

GEOmedia su Marte

Uno sguardo alla nuova cartografia di un pianeta

di Renzo Carlucci

Non è servita l'esperienza passata dei geodeti e dei cartografi. Nemmeno nel caso di Marte, infatti, si è riusciti ad impostare la nuova cartografia del pianeta con elementi univoci: siamo già in presenza di più ellissoidi adottati, di diverse proiezioni cartografiche e addirittura di più sistemi per la definizione della longitudine e della latitudine. Sarà un problema tipico dovuto alla mancanza di comunicazione tra addetti del settore o proprio una chiara volontà di rifare più volte con diverse modalità la stessa cosa?

L'esplorazione del sistema solare e la necessità di realizzare una cartografia, strumento indispensabile per qualsiasi tipo di indagine il genere umano abbia oggi in mente, ci porta ad affrontare il problema dell'estensione dei sistemi di riferimento, partendo dal presupposto che la Terra non è più ormai il solo oggetto dell'esplorazione geografica.

Dobbiamo estendere le nostre definizioni agli altri pianeti e generalizzare conoscenze acquisite relativamente alla Terra nel caso in cui ci si trovi a costruire una nuova cartografia, come ad esempio nel caso del pianeta Marte.

Nonostante siano ormai acquisiti i concetti di standardizzazione ed uso di sistemi univoci di riferimento, si assiste ancora alla proliferazione di sistemi e riferimenti diversi anche se, data la relativamente breve escursione temporale, un accordo preventivo sarebbe stato possibile (almeno se la caparbia individualità dello scienziato tipico non avesse prevalso sul senso di collaborazione di una comunità scientifica).

Nel caso di Marte abbiamo già almeno due ellissoidi di riferimento e vari modi per proiettare e definire le longitudini. Ma per ben comprendere il problema vediamo prima alcune definizioni generali estese ad un sistema planetario.

I sistemi di riferimento planetari

Qualsiasi corpo celeste conosciuto ruota attorno al proprio asse; l'intersezione fra l'asse di rotazione e la superficie del corpo definisce due punti, i poli Nord e Sud. Seguendo le raccomandazioni della *International Astronomical Union (IAU)*, il polo Nord di un qualsiasi pianeta, satellite o corpo minore del Sistema Solare è definito come quel polo che si affaccia verso il polo Nord del piano invariante del Sistema Solare. Il piano invariante è ortogonale al vettore del momento angolare totale del Sistema Solare. Poiché le orbite planetarie sono poco inclinate rispetto all'eclittica (piano identificato dall'orbita della terra intorno al sole), il piano invariante e l'eclittica sono in pratica coincidenti, quindi il polo Nord di un pianeta è quello che si affaccia verso il polo Nord dell'eclittica. Non tutti i pianeti ruotano nello stesso senso della Terra (senso antiorario o diretto), quando sono osservati dal loro polo Nord. Le eccezioni sono Venere, Urano e Plutone che ruotano in senso orario o retrogrado. Le orbite invece, se osservate dal polo Nord dell'eclittica, vengono tutte percorse in senso diretto.

Per ciascun pianeta del Sistema Solare si adotta un sistema di coordinate sferiche fisso sulla superficie, in modo analogo alle coordinate geografiche terrestri. Il piano equatoriale di ciascun pianeta è il piano di riferimento del sistema di coordinate, mentre l'asse di rotazione coincide con l'asse Z. Il centro geometrico del pianeta è l'origine del sistema di coordinate. Poiché una parte dei pianeti del Sistema Solare sono approssimati da ellissoidi di rotazione, (il raggio polare è minore di quello equatoriale) sono possibili due definizioni diverse di latitudine:

- **Latitudine planetocentrica**, quale angolo che il raggio vettore di un punto *P* sulla superficie del pianeta forma con il piano equatoriale.
- **Latitudine planetografica**, quale angolo fra il piano equatoriale e la retta passante per *P* ortogonale alla superficie planetaria in *P*.

I valori assunti vanno da -90° a $+90^\circ$, positivi per l'emisfero del pianeta contenente il polo Nord.

Nel caso in cui il pianeta fosse approssimativamente sferico le due definizioni coinciderebbero.

