

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <http://www.researchgate.net/publication/283676375>

Vita in Meridiani Planum, Marte [Life in Meridiani Planum, Mars]

ARTICLE · SEPTEMBER 2015

READS

26

3 AUTHORS, INCLUDING:



Giorgio Bianciardi

Università degli Studi di Siena

132 PUBLICATIONS **520** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vincenzo Rizzo

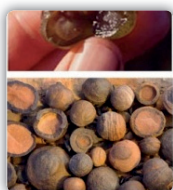
CNR IRPI , italy, Cosenza

51 PUBLICATIONS **1,534** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Vita in Meridiani Planum, Marte

Life in Meridiani Planum, Mars



G. Bianciardi ^(1,*),
V. Rizzo ^(2,*),
N. Cantasano ⁽³⁾

1) Dipartimento di Biotecnologie mediche, Università di Siena, Siena
2) CNR (retired), Via Repaci 22 Rende, Cosenza, Italy
3) CNR, IISAFOM, Unità di Rende, Cosenza, Italy

Abstract

We performed a quantitative image analysis to compare microstructures of microbialites with the images photographed by the Rover Opportunity (25,000/15,000 microstructures, Earth/Mars). Terrestrial and Martian textures present a multifractal aspect. Mean values and confidence intervals from the Martian images overlapped perfectly with those from the terrestrial samples ($p < 0.004$). Terrestrial abiogenic pseudostromatolites showed a simple fractal structure and different morphometric values with a less ordered texture ($p < 0.001$). Our work shows the presumptive evidence of microbialites in the Martian outcroppings: the presence of unicellular life widespread on the ancient Mars.

Introduzione

Da più di 10 anni il Rover marziano Opportunity esplora la superficie di Meridiani Planum [1], una regione estesa nella fascia subequatoriale del pianeta rosso, nel cui sottosuolo Mars Odyssey dallo spazio ha identificato grandi quantità di ghiaccio d'acqua. Opportunity ha rilevato evidenze testimonianti che nel lontano passato di Marte l'acqua scorreva, sulla superficie del Pianeta Rosso: morfologie di costoni di roccia che danno immagini chiare e indubitabili di morfologie elaborate della presenza di acqua allo stato liquido [2]. Vennero anche evidenziate la presenza di piccole rocce rotondeggianti (grandi da pochi millimetri a svariati centimetri) che assomigliavano ai cosiddetti "mirtilli" o "blueberries": strutture di pietra, ematite (ossidi di ferro), la cui presenza confermava ancora una volta la presenza di acqua allo stato liquido nel lontano passato di Marte ma secondo altri Autori anche possibili indizi per una possibile vita microbica. In particolare, nel 2009 [3], due Ricercatori italiani del CNR, Vincenzo Rizzo, geologo, e Nicola Cantasano, algologo, sottolineavano come le caratteristiche morfologie potevano far supporre una loro genesi di tipo biologico, forse da cianobatteri (una volta classificate come Cianofite). Ipotesi basata sulla osservazione di microsferule aventi dimensioni di 0.1-0.3mm e variamente organizzate, all'interno degli stessi mirtilli (fig.1, sx). Tale organizzazione spiegherebbe le curiose forme assunte dai corpi mineralici, prodotti dalla attività delle colonie batteriche poste al loro interno (fig. 1, dx), mi-

liardi di anni or sono, quando si formarono in presenza di acqua.

Un successivo Lavoro dei due Ricercatori nel 2011 [4] approfondiva lo studio delle relazioni e delle similitudini tra le stromatoliti terrestri (secrezioni di alghe microscopiche che costruiscono caratteristici tappeti calcarei, quindi strutture minerali biocostruite, [5,6]) ed i depositi laminati di Meridiani Planum, trovando che anche le lamine dei sedimenti circostanti, e non solo le "blueberry", mostravano la presenza delle medesime microsferule, aggregate in ciambelle, lamine e fi lamenti di microsferule, talora disposti in modo del tutto caotico a somigliare a dei vermicelli intrecciati (fi g. 2), che secondo gli Autori ricordavano ancora una volta sedimenti di origine batterica, definiti in senso generale stromatoliti (nelle parti a microstruttura caotica, di tipo microbialiti) [7], di cui le stromatoliti, con le loro caratteristiche mesostrutture laminate, sono uno dei possibili aspetti.

Nel presente Lavoro abbiamo analizzato con metodiche di tipo frattale (G.B.) immagini di microbialiti terrestri (V.R.), fotografate presso i Musei di Scienze Naturali di Torino e Milano o reperite su Internet (per un elenco esaustivo dei campioni utilizzati e dei siti vedi [8], con immagini selezionate (V.R.) riprese su Marte dal Rover Opportunity, riportate alla stessa scala, risoluzione e acutanza (fig. 3).

