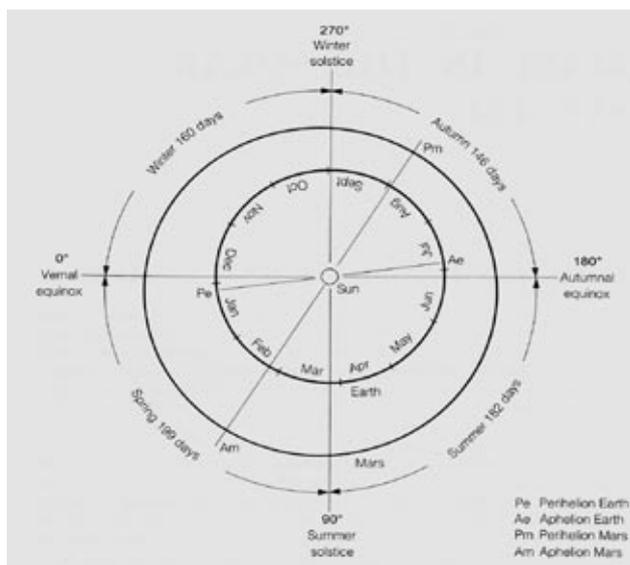


# Le tempeste di sabbia di Marte

Gianluigi Adamoli  
UAI – Sezione Pianeti

Un giorno di 30 anni fa le tempeste di Marte furono notizia di prima pagina. Il 14 novembre 1971 la sonda Mariner 9 entrò in orbita attorno al pianeta, primo oggetto lanciato nello spazio a venire catturato dalla gravità di un corpo celeste diverso dalla Terra o dalla Luna. Uno dei suoi obiettivi era quello di cartografare la superficie, che era stata solo velocemente sorvolata dai precedenti Mariner 4, 6 e 7. Ma erano stati fatti i conti senza l'oste: proprio in quel momento la più grande tempesta di sabbia mai registrata stava occultando totalmente i dettagli del suolo marziano, lasciandoci davanti un globo amorfo, la cui usuale tinta rossiccia si era mutata in un giallo carico, variazione che si coglieva a occhio nudo anche dalla Terra. Naturalmente non tutto il male viene per nuocere, visto che si poté seguire da una poltrona di prima fila lo sviluppo del fenomeno, grandioso e affascinante.



**Figura 1.** Le orbite di Marte e della Terra proiettate sul piano dell'eclittica. Lungo l'orbita terrestre sono riportati i nostri mesi, lungo quella marziana la longitudine areocentrica  $L_s$  (v. testo) e le stagioni marziane distinte per emisfero. Si vede come il pianeta sia più vicino al Sole durante la sua primavera-estate australe, in coincidenza con le cosiddette "grandi opposizioni".

## Le tempeste su Marte

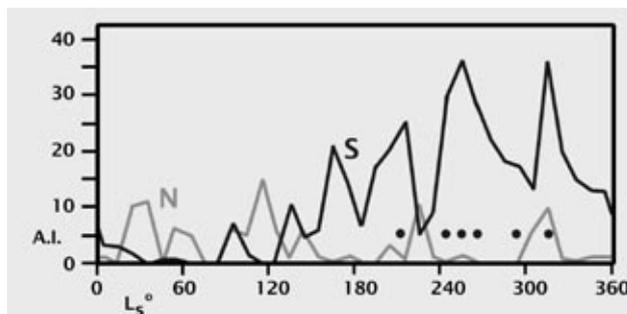
Tante altre tempeste, grandi e piccole, sono state viste su Marte fin dagli inizi dell'era telescopica, e il loro studio comincia a rivestire un interesse pratico, oltre che scientifico, dato che le sonde che atterrano sul pianeta hanno bisogno di informazioni per così dire "meteo" e anche l'uomo calcherà prima o poi il suolo marziano.

Per la cronaca, la missione Mariner 9 fu alla fine un completo successo: la sonda rimase operativa per un intero anno terrestre, ben oltre la dissipazione finale della polvere, e alla fine poté svolgere anche il lavoro cartografico. La comparazione dei dettagli visti prima attraverso la polvere

e poi in atmosfera limpida permise di raffinare le nostre conoscenze dell'ambiente marziano [1], confermando il nesso, per altro già sospettato, fra tempeste, clima generale del pianeta e variazioni di geologia e albedo.