Le coordinate geografiche che usiamo sulla Terra sono le coordinate planetografiche, per Marte sono chiamate areografiche mentre, per Giove, zenografiche.

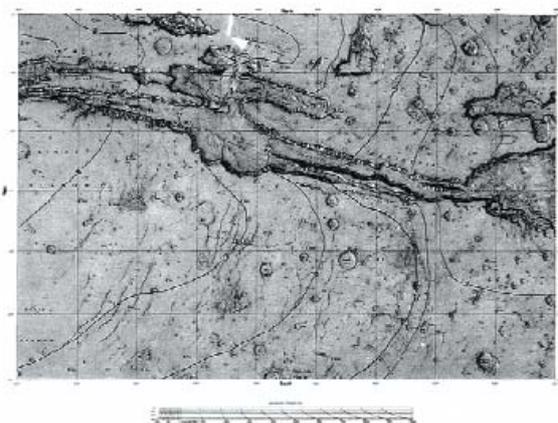


Figura 1 - Cartografia dalla missione Mariner 9

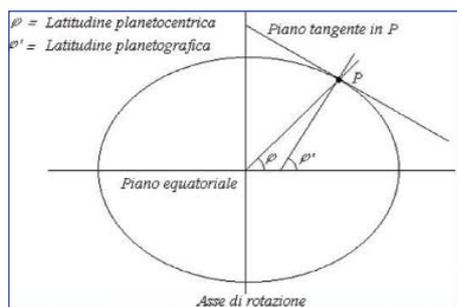


Figura 2 - Confronto fra latitudine planetocentrica e planetografica.

La longitudine di un punto P è l'angolo fra il piano di un meridiano scelto come fondamentale e quello passante per P . Come per la latitudine esistono due definizioni diverse di longitudine:

Longitudine planetocentrica, quale angolo misurato positivamente verso Ovest (terrestre), indipendentemente dal senso di rotazione del pianeta.

Longitudine planetografica, quale angolo contato positivamente in senso opposto alla rotazione del pianeta. Con questa definizione la longitudine del meridiano centrale aumenta al trascorrere del tempo.

Una misura di longitudine implica la scelta di un meridiano fondamentale da cui fare partire il calcolo degli angoli. Per i pianeti giganti (Giove, Saturno, Urano e Nettuno), che non ruotano come un corpo solido in quanto gassosi (la velocità di rotazione angolare dipende dalla latitudine), si adottano dei sistemi di riferimento dotati di velocità angolare costante. Per i pianeti con una superficie solida la velocità di rotazione angolare è la stessa a tutte le latitudini e il meridiano di riferimento è individuato in coincidenza a qualche particolare dettaglio della superficie. Per Marte il meridiano di riferimento è fissato sul cratere Airy 0.

Geoide e areoide

La definizione della quota, notoriamente assegnata come altezza sopra il livello del mare trova particolari difficoltà in pianeti, che diversamente dalla Terra, non hanno il mare. Ma se pensiamo alla definizione di geoide quale superficie equipotenziale ove il valore zero è assegnato al livello medio dei mari viene spontaneo pensare ad una simile definizione per i pianeti e nel caso non sia presente il mare basterà ad esempio l'assunzione del raggio medio quale origine delle quote. Il sinonimo di geoide per la Terra è per Marte il cosiddetto areoide, un modello equipotenziale della superficie di Marte, definito da rilevamenti altimetrici.

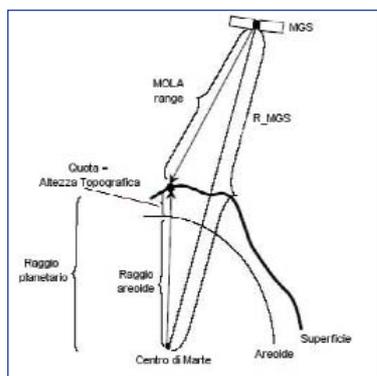


Figura 3 - Quote riferite all'areoide

Per altezza topografica su Marte si intende l'altezza rispetto all'areoide, in pratica il valore N usato in geodesia terrestre più il valore della altimetria rispetto all'ellissoide. Viene calcolato come differenza tra il raggio planetario e il valore dell'areoide.

