

Suoli extraterrestri

Here men from the planet Earth first set foot upon the Moon, July 1969 A.D.

We came in peace for all Mankind.

Neil A. Armstrong, Michael Collins, Edwin E. Aldrin Jr, Richard Nixon

(frase incisa su una placca di acciaio inossidabile, 228x194x1.6 mm, lasciata nel cratere lunare Sabine D durante la missione NASA Apollo 11)

Una delle domande che sorgono pensando allo spazio è se in quell'immensità possa esserci qualche forma di vita. Prima, in realtà, dovremmo chiederci se fuori dal nostro pianeta esistano ambienti adatti a sostenere la vita, capaci cioè di alimentarla e proteggerla da fattori nocivi. Sulla Terra, l'ambiente che più di ogni altro sostiene la vita è il suolo. Suolo che svolge le fondamentali funzioni di fornire nutrienti e acqua agli organismi e di proteggerli dalla predazione o da eventi estremi, quali gelate, siccità o il passaggio del fuoco. Perché allora non chiedersi innanzi tutto se ci siano suoli al di fuori del nostro pianeta? La domanda è lecita, tanto più se si pensa che a oggi non esiste un'unica definizione di suolo, universalmente accettata. La pedologia – la disciplina che studia i suoli per come sono in natura, la loro genesi, le loro relazioni con l'ambiente e la loro distribuzione geografica – è d'altronde nata abbastanza di recente, convenzionalmente alla fine dell'800, quando il russo Vasily Dokuchaev inquadrò il suolo come un'entità con dignità propria, «un corpo indipendente posto alla superficie terrestre, con morfologia e proprietà fisiche, chimiche e biologiche peculiari, formatesi in una determinata situazione topografica per l'interazione nel tempo tra organismi viventi e morti, roccia esposta e clima». L'interesse tardivo nei confronti dello studio del suolo si spiega anche con il fatto che il

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente, Università di Firenze

** Dipartimento dei Sistemi Agro-Ambientali, Università di Palermo

suolo, pur svolgendo da sempre funzioni fondamentali, è considerato come qualcosa di sporco. Non a caso, *dirt*, sporcizia, è il termine colloquiale con cui si indica il suolo nei paesi anglosassoni. Il suolo da sempre è visto come quanto di più lontano dalla sfera celeste, quella del divino. E così anche la rappresentazione del suolo nell'arte ha avuto scarsa fortuna fino a tempi relativamente recenti. Giotto, un innovatore assoluto nel campo dell'arte, che si distinse dai suoi predecessori anche per la cura che poneva nel rappresentare gli elementi della natura, ignorava il suolo. Dipingeva piante erbacee e alberi che crescevano direttamente (e assai improbabilmente) su lisci pendii rocciosi. Bisogna aspettare la fine dell'800 perché il suolo venga rappresentato nella sua complessità dal danese Johan Thomas Lundbye. All'inizio del '900 poi, Grant Wood mostrerà nel quadro *Arbor Day* addirittura la sequenza di strati orizzontali, i cosiddetti *orizzonti*, di un suolo del natìo Iowa. E sono proprio gli orizzonti una delle peculiarità del suolo. La Soil Taxonomy, il testo base per la classificazione dei suoli negli Stati Uniti d'America e in molti altri paesi, definisce il suolo come «un corpo tridimensionale naturale, composto da solidi minerali e organici, liquidi e gas, posto alla superficie terrestre e caratterizzato 1) da orizzonti sovrapposti differenziatisi dal materiale di partenza in seguito a fenomeni di acquisto, perdita, trasferimento, o trasformazione di sostanze e/o 2) dalla capacità di sostenere la crescita di piante superiori in un ambiente naturale» (Soil Survey Staff, 2010). Questa definizione non prescinde dal fatto che il suolo debba contenere sia acqua in forma liquida che sostanza organica; il che impedirebbe, per quanto se ne sa fino a oggi, di considerare suoli quelli della Luna, di Marte e di altri corpi solidi del Sistema Solare. Donald Johnson ha formulato una definizione “cosmica” di suolo, cioè non esclusivamente legata al nostro pianeta: «Suolo è qualsiasi materiale minerale od organico posto alla superficie di pianeti o corpi simili, alterato da agenti biologici, chimici e/o fisici» (Johnson, 1998). Questa definizione ha il merito di riconoscere nella presenza di tracce consistenti di alterazione l'essenza del suolo, permettendo così di considerare suoli anche quelle superfici extraterrestri finora genericamente chiamate *regolite*, termine che indica nulla più che del materiale incoerente ed eterogeneo posto al di sopra di solida roccia. Definizione a parte, anche a noi sembra che l'essenza del concetto di suolo stia nella presenza di tracce evidenti di alterazione chimica che testimonia l'impatto dei fattori ambientali sul materiale di partenza. E allora suolo sarebbe qualsiasi superficie incoerente, terrestre e non, che conserva intrinseca memoria delle condizioni climatiche e geochimiche del passato. Sulla Terra l'azione combinata di almeno cinque diversi fattori – roccia madre, clima, topografia, organismi viventi e tempo – produce il suolo. *Suoli Antropogenici*