I risultati delle indagini successive, per mezzo delle sonde *Viking*, *Mars Global Surveyor*, *Mars Pathfinder* e dell'*Hubble Space Telescope*, hanno ulteriormente raffinato i dettagli del quadro, completato con il contributo delle osservazioni compiute dalla Terra nel corso di secoli, da osservatori professionisti e dilettanti, che hanno dato una prospettiva storica a questi eventi.

Contribuisce al fascino di Marte il fatto che la sua meteorologia è imprevedibile quanto quella terrestre. Un secolo fa, durante la grande apparizione del 1909, E. Antoniadi per primo mise in luce che i dettagli superficiali apparivano a volte offuscati e indovinò il nesso fra questi fenomeni e il maggiore afflusso di energia che il pianeta riceve dal Sole al perielio [2]. La distanza Marte-Sole varia del 20% per l'ellitticità dell'orbita, quindi il pianeta riceve 45% più energia al perielio che all'afelio (figura 1). Oggi possiamo confermare che le maggiori tempeste di polvere si sviluppano a non più di 60°-70° di distanza dalla longitudine areocentrica dal perielio (figura 2), che corrisponde a  $L_s = 250^\circ$ . Ricordiamo che  $L_s = 0^\circ$  corrisponde all'equinozio di primavera dell'emisfero Nord, cosicché il solstizio estivo dell'emisfero Nord corrisponde a  $L_s = 90^\circ$  e quello dell'emisfero Sud a  $L_s = 270^\circ$ .

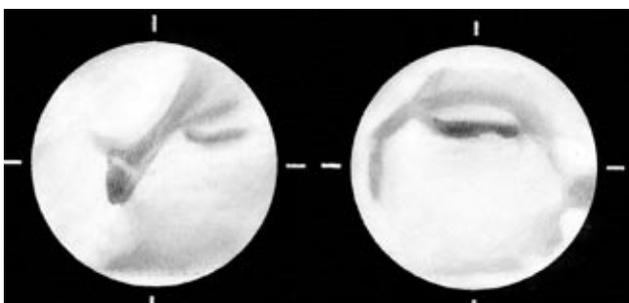


**Figura 2.** Distribuzione delle tempeste di sabbia del '900 in funzione di  $L_s$ , distinte secondo l'emisfero di origine: i punti fra  $L_s = 210^\circ$  e  $320^\circ$  si riferiscono alle tempeste globali. In ordinata è riportato l'indice di attività, che è la somma del numero di tempeste verificatesi. Il contributo di ogni tempesta è pesato in base alla sua estensione: le tempeste globali hanno peso 10, poiché sono circa 10 volte più estese delle tempeste locali (che non superano i 34° in longitudine, per definizione, e hanno peso unitario). Le tempeste intermedie (regionali) hanno un peso pari a 5 (tratto da un disegno in [5]).

## Le grandi opposizioni

Passaggio al perielio e tempeste storicamente famose sono legati ad alcune "grandi opposizioni", quando Marte raggiunge nei telescopi un diametro apparente superiore ai 20" d'arco: la corrispondenza però non segue una regola precisa. Nell'opposizione perielica del 1877, quella associata al nome di Schiaparelli, l'atmosfera del pianeta

si mantenne quasi sempre tersa e il grande astronomo poté svolgere il famoso lavoro cartografico che ci ha donato i nomi classici della topografia marziana e i famigerati “canali”. Viceversa, le apparizioni perieliche del 1909 e del 1924 sono associate a ben documentati eventi che hanno determinato i primi studi del fenomeno. La grande opposizione del 1939 passò senza eventi significativi; seguì una famosa tempesta nel 1956. Gli anni Settanta furono un periodo di attività eccezionale perché il già citato evento del 1971 ebbe repliche nel 1973 e, su scala minore, nel 1975, addirittura due nel 1977 e infine uno nel 1982. Negli ultimi tre casi le tempeste si svolsero mentre il pianeta era al di là del Sole, per cui ne furono testimoni i soli Viking. La più recente apparizione perielica del 1988 vide appena un breve evento regionale, mentre la grande tempesta del 2001 (figura 3) è ancora vivida nel ricordo di noi tutti, inaspettata perché iniziata appena oltre l’equinozio ( $L_s = 185^\circ$ ) a una distanza inusuale dal perielio, per un evento di tale intensità e durata [3].