I rilevamenti altimetrici effettuati mediante altimetro Laser, effettuati dallo strumento MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) a bordo della missione MGS (Mars Global Surveyor), sono chiamati MOLA Mission Experiment Gridded Data Records (MEGDRs).

I dati MEGDR sono stati prodotti con risoluzione di 4, 16, 32, 64, e 128 pixels per grado (le mappe polari sono alla risoluzione di 128, 256, e 512 pixels per grado).

La versione finale del MEGDR è stata rilasciata il 7 maggio del 2003, con un'accuratezza di 100 metri in planimetria e 10 metri in quota.

Per ogni risoluzione il data set contiene informazioni sul raggio planetario, l'altimetria (data dalla differenza tra il raggio planetario relativo allo shot - punto di misura del laser - e l'aeroide medio) e il numero di punti rilevati dal MOLA all'interno della dimensione della cella riferita alla risoluzione in uso (definiti counts) come in Figura 3.

Sono state realizzate, con questo dato, delle mappe globali in proiezione cilindrica semplice che utilizzano il sistema di riferimento planetocentrico IAU2000 con longitudine Est positiva. Coprono la superficie compresa tra 88 Lat Nord e 88 Lat Sud e sono suddivise in 16 porzioni (nel caso delle 128 pixel per grado - massima risoluzione) che occupano 90 gradi di longitudine e 44 gradi di latitudine ognuna.

Le mappe polari sono invece memorizzate in proiezione stereografica polare.

Nella proiezione cilindrica semplice, i paralleli della latitudine e i meridiani della longitudine sono delle linee rette che alla loro intersezione formano angoli retti.

Nella proiezione stereografica polare la proiezione è centrata sul polo Nord o sul polo Sud. Le linee della longitudine si estendono radialmente dal centro e i paralleli della latitudine sono cerchi concentrici.

L'ellissoide adottato dallo IAU ha i due semiassi pari a $C=3376,20$ Km e $A=3396,19$ Km. Il team di MOLA ha però approssimato l'ellissoide ad una sfera di raggio pari a 3376,20 Km.

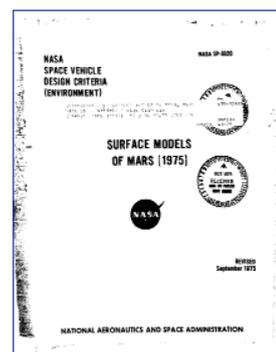


Figura 4 - Documento NASA riguardante le prime definizioni della superficie marziana (1975)

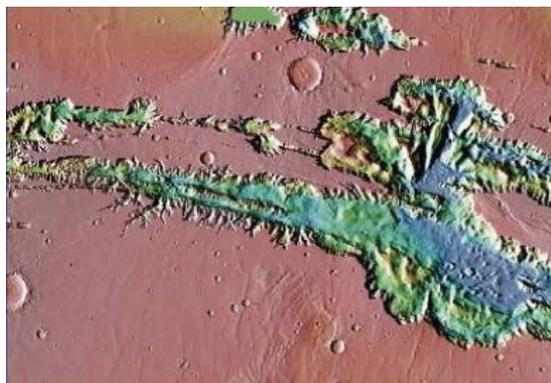


Figura 5 - Immagine MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter)

La missione Viking Orbiter

Dalle coppie stereo, acquisite dal Viking Orbiter alla fine degli anni '70, è stata tracciata con sistemi fotogrammetrici la mappa serie MTM 500k (*Mars Transverse Mercator* in scala 1:500.000) realizzata adottando un ellissoide con raggio equatoriale pari a 3396.0 km, raggio polare pari a 3376.8 km e con schiacciamento pari 1/176.875. L'origine delle quote (la linea di livello 0-km) è definita come superficie equipotenziale (gravitazionale più rotazionale) il cui valore medio all'equatore è uguale al raggio medio determinate dalla missione *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA). Il modulo di deformazione sul meridiano centrale è 0.9960 relativo a una scala nominale pari a 1:500.000.

