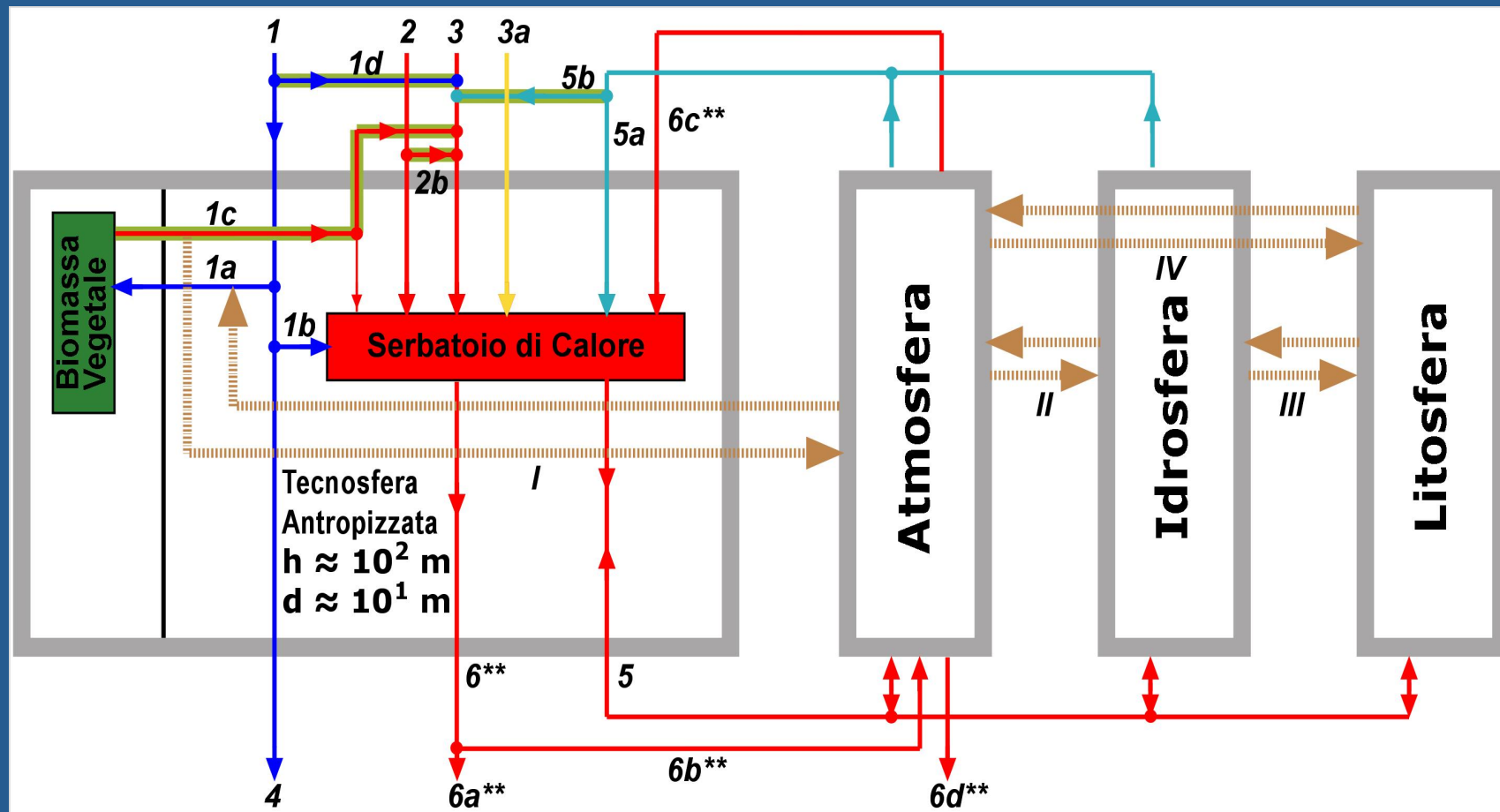
Changes in Greenhouse Gases from ice-Core and Modern Data







In Futuro



Legenda: Schema 3

1_d - Energia rinnovabile “solare primaria”

2_b - Energia rinnovabile geotermica

1_c e 5_b - Energia rinnovabile “solare secondaria”

Immissione di gas serra da combustibili fossili praticamente azzerata.

