

Energia Solare

www.fisicaxscuola.altervista.org

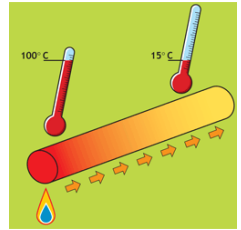
Energia Solare

- Propagazione del Calore
 - Conduzione
 - Convezione
 - Irraggiamento
- Irraggiamento Termico
- Radiazione Termica
 - Legge di Wien
 - Legge di Stefan-Boltzmann
 - Legge di Planck
- Radiazione Solare
 - Il Sole
 - Costante Solare
 - Le Stagioni
 - Influenza dell'atmosfera
 - Dipendenza dalla posizione
- Diagrammi Solari

Propagazione del Calore

I meccanismi di propagazione del calore sono:

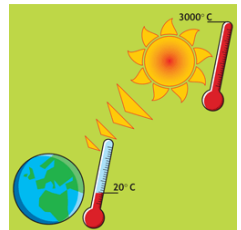
Conduzione: E' la trasmissione di calore da un corpo ad un altro senza spostamento delle sue molecole. Un caso tipico è il riscaldamento di un'asta metallica mediante una fiamma applicata alle sue estremità. L'energia termica si trasmette per contatto da molecola a molecola dall'estremità a più alta temperatura verso quella fredda. **La conduzione è tipica dei solidi.**



Convezione: E' la trasmissione di calore che avviene nei fluidi (liquidi e gas) con spostamento delle molecole. Se un corpo caldo (ad esempio un radiatore) riscalda l'aria, questa diventa sempre più leggera e sale verso l'alto; tale movimento richiama altra aria verso il corpo caldo e così via. La spinta naturale di salita dell'aria, origina un movimento lento della stessa (convezione), riscaldando il locale in modo uniforme e confortevole. **La convezione è tipica dei fluidi.**



Irraggiamento: E' la trasmissione di calore senza contatto diretto dei corpi. In questo caso si trasmette il calore mediante onde o radiazioni. Un esempio è il calore che percepiamo da una lampadina accesa quando avviciniamo la mano. **Questo è il modo in cui il Sole riscalda la Terra.** L'irraggiamento riguarda tutti gli stati di aggregazione.



Irraggiamento Termico

L'energia emessa con continuità dal Sole, dopo aver attraversato lo spazio vuoto, raggiunge la Terra riscaldandola.

Il trasferimento di calore, in questo caso, non avviene né per conduzione né per convezione, bensì per:

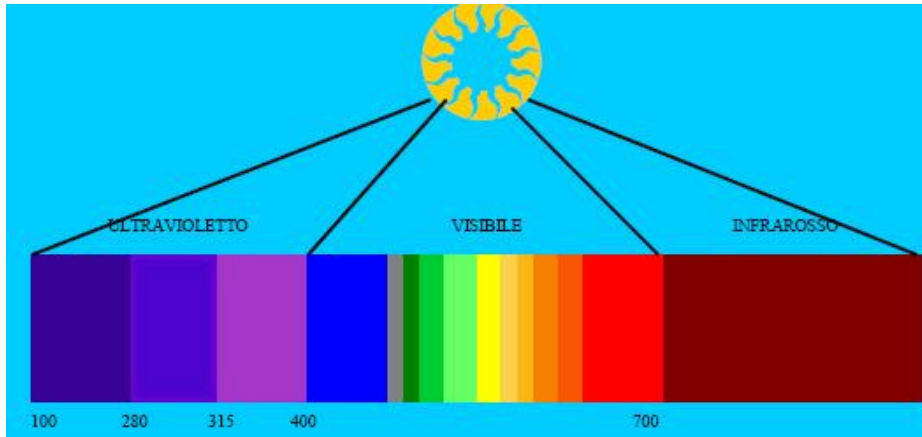
IRRAGGIAMENTO TERMICO: Emissione di onde elettromagnetiche generate dagli atomi e molecole eccitati dall'agitazione termica che si diseccitano emettendo fotoni di frequenza proporzionale alla loro temperatura. Questa radiazione si propaga, attraverso la materia e nel vuoto, e non appena colpisce un altro corpo, inizia ad essere assorbita: nel corpo assorbente, per azione della radiazione termica, si incrementa l'agitazione molecolare, e dunque, macroscopicamente, registriamo un incremento della temperatura.

Caratteristiche:

- non necessita di contatto diretto tra gli scambiatori;
- non necessita di un mezzo per propagarsi;
- si ha per ogni temperatura, ma solo a temperature abbastanza elevate il contributo allo scambio termico per irraggiamento supera i contributi per conduzione e convezione;
- la radiazione elettromagnetica in grado di trasferire calore, detta **radiazione termica**, si estende dall'*infrarosso* all'*ultravioletto* ed ha:
 - lunghezza d'onda compresa tra 10^{-2} μm (UV) e 10^2 μm (IR)
 - frequenza compresa tra $1.5 \cdot 10^{16}$ Hz (UV) e $3 \cdot 10^{12}$ Hz (IR)

Irraggiamento Termico

Tipo di radiazione elettromagnetica	Frequenza	Lunghezza d'onda
Infrarosso	300 GHz – 428 THz	1 mm – 700 nm
Visibile	428 THz – 749 THz	700 nm – 400 nm
Ultravioletto	749 THz – 30 PHz	400 nm – 10 nm



<u>Colore</u>	<u>Frequenza</u>	<u>Lunghezza d'onda</u>
<u>Violetto</u>	668-789 THz	380–450 nm
<u>Blu</u>	631-668 THz	450–475 nm
<u>Ciano</u>	606-631 THz	476-495 nm
<u>Verde</u>	526-606 THz	495–570 nm
<u>Giallo</u>	508-526 THz	570–590 nm
<u>Arancione</u>	484-508 THz	590–620 nm
<u>Rosso</u>	400-484 THz	620–750 nm

Radiazione Termica

Corpo nero

Molte delle proprietà caratteristiche della radiazione termica (quantità di calore, potenza emessa, relazione tra lunghezza d'onda e temperatura...) sono state determinate sperimentalmente a partire dalla seconda metà dell'Ottocento anche grazie agli studi sull'emissione del **CORPO NERO**, definito come **un oggetto ideale che assorbe tutta la radiazione elettromagnetica incidente senza rifletterla**. Assorbendo tutta l'energia incidente, per la legge di conservazione dell'energia, il corpo nero re-irradia tutta l'energia assorbita.