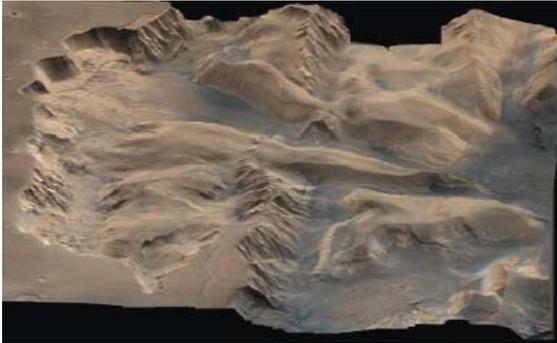


Figura 6 - Mappa stereotopografica da Viking

La longitudine cresce a Est e la latitudine è planetocentrica come stabilito dallo standard IAU/IAG standards e in accordo con i correnti standard della NASA e dello USGS .

Un grigliato secondario (in rosso) è stato aggiunto come riferimento al sistema longitudine Ovest e latitudine planetografica che è ugualmente adottato da IAU/IAG ed è stato usato per le mappe precedenti.

I punti di appoggio per la restituzione stereoscopica di questa mappa sono stati istituiti usando il *Mosaicked Digital Image Model 2.0 (MDIM 2.0; Kirk et al, 2000)* ed i dati MOLA, mentre le curve di livello sono state derivate da un modello digitale del terreno (DTM) realizzato tramite una stazione di restituzione fotogrammetrica con parametri di orientamento derivati da aerotriangolazione. Le curve sono state derivate in automatico senza editing manuale successivo.

La missione Mars Express

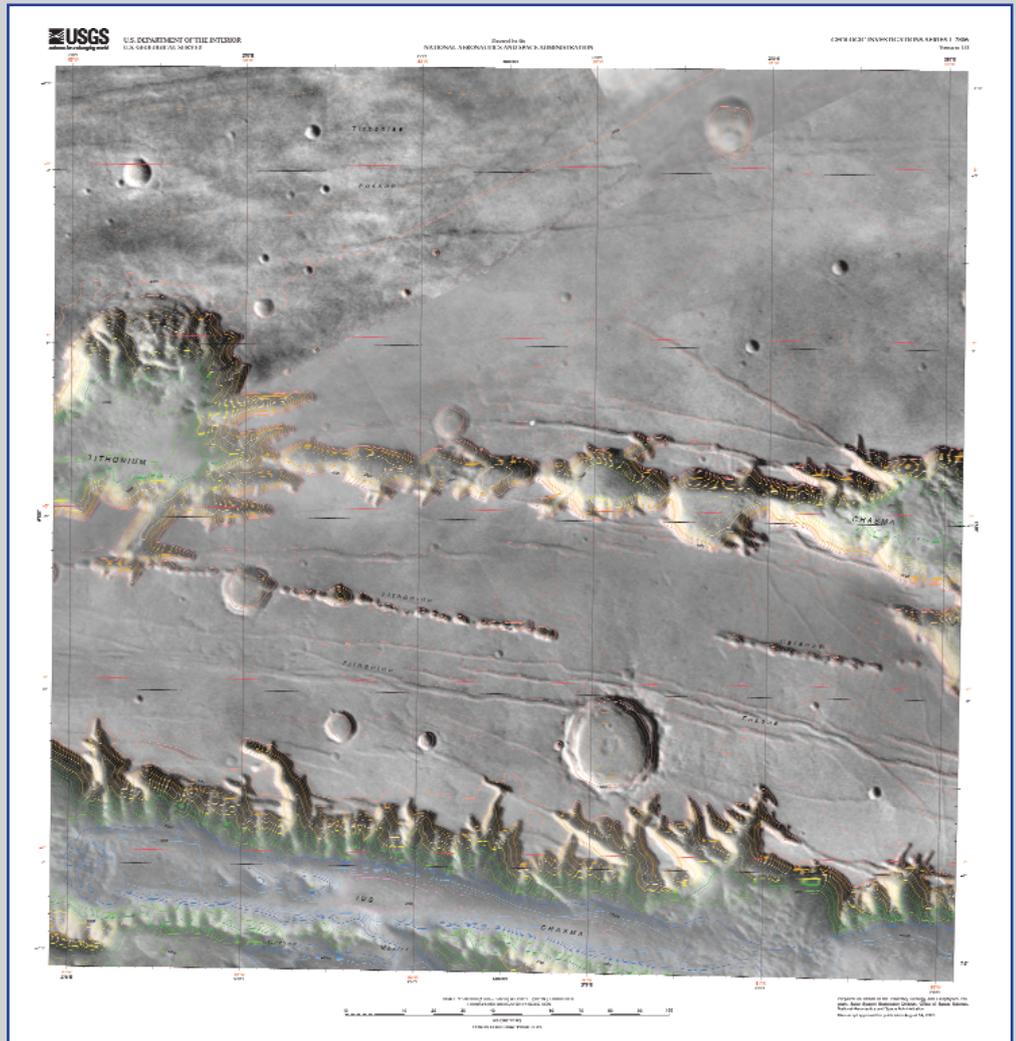
Il prodotto cartografico standard della missione Mars Express, ancora in corso, è la "*Topographic Image Map Mars 1:200 000*" di cui alcuni strumenti erano già stati sviluppati per la fallita missione russa Mars96. La costruzione di tale mappa è in corso di realizzazione a partire dalle prese stereoscopiche effettuate con la camera HRSC dal 2005. Come sistema di riferimento è stato adottato, in ordine di tempo, l'ultimo definito dalla *International Astronomical Union (IAU2000)* l'*Oblate Spheroid*, con raggio equatoriale pari a 3396,19 km e raggio polare pari a 3376,20 km.