sono stati detti quelli fortemente condizionati dalle attività umane, come le continue lavorazioni o addirittura la messa in posto del materiale su cui il suolo si è formato. I suoli Antropogenici antichi sono stati proposti come i marcatori più attendibili dell'inizio dell'Antropocene, l'attuale epoca terrestre in cui l'azione dell'uomo è divenuta un fattore importante, forse il più importante, nel plasmare il paesaggio del nostro pianeta (Certini e Scalenghe, 2011). A oggi, quando ormai solo una minima porzione del nostro pianeta è scevra da influenza umana (Sanderson et al., 2002), l'uomo è considerato a tutti gli effetti il sesto fattore della formazione del suolo (Amundson e Jenny, 1991). La necessità degli organismi viventi, uomo compreso, nella formazione del suolo è tuttavia ancora oggetto di dibattito, anche perché sulla Terra esistono diversi esempi di pedogenesi in ambienti virtualmente abiotici: dalle McMurdo Dry Valleys, in Antartide (Ugolini e Bockheim, 2008), all'aridissimo deserto di Atacama, fra Cile e Perù (Navarro-González et al., 2008). Suoli certamente abiotici li hanno trovati Neil Armstrong, il primo uomo a camminare sulla Luna, e Phoenix, il rover della NASA che quasi 40 anni dopo l'allunaggio ha scavato su Marte il primo profilo di suolo al di fuori del nostro pianeta. Nei suoli extraterrestri le fonti di energia che guidano le reazioni chimiche sono i gradienti termici, osmotici e ionici, l'attrazione magnetica, la radioattività, l'attività vulcanica, gli impatti di meteoriti e il vento solare. L'assenza di vita, e quindi di reazioni biochimiche, non implica che non vi si formino gli orizzonti e altre figure pedogenetiche tipiche dei suoli terrestri (Duke e Nagle, 1975). Per esempio, possono crearsi le forme peculiari dei suoli periglaciali in cui i cicli gelo-disgelo causano la segregazione del materiale fine da quello più grossolano, a formare i cosiddetti *suoli poligonali* (Krantz et al., 1989). Questi sono caratterizzati dal fatto di avere una morfologia superficiale a mosaico, composta da figure geometriche così regolari da sembrare artificiali: cerchi, poligoni, isole, labirinti o strisce di pietre in una matrice di terra fine, o viceversa, che si possono ripetere uguali a loro stessi per chilometri. Suoli poligonali sono stati fotografati su Marte dove, in effetti, la presenza di acqua ghiacciata sottosuperficiale è stata ampiamente dimostrata (Smith et al., 2009).

La nostra luna è l'unico altro corpo celeste che sia stato calpestato da un uomo, anzi da ben dodici uomini. Sulla sua solida roccia poggia un manto di detriti eterogenei: nei *mària*, pianure che a noi appaiono scure, tale manto è spesso pochi metri e si origina da basalti, mentre nelle *terrae*, chiari e brillanti altipiani, esso è spesso alcune decine di metri e si origina da anòrtositi. Dopo la fine dell'era vulcanica e dal momento in cui l'impatto di meteoriti è cessato, la superficie lunare è rimasta stabile e l'irraggiamento del vento solare la ha

