

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea in Astronomia

Storia e tecniche di scoperta di acqua su Marte



Relatore: Prof. Giuseppe Galletta

Laureanda: Alessandra Napolitano

Anno Accademico: 2015/2016

Indice

Introduzione	5
1 Importanza dell'acqua per la biologia terrestre	7
1.1 L'acqua nei sistemi viventi	7
1.2 Il ciclo dell'acqua	8
2 Condizioni ambientali di Marte	11
2.1 Ere e cicli stagionali marziani	11
2.2 Pressione, densità e punto triplo su Marte	14
3 La scoperta dell'acqua su Marte	17
3.1 Ipotesi che Marte abbia avuto acqua liquida nel suo passato .	17
3.1.1 L'antico oceano marziano	17
3.1.2 Gullies	19
3.1.3 Valley networks (<i>rete di vallate</i>)	21
3.1.4 Outflow channels (<i>canali di flusso</i>)	23
3.1.5 Laghi e delta di fiumi	25
3.2 Prove che Marte abbia acqua nel presente	26
3.2.1 Immagini di ghiaccio d'acqua sulla superficie	26
3.2.2 <i>Recurring Slope Lineae</i> (RSL) e <i>Slope Streaks</i>	28
3.2.3 Stratificazione della calotta polare Nord	30
3.2.4 Crateri a piedistallo	33
3.2.5 Tracce d'acqua su Phoenix e Curiosity	33
4 Scoperta dell'acqua salata su Marte	35
Conclusioni	41

Introduzione

L'acqua ha da sempre rivestito un ruolo molto importante sulla Terra. Il ciclo idrologico, che coinvolge l'acqua presente sia in forma liquida, ghiacciata e gassosa, è un importante regolatore chimico del nostro pianeta.

Ma l'acqua è molto importante anche dal punto di vista biologico. Essa svolge infatti numerose funzioni biochimiche all'interno di ogni organismo vivente.

Per questo motivo la ricerca di acqua è diventata così importante negli ultimi anni. Cercare se un pianeta è in grado di mantenere acqua liquida sulla sua superficie è un buon modo per restringere il campione nella ricerca di vita extraterrestre.

Il primo pianeta ad aver attirato l'attenzione degli astronomi è stato Marte.

Il Pianeta Rosso mostra evidenti segni di un passato particolarmente ricco di acqua.

L'altimetria della sonda *Mars Global Surveyor* mostra dei terrazzamenti che potrebbero essere imputati ad un antico oceano che ricopriva gran parte dell'emisfero settentrionale.

Altre testimonianze portano a ritenere che, in passato, Marte avesse anche un'intensa attività fluviale. Strutture come le *valley networks* e gli *outflow channels* potrebbero essere stati scolpiti da un flusso di acqua non dissimile da quello che ha originato i fiumi terrestri. Molti di questi canali sembrano addirittura fluire in bacini, più o meno grandi, che potrebbero testimoniare la presenza di antichi laghi.

Ma esistono anche prove che indicherebbero che l'acqua scorre tutt'ora sul suolo marziano.

Fenomeni come i *Recurring Slope Lineae* dimostrano che nei periodi più caldi, un flusso di acqua scorre lungo i pendii bagnando il terreno sottostante. L'effetto osservato sono delle linee scure che appaiono periodicamente durante i mesi estivi per poi scomparire durante quelli invernali.

Recenti scoperte del rover *Curiosity* hanno dimostrato che quest'acqua non è pura, ma è una soluzione di sali disciolti attraverso un fenomeno chi-

mico chiamato deliquescenza.

La salinità della soluzione le permette un range di temperature e pressioni, in cui questa può esistere allo stato liquido, molto più grandi dell'acqua pura. Gli strumenti scientifici a bordo del *Curiosity* hanno rivelato al *Gale Crater* che, anche durante i mesi invernali, persiste un perenne strato di *brine* in forma liquida nel sottosuolo marziano. Quest'ipotesi sembra essere confermata da esperimenti, basati sulla spettroscopia Raman, che mostrano come la deliquescenza sia molto più efficace quando i sali perclorati sono posti a diretto contatto con del ghiaccio d'acqua.

Questi studi ci forniscono importanti dati per la comprensione dell'ambiente marziano e aprono interessanti scenari di ricerca per delle future missioni sul pianeta.

Capitolo 1

Importanza dell'acqua per la biologia terrestre

Sulla superficie della Terra l'acqua è una componente piuttosto abbondante, tale da costituire uno dei maggiori elementi di caratterizzazione del nostro Pianeta.

Le acque occupano circa il 71% della superficie totale. Di questo 71% la stragrande maggioranza, circa il 97%, è sotto forma di oceani che costituiscono l'idrosfera terrestre, il restante 3% viene racchiusa nelle acque dolci.

L'importanza dell'acqua spazia su vari campi.

1.1 L'acqua nei sistemi viventi

Molti scienziati ritengono ormai certa l'ipotesi che la vita sia presente sulla Terra perché il nostro Pianeta possiede delle condizioni di pressione e temperatura tali da consentire la presenza di acqua allo stato liquido.

L'importanza dell'acqua è notevole. Lo dimostra il fatto che questa è il componente principale di tutte le cellule viventi.

All'interno degli organismi viventi, l'acqua svolge diverse funzioni fondamentali:

1. grazie alla sua polarità, è usata come *solvente* nella stragrande maggioranza delle reazioni biochimiche fondamentali per la sopravvivenza;
2. in alcuni casi, come nella reazione dell'*idrolisi*, l'acqua più che solvente, funge proprio da *reagente* della reazione.

Durante queste reazioni, una molecola d'acqua viene scissa per formare gli ioni H^+ e OH^- , i quali vengono successivamente riutilizzati per scomporre molecole complesse in altre più semplici.

Nelle reazioni inverse, dove quindi l'acqua funge da prodotto, le molecole prodotte sono più complesse di quelle iniziali. Questo processo è chiamato *catabolismo*.

- infine, l'acqua svolge la funzione di *liquido di trasporto* extracellulare in molti organismi (come ad esempio il sangue che è costituito per il 95% di acqua).

1.2 Il ciclo dell'acqua

Il ciclo dell'acqua, o *ciclo idrologico*, si riferisce ai continui scambi di massa idrica tra l'atmosfera terrestre, il suolo, le acque superficiali, le acque sotterranee e gli organismi viventi.

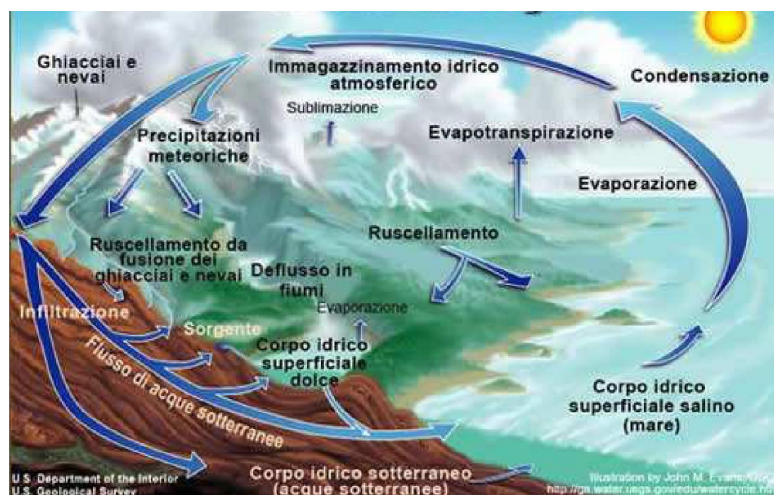


Figura 1.1: Il ciclo idrologico

Come si vede chiaramente in Figura 1.1, non esiste un vero e proprio inizio del ciclo.

Fasi del ciclo idrologico:

- Evaporazione**: la radiazione solare attiva il ciclo idrologico riscaldando i bacini idrici permettendo così l'evaporazione dell'acqua. Sul continente si ha una componente di *evotraspirazione* dovuta all'acqua traspirata dagli esseri viventi, in special modo i vegetali. Una piccola quantità d'acqua nell'atmosfera è dovuta alla sublimazione di ghiaccio o neve.

2. *Condensazione*: le correnti d'aria ascensionali sollevano il vapore in alto nell'atmosfera dove la temperatura più bassa ne provoca la condensazione in goccioline microscopiche che formano le nuvole.
3. *Precipitazione*: i venti trasportano le nubi e le particelle presenti in esse collidono, accrescendosi e precipitano o sotto forma di neve nelle regioni più fredde, oppure in forma di pioggia o grandine nelle regione con un clima più caldo.
4. *Infiltrazione*: avviene quando l'acqua dalla superficie confluisce in quelle sotterranee. E' un fenomeno che dipende fortemente dalla permeabilità del suolo.
5. *Scorrimento o Ruscellamento*: indica quel processo secondo il quale l'acqua superficiale si muove in pendenza verso il mare.
Non tutta l'acqua superficiale ritorna agli oceani (o ad altri bacini idrici) per ruscellamento, la maggior parte evapora nuovamente.

Il ciclo idrologico ha un notevole effetto anche sulla regolazione del clima. Infatti la maggior parte dell'evaporazione, abbiamo visto, avviene negli oceani, abbassandone così la temperatura. Senza l'effetto di questo raffreddamento, l'effetto serra porterebbe ad una temperatura superficiale di circa 67° , che porterebbe a gravi conseguenze nel ciclo vitale degli organismi sul Pianeta.

Un altro fenomeno legato al ciclo idrologico è la *circolazione atmosferica*. Nelle vicinanze dei mari tropicali, l'acqua evaporata si condensa in vapor acqueo e s'innalza nell'atmosfera, allontanandosi dai tropici grazie all'azione dei venti. Questo vapor acqueo rilascia calore latente che riscalda l'aria.

Capire la funzione biologica dell'acqua sul nostro Pianeta ci ha permesso di capire che l'acqua è un elemento essenziale per la vita. Per questo motivo l'attuale ricerca di vita extraterrestre non è incentrata tanto sulla ricerca vera e propria di una forma di vita, bensì sulla ricerca di acqua su eventuali pianeti. Ed è proprio quello che le ultime missioni hanno cercato su Marte.

Capitolo 2

Condizioni ambientali di Marte

Marte è il quarto pianeta in ordine di distanza dal Sole, da cui dista in media 1,52 UA (corrispondente a circa 227 940 000 km).