**Figura 3.** Disegni di P. Tanga del 2 luglio 2001, che mostrano le fasi iniziali della tempesta globale che ha caratterizzato la scorsa apparizione. Tutti i dettagli a S e a E di Syrtis Major (sinistra) sono ricoperti da una nube gialla e la stessa Sirte è attraversata da una striscia di polveri nel senso NW-SE (ben visibile anche con filtro rosso). Osservazione condotta da S. André (Nizza) con un Newton da 15 cm, UT 20.15, LCM = 308°. Più tardi (destra) il Sinus Sabaeus, non ancora interessato dalle polveri, è al centro del disco.

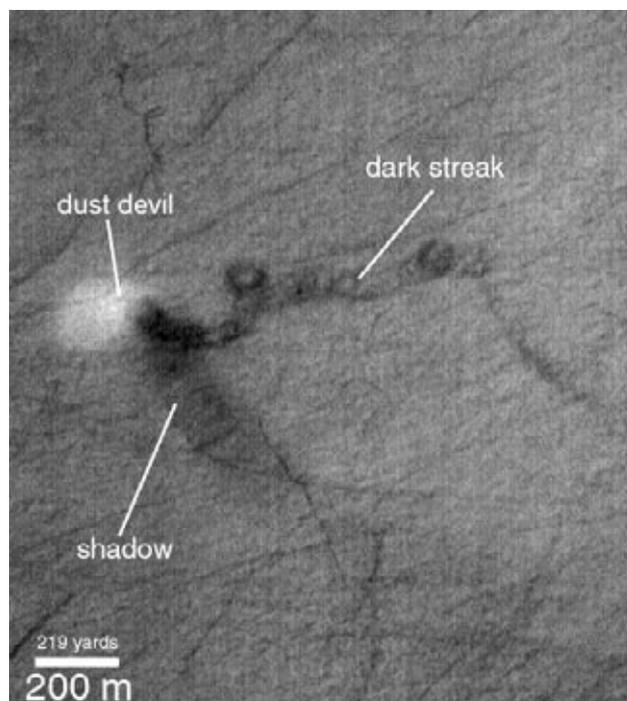
### Altri eventi atmosferici

Fin qui abbiamo menzionato le tempeste “globali” (più precisamente *encircling*, cioè capaci di trasportare la polvere in senso Est-Ovest fino a coprire tutte le longitudini del pianeta). Ma su Marte si svolgono una miriade di eventi minori, registrati in quasi tutte le apparizioni ragionevolmente coperte dalle osservazioni, avvenute in ogni punto dell’orbita. Seguendo Martin [4], le possiamo classificare come eventi “locali” (area interessata di dimensioni inferiori a 2000 km, possono durare un solo giorno e sono di gran lunga le più numerose) o “regionali” (area interessata superiore a 2000 km, durata di alcuni giorni o qualche settimana).

I dati storici sono dispersi nella letteratura e, a un’analisi moderna, non sempre appaiono completi e affidabili. Dopo il catalogo di Martin e Zurek [4], il più recente è dovuto a McKim [5]. Questi colloca nel 1704 la prima evidenza osservativa di una tempesta (regionale), rivelata dalla momentanea sparizione di una parte del M. Sirenum. In realtà, le osservazioni fino all’epoca di Schiaparelli sono incerte e lacunose a causa della loro sporadicità, degli strumenti inadeguati, spesso dei preconcetti pseudo-