progressivamente arrossata, in proporzione al suo contenuto in ferro (Hapke, 2001). Ed è soprattutto per questo motivo che la superficie lunare mostra una discreta variabilità cromatica e addirittura orizzonti pedologici in senso stretto, ancorché sottili. Se l'azione di indagine sulla Luna è molto rallentata dopo l'epopea dello sbarco in occasione della missione Apollo 11 del 1969 e delle sei susseguenti missioni (l'ultima delle quali nel dicembre 1972), lo studio diretto di Marte è in pieno fermento. Diverse sonde sono atterrate sul "pianeta rosso", dalla sovietica Mars 3, nel 1971, che funzionò solo per pochi secondi dopo l'atterraggio, a quelle più recenti e di maggior successo degli americani con i due Vikings nel '76, Sojourner nel '97, Spirit ed Opportunity nel 2004. Tutte atterrate in posti diversi, alcuni assai lontani fra loro. Le ultime tre missioni hanno impresso una decisa accelerazione alla conoscenza di Marte, grazie soprattutto ai rovers, robottini mobili in grado di percorrere la superficie del pianeta, fotografandola e analizzandola. E la variabilità tra i suoli analizzati è risultata elevata, almeno più di quanto si ipotizzasse. Tra le cose ormai assodate su Marte il fatto che in generale vi sia un'intensa alterazione fisica a carico delle rocce e, quindi, produzione in atto di quel materiale fine che è l'elemento indispensabile per poter parlare di suoli. Ma su Marte c'è stata anche alterazione chimica in mezzo acquoso. Il ritrovamento vicino al bordo del cratere *Endeavour*, da parte di Opportunity, di venature di gesso precipitato da fluidi a bassa temperatura ne è prova (Squyres et al., 2012). Quando nell'agosto 2012 la navicella Curiosity sarà atterrata nella grande pianura *Elysium*, si avrà un quadro più ampio delle caratteristiche pedologiche di Marte, anche se si tratterà di un quadro che si riferisce pur sempre a un'area piuttosto limitata del pianeta. E, magari, in quell'occasione si potrà risolvere il dilemma se vi sia ancora oggi in atto alterazione chimica mediata dall'acqua.

A oggi la conoscenza dei corpi solidi del Sistema Solare è molto disomogenea, ma sostanzialmente di tutti si conoscono abbastanza bene le condizioni atmosferiche, climatiche e geomorfologiche. Ciò permette di fare molte considerazioni sul tipo di suoli che si possono eventualmente trovare (Certini et al., 2009). Tuttavia, solo la conoscenza diretta tramite fotografie ravvicinate e analisi in loco o, eventualmente, su campioni prelevati e riportati sulla Terra, possono darci una risposta definitiva riguardo al fatto se essi possono essere considerati suoli. Nel Sistema Solare dove si può sperare di trovare suoli oltre che su Terra, Luna e Marte? Per quanto riguarda i pianeti, solo su Mercurio e Venere, gli unici altri due che hanno consistenza solida. L'ardente Mercurio, il pianeta più prossimo al Sole, ha una superficie anortositica ricca in ferro, che ha subito gli impatti dei meteoriti e l'azione continua del vento solare. Su

