



Meridiana

Bimestrale di astronomia

Anno XXXVI

Luglio-Agosto 2010

208

Organo della Società Astronomica Ticinese e dell'Associazione Specola Solare Ticinese

La disciplina che studia l'aspetto superficiale del Pianeta Rosso. E che ha molto da dire

Geomorfologia marziana

Cristian Scapozza

La geomorfologia

Spesso confusa con la geologia, la geomorfologia è la disciplina delle scienze della Terra che si occupa dello studio delle forme del rilievo della superficie terrestre. Un geomorfologo studia la genesi e l'evoluzione delle strutture, delle forme e dei paesaggi che compongono la superficie terrestre, che di norma si sono formati, per quel che concerne la nostra regione, durante gli ultimi milioni di anni della storia della Terra. Si può quindi definire un geomorfologo come un geologo della «superficie» e del «presente».

Nonostante il termine «geomorfologia» presenti il prefisso greco «geo-», che si riferisce alla Terra, il suo campo di studio non si limita solo al nostro pianeta, ma è stato allargato a pressoché tutti i corpi celesti solidi del Sistema Solare. È infatti la regola, al giorno d'oggi, arricchire i manuali di geomorfologia con dei capitoli che trattano di geomorfologia extraterrestre e che si focalizzano principalmente sulla Luna e su Marte¹.

Data la mia formazione di geomorfologo alpino, ho pensato che potesse essere interessante presentare alcuni esempi di geomorfologia glaciale e periglaciale marziana. Da una parte per mostrare la visione che ha un geomorfologo sulla questione della presenza di ghiaccio sul Pianeta Rosso (sotto forma di ghiacciai e di permafrost), dall'altra per fare anche un po' di pubblicità alla geomorfologia e alle scienze della Terra in generale che, per il fatto di occuparsi del mesoscopico (la struttura e la superficie dei pianeti), sono spesso viste dagli appassionati del cosmo come discipline di minore importanza rispetto alle scienze del microscopico (come la fisica nucleare) o del macroscopico (come l'astrofisica).

Le forme del rilievo marziano

Lo studio delle forme del rilievo marziano è possibile solamente grazie a osservazioni effettuate dalla Terra, in particolare dalla sua orbita, o da sonde spaziali. Dalle prime 21 immagini inviate dalla sonda Mariner 4 il 14 e 15 agosto 1965, coprenti solo l'1 per cento della superficie del pianeta, fino alla recente missione Phoenix, i geomorfologi si sono concentrati sullo studio della morfologia marziana, in particolare per trovare degli indizi della presenza passata o attuale di acqua sulla superficie del pianeta.

Uno degli elementi morfologici più comuni di un corpo celeste solido sono i crateri di impatto. Ma certi crateri di impatto marziani presentano una morfologia molto particolare che non è stata osservata altrove nel Sistema Solare. Se



*Figura 1 - Il cratere Yuty, di 18 chilometri di diametro, situato a 22° Nord di latitudine e 34° E di longitudine, qui fotografato dal Viking Orbiter. Si noti la forma lobata dei detriti eiettati.
(Cortesia: NASA).*

prendiamo per esempio il cratere Yuty (Figura 1), possiamo vedere come i materiali eiettati formano dei lobi invece di diminuire progressivamente di spessore, come avrebbe dovuto essere il caso in presenza di rocce frantumate in sospensione in una tenue atmosfera o nel vuoto. La presenza di questi lobi si spiega solamente con una fluidificazione dei detriti rocciosi, che avevano quindi la consistenza di una colata di fango. Ci doveva quindi essere un'importante proporzione di ghiaccio nel sottosuolo (il cosiddetto permafrost²), che si è fuso grazie al calore generato dall'impatto. Tenendo conto che quando un meteorite cade al suolo forma un cratere di profondità uguale a 1/5 del diametro e che non tutti i crateri di impatto marziani presentano questi lobi dovuti alla fusione del ghiaccio del permafrost, è stato possibile misurare in più punti del pianeta la profondità del tetto dello strato gelato in permanenza, vale a dire la profondità sotto la quale c'è abbastanza ghiaccio da fluidificare i detriti eiettati dal cratere. Queste osservazioni hanno permesso di stabilire che il ghiaccio del permafrost è quasi affiorante nelle alte latitudini e che esso è presente a partire da una profondità di 300-400 metri nelle zone equatoriali.