Concentrazione di CO₂ ? 450-550 ppm ?

Flussi di radiazione IR sicuramente diversi da situazione attuale.

Cosa si può fare in Italia?

Consumi energetici totali nel 2015:171 Mtep
pari a $7.2 \cdot 10^{18}$ J(+3,2% rispetto a consumi
2014).

- Consumi di energia elettrica nel 2015:317
TWh(+2.1% rispetto a consumi 2014), di cui
109 TWh da fonti rinnovabili.

Fonte: Terna.

www.terna.it

Risorse energetiche rinnovabili disponibili in Italia

I -Solari secondarie:

- a) Biomassa vegetale e legnosa.
- b) Biomassa da deiezioni animali e da scarti e rifiuti.
- c) Acqua corrente (compresi moto ondoso e correnti sottomarine).
- d) Vento.

II -Solare primaria:

Radiazione solare.

III -Geotermica.

Da queste risorse si possono ottenere:

- Potenza termica da sola.
- Potenza elettrica da sola.
- Potenza elettrica e termica insieme (cogenerazione) ed eventualmente anche potenza frigorifera (trigenerazione).
- Combustibili per autotrazione (biocombustibili e idrogeno da FER)

Fonti rinnovabili nella vita di tutti i giorni

- Le FER, e i provvedimenti per la razionalizzazione energetica che dovrebbero andare di pari passo, sono solo argomento di discussione e di contrapposizione ad alto livello, o possono contare nella vita di ogni giorno di persone normali?
- Proviamo a considerare un esempio di applicazione molto concreto: chiediamoci se una tipica famiglia italiana, residente nella nostra zona, potrebbe già adesso soddisfare una quota significativa delle sue richieste di energia con fonti rinnovabili disponibili localmente.
- Ovviamente questo dovrebbe essere possibile a prezzi ragionevoli e con tecnologie collaudate e disponibili sul mercato in modo facilmente accessibile.

Un caso di studio: casa a Parma da 100 m² per quattro persone

Richiesta annua di energia:

- Energia termica: $\approx 200 \text{ kWh/m}^2$ ($\approx 720 \text{ MJ/m}^2$) in base a dati del PER Emilia-Romagna 2003

