



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

EDITORIALE.

La rivoluzione spaziale.

Non ha nulla a che fare con quella francese, ma potrebbe essere forse più importante di quella industriale, che ha prodotto una evoluzione economica ed una industrializzazione della società, trasformandola da sistema agricolo-artigianale-commerciale ad industriale moderno, attraverso l'uso generalizzato di macchine e favorito da una forte componente di innovazione tecnologica.

Sarà ancora l'innovazione, insieme alla ricerca di nuove opportunità ed alla irriducibile propensione all'espansione dell'uomo verso nuovi orizzonti a determinare la rivoluzione spaziale.

Non siamo ancora entrati a pieno titolo in questa fase, ma abbiamo già fatto i primi passi, abbiamo già immaginato lo scenario. Ora stiamo adeguando la tecnologia, già esistente, per questa nuova fase della nostra civiltà.

Il recente fallimento del lancio della Soyuz con due astronauti verso la stazione spaziale internazionale, ci ha fatto percepire che i viaggi spaziali non sono ancora routine. Forse era più pericoloso un volo di linea Parigi Londra del 1910, ma resta il fatto che non siamo ancora arrivati a dominare lo spazio come vorremmo, anche se ci limitiamo al solo sistema solare interno! La spinta degli investimenti tesi a trovare nuove fonti di reddito avrà un ruolo forse più importante di quello delle singole agenzie spaziali governative, mosse invece "solo" dalla ricerca scientifica e magari anche da aspetti meno nobili, come la mira espansionistica o la supremazia militare di quel paese. Sono ormai diverse le aziende private che vedono nella esplorazione spaziale una fonte di solido guadagno: fonti tra le più diversificate, che vanno dal turismo spaziale, allo sfruttamento minerario degli asteroidi o alla colonizzazione della Luna per scopi di sfruttamento di materie prime. La SpaceX di Elon Musk, la Stratolaunch Systems di Paul Allen, purtroppo appena scomparso, ed altre compagnie come la Planetary Resources, Inc. e la Deep Space Industries, (tutte americane) stanno lavorando alacremente per arrivare ad un risultato. Considerando gli investimenti nel settore, possiamo stare certi che presto entreremo definitivamente in questa nuova era. Non vedremo grossi cambiamenti nella nostra vita quotidiana, come è successo per la

rivoluzione industriale, ma godremo comunque dei risultati attraverso i prodotti che troveremo sul mercato: dalla completa elettrificazione delle automobili, che useranno elementi e minerali che ormai sulla Terra scarseggiano; dall'energia elettrica che sarà prodotta con centrali a fusione alimentate con Elio3, prelevato dalla superficie lunare; dalle gite spaziali disponibili (a caro prezzo) presso le agenzie di viaggio. Ma non ci si fermerà qui! Nei prossimi secoli tutto il sistema solare sarà invaso da questa rivoluzione spaziale. Poi forse ci accorgeremo che non potremo andare oltre... ma io lì non ci arrivo con una onesta previsione, senza scendere in una fantasia degna di Star Trek.

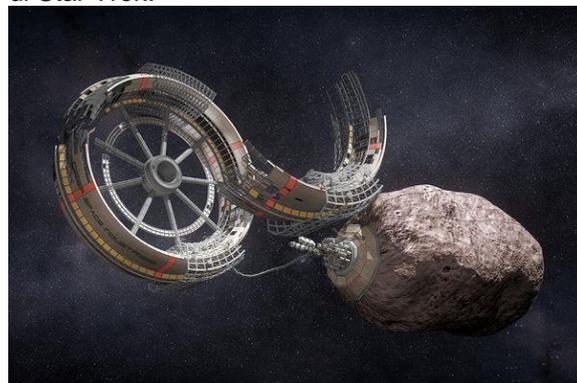


Illustrazione artistica: costruzione di una grande stazione spaziale. Per gentile concessione Bryan Versteegm, DSI e di National Geographic.

Il presidente.

Luigi Borghi (borghiluigi23@gmail.com)

Indice

Astronautica. Di Luigi Borghi	Pag. 2
Come funziona un razzo?	
Quarta ed ultima parte: razzi nucleari.	
Astronomia. Di Roberto Castagnetti.	Pag. 13
Impatti... meglio evitarli.	
Ambiente. Domande impossibili.	
Di Leonardo Avella e Luigi Borghi....	Pag. 17
Come risolvere il problema della CO ₂	



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Per il ciclo "le domande impossibili".

Di Leonardo Avella e Luigi Borghi.

Ecco quella che vi proponiamo in fondo a questa edizione a pag. 13:

Quanti alberi servirebbero e cosa bisognerebbe fare per azzerare la CO₂ nel nostro pianeta?

Come funziona un razzo? Quarta parte: razzi nucleari.

Di Luigi Borghi.

Siamo arrivati all'ultima parte della nostra rassegna sui diversi modi di spingere una astronave nello spazio. Potrei dire che la propulsione nucleare è avveniristica perché in effetti è una tecnologia che ancora abbiamo, ma sarebbe falso. La fonte di energia nucleare fu la prima, dopo lo sviluppo dei razzi chimici, ad essere implementata come propulsore, e furono pure realizzati dei prototipi a fine anni '50, senza però mai arrivare a qualche cosa di utilizzabile concretamente.

La ragione principale della chiusura precoce dei progetti, sia da parte americana che da parte russa fu senz'altro l'accordo di non proliferazione nucleare tra i due paesi, oltre che l'estrema pericolosità, in caso di incidente, per le città o i centri abitati vicini alla rampa di lancio o al sito di caduta dei detriti.

Ci sono però oggi due segnali che ci fanno capire che forse questa tecnologia riprenderà da dove era rimasta per svilupparsi pienamente. Il primo segnale è legato al fatto che oggi i reattori a fissione di piccole dimensioni sono decisamente più affidabili ed il secondo è imposto da fatto che le future missioni umane oltre l'orbita lunare (anche solo Marte), equipaggiate con razzi tradizionali, richiederebbero tempi di volo veramente proibitivi per gli astronauti, sia dal punto di vista fisico che psicologico.

Quindi vediamoci questa panoramica non come fantascienza, ma come lo stato di una tecnologia in crescita.

Questa enorme quantità di energia resa disponibile dalla reazione nucleare può essere convertita in spinta attraverso vari metodi.



La fonte di alimentazione GPHS-RTG utilizzata per la sonda Cassini.

(Immagine per gentile concessione della NASA.)

1) Propulsione elettrica nucleare

Un modo utilizzare l'energia nucleare per basse potenze è quello di convertirla direttamente in energia elettrica per poi alimentare un razzo elettrico, come già visto in precedenza.

Questo può essere ottenuto usando materiali radioattivi che decadono lentamente e generano calore, che viene poi convertito attraverso speciali diodi in energia elettrica (effetto Seebeck).

Questi sistemi sono chiamati generatori termici a radioisotopi (RTG) e sono usati per decenni nelle missioni spaziali. La figura in basso a sinistra mostra il GPHS-RTG usato per alimentare la sonda Cassini.

Gli RTG standard utilizzano l'ossido di plutonio, PuO₂ come fonte radioattiva. Sono state usate simili fonti di energia anche sulle sonde Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1, Voyager 2, Galileo, Ulisse, Cassini, New Horizons, i lander Viking e varie missioni Apollo. Il

I russi hanno anche lanciato veicoli spaziali usando RTG. Molti di loro hanno utilizzato stronzio 90Sr.

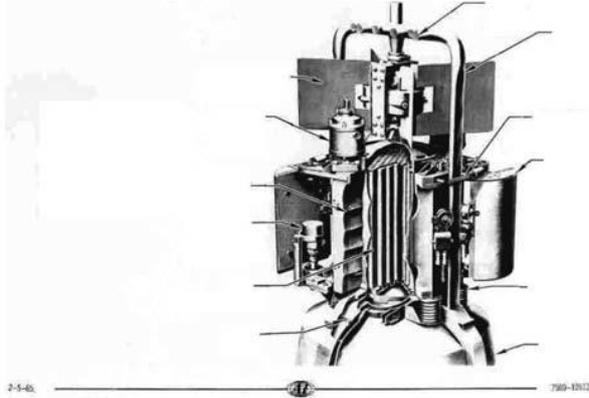
Gli RTG sono ben compresi, è una tecnologia matura, e forniscono una potenza stabile per periodi molto lunghi di tempo. I sistemi di alimentazione per le astronavi Voyager sono ancora funzionanti con oltre l'80% delle prestazioni originali progettate.

Lo svantaggio degli RTG è che possono fornire solo poche centinaia di watt di potenza. Perciò, gli RTG non sono un buon candidato per le fonti di propulsione ad alta potenza per i razzi elettrici.

Al contrario, i reattori a fissione nucleare invece sono un grande candidato, perché la loro potenza può essere enorme. Come abbiamo anticipato, l'uso di reattori a fissione nucleare non è una nuova idea per l'alimentazione di veicoli spaziali. In effetti, sia gli Stati Uniti che i russi hanno preso in considerazione l'idea dall'inizio del programma spaziale e ciascuno di essi ha fatto volare i reattori nello spazio. Il reattore americano che ha

volato è chiamato "sistema di alimentazione ausiliaria nucleare o SNAP-10°.

spaziale o addirittura danneggiarli irrimediabilmente.



Il sistema del reattore a fissione SNAP-10A.
(Immagine gentilmente concessa dal Dipartimento per l'energia degli Stati Uniti.)

La conversione di potenza può essere implementata con diverse tecnologie.

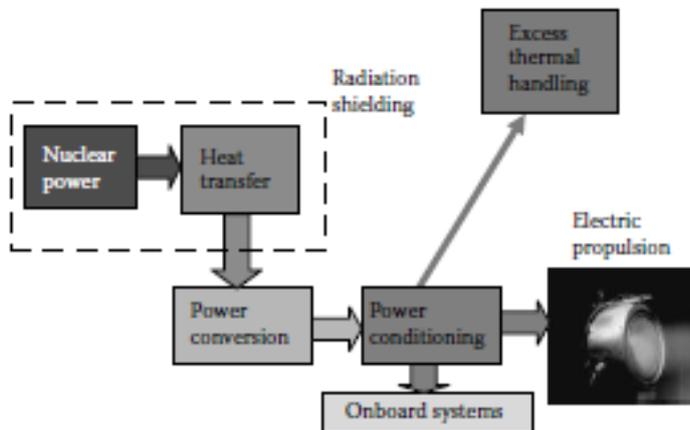
Cicli, come Brayton, Stirling o Rankine che sono alla base del progetto dei motori a vapore o endotermici di qualsiasi tipo.

I cicli di conversione più studiati fanno uso di generatori Brayton o Stirling. La natura di questi generatori è che le parti mobili vengono messe in movimento dai liquidi fluenti.

Queste parti mobili mettono in rotazione un albero calettato con un generatore elettrico che produce elettricità.

Poiché i cicli di conversione sono efficienti solo dal 20 al 30% nella conversione calore a energia elettrica, vi è la necessità di gestire il calore in eccesso del sistema.

Se un reattore genera 300 kW di energia termica (solitamente indicato come 300 kWt), potrebbe produrre 100 kW elettrici (100 kWe) lasciando un ulteriore 200 kWt di disponibilità termica.



I componenti di base di un sistema di propulsione elettrica nucleare (NEP).

Una centrale nucleare crea calore dalla fissione radioattiva, reazione che si svolge al suo interno. Il calore viene trasferito poi attraverso alcuni mezzi, come il riscaldamento del metallo liquido o di un sale. Il flusso di quel liquido attraverso i tubi va poi ad una unità di conversione di potenza, da calore a meccanica. Sia il sistema di energia nucleare che il trasferimento di calore è in genere progettato per essere all'interno di un ambiente schermato dalle radiazioni.

Il motivo della schermatura è di evitare il decadimento radioattivo di particelle che sfuggono e colpiscono altri sistemi all'interno del veicolo spaziale. Questo potrebbe influenzare le sensibili misure degli strumenti di bordo del velivolo



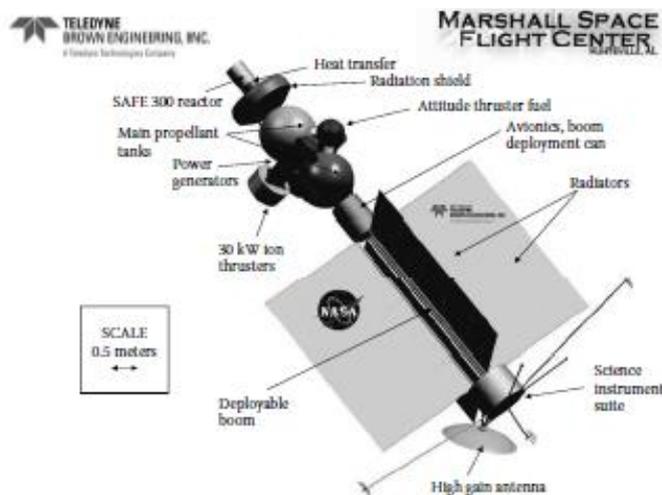
Schema della navicella spaziale NEP Tompaugh Orbiter. (Per gentile concessione di Teledyne Brown Engineering.)



Il C.O.S.MO. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39° - Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Nello spazio, il trasferimento di calore diventa un problema in quanto non c'è aria che scorre intorno al veicolo spaziale per il quale trasferire il calore. Quindi, devono essere usati grandi radiatori per irradiare l'energia termica nello spazio.



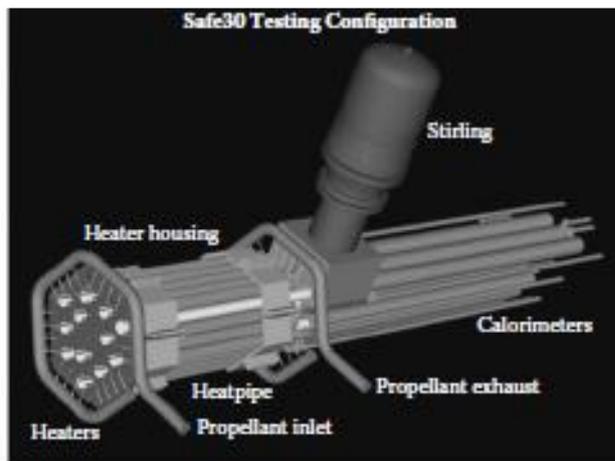
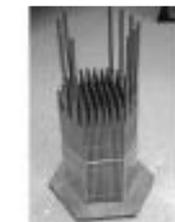
Rendering artistico della navicella NEP Tombaugh Orbiter. (Per gentile concessione di Teledyne Brown Ingegneria.)

Una volta che la potenza viene convertita da calore a elettricità, viene quindi condizionata al formato di tensione e corrente che il razzo elettrico richiede.

La potenza elettrica viene quindi applicata al propulsore. Il propellente scorre attraverso il propulsore e la spinta è generata.

Nel 2001, un nuovo interesse per la NEP è stato creato da un team congiunto tra NASA, Marshall Space Flight Center e Teledyne Brown Engineering. Hanno iniziato studiando il concetto e poi hanno proposto il Tombaugh Orbiter, una sonda adatta allo spazio profondo, ideata per orbitare e studiare il planetoido Plutone, la sua luna Caronte, e poi per passare alla cintura di Kuiper.