Materiale e metodi

Ventitre immagini selezionate fotografate dal Rover Opportunity mediante ATHENA

*G.B e V.R hanno ugualmente contribuito al presente Lavoro

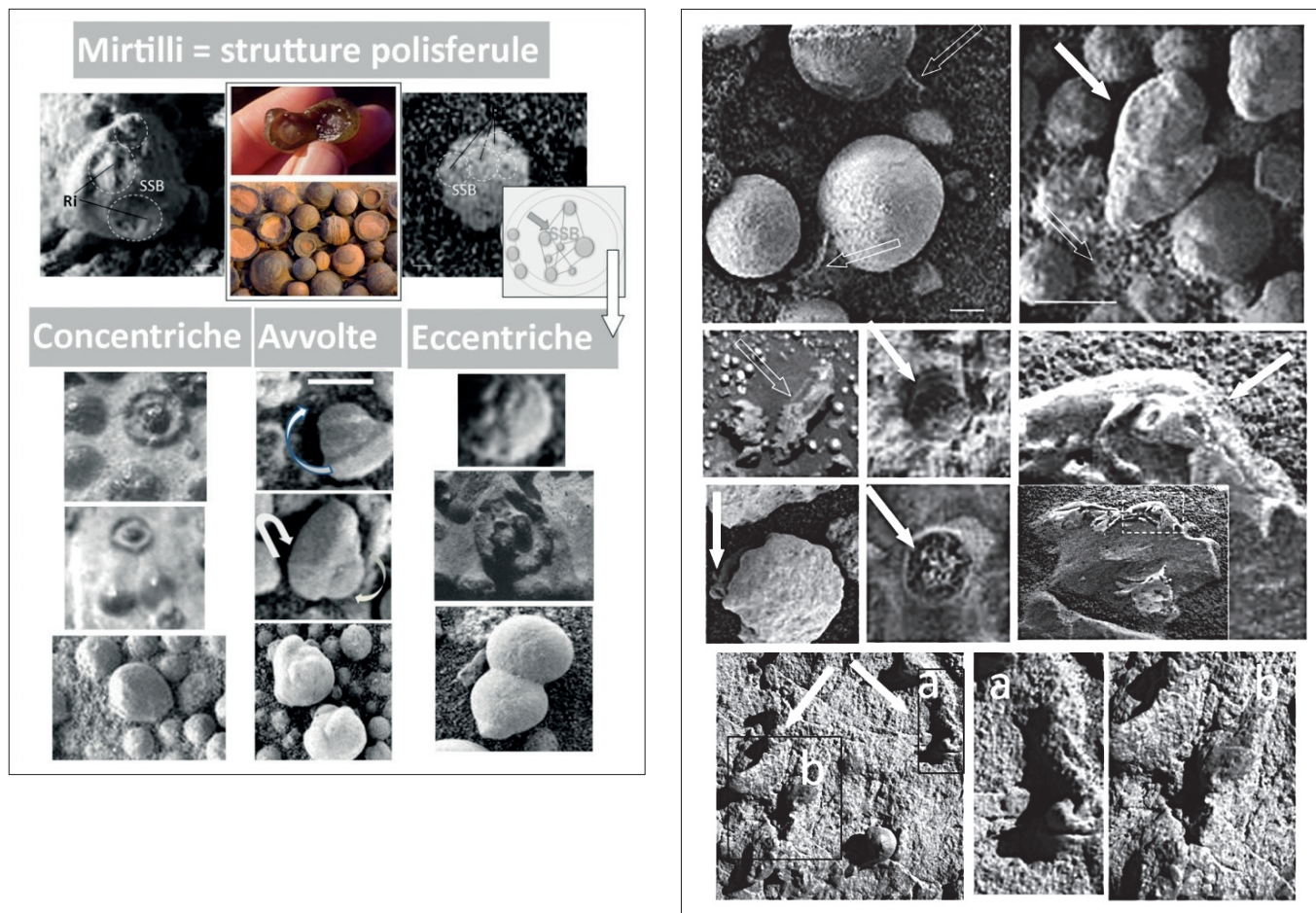


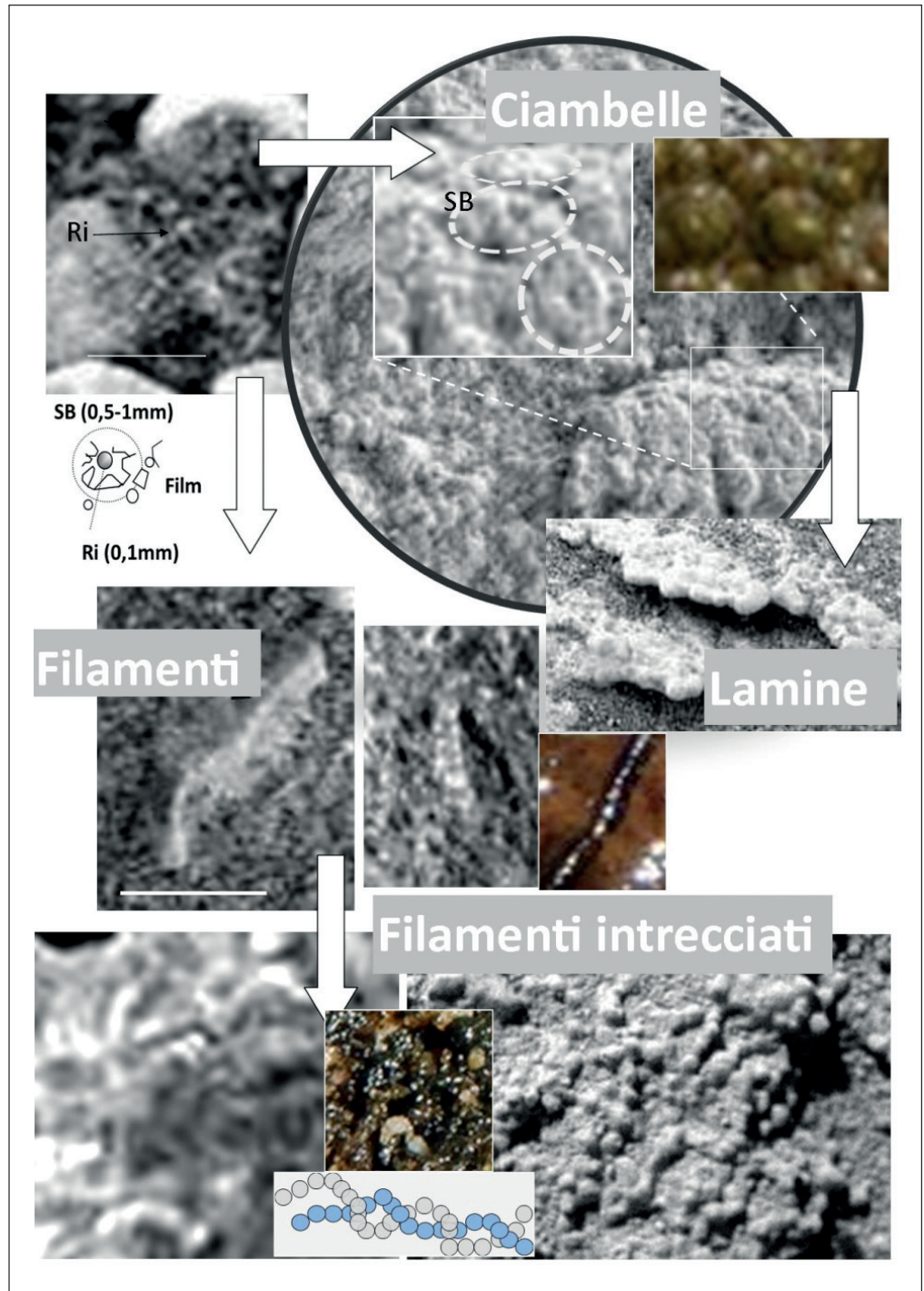
Figura 1 (sx). I cosiddetti mirtilli (da qualche mm a qualche cm in dimensione), simili alle moqui terrestri, dove i batteri hanno svolto un'azione fondamentale (immagine colorata in basso nei riquadri in alto). Si noti la somiglianza anche con colonie viventi di cianobatteri, sia per la forma polisferica che per la struttura concentrica (immagine colorata più in alto). Si tratta, sia sulla Terra che su Marte, di forme polisferule (costituita da microsferule più piccole, indicate con Ri, aggregate un nuclei SBB, a sviluppo irregolare), il cui aspetto dipende dalla modalità di sviluppo della struttura interna. La figura nei riquadri sottostanti mostra mirtilli marziani con strutture diverse: concentriche; avvolte, con tendenza a spirale; eccentriche, talora generanti, a seguito dello sviluppo irregolare di SBB, forme esterne polisferiche. Dal diverso modo con cui si sviluppa la crescita delle polisferule Ri e delle strutture composte SBB si ottengono mirtilli a struttura eccentrica, avvolta, o concentrica; (dx): Forme peculiari presenti tra i "mirtilli" fotografate da Opportunity in Meridiani Planum: una rassegna di possibili forme di vita fossile (frecche bianche), e di sostanze semitrasparenti che sembrerebbero attuali (frecche trasparenti), in quanto addossati a corpi erosi e poggiati al suolo, di recente deposizione. Le barrette metriche corrispondono ad 1 mm. Vedi, V. Rizzo et al, 2009, [3].

[2] e 45 immagini di stromatoliti terrestri, fotografate presso i Musei di Scienze Naturali di Milano e Torino o prelevate dalla Rete [8] riportate allo stesso ingrandimento, risoluzione e acuità delle immagini marziane, furono utilizzate per paragonare le immagini biologiche terrestri e le immagini marziane. Dieci campioni di false (pseudo)stromatoliti, strutture minerali abiologiche che mimano le forme delle stromatoliti per sequenze mm-laminate, presenti in natura o in esperimenti di laboratorio (alabastro, ametista, calcedonio, malachite, stalattite e da una pseudostromatolite sintetica [9] furono analizzate con le stesse metodiche dei campioni di microbialiti terrestri o delle immagini marziane.

Mediante un Canny-edge filter (Digital Image Magnifier software di Strikos Nikolaos: <http://www.softoxi.com/digital-image-magnifier.html>) furono ottenute in modo automatico le microstrutture presenti nelle immagini, per un totale di circa 25000 microstrutture terrestri e 15 000 microstrutture marziane, che furono sottoposte ad analisi frattale.