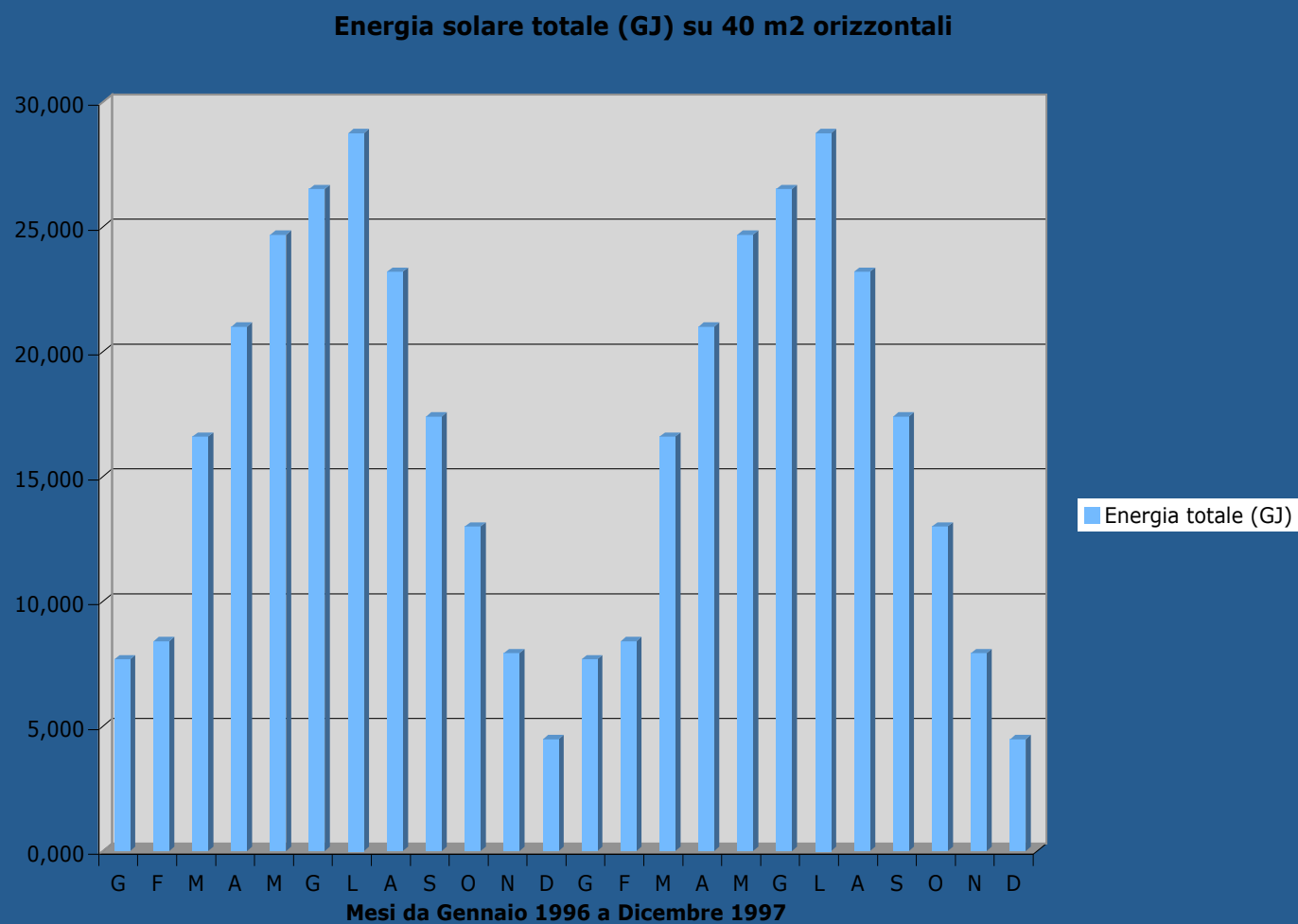
In totale $\approx 72 \text{ GJ}$, di cui $\approx 6 \text{ GJ}$ per ACS.

- Energia elettrica: $\approx 3500 \text{ kWh}$.
- Carburante per una percorrenza di $\approx 30000 \text{ km}$, a circa 15 km con un litro: ≈ 2000 litri.