di essa non è ancora atterrata alcuna navicella, e le uniche osservazioni ravvicinate risalgono a tre sorvoli del pianeta effettuati da Mariner 10 negli anni '70. Pertanto le informazioni disponibili sono relativamente scarse (Solomon, 2003). La testimonianza pedogenetica più rilevante che al momento è dato conoscere è la probabile presenza di microgranuli di ferro metallico; forse un po' poco per poter già parlare di suoli. Nel 2004 la NASA ha lanciato la navicella MESSENGER (acronimo di MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry, and Ranging) che nell'aprile 2012 ha completato la prima delle manovre di riduzione del suo periodo orbitale attorno al pianeta. La missione MESSENGER sarà integrata dalla missione europea-giapponese ESA-JAXA BepiColombo che partirà nel 2015 e arriverà nel 2022, da quando le sonde Mercury Planetary Orbiter e Mercury Magnetospheric Orbiter raccoglieranno dati su Mercurio fino al 2023. E allora ne sapremo di più sui presunti suoli di quel pianeta. Contrariamente a Mercurio, Venere ha una densa atmosfera, composta principalmente da anidride carbonica e goccioline di acido solforico. La pedogenesi, se definibile come tale, qui consiste in una vigorosa alterazione fisica della roccia, promossa da pressioni e temperature molto elevate, e in un'altrettanto vigorosa alterazione chimica in ambiente iperacido. Ma nulla di certo è per ora dato sapere sulla composizione e sulla morfologia dei presunti suoli di Venere. Non pare invece possibile parlare di suoli in altri corpi tellurici del Sistema Solare. Uno strato di polvere finissima di carbonati inglobati nel ghiaccio costituisce la superficie di Phobos e Deimos, le due piccole lune di Marte. La crosta ferro-solforico-silicatica di Io, una luna solida di Giove, è vulcanicamente attiva, ghiacciata ma contemporaneamente riscaldata da maree e dai campi gravitazionali di Europa e Ganimede, altre due lune di Giove; ha quindi tempi di rigenerazione apparentemente troppo veloci per andare incontro a una pedogenesi apprezzabile. Su Titano, la più grande luna di Saturno, la superficie ghiacciata è sagomata da dune di idrocarburi solidi, fiumi e grandi laghi di metano continuamente agitati da forti venti: ipotizzare lì processi pedogenetici come siamo soliti intenderli è obiettivamente arduo. A differenza di pianeti e lune, gli asteroidi sono troppo piccoli per avere calore interno in grado di indurre vulcanismo e tettonica, fenomeni geologici che ringiovanirebbero la loro superficie. Questa è dunque sottoposta da tempi lunghissimi all'azione alterante del vento solare e dell'impatto dei micrometeoriti. Il piccolo asteroide Itokawa (diametro medio 330 m) è composto da frammenti di roccia e polveri tenuti insieme dalla forza di gravità. Del materiale superficiale è stato prelevato nel 2005 da un veicolo spaziale giapponese, Hayabusa. Senza atterrare, ma sparando una sfera di metallo da un'orbita di parcheggio a 20 km, e raccogliendo le polveri

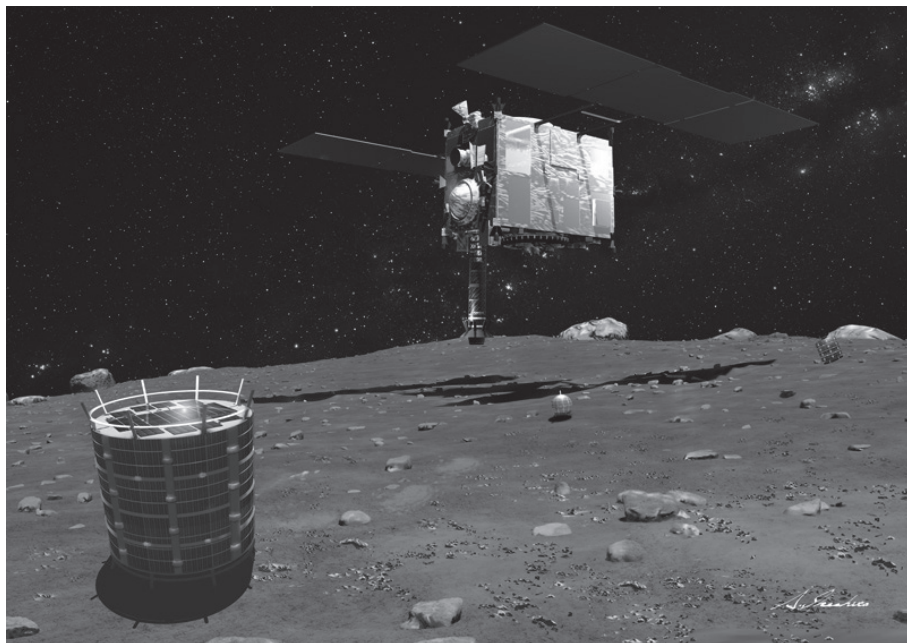


Fig. 1 Ricostruzione al computer di Akihiro Ikeshita® della fase di prelievo da parte della sonda Hayabusa di un campione di suolo dell'asteroide Itokawa [immagine concessa dall'agenzia spaziale giapponese JAXA]

sollevarsi in seguito all'impatto della sfera (fig. 1).