L'analisi frattale fu effettuata per determinare: la complessità [10], a bassa e grande scala, delle immagini e l'entropia [11], ovvero la quantità di informazione, delle immagini a bassa e grande scala (scale: 0.05 – 2 mm / 5-200 pixel), mediante la metodica del box-counting (Benoit 1.3 software, (TruSoft Int'l Inc: <http://trusoft-international.com/benoit.html>); la complessità algoritmica [12], o randomness, ovvero

Figura 2. La figura mostra l'esistenza di microsferule variamente aggregate nei sedimenti marziani, che richiamano le strutture delle microbialiti terrestri (immagini a colori). In alto a sinistra, un film ialino costituito da tante microsferule aggregate "a ciambella"; in alto a destra, fasci delle stesse strutture che in alcuni casi generano lamine; in basso, assetti a filamenti e filamenti intrecciati di microsferule, che talora assumono l'aspetto di ammassi caotici, dando luogo a tessiture peculiari (note anche nelle microbialiti di tipo "trombolitico"). Vedi V. Rizzo et al, 2011, [4]. I ritagli a colori si riferiscono a microbialiti viventi, provenienti dal deserto di Atacama (immagini selezionate da macrofotografie fornite da Maria Eugenia Farias, CONICET, Cile e oggetto di una pubblicazione in corso di stampa: V. Rizzo, M.E. Farias, N. Cantasano, D. Billi, M. Contreras, F. Pontenani and G. Bianciardi, Structures/textures of living/fossil microbialites and their implications in biogenicity, an astrobiological point of view, Applied Cell Biology, in press).



il grado di casualità presente nelle immagini, valutata mediante Chaos Data Analyzer (CDA Pro, Academic Software Library, North Carolina State University, USA) dopo aver effettuato una vettorializzazione delle immagini; la tortuosità, o Dmin, o Fractal Dimension of the Minimum Path [13], ovvero la sinuosità delle microforme vermicellari evidenziate dal filtro Canny;

le loro dimensioni minime e massime. Per una trattazione ulteriore per la determinazione dei parametri frattali in questi campioni si rimanda alla bibliografia degli Autori [8]. Furono anche determinati i diametri, massimo e minimo, mediante procedura automatica (Image Pro Plus software, Media Cybernetics, USA).