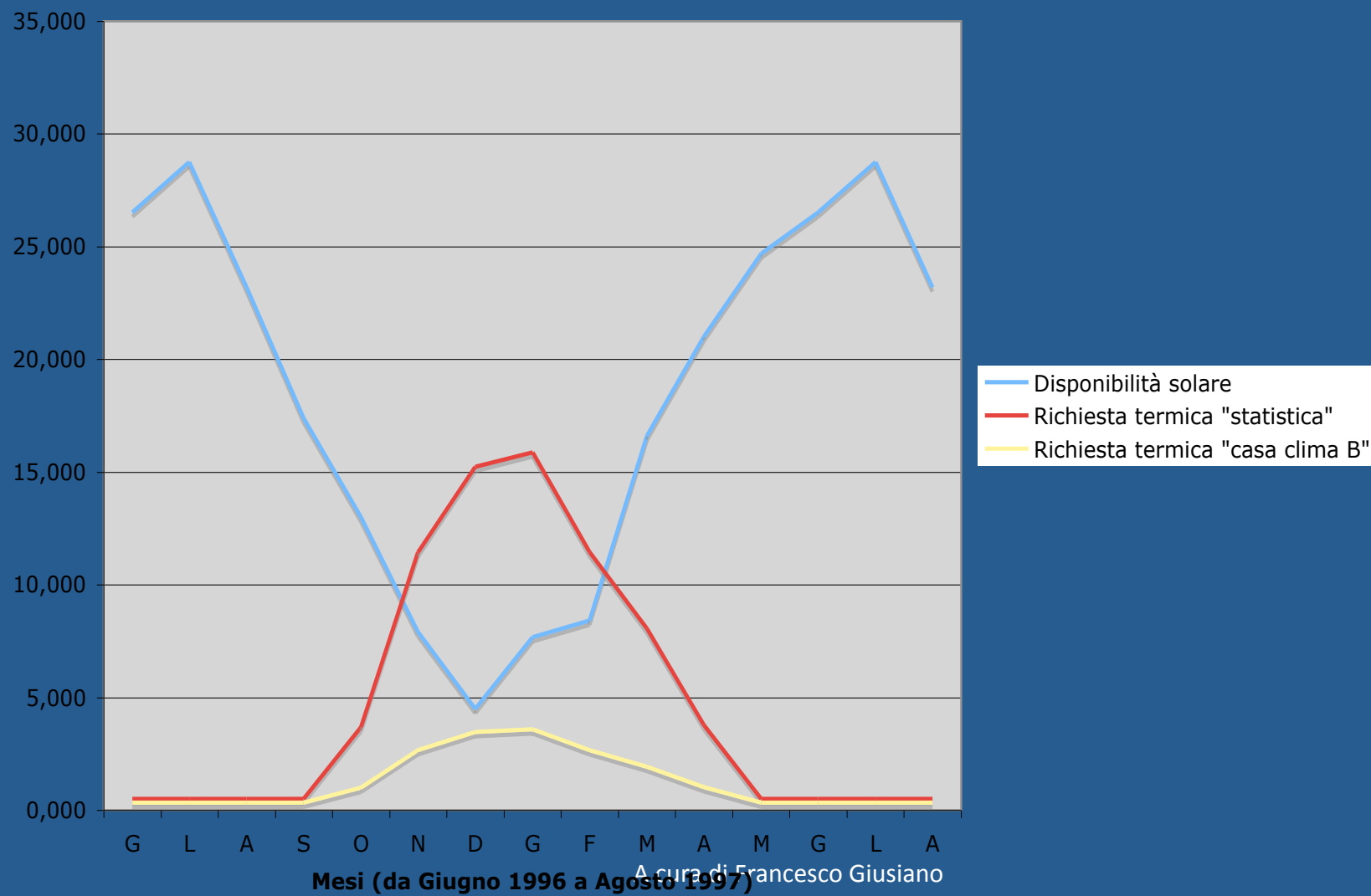
E' possibile la copertura completa da fonti rinnovabili?

- A Parma città la risorsa energetica rinnovabile disponibile **localmente** è praticamente solo la radiazione solare; secondo dati ENEA in un anno su superficie orizzontale l'irradiazione vale in media $\approx 5\text{Gj/m}^2$, per cui su 100m^2 si hanno $\approx 500\text{Gj}$.
- Non è disponibile risorsa geotermica né ad alta né a bassa entalpia.
- Non sono disponibili in quantità significative neanche risorse eoliche né idrauliche.
- Risorsa rinnovabili solari secondarie sono invece disponibili nel territorio provinciale.

Disponibilità di energia solare



Richiesta termica



Consumi energetici degli edifici

- Fino a qualche anno fa nel nostro paese non si è dedicata all'argomento un' attenzione seria.
- Esistevano leggi volte a ridurre i consumi energetici (legge 10/91, legge 373) ma non ci si preoccupava molto di far rispettare i regolamenti attuativi, quando esistevano.
- Da qualche anno la situazione è leggermente cambiata in meglio, ma non abbastanza: ci sono norme, ma ancora scarso coordinamento fra livello centrale e livelli locali. Sostanzialmente ogni regione va per conto suo, con eccellenze e arretratezze.
- Inoltre si pone il problema della formazione e del ruolo dei “certificatori energetici”.

Standard energetici per gli edifici

- Il più vecchio, e anche quello meglio stabilito e applicato, è lo standard “Casaclima”, introdotto dalla provincia autonoma di Bolzano
- Stabilisce 7 classi di consumi, dalla A (più efficiente) alla G (meno efficiente), fissando anche metodi di calcolo di realizzazione

www.agenziacasaclima.it

- L’amministrazione provinciale di Bolzano ha costruito tutto un sistema intorno a queste norme e ha conquistato un’indiscussa preminenza.
- Bisogna però stare attenti a non applicare le norme di casa clima in modo acritico ad altre realtà climatiche italiane, se non si vogliono avere eventuali brutte sorprese.