Tali studi hanno messo in evidenza degli andamenti che hanno poi avuto anche una formalizzazione matematica:

Legge di Wien

La frequenza della radiazione emessa dal corpo nero è direttamente proporzionale alla temperatura del corpo. Pertanto, poiché lunghezza d'onda e frequenza sono inversamente proporzionali, si ha anche che la temperatura assoluta alla quale si trova un corpo nero e la lunghezza d'onda, alla quale avviene la massima emissione, sono inversamente proporzionali:

$$\lambda \cdot T = a \quad \text{con} \quad \begin{cases} a = \text{Costante di Wien} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \\ T = \text{Temperatura assoluta} \\ \lambda = \text{Lunghezza d'onda} \end{cases}$$

Radiazione Termica

Corpo nero

Legge di Stefan-Boltzmann

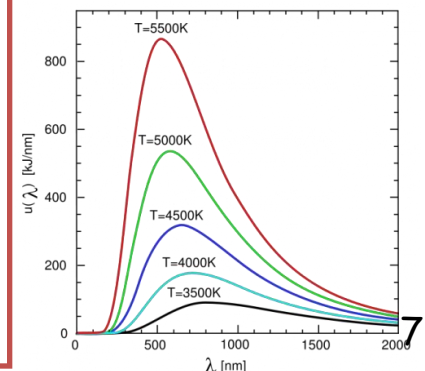
L'ammontare totale della radiazione, di ogni frequenza, è direttamente proporzionale alla superficie del corpo emettente ed alla quarta potenza della temperatura:

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad \text{con} \quad \left\{ \begin{array}{l} P = \text{Potenza emessa} \\ \sigma = \text{Costante di Stefan - Boltzmann} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \\ T = \text{Temperatura assoluta} \\ A = \text{Superficie del corpo} \end{array} \right.$$

Legge di Planck

La radiazione termica, anche ad una sola temperatura, avviene con un'ampia gamma di frequenze (lunghezze d'onda) e la potenza emessa è distribuita in funzione di tali frequenze. L'energia connessa ad ogni frequenza è data da:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad \text{con} \quad \left\{ \begin{array}{l} E = \text{Energia trasportata} \\ h = \text{Costante di Planck} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \\ \nu = \text{Frequenza}; \lambda = \text{Lunghezza d'onda} \\ c = \text{Velocità della luce;} \end{array} \right.$$



Radiazione Solare

Il Sole

Il Sole è una stella (nana gialla) sede di reazioni termonucleari a catena durante le quali l'idrogeno si combina (fusione) per formare elio, effettuando nel nucleo una conversione di massa in energia (T_i stimata circa 20 milioni di gradi).

SOLE & TERRA

$$M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$R_S = 6,95 \times 10^8 \text{ m}$$

$$R_T = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$$

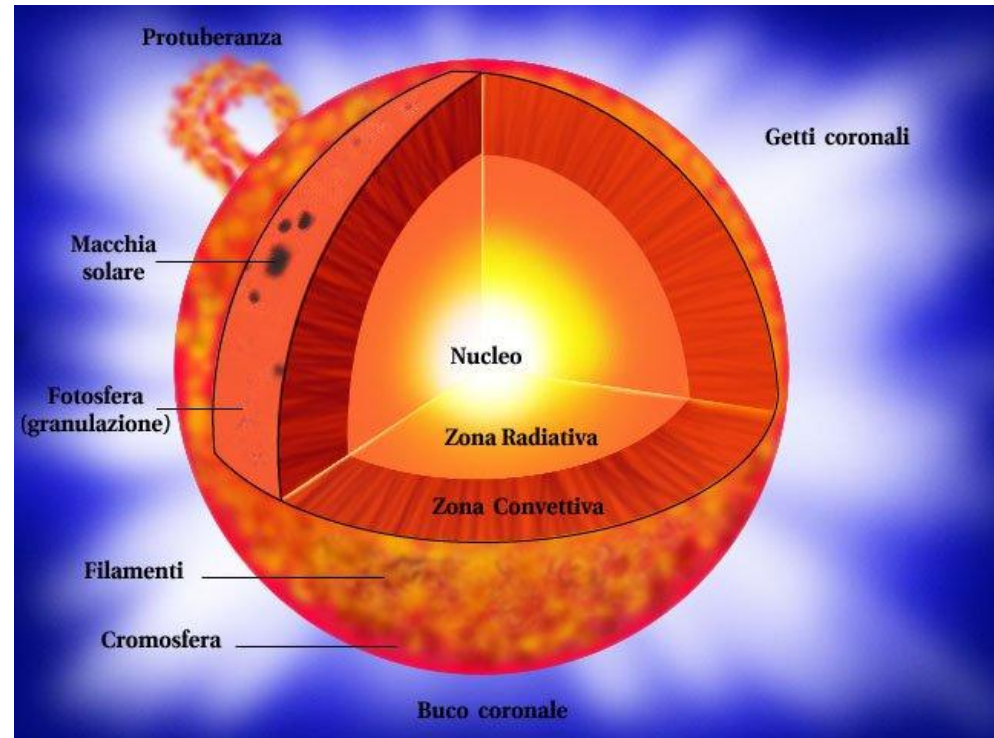
$$T_S = 5777 \text{ K}; \lambda_{\text{MAX}} = 0,5 \mu\text{m}$$

$$T_T = 287 \text{ K}; \lambda_{\text{MAX}} = 10 \mu\text{m}$$

$$g_S = 274 \text{ ms}^{-2} \approx 27 g_T$$

$$D_{S-T} = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$t_{S-T} = 8 \text{ m } 19 \text{ s} \approx 499 \text{ s}$$



Curiosità: il Sole ha circa 5 miliardi di anni e si stima che sia a circa la metà della sua vita, quindi si "spegnerà" tra 5 miliardi di anni ma, tranquilli, la vita sulla Terra sarà finita già da un po'...