Mappa Topografica della regione Tithonium Chasma di Marte (Cortesia di USGS Astrogeology Research Program, <http://astrogeology.usgs.gov>)

Questa mappa, compilata aerofotogrammetricamente da una coppia di stereo-immagini del Viking Orbiter, è parte della serie di mappe topografiche realizzate per aree di particolare interesse scientifico. La geometria del pianeta usata per il calcolo della mappa fa riferimento all'ellissoide con schiacciamento 1/176.87, raggio equatoriale di 3396.0 km e raggio polare di 3376.8 km. L'origine delle quote, (la curva di livello 0-km) è definita come la superficie equipotenziale (gravitazionale più rotazionale) il cui valore medio all'equatore è uguale al raggio medio determinato dal Mars Orbiter Laser Altimeter.

La proiezione è parte di un sistema Mars Transverse Mercator (MTM) con zone larghe 20°. Per l'area coperta da questo foglio di mappa il meridiano centrale è a 270° E. (70° W.). Il fattore di scala al meridiano centrale della zona che contiene questo quadrangolo è 0.9960 relativo a una scala nominale di 1:500,000.

La longitudine cresce verso est e la latitudine è planetocentrica secondo gli standards IAU/IAG concordemente agli standards NASA e USGS. Una griglia secondaria (stampata in rosso) è stata aggiunta alla mappa come riferimento al sistema planetografico utilizzato nelle precedenti versioni delle mappe di Marte.



Il pianeta è coperto da 10.372 fogli di cui 10.324 in proiezione equivalente sinusoidale con latitudine planetocentrica e longitudine Est e 48 in proiezione di Lambert azimutale (*Main grid*: Latitudine planetocentrica e Longitudine Est; *Second grid*: Latitudine planetografica e Longitudine Ovest). L'area mappata in un foglio è sempre pari a 2° in latitudine, mentre la longitudine varia da una ampiezza pari 2° all'equatore fino a 360° ai poli. Il formato di tutti i fogli è di dimensione pari a 83 cm di larghezza per 70 cm in altezza. I fogli sono poi suddivisi in quadranti al 100.000 e al 50.000. La speranza è che questo non sia solo lo standard della missione Mars Express, ma che rappresenti la definitiva adozione del futuro.