Standard energetici per gli edifici

- La normativa italiana centrale richiede efficienza energetica che corrisponde grosso modo a CasaClima C (consumo annuo di 76 kWh/m²)
- Alcune regioni (per esempio la regione Lombardia) hanno stabilito norme cogenti e avviato corsi di formazione per la certificazione energetica degli edifici, la maggior parte no.

www.enea.it

www.adiconsum.it

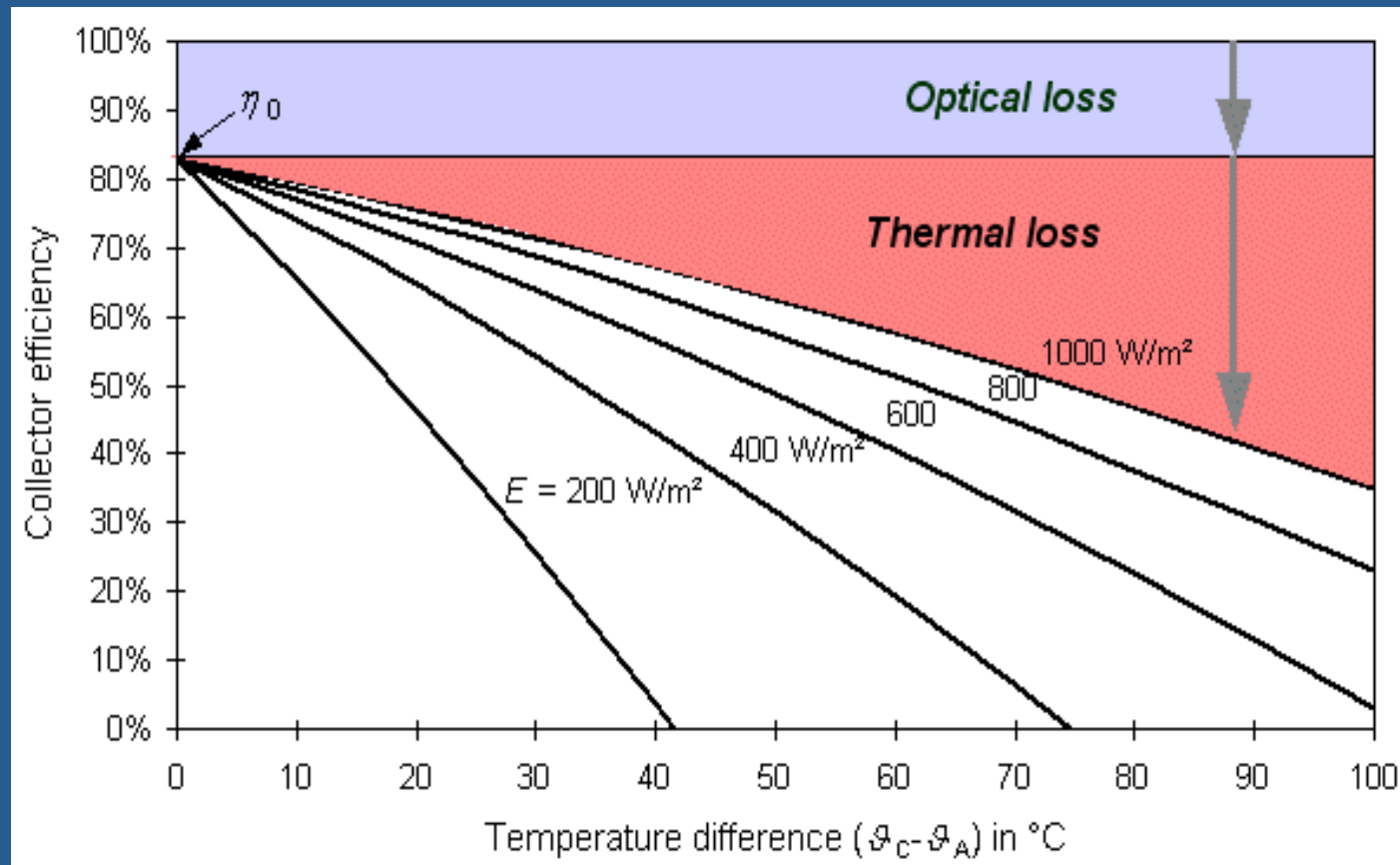
- In assenza di una situazione chiara e definita, il lavoro di amministratori pubblici, progettisti e costruttori non è semplice.
- La sensibilità degli acquirenti alle caratteristiche energetiche degli edifici è molto scarsa.