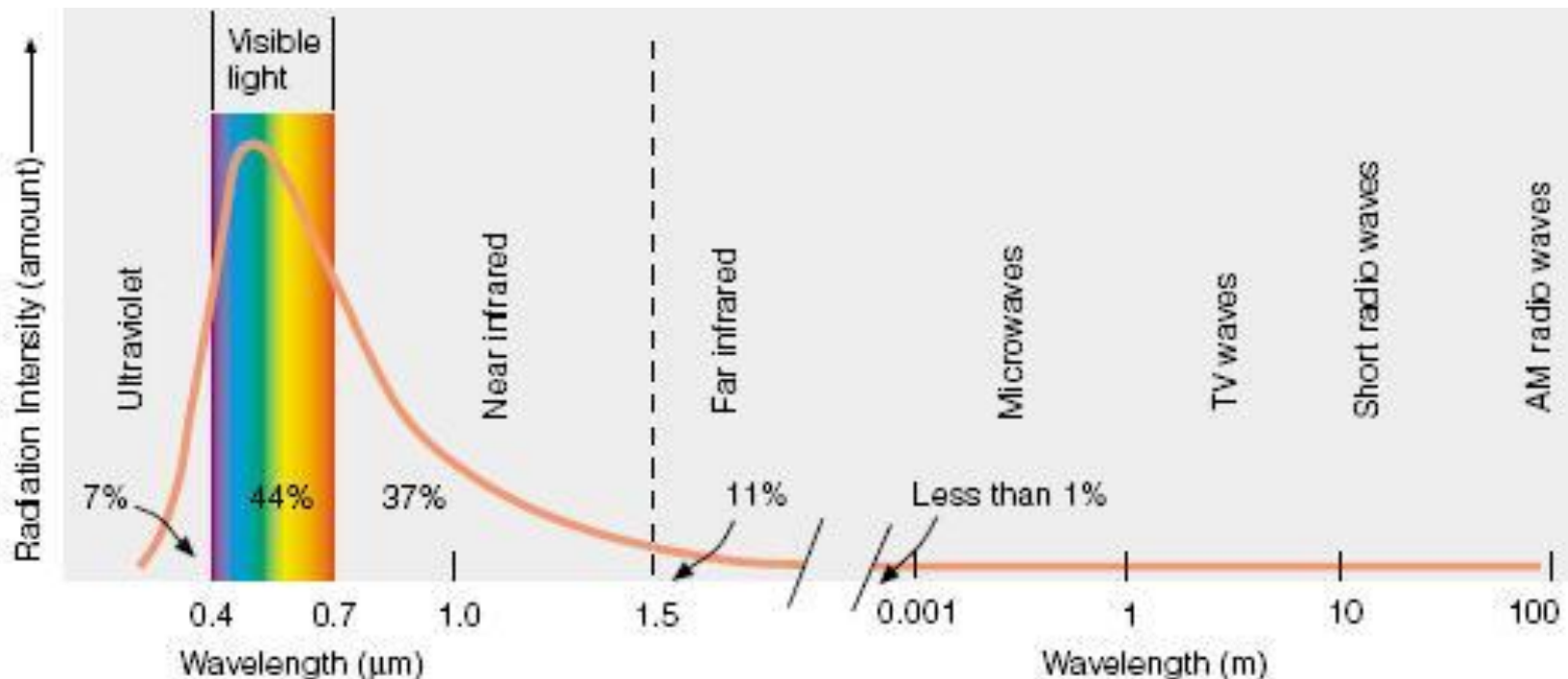
Si stima, infatti, che già tra "soli" 2,8 miliardi di anni il Sole avrà una temperatura talmente alta da "sterilizzare" la Terra.

Radiazione Solare

Durante il viaggio dal Sole alla Terra, l'intensità luminosa subisce una diluizione secondo la legge dell'inverso del quadrato della distanza.

La radiazione solare, analogamente alla radiazione emessa da un corpo nero ad una temperatura di circa 5800K, è distribuita su un ampio spettro di frequenze con la forma tipica dello spettro di un corpo nero.

La radiazione solare che arriva alla **sommità dell'atmosfera terrestre** è principalmente costituita da ultravioletti [0,17 μm , 0,40 μm], dall'intero spettro visibile [0,40 μm , 0,74 μm] e da infrarossi [0,74 μm , 4 μm], con un picco nel visibile a circa 0,50 μm .



Radiazione Solare

Costante Solare

Possiamo determinare la quantità di energia radiante che mediamente arriva sulla Terra dal Sole per unità di tempo e superficie (quindi una potenza per unità di superficie), misurata sulla **superficie superiore dell'atmosfera terrestre**, applicando la legge di Stefan-Boltzmann per ricavare la potenza emessa dal Sole:

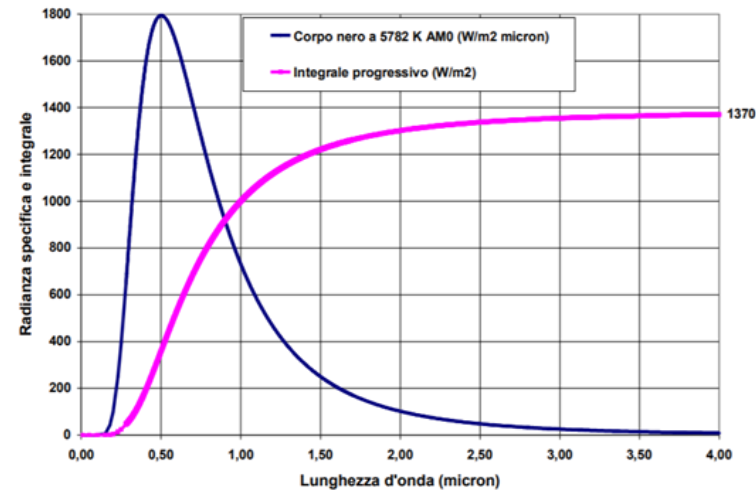
$$P = A \cdot \sigma \cdot T^4 = 4\pi \cdot R_S^2 \cdot \sigma \cdot T^4 =$$

$$4\pi \cdot (6,96 \cdot 10^8 \text{ m})^2 \cdot (5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \cdot (5800^4 \text{ K}^4) = 3,91 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

e, considerando la distanza della Terra dal Sole (mediamente $150 \cdot 10^6 \text{ km}$), come raggio del fronte sferico su cui si attenua otteniamo:

$$\text{Costante Solare} = \frac{P}{4\pi \cdot R_{\text{Distanza Terra-Sole}}^2} = \frac{3,91 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4\pi \cdot (150 \cdot 10^9 \text{ m})^2} \cong 1400 \text{ Wm}^{-2}$$

Definiamo **Costante Solare** l'energia solare radiante che arriva sulla superficie superiore dell'atmosfera terrestre per unità di superficie e di tempo (su un piano perpendicolare ai raggi solari).