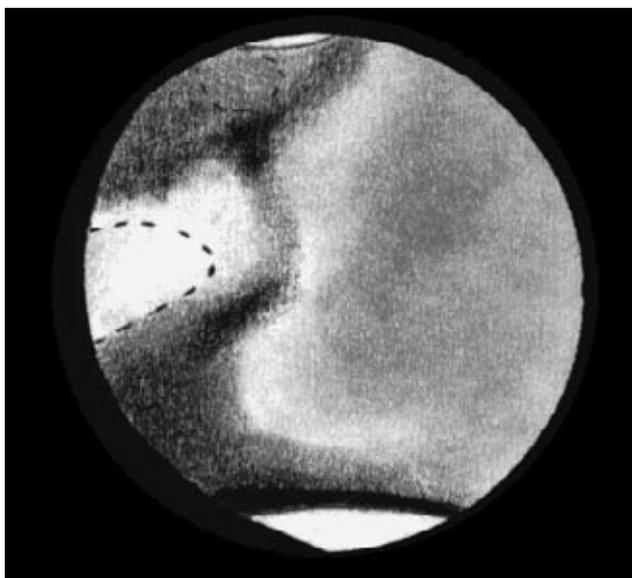
scientifici di chi osservava. Ma anche limitandoci a considerare gli eventi del Novecento, si colgono variazioni di lungo periodo relative al numero dei fenomeni e alla zona interessata, collegate a cambiamenti secolari dell’aspetto superficiale di Marte e probabilmente del suo clima.

Quando si dice “tempesta di polvere”, non bisogna cadere nella facile analogia con il nostro pianeta: ricordiamo che l’atmosfera di Marte, oltre che chimicamente diversa (quasi tutta diossido di carbonio,  $\text{CO}_2$ ), è densa meno di un centesimo della nostra, con una pressione di soli 6 mbar al suolo. La temperatura è rigida, mediamente molto al di sotto dello zero Celsius, con una forte escursione termica che la porta per brevi periodi su valori positivi (al massimo  $+20^\circ\text{C}$ ), d’estate e nelle ore centrali della giornata. Marte non possiede una biosfera né acqua liquida, almeno superficiale, è un mondo roccioso completamente secco ricoperto da polvere ben diversa da quella terrestre, perché mancante della componente biologica. La polvere marziana deriva dall’erosione fisica delle rocce, prodotta essenzialmente dall’escursione termica, che le frattura con grande efficienza e le riduce a una sabbia molto fine. Il minerale prevalente è il diossido di silicio ( $\text{SiO}_2$ ), con la presenza dell’1% di  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (triossido di ferro, la “ruggine”) che è responsabile del caratteristico colore del pianeta. Vi sono zone che non hanno quasi eco radar, segno che si tratta di depositi eolici di molti metri di spessore, che non contengono particelle maggiori del centimetro: la più gigantesca di queste regioni si estende per circa 2000 km in corrispondenza dei deserti di Tharsis, Amazonis e Memnonia.



**Figura 4.** Questa eccellente immagine del Mars Global Surveyor mostra un turbine di polveri che, proiettando un’ombra (verso il basso) si sposta sulla superficie del pianeta. Sul suo percorso le polveri sono rimosse e il suolo più scuro e compatto è portato alla luce. Alcune tracce lasciate da altri turbini in precedenza si sovrappongono sul terreno. Si pensa che vortici come questo possano contribuire alla genesi delle tempeste di polvere e, più in generale, alle modificazioni di trasparenza dell’atmosfera.

I venti nascono per differenze orizzontali di temperatura e pressione prodotte dall'avvicinarsi del giorno e della notte (il periodo di rotazione è di 24h 37m), attraverso la sublimazione delle calotte polari, per la diversa inerzia termica di porzioni contigue di superficie e per altre cause ancora (flussi stagionali, maree atmosferiche). La loro velocità è cospicua (25 km/h tipici, con massimi di 100), ma la bassa pressione ne limita gli effetti (pur se la forza di gravità è minore). Modelli fisici suggeriscono che la forza del vento non riesce a sollevare i granelli di sabbia; piuttosto avviene un fenomeno detto *saltazione*, ovvero questi compiono "salti" limitati (lunghi circa 1 m), collidendo nella caduta con altri granelli che vengono a loro volta sbalzati in aria. In questi impatti il granello si può frantumare; le particelle più fini che si sprigionano da questo turbinio vengono mandate in sospensione. Un altro meccanismo di sollevamento della polvere sono mulinelli poco più larghi di un chilometro che si formano per instabilità atmosferiche (*dust devils* o diavoletti di polvere, v. figura 4). Secondo un modello messo a punto da Gifford [6], l'evento tipico consiste di un "tappeto" di grossi granelli che si spostano per *saltazione*, non più spesso di pochi metri, a ridosso della superficie marziana, accompagnato da una nube soprastante di particelle fini, dell'ordine del micrometro, alta invece migliaia di metri. Misure condotte dall'orbita marziana, usando l'ombra delle nubi sul terreno sottostante, rivela altezze dell'ordine di 10-30 km. In casi eccezionali, come nella tempesta del 1971, furono misurate altezze di 70 km. La rara eventualità della proiezione di una nube oltre il terminatore ha dato modo di effettuare una rozza stima perfino con telescopi a Terra, ricavando altezze dello stesso ordine di grandezza.