Altri indizi morfologici, come dei paleoalvei fluviali, delle tracce di antichi argini o dei depositi sedimentari che sembrerebbero di origine fluviale, permettono di supporre che su Marte ci sia stata un'importante attività idrologica, legata quindi alla presenza di acqua allo stato liquido. Alcuni ricercatori hanno anche ipotizzato la presenza di antichi laghi o addirittura di un oceano che avrebbe ricoperto buona parte dell'emisfero nord del pianeta. Se la presenza di valli flu-

viali lascia pochi dubbi sull'esistenza, nel passato, di acqua allo stato liquido sulla superficie del pianeta, probabilmente dovuta alla fusione di ghiacciai o di suoli gelati (permafrost) a seguito dell'attività vulcanica o dell'impatto di meteoriti, la situazione è assai diversa al giorno d'oggi.

La presenza attuale di acqua allo stato solido sul pianeta è stata provata grazie alle sonde Mars Odyssey e Mars Reconnaissance Orbiter e soprattutto dal robot Phoenix. L'esistenza di acqua allo stato liquido sembra al contrario molto improbabile. In questo contesto, aveva fatto notizia nel 2006 la scoperta della presenza di acqua liquida sulla superficie marziana da parte di alcuni ricercatori della NASA, poi pubblicata sulla rivista «Science»³. Analizzando delle immagini fornite dalla sonda Mars Global Surveyor, gli scienziati avevano scoperto la formazione recente di alcuni canali (*gullies*) generatisi grazie a dei flussi detritici (Figura 2). Ma l'analisi morfologica ha permesso di confermare che la presenza di acqua non era necessaria per la formazione di queste forme di

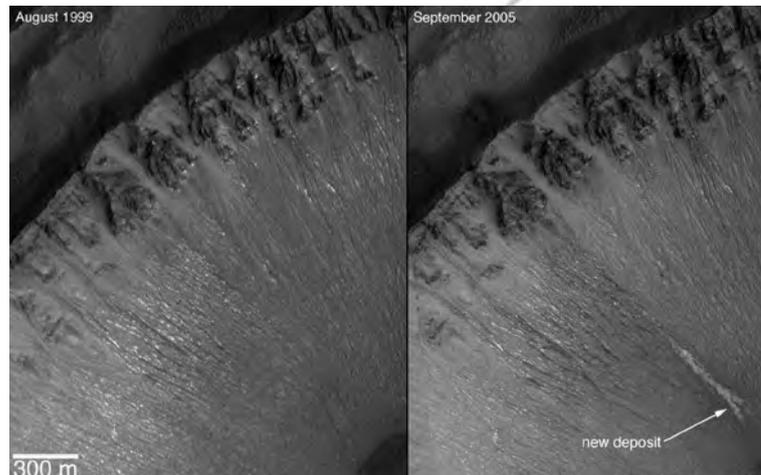


Figura 2 - Una colata di detriti secca nella parte interna di un cratere nella regione dei Monti Centauri, ripresa dal Mars Global Surveyor. (Cortesia: NASA).



Figura 3 - Colate di detriti (parzialmente) secche su falde di detrito della parte destra della Val Malvaglia. (Cortesia: C. Scapozza)

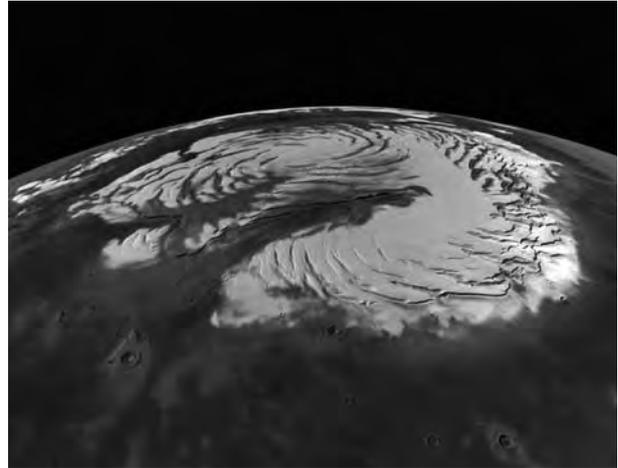


Figura 4 - La calotta polare boreale marziana ripresa dal Mars Global Surveyor. (Cortesia: NASA).