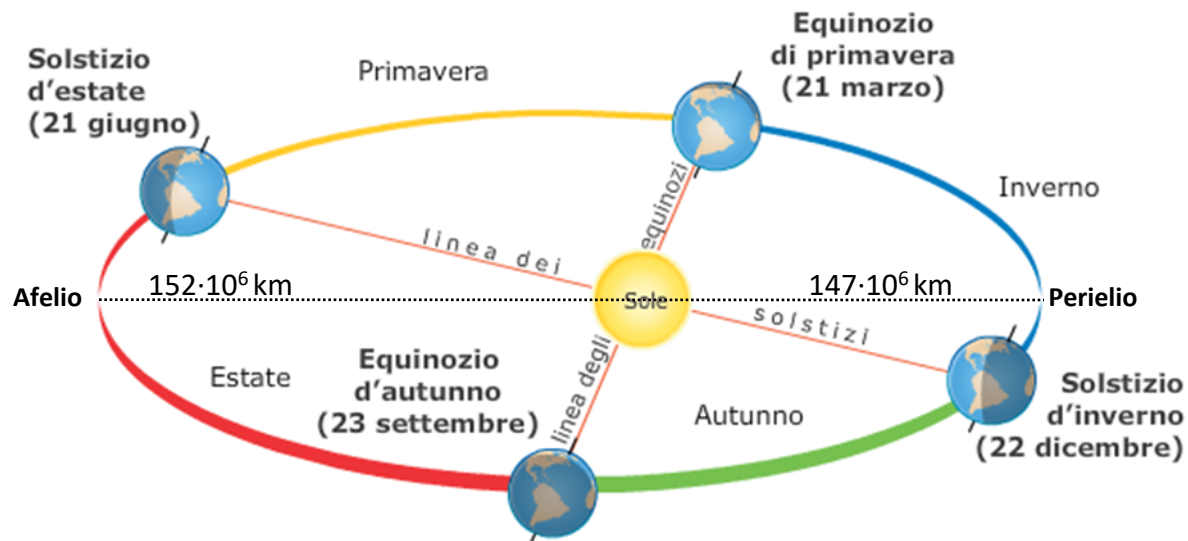
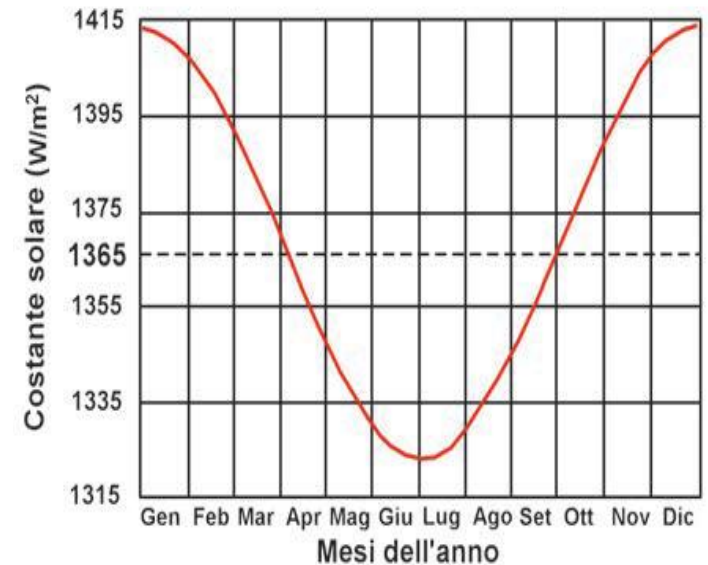


Radiazione Solare

Costante Solare

In realtà la **COSTANTE SOLARE** non è propriamente costante in quanto l'orbita della Terra intorno al Sole è ellittica e non circolare, pertanto il raggio cambia durante il moto della Terra intorno al Sole.

In particolare la **COSTANTE SOLARE** assume il valore **massimo nei mesi invernali** (1440), quando la distanza Terra-Sole è minima ($147 \cdot 10^6$ km), e quello **minimo nei mesi estivi** (1374), quando la distanza Terra-Sole è massima ($152 \cdot 10^6$ km):



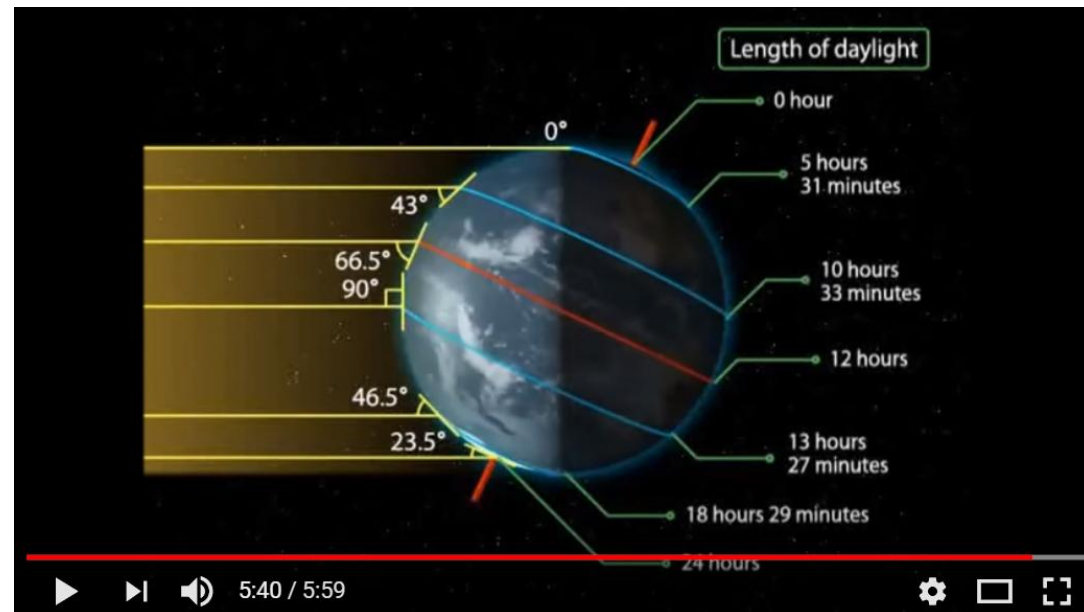
Radiazione Solare

Le Stagioni

Non deve stupire che il massimo della potenza radiante per unità di superficie (costante solare) sia massima nel periodo invernale, in quanto in realtà **le stagioni della Terra sono determinate dall'inclinazione del nostro pianeta sul suo asse e non dalla distanza rispetto al Sole.**

La Terra ruota infatti su un asse inclinato di 23.5 gradi dalla verticale. Questo inclina l'emisfero Nord lontano dal Sole durante l'inverno boreale e verso il Sole durante l'estate. In altre parole l'inclinazione dell'asse di rotazione della Terra determina il cambiamento delle stagioni andando a mutare l'angolo di incidenza dei raggi solari che raggiungono la superficie.