Il progetto è stato poi anticipato dalla sonda New Horizons, con generatore elettrico RGT ma con razzi ad idrazina, che è ancora in viaggio verso la



Alcuni schemi del banco di prova SAFE-30 utilizzato nello sviluppo dei test.

cintura di Kuiper, dopo aver fatto un lavoro egregio sorvolando a folle velocità sia Plutone e Caronte. Il progetto del veicolo spaziale ha implementato un reattore a fissione sviluppato dalla NASA e il Dipartimento di Energia (DOE) chiamato "Safe Affordable Fission Engine o reattore SAFE come è diventato famoso.

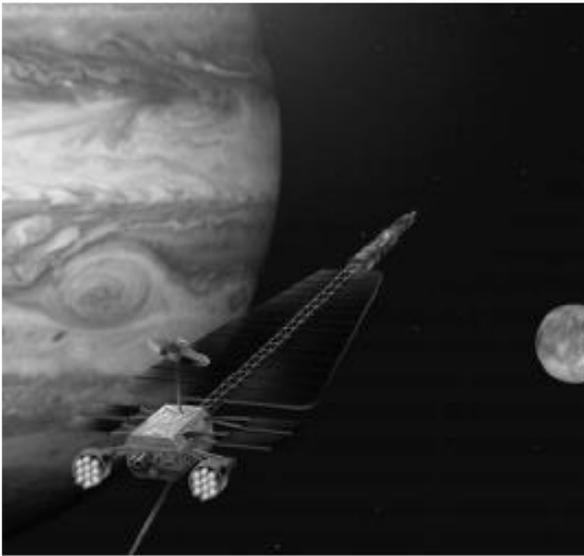
Il motore è stato studiato in molte versioni che vanno da un SAFE-30 testato, che produrrebbe 30 kWt, a un SAFE-400, che produrrebbe 400 kWt.

Tombaugh Orbiter doveva implementare un reattore SAFE-300, con un convertitore di potenza Stirling e sei propulsori ionici da 30 kW in fase di sviluppo al momento dal NASA Glenn Research Center. I propulsori ionici erano versioni scalate del motore NSTAR utilizzato nella missione Deep Space DS1 menzionato in precedenza.

Come abbiamo già detto, per la missione su Plutone, la NASA ha scelto poi un diverso design di veicolo spaziale (la New Horizons) che utilizza un RTG da 240 W come generatore elettrico, ma usa propulsori ad idrazina per il controllo dell'attitudine piuttosto che per qualsiasi versione di propulsione elettrica. Sebbene Tombaugh Orbiter non sia stato scelto per la Missione di Plutone, ha riacceso l'interesse per l'idea di NEP.

comunità spaziale ed è stato parzialmente responsabile per l'inizio di una nuova iniziativa della NASA chiamata Jupiter Icy Moons Orbiter (JIMO) e Project Prometheus. La nuova iniziativa guidata da NEP è stata quella di sviluppare un veicolo spaziale con cui viaggiare Verso Giove e in orbita attorno al sistema gioviano per studiare tutto il pianeta e le lune.

Avrebbe usato un reattore SAFE-400 come fonte di energia, generatori di conversione di potenza del ciclo Brayton, con un grande radiatore e otto grandi propulsori ionici. Il progetto è stato fermato nel 2005 quando la NASA si è riorganizzata con i suoi piani di finanziamento interni e riallineati per il nuovo veicolo di lancio e programmi della Luna.

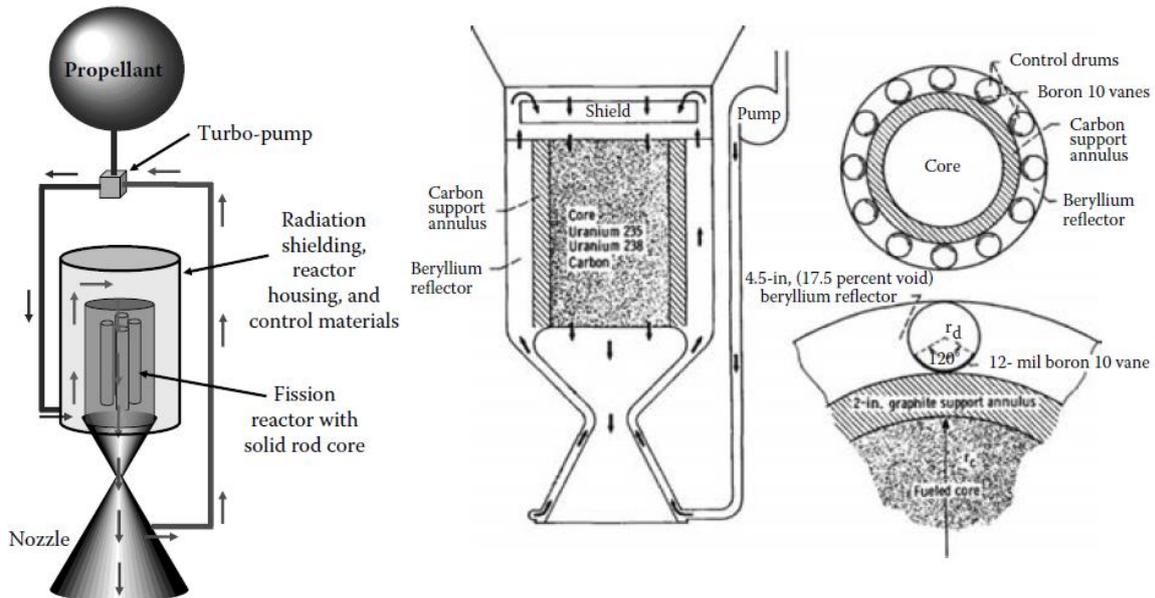


Rendering di un artista del concetto di progetto finale per il veicolo spaziale JIMO.

2) Propulsione a razzo nucleare

La figura in basso a sinistra mostra uno schema del razzo termico nucleare (NTR). A differenza del concetto di NEP discusso in precedenza, l'NTR è veramente un motore a razzo con propulsione nucleare

Il reattore a fissione è il componente chiave di questo motore a razzo che sfrutta l'espansione termodinamica dei gas propellenti. Una fonte fissile, come l'uranio arricchito al grado di reattore (U235) viene utilizzato per generare calore. Il livello del processo di fissione radioattiva è controllato da barre di controllo del moderatore e da riflettori dello stesso materiale (tipicamente grafite ma anche carburo di boro e berillio). Il propellente normalmente scorre attraverso il reattore a fissione come refrigerante per il core. A sua volta, il propellente viene surriscaldato e termodinamicamente espanso nella camera di espansione del motore a razzo.



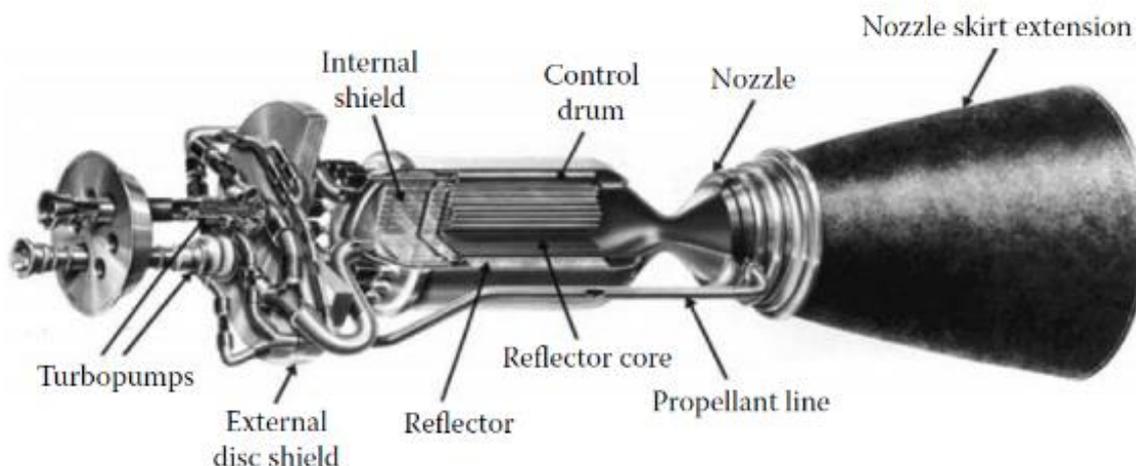
A questo punto, il motore del razzo funziona come qualsiasi altro tipo chimico o elettrico in quanto il flusso riscaldato viene forzato dalla camera di espansione in un ugello convergente-divergente.

Core solido.

Lo schema della pagina precedente illustra un sistema NTR che utilizza barre di combustibile solido per il nucleo del reattore nucleare. Il nucleo solido è il più tradizionale.

Infatti, la figura a destra mostra un'applicazione sul Motore Nucleare per veicoli a razzo (NERVA). Il motore NERVA era basato sul reattore nucleare Kiwi mostrato nelle figure in basso e sotto test nella pagina successiva, che non è diverso dal reattore SAFE descritto in precedenza.

Il motore a razzo NERVA. (Immagine per gentile concessione della NASA.)



Il motore NERVA fu sviluppato negli anni '60 dalla NASA e fu inizialmente studiato come sostituto dello stadio superiore del motore liquido J2 sul Saturn V.

NERVA produsse 867 kN di spinta (88,5t), un'isp di 380 secondi al livello del mare e 825 secondi nel vuoto, con un tempo di combustione di circa 1.200 sec.

Ha usato idrogeno liquido come refrigerante/propellente. A livello del mare, il motore non ha funzionato bene come le SSME,

ma nello spazio ha sovraperformato di un fattore due o più.

Esistono altri modelli di anime solide che utilizzano ciottoli e polvere di materiale fissile come fonte di calore. Questi reattori hanno dimostrato di avere il potenziale per migliorare le prestazioni del motore a razzo a oltre 1.000 secondi di impulso specifico. Ci sono ancora domande sul rapporto costo/efficacia di tali progetti.

Core liquido.

Un motore nucleare a nucleo liquido utilizza un materiale appunto liquido come fonte fissile. Poiché il nucleo in questi tipi di reattori è già in forma liquida, può essere riscaldato a temperature superiori al punto di fusione dei materiali del

nucleo e, pertanto, può essere più efficace.

I fattori limitanti nel modo in cui un reattore può riscaldarsi è lo stress che la parete del contenitore può gestire e il punto di fusione dei riflettori e dei moderatori. I motori a nucleo liquido potrebbero potenzialmente fornire impulsi specifici fino a 1.500 sec. Tuttavia, come procedere per costruire un tale motore in sicurezza è ancora in discussione.

I fluidi radioattivi devono essere mantenuti all'interno del motore. Il processo di trasferimento del calore tra il fluido radioattivo e un gas propellente è difficile e deve ancora essere completamente elaborato.



Il reattore del Kiwi nel Nevada Test Site negli anni '60. (Immagine per gentile concessione della NASA e degli Stati Uniti Dipartimento dell'Energia.)

Core gassoso.

Un motore con un nucleo gassoso userebbe una tasca di uranio gassoso come combustibile del reattore. Per evitare che il gas fuoriesca dal motore del razzo, deve essere alloggiato in un contenitore di quarzo ad altissima temperatura.

Questa "lampadina nucleare" si posizionerebbe nel mezzo della camera di espansione in cui l'idrogeno è fluito intorno ad esso e surriscaldato.

L'idrogeno espanso fluirebbe quindi attraverso un ugello convergente-divergente.

Gli studi suggeriscono che un tale motore potrebbe raggiungere impulsi specifici di oltre 2.000 secondi.

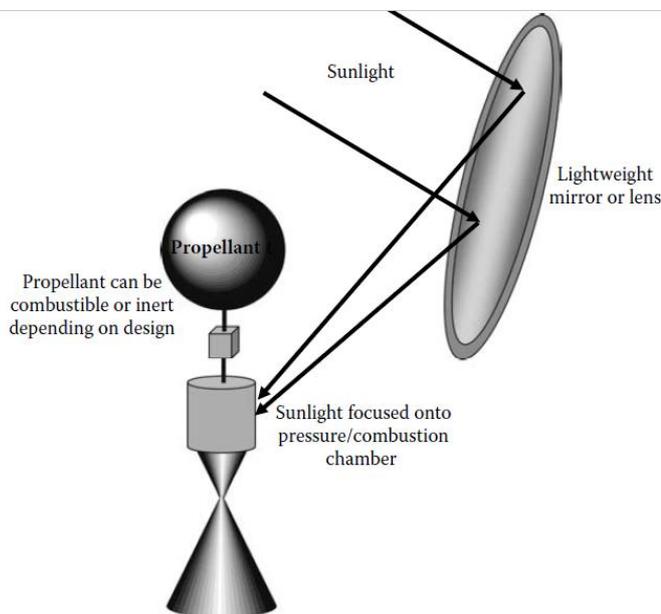
Non è mai stato realizzato un prototipo di questa tecnologia.

Visto che siamo verso la fine di questa rubrica dei motori per razzi, vi è un'altra tecnologia che, sulla carta, potrebbe avere un impiego conveniente per una certa parte di missioni nella parte interna del sistema solare: sono i razzi a riscaldamento solare.

Solar Rocket Engines

Come il concetto NTR, un design simile a un motore a razzo è il razzo solare termico (STR). In questo caso, si usa un grande specchio leggero, o una lente, per focalizzare la luce del sole sulla camera di espansione termodinamica.

Diagramma di base del concetto STR.

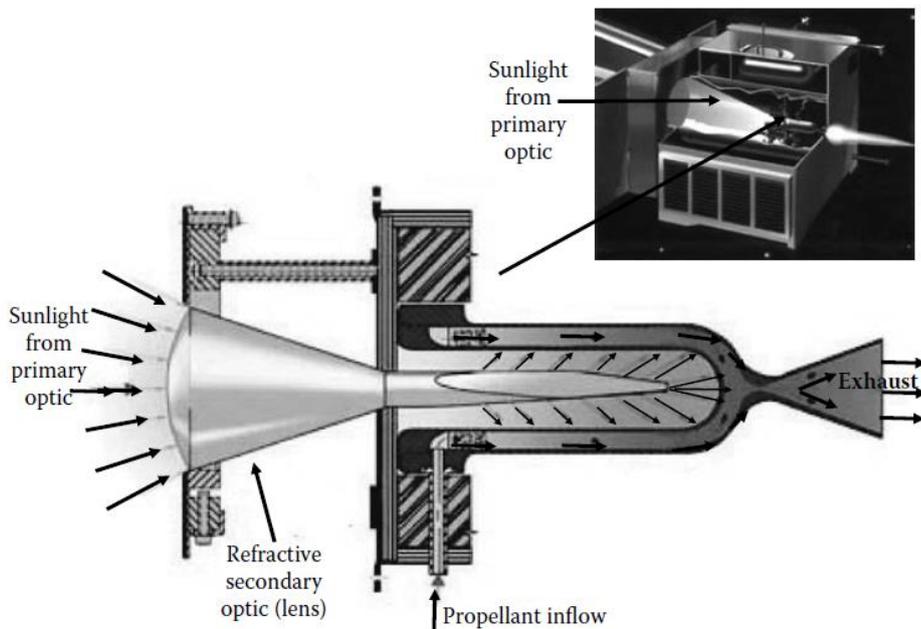


La luce del sole focalizzata riscalda quindi un liquido propellente e lo espande fino a quando non viene espulso dall'ugello convergente-divergente.