Il suo raggio equatoriale misura 3397 km (circa la metà di quello terrestre).

Un giorno marziano ha una durata di 24h 37min 23s.

E' chiamato il "pianeta rosso" a causa del suo caratteristico colore, dovuto all'ossido di ferro, abbondante sulla sua superficie.

2.1 Ere e cicli stagionali marziani

Una prima classificazione delle ere marziane era stata fatta in base al numero di crateri d'impatto presenti sulla superficie, individuando così tre ere.

1. *Noachiano*
2. *Esperiano*
3. *Amazzoniano*

Nel 2006, grazie ai dati raccolti dalla sonda *OMEGA*, è stata definita una nuova scala temporale basata sulla tipologia di minerale predominante in quel periodo [1].

1. *Phyllosian*: si estende per un periodo compreso tra i 4.5 a i 4.2 miliardi di anni fa. E' così chiamato per l'abbondante presenza di fillosilicati e minerali argillosi. E' proprio durante questo periodo che si sono formate le distese di materiale argilloso tutt'oggi visibili sul pianeta. Diversi studiosi ipotizzano che durante quest'era ci sia stata la possibilità di vita sul pianeta, in quanto questi strati argillosi avrebbero potuto trattenere l'acqua in superficie, permettendo così la formazione di possibili oceani.

2. *Theikian*: questa seconda era geologica, avrebbe avuto inizio 4.2 miliardi d'anni fa, per protrarsi per quattrocento milioni d'anni. Venne caratterizzata da un'imponente serie di eruzioni vulcaniche che modificarono il clima rilasciarono nell'atmosfera grandi quantità di minerali solfurei (da qui il nome del periodo).
3. *Siderikian*: si stima che quest'ultima era abbia avuto inizio circa 3.8 miliardi di anni fa e che prosegua fino ai giorni nostri. L'evento principale che la caratterizza è la sparizione dell'acqua superficiale causata dal progressivo raffreddamento di Marte. Questo ha portato alle attuali condizioni climatiche, caratterizzate da bassissima pressione atmosferica, estrema aridità superficiale, bassa temperatura media del pianeta. Deve il suo nome all'ossido di ferro, abbondante sull'intera superficie del pianeta.

Oggi giorno Marte è un pianeta secco e freddo. La temperatura media è molto più bassa di quella terrestre e c'è una forte escursione tra il giorno, dove può variare dai 216 ai 226 K (-57 a -47° C), e la notte dove varia tra i 153/208 K (-120 a -65°C).

Come la Terra, anche Marte ha dei cicli stagionali. Questi cicli stagionali sono dovuti all'inclinazione dell'asse di rotazione del pianeta. Come mostrato in Figura 2.1, l'inclinazione dell'asse del pianeta

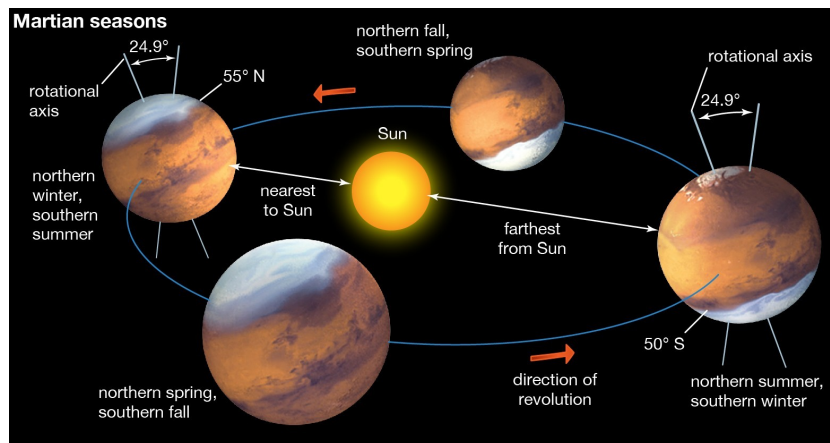


Figura 2.1: Ciclo stagionale marziano e variazione della dimensione delle calotte polari

rispetto al piano dell'orbita ha come risultato il fatto che l'irraggiamento solare sulle calotte polari non è costante durante l'intero anno, alle volte è maggiore (in estate quando l'asse di rotazione punta nella stessa direzione del

Sole), altre volte è minore (in inverno quando invece l'asse punta in direzione opposta a quella del Sole).

La lunghezza e la rigidità delle stagioni dipende ovviamente dal grado d'inclinazione.

La Terra e Marte hanno delle stagioni molto moderate in quanto la loro inclinazione rispetto al piano dell'orbita è relativamente piccola. Per la Terra parliamo di circa 23.45° , per Marte 24.9° .

L'inclinazione dell'asse non è l'unico fattore che gioca un ruolo essenziale nei cicli stagionali, conta molto anche l'eccentricità dell'orbita.

Sulla Terra questa gioca un ruolo pressoché irrilevante, in quanto l'orbita terrestre è quasi confrontabile ad una circonferenza.

Su Marte, invece, le cose sono diverse. L'eccentricità orbitale è molto elevata, portando a grandi variazioni di distanza dal Sole a seconda che il pianeta si trovi al perielio oppure all'afelio.

Quando infatti il pianeta si trova al perielio, questo è più vicino al Sole del 20% di quanto non lo sia in afelio. In quel punto Marte riceve circa il 50% in più di energia solare.

Al perielio c'è estate all'emisfero sud mentre è inverno in quello nord. Siccome però, come conseguenza della seconda legge di Keplero, al perielio il pianeta raggiunge la velocità massima, l'estate australe sarà più calda ma più breve di quella boreale.

Le stagioni marziane sono anche più rigide rispetto a quelle terrestri a causa di una più lenta inerzia termica e del fatto che le caratteristiche del suolo marziano (asciutto e granuloso) non favoriscono un elevato trattenimento del calore.

Le due calotte polari, le cui dimensioni variano molto al variare della temperatura, sono un grande indicatore del ciclo stagionale marziano. Osservandone la stratificazione è possibile visualizzare tre cicli distinti:

1. Il ciclo dell'anidride carbonica

Durante i periodi invernali, quando le temperature sono più rigide, la CO_2 presente nell'atmosfera condensa e precipita al suolo, depositando così una coltre di ghiaccio di CO_2 alle latitudini circostanti il polo. Questo fenomeno sarà maggiore nella calotta australe, dato che, come abbiamo detto, l'inverno qui avrà una durata maggiore rispetto all'emisfero nord.

Nei periodi di maggior irraggiamento solare, invece, la CO_2 sublima direttamente determinando un aumento considerevole della pressione atmosferica.

Circa il 30% di tutta l'anidride carbonica presente viene coinvolta in questo ciclo.

2. Il ciclo dell'acqua

Il ghiaccio stagionale delle calotte contiene anche una certa percentuale di acqua, che sublima insieme alla CO_2 .

L'atmosfera del pianeta, inoltre, si trova sempre prossima al punto di saturazione del vapore acqueo, e ciò determina l'apparizione di nubi per condensazione.

3. Il ciclo della polvere

L'aumento di pressione dovuto alla sublimazione della CO_2 condiziona sensibilmente la circolazione atmosferica, l'intensità dei venti e determina la distribuzione globale delle polveri, con le regioni dell'emisfero settentrionale che catturano la polvere in sospensione provenienti da quello meridionale. Per tale motivo le aree più povere di polveri, che corrispondono alle regioni più scure viste al telescopio, si trovano nell'emisfero Sud. Le tempeste si generano solitamente dal contrasto di temperatura tra i poli e le regioni adiacenti, capaci di determinare i venti necessari al sollevamento delle particelle solide. Talvolta, le polveri possono trovarsi miscelate ai vapori in sospensione, determinando la presenza di nubi miste. Una tempesta di polvere di grande estensione può contribuire ad un abbassamento notevole della temperatura atmosferica, rallentando o addirittura invertendo temporaneamente la regressione delle calotte.

2.2 Pressione, densità e punto triplo su Marte

Per poter capire se possa o meno esistere acqua liquida sulla superficie marziana, bisogna studiare il *Diagramma di stato dell'acqua*. Come si evince dal grafico (Figura 2.2), esiste un punto, chiamato *punto triplo*, alla Temperatura di 0.01°C e alla Pressione di 0.006 bar, in cui i tre stati di aggregazione coesistono in condizioni di equilibrio.

Le curve rappresentano il cambiamento di fase.

Possiamo notare che la curva che rappresenta l'equilibrio solido-liquido ha una pendenza negativa fino ad un valore di pressione pari a circa 2000 atm, dopodiché la pendenza risulta essere positiva. Ciò accade perché per pressioni superiori a 2000 atm il ghiaccio cambia forma allotropica ¹ diventando più denso dell'acqua. Questo comporta l'anomalo fenomeno dell'acqua che al diminuire della temperatura da 4 a 0°C ha un volume maggiore.

¹Allotropia: è una proprietà degli elementi cristallini di presentare più forme cristalline al variare delle condizioni di temperatura e pressione di solidificazione.

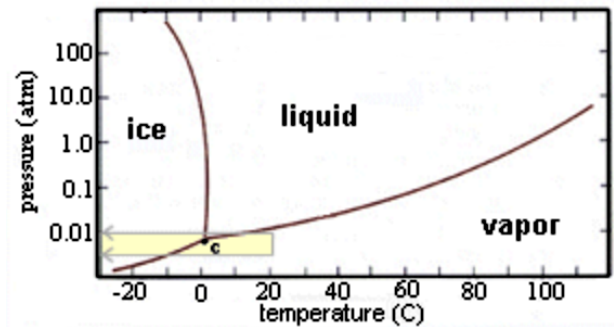


Figura 2.2: Il Diagramma di stato ci fornisce lo stato fisico di una data sostanza ad una data temperatura e pressione.
 Nel piccolo rettangolino sono riportate le condizioni ambientali di Marte che quindi si trovano piuttosto vicine al punto triplo.

Su Marte la pressione atmosferica superficiale è in media 6.1 millibar ma, siccome stiamo parlando di una media, esistono regioni in cui la pressione è leggermente al di sopra di tale valore, altre dove è leggermente al di sotto. Quindi potrebbero esistere regioni in cui le condizioni sono favorevoli all'esistenza di acqua liquida.

In un articolo Robert M. Haberle [2], utilizzando un modello climatico costruito in base ai dati raccolti dal *Mars Global Surveyor*, individua cinque regioni in cui le condizioni di pressione e temperatura del pianeta sono al di sopra del punto triplo, ma al di sotto di quello di ebollizione e quindi l'acqua potrebbe essere stabile in forma liquida.