Quando un emisfero si trova in inverno i raggi solari colpiscono la superficie con una maggiore inclinazione rispetto all'orizzonte e quindi si ha un minore grado di irraggiamento, l'atmosfera e la superficie assorbono meno calore e tutto l'emisfero risulta più freddo.



Radiazione Solare

Influenza dell'atmosfera

L'atmosfera terrestre è spessa circa 80 km lungo la verticale e la radiazione solare arriva al suolo in un determinato luogo da una direzione che cambia continuamente durante il giorno in quanto **dipende dalla posizione corrente del Sole**.

L'atmosfera è composta di numerose sostanze, quali vapore acqueo, aerosol, nubi, ossigeno, anidride carbonica, azoto ecc. Alcune di queste assorbono i raggi del Sole in modo selettivo oppure deviano i raggi del sole. In particolare l'ossigeno e l'azoto presenti nella ionosfera assorbono i raggi ad alta frequenza (X e γ) e l'ozono la maggior parte della radiazione UV.

La radiazione che penetra nell'atmosfera viene in parte riflessa e rinviata verso lo spazio e in parte:

- raggiunge il suolo (**radiazione diretta**);
- raggiunge il suolo e viene riflessa (**radiazione riflessa**);
- raggiunge il suolo dopo essere stata deviata (**radiazione diffusa**).



$$I = I_D + I_R + I_d \quad 13$$

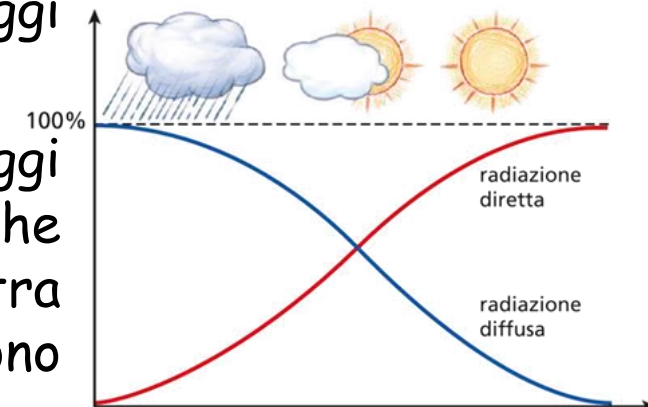
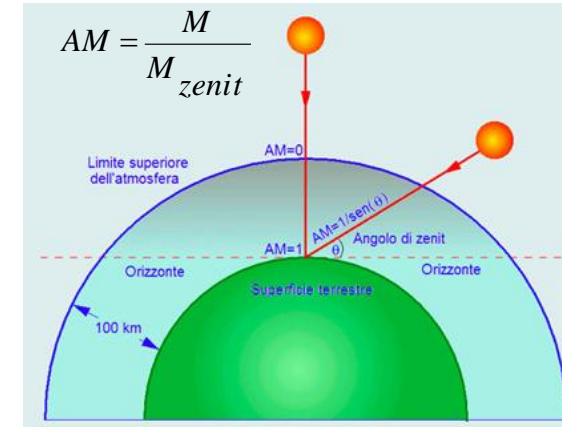
Radiazione Solare

Influenza dell'atmosfera

□ **Radiazione Solare Diretta:** è la radiazione che raggiunge il suolo senza che il suo percorso sia perturbato. È attenuata dall'assorbimento atmosferico che dipende, prevalentemente, dallo spessore di aria attraversato. L'indice della massa d'aria attraversata è dato dal parametro AM (Air Mass), definito come rapporto tra la massa d'aria effettivamente attraversata e quella che verrebbe attraversata se il Sole fosse allo zenit (in tal caso la massa d'aria è minima perché i raggi percorrono una linea retta).

□ **Radiazione Solare Diffusa:** insieme dei raggi solari deviati dai gas presenti in atmosfera che raggiungono il suolo. Le proporzioni tra radiazione diffusa e diretta dipendono fortemente dalle condizioni meteorologiche.

□ **Radiazione Solare Riflessa (Albedo):** insieme dei raggi solari riflessi dal terreno, specchi d'acqua e altre superfici. È maggiore nelle zone innevate e in presenza di superfici riflettenti.



Radiazione Solare

Dipendenza dalla posizione

La quantità di energia che arriva al suolo è fortemente influenzata, oltre che dai fattori visti in precedenza, anche dall'**inclinazione dei raggi** che lo colpiscono e, quindi, dalla posizione del punto sulla superficie terrestre rispetto al Sole.

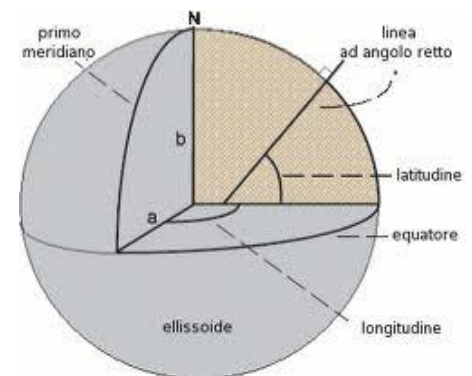
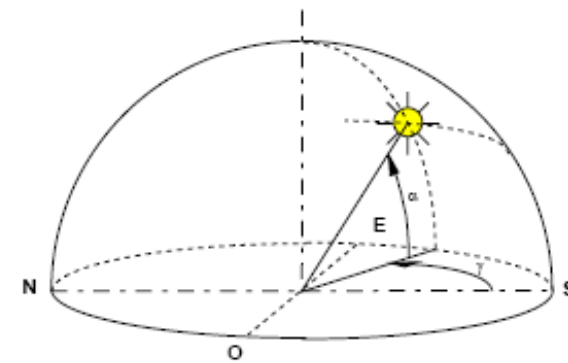
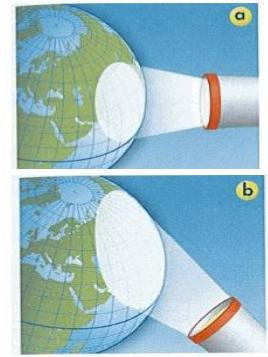
Per individuare la posizione relativa del Sole rispetto alla Terra, si definiscono:

Altezza (α): angolo verticale che la direzione collimata al sole forma con il piano orizzontale;

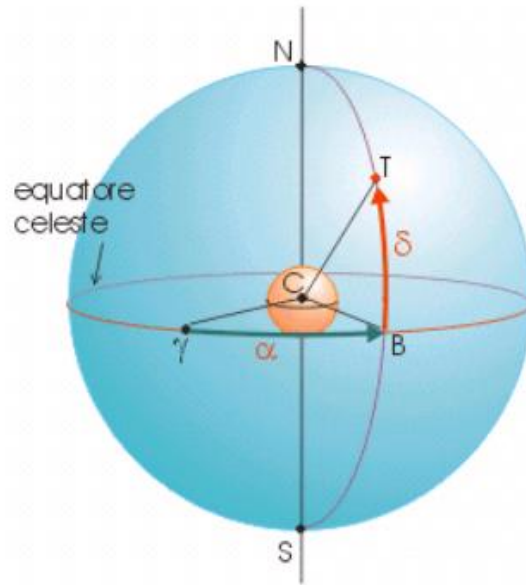
Azimut solare (γ): angolo orizzontale tra il piano verticale passante per il sole e la direzione del sud, ed è positivo verso est e negativo verso ovest.