Come menzionato in precedenza ci sono circa 1.355 W / m^2 di luce solare a 1 UA da Sole (la distanza della Terra dal Sole). Quindi, con una dimensione modesta di "collettore solare" (lente o

sarebbe $78,53 \text{ m}^2$. Quindi, con l'irradiazione incidente dal sole di 1355 W / m^2 , l'obiettivo può raccogliere

Più di 100 kW di potenza e focalizzarla sulla camera del razzo.



Il meccanismo di focalizzazione può essere un dispositivo a lente rifrattiva usato per diffondere la luce solare nella camera di espansione.

Assumendo che il design dell'STR sia come indicato nell'esempio a sinistra, e che sia stato dimensionato per funzionare anche a distanze di decine di AU, dobbiamo aggiungere che ad 1 AU dal Sole l'irraggiamento della camera del razzo, con uno specchio di 78 m^2 sarebbe troppo elevato.

Supponiamo anche che solo il 10% della luce solare raccolta sia effettivamente convertita in energia termica, le proprietà del motore a razzo consentirebbero una esposizione diretta al Sole per solo 0,1 secondi alla volta prima che sia necessario un tempo di raffreddamento di 10 secondi.

In altre parole, il razzo pulsa con una durata degli impulsi di 0,1 sec con un minimo di 10 secondi tra gli impulsi.

Quello che vediamo da questo esempio è che forse il nostro concentratore è troppo grande per il nostro design del motore perché se fosse tenuto in luce solare continua per più di un decimo di secondo o più, la temperatura all'interno della camera supererebbe di gran lunga il punto di fusione di qualsiasi materiale da costruzione e il razzo esploderebbe o semplicemente distruggerebbe sé stesso.

specchio), una quantità significativa di energia termica può essere trasferita al gas propellente. Questo concetto non è diverso dall'uso di una lente d'ingrandimento per bruciare la carta. Una lente dell'ordine di alcuni centimetri di diametro è ampia a sufficienza per raccogliere abbastanza luce solare e quindi per focalizzarla su un punto minuscolo. Il numero di watt di potenza all'interno del raggio rimane lo stesso, ma l'area in cui è contenuto è diminuita drasticamente.

La luminosità del punto, come abbiamo già visto, è in W / m^2 o potenza per area. Quando l'area scende, la luminosità aumenta.

Collettore solare termico.

Se consideriamo una lente di 5 m di raggio, nell'orbita terrestre, l'area di quell'obiettivo



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018



Shooting Star STR refractive secondary concentrator. (Image courtesy of NASA.)

3) Cosa si sta facendo oggi?

Fonte: <https://www.astronauticsnews.it/2017/08/31/nasa-stipula-un-contratto-con-bwxt-nuclear-energy-per-sviluppare-la-propulsione-termonucleare/>

L'agenzia spaziale statunitense è sempre alla ricerca di alternative innovative ed economiche alle tecnologie di propulsione convenzionale chimica che le consentano di esplorare nuovi percorsi nel sistema solare. I ricercatori del centro NASA Marshall Space Flight Center di Huntsville in Alabama ritengono in particolare che le tecnologie di **propulsione termonucleare** in questo momento siano più promettenti che mai e **hanno stipulato un contratto con la BWXT Nuclear Energy di Lynchburg in Virginia per cercare di sviluppare ulteriormente questi concetti.**

Il contratto stipulato rientra nel più ampio Game Changing Development Program di NASA che è appunto orientato allo sviluppo di nuove tecnologie in grado di "cambiare le carte in tavola" nell'esplorazione spaziale, cosa che al centro Marshall credono fermamente possa fare la Propulsione Termo-Nucleare (Nuclear Thermal Propulsion o NTP). Infatti, la NTP è in grado di accelerare a un'alta velocità una grossa quantità di propellente da espellere tramite un ugello classico opportunamente sagomato e dimensionato. Si tratta di una caratteristica molto importante poiché la spinta che un motore riesce a imprimere a un razzo è regolata dalla famosa

equazione del razzo di Tsiolkovsky in cui il cambiamento di velocità è direttamente proporzionale alla velocità di uscita dei gas e al logaritmo del rapporto della differenza di massa.

Equazione del razzo di Tsiolkovsky

$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_i}{m_f}$$

v_e = velocità espulsione
 m_i = massa iniziale
 m_f = massa finale

Con queste peculiarità la NTP riesce a combinare entrambe le caratteristiche delle propulsioni attualmente utilizzate: **la grossa spinta tipica dei propulsori chimici (ma con poca efficienza) e l'alta efficienza dei motori elettrici (ma con poca spinta).**

Come termine di paragone si può prendere lo SSME, il motore principale dell'orbiter del programma STS, che è considerato uno dei migliori motori chimici prodotti negli ultimi 40 anni, tanto da essere utilizzato anche nel futuro Space Launch System, il vettore pesante di NASA. **L'ipotesi di motore NTP allo studio ha un'efficienza stimata che è il doppio di quella di un SSME.**

"Appena ci addentriamo nel sistema solare, la propulsione nucleare potrebbe offrirci l'unica opzione tecnologica veramente utilizzabile per estendere il raggio di esplorazione umana fino alla superficie di Marte e oltre," ha dichiarato Sonny Mitchell, il direttore del progetto sulla propulsione termonucleare al centro Marshall. *"Siamo eccitati nel lavorare su tecnologie che possono aprire l'esplorazione umana dello spazio profondo."*

Le prestazioni del sistema NTP studiato potrebbero accorciare il tempo di viaggio verso Marte portandolo dai 6 mesi previsti negli studi di fattibilità attuali a circa 4 e riducendo così l'esposizione alle radiazioni cosmiche di un eventuale equipaggio umano che allo stato attuale è uno dei maggiori ostacoli da superare.

È proprio per questo che i ricercatori del centro Marshall ritengono che lo sviluppo di questa tecnologia potrebbe dare un grosso contributo all'esplorazione dello spazio poiché contribuirebbe anche a ridurre la massa dei veicoli coinvolti o in alternativa ad aumentarne il carico utile sia scientifico che di sostentamento dell'equipaggio.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018



Alcuni degli impianti dedicati al progetto Propulsione Termo-Nucleare presso il Marshall Space Flight Center di NASA
Credits: NASA

Assodata la necessità di effettuare studi su questa tecnologia, l'agenzia spaziale statunitense ha ritenuto opportuno rivolgersi a chi ha esperienza nel campo della tecnologia nucleare e quindi ha deciso di collaborare con l'azienda BWXT Nuclear Energy di Lynchburg in Virginia.

L'azienda ha una vasta esperienza nel campo essendo la fornitrice di combustibile nucleare per la U.S. Navy, la marina militare degli Stati Uniti.

Nell'ambito del progetto NTP l'azienda collaborerà con il centro Marshall alla progettazione e alla sperimentazione di un nuovo tipo di propulsore termonucleare basato sullo sfruttamento di uranio a basso arricchimento ma soprattutto fornirà tutto il suo know-how nel campo dei combustibili atomici per lo sviluppo di propellenti di tipo "cermet" (**Cermet: Uranio impoverito; ceramico-metallo**).

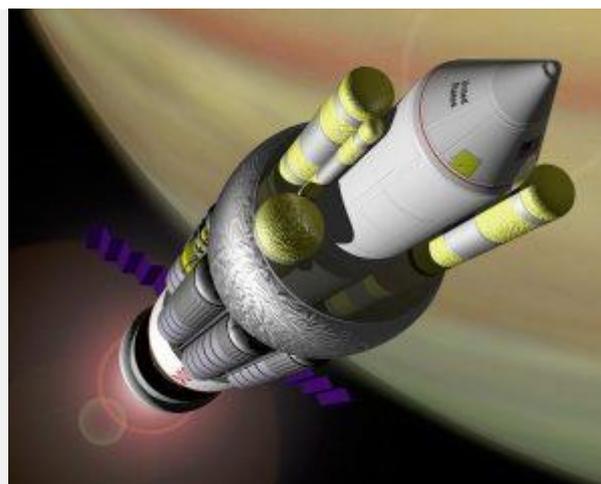
Si tratta di tutta una serie di materiali creati per la prima volta negli anni 30 del secolo scorso ma studiati e sviluppati in maniera più approfondita dopo la Seconda Guerra Mondiale che aveva evidenziato la necessità per l'industria meccanica di materiali resistenti alle alte temperature e alle

sollecitazioni meccaniche. I cermet derivano dall'unione di una parte di tipo ceramico e una di tipo metallico mediante un processo di sinterizzazione: polveri fini delle due componenti vengono mescolate, pressate e poi riscaldate mantenendo una pressione alta in modo che i granuli delle polveri si uniscano a formare un pezzo unico. Questo significa che non si tratta di metalli veri e propri, ma carburi (80-95%) legati da un metallo.

Il contratto di collaborazione ha la durata di 3 anni e prevede un pagamento di 18,8 milioni di dollari alla BWXT che dovrà realizzare e testare

dei prototipi di elementi di combustibile.

Altro impegno stabilito dal contratto è il supporto a NASA per definire il quadro normativo e le licenze in questo ambito di combustibili nucleari. Grazie a questo contratto NASA dovrebbe riuscire a definire la fattibilità tecnica e pratica di un motore a propulsione termonucleare stabilendo allo stesso tempo i parametri tecnici da soddisfare nelle implementazioni degli anni a venire di questa promettente tecnologia.



Una rappresentazione artistica del Progetto Orion
Credits: NASA



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Il concetto di propulsione nucleare, come abbiamo visto nelle pagine precedenti, non è certo nuovo in ambito astronautico e gli Stati Uniti sono stati pionieri in questo campo con diversi studi di fattibilità e anche diversi test a terra a partire dal 1955 (basti ricordare ad esempio il Progetto Orion che prevedeva la propulsione mediante una serie di esplosioni nucleari) ma tutti sono stati accantonati per svariati motivi.

Alcuni sono di natura etica come il bando dei test nucleari già negli anni 60 del XX secolo o i timori di dispersione di materiale radioattivo dovuti a eventuali incidenti, ma il colpo di grazia a questi studi è stato dato dal posticipo a data da destinarsi dei programmi verso Marte subito dopo la chiusura del programma Apollo nelle prima metà degli anni 70.

Da quella data la propulsione nucleare non ha mai generato grosso interesse visto che l'attività spaziale era quasi sempre focalizzata sull'orbita bassa ma il rinnovato interesse per Marte negli attuali programmi di NASA ha riportato in auge questa tecnologia.

Secondo quanto programmato già a fine settembre il programma dovrebbe aver valutato la fattibilità di utilizzo di uranio a basso arricchimento come combustibile e quindi avviare un anno di test sulla producibilità e usabilità di elementi di combustibile di tipo cermet realizzando i test con barre a lunghezza piena nelle installazioni del centro Marshall, le uniche di questo genere al mondo.

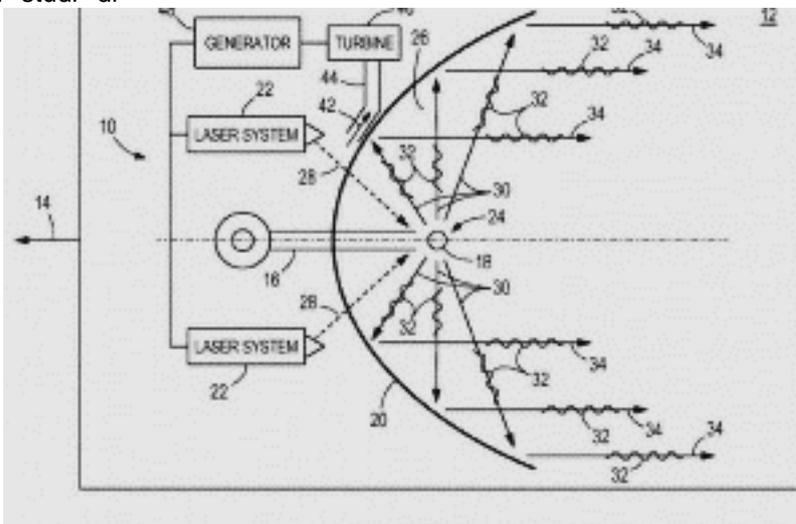
A sovrintendere tutto il Game Changing Development Program e quindi anche il progetto NTP che ne fa parte, sarà lo Space Technology Mission Directorate di NASA.

Fonte: NASA

L'aereo a propulsione nucleare di Boeing.

Fino ad ora abbiamo parlato di razzi, ma l'idea del nucleare come fonte energetica ha sollecitato anche i grandi costruttori di aerei.

Boeing ha infatti recentemente brevettato un motore jet alimentato da laser ed esplosioni nucleari.



Uno degli schemi del motore nucleare di Boeing | UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE.

I motori a reazione convenzionali utilizzano ventole e turbine per comprimere l'aria e incendiare il combustibile che genera la propulsione. Il motore nucleare di Boeing utilizza un principio completamente diverso: **un laser ad alta energia viene indirizzato verso un pellet che contiene un mix di deuterio e trizio. Questo si vaporizza generando, di fatto, una piccola fusione nucleare.**

Come residuo della reazione rimangono elio e idrogeno, che escono ad altissima pressione dalla parte posteriore del motore spingendo in avanti l'aereo.

DINAMO ATOMICA. La reazione genererebbe inoltre una pioggia di neutroni veloci che, colpendo una parete di materiale fissile, dovrebbero generare un calore elevatissimo all'interno della camera di combustione.

Tale calore verrebbe poi tenuto sotto controllo grazie a una serpentina refrigerante posizionata all'esterno.

Questo liquido, una volta surriscaldato e vaporizzato, verrebbe convogliato all'interno di una turbina collegata a un generatore di corrente che fornirebbe al laser l'energia necessaria al funzionamento del motore.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Insomma, una specie di dinamo in versione... nucleare.

UN MOTORE PER LO SPAZIO. Il progetto non è nuovissimo: secondo i documenti che trovate qui: <http://pdfpiw.uspto.gov/piw?PageNum=0&docid=09068562&DKKey=77B1702803AB%0D%0A&HomeUrl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnp-Parser%3Fsect1%3DPTO1%2526sect2%3DHITOFF%2526d%3DPALL%2526p%3D1%2526u%3D%25252Fnetahml%25252FPTO%25252Fsrchnum.htm%2526r%3D1%2526f%3DG%2526i%3D50%2526s1%3D9%2C068%2C562.PN.%2526OS%3DPN%2F9%2C068%2C562%2526RS%3DPN%2F9%2C068%2C562> il brevetto è stato depositato dalla Boeing nel 2012 ma è stato portato all'attenzione della stampa solo qualche giorno fa grazie a un articolo comparso sul sito *BusinessInsider*.

