

Esperienza n°1

Il paesaggio lunare e le sue sorprese

Associazione Astrofili di Piombino

LINEARIS (Laboratorio Interdisciplinare per l'Educazione all'Astronomia ed alla Ricerca Scientifica)

5 dicembre 2009

E' più utile il Sole o la Luna? Senza dubbio la Luna, dal momento che ci dà luce durante la notte, quando è buio, mentre il Sole splende soltanto di giorno, quando di luce ce n'è comunque in abbondanza.

(George Gamow, The Moon, 1953)

Descrizione generale.

L'esperienza propone una survey telescopica in media ed alta risoluzione della superficie lunare alla scoperta delle singolari strutture geomorfologiche e dei loro particolari; saranno individuate le principali formazioni selenografiche distinguendole per tipologia e caratteristiche geologiche.

Sarà misurato l'albedo delle superfici e sarà altresì misurata la profondità di alcuni crateri e l'altezza di alcune formazioni montuose con l'ausilio di strumenti digitali e con il supporto di software specifici.

La strumentazione utilizzata è costituita dal telescopio riflettore in configurazione Newton 400 mm f=5/22 su montatura a forcella, presente nella specola principale, pilotato da computer a puntamento attivo e camera fotografica digitale Canon D40 posta al fuoco primario.

Specifiche sperimentali.

L'esperienza osservativa della superficie lunare è articolata in due distinte fasi: una prima di carattere qualitativo ed una seconda prettamente quantitativa.

Osservazione qualitativa: vengono scandagliati, in media ed alta risoluzione, alcuni settori di superficie lunare riconoscendo le principali strutture selenografiche (crateri, mari, monti, rimae e domi); queste sono confrontate con le immagini presenti in rete (risorse Web NASA) e con le informazioni presenti nell'atlante digitale Virtual Moon Atlas. Le immagini riprese dalla Canon sono trasferite via USB sul desktop del computer per una loro immediata valutazione

Obiettivi formativi: imparare a riconoscere i caratteri geomorfologici delle differenti strutture lunari, saper confrontare i dati osservativi diretti con le informazioni codificate.

Osservazione quantitativa (I): valutazione dell'albedo.

Il nostro satellite ci appare completamente grigio, assolutamente privo di colorazioni. Distinguiamo le varie formazioni geologiche in base agli effetti di ombreggiamento ed al loro potere di riflettere in modo differenziato la luce solare incidente. In effetti possiamo riconoscere, a parità di flusso luminoso incidente, zone più chiare, talvolta quasi bianche, alternate a zone più scure, dall'aspetto opaco e apparentemente morbido. Con questa esperienza vogliamo imparare a valutare quantitativamente la diversa capacità di riflettere la luce delle varie formazioni lunari; tale capacità, o potere riflettente, si chiama "albedo". l'albedo è a sua volta legata alle caratteristiche fisiche del terreno lunare (composizione, granulometria, ecc.) per cui questa misura può dare delle informazioni preliminari sulla natura dei suoli lunari (che poi le sonde scandagliano in profondità con spettrometria, rilievi radar, ecc.).

In fisica l'albedo di un corpo è definito come il rapporto tra il flusso luminoso riflesso dal corpo ed il flusso luminoso incidente.

$$A = Q_r / Q_i$$

dove:

A= albedo

Q_r= flusso luminoso riflesso

Q_i= flusso luminoso incidente

L'albedo massima è 1, quando tutta la luce incidente viene riflessa. L'albedo minima è 0, quando nessuna frazione della luce viene riflessa. In termini di luce visibile, il primo caso è quello di un oggetto perfettamente bianco lucido, l'altro di un oggetto perfettamente nero opaco.

Poiché è assai complesso stimare il termine Q_i con esattezza, qui si procede alla stima dell'albedo utilizzando il metodo *differenziale*, cioè ponendo in relazione tra loro le differenze di luminosità (flusso riflesso Q_r) tra l'area in esame ed una specifica area campione (definita arbitrariamente) che costituisce il parametro di riferimento per tutte le misurazioni.