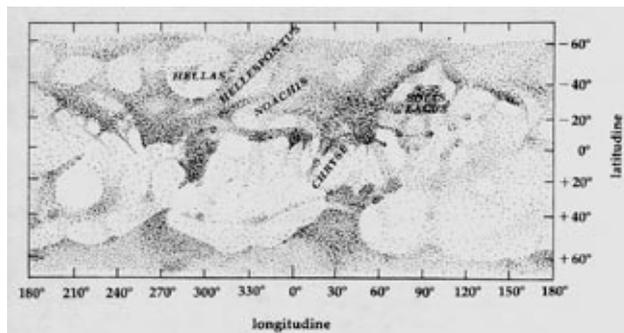


**Figura 5.** Nube su Chryse disegnata da G. Marabini il 7 gennaio 1995. La regione circondata da tratteggio, presso il terminatore, appare brillante anche nel rosso (10 cm AOG, LCM = 71°). È questo un segno della presenza di polveri in sospensione, frequenti in questa regione anche senza uno sviluppo in tempeste diffuse.

### Il meccanismo delle tempeste

L'avvio di una tempesta ha tratti inconfondibili: appare in un punto del pianeta una macchia brillante di colore

giallo, diversa dalle nubi bianche ordinarie, dovute alla condensazione del vapore acqueo in cristalli di ghiaccio, secondo il ciclo diurno e stagionale. L'osservazione tempestiva di questa macchia iniziale è molto importante, perché permette di stabilire il sito esatto di origine della tempesta. L'uso di filtri aiuta a discriminare nube da nube, perché una nube di polvere appare brillante in luce gialla e ancor più in luce rossa, mentre le nubi ordinarie appaiono più luminose nel blu (figura 5). La luminosità è accentuata nel vicino infrarosso, per cui i rilevatori CCD sono un ottimo strumento di rilevazione. Un altro strumento è la polarimetria, perché le nubi di polvere riflettono la luce con polarizzazione minore rispetto alla superficie marziana; il comportamento delle nubi bianche è anche in questo caso opposto e di norma accentua la polarizzazione [7]. L'andamento del grado di polarizzazione in funzione dell'angolo di fase fornisce informazioni sulla dimensione delle particelle, che si può stimare in modo indipendente in base ai tempi di deposizione al suolo. Infine, operando fuori dall'atmosfera terrestre, si può usare come diagnostica la presenza e profondità della banda di assorbimento dei silicati, situata nell'infrarosso alla lunghezza d'onda di 9 μm.



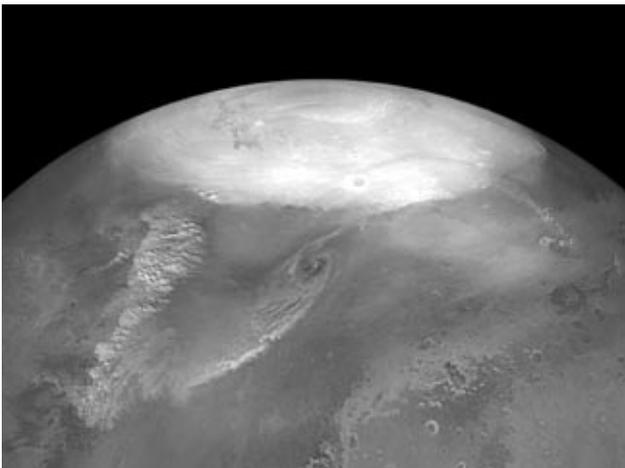
**Figura 6.** Mappa dove sono indicati i principali siti attualmente attivi, ovvero i luoghi di insorgenza delle tempeste.