Queste cinque regioni sono:

1. *Amazonis Planitia*
2. *Arabia Terra*
3. *Monte Elysium*
4. *Bacino Hellas*
5. *Argyre Planitia*

Il fatto però che esistano queste regioni con queste favorevoli condizioni ambientali, non dimostra necessariamente la presenza di acqua liquida su di esse.

Capitolo 3

La scoperta dell'acqua su Marte

L'ipotesi che su Marte potesse esserci la presenza di acqua risale addirittura alla metà del XIX secolo.

Già nel 1854, William Wheweel ipotizzò che Marte possedesse dei mari non dissimili da quelli terrestri.

L'astronomo italiano, Giovanni Schiaparelli, nel 1877 osservò delle formazioni scure, rettilinee che chiamò *canali*.

Ma quando anni dopo, l'astronomo statunitense William Wallace Campbell, utilizzando l'analisi spettroscopica, scoprì che l'atmosfera di Marte era priva di acqua e ossigeno, buona parte della comunità scientifica fu costretta ad ammettere che quei canali fossero semplicemente frutto di un'illusione ottica, prodotta da semplici chiaro scuri.

L'ipotesi della possibilità di acqua sul Pianeta Rosso venne abbandonata. Fu solo con l'avvento dell'era spaziale che nuove prove vennero fornite agli scienziati per poter teorizzarne la presenza.

3.1 Ipotesi che Marte abbia avuto acqua liquida nel suo passato

L'avvento dell'era spaziale ci ha permesso di raccogliere numerose informazioni su Marte. Molte sembrano dimostrare l'ipotesi che, in passato, in condizioni più calde e di un'atmosfera più densa di quella attuale, Marte abbia avuto acqua allo stato liquido sulla sua superficie.

3.1.1 L'antico oceano marziano

Come abbiamo visto già nel Capitolo 2, i dati raccolti dal *Mars Global Surveyor* lasciano ipotizzare che Marte nel suo passato, durante l'era *Phyllosian*,

possa aver avuto un unico grande oceano che ricopriva la parte settentrionale del pianeta.

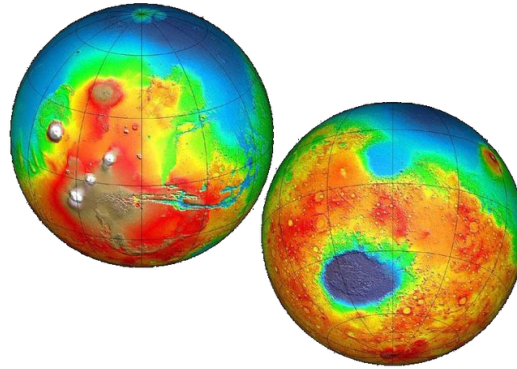


Figura 3.1: L'altimetro laser della sonda *Mars Global Surveyor* (MGS) ha ripreso le differenze di altitudine della superficie rispetto al valore medio planetario.

In rosso sono rappresentate le massime elevazioni, in giallo e verde le elevazioni intermedie, mentre in blu le massime depressioni

La Figura 3.1 mostra come sul pianeta esistano dei terrazzamenti non dissimili da quelli presenti lungo le coste dei mari terrestri provocate da effetti di erosione dell'acqua e deposito di sabbia.

Le altimetrie del MGS mostrano la presenza di terrazzamenti inferiori (regioni di azzurro più chiaro nella figura), come se questo oceano si fosse in qualche modo ritirato nel tempo.

La NASA ha effettuato uno studio servendosi di potenti telescopi infrarossi, l'*Eso Paranal* (Cile), il *Keck observatory* (Hawaii) e il *Nasa Infrared telescope facility* (Hawaii), per mappare l'atmosfera marziana, tra il 2008 e il 2014 e osservare la distribuzione di due tipologie differenti di molecole d'acqua: quella più abbondante con i due atomi di idrogeno legati all'atomo di ossigeno e una seconda caratterizzata dalla presenza del deuterio, un isotopo dell'idrogeno.

Nel tempo l'acqua contenente i due atomi di idrogeno è stata gradualmente perduta nello spazio, mentre la forma caratterizzata dalla presenza del deuterio, più pesante, è andata persa ad un ritmo molto più lento.

E' stato quindi quantificato il rapporto tra le molecole di deuterio e di idrogeno presenti oggi su Marte, confrontandolo poi con quello misurato nei meteoriti marziani presenti sulla Terra. In questo modo si è riusciti a quantificare la quantità di acqua persa dal pianeta e le dimensioni dell'antico oceano artico marziano [3].

Il successivo raffreddamento del pianeta avrebbe portato una quantità d'acqua a congelarsi, l'altra si pensa sia appunto andata persa nello spazio a causa dell'abbassamento della pressione atmosferica.

3.1.2 Gullies

Un altro elemento interessante sono i cosiddetti **gullies** o *gole*. Queste sono delle piccole, ma significative, modifiche strutturali che si manifestano soprattutto nelle pareti interne di alcuni crateri (Figura 3.2).

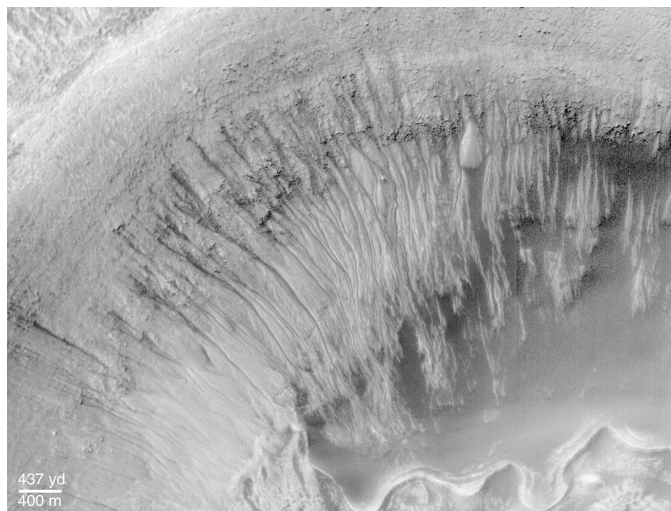


Figura 3.2: Gullies presenti nella parete interna nord del Newton Crater. Immagine ad alta risoluzione ottenuta dalla *Mars Global Surveyor* nei primi anni 2000. Gli stretti canali sembrano essere stati scolpiti dal passaggio di un fluido; le rocce e il terreno sono state trasportate da questo flusso e depositate alla base della parete del cratere formando queste diramazioni.

Le immagini della *Mars Orbiter Camera (MOC)* mostrano chiaramente che questi *gullies* sono manifestazioni piuttosto recenti. Eppure, finora, non ci sono ancora prove evidenti di una grande quantità d'acqua allo stato liquido che possa permettere la formazione di queste gole.

Come mostra chiaramente la figura Figura 3.3, la struttura ad alcovacanal-detriti a ventaglio sembra confermare la teoria secondo cui i *gullies* si siano formati in seguito ad attività fluviale. L'interpretazione classica è che il fluido ristagni all'interno di una regione

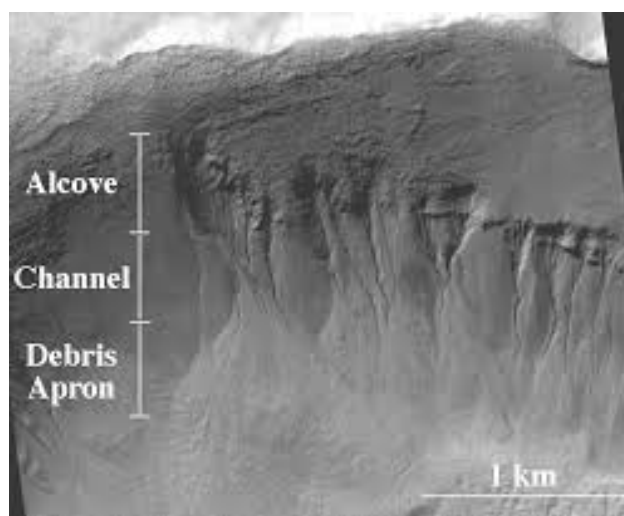


Figura 3.3: Immagine fornita dalla sonda MOC che mostra chiaramente la tipica struttura alcova-canale-detriti a ventaglio di *gullies* relativamente recenti.

Coordinate: 200.86°W, 39.16°S

concava, erodendo il materiale ¹, producendo questa classica forma ad alcova. Questo poi, a causa di fenomeni di erosione e di frane, comincia a fluire in discesa scolpendo il canale e trasportando con sé detriti e materiale vario che si dispongono poi in una classica struttura “a ventaglio” una volta a valle.

Per capire se l’acqua allo stato liquido abbia effettivamente il tempo di scorrere su distanze sufficientemente grandi per poter scolpire i *gullies*, vennero fatte numerose simulazioni numeriche di un flusso d’acqua pura all’interno dei canali marziani, inserendo gli opportuni vincoli di salinità e viscosità [4]. Le simulazioni teoriche assumevano una pressione atmosferica minore della pressione del punto triplo dell’acqua che si traduce quindi in una rapida evaporazione.

Venne costruito quindi un modello tridimensionale del canale sulla base delle seguenti ipotesi:

1. l’intero canale venne suddiviso in tanti tratti equidistanti e fu eseguito un bilancio energetico su ciascuno di essi;
2. fluido di tipo newtoniano, cioè dove la viscosità non varia con la velocità e in cui la velocità di discesa è determinata da un bilanciamento tra la forza peso di ciascuna particella e lo sforzo tangenziale;

¹*Headward erosion*: è l’erosione all’origine dei canali di flusso

3. il canale non subisce nel tempo variazioni di forma o di altezza a causa dell'erosione e del trasporto di materiale;
4. le sorgenti energetiche sono l'irraggiamento solare e il calore latente di fusione;
5. la perdita energetica è causata dal calore latente di vaporizzazione e il raffreddamento termico del liquido.

Questo modello teorico fu poi applicato ai *gullies* marziani, la cui lunghezza venne calcolata a partire dalla base dell'alcova fino all'inizio dei detriti disposti a ventaglio.

Analizzando i dati di MOC e MOLA (*Mars Orbiter Altimeter*) è stata calcolata la velocità di flusso in base alla pendenza dei canali (circa 18°) dell'ordine dei 10 m/s.