Declinazione (δ): angolo formato dalla congiungente sole-terra con il piano equatoriale;

Latitudine (ϕ): angolo formato dalla congiungente il punto di osservazione con il centro della terra e il piano dell'equatore. Assume valore 0° all'orizzonte a 90° al polo.



Sistema Equatoriale (Declinazione e Ascensione Retta)

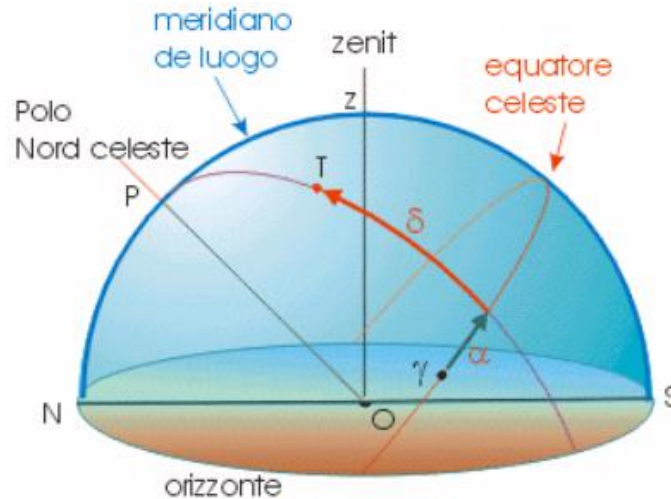


È un sistema di coordinate astronomiche che ha come direzione fondamentale l'asse del mondo (NS) e come piano fondamentale quello dell'equatore celeste. I poli del sistema sono i poli celesti nord e sud. I cerchi ausiliari si chiamano cerchi o circoli orari. I cerchi minori, paralleli all'equatore, si chiamano paralleli celesti.

Ascensione retta (AR o α): è l'ascissa sferica del sistema equatoriale. L'ascensione retta di un astro (**T**) è la distanza sferica tra il punto gamma (γ) e il piede (**B**) dell'orario dell'astro. Si misura di solito in ore, minuti e secondi, lungo l'equatore celeste, partendo dal punto gamma e con senso di percorrenza antiorario per un osservatore posto a nord. Nel nostro disegno corrisponde anche all'angolo γCB dove **C** è il centro della Terra.

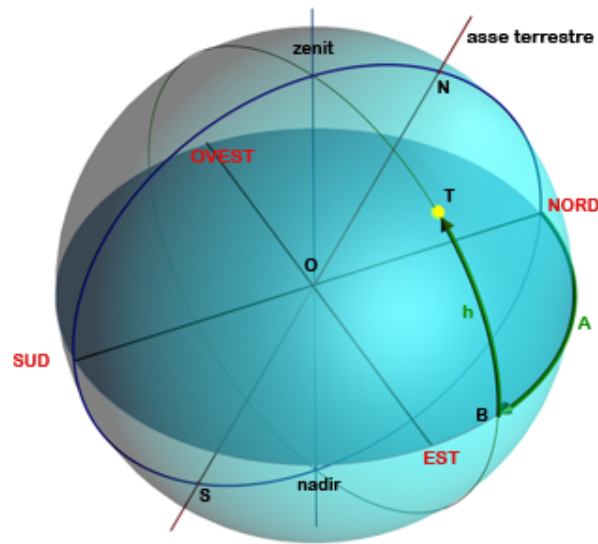
Declinazione (D o δ): è l'ordinata sferica di questo sistema. La declinazione di un astro (**T**) è la distanza sferica tra l'astro (**T**) e l'equatore, misurata lungo l'orario di tale punto. Si misura in gradi e frazioni di grado con segno positivo verso il polo nord celeste (da 0° a $+90^\circ$) e negativo verso il polo sud (da 0° a -90°).

Nel nostro disegno la declinazione del punto **T** corrisponde anche all'angolo **TCB** dove **C** è il centro della Terra.



In questa immagine a fianco riproduciamo la volta celeste con il sistema di riferimento equatoriale. L'intero sistema di riferimento equatoriale (equatore celeste, asse del mondo, punto gamma) partecipa alla rotazione diurna della sfera celeste e quindi l'ascensione retta e la declinazione di un astro sono praticamente costanti nel tempo. Molto simile al sistema equatoriale è il sistema orario, necessario per identificare la posizione un corpo celeste di cui si conoscano solo le coordinate equatoriali. Vedi anche tempo siderale.

Sistema Azimutale (Azimut e Altezza)



Il sistema azimutale (chiamato anche altazimutale o orizzontale) è un sistema di coordinate astronomiche in cui si sceglie come *direzione fondamentale* la verticale alla superficie terrestre passante per l'osservatore (o). I due poli sono quindi lo zenit e il nadir. Il *piano fondamentale* è il piano dell'orizzonte astronomico. E' un *sistema locale* perché dipende dalla posizione dell'osservatore.

I cerchi ausiliari sono chiamati cerchi di altezza o cerchi verticali. Un cerchio verticale è quindi un cerchio massimo che passa per lo zenit e il nadir.

La linea verticale divide il cerchio verticale in due semicerchi verticali o semplicemente verticali. Il semicerchio verticale che passa per un astro (es. zenit-T-nadir) si chiama verticale dell'astro.

Il verticale nord è il verticale che contiene il polo nord celeste (zenit-N-NORD-nadir dove N è il nord celeste e NORD è il punto cardinale nord). Il verticale sud è il verticale che contiene il polo sud celeste (zenit-SUD-S-nadir). Con il termine piede del verticale si intende un punto di intersezione tra un verticale e l'orizzonte (ad esempio il punto B è il piede del verticale dell'astro T).