Analizzando le differenze abbiamo: $\Delta A = \Delta Q_r / Q_i$

dove $\Delta Q_r = Q_{ri} - Q_{rc}$ è la differenza tra il flusso riflesso dell'area in esame (Q_{ri}) e il flusso riflesso dalla zona campione (Q_{rc}).

Se ora rapportiamo ΔQ_r a Q_{rc} invece che a Q_i otteniamo la stima differenziale, relativa alla zona campione:

$$\Delta A_r = \Delta Q_r / Q_{rc}$$

Poiché l'albedo è il risultato di un quoziente di grandezze di medesima unità di misura, esso è privo di dimensione (è un "numero puro", direbbe un matematico) e pertanto è indipendente dalla unità di misura utilizzata. Questo ci facilita parecchio le cose, dal momento che possiamo utilizzare l'unità che più ci fa comodo; nel nostro caso utilizziamo l'ADU (unità analogico-digitale) fornito direttamente dalla lettura dell'immagine digitale effettuata con software dedicati alla elaborazione delle immagini astronomiche (Astroart).

Procedura sperimentale

Utilizzando il software Astroart, nella immagine fotografica della formazione lunare si ricava il flusso riflesso della zona prescelta (ampia pochi pixel) leggendo e mediando tra loro i valore ADU che restituisce il sensore della macchina fotografica e contemporaneamente si ricava il flusso riflesso medio della zona campione.

Si calcola, quindi, il rapporto tra i due valori di flusso e lo si riporta su un foglio Excel.

L'estrema vicinanza delle due zone di lettura fa sì che l'effetto riducente della estinzione atmosferica sia praticamente lo stesso per le due immagini in ogni momento, lasciando pressoché inalterato il rapporto.

Anche il problema della copertura nuvolosa è risolto: se in una posa una velatura nuvolosa blocca una certa percentuale di flusso luminoso di una lettura, la stessa cosa farà con l'altra e il rapporto ancora una volta rimarrà inalterato.

L'esperienza si conclude con la valutazione dell'albedo di una formazione montuosa, di un cratere, di un mare e di un domo.

Obiettivi formativi: riconoscere la relazione tra albedo e caratteri geomorfologici delle differenti strutture lunari, saper acquisire ed analizzare i dati con l'ausilio di software specifici.

Osservazione quantitativa (II): stima della altezze dei rilievi lunari.

Si procede, quindi, alla misura della altezza di alcuni rilievi lunari utilizzando il metodo delle ombre portate. Poiché la soluzione esatta del problema imporrebbe l'utilizzo di contenuti matematici di livello universitario (algebra lineare, calcolo matriciale, trigonometria sferica), viene qui proposta una modalità di calcolo semplificata la quale, pur fornendo risultati più approssimati, richiede conoscenze matematiche in linea con i programmi della scuola secondaria di secondo grado.

Ecco la guida alla procedura sperimentale:

- acquisire le immagini dei rilievi lunari
- determinare la posizione selenografiche dei rilievi
- misurare la lunghezza apparente dell'ombra in pixel
- convertire la lunghezza apparente da pixel a km
- correggere la lunghezza apparente dell'ombra per l'inclinazione della superficie lunare e la direzione del punto di vista terrestre

- determinare l'altezza del sole sopra i rilievi al momento l'immagine
- calcolare l'altezza delle montagne

Acquisire le immagini dei rilievi lunari

Con la camera digitale applicata al telescopio Newton 400, configurato per l'alta risoluzione, vengono riprese delle serie di immagini dei rilievi da misurare. Occorre prendere nota dell'ora esatta in cui è ripresa ogni sequenza.

Da ogni sequenza ottenuta si eliminano le immagini difettose; le altre vengono mediate ed allineate tra loro (ricordiamoci sempre che una immagine digitale è in realtà una griglia formata da numeri) utilizzando il software DeepSkyStacker, ottenendo una unica immagine corretta di elevata qualità.