I risultati di queste simulazioni confermarono che questi *gullies* sono stati prodotti da una passata attività fluviale di acqua pura e non salina.

L'acqua salina, infatti, tenderebbe ad evaporare troppo in fretta impedendo così di scavare i canali delle lunghezze che vengono osservate.

Risulterebbe quindi che i *gullies* si formino in regioni con condizioni di basse temperature e pressioni.

L'ipotesi più accreditata sembrerebbe quindi essere quella secondo cui eventuali frane o altri movimenti del terreno, portino in superficie del ghiaccio sottostante, il quale liquefa scolpendo la conformazione morfologica tutt'oggi osservata.

3.1.3 Valley networks (*rete di vallate*)

Reti ramificate sulla superficie marziana che ricordano molto i bacini di drenaggio ² fluviali terrestri.

Sono tipicamente stretti, con una larghezza che varia dagli 0.5 ai 4 km; e profondi dai 50 ai 200 m. Hanno una conformazione a V nei pressi della sorgente, modificandola in una ad U lungo il corso inferiore. In genere questi canali sono stati poi ricoperti nel corso del tempo da materiale depositato, principalmente sabbia.

I *valley network* sono maggiormente concentrati negli altopiani meridionali del pianeta, dove l'attività meteorica sembra essere stata particolarmente intensa. La loro abbondanza in queste regioni lascia supporre che si siano formati nel periodo Noachiano.

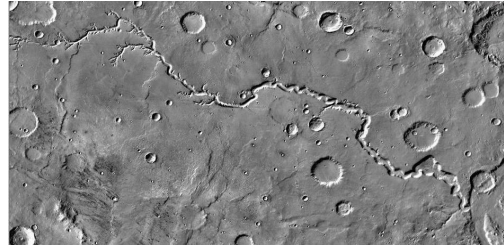
²regione nella quale le precipitazioni meteoriche (pioggia, neve o grandine) vengono drenate (convogliate) ad un corso d'acqua principale attraverso degli affluenti.



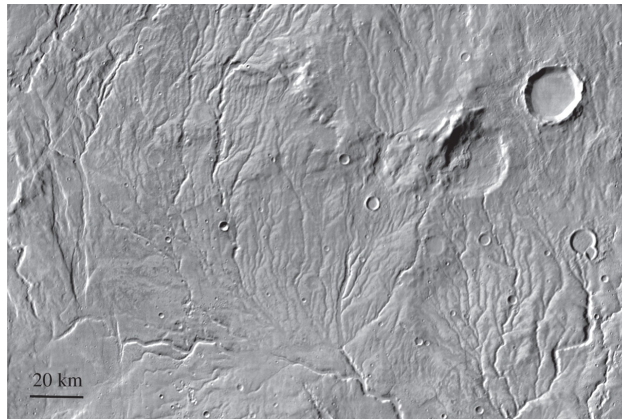
(a) Ingrandimento di un canyon nella Nani Vallis. La porzione mostrata in figura misura circa 20 km di lunghezza e circa 2.5 km di larghezza.

Immagine presa dalla Mars Global Surveyor l'8 Gennaio 1998

Immagine ruotata di 90° rispetto all'originale.



(b) Nirgal Vallis. Si estende per circa 420 km e il fondo della valle è parzialmente coperto da dune e increscature. L'immagine, centrata 29° Sud e 41° Ovest, copre un'area di 500 km x 350 km ed è stata ottenuta grazie al programma JMARS.



(c) Warrego Vallis (42° S, 267° E).

Figura 3.4: Alcuni esempi di *valley networks* marziani.

Per la loro morfologia così ramificata e la presenza di eventuali strutture che assomigliano al delta dei fiumi terrestri, sembrerebbe che l'origine dei *valley network* sia da imputare proprio ad un flusso d'acqua.

Sebbene siano stati incisi da un'intensa attività fluviale, precipitazioni e eventuali afflussi in superficie di acqua sotterranea, non bisogna comunque trascurare il contributo dell'inaridimento in ere successive che sembra aver modellato la *Nirgal Vallis* e la *Nani Vallis*, i cui canali vengono bruscamente troncati, come se il flusso d'acqua che li ha originati fosse stato improvvisamente interrotto [5].

3.1.4 Outflow channels (*canali di flusso*)

I *canali di flusso* o *outflow channels* sono delle depressioni lineari ricoperte di sedimenti e massi osservati principalmente nella regione equatoriale del pianeta.

Si estendono per diversi chilometri in lunghezza e sono profondi circa uno.

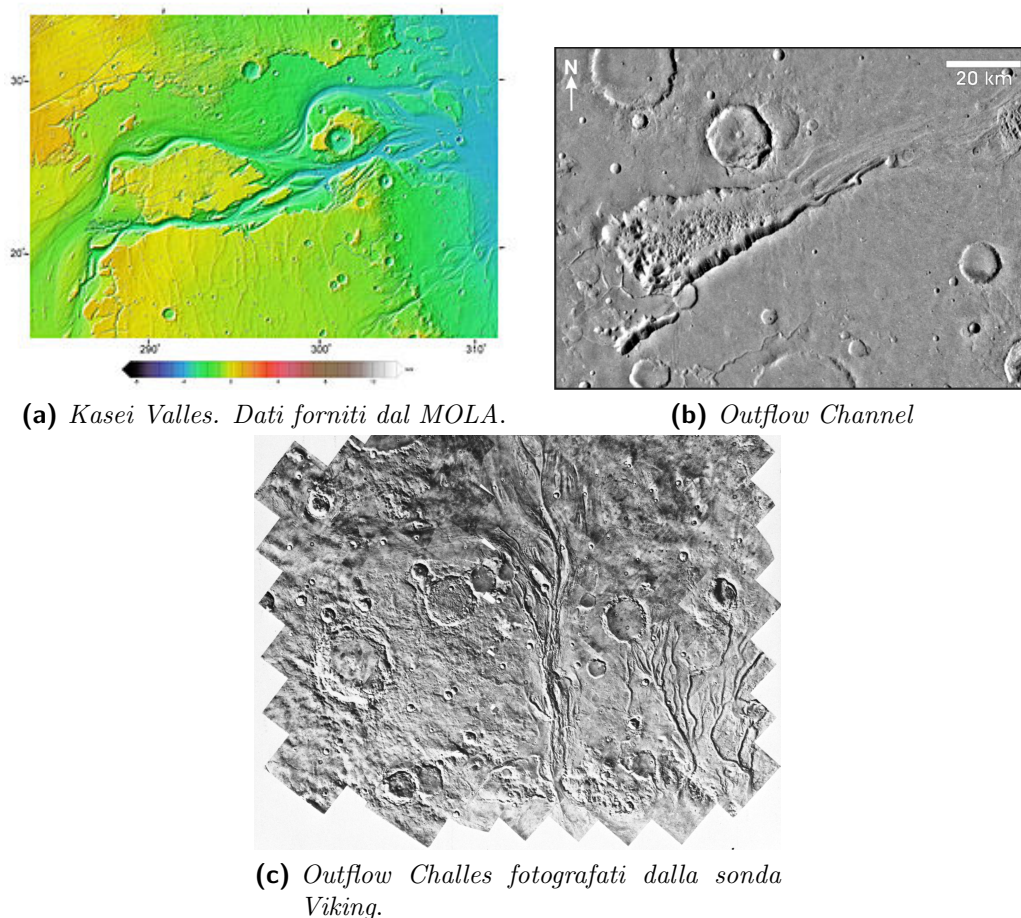


Figura 3.5: Alcuni esempi di *outflow channels* marziani.

Gli *outflow channels* differiscono dai *valley networks* in quanto non hanno affluenti, nascono da un'unica sorgente e sono comunemente riempiti di detriti. Hanno anche forme meno serpeggianti e presentano delle anse meno pronunciate.

In alcuni tratti, dove il flusso sembra essere stato più abbondante, molti canali presentano addirittura quelli che sembrano essere dei piccoli isolotti a forma di goccia (Figura 3.6).

Queste strutture sembrano essere molto simili agli *Channeled Scablands* nello stato di Washington (USA), prodotti molto probabilmente dal prosciugamento di un enorme lago glaciale. Studi e comparazioni di questa particolare formazione sulla Terra con quelli marziani hanno portato ad ipotizzare che anche per quest'ultimi l'origine sarebbe da imputare a scioglimento di grandi quantità di ghiaccio [6].



Figura 3.6: Isolotti dalla forma allungata nella regione della Chryse Planitia. L'isolotto superiore misura circa 400 m di altezza, 600 m quello inferiore. Si ritiene si siano originati per erosione di un flusso d'acqua che doveva scorrere abbondante nel passato marziano. Immagine ruotata di 90° rispetto all'originale.

Gli *outflow channels*, a parte per le loro dimensioni maggiori, assomigliano molto ai letti dei fiumi terrestri e la loro origine sembra essere dovuta allo scorrimento di un fluido attraverso di essi.

Vennero fatte numerose teorie su cosa possa aver prodotto questi canali. Si è pensato che fossero dovuti a:

1. movimenti tettonici;
2. erosione lavica;
3. erosione del vento;
4. erosione del ghiaccio

E' stata addirittura avanzata un'ipotesi, velocemente abbandonata, chiamata *White Mars Model* [7], che prevedeva che l'agente che causava la formazione di questi canali fossero detriti ricchi di anidride carbonica.

Le recenti scoperte sembrano tuttavia confermare che a scolpire questi canali sia stato un fluido. Si stima addirittura che il volume d'acqua necessario per produrre simili strutture sia nettamente maggiore di quello presente nei fiumi terrestri, facendo ipotizzare che questi abbiano avuto un'origine molto più violenta dei *valley network*.

3.1.5 Laghi e delta di fiumi

Sulla superficie marziana molti canali terminano con delle depressioni più o meno circolari, probabilmente formatesi durante il periodo Noachiano, che potrebbero essere stati dei passati laghi.

Questi possono essere dei vecchi crateri d'impatto che in seguito a violente precipitazioni o ad abbondanti fuoriuscite di acqua sotterranea si sono riempiti.

A causa del successivo raffreddamento del pianeta l'acqua è evaporata lasciando sul fondo di questi crateri sedimenti erosi, depositi ricchi di cloro e solfati.

Un classico esempio di lago è il cratere *Gusev* nella regione di atterraggio del lander *Spirit* (Figura 3.7).