Ci si può riscaldare con il sole (con i collettori termici)?

Bisogna valutare la T richiesta per l'acqua, e poi l'efficienza dei collettori:

- Radiatori convenzionali $\approx 60-70\text{ }^{\circ}\text{C}$: la superficie radiante è piuttosto piccola e quindi serve T abbastanza elevata.
- Ventilconvettori $\approx 50\text{ }^{\circ}\text{C}$: la superficie di scambio rimane piccola, ma lo scambio convettivo viene aumentato con la ventilazione artificiale, quindi può bastare una T più bassa.
- Pannelli radianti $\approx 30\text{ }^{\circ}\text{C}$: la superficie radiante diventa quella di un intero pavimento (o di una parete o anche di un soffitto), per cui basta una T notevolmente più bassa che negli altri casi.

Efficienza dei collettori solari vetrati piani o tubolari sotto vuoto



Efficienza dei collettori e calore ottenibile

- Esistono molti software sul mercato per valutare mese per mese il calore ottenibile da un impianto di date caratteristiche installato in un dato luogo.
- Comunque un valore ragionevolmente approssimato per l'efficienza media annua è 50%.
- Ciò significa che il calore ottenibile su base annua è molto di più di quello necessario.
- Però questo non è vero su base mensile, perché l'irradiazione solare e la richiesta termica sono esattamente in controfase.
- La copertura completa da fonte solare della richiesta termica si può ottenere solo realizzando un accumulo stagionale.

Possibilità di accumulo stagionale

- Calore sensibile: acqua a 50°C, $\Delta T = 10^\circ\text{C}$
 - 72 Gj $\approx 1700 \cdot 10^3 \text{ kg}$; 18 Gj $\approx 420 \cdot 10^3 \text{ kg}$
- Calore latente: $\approx 180 \text{ kJ/kg}$ (prodotti commerciali, tipicamente paraffine)
 - 72 Gj $\approx 400 \cdot 10^3 \text{ kg}$; 18 Gj $\approx 100 \cdot 10^3 \text{ kg}$
- Calore latente : 2185 kJ/kg a 50°C (Goswami, D.Y. and Jotshi, C.K.-1995)
 - 72 Gj $\approx 36 \cdot 10^3 \text{ kg}$; 18 Gj $\approx 9 \cdot 10^3 \text{ kg}$

Non ci si può ancora scaldare solo con il sole

- I numeri precedenti dicono che non è ancora ragionevolmente possibile scaldarsi solo con la risorsa solare diretta.
- Ovviamente in casi particolare è tecnicamente fattibile l'accumulo stagionale di calore come calore sensibile, ma la complicazione impiantistica e i costi rendono la soluzione fattibile solo per impianti collettivi.
- E' in atto un grosso sforzo di ricerca a livello europeo e mondiale su questa problematica.

www.iea.org

- Per ora se si usano collettori termici si può ottenere un contributo, ma è necessaria l'integrazione con un'altra fonte, che può essere anche rinnovabile.

Integrazione a biomassa legnosa

- Ovviamente per un'utenza cittadina la biomassa legnosa non è una risorsa locale, ma può essere comunque “a filiera corta”, con costi ridotti (sia economici che ambientali) per l'approvvigionamento e il trasporto.
- Stufe a tronchetti: necessari caricamento manuale e raccolta ceneri.
- Stufe a pellets: possibile caricamento automatico per utenze collettive (caldaie condominiali); per utenze singole necessario caricamento manuale.
- Caldaie a chippato: praticamente utilizzabili solo per impianti grandi e molto grandi (teleriscaldamento).