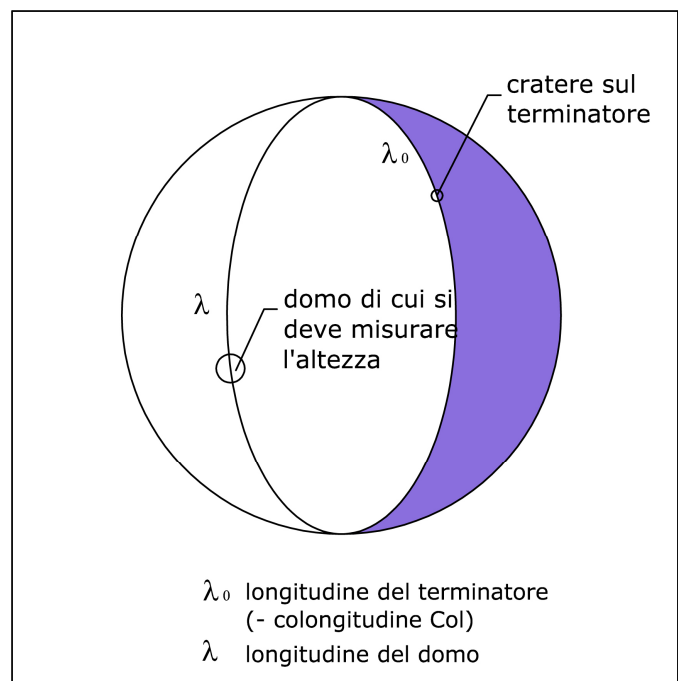
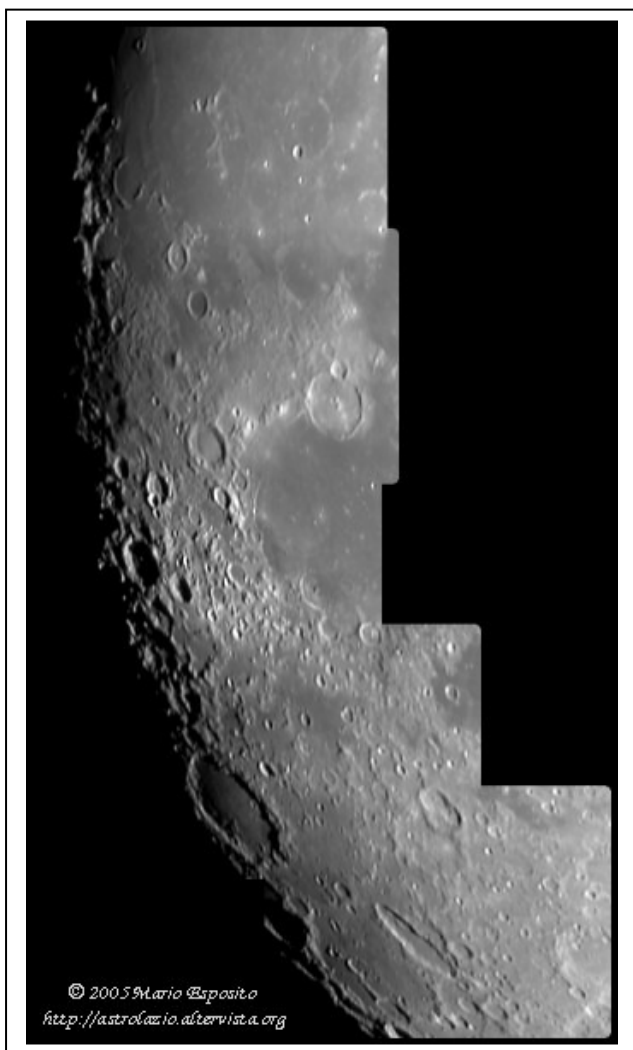
Il successivo ritocco in Photoshop consente di esaltare i contorni ed i contrasti per meglio riconoscere i dettagli dell'immagine.



Determinare la posizione selenografica dei rilievi

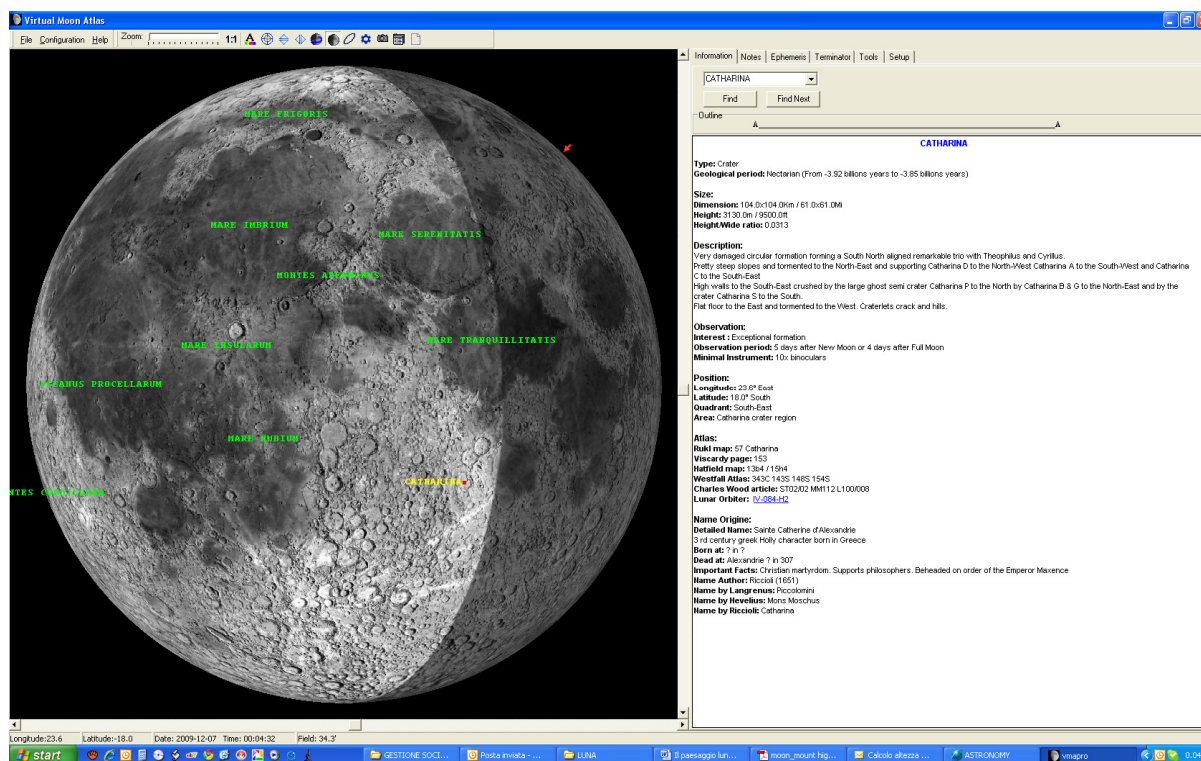
L'ombra di un rilievo dipende dalla altezza del sole rispetto al piano su cui esso è posto; per un rilievo situato sull'equatore lunare questa è funzione della differenza tra la sua longitudine e la longitudine del terminatore, luogo in cui la direzione dei raggi solari è parallela all'orizzonte e crea ombre di lunghezza infinita.

Così facendo viene implicitamente preso in considerazione il tempo esatto nel quale l'osservazione è fatta e conseguentemente la posizione relativa Sole-Luna-Terra, rispetto alla quale noi vediamo il terminatore dove effettivamente si trova.



Terminatore lunare

Per calcolare le esatte longitudini si usa il software VIRTUAL MOON ATLAS la cui schermata tipo è la seguente:



Misurare la lunghezza apparente dell'ombra in pixel

Ora procediamo alla lettura della immagine lunare che abbiamo prodotto in alta risoluzione con grande cura.

L'utilizzo del programma ImageJ consente agevolmente di misurare il numero di pixel che costituiscono la lunghezza apparente dell'ombra proiettata dal rilievo. Per una tipica immagine 640x480, è possibile trovare una lunghezza apparente da 10 a 60 pixels.

Con lo stesso sistema viene misurato il diametro dei crateri o la lunghezza delle rimae.

Prendere nota di tali misure nel foglio elettronico Excel.

Convertire la lunghezza apparente da pixel a km

Conoscendo il valore del campionamento dell'immagine (che già tiene conto della focale dello strumento e delle dimensioni dei pixel del sensore) misurato in arcsec/pix, operiamo in questo modo:

se chiamiamo

D = il diametro equatoriale della Luna (3484 Km)

d'' = il diametro apparente della Luna in arcosecondi

C = il campionamento dell'immagine in arcsec/pix

la scala S_i dell'immagine è:

$$S_i = D / d'' * C \text{ Km/pix}$$

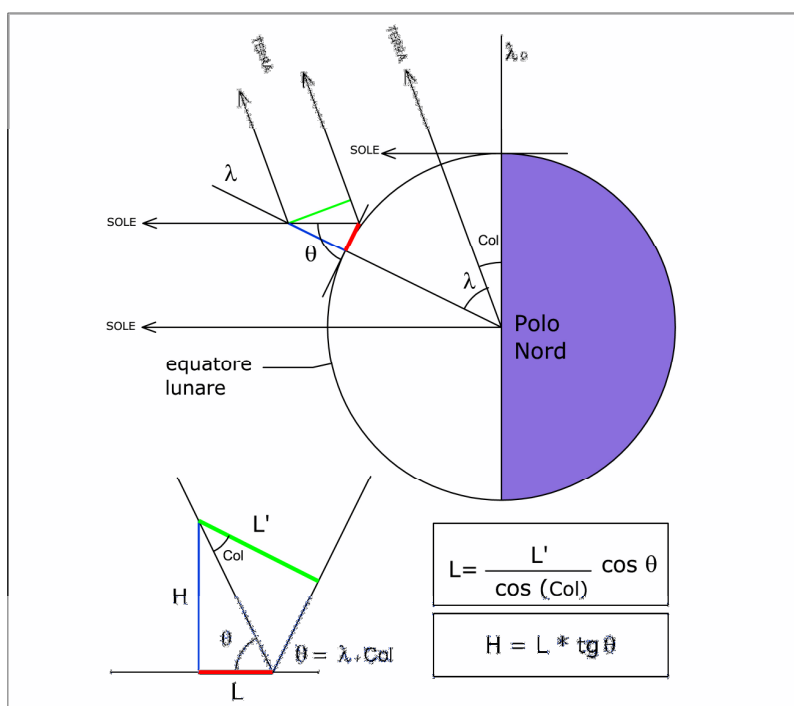
Correggere la lunghezza apparente dell'ombra per l'inclinazione della superficie lunare

Una foto del centro del disco lunare (vicino all'equatore lunare ed a longitudine selenografica zero, ha una distorsione poco o nulla perché la superficie lunare è disposta frontalmente alla fotocamera. Ma una foto di qualsiasi altra area risulterà inclinata rispetto alla fotocamera, più vicina è la zona al bordo della luna, più grande l'inclinazione dell'ombra rispetto all'asse di ripresa.

Questa inclinazione rende le ombre apparentemente più corte di quello che realmente sono.

Per contro la direzione del punto di vista terrestre influirà in senso contrario, poiché all'interno della misura dell'ombra portata cadrà anche l'ombra propria del versante, che porterà ad un allungamento della misura.

Sarà necessario correggere questi effetti di scorcio che dipendono sia dalla longitudine λ che dalla colongitudine.



La figura consente di comprendere facilmente i termini della questione: occorre riportare la misura dell'ombra apparente L' a quella dell'ombra effettiva L .

La colongitudine individua la posizione del terminatore al momento dell'osservazione
 L'angolo $\theta = \lambda + Col$
 misura l'altezza del sole sull'orizzonte locale del punto

considerato.

Se il rilievo di cui effettuiamo la misura è posto a distanza dal meridiano zero lunare, la lettura della lunghezza dell'ombra risulterà L' invece di L .

Per ricondurre L' ad L dovremo operare così:

$$L = L' \cos \Theta / \cos (\text{Col})$$

dove $\Theta = \lambda + \text{Col}$

La distorsione della lunghezza delle ombre agisce solo nella direzione di proiezione dell'ombra stessa, quindi secondo λ .