Potrebbe funzionare davvero? In teoria sì: il materiale fissile potrebbe essere uranio-238.

Certo esistono diversi rischi: il più evidente è mettere materiale radioattivo in mezzi di trasporto che ogni tanto cadono.

CONCLUSIONE!

Bene, direi che siamo arrivati in fondo all'analisi dei tipi di motori disponibili oggi o in fase di sviluppo per consentire ad un mezzo spaziale di muoversi nel vuoto o anche di staccarsi da Terra.

Sono tecnologie in continua evoluzione, pertanto ci sarà bisogno ogni tanto di riprendere il discorso con nuove performance ma, salvo sviluppo di tecnologia a noi non ancora note, i motori a razzo sono quelli che vi ho descritto in queste quattro puntate.

Spero che ora, se avete avuto la pazienza di arrivare fino in fondo, quando sentirete parlare di un veicolo spaziale, siate in grado di capire come si muove nello spazio e perché ha usato una certa tecnologia piuttosto che un'altra.

Certo che non sarete in grado di progettare un motore, come non lo sono io, ma lo scopo di

questa rubrica non è quel di formare degli ingegneri ma di divulgare scienza e tecnologia.

Sotto questo aspetto credo che, pur avendo "margini di miglioramento" il nostro obiettivo lo abbiamo raggiunto.

Concludo dicendo che tra tutte le tecnologie prese in esame, non abbiamo visto quella che ci porterà fuori dal sistema solare.

Non l'abbiamo vista perché non c'è!

Le immani distanze che ci separano da altri mondi orbitanti intorno ad altre stelle possono essere coperte solo in tempi biblici e con astronavi enormi dove il 99,9999...% del combustibile è utilizzato per spingere sé stesso.

La soluzione del problema si troverà (forse) quando si potrà usufruire della fusione nucleare come fonte di energia e di qualsiasi tipo di materia, incluso l'idrogeno intergalattico, come propellente (trascurando per un attimo il "come" raccogliarlo). Oppure, la soluzione delle soluzioni, scoprire che il "motore impossibile" o "Em drive" non sia un semplice errore di misura, come scoperto nell'ultimo test di maggio, ma che in effetti sia possibile trasformare l'energia in spinta senza usare un propellente.

Sento già che Sir Isaac Newton si sta rigirando nella tomba, ma gli è già successo con la relatività di Einstein quindi se ne farà una ragione.

Poi, volendo usare la fisica della fantasia, abbiamo anche il motore a curvatura, gli wormhole ed il teletrasporto, che ci possono portare dove vogliamo in un attimo.

Per ora però sposta solo il pensiero della nostra mente e niente altro.

Grazie per la pazienza dimostrata.

IMPATTI... MEGLIO EVITARLI.

di **Roberto Castagnetti.**

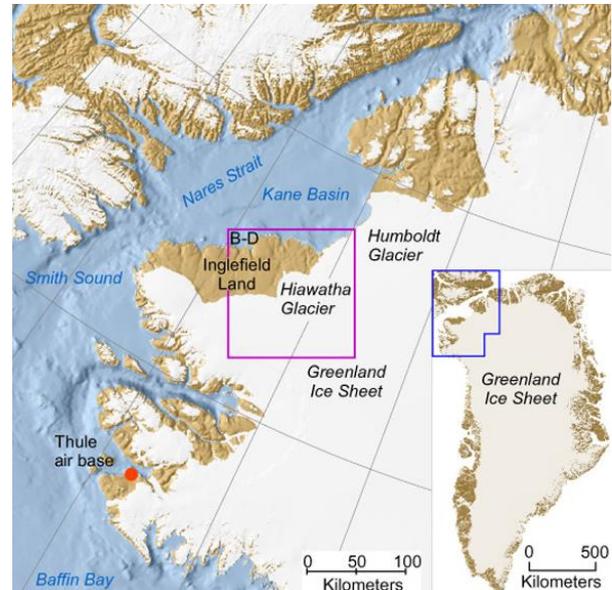
Nel nord ovest della Groenlandia, sotto il ghiacciaio Hiawatha, è stato recentemente scoperto un grande cratere da impatto. I radar hanno, infatti, identificato, sotto ad uno strato di ghiaccio spesso un chilometro una depressione circolare dal considerevole diametro di 31 km.



Il cratere Hiawatha (rappresentazione grafica)

Già dal 1997 si sospettava che nelle profondità di quella zona vicina alla costa, in cui un grande ghiacciaio lascia il campo al terreno scoperto, fosse custodito qualche segreto.

Un "qualcosa" si era già intravisto a una profondità di circa 1.000 metri sotto il ghiaccio, ma solo nel 2016 i radar di ultima generazione hanno mostrato un cratere quasi perfettamente conservato, con tanto di picco centrale.



Il cratere da impatto Hiawatha si trova nella cosiddetta Terra di Inglefield. Crediti: Museo di storia naturale di Danimarca

Nel Centro di Geogenetica di Copenhagen è conservato un gigantesco meteorite ferroso di 20 tonnellate trovato in Groenlandia, non lontano da Hiawatha. E da quel ritrovamento nacque la prima intuizione dei ricercatori. Mancavano, tuttavia, le prove concrete.

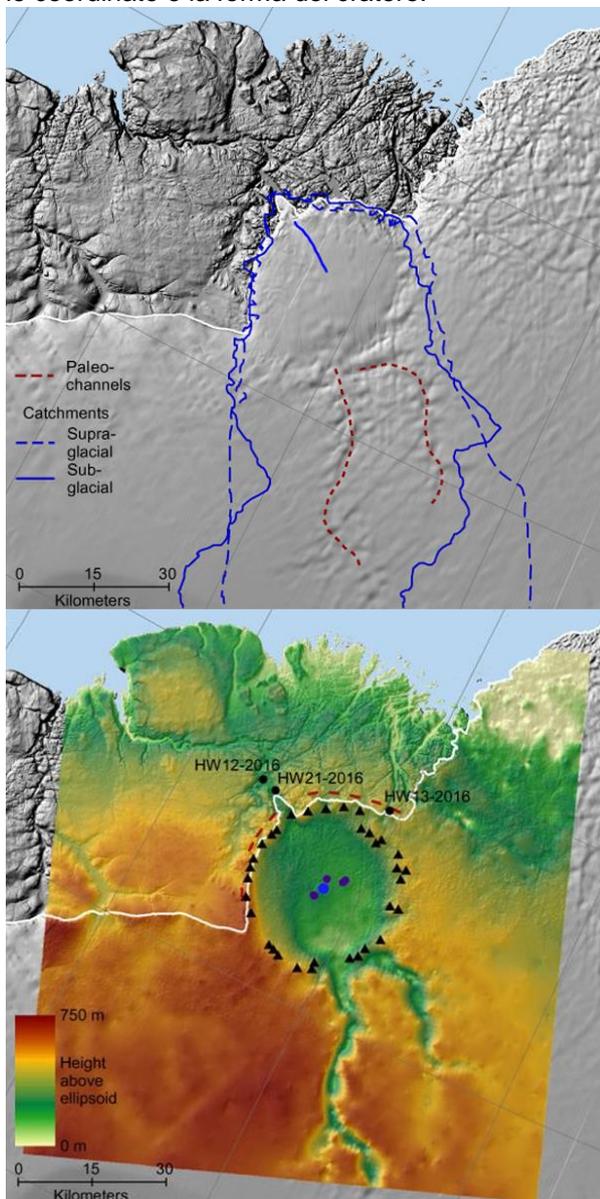


Il meteorite di Copenhagen

Studiando il materiale che i canali di scolo del ghiacciaio Hiawatha portavano in terreno scoperto, sono stati trovati frammenti di quarzo e grani di vetro che potevano essere stati generati solo dalle spaventose energie di un impatto meteorico.

Il cratere presenta una struttura circolare, ma non è semplice da individuare sorvolando la zona. È stato solo attraverso l'incrocio di dati satellitari e

rilevamenti radar che è stato possibile confermare le coordinate e la forma del cratere.



Sopra: Mappa aerea che evidenzia la forma circolare del cratere –

Sotto: Mappa Radar del cratere

Fonte: Kurt H. Kjær et al., *Science Advances*, 4/11/2018

Un aspetto che ha sorpreso gli scienziati è il fatto che il cratere sia eccezionalmente ben conservato.

Un ghiacciaio è un ambiente erosivo molto efficiente nel rimuovere le tracce di un impatto e

questo implica che, in una prospettiva geologica, il cratere debba essere piuttosto giovane.

Finora, non è stato possibile datare il cratere mediante indagini dirette, ma le sue condizioni suggeriscono fortemente che esso si sia formato solo dopo che il ghiaccio ha cominciato a coprire la Groenlandia.

È quindi lecito presumere che il nostro cratere sia piuttosto giovane. Addirittura, potrebbe risalire "solamente" a 12.000 anni fa, quindi nel Pleistocene, più o meno verso la fine dell'ultima era glaciale.

In base alle dimensioni del cratere, che si colloca tra le 25 più grandi strutture da impatto sulla Terra, si stima che l'asteroide potesse avere un diametro di 1,2 km e un peso tra 11 a 12 miliardi di tonnellate quando è entrato nell'atmosfera.

Una grande palla di roccia ricca di ferro il cui impatto con il nostro pianeta ha avuto molte conseguenze ambientali significative nell'emisfero settentrionale e probabilmente anche a livello mondiale.

Ormai è dimostrato che grandi impatti possono influenzare profondamente il clima terrestre, con conseguenze importanti per la vita sulla Terra in quel momento.

Se la datazione verrà confermata a 12.000 anni fa, è ragionevole chiedersi se, e come, questo evento abbia influito in modo significativo sulla storia della razza umana.

La nostra specie, all'epoca, stava facendo i conti con un clima non certo benevolo derivante dall'ultima glaciazione e un impatto di questa portata potrebbe aver determinato importanti influenze nelle modalità di sopravvivenza dell'Uomo moderno.

Ad esempio, potrebbe aver accelerato l'estinzione di specie come il Mammut e il rinoceronte lanoso. Oppure potrebbe essere stato la causa del *Dryas recente* (chiamato anche *Grande Congelamento*), un periodo geologicamente breve di clima freddo (approssimativamente 1.300 anni \pm 70) ricompreso tra 12.800 e 11.500 anni fa.

Questo periodo fu praticamente un repentino ritorno a condizioni glaciali alle latitudini più alte dell'Emisfero Settentrionale in contrapposizione con la de-glaciazione che ormai stava attuandosi. In quel periodo, inoltre si registrò la misteriosa scomparsa della *Cultura Clovis*, anticamente stanziata nel Nord America.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Tutte queste situazioni, ancora inspiegabili, potrebbero essere state causate dall'evento di Hiawatha.

Ovviamente sono ipotesi non confermate ma la datazione sicura dell'impatto potrà eventualmente fare luce su quell'epoca lontana in cui i nostri progenitori tentavano di domare un ambiente piuttosto inospitale.

Impatti meteorici significativi sono accaduti anche in tempi più recenti.

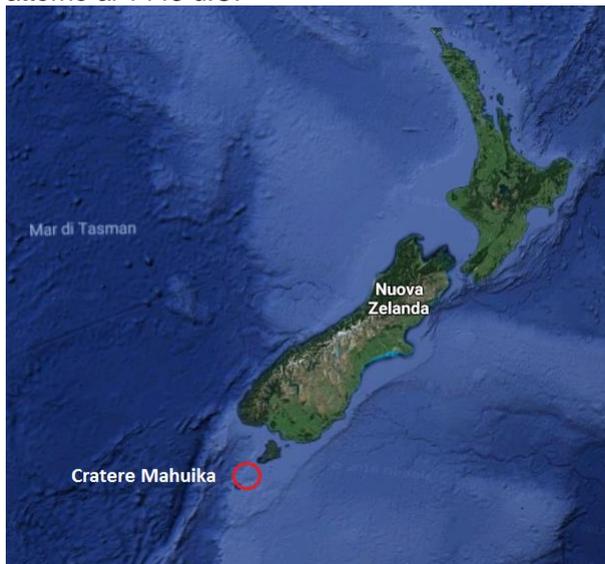
Per cercarne uno simile occorre andare nell'altro emisfero.

Il cratere Mahuika è un probabile cratere meteorico, di circa 20 km di diametro, che si trova a sud della Nuova Zelanda.

Gli studiosi hanno ipotizzato che esso deriverebbe dall'impatto di un oggetto di circa 1 km.

Si tratta quindi di un oggetto, più o meno, paragonabile con quello che ha determinato il nostro cratere groenlandese.

Da evidenze sia geologiche che antropologiche (come ad esempio le evidenze di uno tsunami che ha lasciato tracce fino a 130 metri sul livello del mare a Jervis Bay nella costa sudorientale dell'Australia e l'abbandono costiero avvenuto in Nuova Zelanda intorno al 1500 d.C.) è stato ipotizzato che l'evento si sia verificato attorno al 1443 d.C.



Il cratere Mahuika – a sud della Nuova Zelanda

Alcuni studiosi ipotizzano che questo impatto, oltre a conseguenze locali, abbia avuto effetti a carattere globale. Per esempio, potrebbe aver contribuito a rendere più intensa e persistente la cosiddetta *Piccola era glaciale* che ha caratterizzato i secoli successivi.

Ed il cratere Hiawatha è più grande di un buon 50%.



Confronto tra Il cratere Mahuika e il Meteor Crater (Arizona)

È quindi molto probabile che l'evento di Hiawatha abbia influito in modo importante sui nostri antenati.

Evidentemente non ha causato l'estinzione della nostra specie, ma sicuramente non saranno stati anni "confortevoli".

Ma la storia non è finita. Altri oggetti "là fuori" stanno percorrendo la loro rotta che prima o poi incrocerà il nostro pianeta.

Non si tratta di un "se" ma di un "quando".

Il Sistema Solare, infatti, è ancora piuttosto affollato e se anche ormai non è più l'ora di punta dei primi tempi in cui si è formato, non bisogna cullarsi in una stolta sicurezza.

Programmi miranti alla ricerca, osservazione e monitoraggio dei cosiddetti *Near-Earth Objects* (Neo) sono estremamente importanti per permettere la messa a punto di contromisure che i nostri antenati del tardo Pleistocene non potevano avere.

La tecnologia per sviluppare sistemi capaci di deviare oggetti "pericolosi" è ormai a disposizione. Per esempio, nel 2022 la missione DART della NASA (*Double Asteroid Redirection Test*, ovvero



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Test di Deviazione di Doppio Asteroide, ma anche "dardo") cercherà di dimostrare la possibilità di deviare la traiettoria di un asteroide colpendolo con un "proiettile".

Il bersaglio prescelto è il satellite doppio Didymos, formato da Didymos A (800 metri di diametro) e dal suo "satellite" Didymos B (diametro di 160 metri).



La sonda DART verso Didymos B

In pratica si tratta di lanciare contro Didymos B un frigorifero alla pazzesca velocità di 6 chilometri al secondo (circa 10 volte quella di un proiettile) per verificare la capacità di deviarlo dalla sua orbita in modo controllato.