Se l'evento è locale la nube può sbiadire senza mostrare spostamento; se il fenomeno è più significativo, essa si allarga rapidamente perdendo nel contempo di brillantezza, colore e definizione ai bordi. Se è presente del vapore acqueo, questo può mascherare parzialmente il colore giallo, dando una sfumatura azzurra che indica come sopra la nube di polvere siano presenti cristalli di ghiaccio ad alta quota; probabilmente i granelli di sabbia possono agire come centri di condensazione e favorire la cristallizzazione del vapore presente. A volte sono state osservate nubi bianche formarsi ai lati di quelle gialle in espansione. Le nubi di polvere possono nascere un po' dappertutto sul pianeta, ma esistono condizioni geologiche, climatiche e topografiche più o meno favorevoli. Sono stati identificati un certo numero di siti dove si origina la maggior parte degli eventi osservati (figura 6). In alcuni casi si tratta di depressioni rispetto alle regioni circostanti, connesse magari ad antichi bacini d'impatto, dove la pressione è più alta (quindi i venti hanno più forza) e che costituiscono una specie di trappola dove si deposita la polvere trasportata da precedenti tempeste, andando a costituire una riserva per le successive: è il caso di Hellas/Noachis, Isidis Regio, Argyre, Chryse (le macchie di albedo identificate nella

nomenclatura classica sono in realtà solo parzialmente coincidenti con le strutture geologiche delle mappe odierne. Per esempio, invece di Chryse si dovrebbe parlare più propriamente di Chryse Planitia, un bacino che si sovrappone in parte a ciò che nelle mappe classiche è il “deserto” di Xanthe).

Altri siti attivi non legati a bacini sono le regioni di Thaumasia/Solis Lacus, Elysium e Tempe, dove prevalgono invece vaste pianure livellate o in lieve pendenza. L'ultimo citato è il sito più settentrionale, dal quale si sviluppano tipicamente le tempeste della primavera-estate dell'emisfero Nord, quando Marte è vicino all'afelio. L'attività di Chryse e Tempe è favorita dalla contiguità con una regione di alta inerzia termica, corrispondente grosso modo con il Mare Acidalium: questo realizza un rinforzo dei venti nella zona con lo stesso meccanismo per cui, sul nostro pianeta, la diversa inerzia termica del mare e della terraferma rinforza per esempio i monsoni.

Le osservazioni dall'orbita hanno permesso di scoprire movimenti di polveri nei pressi delle calotte polari (figura 7), come l'evento del 30 giugno 1999 che coprì Hyperboreus Lacus [8]. Questi fenomeni sono difficilmente visibili da Terra a causa della posizione sul disco e della modesta entità, ma nel passato vi è stata qualche sporadica segnalazione di una transitoria tinta giallastra presso i poli.



**Figura 7.** La calotta polare Nord ripresa dal Mars Global Surveyor il 24 maggio 2002. Alcune velature sono dovute alle polveri in atmosfera, come quella arcuata, sulla destra. A sinistra, al di fuori della calotta, si sviluppano invece alcune tempeste locali.

Le tempeste globali solitamente nascono in Hellas/Noachis o nella regione di Solis Lacus, poi la polvere si espande in senso Est-Ovest, ma assumono scala planetaria solo grazie alla successiva attivazione di altri siti, che alimentano l'atmosfera, finché la velatura, parziale o totale, si estende a tutte le longitudini. Per esempio, si ricorda che la tempesta del 2001 iniziò sul finire di giugno con una nube brillante sopra Hellas, che disperse il suo materiale verso Ovest, oscurando progressivamente M. Tyrrhenum, Syrtis Major, le regioni del Sinus Sabaeus e del Mare Erythraeum. Agli inizi di luglio si attivò un secondo sito su Thaumasia che oscurò in sequenza Solis Lacus, M. Sirenum, M. Cimmerium, finché tutto il pianeta fu sotto una coltre di polvere che giunse a lambire la calotta polare Sud e

lasciò inalterate solo le estreme regioni settentrionali. Lo sviluppo fu completo già a metà luglio e la polvere rimase in sospensione per un tempo eccezionalmente lungo, sfruttando le favorevoli condizioni dell'estate australe, e si diradò verso la fine dell'anno [3].