L'analisi statistica fu effettuata mediante

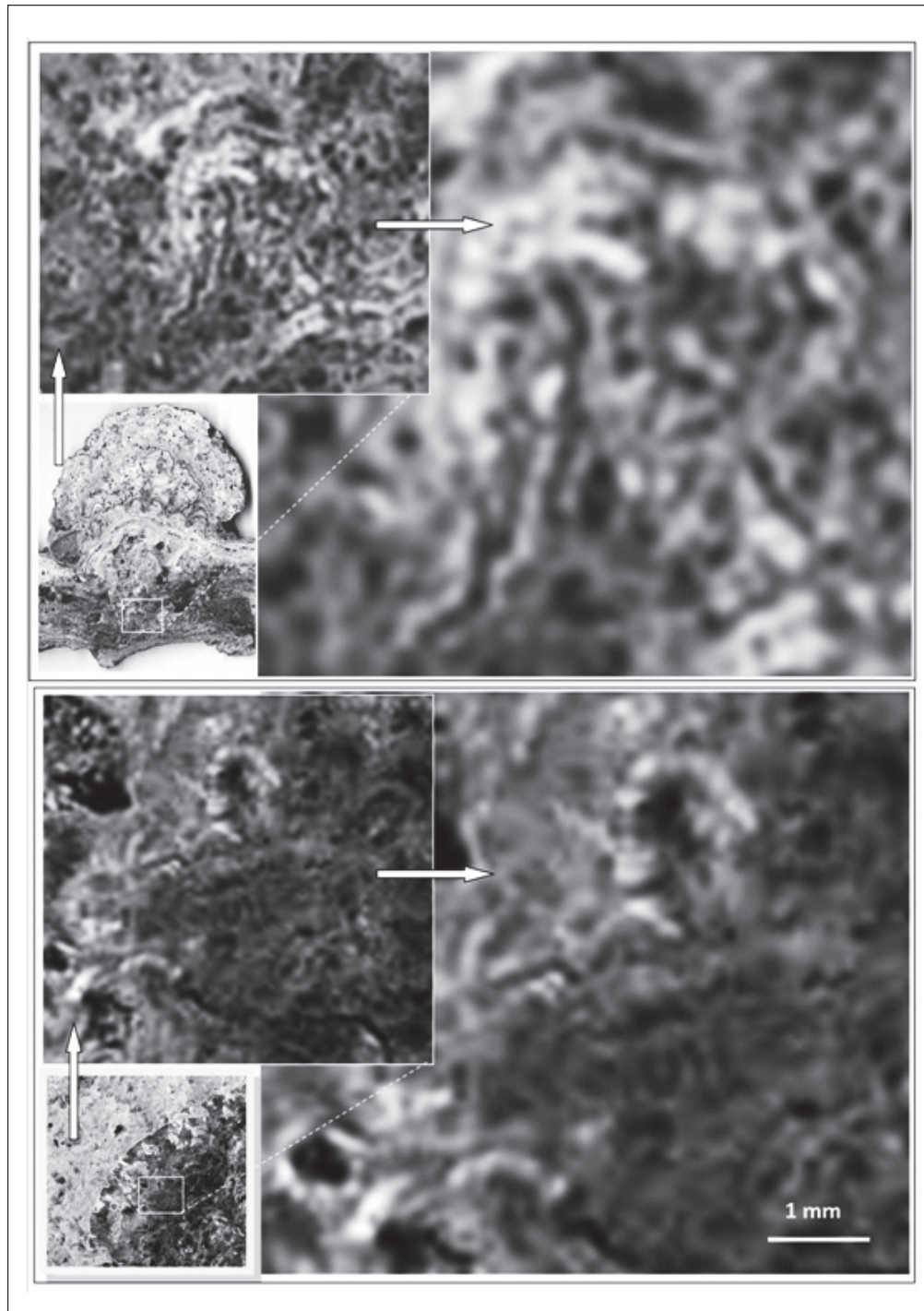


Figura 3. Terra vs. Marte. Microstrutture evidenziate su microbialiti terrestri (una stromatolite recente proveniente dal Brasile, Lagoa Salgada, alto) e su Marte (basso). In ambedue si vedono microstrutture costituite da microsferule aggregate in caotici filamenti intrecciati. L'immagine terrestre è stata ingrandita e sfuocata così da ottenere la stessa risoluzione, acutanza e ingrandimento delle immagini microscopiche scattate dal rover marziano Opportunity. Queste strutture vermicellari, filamenti di microsferule, sono state sottoposte all'analisi frattale. V. Bianciardi et al., IJASS, dicembre 2014, [8].

la regressione lineare (t-test), per determinare la linearità dei grafici log-log e quindi la plausibilità dell'applicazione della metodologia frattale, del Mann-Whitney U tests e dell'analisi del chi quadro per confrontare i valori morfometrici ottenuti dalle microforme terrestri e marziane. La variazione intra- e inter-osservatore della metodica morfometrica utilizzata risultò rispettivamente $< 2\%$ e $< 3\%$, rispettivamente

Risultati

Le microstrutture presenti nelle immagini di microbialiti (un termine ampio che si usa per indicare tutte le strutture microbiche, incluse le stromatoliti) terrestri e nelle immagini ottenute dal Rover Opportunity in Meridiani Planum, evidenziate con filtro automatico Canny-edge, hanno mostrato all'analisi una struttura multifrattale (fig. 4). Le immagini dei campioni di pseudostromatoliti mostrarono una struttura frattale, e non multifrattale (figura 5).