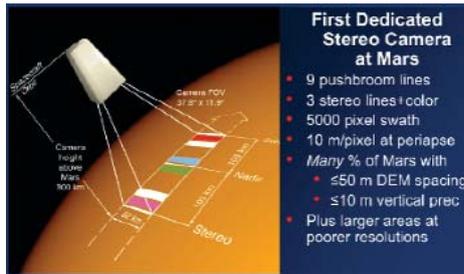


Figura 7 - La stereo camera HRSC in Mars Express

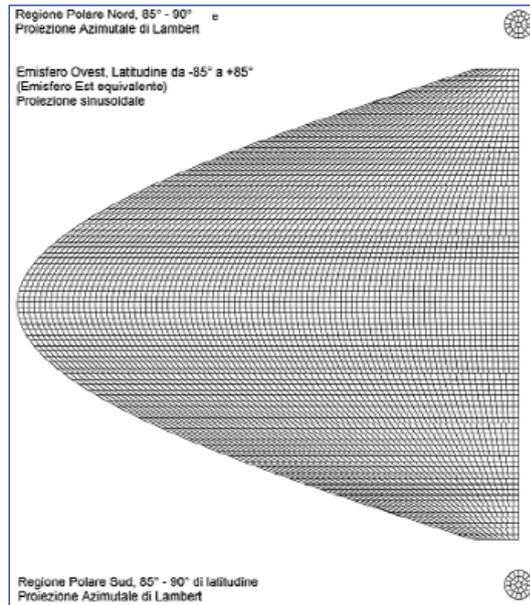
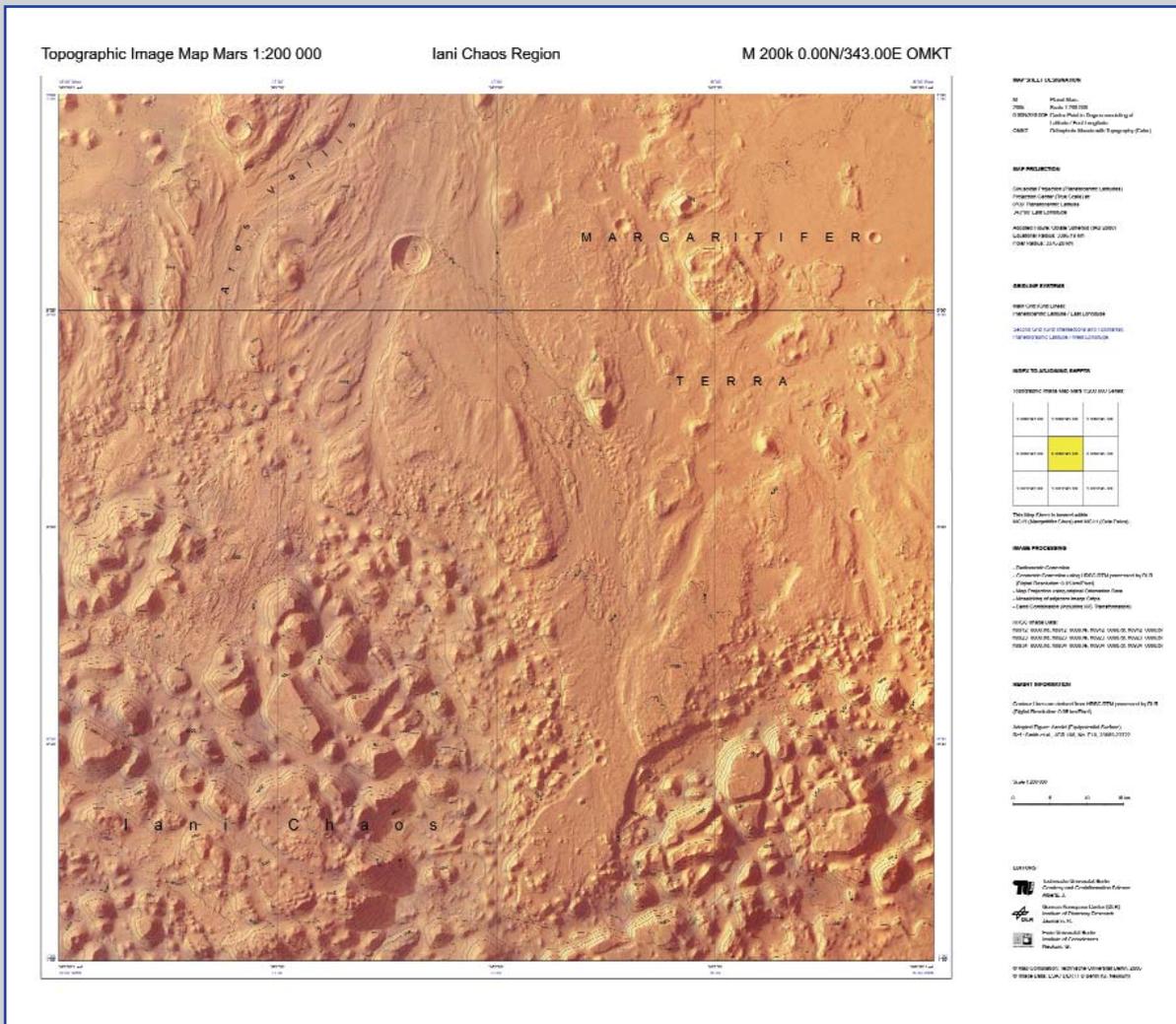