Le particelle così raccolte, una volta portate sulla Terra e analizzate hanno mostrato chiari segni di alterazione (Noguchi et al., 2011). In termini di composizione elementare, a parte l'abbondanza di platino, metallo prezioso, e di magnesio, fondamentale per le piante, l'asteroide non si differenzia in maniera sostanziale dal nostro pianeta (Nakamura et al., 2011). In sostanza, il suolo di Itokawa conterrebbe molti dei nutrienti necessari alla crescita vegetale, incluso il fosforo, che è invece carente in molti suoli terrestri, tanto da essere l'elemento nutritivo in assoluto più mobilizzato dall'uomo sulla Terra (Falkowski et al., 2000).

Al di fuori del Sistema Solare ci sono i pianeti extrasolari, i cosiddetti *esopianeti*, che ruotano attorno ad altre stelle. Al primo di maggio 2012 quelli individuati erano 763, in buona parte apparentemente solidi. Come Kepler-22b, che orbita nella zona teoricamente abitabile della stella Kepler-22. Considerata la sua distanza approssimativa di 600 anni luce da noi, ci si può rassegnare all'impossibilità di osservare direttamente la superficie di questo come degli altri esopianeti, e appurare quindi se vi siano o meno suoli.

La recente possibilità anche per i privati di andare nello spazio aprirà forse nuove prospettive economiche. L'agenzia spaziale privata Planetary Resources ha come obiettivo quello di sviluppare tecnologie adatte a estrarre dagli asteroidi elementi che ormai scarseggiano sulla Terra. La realizzazione di questa impresa, se avverrà, non potrà prescindere dall'installazione di basi permanentemente abitate dall'Uomo sugli asteroidi stessi o su corpi celesti intermedi. A oggi, quelle della Luna e di Marte sono le superfici in cui è più plausibile l'installazione di tali basi. Lì l'uomo dovrà fronteggiare molti fattori ambientali avversi e, necessariamente, far ricorso a risorse fondamentali disponibili in loco per poter essere indipendente dalla Terra. Tra queste il suolo, per praticarvi coltivazioni indoor. E dovrà allora fare i conti, ad esempio, col fatto che quel suolo è a tessitura troppo fine e privo di struttura per poter ospitare vegetali superiori terrestri senza interventi agronomici mirati a migliorarne la porosità e, con essa, il drenaggio. Tale tipo di tessitura aggrava infatti gli effetti negativi della microgravità (un terzo di quella terrestre sulla Luna, un sesto su Marte) sulla dinamica dell'acqua e dei gas, che tendono a ristagnare nel suolo e a deprimere quindi la crescita vegetale. Ma sia sulla Luna che su Marte i suoli indagati sono pochi e siamo ben lungi dall'averne un quadro esaustivo delle loro proprietà e potenzialità. Sulla Terra la varietà dei suoli è elevatissima e se alieni atterrassero in Amazzonia e lì vi analizzassero i suoli, farebbero un errore clamoroso a dedurre che le caratteristiche dei suoli della tundra siberiana siano le stesse. Su Luna e Marte le condizioni ambientali sono indubbiamente più omogenee che non sulla Terra, ma risulta ormai chiaro che almeno i suoli del "pianeta rosso" non sono affatto tutti uguali. L'impresa di coltivare questi suoli è indubbiamente ardua, ma è impensabile che migliaia di anni di esperienza pratica accumulati sulla Terra e, soprattutto, le conoscenze scientifiche codificate dalla Scienza del Suolo – dalle storiche prove di Justus von Liebig a oggi – e i futuri esperimenti sui suoli extraterrestri o su loro analoghi terrestri, non consentiranno prima o poi di raggiungere lo scopo. E a quel punto come non ipotizzare, dando sfogo alla fantasia, la nascita di un agriturismo extraterrestre? Che sarebbe utile, anche perché come ha detto Roberto Vittori, l'ultimo italiano salito sullo Shuttle: «Andare nello spazio è un'esperienza davvero incredibile, anche per un astronauta. Peccato che lassù il cibo sia così cattivo».