Integrazione a biomassa: stato dell'arte

- Il costo del combustibile si prospetta più favorevole rispetto a quello del metano fossile solo a lungo termine, però bisogna tener conto che quest'ultimo è una risorsa importata, con tutte le conseguenze che ciò comporta.
- I costi di stufe e caldaie sono ancora superiori a quelli degli apparati a metano di pari potenza, anche se il divario si sta riducendo rapidamente.
- Sono affidabili sia come funzionamento che come emissione di prodotti di combustione.
- Con l'ingresso sul mercato anche di molti produttori italiani non ci sono più seri problemi di installazione ed assistenza tecnica.
- Comunque è sempre necessario che siano ben chiare le condizioni di fornitura.

Integrazione a biogas

- In questo caso si possono usare le caldaie a metano, comprese quelle a condensazione.
- L'uso è conveniente già ora per aziende agricole zootecniche, in cui la risorsa è prodotta localmente, anzi è un sottoprodotto dell'attività principale e risolve anche un problema ambientale. Non è però applicabile al nostro caso di studio in generale.
- Potrebbe diventarlo in futuro (anche prossimo), se fosse immesso nella rete esistente il biogas trattato e portato a concentrazione di $\text{CH}_4 > 96\%$ (si veda l'esperienza svedese).
- Questo sarebbe un caso molto interessante per certe aree dell'Italia con rete capillare e molte deiezioni da smaltire.

Ci si può riscaldare con il sole (con i collettori fotovoltaici)?

- L'energia elettrica ottenuta dai collettori non viene usata direttamente per il riscaldamento ma serve per azionare una pompa di calore che preleva calore gratuito da una sorgente a bassa T attraverso uno scambiatore (sonda), e lo porta a T sufficiente per l'impianto di riscaldamento.
- La resa media annua di un modulo FV ($\approx 10\%$) è notevolmente inferiore a quella di un modulo termico ($\approx 50\%$), ma con l'impianto FV collegato alla rete elettrica si elimina il problema dell'accumulo stagionale.
- L'idea di usare una PC, anche senza impianto FV, non è nuova, ma è diventata conveniente solo negli ultimi anni.

Riscaldamento con sonda geotermica

- Sonda geotermica “vera”: con una sonda verticale si preleva calore da una falda d’acqua profonda (più di 20metri) oppure dal terreno profondo. In questo caso il calore disponibile dipende effettivamente dal flusso geotermico che proviene dal centro della terra. La temperatura è costante durante tutto l’anno, e tipicamente attorno a 15 °C.
- Dal punto di vista tecnologico e d’impatto ambientale ci sono tutti i problemi legati alle perforazioni profonde: riguardano soprattutto la contaminazione delle falde acquifere, sia durante la perforazione che durante il funzionamento.
- Per approfondimenti:

www.cegl.it

Riscaldamento con sonda geotermica

- Sonda geotermica “impropria”: se si preleva il calore dal terreno o da una falda a profondità $< 10\text{m}$, in realtà si preleva calore solare accumulato spontaneamente.
- In questo caso la temperatura alle varie profondità presenta variazioni stagionali, sempre più deboli man mano che aumenta la profondità stessa.
- Per aiutare l'accumulo spontaneo si potrebbe immettere calore solare nel terreno d'estate con collettori solari termici e prelevarlo d'inverno.
- I problemi ambientali in questo caso sono inferiori rispetto al caso precedente (non si attraversano varie falde).

Riscaldamento con altri tipi di sonde

- Non è obbligatorio prelevare calore dal terreno: la sorgente di calore gratuito può essere qualunque sistema a T non troppo bassa: un laghetto, un corso d'acqua, o anche semplicemente l'aria ambiente.
- Il componente principale dell'impianto, ossia la pompa di calore, è ormai un oggetto molto diffuso e affidabile.
- Il tipo più diffuso (a compressione ed espansione di un gas) richiede energia elettrica per funzionare.
- E' essenziale che il sistema di riscaldamento sia a bassa T, in modo da avere COP elevato.
- E' necessario anche che l'edificio sia ben isolato, in modo che sia sufficiente una PC di potenza non troppo elevata.