Figura 8 – Quadro di unione della Topographic Image Map Mars 1:200.000



Foglio di mappa standard "M 200k 0.00N/343.00E OMKT" and "M 200k 2.00S/343.00E OMKT" (Istituto di "Geodesy and Geoinformation Science of the Technische Universität Berlin"; <http://www.igg.tu-berlin.de/>)

La regione di Iani Chaos è stata coperta dall'orbita HRSC 912, 923, e 934 con la migliore risoluzione possibile. In questa area sono state prodotte due mappe adiacenti all'interno del taglio della "Topographic Image Map Mars 1:200,000".

La geometria di riferimento è l'ellissoide con un raggio equatoriale di 3396.19 ± 0.10 km e un raggio polare di 3376.20 ± 0.10 km. Concordemente alle convenzioni IAU sono in uso i due sistemi di coordinate, quello ovest/planetografico e quello est/planetocentrico. L'ultimo, est/planetocentrico, è raccomandato dal Mars Geodesy/Cartography Working Group (MGCWG) e sarà quello del futuro. Perciò il sistema est/planetocentrico è quello definito standard. Il primo meridiano, longitudine 0 sul cratere di Airy-0, è determinato da un angolo W_0 di 176.630° con riferimento al sistema di coordinate inerziale.

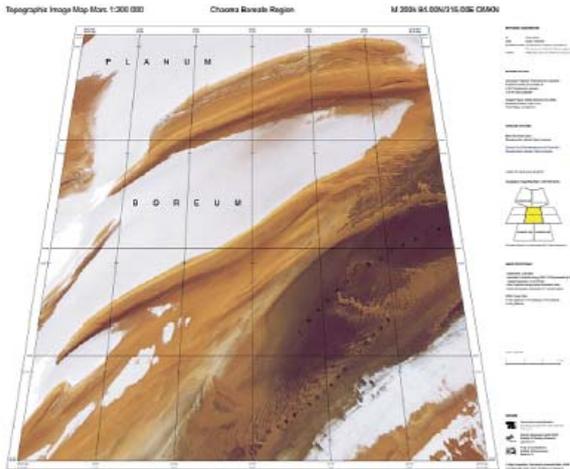


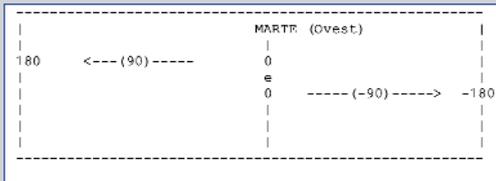
Figura 9 - Elemento della Regione Polare in proiezione di Lambert azimutale

Conclusioni

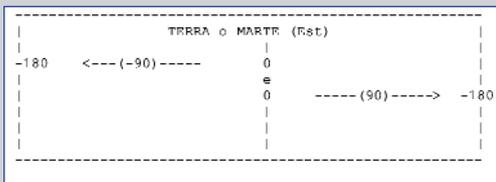
Il procedimento di rilievo stereoscopico aerofotogrammetrico con l'utilizzo della camera digitale HRSC (*High Resolution Stereo Camera*) ha dato vita ad un processo di restituzione cartografica che sta impegnando notevolmente il *German Aerospace Center* (DLR) in Berlino. Basandosi su questi prodotti la *Technical University Berlin* può generare mappe topografiche e tematiche a grande scala come la produzione della serie 1:200.000 della *Topographic Image Map Mars*, che grazie ad un procedimento software dedicato sta generando in modo completamente automatizzato oltre 10.000 mappe pronte per essere stampate in alta qualità. Certamente non si procederà alla stampa cartacea tradizionale ma si utilizzerà il sistema di *print on demand*, stampa a richiesta dell'utente che viene attivata via web, a semplice richiesta, utilizzando il prodotto digitale, finito al livello tipografico, memorizzato nel server. Si compie così la prima opera compiuta di cartografia extraterrestre a grande scala disponibile con *print on demand*.