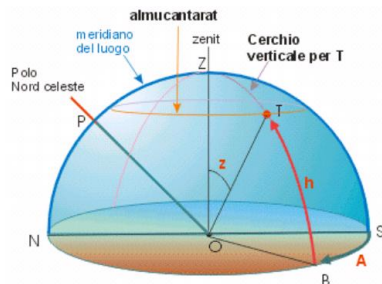
Azimut (A): è l'ascissa sferica di questo sistema. L'azimut dell'astro T è l'arco di orizzonte (A) compreso tra il punto cardinale NORD e il piede del verticale (B) dell'astro. Si misura in gradi partendo dal punto cardinale NORD in senso orario da 0° a 360°. Nel nostro disegno, l'azimut dell'astro T è l'arco A.

Una convenzione, ormai in disuso, è quella di misurare l'azimut partendo dal punto cardinale SUD, sempre in senso orario (vedi l'ultima immagine di questa pagina).

Un verticale è il luogo dei punti, sulla sfera celeste, che hanno lo stesso azimut.

Altezza (h): è l'ordinata sferica di questo sistema. L'altezza dell'astro T corrisponde alla distanza sferica (arco h) dell'astro dall'orizzonte. Si esprime in gradi con valore positivo verso lo zenit (da 0° a +90°) e negativo verso il nadir (da 0° a -90°).

Nel sistema azimutale entrambe le coordinate (azimut e altezza) delle stelle variano sensibilmente con il passare del tempo a causa del moto di rotazione della Terra.

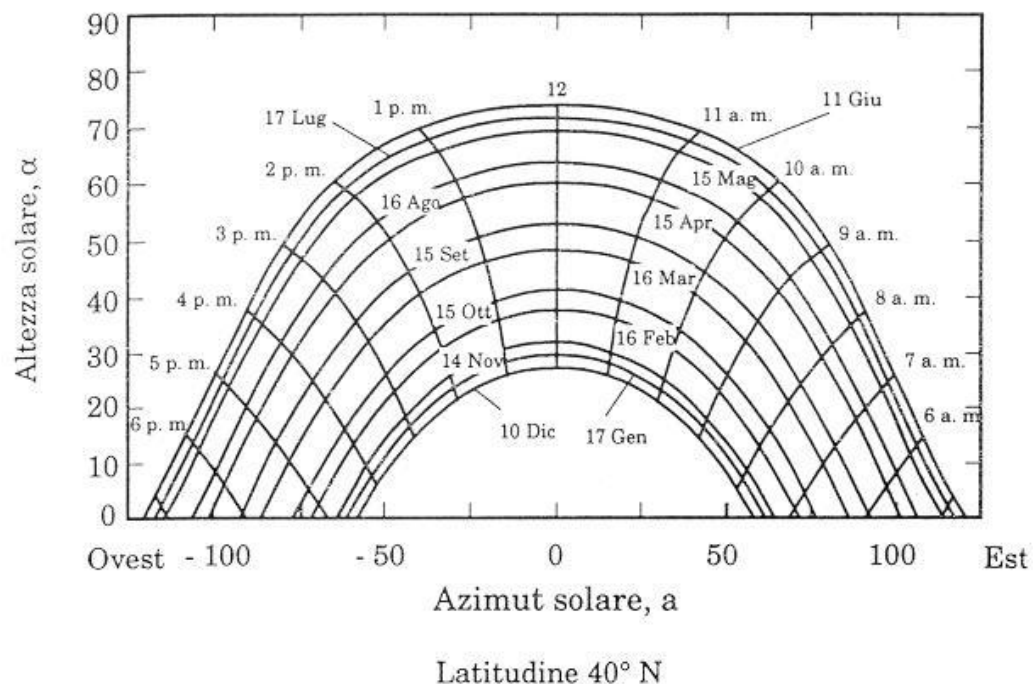


Diagrammi Solari

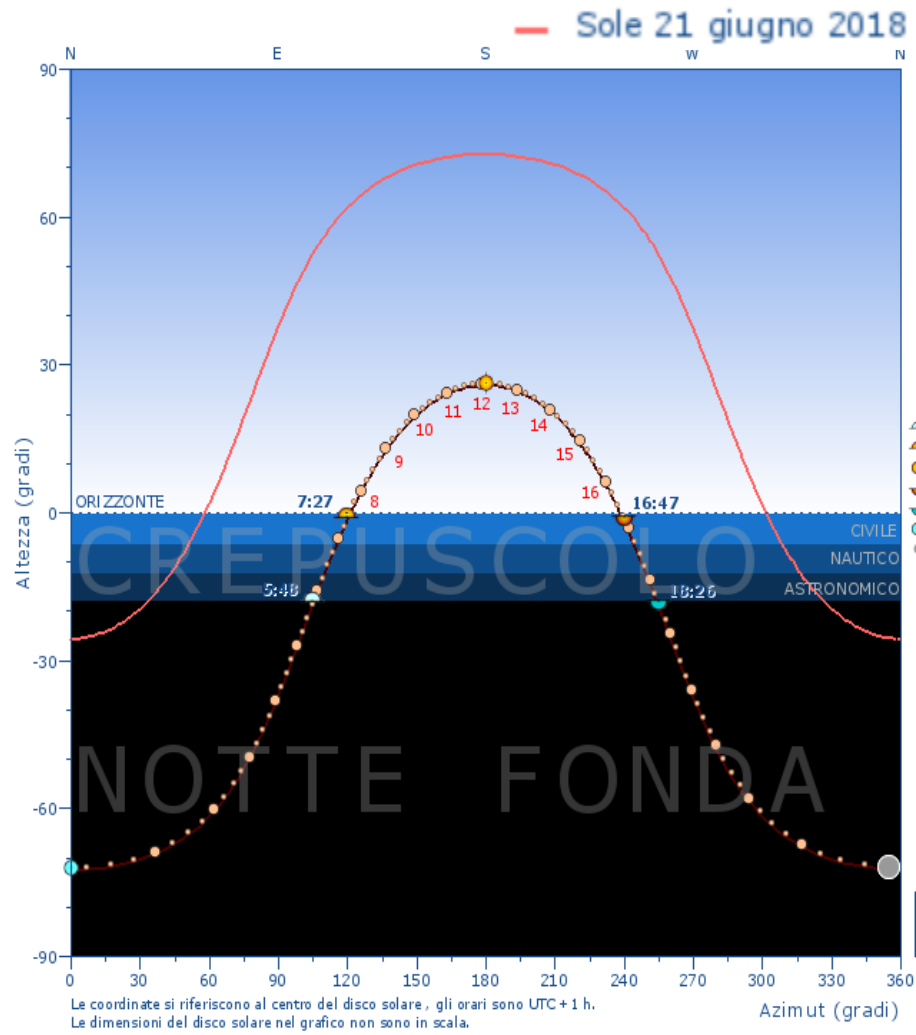
Il diagramma solare è un grafico in cui è rappresentato il moto apparente del sole nella sfera celeste proiettato su un piano.