RIASSUNTO

Il viaggio dalla Terra alla Luna, fantascienza nel libro di Jules Verne, si è trasformato in realtà dopo poco più di un secolo. Da allora, si sono ottenute tante informazioni dirette sui corpi del Sistema Solare. Nel caso di quelli solidi a noi più vicini si è ora in grado di decidere se le loro superfici incoerenti possano essere considerate suoli. Quelle della no-

stra luna, di Marte e di qualche asteroide lo sono, in virtù del fatto che risultano alterate chimicamente e quindi conservano informazioni sulla loro storia climatica e geochimica. L'attuale rinnovato interesse delle agenzie spaziali pubbliche e private per l'esplorazione dello spazio probabilmente porterà in un non lontano futuro alla costruzione di basi permanenti sulla Luna e su Marte. In esse i colòni dovranno fare affidamento sui suoli locali per la coltivazione protetta di vegetali, necessari al benessere fisico e psicologico durante i lunghi periodi di permanenza. A tale scopo, i suoli "extraterrestri" dovranno essere liberati da alcune sostanze tossiche, arricchiti nei pochi nutrienti carenti, e ammendati al fine di creare una struttura che ottimizzi lo scambio dei fluidi, difficoltoso a causa della bassa gravità.

ABSTRACT

Jules Verne imagined the journey from Earth to the Moon in the second half of the nineteenth century. This futuristic hypothesis has been turned into reality in the following century. Since then to present, a significant mass of information about the bodies of our Solar System and outside has been accumulated. In the case of a few nearest solid bodies such information is enough for deciding if their loose surfaces are real soils. We feel that at least the ones of the Moon and Mars are actually soils, by virtue of the fact that they are weathered and are hence entities that retain information on their climatic and geochemical history. The current renewed interest of public and private space agencies in space exploration and exploitation will probably lead to building planetary bases, where people will have to rely on local soils for performing indoor agriculture and gardening, eventually amending them for those purposes.

BIBLIOGRAFIA

- AMUNDSON R., JENNY H. (1991): *The place of humans in the state factor theory of ecosystems and their soils*, «Soil Science», 151, pp. 99-109.
- CERTINI G., SCALENGHE R. (2011): *Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene*, «The Holocene», 21, pp. 1269-1274.
- CERTINI G., SCALENGHE R., AMUNDSON R. (2009): *A view of extraterrestrial soils*, «European Journal of Soil Science», 60, pp. 1078-1092.
- DUKE M.B., NAGLE J.S. (1975): *Stratification in the lunar regolith – A preliminary view*, «Earth, Moon, and Planets», 13, pp. 143-158.
- FALKOWSKI P.G. ET 16 AL. (2000): *The global carbon cycle: A test of our knowledge of Earth as a system*, «Science», 290, pp. 291-296.
- HAPKE B. (2001): *Space weathering from Mercury to the asteroid belt*, «Journal of Geophysical Research», 106, pp. 10039-10073.
- JOHNSON D.L. (1998): *A universal definition of soil*, «Quaternary International», 51-52, pp. 6-7.
- KRANTZ W.B., GLEASON K.J., CAINE N. (1989): *Suoli poligonalali*, «Le Scienze», 246, pp. 46-52.
- NAKAMURA T. ET 21 AL. (2011): *Itokawa dust particles: a direct link between S-type asteroids and ordinary chondrites*, «Science», 333, pp. 1113-1116.

- NAVARRO-GONZÁLEZ R. ET 11 AL. (2008): *Mars-like soils in the Atacama Desert, Chile, and the dry limit of microbial life*, «Science», 302, pp. 1018-1021.
- NOGUCHI T. ET 17 AL. (2011): *Incipient space weathering observed on the surface of Itokawa dust particles*, «Science», 333, pp. 1121-1125.
- SANDERSON E.W., JAITEH M., LEVY M.A., REDFORD K.H., WANNENO A.V., WOOLMER G. (2002): *The human footprint and the last of the wild*, «BioScience», 52, pp. 891-904.
- SMITH P.H. ET 35 AL. (2009): *H₂O at the Phoenix landing site*, «Science», 325, pp. 58-61.
- SOIL SURVEY STAFF (2010): *Keys to Soil Taxonomy*, Undicesima edizione, United States Department of Agriculture e Natural Resources Conservation Service, U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- SOLOMON S.C. (2003): *Mercury: the enigmatic innermost planet*, «Earth and Planetary Science Letters», 216, pp. 441-455.
- SQUYRES S.W. ET 26 AL. (2012): *Ancient impact and aqueous processes at Endeavour crater, Mars*, «Science», 336, pp. 570-576.
- UGOLINI F.C., BOCKHEIM J.G. (2008): *Antarctic soils and soil formation in a changing environment: A review*, «Geoderma», 144, pp. 1-8.