La navicella DART sarà spinta da un propulsore ionico simile a quello utilizzato dalla missione DAWN per raggiungere l'asteroide Vesta.

L'utilizzo di questi propulsori ha il vantaggio di ridurre il peso dei veicoli spaziali e di aumentare la flessibilità di utilizzo.

Questo tipo di missione è definita come *impattore cinetico*, ma esistono anche altre possibilità.

Ad esempio, i cosiddetti *trattori gravitazionali* che sfruttano la massa di una sonda per deviare un asteroide. In altri termini una sonda, con una massa appropriata, affiancherebbe un asteroide "pericoloso" legandovisi gravitazionalmente, e tramite dei getti propulsori ne devierebbe la rotta. Se si interviene per tempo, basterebbe una minima deviazione per evitare la collisione con la Terra.

Un altro approccio è fornire un asteroide di capacità propulsiva attraverso una sonda che si agganci alla superficie per poi spingere l'asteroide. Un po' come accade con la ISS che utilizza

le navicelle attraccate per alzare la propria orbita.

Altra possibilità potrebbe essere data dall'esplosione di armi nucleari sull'asteroide, sia per tentarne la deviazione che per spezzarlo in parti più piccole, e pertanto, meno pericolose.

La tecnologia per lo sviluppo di "contromisure" è quindi disponibile ed alla nostra portata.

Auspichiamoci quindi di essere pronti quando il prossimo "visitatore" busserà alla nostra porta ... per non fare la fine dei poveri dinosauri.

Roberto Castagnetti



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Per il ciclo "le domande impossibili".

Di Leonardo Avella e Luigi Borghi.

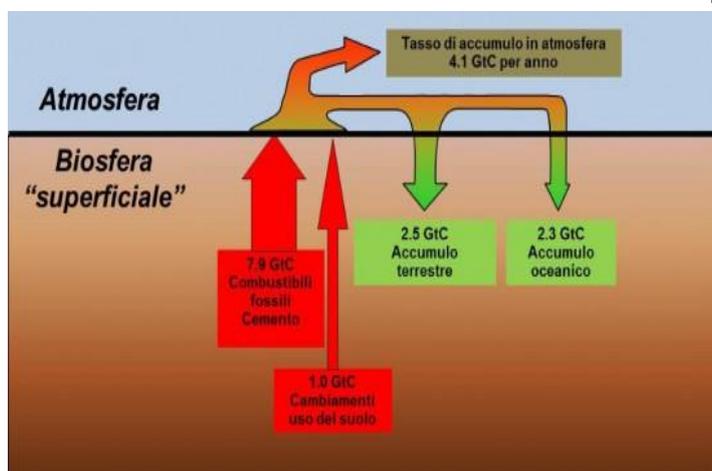
Quanti alberi servirebbero per azzerare l'aumento di CO2 nel nostro pianeta?

Cercando di rispondere a questa domanda andiamo inevitabilmente ad affrontare anche altri aspetti ed a porci altri quesiti. Leo risponderà in nero e Luigi in corsivo blu:

- 1) Quanta CO2 emessa in atmosfera dall'uomo ogni anno nel mondo
- 2) Quanta CO2 assorbe un albero?
- 3) Di quanto spazio avremmo bisogno per stoccare la legna generata per compensare la CO2 emessa?
- 4) Quanta CO2 assorbe una foresta
- 5) Quanta CO2 può assorbire una foresta gestita
- 6) La Paulownia; quanta CO2 può assorbire una piantagione di Paulownie fatta ad hoc e con quali costi?
- 7) Alcune idee sparse alternative al terraforming del Sahara.
- 8) *Quanta CO2 viene emessa dall'uomo per soddisfare il fabbisogno di energia primaria?*
- 9) *Quanto spazio servirebbe e come verrebbero gestiti impianti fotovoltaici per soddisfare tale fabbisogno?*

Quanta CO2 emessa in atmosfera dall'uomo ogni anno nel mondo?

La prima cosa da capire è quanta CO2 emettiamo ogni anno e quanta di questa non viene riassorbita dalle piante. Possiamo riferirci a questo grafico risalente al 2014.



<http://pasini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/2014/04/23/leta-delle-foreste-e-lassorbimento-di-co2/>
Nel grafico si parla di GtC. Cosa sono? Si tratta di miliardi di tonnellate di Carbonio. la C infatti indica l'elemento chimico del Carbonio. Nei miei calcoli successivi ignorerò le capacità del nostro pianeta di assorbire parzialmente le immissioni di CO2 (frecche verdi) e mi concentrerò su come azzerare le emissioni dovute dall'uomo (frecche rosse). Molti articoli, a differenza del grafico sopra che nomina le tonnellate di Carbonio immesse in atmosfera, parlano invece di tonnellate (o miliardi di tonnellate) di CO2. Come fare la conversione? Semplice! L'anidride carbonica è composta da una molecola di Carbonio e due di Ossigeno

Atomo	Peso atomico	Quantità	Totale
Carbonio	12	1	12
Ossigeno	16	2	32
		Peso molecolare CO2	44

Il carbonio rappresenta il 27,27% del peso di una molecola di CO2 (12/44).

Per fare la conversione basta usare la seguente formula:

$$\text{GtCO}_2 = \text{GtC} \times (44/12)$$

$$44/12 = 3,666$$

Quindi (7,9 + 1) GtC / anno nel 2013 corrispondono a $8,9 \times 44/12 = 32,6$ GtCO2 /anno

Facciamo altre ricerche per vedere se questo dato (32,6 GtCO2 /anno immesse dall'uomo in atmosfera) viene confermato.

<https://www.reteclima.it/carbon-sink-e-bilancio-globale-di-carbonio/>

2010 IEA che per il 2010 offriva un dato di emissione di CO2 pari a **30,6 GtCO2**

<http://pasini-lescienze.blogautore.espresso.repubblica.it/20>



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

[14/04/23/leta-delle-foreste-e-lassorbimento-di-co2/](#)
2013 -> 8,9 GtC / anno nel 2013 = **32,6 GtCO2/anno**

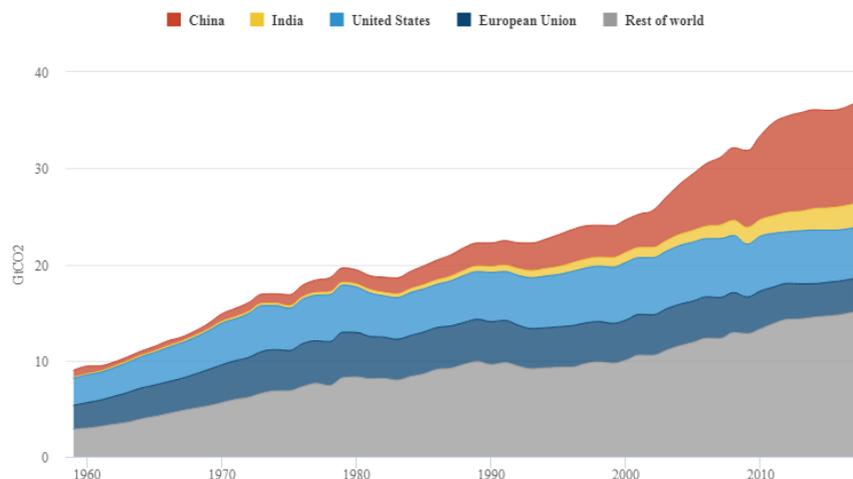
<https://www.truenumbers.it/gas-serra-co2-riscaldamento-globale/>
2015 -> **35,2 GtCO2/anno**

http://www.lescienze.it/news/2017/11/13/news/au-mento_emissioni_anidride_carbonica-3751735/
2017 -> **41 GtCO2/anno**

Da più fonti sono stati trovati dati consistenti tra loro. Possiamo riferirci al 2017 e capire quanto bosco ci serve per assorbire 41 miliardi di tonnellate anno.

Il tutto è ben riassunto da questo grafico:
<https://www.carbonbrief.org/analysis-global-co2-emissions-set-to-rise-2-percent-in-2017-following-three-year-plateau>

Annual CO2 emissions from fossil fuels by country, 1959-2017



Quanta CO2 assorbe un albero?

Partiamo dall'albero per poi estendere nei prossimi paragrafi il ragionamento al bosco. Supporremo che tutte le molecole di carbonio che servono ad una pianta per creare il legno vengano estratte dalla CO2 in atmosfera, tramite il processo di fotosintesi clorofilliana.

La domanda diventa dunque: di quanta CO2 ha bisogno una pianta per fare un Kg di legno?
E anche: quanto carbonio c'è in un Kg di legno?

Il legno è composto da:

- Carbonio 50%
- Ossigeno 42,5%
- Idrogeno 6,5%
- Azoto 1%

Sorgenti:

https://www.alfredoneri.com/la_combustione.htm

<http://docenti.unicam.it/tmp/2428.pdf>

https://books.google.it/books?id=hTID_nWyi9wC

Nota: le percentuali sono un po' diverse a seconda del tipo di legno, dal territorio di crescita e da tanti altri fattori. Per i nostri scopi però a noi non interessa essere precisi, ma avere un ordine di grandezza.

Possiamo dunque affermare che se per fare un kg di legno mi servono 500 gr di carbonio, in tal caso ho tolto dalla atmosfera $500/(12/44)$ grammi di CO2 ovvero 1,8 KG di CO2

<https://www.reteclima.it/l-albero-mangia-la-co2/>

Ipotizzando di parlare di una pianta (quale una essenza arborea di alto fusto) in clima temperato situata in città (quindi un contesto di stress ambientali più elevati rispetto ad un contesto naturale) possiamo pensare che l'albero stesso possa assorbire **tra i 10 ed i 20 kg CO2/anno**, dentro un ciclo di accrescimento che (mediamente) raggiunge il suo massimo in un range temporale compreso tra i 20 ed i 40 anni.

Discorso diverso per un albero (quale una essenza arborea di

alto fusto) in contesto naturale, dove ci si può aspettare una crescita meno stentata ed un potenziale di assorbimento compreso tra i 20 ed i 50 KgCO2/anno, in un range temporale compreso tra 20 e 30 anni.

Supponendo che ogni albero assorba 20 Kg CO2/anno, per assorbire la CO2 emessa nel 2017 servirebbero circa 2050 miliardi di alberi (41.000.000.000.000 KgCO2 emesse dall'uomo ogni anno diviso 20 KgCO2 assorbiti da ogni albero in un anno).



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39° - Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Di quanto spazio avremmo bisogno per stoccare la legna generata per compensare la CO2 emessa?

Per sapere di quanto spazio ho bisogno per un eventuale stoccaggio diamo un'occhiata anche ai volumi. Se supponiamo che 1dm³ di legno secco pesi circa 0,55 Kg possiamo dire che un dm³ di legno abbia tolto dall'atmosfera circa 0,55 Kg (peso del legno)*0,5 (quantità di carbonio nel legno)*3,66 (fattore di conversione C->CO₂) = 1 Kg di CO₂

<https://www.youmath.it/domande-a-risposte/view/3297-densita-legno.html>
<http://www.themeter.net/pesi-spec1.htm>

41 miliardi di tonnellate di CO₂ tolte dall'atmosfera e trasformate in legno occuperebbero un volume pari a 41 miliardi di metri cubi.

Scritta così non dice molto.

Proviamo a capire con un esempio di quanto volume abbiamo bisogno. Prendiamo come riferimento la piramide di Cheope, che ha un volume di 2.575.000 m³



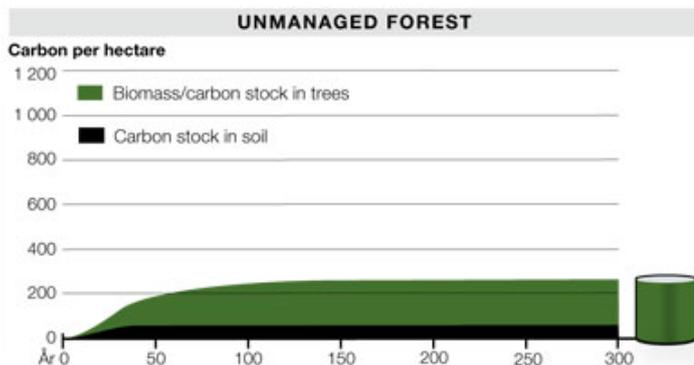
Ebbene, supponendo di riuscire a produrre abbastanza legna da compensare le emissioni di CO₂ del 2017, avremmo bisogno ogni anno di un volume pari a quello occupato da circa 15.922 piramidi di Cheope!!! Per rendere l'idea il legno in una tale foresta crescerebbe al ritmo di **due piramidi di Cheope all'ora (15.922/(365*24))**.

Quanta CO2 assorbe una foresta?

La risposta giusta è dipende:

In una foresta matura e non gestita infatti gli alberi vecchi muoiono e marciscono in loco; il processo di decomposizione rilascia in atmosfera la CO₂ originariamente presente nel legno.

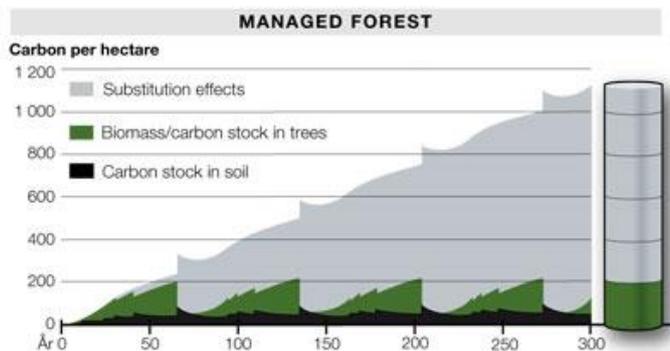
Dopo la fase iniziale di crescita una foresta, raggiunta la maturità, è quasi in equilibrio:



continuerà ad assorbire CO₂ ma ad un ritmo molto basso.

<https://www.holmen.com/en/sustainability/climate/forests-products-and-work-on-climate-change/the-forests-absorption-of-carbon-dioxide/>

E' più efficiente gestire la foresta tagliando gli alberi vecchi e malati, sottraendo il legno alla decomposizione.



Cercando in rete si trova quante tonnellate di CO₂ /anno possono essere sequestrate da una foresta.

Da questo link, che sembra abbastanza autorevole

<http://www.scienzainrete.it/contenuto/articolo/Le-foreste-%22mangiano%22-davvero-la-CO2>



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

troviamo che al netto di tutte le perdite di carbonio, nei casi più favorevoli, possono essere accumulate dalle nuove foreste in crescita circa 2,5 (Megagrammi /(ha*anno)) di carbonio (2,5 tonnellate per ettaro per anno) che corrispondono a 9,16 (Megagrammi /(ha*anno)) **(9,16 tonnellate di CO2 equivalente per ettaro per anno)**. Ovvero 0,916 Kg CO2/mq. Questo calcolo si riferisce a foreste temperate con attività vegetativa di 180 gg/anno.