La posizione del sole viene identificata tramite l'altezza solare α e l'angolo azimutale solare γ , ossia l'angolo formato tra la proiezione sul piano orizzontale dei raggi solari e la direzione sud, considerato positivo se la proiezione cade verso est.

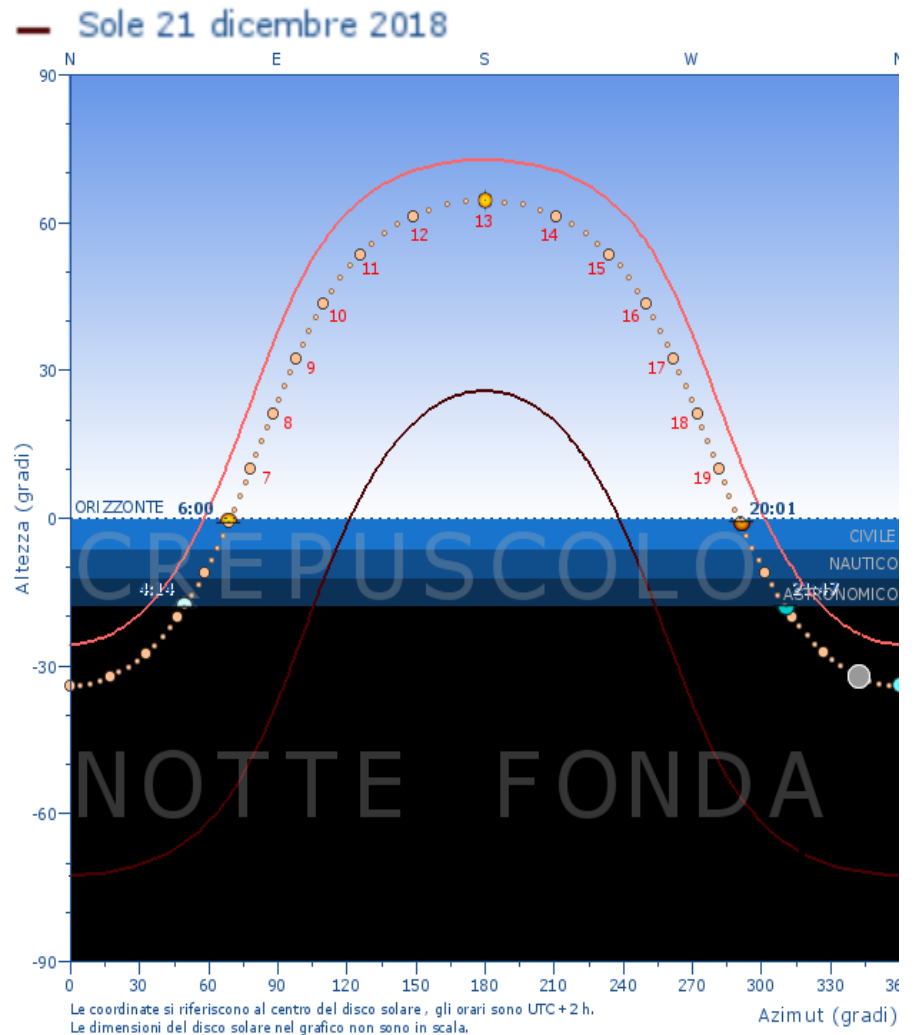
Sui diagrammi solari, per ogni latitudine si possono tracciare delle curve che uniscono i punti rappresentativi della posizione del sole in diverse ore dello stesso giorno, generalmente il ventunesimo di ogni mese, insieme con altre curve, perpendicolari a queste ultime, che uniscono punti relativi alla stessa ora del giorno, in giorni differenti dell'anno.



Diagrammi Solari



Napoli, 2/1/18



Napoli, 2/5/18

<http://www.meteo.sm/solare.php>

Bibliografia & Sitografia

- Mirri L- Parente M., Fisica ambientale - Energie alternative e rinnovabili, Zanichelli
- https://it.wikipedia.org/wiki/Corpo_nero
- https://it.wikipedia.org/wiki/Radiazione_termica
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Irraggiamento>
- <http://www.oilproject.org/lezione/assorbanza-trasmittanza-irraggiamento-termico-corpo-nero-radiazione-elettromagnetica-trasmissione-calore-legge-di-stefan-boltzmann-14598.html>
- <http://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/radiazione-solare/quant-energia-solare-arriva-sulla-terra>
- <http://www.energyexpert.it/impianto-solare-per-produzione-energia-termica/la-radiazione-solare>
- [Spigolature astronomiche](#)
- <http://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/radiazione-solare/la-radiazione-al-suolo.-il-ruolo-dell2019atmosfera>
- <http://serious.altervista.org/lenergia-dellatmosfera-la-riceve/>
- https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/597_2011_289_12565.ppt
- <http://blogparsec.blogspot.it/2015/09/latmosfera-terrestre-24-bassa-e-media.html>
- <http://www.wikitecnica.com/diagramma-solare/>
- https://eratostene.vialattea.net/index.php?option=com_content&view=article&id=208:sistema-azimutale&catid=40:glossario&Itemid=165
- https://eratostene.vialattea.net/index.php?option=com_content&view=article&id=249:sistema-equatoriale&catid=40:glossario&Itemid=165
- <https://eratostene.vialattea.net/>

Crediti Immagini

- <http://www.notizieinunclick.it/buona-primavera-a-tutti/>
- https://youtu.be/yHDA_dbsQM8
- <http://cdn.casaecologica.net/sites/casaecologica.net/files/field/image/radiationesolare.jpg>
- <http://cultura.biografieonline.it/wp-content/uploads/2015/03/sole.jpg>
- https://4.bp.blogspot.com/-5ni6BieEPYE/VgQWRgsJk_I/AAAAAAAAAC6A/jC3bgb837fA/s1600/26c1_radiazione_solare.jpg
- https://d3p5wkccolzpd5.cloudfront.net/sites/www.voltimum.it/files/fields/main_image/it/hotspot/1334648787.jpg
- <http://www.laviadelcuore.eu/images/angolo-luce.jpg>