erosione e dei depositi che si trovano più a valle. È infatti probabile che queste formazioni siano dovute a colate di detriti secche, che sono colate rapide di detriti senza la presenza di un fluido interstiziale liquido. Queste colate secche sono tipiche, sulla Terra, delle regioni aride, artiche e alpine. Nelle Alpi, queste colate secche si trovano il più sovente nelle falde di detrito della zona periglaciale, che si situa generalmente sopra i 2.000 metri di altitudine. I materiali vengono di norma dislocati per l'azione dei cicli di gelo/disgelo e scivolano a valle per gravità in pendii di inclinazione superiore a 30-33° sotto l'effetto del loro stesso peso (Figura 3).

Geomorfologia glaciale e periglaciale

La più spettacolare manifestazione di presenza di acqua allo stato solido sul pianeta Marte è l'esistenza di due calotte polari (Figura 4). Queste calotte di ghiaccio sono state osservate per la prima volta già alla metà del XVII secolo dagli astronomi Gian Domenico Cassini e

Christiaan Huygens. Queste calotte di ghiaccio presentano una parte residuale, che si mantiene tutta l'estate, e una parte stagionale, che ricopre la prima a partire dall'autunno. Tenendo conto dell'inclinazione dell'asse marziano di circa 25°, la dinamica delle due calotte polari non è uguale, in quanto il contrasto stagionale è più marcato nell'emisfero australe, come avviene anche sulla Terra. La calotta polare residuale australe (di 300 chilometri di diametro) è circa tre volte più piccola della calotta polare residuale boreale (di 1.000 chilometri di diametro). Se si tiene conto anche della calotta stagionale, però, la calotta centrata sul Polo Sud del pianeta è più grande. Lo spessore massimo delle calotte residuali può superare i 3 chilometri.

La forma a spirale della superficie delle calotte polari è dovuta alla formazione di valli, chiamate Chasmata. Queste valli, secondo uno studio pubblicato sulla rivista «Geology» nell'aprile del 2004⁴, non sarebbero dovute semplicemente all'erosione eolica (dovuta al vento) e allo scorrimento del ghiaccio, ma si formerebbe-

ro grazie alla fusione del ghiaccio delle calotte polari durante la primavera e l'estate marziana, quando la calotta stagionale si scioglie completamente. La loro forma a spirale è dovuta alla forza di Coriolis, che è causata dalla rotazione del pianeta e che devia i flussi di acqua di fusione. Le valli formano quindi una spirale in senso orario al Polo Sud e in senso antiorario al Polo Nord.

Al di fuori delle calotte polari, la presenza di accumuli di ghiaccio sulla superficie del pianeta è oggi assai rara. Questo non doveva essere il caso nel passato: uno studio pubblicato nel 2008 sul «Journal of Geophysical Research»⁵ ha interpretato alcune formazioni lobate scoperte nella parte settentrionale delle Kasei Valles e nella regione dei Tartarus Colles come dei depositi di origine glaciale. Di età minima stimata a 1 miliardo di anni, queste formazioni si ritrovano sotto i 30° di latitudine, quindi praticamente nella regione intertropicale del Pianeta Rosso. Se la loro origine glaciale dovesse essere confermata, la loro presenza indicherebbe che anche Marte ha avuto dei periodi glaciali, probabilmente dovuti alla variazione dell'obliquità dell'asse di rotazione del pianeta.

Questi depositi glaciali sarebbero costituiti da frammenti di roccia e da ghiaccio e sono chiamati «morene a cuore di ghiaccio» (*ice-cored moraines*). Sulla Terra i depositi di questo tipo sono tipici dei cosiddetti «ghiacciai freddi», che hanno una temperatura alla loro base inferiore al punto di fusione del ghiaccio (al contrario dei ghiacciai alpini, che per la maggior parte sono di tipo temperato e presentano quindi una temperatura basale al punto di fusione del ghiaccio sotto pressione). Questi ghiacciai freddi sono tipici delle zone circumpolari, come i margini della Groenlandia e le Isole Svalbard. Per tornare a Marte, l'origine glaciale di questi sedimenti è

provata anche dalle forme di erosione glaciale che si trovano sulle pareti delle valli marziane a monte di questi cordoni morenici. Il limite superiore di queste forme di erosione glaciale, detto *trimline*, permette di stimare lo spessore del paleo-ghiacciaio: in un caso (Figura 5), che presenta dei possibili depositi glaciali nella regione di Arabia Terra, il ghiacciaio doveva avere uno spessore di circa 900 metri.

Per quel che concerne la geomorfologia periglaciale marziana, le forme del rilievo più spettacolari sono sicuramente i suoli poligonali (Figura 6). Queste forme, ben conosciute dagli studiosi delle zone polari, sono legate alla successione di cicli di gelo stagionali che contraddistinguono i suoli caratterizzati da permafrost. Al momento del gelo, lo strato gelato si contrae, favorendo l'apparizione di spaccature. Al momento del disgelo della parte superiore del suolo (lo strato attivo del permafrost), l'acqua si infila nelle spaccature e gela in parte a contatto con il tetto del permafrost. La parte di acqua

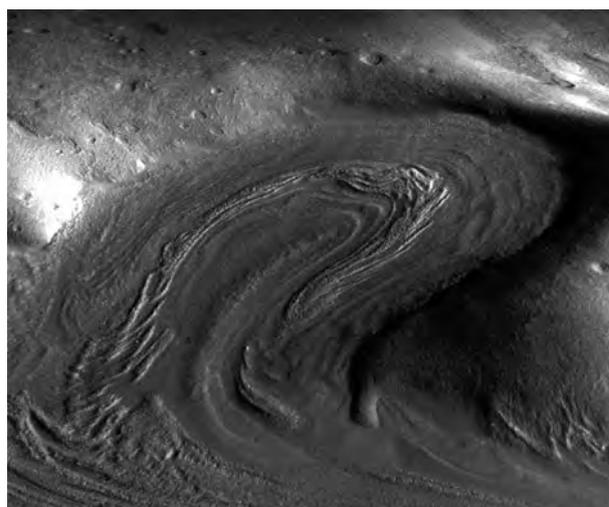
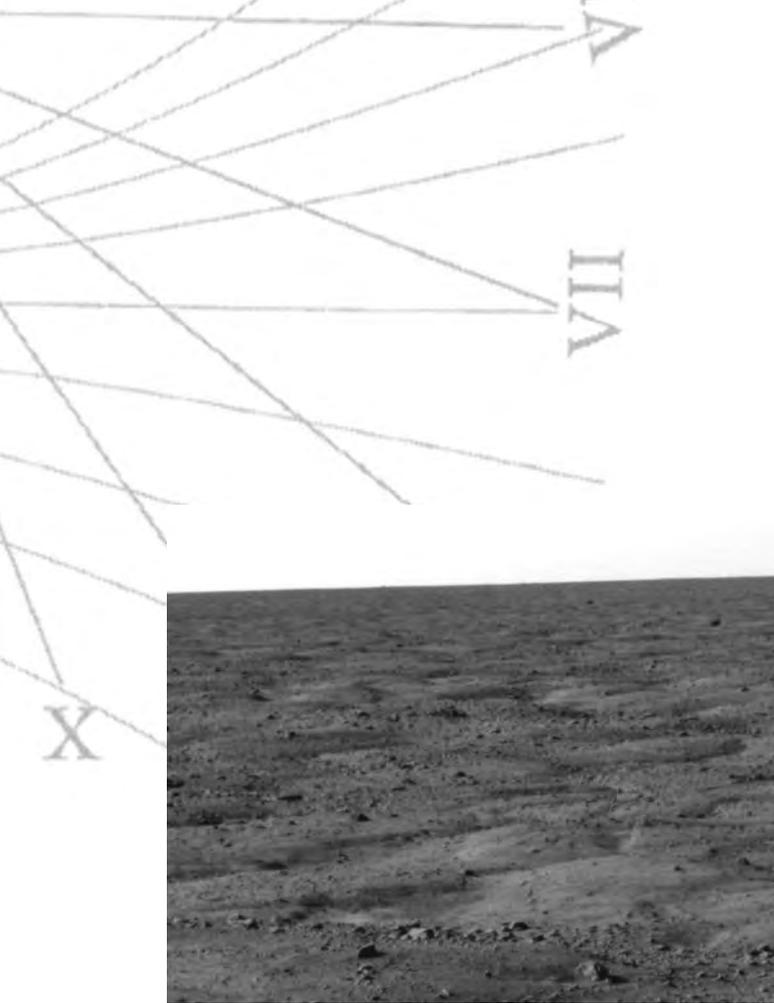


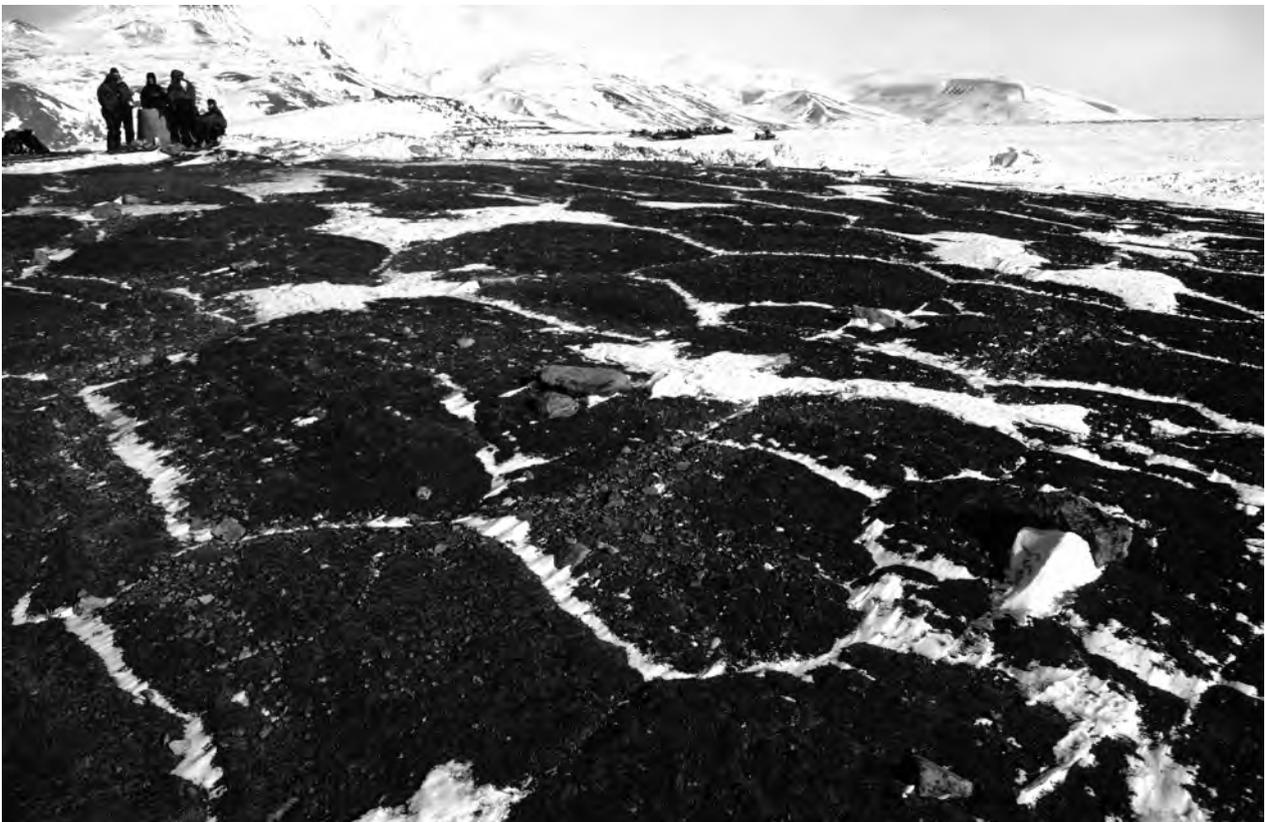
Figura 5 - Possibili depositi glaciali nella regione di Arabia Terra ripresi dal Mars Reconnaissance Orbiter. (Cortesia: NASA).



che rimane allo stato liquido durante l'estate gelerà in autunno-inverno, favorendo l'allargamento della superficie dei poligoni.

Anche in questo caso è stato possibile determinare l'origine di queste forme marziane confrontandole con analoghe manifestazioni terrestri. Questi suoli poligonali sono infatti assai tipici delle zone circumpolari terrestri dell'emisfero boreale, come la regione settentrionale dell'Alaska e del Canada, l'arcipelago delle Svalbard (Figura 7) o il nord della Siberia. Delle forme di questo tipo si possono trovare sporadicamente anche nelle Alpi.

Sopra a sinistra, figura 6 - Suoli poligonali delle regioni circumpolari dell'emisfero boreale di Marte, ripresi dal Phoenix Mars Lander. (Cortesia: NASA). Sotto, figura 7 - Suoli poligonali nella regione di Longyearbyen (Isole Svalbard). (Cortesia: E. Reynard)



Conclusioni

La geomorfologia marziana, detta anche areomorfologia (da «Ares», che in greco significa appunto «Marte»), è quindi una delle scienze che meglio si prestano allo studio del Pianeta Rosso. Per il fatto di essere basata sull'osservazione delle forme di superficie di un pianeta, la geomorfologia permette l'effettuazione di analisi assai dettagliate di un territorio senza necessitare forzatamente di un contatto diretto con la superficie del suolo, cosa che è alquanto rara quando si studia un corpo extraterrestre.

Con questo piccolo contributo mi premeva di presentare anzitutto un'analisi comparativa della geomorfologia marziana sulla base delle forme del rilievo terrestre. In effetti, se si suppone che gli stessi processi geomorfologici che è possibile studiare, quantificare e modellizzare sulla Terra siano presenti anche su Marte, è possibile determinare la genesi delle forme del rilievo marziano per analogia con le forme terrestri. Basandoci su quest'approccio è quindi stato possibile evidenziare la presenza di forme marziane che si possono spiegare solo con l'esistenza permanente di acqua allo stato solido, sia essa sulla superficie del pianeta (calotte polari, ghiacciai) o nel sottosuolo (ghiaccio del permafrost), e con l'esistenza sporadica di acqua allo stato liquido.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia Ivan Fontana per le discussioni e i commenti che hanno sostenuto la redazione di quest'articolo.

Note

¹ SUMMERFIELD M. (1991). In: *Global Geomorphology*. London, Pearson, 560 p.

² BIANCHI R., FLAMINI E. (1977). *Permafrost su Marte*. In: «Memorie della Società Astronomica Italiana», vol. 48, pp. 807-820.

³ MALIN M.C., EDGETT K.S., POSIOLOVA L.V., MCCOLLEY S.M., NOE DOBREA E.Z. (2006). *Present-day impact cratering rate and contemporary gully activity on Mars*. In: «Science», vol. 314, pp. 1573-1577.

⁴ PELLETIER J.D. (2004). *How do spiral troughs form on Mars?* In: «Geology», vol. 32, n. 4, p. 365-367.

⁵ HAUBER E., VAN GASSELT S., CHAPMAN M.G., NEUKUM G. (2008). *Geomorphic evidence for former lobate debris aprons at low latitudes on Mars: indicators of the Martian paleoclimate*. In: «Journal of Geophysical Research», vol. 112, articolo E02007.