Richiami sulla pompa di calore ideale

- Usando L , preleva Q_1 da T_1 e restituisce Q_2 a T_2
- $\text{COP}_i = Q_2 / L = T_2 / (T_2 - T_1)$
- P.e. se $T_1 = 285\text{K}$ e $T_2 = 305\text{ K}$
- Allora $\text{COP}_i = 15$, cioè con 1 J di energia meccanica ottengo 15 J di energia termica

www.enea.it

Richiami sulla pompa di calore reale

- Lavora in tempo reale; i vari processi non sono reversibili; caratteristica importante è la potenza.
- $COP_r \ll COP_i$; con le T della slide precedente è ragionevole $COP_r \approx 4-5$.
- Quindi: il sistema è conveniente se la potenza termica richiesta non è troppo grande (edificio ben isolato) e ΔT è piccolo (riscaldamento a pannelli radianti a bassa temperatura).

Impianto fotovoltaico

- Per avere 1 kW_p servono $\approx 6 \text{ m}^2$ di moduli in C-Si o p-Si, oppure $\approx 8 \text{ m}^2$ di moduli a film sottile CIS o CdTe.
- Le aree richieste continuano a diminuire, man mano che aumentano le efficienze dei moduli in commercio.
- Per ogni kW_p si producono (nella nostra zona) $\approx 1100 \text{ kWh}$ di energia elettrica
- Per impianti collegati alla rete non c'è problema di accumulo, anche se da un paio di anni si stanno diffondendo sul mercato sistemi di accumulo a batterie per utenze individuali
- Il costo attuale dell'impianto FV è attorno a 2000 €/kW_p
- Un impianto ben progettato, montato e mantenuto, dura almeno trent'anni.

Qualche calcolo veloce

- Con Impianto FV da 5 kW_p si producono circa 5500 kWh_e
- 18 GJ equivalgono a 5000 kWh_{th}
- Si possono ottenere con una PC a $\text{COP} \approx 4$ usando $\approx 1250 \text{ kWh}_e$
- Rimangono $\approx 4150 \text{ kWh}_e$: la casa può essere autosufficiente con la sola risorsa solare locale, compresa l'energia elettrica per l'eventuale raffrescamento estivo ed eventuale surplus.

Risparmio di elettricità

Per far bastare poco più di 4000kwh bisogna usare l'energia elettrica con discernimento.

- Evitare usi impropri dell'energia elettrica
- Usare apparecchi ad alta efficienza (descritta dall'etichetta energetica)
- Evitare di lasciare apparecchi in stand.by

www.enea.it

E per il carburante?

- Risulta chiaro che per ora prodursi in modo autonomo il carburante per l'automobile non è fattibile su piccola scala con la risorsa solare disponibile localmente.
- Però stanno cambiando molto rapidamente sia la situazione della generazione di idrogeno elettrolitico e del suo uso per autotrazione con pile a combustibile, sia la situazione della trazione elettrica con batterie ricaricabili.
- L'uso generalizzato di combustibili rinnovabili e di trazione elettrica presuppone anche una modifica radicale delle modalità di trasporto che utilizziamo.
- Nel frattempo sarà bene usare l'automobile di meno e con più attenzione ai consumi.

Due parole sull'idrogeno

- Molto plausibilmente sarà il principale vettore energetico in una situazione di sostenibilità
- Però dovrà essere prodotto a partire da materie prime e da fonti di energia rinnovabili (p.e. elettrolisi di acqua con elettricità FV)
- Attualmente ha senso usarlo comunque come combustibile “pulito” per il trasporto pubblico in aree particolarmente vulnerabili
Si veda p.e. www.h2andyou.org
- Ci sono anche iniziative di ricerca applicata e sviluppo che vogliono ottenere un sistema per generare con l'impianto FV sul tetto della casa anche l'energia elettrica che serva a produrre l'idrogeno necessario a far funzionare l'automobile (con motore elettrico e pila a combustibile): si vedano p.e. gli articoli di Kelly e Gibson del centro di ricerca della General Motors.

Ancora sull'idrogeno

- E' un carburante senza emissione né di inquinanti locali né di gas serra solo se viene usato in una pila a combustibile per azionare un motore elettrico.
- Se invece viene bruciato in un motore termico, puro o in miscela con metano (idrometano), si formano comunque ossidi di azoto (NO_x) a causa della temperatura elevata della fiamma.

Grazie dell'attenzione!

Per eventuali richieste di ulteriori informazioni
e/o di riferimenti bibliografici, sono
rintracciabile all'indirizzo e-mail

francesco.giusiano@fis.unipr.it