### Le osservazioni storiche

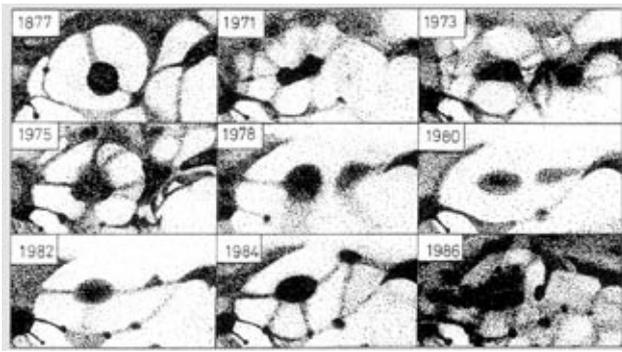
Se esaminiamo statisticamente le serie storiche, troviamo conferma che Hellas/Noachis e Thaumasia/Solis Lacus, sono punti di avvio di un gran numero di eventi sia globali sia regionali, ma notiamo altre cose interessanti. Per esempio, sembra di poter dire che Hellas si sta attivando progressivamente prima a ogni anno marziano [9], come conferma l'inaspettato anticipo dell'evento del 2001. Invece Isidis Regio è molto meno attivo di un tempo: è stato uno dei principali luoghi di nascita delle tempeste fino agli anni '50, ma dopo il 1958 non ha più dato luogo a eventi di rilievo. Questo porta a considerare il fenomeno intimamente collegato delle variazioni secolari di albedo. Finché Isidis Regio fu attivo, accanto a esso era prominente la striscia scura di Nepenthes, riportata in tutte le mappe storiche (figura 8), ma oggi quasi invisibile. Evidentemente le tempeste scavavano la polvere da Nepenthes, lasciando a nudo il terreno scuro sottostante, e la depositavano altrove; oggi che Isidis Regio non è più attivo, Nepenthes rimane “insabbiato” e invisibile.



**Figura 8.** Settore di una mappa di G. De Mottoni riferita al settore di Syrtis Major-Isidis Regio, con Nepenthes in evidenza, come oggi non è più.

È rimasto nella memoria di molti osservatori il grosso dettaglio scuro che comparve nel 1973 nella regione di Claritas-Daedalia, accanto al Solis Lacus, che stravolse l'aspetto del familiare “occhio di Marte”. L'effimero dettaglio, nato dopo un evento regionale che precedette la grande tempesta di quell'anno, è sparito all'inizio degli anni '80, ricoperto dall'ulteriore movimento della sabbia, ma l'intera regione è soggetta a continue alterazioni di minore entità da opposizione a opposizione (figura 9). Ancora, si possono citare i periodici scurimenti di Pandora Fretum, la regione a Sud del Sinus Sabaeus, ritenuti in passato fenomeni stagionali, oggi spiegati come effetto delle tempeste provenienti da Hellas, che possono dare l'impressione di un andamento pseudo-stagionale





**Figura 9.** Modificazioni di Solis Lacus durante il periodo di monitoraggio continuo del pianeta (ovvero a partire dal 1877). Le notevoli modificazioni sono dovute alla ridistribuzione delle polveri superficiali. Si noti lo scurimento in Claritas-Daedalia sviluppatosi dopo una tempesta regionale nel 1973 e scomparso gradualmente nel corso della apparizioni successive (disegno di R. J. McKim).

in quanto si registrano di solito in vicinanza al perielio; tuttavia è provato che quando Hellas non produce tempeste, Pandora Fretum non si scurisce. Un analogo scurimento temporaneo fu riportato nel 1956 per il Mare Australe, che si trovava ai confini della zona interessata dal flusso delle polveri durante la tempesta globale di quell'anno. Ancora, nel 1984, durante una tempesta regionale iniziata su Lybia-Isidis Regio ed estesa al Mare Cimmerium, si è verificato un temporaneo scurimento di Amenthes. Tempeste originate su Chryse producono scurimenti del canale Ganges.

Dall'orbita marziana sono state fotografate prove del legame fra aspetti geologici locali, tempeste di sabbia e variazioni di albedo: in alcune regioni sono state registrate un certo numero di strisce chiare e scure parallele, che si dipartono da crateri o rilievi in grado di fendere i venti. Evidentemente le strisce scure sono terreno esposto al vento dove è avvenuta recente escavazione, mentre quelle chiare sono zone di temporaneo deposito: l'orientamento delle strisce permette di determinare con precisione la direzione dei venti.