I GIS e i sistemi di coordinate

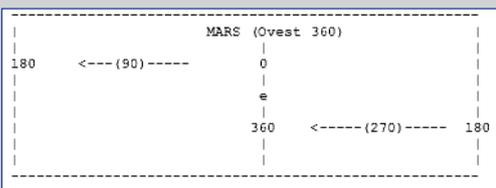
Molti software GIS supportano spesso solo sistemi con la Est positiva. Perciò se si lavora con dati acquisiti nel passato o comunque con dati che adottano la longitudine Ovest positiva è necessario convertire i dati per emulare un sistema Terrestre. E' recente la standardizzazione della longitudine di Marte come Est positiva.



Alcuni software GIS (come ad esempio ArcView 3) preferiscono i sistemi a 180 gradi positivi Est (da -180 a +180). In questi casi bisogna convertire le coordinate per adattare Marte ad un sistema Terrestre (ArcMap dalla versione 8 in su può usare sistemi positivi da 180 gradi e 360 gradi (da 0 a 360).



Inoltre si può avere:



Per cambiare la longitudine marziana da un sistema 360 Ovest a un sistema 180 Est:

```
if (longitude > 0) then longitude = longitude * -1
else longitude = 360 - longitude
```

Per cambiare la longitudine marziana da un sistema 360 Ovest a un sistema 360 Est:

```
longitude = 360 - longitude
```

Bibliografia

Duxbury, T.C., Kirk, R.L., Archinal, B.A., e Neumann, G.A., 2002, *Mars Geodesy/Cartography Working Group Recommendations on Mars Cartographic Constants and Coordinate Systems, in Joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, Canada, 2002, Commission IV, Working Group 9—Extraterrestrial Mapping, Proceedings: Ottawa, Canada, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* [<http://www.isprs.org/commission4/proceedings/paper.html>].

J. Albertz, S. Gehrke, M. Wählisch, H. Lehmann, T. Schumacher, G. Neukum e HRSC Co-Investigator Team, 2006, *Digital Cartography with Hrcs on Mars Express in Proceedings of ISPRS Congress*

G. Neukum, R. Jaumann e HRSC Co-Investigator and Experiment Team, 2006, *HRSC: the High Resolution Stereo Camera of Mars Express, in Proceedings of ISPRS Congress*

Lehmann, H. Scholten, F., Albertz, J., Wählisch, M., Neukum, G., 1997: *Mapping a Whole Planet – The New Topographic Image Map Series 1:200,000 for Planet Mars. – IAPRS, Vol. XXXI, Vienna, Part 4*

Gehrke, S., Wählisch, M., Lehmann, H., Schumacher, T., Albertz, J., 2003a. *Cartography with HRSC on Mars Express – A Specimen of the New Series "Topographic Image Map Mars 1:200,000"*. Proceedings of the ISPRS WG IV/9 Extraterrestrial Mapping Workshop, Houston.

Gehrke, S., Wählisch, M., Lehmann, H., Schumacher, T., Albertz, J., 2003b. *Cartography with HRSC on Mars Express – The New Series "Topographic Image Map Mars 1:200,000"*. Publikationen der DGPF, Band 12, pp. 451-458.

Smith, D. E., Zuber, M. T., Solomon, S. C., Phillips, R. J., Head, J. W., Garvin, J. B., Banerdt, W. B., Muhleman, D. O., Pettengill, G. H., Neumann, G. A., Lemoine, F. G., Abshire, J. B., Aharonson, O., Brown, C. D., Hauck, S. A., Ivanov, A. B., McGovern, P. J., Zwally, H. J., and Duxbury, T. C.: 1999, 'The global topography of Mars and implications for surface evolution', *Science*, 284, 1495-1503.

Autore

RENZO CARLUCCI
direttore@rivistageoedia.it