Analogamente, è possibile utilizzare un altro fattore ε per correggere i diametri misurati dei crateri nella immagine ripresa.

$$\varepsilon = 1 / [\cos \varphi \cos \lambda]$$

In questo caso la distorsione agisce anche secondo φ .

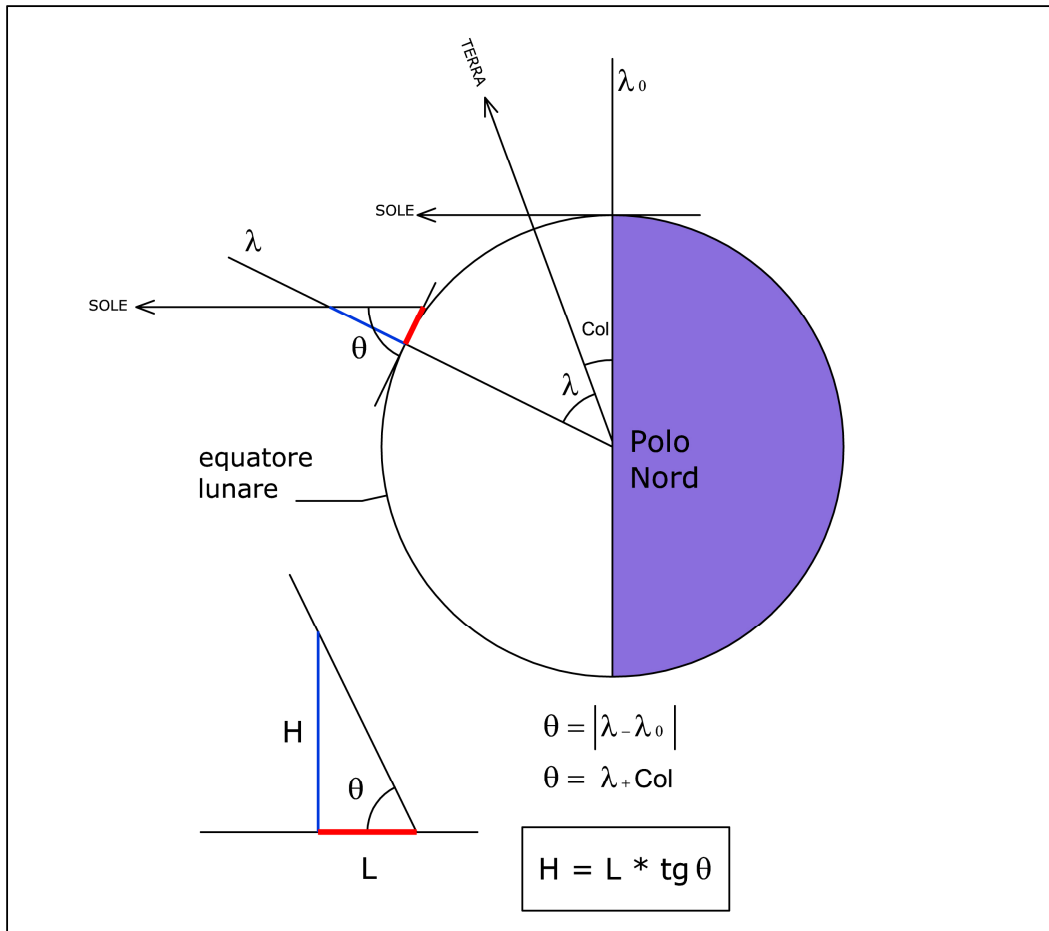
Procedere a confrontare i diametri calcolati con quelli riportati nell'atlante virtuale. Quanto si avvicinano le misure di diametro effettuate?

Determinare l'altezza del sole sopra i rilievi al momento l'immagine

Per determinare l'altezza della montagna dalla lunghezza della sua ombra è necessario conoscere l'altezza del Sole sopra l'orizzonte lunare nel punto considerato al momento della ripresa fotografica.