### La frequenza delle tempeste

Quanto sono frequenti le tempeste? A parte i periodi di sorveglianza delle sonde, ricordiamo che Marte è per la maggior parte del tempo lontano dalla Terra. Inosservabile per molti mesi quando si trova al di là del Sole, in tempi passati veniva "dimenticato" per periodi anche superiori a un anno fra un'apparizione e l'altra. Pertanto, una statistica completa è impossibile. Gli eventi locali sono piuttosto comuni e il monitoraggio *in situ* del *Mars Global Surveyor* ne evidenzia a migliaia in un solo anno marziano, la maggior parte inosservabili dalla Terra (dimensioni di qualche decina di chilometri) [10]; all'altro estremo, gli eventi globali riportati nel Novecento sono 8 (3 osservati solo dallo spazio). Può passare un lungo intervallo prima che un evento significativo si ripeta, come può replicarsi nel giro di 6 mesi: questo dovrebbe corrispondere al tempo minimo necessario perché la polvere di una tempesta si posi e si ripristinino le condizioni favorevoli a una replica del fenomeno. Infatti la polvere in sospensione attenua le differenze di temperatura e può condurre a un sensibile

riscaldamento globale (più di 40°C, secondo le misure eseguite durante la tempesta del 2001) [3].

Tutto ciò evidenzia il legame fra tempeste di sabbia e clima marziano, anche in relazione ai cicli di sublimazione e riformazione delle calotte, e ci si può chiedere quali cause ed effetti reciproci possa innescare una catena di eventi come quella degli anni Settanta. Confronti fra i dati Viking (anni Settanta) e le osservazioni recenti mostrano che le tempeste di quel decennio aumentarono significativamente il tasso di polveri in sospensione nel cielo marziano, che ai Viking apparve rosa, mentre negli anni '90 ha presentato una tinta molto più sbiadita [11].

Restano aperti alcuni punti interrogativi, relativi alle connessioni fra i fattori che regolano la macchina climatica marziana. Per saperne di più è indispensabile l'osservazione *in situ*, come quella condotta di routine dal *Mars Global Surveyor*, giunto a destinazione nel settembre 1997 e posto dal marzo 1999 in orbita bassa stabile che permette un monitoraggio continuo e dettagliato. Il suo *Thermal Emission Spectrometer* (TES) consente una mappatura sistematica della temperatura (grazie alla banda sensibile del CO<sub>2</sub> a 15 μm) e del livello di vapore acqueo atmosferico (grazie alla banda dell'H<sub>2</sub>O a 11 μm), del contenuto di polvere in sospensione (grazie alla già ricordata banda di assorbimento a 9 μm). La facilità con la quale oggi riusciamo ad avere misure così regolari e dettagliate toglie un po' della poesia e del mistero del pianeta rosso, ma non deve far dimenticare la strada percorsa per arrivare alle conoscenze attuali, frutto dell'impegno di generazioni e generazioni di astronomi nel corso di un'appassionante storia osservativa.

### Bibliografia

- [1] Quam L., Tucker R., Eross B., Veverka J., Sagan C.: *Sky & Telescope*, **46**, 2 (August), 84-87 (1973)
- [2] Antoniadi E.M., *La Planète Mars*, Hermann & Co. (1930)
- [3] McKim R.J., *BAA Mars Section Circ.*, 2001 December
- [4] Martin L.J., Zurek R.W., *J. Geophys. Research*, **98**, E2, 3221-3252 (1993)
- [5] McKim R.J., *Memoir of the BAA*, **44** (1999)
- [6] Gifford F.A., *Monthly Weather Rev.*, **92**, 435 (1964)
- [7] Dollfus A., Ebisawa S., Bowell E., *Astron. Astrophys.*, **131**, 123 (1984)
- [8] McKim R.J., *Journal of the BAA*, **3**, 110, 113-117 (June 2000)
- [9] McKim R.J., *Journal of the BAA*, **3**, 112, 119-120 (June 2002)
- [10] Cantor B.A., James P.B., Caplinger M., Wolff M.J., *Martian Dust Storms: 1999-2000 MOC Observations, American Astron. Soc. DPS Meet.* **32**, 51.07 (October 2000)
- [11] Kahn R., *Sky & Telescope*, **94**, 4 (October), 38-39 (1997)