- Il numero (9,16tCO2eq/anno) del primo articolo si può raddoppiare se consideriamo attività vegetativa per 365gg/anno, ad esempio vicino all'equatore.
- Il numero (9,16tCO2eq/anno) del primo articolo si può migliorare anche se invece di lasciarla crescere proviamo a gestirla al solo scopo di estrarne carbonio fissato nel legno. Recupereremo parte di quella produzione primaria netta che in una foresta viene utilizzato e poi "respirato" (ossia emesso) dalle altre componenti dell'ecosistema (insetti, batteri, animali, etc).

Ipotizziamo di ottenere tramite un mix delle due attività un tasso di sequestro di circa **18 tonnellate di CO2 equivalente per ettaro per anno**.

Nota: altri siti parlano (per un ettaro di foresta) di:

- 6,4 tonnellate di CO2/anno https://www.sfmcanada.org/images/Publications/EN/CO2_Sink_EN.pdf
- 50 pound CO2eq per albero all'anno per 700 alberi in ogni ettaro = 22,68*700 Kg CO2eq/ettaro = 15,87 tonnellate di CO2/anno <https://medcraveonline.com/FREIJ/FREIJ-02-00040.pdf>

Quindi come ordine di grandezza ci siamo.

D'ora in avanti considereremo il valore di 18 tonnellate di CO2 assorbita (per anno x ettaro) e stando ai dati del 2017 (41 miliardi di tonnellate di CO2 immesse dall'uomo all'anno) vediamo quanti ettari ci servono:

Un ettaro di nuova foresta può "sequestrare", mediamente, circa 6 tonnellate di **anidride carbonica** ogni anno, ovvero (rapporto CO2/carbonio 3.6/1) 22.5 tonnellate di CO2/anno. Gli alberi possono assorbire CO2 ad un tasso pari a circa 12 kg/albero/anno <http://www.unep.org/billiontreecampaign/FactsFigures/FastFacts/index.asp>. Gli alberi raggiungono lo stadio più attivo nell'azione di sequestro del carbonio all'età di 10 anni;

$(41 \cdot 10^9 \text{ TCO}_2\text{eq per anno}) / (18 \text{ TCO}_2\text{eq} / (\text{anno} \times \text{ettaro})) = 2,27 \cdot 10^9 \text{ ettari} = 2,27 \cdot 10^7 \text{ Km}^2 = 22,7 \text{ milioni di Km}^2$ che corrisponde ad un quadrato di lato 4.764 Km



Per darvi un'idea, se decidessimo di creare una foresta grande quanto tutto il nord africa e l'Arabia Saudita saremmo a circa 13 milioni di Km2, poi andrebbe gestita con il solo scopo di estrarne legna e ci mancano ancora 10 milioni di Km2!!! E' evidente che l'area richiesta è troppo vasta... Cosa possiamo fare per ridurre l'area interessata rendendo più fattibile il progetto? Cercheremo di rispondere a questa domanda nei prossimi paragrafi.

Nota: Non è facile trovare fonti attendibili navigando in rete. Nello scrivere questo articolo è una delle difficoltà più grosse che ho incontrato.

Faccio un esempio per tutti. In questo sito ci sono vari errori:

<http://www.verdepubblico.it/index.php/news/43-sustainable-energy-action-plan/126-azioni-per-la-compensazione-delle-emissioni-di-co2-attraverso-il-verde>

Gli autori sbagliano quando scrivono 6 tonnellate di **anidride carbonica** e poi moltiplicano questo valore per 3,6... A causa di questo errore ottengono un valore di 22,5 tonnellate che è troppo elevato per un ettaro di foresta temperata non gestita (che invece come abbiamo visto ne assorbe nelle condizioni migliori circa 9,16). Anche quando parlano del singolo albero indicano il valore di 12 Kg/albero/anno senza specificare che quei Kg sono di Carbonio (fissato nel legno), non di CO2.

A sostegno della loro tesi mettono il seguente link <http://www.unep.org/billiontreecampaign/FactsFigures/FastFacts/index.asp> ma cliccandolo si ottiene questo messaggio: NOT FOUND!



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Ho fatto un po' di ricerche ed ho trovato la fonte originale linkata dal collegamento non funzionante: è questa a pag 22

Depending on the location and size of its trees, one hectare of forest can absorb approximately six tonnes of carbon dioxide a year. In

[http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7661/-](http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7661/-Plant%20for%20the%20Planet_%20%20The%20Billion%20Tree%20Campaign-2008810.pdf)

[Plant%20for%20the%20Planet_%20%20The%20Billion%20Tree%20Campaign-2008810.pdf](http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7661/-Plant%20for%20the%20Planet_%20%20The%20Billion%20Tree%20Campaign-2008810.pdf)

che deriva da qui <https://www.unenvironment.org/> cercando in alto a dx "billion tree campaign".

Nel link originale parlano di Carbon Dioxide, dunque è veramente un errore moltiplicare ancora per 3,6 come fanno nell'articolo di verdepubblico.it/

La Paulownia

Una idea potrebbe essere, invece di creare una foresta con alberi generici, quella di utilizzare una specie che abbia la crescita molto rapida.

Esiste una tale pianta?

Certamente, è una delle divoratrici migliori al mondo di CO2 e si chiama Paulownia.



La Paulownia è una pianta originaria dell'oriente, le prime notizie di una sua coltivazione arrivano dalla Cina e dal Giappone.

Fu introdotta in Europa nel 1800 a scopo ornamentale, si è presto diffusa nei parchi delle città.

Il suo legno è molto leggero e pregiato. Può servire per costruire mobili, strumenti musicali, pareti di case, etc....

Le foglie sono molto grandi e la fioritura è veramente scenografica!

A questi link si trovano istruzioni per la sua coltivazione

<https://qualecoltura.com/paulownia/>

<http://paulowniadevelopment.ro/it/piantazione-paulownia/>

Proviamo a capire quali sono le sue vere capacità fissanti della CO2 atmosferica. Qui le cose si fanno un po' più complicate perché le fonti sono ancora meno.

Quanta CO2 può assorbire una piantagione di Paulownie fatta ad HOC

Quanto può crescere una pianta di Paulownia?

Qui e qui dice che una pianta in 3 anni cresce di circa 0,3 metri cubi e che si piantano circa 600 alberi per ettaro

<http://www.paulownia-it.com/it/coltivare/>

Qui c'è il peso specifico del legno di paulownia

http://www.cdp-ecosostenibile.com/il_legno.html

Circa 300 Kg/m3

Quindi dopo 3 anni avrò 0,3 m3/albero * 600 alberi/ha = 180 metri cubi di legno/ha

Considerato che il suo peso è 300 Kg/m3 avrò dopo 3 anni 180 m3/ha * 300Kg/m3 = 54.000 Kg di legno per ettaro, che fanno **18.000 Kg di legno per ettaro all'anno**. Supponiamo come al solito che il 50% del legno sia composto da Carbonio, abbiamo (18.000/2)*3,6 Kg di CO2eq assorbiti all'anno.

Ciò significa che avrò estratto 32,4 tonnellate di CO2eq per ettaro all'anno!

Dividiamo l'emissione annuale di CO2 derivante dalle attività umane per l'assorbimento della piantagione di Paulownia per unità di area. Otterrò l'area che mi serve ad assorbire tutta la CO2 emessa ogni anno dall'uomo.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

$41 \cdot 10^9 \text{ tCO}_2\text{eq} / (32,4 \text{ tCO}_2\text{eq} / (\text{anno} \times \text{ettaro}))$
 $= 1,27 \cdot 10^9 \text{ ettari} = 1,27 \cdot 10^7 \text{ Km}^2 = 12,7 \text{ milioni}$
 di Km² che corrisponde ad un quadrato di lato
 4.900 Km

per ettaro. Il valore è molto vicino alle 18
 tonnellate trovate prima.

Questo sito però ci dà un'altra informazione
 importante: **la biomassa totale generata.**

Se le condizioni sono
 particolarmente favorevoli
 possiamo ricavare tra legno,
 rami e foglie fino a 90,48
 tonnellate di biomassa in 3
 anni, che significano 30
 tonnellate all'anno.

Consideriamo come al solito
 che il 50% della biomassa sia
 composto da carbonio,
 abbiamo $(30.160/2) \cdot 3,66 \text{ Kg}$
 di CO₂eq assorbiti all'anno.

Ciò significa che avrò estratto
55,1928 tonnellate di CO₂eq

per ettaro all'anno!

$41 \cdot 10^9 \text{ tCO}_2\text{eq} / (55,19 \text{ tCO}_2\text{eq} / (\text{anno} \times \text{ettaro}))$
 $= 0,7428 \cdot 10^9 \text{ ettari} = 0,7428 \cdot 10^7 \text{ Km}^2$
= 7,428 milioni di Km² che corrisponde ad un
quadrato di lato 2725 Km

Dovremmo raccogliere e stoccare anche rami e
 foglie oltre ai tronchi, ma ne varrebbe la pena!

Come al solito cerchiamo di verificare su altri siti
 se questa stima corrisponde.

Da questo sito

<http://paulowniatrees.eu/products/requirements-for-growing-paulownia/>

si trova il seguente link

<http://paulowniatrees.eu/eng/wp-content/uploads/2014/02/EN-PAULOWNIA-FOR-BIOMASS-PRODUCTION.pdf>

nel quale c'è la seguente tabella:

MONOSTEM GROWING PLANTATION FOR BIOMASS WITH 3000 PLANTS PER HECTARE AND DISTANCE IN BETWEEN 1m AND 3.3m

First cut at age of	Rotation period	Expected stem diameter	Expected mean yield per tree		Expected mean yield per hectare		Expected dry biomass per hectare	
			stems	total	Stems	total	stems	total
3 years	2-3 years	10 cm	0.035 m ³	0.045 m ³	105 m ³	136 m ³	27.3 t	35.36 t
3 years	2-3 years	12.5 cm	0.059 m ³	0.077 m ³	177 m ³	231 m ³	46.02 t	60.06 t
3 years	2-3 years	15 cm	0.089 m ³	0.116 m ³	267 m ³	348 m ³	69.42 t	90.48 t

Quindi se dopo 3 anni il diametro del tronco è di
 12,5cm abbiamo 46 tonnellate di legno per ettaro,
 che all'anno sono 15 tonnellate di tronchi di legno

Nell'immagine sopra un'area di 7,4 milioni di Km²

Andiamo meglio, vero?





Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Con quali costi?

Questo video mi ha aiutato a capire meglio il problema dei costi: <https://www.youtube.com/watch?v=ifo8XHGFIAQ>
Una superficie grossa come il Sahara terraformata a foresta sarebbe sicuramente un bell'impegno.

Facendo i conti l'energia che serve all'anno è 5.000 miliardi x 4 KWh = 20.000 TWh di energia all'anno per l'irrigazione. Il costo di tale energia sarebbe circa di 2 miliardi di euro all'anno (al costo di 0,1€/KWh). E questo senza contare il trasporto orizzontale.



Idee sparse alternative al terraforming del Sahara

Qui lascio solamente alcuni spunti, che per essere approfonditi richiederebbero lo spazio di un altro articolo.

Probabilmente ci sono modi ancora più efficienti di estrarre e stoccare la CO2 atmosferica.

Supponendo di piantare Paulownie come da best practices (700 alberi per ettaro) su un'area come quella indicata sopra, e supponendo che dei 10.916.222 Km2 ne usiamo solo 10.000.000 (gli altri ci servono per le infrastrutture, come l'irrigazione), vorrebbe dire comunque gestire ben 700 miliardi di alberi! Si tratterebbe di aumentare la popolazione mondiale di alberi del 23% in un sol colpo!!

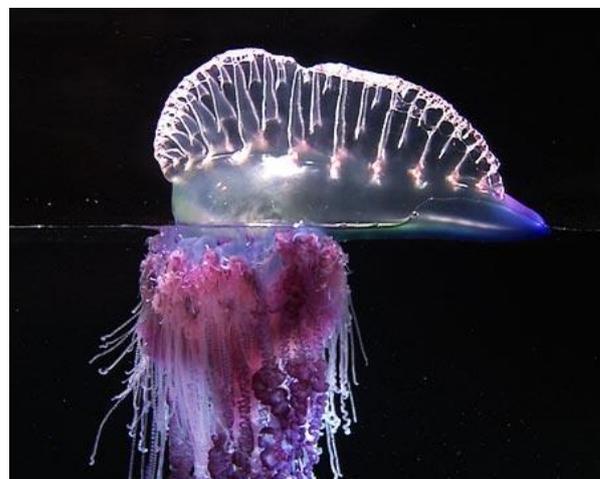
(Oggi ci sono circa 3.000 miliardi di alberi <https://www.bbc.com/news/science-environment-34134366>)

Tutte queste piante dovranno essere irrigate, almeno fino a quando non saranno cresciute abbastanza da generare loro stesse parte dell'umidità. Si è infatti scoperto recentemente che gli alberi possono immettere grandi quantità di vapore acqueo in atmosfera attraverso gli stomi <https://www.quantamagazine.org/forests-emerge-as-a-major-overlooked-climate-factor-20181009/>

Una foresta avrà bisogno di circa 500 mm di acqua all'anno, che corrispondono a circa 5.000 miliardi di metri cubi di acqua. Ipotizzando che desalinizzare 1m3 di acqua richieda circa 1,5 KWh di energia e che alzarla al livello medio del Sahara (450 metri s.l.m.) richieda altri 2,5 KWh di energia per m3 di acqua, abbiamo una necessità di 4 KWh per metro cubo di acqua necessario ad irrigare le piante.

Potremmo creare attraverso l'ingegneria genetica una pianta in grado di vivere sulla superficie degli oceani e di creare piccoli trucioli di legno più pesanti dell'acqua che, lasciati andare come piccoli escrementi, si depositerebbero sedimentando sui fondali degli oceani.

Una base di partenza potrebbe essere la caravella portoghese, a cui aggiungere i cloroplasti.



Potremmo produrre il legno in serre chiuse all'interno di grattacieli, risparmiando molto in superficie richiesta e consumo di acqua. Alcuni studi sono all'inizio, focalizzati alla produzione di verdure.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018



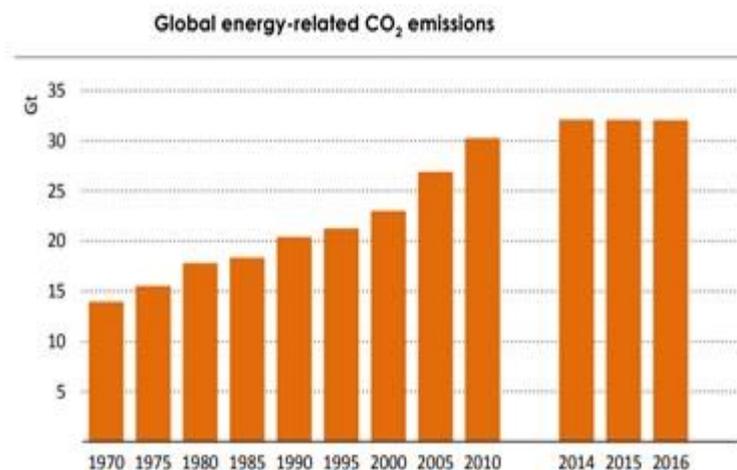
Come si fa a stabilire quale sarà la giusta evoluzione, visto che le politiche energetiche dei vari paesi non sono tanto legate al miglioramento del clima globale, quanto agli interessi dei singoli stati?