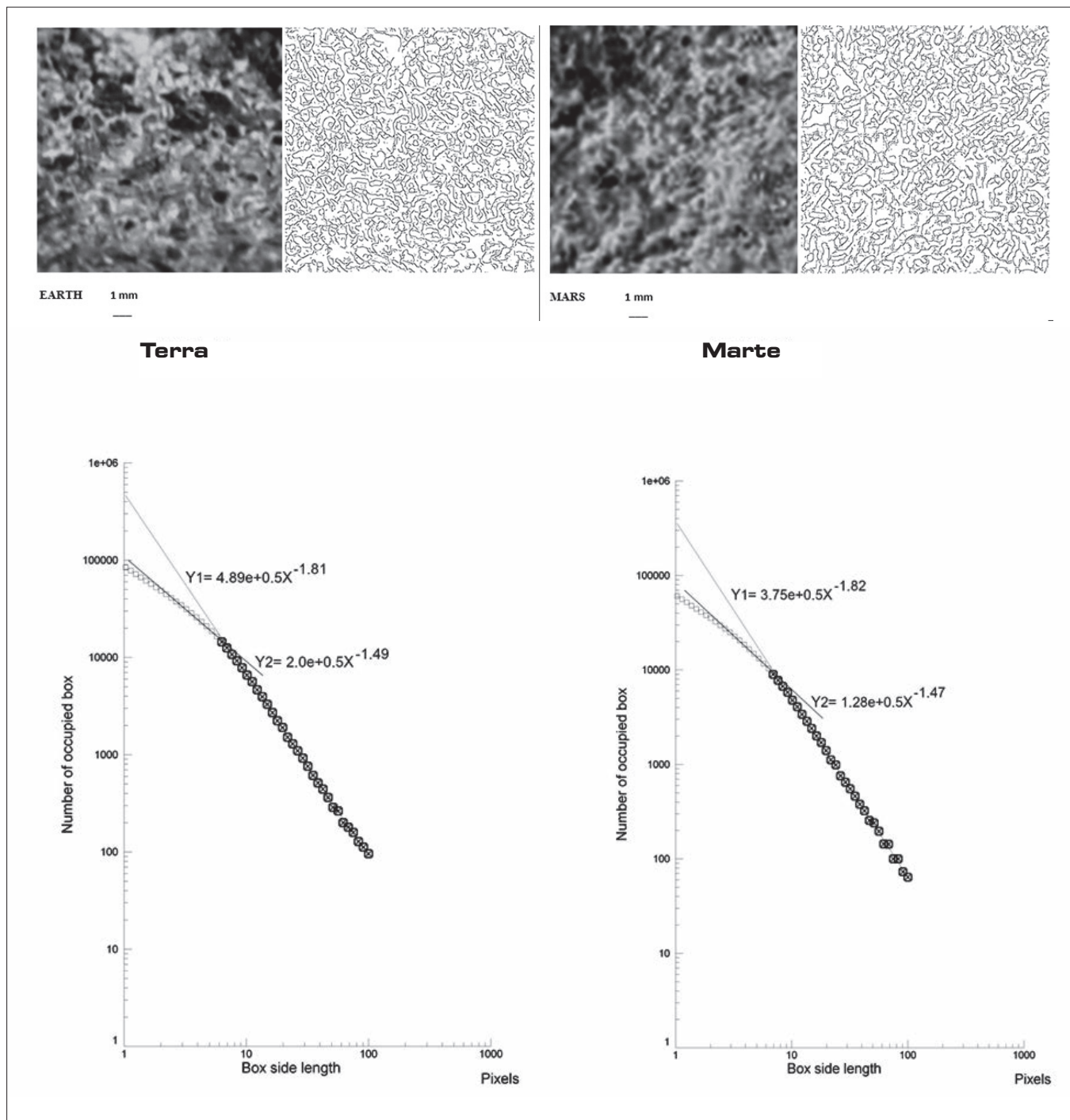


Figura 4. Il grafico log-log tra il numero di quadrati che contengono almeno un punto della figura e la dimensione dei quadrati identifica la dimensione frattale o complessità geometrica della figura, ovvero l'esponente della retta log-log (pendenza della retta). Sia le microbialiti terrestri (sx) che le immagini ottenute dagli affioramenti marziani (dx) presentano una struttura multifrattale (due rette in ogni grafico), si noti anche come gli esponenti delle rette siano estremamente simili tra loro (Terra vs. Marte). Scale: 0.05 – 2 mm (5-200 pixel).

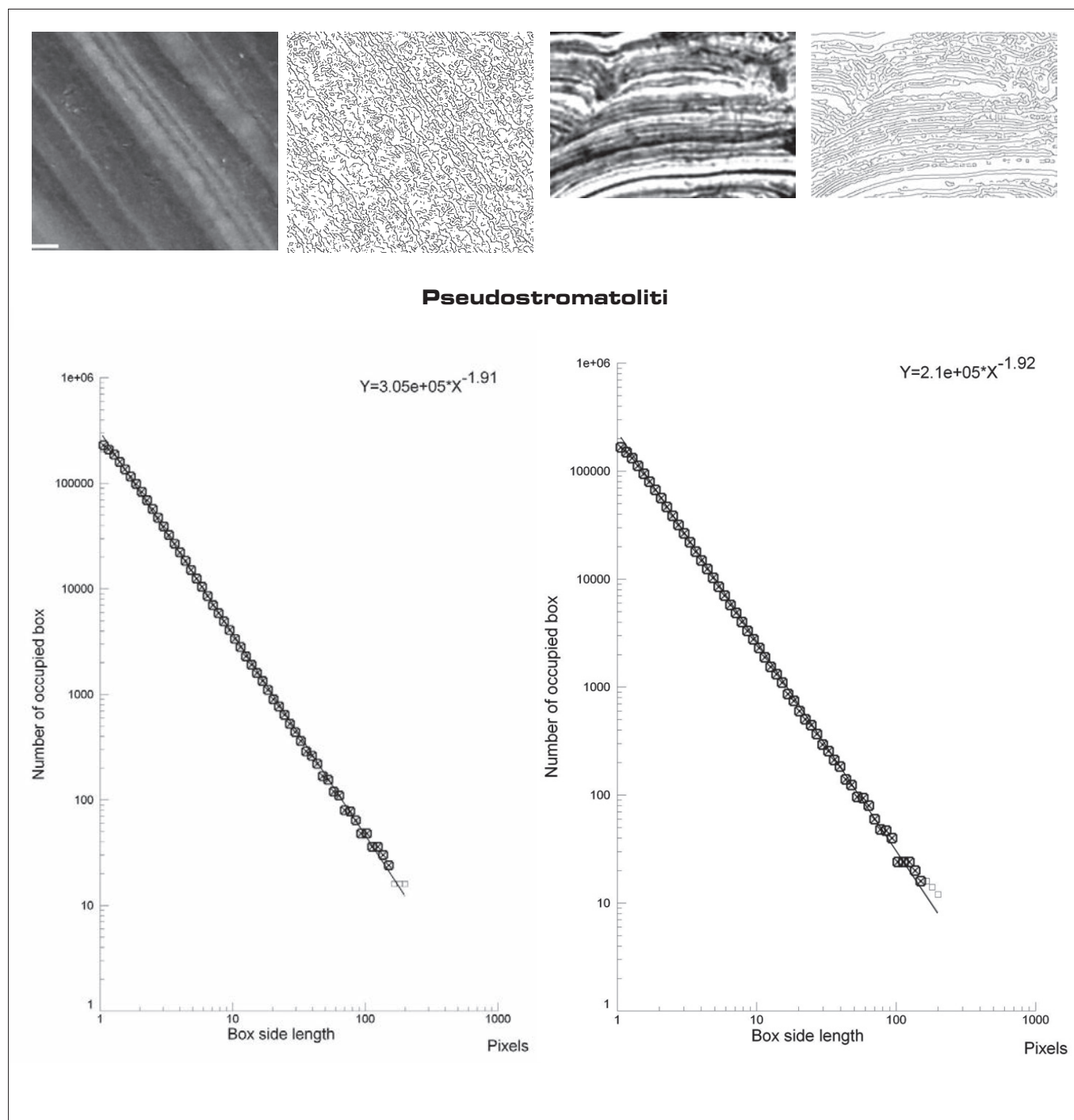


Figura 5. Il grafico log-log tra il numero di quadrati che contengono almeno un punto della figura e la dimensione dei quadrati identifica la dimensione frattale o complessità geometrica della figura, ovvero l'esponente della retta log-log (pendenza della retta). Sia in una pseudostromatolite abiologica (sx, stalattite) che in una pseudostromatolite sintetica (dx), la struttura risulta frattale ma non multifrattale (un'unica retta log-log è presente), si noti anche come gli esponenti delle rette siano diversi da quelli delle microbialiti o dalle immagini marziane (fig.4). Scale: 0.05 – 2 mm (5-200 pixel).

Tutti i parametri delle forme evidenziate a 10 ingrandimenti sulla Terra e su Marte (40 000 microstrutture analizzate) si sovrapponevano in modo pressochè perfetto,

con altissima significatività statistica, $p < 0.004$, mentre le pseudostromatoliti abiologiche mostravano indici del tutto diversi, vedi tabella 1.

	Microbialiti	Campioni marziani	Pseudostromatoliti
Complessità geometrica, alta e bassa scala	1.82 (0.02) 1.48 (0.07)	1.81 (0.02) 1.48 (0.07)	1.90 (0.03) **
Entropia, alta e bassa scala	1.88 (0.01) 1.42 (0.05)	1.87 (0.01) 1.44 (0.05)	1.92 (0.03)**
Complessità algoritmica	0.458 (0.045)	0.468 (0.042)	0.670 (0.13)***
Tortuosità	0.78 (0.01)	0.77 (0.01)	0.84 (0.06)**
Diametro maggiore (mm)	0.077 (0.002)	0.078 (0.002)	
Diametro minore (mm)	0.2066 (0.003)	0.2068 (0.003)	
P		n.s. (coincidenza, $p < 0.004$)	*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$

Tabella 1. I valori morfometrici delle microstrutture evidenziate nelle microbialiti terrestri e nelle immagini degli affioramenti marziani risultano estremamente simili, la probabilità che questo sia dovuto al caso è $p < 0.001$ (significatività della coincidenza). I valori ottenuti dalle pseudostromatoliti abiologiche (alcuni campi risultano vuoti in quanto non era possibile valutarli a causa della struttura frattale semplice-stessa complessità statistica al variare della scala, per tutte le scale analizzate- mostrati da questi campioni) sono statisticamente differenti sia da quelli ottenuti nelle microbialiti che nelle microstrutture marziane. Media (deviazione standard).

Discussione

La ricerca della vita su Marte è la principale motivazione dietro ai programmi di ricerca di esplorazione marziana. Già dai tempi del Mariner 9 [14] apparvero evidenze di un passato marziano con presenza di acqua liquida, dato che fu confermato più recentemente dal Mars Observer Camera [15] e dal Mars Reconnaissance Orbiter [16]. Il Mars Exploration Rover, Opportunity, ha portato ulteriore evidenza di una superficie modellata da fenomeni fluviali [1,2].

Acqua allo stato liquido non vuol dire vita, anche se questa è un prerequisito indispensabile per la vita. Possiamo comunque ricordare come negli ultimi 20 anni evidenze per una possibile vita marziana nell'antico Marte non sono mancate (il meteorite ALH84001, [17]) così come nel presente Marte (analisi frattale dei gas rilasciati nell'esperimento biologico Labeled Release dei Viking, [18]).

In due Lavori dei Ricercatori del CNR, Rizzo e Cantasano [3,4] veniva ipotizzata la possibile presenza di stromatoliti, o altre microbialiti, nei sedimenti fotografati dal Rover Opportunity.

In questo Lavoro abbiamo intrapreso un preciso approccio morfometrico alle immagini degli affioramenti marziani fotografati con la camera ATHENA dal Rover Opportunity in Meridiani Planum. I risultati qui presentati mostrano una perfetta sovrapposizione tra le microstrutture filamentose presenti nelle microbiali terrestri di sicura origine biologica e quelle evidenti

nelle foto scattate da Opportunity, confermato dall'analisi statistica ($p < 0.004$, 40 000 microstrutture analizzate). Inoltre, mentre ambedue presentavano una chiara struttura multifrattale e del tutto coincidente, le analisi morfometriche effettuate su campioni di pseudostromatoliti (abiologiche) mostravano valori del tutto differenti, semplicemente frattali (la struttura si ripete pedissequamente in modo statistico al cambiamento di scala) e con chiari indici di una struttura più disordinata.

Possiamo ricordare che un approccio morfometrico effettuato da Wagstaff e Corsetti [19], alla ricerca di presenza di stromatoliti nei sedimenti fotografati da Opportunity, dette risultati negativi, ma è da sottolineare lo scarso numero di immagini utilizzate (quattro!) e la diversa scala di studio analizzato (macroscopico e non micro-mesoscopico come nel presente Lavoro). Possiamo anche citare il recente Lavoro di Nora Noffke che, ad un'analisi morfologica, propone la presenza di microbialiti nei sedimenti fotografati dal Rover Curiosity [20], presentato lo stesso mese (dicembre 2014) della pubblicazione di questo Lavoro nella sua versione inglese [8].

Evidenze stanno rafforzandosi per la presenza di forme di vita su Marte, passata ma forse anche attuale. Evidenze ormai del tutto stringenti, che aspetteranno defnitiva conferma forse solo quando saranno organizzate spedizioni umane verso il Pianeta Rosso.

Relazione presentata al 48° Congresso UAI, 2015

Bibliografia

- [1] Squyres, S.W., Arvidson, R.E., Bell, J.F., Calef, F., Clark, B.C., Cohen, B.A., e coll. Ancient impact and aqueous processes at Endavour Crater, Mars. *Science*, 336, 570-576 (2012)
- [2] Squyres, S.W., Grotzinger, J., Arvidson, R.E., Bell, J.F., Calvin, W., Christensen, P.R., e coll., In Situ Evidence for an Ancient Aqueous Environment at Meridian Planum, Mars. *Science*, 36, 5702, 1709-1714 (2004).
- [3] Rizzo, V. and Cantasano, N. Possibile organosedimentary structures on Mars. *International Journal of Astrobiology*, 8, 4, 267-280 (2009).
- [4] Rizzo, V. and Cantasano, N. Textures on Mars: evidences of a biogenic environment. *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 82(2), 348-357 (2011).
- [5] Lowe, D.R., Stromatolites 3.400 – Myr old from the Archean of Western Australia. *Nature*, 284, 441-443 (1980).
- [6] Hofmann, H.J. *Archean stromatolites as microbial archives*, In: *Microbial Sediments*, pp. 315-327, Springer-Verlag International Publisher Science, Amsterdam, The Netherlands, 2000.
- [7] Riding, R. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms”, *Sedimentology*, 47 (Suppl. 1) 179-214 (2000).
- [8] Bianciardi, G., Rizzo, V., Cantasano, N. *Opportunity Rover's image analysis: Microbialites on Mars? International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 15(4), 419-433 (2014). [http://ijass.org/On_line/admin/files/1\(419~433\)14-047.pdf](http://ijass.org/On_line/admin/files/1(419~433)14-047.pdf)
- [9] McLoughlin, N., Wilson, L.A., Brasier, M.D. Growth of synthetic stromatolites and wrinkle structures in the absence of microbes – implications for the early fossil record. *Geobiology*, 6, 95-105 (2008),
- [10] Falconer, K. *Fractal Geometry. Mathematical Foundations and Applications*, John Wiley & Sons Ltd., 1990.
- [11] Pitsianis, N., Bleris, G.L. and Argyrakis, P., “Information dimension in fractal structures”, *Physical Review B*, 39 (10) 7097-7100 (1989).
- [12] Kaspar, F. and Schuster, H.G. Easily calculable measure for the complexity of spatiotemporal patterns. *Physical Review A*, 36, 842-848 (1987).
- [13] Hermann J. and Stanley H.E. The fractal dimension of the minimum path in two and three dimensional percolation. *Journal of Physics A*, 21, 829-831(1988).
- [14] Carr, M.H. *The surface of Mars*, Yale University Press, New Haven, 1981.
- [15] Malin, M.C. & Carr, M.H. Groundwater formation on Martian valleys. *Nature*, 397, 589-591 (1999).
- [16] McEwen, A.S., Hansen, C.J., Delamere, W.A., Eliason, E.M., Herkenhoff, K.E., Keszthelyi, L., e coll. A closer look at water-related geologic activity on Mars. *Science*, 317, 1706-1709 (2007).
- [17] McKay, D.S., Gibson Jr., E. K., Thomas-Keprta, K.L., Vali, H., Romanek, C.S., Clemett, S.J., Chilliier, D.F., Maechling, C.R., Zare, R.N. Search for past life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001. *Science*, 273, 924-930 (1996).
- [18] Bianciardi, G., Miller, J.D., Ann Straat, P., Levin, G.V. *Complexity Analysis of the Viking Labeled Release Experiments. International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 13(1), 14-26 (2012). [http://ijass.org/On_line/admin/files/2\)\(014-026\)11-030.pdf](http://ijass.org/On_line/admin/files/2)(014-026)11-030.pdf).
- [19] Wagstaff, K.L. and Corsetti, F.A., “An evaluation of information-theoretic methods for detecting structural microbial biosignatures”, *Astrobiology*, 10(4), 363-379 (2010).
- [20] Noffke, N. Ancient Sedimentary Structures in the <3.7 Ga Gillespie Lake Member, Mars, That Resemble Macroscopic Morphology, Spatial Associations, and Temporal Succession in Terrestrial Microbialite. *Astrobiology*, 15(2), 169-192 (2015).

NOTA. Il presente Lavoro è una versione italiana, ridotta, di quanto recentemente apparso sull' International Journal of Aeronautical and Space Sciences, il 30 dicembre 2014: “Opportunity Rover's image analysis: Microbialites on Mars?”, Bianciardi, Rizzo, Cantasano. Il testo può essere liberamente scaricato dalla pagina: http://ijass.org/PublishedPaper/year_abstract.asp?id=474

Recensione

Curato da Gianluca Ranzini, ecco un bel libretto sul tema “vita nell'Universo”. Dal legame imprescindibile tra la nascita della vita sulla Terra e il Cosmo, alla ricerca della vita extraterrestre con gli strumenti attuali e di un futuro prossimo. E se lo presentiamo in questo numero è perché molto si parla di Marte. Dalle fantasie dei primi studiosi del pianeta rosso alla terraformazione del pianeta. Si parla anche di UFO... ma Gianluca è

a prova di certe fantasie metropolitane, parlare di UFO per far capire che non esistono. La vita ci sarà là fuori, magari in forma semplice anche qui vicino, Marte, altrimenti molto più lontano, ma è da cercare con solidi metodi scientifici non con miti moderni.

Giorgio Bianciardi

Gianluca Ranzini
FocusExtra, n.65
Gruner+Jahr/Mondadori SpA
5,90 Euro