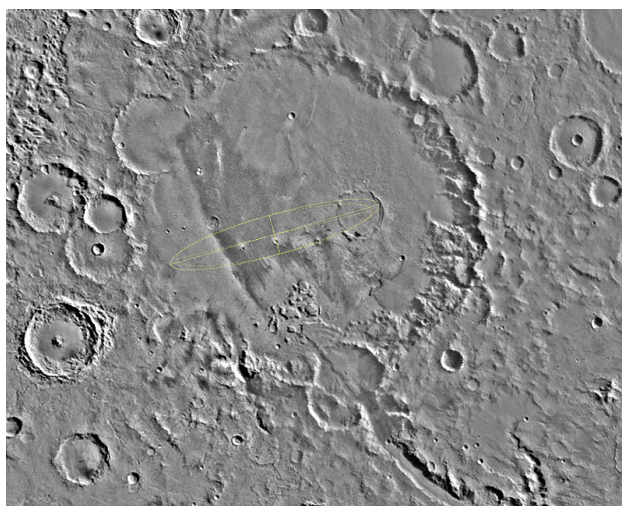


Figura 3.7: Cratere *Gusev* situato alle coordinate 14.5°S 175.4°E . Ha un diametro di circa 166 km; formatosi circa tre o quattro miliardi di anni fa. Il canale *Ma'adim Vallis* sembra esserne l'emissario.

Molti di questi crateri presentano una stratificazione dei depositi che ne ricoprono il fondo. Questa potrebbe essere stata causata da successivi impatti o da una successiva attività vulcanica o addirittura da variazioni erosive del materiale dovute ai vari cambiamenti climatici.

Ma non tutti i canali terminano in un cratere, alcuni terminano in una tipica conformazione a delta. Sono state osservate circa una decina di queste particolari strutture, tipicamente a forma di ventaglio. Il fatto che i delta non



(a) Il cratere Eberswalde mostra chiaramente una conformazione a delta probabilmente scolpita da un flusso d'acqua. L'area del delta è di circa 115 km^2 . E' stata rilevata anche la presenza di rocce sedimentarie probabilmente trasportate dal corso d'acqua..

(b) Delta di circa 40 km presente nel cratere Jezero. Probabilmente il delta si è formato nel corso di una decina di anni in maniera lenta e discontinua..

Figura 3.8: Esempi di strutture a delta che testimonierebbero un'attività fluviale passata

siano molto profondi sembra indicare che l'attività fluviale che li ha scolpiti sia drasticamente diminuita nel tempo.

Sembra quindi confermato il fatto che Marte abbia avuto un'intensa attività fluviale circa 3.7 miliardi di anni fa [5].

3.2 Prove che Marte abbia acqua nel presente

3.2.1 Immagini di ghiaccio d'acqua sulla superficie

Il 3 Settembre 1976 il *Viking Lander 2* è atterrato sulla superficie marziana, circa 200 km ad ovest del Cratere Mie nell'*Utopia Planitia* (Figura 3.9).

Lo spettrometro a fluorescenza a raggi X determinò che sul terreno c'era un'abbondanza di minerali ferrosi (dal 12 al 16%), silicio (13/15%), calcio (3/8%), alluminio (2/7%) e titanio (25%).



Figura 3.9: Ghiaccio d'acqua sul suolo marziano.

La foto è stata scattata dal Viking 2 Lander ad una latitudine di 48°N, il 18 Maggio 1979

Il lander ha scattato oltre 3000 immagini mentre era operativo e circa 600 di queste mostrano strati, più o meno sottili, di ghiaccio d'acqua sulla superficie del Pianeta Rosso.

Gli scienziati si erano aspettati di vedere un terreno arido, secco, ricoperto da dune di sabbia e rocce, invece osservano del ghiaccio d'acqua.

Altre immagini della presenza di ghiaccio sulla superficie marziana sono state fornite dal lander *Phoenix* (Figura 3.10).

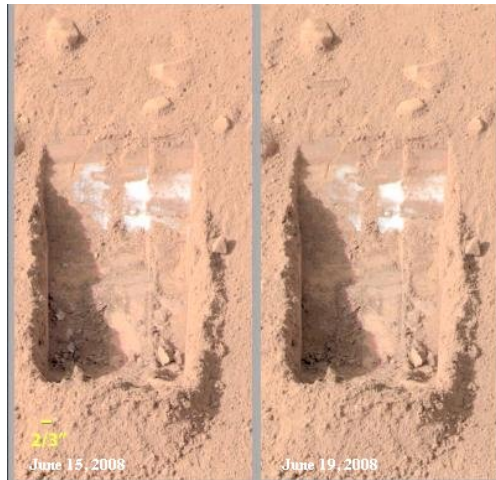
Al momento dell'atterraggio, il razzo frenante di *Phoenix* ha smosso lo strato superficiale del terreno scoprendo del ghiaccio sottostante [8].

Il ghiaccio è stato esposto con qualche sforzo e questo lascia pensare che si tratti di ghiaccio formatosi a partire da una soluzione salina, la *brine*³.

³soluzione di sali (soprattutto cloruro di sodio) disciolti in acqua.



(a) Ghiaccio d'acqua sotto il lander *Phoenix*.



(b) Ghiaccio d'acqua sotto il terreno smosso dal braccio meccanico del lander *Phoenix* [8].

Figura 3.10: Ghiaccio d'acqua portato in superficie da *Phoenix* appena dopo il suo atterraggio sul pianeta.

3.2.2 *Recurring Slope Lineae* (RSL) e *Slope Streaks*

Negli ultimi anni il rover *Curiosity* ha studiato con particolare attenzione i fenomeni di *slope activity*⁴ all'interno del *Gale Crater*, in particolar modo l'*Aeolis Mons*, un accumulo di materiale sedimentario eroso di circa 4 km che mostra spettri di minerali che indicherebbero un'alterazione dovuta alla presenza di acqua.

Il rover ha fornito informazioni che la regione sembra essere particolarmente soggetta a frane e smottamenti che possono essere causati dalla presenza di acqua liquida nel sottosuolo.

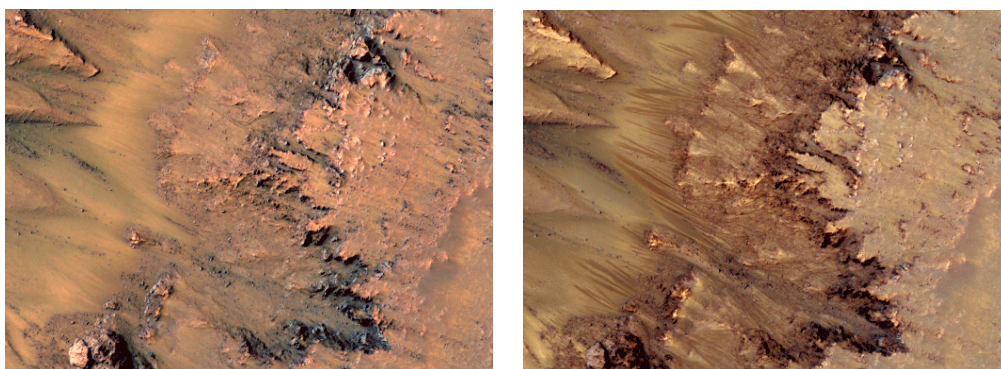
⁴Insieme di tutti i fenomeni geologici che possono modificare la pendenza e la morfologia del terreno.

Utilizzando la fotocamera installata a bordo del MRO, HiRISE (*High Resolution Imaging Science Experiment*) sono state osservate delle particolari manifestazioni periodiche: i *recurring slope lineae* (RSL).

Questi sembrano essere delle strisce di sabbia bagnata che compaiono periodicamente sulla superficie marziana (Figura 3.11).

Si ritiene che siano causati dallo scioglimento del ghiaccio d'acqua presente in queste regioni, caratterizzate tutte da un'alta temperatura del terreno, basso albedo e elevata pendenza (valori maggiori di 25°).

Sebbene lo spettrometro CRISM (*Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars*)⁵ non abbia rivelato prove dell'esistenza di acqua liquida, ha riscontrato evidenti tracce di sali perclorati che potrebbero liquefarsi in una soluzione salina stabile allo stato liquido.



(a) Immagine ripresa all'inizio della stagione estiva di Marte.

(b) Immagine della stessa regione presa a stagione estiva inoltrata.

Figura 3.11: Le immagini mostrano gli RSL visibili al Newton Crater durante la calda stagione. La sequenza di immagini è stata ottenuta da HiRISE (*High Resolution Imaging Science Experiment*) a bordo del MRO (*Mars Reconnaissance Orbiter*).

Le immagini di HiRISE mostrano come questi RSL si allungano e si allargano man mano che si procede verso mesi più caldi, mentre spariscono durante i mesi invernali.

Non si può comunque escludere un'origine “secca” del fenomeno. Oppure potrebbero trattarsi dei cosiddetti *slope streaks* (Figura 3.12), cioè avvallamenti granulari di polveri spesse, tipicamente più scuri del terreno circostante. Questi sembrano formarsi in regioni con bassa inerzia termica, pendenze molto ripide e temperature intorno agli 0°C . La loro formazione è tutt'ora causa di forti dibattiti. Alcuni studiosi pen-

⁵Spettrometro sensibile nel visibile e nell'infrarosso, utilizzato per la ricerca di residui minerali che possono testimoniare l'esistenza di acqua su Marte.

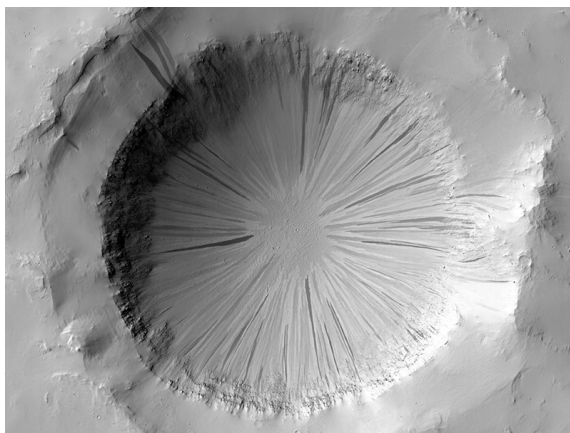


Figura 3.12: *Dark slope streaks* nell'*Arabia Terra*. Immagine ripresa dalla *Mars Orbital Camera* (MOC).

sano si tratti di frane di materiale come sabbia e polveri e che abbiano una colorazione scura appena si formino per poi diventare più chiari man mano che il tempo passa; altri invece ritengono siano dovuti ad una fase di transizione dell'acqua, come ad esempio lo scioglimento di ghiaccio che potrebbe portare a delle valanghe, oppure frane che potrebbero essere innescate dalla sublimazione di acqua nel sottosuolo [9].

C'è un altro problema che non va trascurato nell'osservare questi fenomeni: la sensibilità di HiRISE. E' sempre più complicato osservare eventuali cambiamenti ambientali e distinguerli da dei banali effetti ottici dovuti ai chiaro-scuro.

L'ipotesi più plausibile, sembra comunque essere quella di un flusso liquido dovuto alla *brine*.

La salinità di questa soluzione abbassa il punto triplo dell'acqua verso pressioni e temperature inferiori, aumentando il range di stabilità per una fase liquida.

3.2.3 Stratificazione della calotta polare Nord

Come abbiamo già discusso nel Capitolo 2 le calotte polari sono ottimi indicatori del ciclo stagionale marziano. Abbiamo inoltre visto che a causa dell'inclinazione dell'asse di rotazione, le loro dimensioni non sono costanti durante l'anno.

Ma le calotte polari sono importanti anche per altri motivi. Sono prima di tutto la chiara dimostrazione della presenza di ghiaccio d'acqua sul pianeta.

Importanti dati ci sono stati forniti dalla stratigrafia radar effettuata dallo SHARAD (*Shallow Radar*) della *Mars Reconnaissance Orbiter* (MRO).

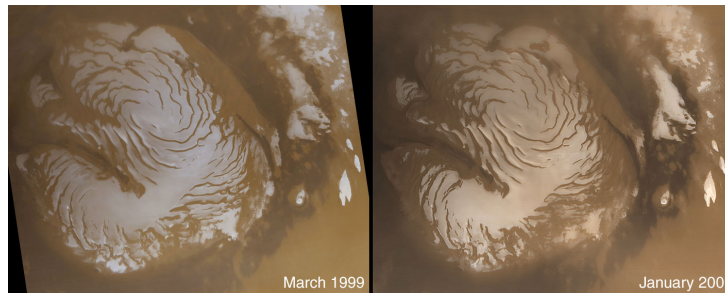


Figura 3.13: Immagini della calotta polare nord scattate nel Marzo 1999 (sinistra) e nel Gennaio 2001 (destra) dalla *Mars Global Surveyor*. Caratteristica distintiva della calotta è la sua forma spiraloiforme.

Le riflessioni radar della calotta rivelano una stratificazione su vari livelli dovuta agli accumuli di ghiacci e polveri nelle varie stagioni.

Il Polo Nord (Figura 3.13) è parte di un vasto bacino sedimentario creatosi in circa 2 miliardi di anni dal deposito di materiale e dall'erosione da parte di ghiaccio, lava, polveri e altri materiali litici e comprende l'altopiano della *Planum Boreum*.

Pur esistendo alcune significative differenze tra i depositi polari dei due emisferi, si ritiene che esistano caratteristiche comuni che permettono di identificare uno schema generale di comportamento per la stratificazione del suolo.

Partendo dalla superficie e procedendo verso il basso si possono distinguere quattro strati principali:

1. gelo stagionale;
2. ghiaccio residuo;
3. depositi stratificati;
4. superficie marziana preesistente

I depositi stagionali sono costituiti, in entrambi gli emisferi, da CO_2 e sono generati dal condensamento del gas durante i mesi invernali.

A seconda della latitudine questo strato può più o meno coprire gli altri tre livelli.

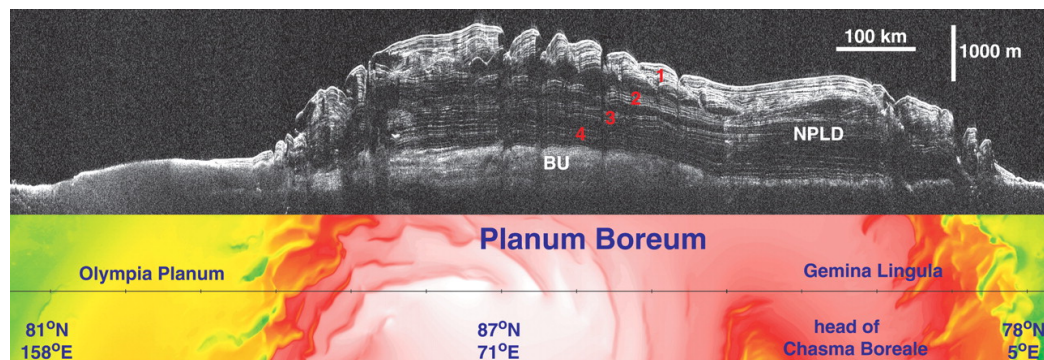
Lo strato di ghiaccio residuo è diverso nelle due calotte. Nella calotta polare Nord si tratta proprio di ghiaccio d'acqua, che ricopre gran parte dei depositi stratificati sottostanti.

Al di sotto di questo sottile strato di ghiaccio d'acqua, la maggior parte della *Planum Boreum* è costituita da uno strato principale, chiamato *north*

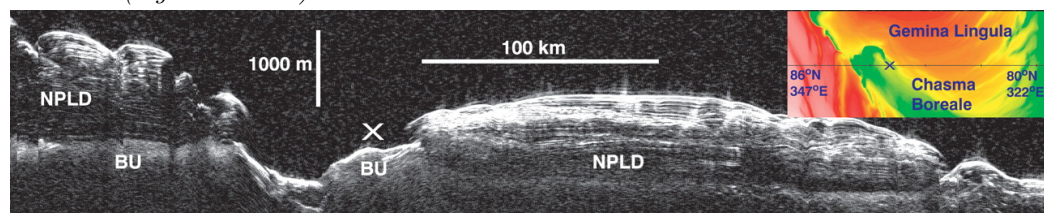
polar layered deposits (NPLD), che è molto probabilmente il risultato dei cicli stagionali marziani già discussi in precedenza.

L’NPLD è formato da un livello superiore, denominato UPLD (*Upper Polar Layered Deposits*) dello spessore di circa 2 km e uno inferiore, la BU *Basal Unit*, che differisce dall’NPLD per un minor albedo e per il maggiore spessore degli strati che la costituiscono.

Questa presenta un’alternanza tra strati ricchi di ghiaccio ad altri ricchi di sabbia, probabilmente depositata dalle forti tempeste di sabbia che ricoprono ampie regioni del pianeta per mesi. La composizione dell’UPLD non è molto



(a) (Sopra) Radargramma di SHARAD dell’orbita 5192. La variazione di ritardo di ricezione del segnale viene convertita in profondità, etichettando con il valore 1 l’NPLD e 3 la BU. (Sotto) La seconda immagine mostra un modello digitale del terreno fornito dal Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA). I valori variano dai 4.5 (regione verde) ai 2 km (regione bianca).



(b) Radargramma di SHARAD dell’orbita 5220..

Figura 3.14: Radargrammi dello SHARAD [10]

chiara, l’unica cosa che si evince dai radargrammi è che la sua distribuzione è irregolare in molti tratti e si nota come in quei punti l’NPLD giaccia direttamente sulla superficie marziana [10].

Le analisi di SHARAD ci hanno non solo permesso di confermare la presenza di ghiaccio d’acqua, ma anche di studiare, mediante la stratificazione, la storia geologica del pianeta.

3.2.4 Crateri a piedistallo

I *crateri a piedistallo* sono dei particolari crateri sulla superficie marziana in cui il calore generato dall'impatto scioglie il ghiaccio presente nella superficie sottostante. Questo poi risale in superficie sotto forma di una colata, più o meno fangosa, formando la tipica conformazione a piedistallo che osserviamo. Il materiale espulso, il piedistallo, viene protetto dall'erosione dell'azione dei

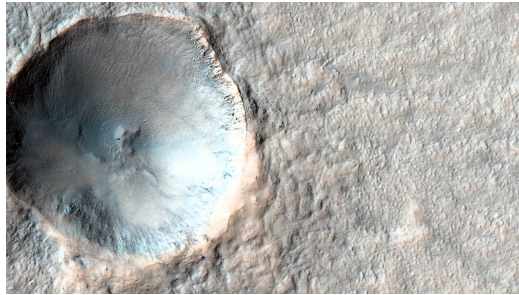


Figura 3.15: Crateri a piedistallo su Marte che mostrano l'espulsione di detriti dal sottosuolo simili a colate di fango.

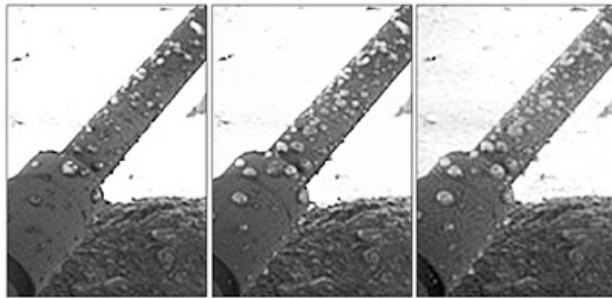
venti, dall'altopiano circostante, preservandolo nel tempo.

3.2.5 Tracce d'acqua su Phoenix e Curiosity

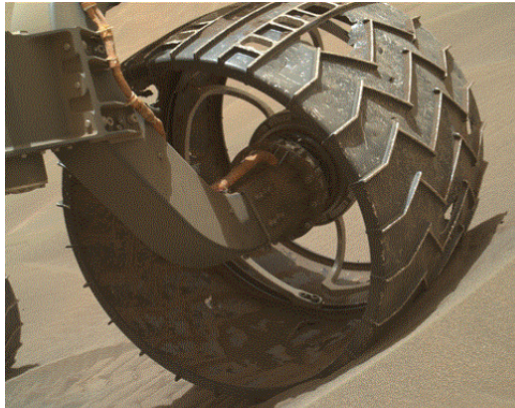
Un'altra prova della possibilità di esistenza di acqua liquida sul pianeta ci è stata fornita da alcune immagini di *Phoenix* e di *Curiosity*, in particolare immagini di piccole goccioline che sembrano essere proprio acqua liquida sul montante di *Phoenix* [8] e tracce di ossidazione sulle ruote del *Curiosity*.

Si pensa infatti che il continuo contatto dell'alluminio anodizzato che riveste le ruote del *Curiosity* con i perclorati⁶ presenti sul terreno producano il serio danno che è stato osservato [11].

⁶Composto che si forma dal legame tra il perclorato (ClO_4^-), l'anione del cloro, con gli elementi del primo e secondo gruppo della tavola periodica (metalli alcalini/metalli alcalino terrosi).



(a) *Sferette d'acqua sul montante del lander Phoenix [8].*



(b) *Evidenti tracce di ossidazione sulle ruote del rover Curiosity.*

Figura 3.16: Tracce evidenti della presenza di acqua sul suolo marziano

Capitolo 4

Scoperta dell'acqua salata su Marte

Finora abbiamo riportato evidenti prove di una possibile presenza, passata e presente, di acqua allo stato liquido sulla superficie di Marte. Eppure non sono mai state osservate quantità significative che potrebbero causare tali fenomeni.

Abbiamo inoltre visto che i range di temperatura e pressioni che permetterebbero la stabilità di acqua pura in forma liquida sono molto ristretti.

La soluzione dell'enigma è stata data dalle recenti scoperte di *Phoenix* e di *Curiosity* che hanno riscontrato la presenza di una soluzione salina liquida sul suolo del pianeta rosso, chiamata *brine*.

Già la sonda *Viking* aveva riscontrato la presenza di sali perclorati nei *regolith*¹ marziani che abbassa la temperatura di fusione anche fino a -73°C (dipende dalla concentrazione) e dunque per avere acqua liquida non è necessario che la temperatura salga fino agli 0°C.

Successive conferme della presenza di questi perclorati sul pianeta giunsero dallo spettrometro a raggi gamma (GRS) montato a bordo della sonda *Mars Odyssey*, il quale misurò un elevato segnale del Cl^- che indicava un'abbondante presenza dello ione sulla superficie. I perclorati sono composti altamente ossidanti prodotti da reazioni fotochimiche nei gas atmosferici. La superficie del pianeta è costantemente bombardata da raggi cosmici che eccitano gli atomi del terreno emettendo raggi gamma che vengono poi registrati dal GRS.

Di solito questo strumento è associato ad uno **spettrometro di neutroni** dedito alla ricerca di acqua o ghiaccio nel terreno.

¹Sono degli strati di materiale sbriciolato, composti da polveri, terreno e frammenti di rocce, che ricoprono roccia solida sottostante.

Successivamente ulteriori conferme ci sono giunte dal rover *Curiosity* della missione *Mars Science Laboratory* (MSL) che ha fornito interessanti dati sul *Gale Crater* [11].

Curiosity trasporta con sé strumenti scientifici sofisticati atti proprio alla ricerca di acqua liquida sulla superficie:

1. **REMS (*Rover Environmental Monitoring Station*)**: misurazioni dell'umidità relativa, della temperatura dell'aria e della superficie, pressione e radiazione UV che raggiunge il suolo.
Il REMS quindi è una sorta di stazione meteorologica che monitora l'evoluzione giornaliera dei parametri ambientali.
2. **DAN (*Dynamic Albedo of Neutrons*)**: fornisce dati sulla possibile presenza di acqua fino a 60 cm di profondità, mediante il bombardamento di neutroni e studiando il modo in cui questi si ricombinano.
3. **SAM (*Sample Analysis at Mars*)**: fornisce l'analisi chimica per identificare e quantificare differenti composti in vari campioni di terreno.

Con l'utilizzo di questi strumenti, *Curiosity* è stato in grado di rilevare tre tipi di sali perclorati sulla superficie marziana:

1. *perclorato di calcio* $[\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2]$
2. *perclorato di magnesio* $[\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2]$
3. *perclorato di sodio* $[\text{Na}(\text{ClO}_4)_2]$

L'importanza dello studio di questi sali perclorati sta nel fatto che, in determinate condizioni, questi danno origine ad un fenomeno chimico chiamato **deliquescenza**, in cui assorbono vapor acqueo dall'atmosfera *idratandosi* (diventando cioè sali idrati) e successivamente liquefano, dando origine a questa soluzione di sali disciolti che abbiamo chiamato *brine*.

Il fenomeno della deliquescenza avviene quando l'umidità relativa (RH) dell'ambiente è al di sopra dell'umidità relativa di deliquescenza (DRH) e la temperatura dell'ambiente è al di sopra della temperatura eutettica ² della soluzione ottenuta.

I dati analizzati da *Curiosity* hanno mostrato che il *perclorato di brine* riveste un ruolo molto importante nel ciclo giornaliero dell'acqua nelle regioni del *Gale Crater*.

²Temperatura (di fusione o di solidificazione) di una miscela di una o più sostanze che risulta essere più bassa di quella delle singole componenti che la costituiscono.

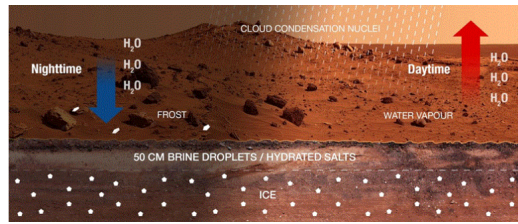


Figura 4.1: Schematica rappresentazione del ciclo giornaliero dell'acqua in base ai dati fornitoci dal REMS nel cratere Gale [11].

Come si osserva in Figura 4.1, durante la notte la temperatura scende, facendo aumentare il valore di umidità relativa (RH), si forma così del ghiaccio sulla superficie finché non viene raggiunto il limite di saturazione. In contemporanea a questo, per valori intermedi dell'RH, i sali si idratano e liquefano (per deliquescenza) in *brine*.

Negli strati superficiali, che sono esposti alla radiazione solare, il ciclo si ripete giornalmente. Dopo l'alba, infatti, quando la temperatura aumenta, la *brine* evapora sotto forma di vapor acqueo ritornando nell'atmosfera finché non viene raggiunto il limite di saturazione.

Storia diversa accade negli strati più profondi, circa 15 cm sotto la superficie, dove le temperature inferiori e valori dell'RH che non raggiungono mai lo zero, permettono ai sali una perenne idratazione e quindi si forma un bacino sotterraneo di *brine* liquida.

I dati forniti dal REMS sembrano essere perfettamente compatibili con la presenza di *brine* liquida durante le ore notturne quando quindi le temperature sono più basse e il valore di RH aumenta.

La Figura 4.2 mostra che la *brine* di calcio perclorato è stabile in forma liquida soprattutto nella stagione invernale, si osserva infatti che il grafico ricopre quasi l'intero arco della giornata dal tramonto fino a dopo l'alba. Nelle altre stagioni invece il periodo di stabilità diminuisce [12].

La quantità di *brine* liquida misurata dal DAN sembra essere consistente con la quantità di perclorati misurata dal GRS.

Successivi esperimenti, basati sulla spettroscopia Raman, hanno spiegato meglio il fenomeno della deliquescenza e dell'idratazione e perché questa sembra essere più efficace in inverno.

La spettroscopia Raman è una tecnica spettroscopica che viene usata per osservare i modi vibrazionali e rotazionali di una molecola e fornisce una vera e propria impronta digitale di ciascuna molecola.

E' basata sull'effetto Raman in cui se supponiamo di investire una molecola con luce proveniente da un laser, gran parte dei fotoni sarà diffusa elasticamente senza perdere energia e dunque sarà scatterata alla stessa frequenza

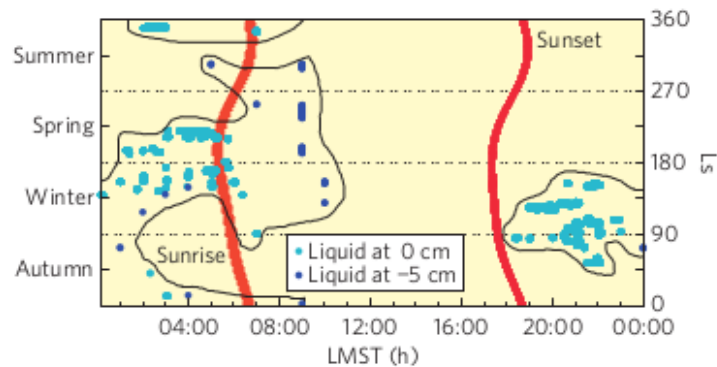


Figura 4.2: Intervalli in cui le condizioni ambientali superficiali permettono l'esistenza di *brine* di calcio perclorato nei primi 5 cm del sottosuolo. Le linee rosse indicano l'alba e il tramonto nelle varie stagioni; mentre la linea nera delimita i periodi in cui l'acqua liquida può essere transitoriamente stabile [12].

della radiazione incidente (*scattering di Rayleigh*); un'altra parte verrà diffusa anelasticamente, cedendo (*diffusione Raman Stokes*) o acquistando (*diffusione Raman anti-Stokes*) energia nell'interazione con la molecola. La differenza di energia tra i fotoni incidenti e quelli diffusi anelasticamente corrisponde ai livelli energetici vibrazionali della molecola diffondente.

Una molecola non va pensata come un qualcosa di fisso, ma i legami che la costituiscono possono subire delle deformazioni.

Ne esistono di due tipi: lo *stretching* che indica un vero e proprio stiramento, comportando un continuo cambiamento della distanza di legame tra gli atomi coinvolti e il *bending* che indica una deformazione o un piegamento e comporta una continua variazione dell'angolo di legame tra i gruppi di atomi.

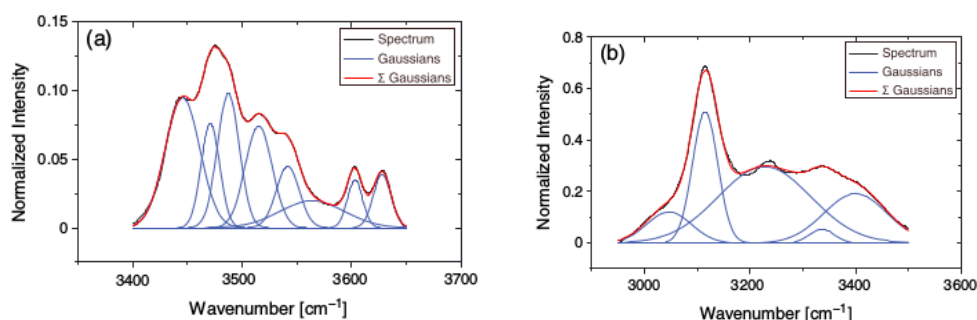
Sono stati eseguiti due esperimenti:

1. studio della formazione di *brine* in regioni dove l'unica sorgente di acqua sia il vapor acqueo;
2. studio della formazione di *brine* in regione dove i perclorati sono messi a diretto contatto con ghiaccio d'acqua.

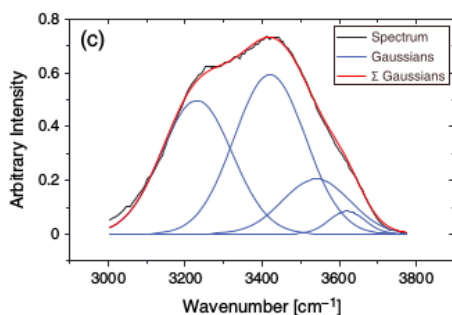
Dopo aver ricavato per via sperimentale gli spettri Raman del perclorato di calcio, del ghiaccio d'acqua e dell'acqua allo stato liquido (Figura 4.3), vennero confrontati con quelli ottenuti durante gli esperimenti.

In caso di deliquescenza lo spettro Raman delle sostanze subisce delle variazioni a:

1. $3200-3600\text{ cm}^{-1}$, variazioni dovute allo *stretching* del legame O-H durante la fase di condensazione dell'acqua;



- (a) Decomposizione dello spettro Raman per il $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (perclorato di calcio idrato) sottoposto ad una temperatura di -50°C , una pressione di 800 Pa e 100% di RH ..
- (b) Decomposizione dello spettro Raman per ghiaccio d'acqua sottoposto ad una temperatura di -80°C e una pressione di 800 Pa ..



- (c) Decomposizione dello spettro Raman dell'acqua liquida.

Figura 4.3: Decomposizioni gaussiane dei tre spettri Raman [13].

2. $920\text{-}960\text{ cm}^{-1}$, variazioni dovute invece al Cl_4^-

Il primo esperimento, durante il quale il perclorato di calcio idrato ($\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) è sottoposto ad un'atmosfera di anidride carbonica satura di vapor acqueo ($100\% \text{ RH}$) e ad una temperatura costante di -50°C (superiore alla temperatura eutettica di -74°C), non mostra evidenti segni di deliquescenza nemmeno quando il campione viene lasciato alla temperatura di -50°C per 205 minuti (Figura 4.4).

Dunque l'esperimento mostra che in questo caso il fenomeno della deliquescenza è molto lento.

Nel secondo esperimento, il perclorato di calcio viene posto sopra uno strato di ghiaccio d'acqua, partendo da temperature più basse della temperatura eutettica fino a valori di temperature confrontabili con quelli misurati nel sito di atterraggio da *Phoenix* durante i mesi più caldi.

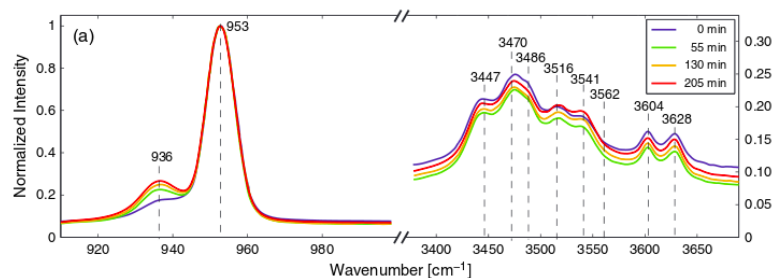


Figura 4.4: Spettro Raman del perclorato di calcio idrato sottoposto ad un atmosfera di anidride carbonica [13].

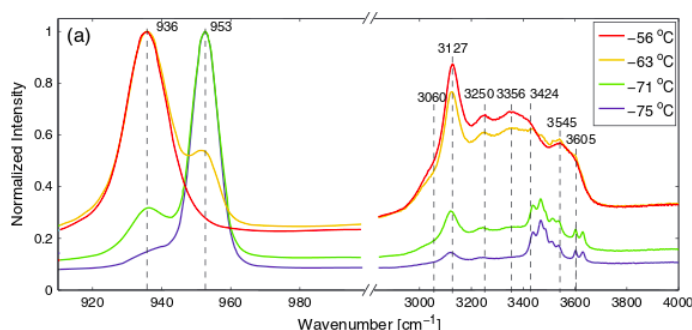


Figura 4.5: Spettro Raman del $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ a contatto con ghiaccio d'acqua [13].

La Figura 4.5 mostra chiare variazioni dello spettro durante la durata dell'esperimento.

La curva *blu* e quella *verde* contengono picchi che mostrano la presenza di sale idrato e ghiaccio d'acqua.

Le curve *rossa* e *arancione* contengono invece picchi (tra i 3545 e i 3605 cm^{-1}) che indicano la formazione di *brine* dallo scioglimento del ghiaccio d'acqua durante le 3 ore di durata dell'intero esperimento.

I picchi compresi tra 3067 e 3410 cm^{-1} indicano la presenza di ghiaccio; mentre quelli tra i 3400 e i 3630 cm^{-1} quella di sale idrato.

I risultati ottenuti mostrano che questo fenomeno produce una quantità di *brine* maggiore e molto più rapidamente.

Analizzando quindi i dati sembrerebbe che il fenomeno della deliquescenza sia molto più efficace quando i sali perclorati sono a diretto contatto con il ghiaccio d'acqua presente sia in superficie che nel sottosuolo [13].

Questo spiegherebbe perché i dati ottenuti dal DAN indicavano che in inverno la *brine* perclorata era stabile in forma liquida in un intervallo di tempo molto più esteso che non durante le altre stagioni.

Conclusioni

In questo lavoro di tesi si è cercato di dimostrare la presenza di acqua su Marte al tempo attuale.

Si è visto come esistano prove piuttosto evidenti che il pianeta in passato abbia avuto un'abbondante quantità d'acqua allo stato liquido sulla sua superficie, ma che i successivi cambiamenti climatici hanno contribuito a perdere.

Si è però visto come esistano fenomeni, come gli RSL o gli *slope streaks*, che confermano la presenza di acqua liquida anche alle attuali condizioni ambientali.

Questa però non è pura, ma una soluzione salina prodotta dalla deliquescenza di sali perclorati che abbondano sulla superficie del pianeta.

Il fatto che l'acqua non sia pura non è di per sé una scoperta stravolgente, quello che è veramente importante è il fatto che esistano determinate condizioni, anche nelle stagioni più fredde, in cui questa soluzione disciolta sembra essere stabile alla forma liquida e che, almeno nelle regioni equatoriali, sembra esistere uno strato perenne, ad una profondità di 15 cm dalla superficie, di *brine* stabile in forma liquida per gran parte dell'anno.

Il verificarsi di fenomeni come gli RSL è la prima dimostrazione dell'esistenza di un vero e proprio ciclo dell'acqua su Marte che lascia quindi intendere che dunque non sia un pianeta così inattivo come si pensava in origine.

Altra conseguenza importante di tale scoperta è l'*abitabilità* del pianeta. La presenza di acqua liquida, che riesce a restare stabile non solo alle basse temperature e pressioni, ma anche rispetto alla radiazione UV proveniente dal Sole, ci permette di ipotizzare la presenza di microrganismi viventi sul pianeta. Sebbene la temperatura a cui la *brine* sembra essere stabile in forma liquida sia appena al di sotto della temperatura a cui i microrganismi più resistenti al freddo sembrano vivere, questi dati sembrano essere piuttosto incoraggianti per l'esistenza di una passata o presente forma di vita sul pianeta.

Queste analisi attualmente non dimostrano ancora niente di concreto, per

quanto ne sappiamo adesso questa *brine* potrebbe essere sterile, bisognerà quindi in futuro studiare, magari anche in maniera diretta con qualche campione di questa soluzione, le sue caratteristiche chimico-fisiche e le sue implicazioni su una possibile forma vivente presente in essa.

Bibliografia

- [1] Jean-Pierre Bibring, *et al.* (2006), *Global mineralogical and aqueous mars history derived from OMEGA/Mars Express data*, Science Vol. 312, DOI: 10.1126/science.1122659.
- [2] Robert M. Haberle, Christopher P. McKay, James Schaeffer, Nathalie A. Cabrol, Edmon A. Grin, Aaron P. Zent, Richard Quinn (2001), *On the possibility of liquid water on present-day Mars*, Journal of geophysical research, Vol. 106, NO. E10.
- [3] G. L. Villanueva, *et al.* (2015), *Strong water isotopic anomalies in the martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs*, Science, Vol. 348, NO. 6231, pp. 218-221.
- [4] Jennifer L. Heldmann, *et al.* (2005), *Formation of Martian gullies by the action of liquid water flowing under current Martian environmental conditions*, Journal of geophysical research, Vol. 110, E05004, DOI:10.1029/2004JE002261.
- [5] Michael H. Carr, (2012), *The fluvial history of Mars*, Philosophical transactions of the Royal Society A, DOI:10.1098/rsta.2011.0500.
- [6] Baerbel K. Lucchitta, (1982), *Ice sculpture in the martian outflow channels*, Journal of geophysical research, Vol. 87, NO. B12, pp. 9951-9973.
- [7] Nick Hoffman, (2000), *White Mars: a new model for Mars' surface and atmosphere based on CO₂*, Icarus, Vol. 146, pp. 326-342, DOI:10.1006/icar.2000.6398.
- [8] G. M. Martinez, N. O. Renno, (2013), *Water and brines on Mars: Current evidence and Implications for MSL*, Science, Vol. 175, Issue 1, pp. 29-51.

- [9] Norbert Schorghofer, Oded Aharonson, Samar Khatiwala (2002), *Slope streaks on Mars: Correlation with surface properties and the potential role of water*, Geographical Research letters, Vol. 29, NO. 23.
- [10] Roger J. Phillips, *et al.* (2008), *Mars North Polar Deposits: Stratigraphy, Age, and Geodynamical Response*, Science, Vol. 320, DOI: 10.1126/science.1157546.
- [11] Buenestado JF., Zorzano MP., Martin Torres J. (2015), *Liquid water at Crater Gale, Mars*, Astrobiology & Outreach, Vol. 3, Issue 3, 1000131.
- [12] F. Javier Martin-Torres, *et al.* (2015), *Transient liquid water and water activity at Gale crater on Mars*, Nature Geoscience, Vol. 8, DOI: 10.1038.
- [13] Erik Fischer, *et al.* (2014), *Experimental evidence for the formation of liquid saline water on Mars*, Geophysical Research Letters 10.1002/2014GL060302.