Lo scenario peggiore è quello che vede un aumento dei consumi di energia pro-capite, con un aumento pure demografico significativo e continuo ed uno sfruttamento costante di fossili (carbone, gas e petrolio) a fronte di un aumento, anche se non determinante, di energie pulite e rinnovabili.

Oppure si potrebbe più semplicemente modificare geneticamente la Paulownia per farla crescere ancora più velocemente e produrre ancora più legno in minor tempo...

Ma adesso lascio la parola a Luigi, che affronterà il problema da un altro punto di vista. Quello della produzione pulita di energia.

Quanta CO₂ viene emessa dall'uomo per soddisfare il fabbisogno di energia globale?



Le proiezioni di produzione di CO₂ da parte dell'uomo sono ovviamente condizionate dal come si produrrà energia nel prossimo futuro. Lo spread tra lo scenario peggiore e quello migliore è enorme, quasi totale.

Riferimenti:

https://www.iea.org/media/weowebiste/2017/Chap1_WEO2017.pdf

Questa proiezione tiene conto del recente boom della produzione di petrolio e gas naturale da scisti negli USA, con lo sviluppo della tecnica della fratturazione idraulica.

Questa tecnologia di estrazione ha assicurato agli Stati Uniti l'indipendenza energetica con il raggiungimento per il petrolio e/o il gas dei livelli produttivi dei due maggiori produttori mondiali (l'Arabia Saudita e Russia). Questo ha creato un eccesso di offerta delle materie prime energetiche rispetto alla domanda, peraltro in fase di contrazione in molti paesi in conseguenza della recessione.

Partiamo dalla produzione di CO₂ nel mondo legata alla sola produzione di energia primaria (da quella elettrica a quella del riscaldamento, delle auto, aerei, navi, ecc.). Gt = miliardi di tonnellate di CO₂.

L'analisi dei dati stimati del 2016 suggerisce un 2017 di emissioni globali di CO₂ uguale ai precedenti, anche se l'economia globale ha continuato a crescere.

Come vedete siamo vicini alle 35 GtCO₂ emerse nella ricerca di Leonardo, all'inizio dell'articolo.

La differenza è dovuta al fatto che questi grafici rappresentano la sola CO₂ generata per produrre



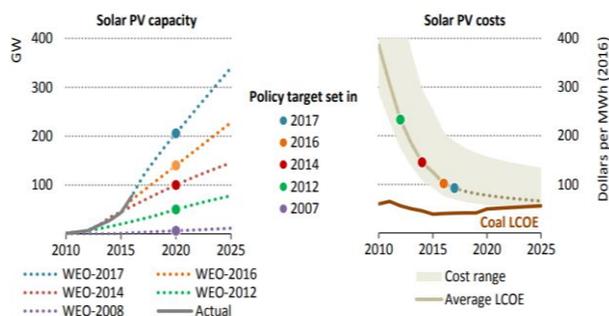
Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

energia, che come si vede rappresenta oltre l'80% del totale, manca quella prodotta dagli animali, da eventi naturali, ecc.

Ora è evidente che se guardiamo avanti, dobbiamo tenere conto di come si evolveranno la domanda e l'offerta guardando le politiche energetiche dei paesi maggior consumatori e l'andamento del mercato.

Nella tabella sottostante, vediamo l'evoluzione degli obiettivi della politica energetica della Cina (il paese che oggi ha il maggior consumo di energia) per il solo solare fotovoltaico.



Vediamo a sinistra la capacità installata ed a destra i costi (traslati ad oggi) dell'energia prodotta con i pannelli fotovoltaici. (GW=miliardi di Watt)

Come si può vedere, nel 2025 produrre energia con i pannelli costerà come produrla con il carbone e quella potrebbe essere la svolta definitiva. Ma è tutto legato ai livelli di produzione, quindi alle pendenze delle curve che si notano nel grafico di sinistra, dopo il 2020. A giudicare dall'andamento e dalle previsioni del 2017 sembrerebbe esserci un deciso aumento rispetto alle previsioni precedenti.

È evidente che molto dipenderà anche dalle prospettive economiche.

L'attività economica globale dovrebbe riprendere nei prossimi anni, con un recupero ciclico negli investimenti, nella produzione e nel commercio. Dalla crescita globale del 3% nel 2016, i tassi di crescita

dovrebbero salire a circa il 3,5% nel 2018.

Questa cifra è vicina alla media globale a lungo termine della prospettiva sottostante: in ciascuno degli scenari, si presume che l'economia del mondo cresca ad un tasso medio annuo composto del 3,4% nel periodo fino al 2040, tenuto conto anche di alcune leggere revisioni al ribasso per l'economia a medio termine in alcune regioni, in particolare per i paesi esportatori di petrolio in Medio Oriente e in Africa, riflettendo la valutazione del Fondo Monetario Internazionale (FMI, 2017).

Le variabili in gioco sono tante e tra queste, senza dubbio, un ruolo determinante è svolto dalla crescita demografica, oltre che dal consumo pro-capite.

Nelle due tabelle che seguono vediamo le stime di crescita annuale per le diverse aree geografiche e la conseguente concentrazione nelle aree urbane, che ci portano a concludere che nel 2040 saremo poco più di 9 miliardi. Sono tantissimi, ma meno delle previsioni che si erano fatte solo 5 anni fa.

Attualmente, con i dati a consuntivo, possiamo affermare che nei paesi dell'IEA (International Energy Agency) la domanda di energia è in calo, mentre nei paesi del medio oriente è ancora in forte crescita.

	Compound average annual growth rate			
	2000-16	2016-25	2025-40	2016-40
North America	1.8%	2.1%	2.1%	2.1%
United States	1.8%	2.0%	2.0%	2.0%
Central & South America	2.8%	2.3%	3.0%	2.8%
Brazil	2.4%	1.9%	3.0%	2.6%
Europe	1.7%	1.9%	1.6%	1.7%
European Union	1.4%	1.7%	1.4%	1.5%
Africa	4.4%	4.1%	4.4%	4.3%
South Africa	2.9%	2.1%	2.9%	2.6%
Middle East	4.4%	3.0%	3.5%	3.3%
Eurasia	4.1%	2.3%	2.7%	2.6%
Russia	3.4%	1.7%	2.4%	2.1%
Asia Pacific	6.0%	5.4%	4.0%	4.5%
China	9.2%	5.8%	3.7%	4.5%
India	7.2%	7.7%	5.7%	6.5%
Japan	0.8%	0.7%	0.7%	0.7%
Southeast Asia	5.2%	5.1%	4.0%	4.5%
World	3.6%	3.7%	3.3%	3.4%



Il C.O.S.Mo. NEWS

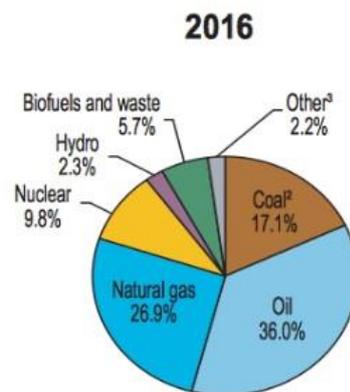
Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

	Compound average annual growth rate			Population (million)		Urbanisation rate	
	2000-16	2016-25	2016-40	2016	2040	2016	2040
North America	1.0%	0.8%	0.7%	487	570	81%	86%
United States	0.8%	0.7%	0.6%	328	378	82%	86%
Central & South America	1.2%	0.9%	0.7%	509	599	80%	85%
Brazil	1.1%	0.7%	0.5%	210	236	86%	90%
Europe	0.3%	0.1%	0.1%	687	697	74%	80%
European Union	0.3%	0.1%	0.0%	510	511	75%	81%
Africa	2.6%	2.4%	2.2%	1 216	2 063	41%	51%
South Africa	1.5%	0.7%	0.6%	55	64	65%	75%
Middle East	2.3%	1.7%	1.4%	231	321	69%	76%
Eurasia	0.4%	0.3%	0.1%	230	236	63%	67%
Russia	-0.1%	-0.2%	-0.3%	144	133	74%	79%
Asia Pacific	1.1%	0.8%	0.6%	4 060	4 658	47%	59%
China	0.5%	0.3%	0.0%	1 385	1 398	57%	73%
India	1.5%	1.1%	0.9%	1 327	1 634	33%	45%
Japan	0.0%	-0.3%	-0.4%	127	114	94%	97%
Southeast Asia	1.2%	1.0%	0.7%	638	763	48%	60%
World	1.2%	1.0%	0.9%	7 421	9 144	54%	63%

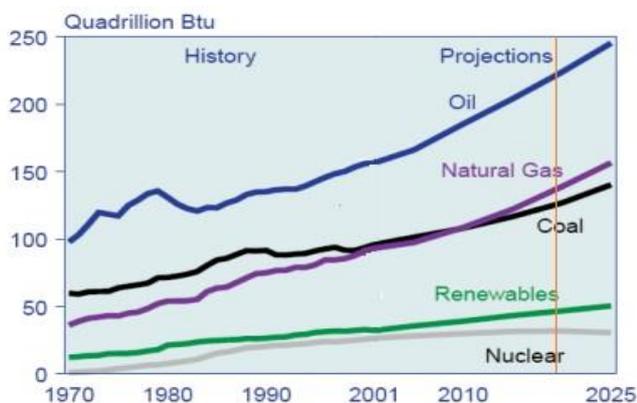
Sources: UN Population Division databases; IEA databases and analysis.

determinanti e difficili da sostituire, lasciando ancora 118 PWh/Y "sporchi".

<https://www.qualenergia.it/articoli/2017/0920-fonti-fossili-vs-rinnovabili-come-era-e-come-sara-energia-secondo-l-ia/>



Nel grafico sottostante possiamo vedere il fabbisogno mondiale di energia primaria (quindi inclusa quella elettrica) proiettato fino al 2025 e suddiviso per fonti.



1 KWh = 3412 BTU

1 quadrilione di BTU = 293 TWh.

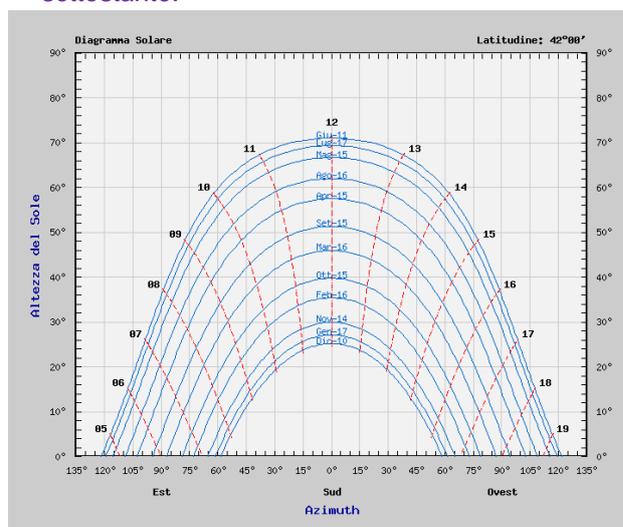
470 Quad. BTU (la somma delle 5 curve nel 2018, fonte Wikipedia), pari a circa 137,7 PWh per anno. (15,7 TW-yr).

Appare evidente che siamo ben lontani dal raggiungere l'obiettivo di produzione di energia pulita.

Le fonti che non producono CO₂, includendo oltre all'idroelettrico il solare e l'eolico, anche l'energia nucleare, non superano il 14,3% del totale (Vedi grafico a torta in alto a destra: 9,8+2,3+2,2), dove le fonti fossili quali petrolio, carbone e gas restano

Proseguendo nella nostra analisi, dobbiamo cercare di capire quindi come si possa soddisfare la necessità di energia di tipo continuativo (quella fornita da fossili, nucleare, geotermico e idroelettrico), come richiedono la produzione industriale ed i servizi in una società civile, con una sorgente di energia intermittente e spesso imprevedibile come quella solare.

La produzione di energia elettrica dei pannelli solari sui tetti di casa mia segue un andamento comune a tutti gli impianti basati sulla conversione di energia solare che possiamo vedere nel grafico sottostante.





Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

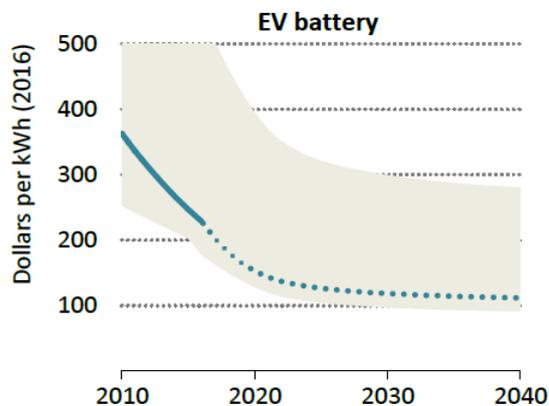
La fonte energetica solare è utilizzabile al 100% se c'è la possibilità di accumularla da qualche parte per poi utilizzarla quando non c'è il sole. Nel mio caso è l'azienda che fornisce energia che fa la funzione di "pseudoaccumulo",

Assorbe quella in esubero dei miei pannelli distribuendola ad altri utenti e garantendomi di notte di usufruire dell'energia dalla centrale. Questo però funziona in un contesto che prevede di avere sorgenti continue di energia elettrica di tipo convenzionale. In uno scenario dove tutta l'energia elettrica deve essere prodotta senza accrescere la CO₂ in atmosfera, rimarrebbe solo il 14,3% dell'attuale produzione mondiale di sorgenti "continue", cioè idroelettrico, solare, eolico, geotermico (anche se non è del tutto pulito) e nucleare (anche se porta con sé rischi di altro tipo).

Sempre in questo scenario che andiamo ad immaginare, per togliere le 35 GtCO₂ anno, il problema del fabbisogno notturno o comunque in assenza di sole, si può risolvere in due modi:

- 1. Costruire una rete mondiale che garantisca lo sfruttamento dell'energia dei pannelli esposti al sole in tutto il mondo. Soluzione avveniristica ma tecnicamente facile da ottenere anche se non può fare a meno di un accumulo locale di scorta e di emergenza.*
- 2. Produrre ed accumulare localmente energia su batterie con accesso alla rete, sia in carica, che in scarica. In altre parole, ogni utente (privato o azienda) deve avere la sua capacità di accumulo e quindi l'autosufficienza. Le sue batterie devono poter essere caricate anche dall'esterno (pagando il servizio) in caso di necessità, ma devono anche poter fornire energia all'esterno (vendendola) in caso di surplus. Questa architettura garantirebbe una certa sicurezza della fornitura oltre ad una discreta robustezza a fronte di disastri ambientali locali. Una vera rete energetica a prova di guerra!*

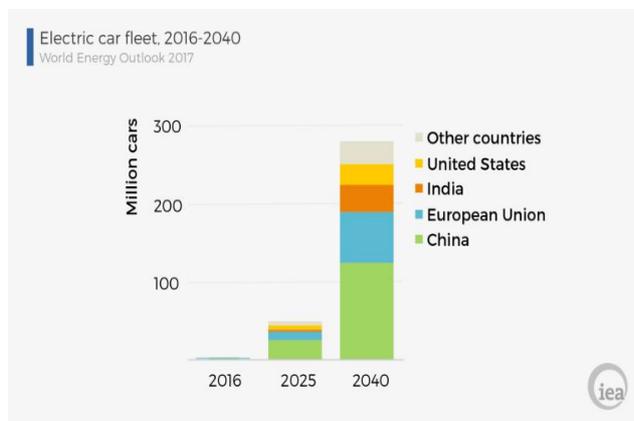
Quindi le batterie sono indispensabili! Tralasciando il problema della produzione e dello smaltimento di questi accumulatori, (meglio non pensarci, ne parleremo in un altro momento) oltre



che la disponibilità mondiale di litio, ammesso che questa sia la tecnologia vincente, aumentando la produzione, dovremmo arrivare a costi contenuti, come si vede dalla proiezione qui sopra. (fonte IEA).