Essa dipenderà dai seguenti parametri:

- la posizione del rilievo sulla superficie lunare (φ, λ)
- la direzione del sole (latitudine subsolare φ_s e colongitudine Col)



Prima di tutto proviamo a considerare l'elevazione del Sole per un punto posto all'equatore lunare; come mostra lo schema sopra riportato, essa vale l'angolo θ che corrisponde esattamente alla somma tra la colongitudine (posizione del terminatore) e la longitudine del punto considerato.

Abbiamo quindi che: $\underline{H_s} = \Theta$ (1)

dove:

- $\Theta = \lambda + \text{Col}$ per $0 < \Theta < 90^\circ$
- $\Theta = 180^\circ - (\lambda + \text{Col})$ per $90 < \Theta < 180^\circ$

La (1) la si può scrivere anche così: $\sin \underline{H_s} = \sin \Theta$ (2)

Se, però, immaginiamo di spostarci lungo il meridiano λ corrispondente al punto considerato, avremo valori minori di H_s fino a diventare pressoché nulli ai poli, per il fatto che l'asse lunare è quasi perpendicolare al piano dell'Eclittica.

L'asse lunare è infatti inclinato su questa solo di circa 5° .

Quindi la nostra relazione $H_s = \Theta$ va corretta in modo che essa dia valore Θ all'equatore ($\varphi = 0$) e valore 0 ai poli ($\varphi = 90^\circ$).

Quale funzione soddisfa questa condizione?

$$\sin \underline{H_s} = \cos \varphi \sin \Theta \quad (3)$$

In effetti tale relazione empirica descrive abbastanza bene la altezza del Sole in una zona della superficie lunare compresa in un ambito di circa 30° di distanza dal centro e dal terminatore.

Misurando gli scostamenti dal valore esatto calcolato con la trigonometria sferica, abbiamo ottenuto una funzione parametrica $\Delta H_s(\varphi, \varphi_s)$ il cui andamento periodico è stato mappato in un diagramma al variare dei parametri φ (latitudine selenografica) e φ_s (latitudine subsolare o librazione in latitudine).

L'equazione empirica che deriva dal ragionamento suddetto assume la seguente forma:

$$\sin \underline{H_s} = \cos \varphi \sin \Theta + \Delta H_s(\varphi, \varphi_s)$$

dove:

- $\Theta = \lambda + \text{Col}$ per $0 < \Theta < 90^\circ$
- $\Theta = 180^\circ - (\lambda + \text{Col})$ per $90 < \Theta < 180^\circ$
- il termine **cos** φ tiene conto della diminuzione della elevazione solare con l'aumento della latitudine (massima all'equatore lunare e nulla ai poli);
- il termine $\Delta H_s(\varphi, \varphi_s)$ è la funzione di compensazione appositamente calcolata da Linearis per correggere lo scostamento tra la funzione approssimata $\sin \underline{H_s}$ e la funzione esatta calcolata con la trigonometria sferica od il calcolo matriciale.

I valori di $\Delta \mathbf{H}_s (\varphi, \varphi_s)$ sono tabulati nella tabella alla pagina seguente e consentono di approssimare il risultato finale a meno di qualche decimale di grado, precisione più che sufficiente ai nostri fini di stima.

Calcolare l'altezza delle montagne

Si è ora pronti per calcolare l'altezza del rilievo lunare.

Essa vale

$$H = L \cdot \operatorname{tg}(H_s)$$

Dove:

H = altezza del rilievo, in Km

L = lunghezza dell'ombra in Km, corretta in base al coefficiente ε

H_s = elevazione del sole nel punto considerato **H_s** = $\arcsin [\cos \varphi \sin \Theta + \Delta H_s(\varphi, \varphi_s)]$

Ora che conosciamo le procedure per stimare l'albedo e la altezza di una formazione geologica lunare, possiamo provare a tracciarne la sezione disegnandone il profilo e associando ad essa i valori di albedo. Cosa possiamo notare?

Obiettivi formativi: *saper impostare un ragionamento logico-induttivo e imparare a trascriverlo in linguaggio matematico, imparare a riconoscere le entità misurabili che hanno valore per la descrizione fisica del fenomeno, saper analizzare i dati con l'ausilio di software specifici.*