La caccia al Litio è cominciata da tempo. Le terre rare, come il neodimio e l'europio ed elementi come l'indio, il tellurio, ecc. sono diventati i più ricercati anche nella fascia degli asteroidi, dove le "miniere" sono a cielo aperto.

Un mondo ad energia elettrica non può fare a meno di questi elementi che sono basilari nell'automotive.



Nel grafico sopra (Fonte: <https://www.iea.org/weo2017/>) possiamo immaginare quale sarà il fabbisogno relativo al solo mondo dell'auto, dove nel 2045, al posto di qualche milione di veicoli circolanti oggi, avremo in strada quasi 300 milioni di autovetture totalmente elettriche, su un totale di oltre 2 miliardi di vetture circolanti. Potrebbero essere anche molte di più, ma evidentemente il trend di crescita dell'automotive elettrico è legato alle infrastrutture



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

adeguate al rifornimento ed alle politiche di produzione delle case automobilistiche.

Anche gli autotrasporti elettrici e la nascente tecnologia aeronautica a breve raggio basata sui motori elettrici produrranno una evoluzione positiva verso la riduzione dell'effetto serra.

Ora, basandoci sulla attuale produzione mondiale di energia primaria (i 137,7 PWh) e supponendo di volerla generare tutta con tecnologie prive di emissioni di CO₂, ("CO₂Free"), potremmo togliere quella che già è prodotta in questo modo, cioè circa il 14,3%. **Rimangono quindi 118 PWh approssimativi**, da produrre con pannelli fotovoltaici.

Quindi è ora di passare alla seconda domanda.

Quanto spazio servirebbe e come verrebbero gestiti gli impianti fotovoltaici per soddisfare tale fabbisogno?

Diciamo subito che dal punto di vista tecnico è abbastanza improbabile che questo accada, per diverse ragioni. Lo spreco di terreno è enorme, perché si parla di un totale di oltre 320.000 km² di territorio, più della superficie di tutta l'Italia, incluse le isole. Tanto servirebbe per produrre quei 118 PWh/y che servono per alimentare un mondo elettrico al 100%! Poi vi è l'aspetto tecnologico. Prima di tutto io credo che nel prossimo decennio si arrivi ad avere la tecnologia efficiente per produrre energia elettrica dalla fusione nucleare. Questa sarebbe la soluzione definitiva del problema energia per il mondo intero, anche per il futuro! Non vado oltre perché su questa tecnologia ci sarebbe da scrivere per settimane, ma poi vi è la produzione di energia elettrica sempre da pannelli solari, ma in orbita

geostazionaria ed inviata a terra attraverso microonde. Una tecnologia accessibile, ma ancora costosa e con qualche incognita, ma che avrebbe la possibilità di renderla immune da attacchi terroristici e la renderebbe facilmente indirizzabile ovunque, semplicemente spostando la parabola trasmittente e le antenne riceventi (rectenna). Ne parleremo in un prossimo articolo. Ma il nostro obiettivo qui è quello di fare un progetto di massima per il soddisfacimento del fabbisogno di energia primaria mondiale attraverso fonte pulita rinnovabile proveniente da pannelli solari fotovoltaici.

Il totale del fabbisogno, come abbiamo detto è di 137.700 Terawattora/anno (cioè 137,7 PWh/Y), ridotto a 118 PWh/Y considerando il 14,3% di "CO₂Free" già attive.

Nella tabella sottostante vediamo una serie di passaggi sviluppati per arrivare alle conclusioni accennate prima. I calcoli si basano su alcuni parametri fondamentali:

- L'energia solare irradiata sul terreno in zona tropicale** (ho usato il dato della Sicilia di 200W*m² perché, come vedremo, molti di questi pannelli potrebbero andare in aree del mondo anche meno irradiate della Sicilia, quindi lo considero un dato medio).
- Il rendimento di trasformazione dei pannelli solari (20,5%, già ottimistica).**

Questa tabella considera la media giornaliera della irradiazione.

Fabbisogno mondiale di energia primaria al netto dell'attuale produzione CO ₂ Free.	118.009	TWh/y	Dato	paria a	13	TW	di picco
Energia dal sole (sopra all'atmosfera)	1.367	Watt/m²	Dato	noto			
Media annuale (inclusa la notte a zero) in Sicilia	200	W*m²	Fonte	Enea (***)			
Rendimento attuale dei pannelli fotovoltaici (ottimale)	20,5	%	Dato	(****)			
Resa del pannello (media annuale)	41,1	W*m²	Considerando di metterli perfettamente orientati				
Pari a kW/h/anno/m ²	360	KWh/Y/*m³					
Area necessaria per sviluppare l'energia primaria mondiale (**)	327.803	KM²	573	Km di lato per produzione			
			(*)				

Associazione Culturale "Il C.O.S.MO." (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena); C.F.:94144450361 **pag: 28 di 31**

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati. È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo". La loro diffusione all'esterno del circolo è vietata. Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici. - **Costo:** Gratuito sul WEB per i soci - **Arretrati:** Disponibili e gratuiti sul WEB per i soci.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

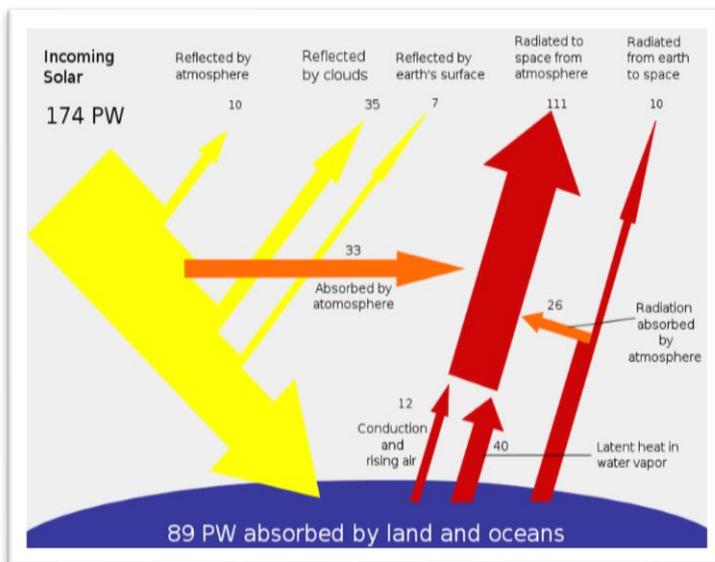
Quindi di giorno deve essere prodotta anche l'energia in eccesso alla domanda che servirà per caricare le batterie per il fabbisogno notturno o comunque quando non c'è il sole. Infatti, nel calcolo ho usato l'irradiazione media, ma a luglio a mezzogiorno, vi sono $820 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ ed in dicembre 250, mentre ovviamente di notte è zero. (vedi sotto grafico irradiazione a Milano).

(*) Nota: quest'area presuppone di poter immagazzinare l'energia in eccesso durante il giorno, per restituirla alla notte.

(**) Include tutto: elettrica, trasporto, industria e riscaldamento.

(***) <http://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/radiazione-solare/quant-energia-solare-arriva-sulla-terra>.

(****) (fonte EDF: S-Class Professional monocristallino).



Dissipazione della energia solare.

I 174 PW di potenza media in arrivo sulla semisfera terrestre esposta al Sole, si riducono ad 89 PW che arrivano al suolo. Se li riportiamo ai 1367 m^2 fuori dall'atmosfera equivalgono a circa $700 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ medi, per le sole ore diurne, che facendo media giorno/notte arrivano ai $200 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ sulla superficie per tutto l'anno.

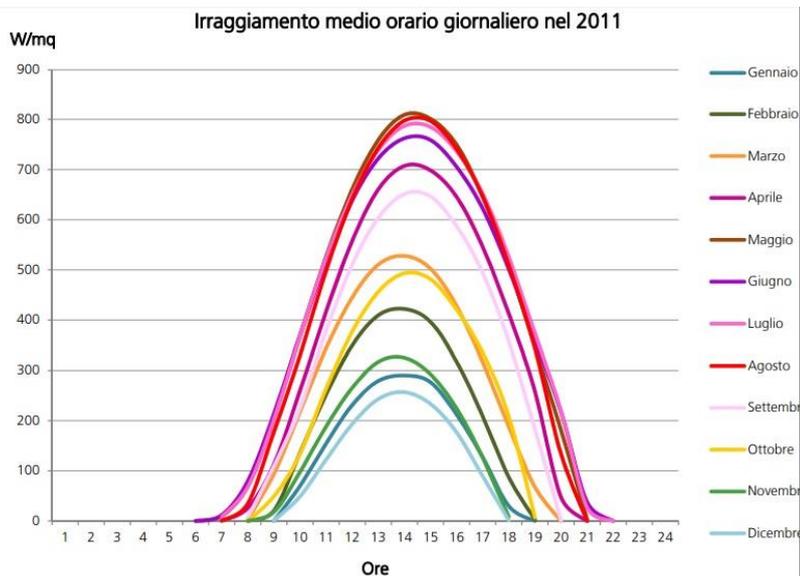
A questo punto occorre ragionare su quest'area di oltre 327mila chilometri quadrati che sembrano tanti, ma li potremmo tranquillamente ricavare nel deserto del Sahara senza grosse difficoltà,

Ma sarebbe dissennato per diversi motivi:

Quell'area diventerebbe strategica per il mondo intero quindi difficile da governare.

Tutte le economie del mondo si bloccherebbero a fronte di un disastro naturale o di una guerra che provochi l'arresto di quegli immensi impianti.

Distribuire tutta quell'energia originata in un solo luogo presenta delle difficoltà tecniche che comporterebbero il rifacimento della rete elettrica mondiale, non solo quella nazionale.



Irraggiamento solare su Milano.



Il C.O.S.Mo. NEWS

Rivista del circolo culturale "Il C.O.S.Mo" - e-mail: info@cosmo.net - Via B.Buozzi, 339/2 - 41122 Modena ; 39°- Anno10 – N° 4 - 1/12/2018

Allora forse è meglio che ogni paese cerchi di costruire i suoi impianti per soddisfare il fabbisogno nazionale, magari anche con dei margini, ove possibile (come per esempio il Sahara, USA, Russia, Cina e l'Arabia Saudita, che hanno vastissimi territori deserti esposti al Sole), da vendere all'esterno o immagazzinare.

In realtà non servirebbero neanche vasti territori deserti se tutto il mondo si adeguasse a particolari normative di costruzione e di ristrutturazione obbligatoria.

Voglio dire che la quasi totalità dei tetti di case, palazzi, fabbriche, stadi, parcheggi e di tutte le costruzioni che hanno un tetto, non sono dotate di pannelli solari. Se lo fossero, se ci fossero tutti i tetti "attivi" ci troveremmo in una situazione diversa, per cui probabilmente buona parte del fabbisogno sarebbe coperto da queste strutture private, sui tetti, ed il resto sarebbe delegato a grandi impianti solari.

Provate ad immaginare l'area di tutte queste aree "attive" di tutto il mondo coperte da pannelli. Questo tipo di produzione distribuita e capillare richiederebbe la riprogettazione della rete elettrica mondiale!

Quindi, visto che stiamo facendo una simulazione, ho provato entrambe le soluzioni, sapendo che la via intermedia è sicuramente quella giusta.

Bisogna però tenere conto di due aspetti:

- Occorre tenersi un margine per eventuali fermi per manutenzione che possiamo stimare in circa il 10%.
- Tutti gli impianti hanno bisogno di un minimo di spazio per i servizi che possiamo quantificare nell'1%.

A questo punto possiamo arrotondare i nostri 327.803 km² calcolati a 400.000.

Partiamo dalla simulazione dei "tetti attivi".

Suddividiamo arbitrariamente il carico dei pannelli su due categorie di edifici in egual misura: abitazioni private a cui assegniamo una dimensione del tetto di 10 metri per 10, quindi 100 m²; ed edifici pubblici o comunque sedi aziendali, fabbriche e servizi a cui assegniamo uno spazio tra tetti o/e parcheggio di 100 metri per 100, cioè 10.000 m².

Ecco quindi che, attribuendo ad ognuna delle due soluzioni 200.000 metri quadrati di generazione attraverso pannelli sul tetto (la metà di 400.000), avremmo la necessità di rendere "attive":

2 miliardi di case e 20 milioni di aziende.

Numeri impressionanti ma non impossibili! Diciamo improbabili, perché oggi nessun potere internazionale è in grado di coordinare, imporre e gestire un simile scenario.

Proviamo ora ad esaminare l'altra soluzione, cioè tutto il fabbisogno generato da impianti appositi dislocati a terra in zone soleggiate e disabitate nei vari paesi ed a carico delle amministrazioni locali. Ho considerato di replicare un impianto base molto grande da 1GW (la potenza media di una centrale elettrica standard). Ricordiamoci sempre che la "potenza media", che in una centrale tradizionale (nucleare o a carbone) che funziona a pieno regime, 24 ore al giorno, è un valore abbastanza simile alla potenza massima. Nel nostro caso invece, il GW di potenza media tiene conto dei 200 W medi prodotti in Sicilia, come visto nella tabella precedente. Il che significa che a mezzogiorno, nel bel mezzo del solstizio d'estate, la potenza erogata di picco di queste ipotetiche centrali potrebbe arrivare anche a 4GW. Infatti, nel dimensionamento dei pannelli, ho considerato 41W/m² previsti nella tabella del fabbisogno globale.

Quindi ogni singolo impianto avrebbe le seguenti caratteristiche:

potenza media di un impianto di 1GW;
area di batterie per lo stoccaggio diurno e per i servizi 1%;
percentuale di margine per fermo di manutenzione 10%;
che significherebbe un'area di pannelli pari a 27,0 Km²;
Cioè un'area quadrata di lato 5,2 Km.

Un'area abbastanza importante che però consentirebbe comunque una certa flessibilità e la possibilità, da parte dei vari paesi, di sfruttare meglio le aree adatte disponibili nel territorio e permetterebbe anche una certa facilità di controllo.

Da questo impianto tipo, per soddisfare il fabbisogno di 400.000 km² emergerebbe uno scenario come dalla tabella sottostante:

