

## Localizzazione e caratterizzazione di frane all'interno dei crateri di impatto lunari

Vasil Yordanov <sup>(a)</sup>, Marco Scaioni <sup>(a)</sup>, Maria Teresa Brunetti <sup>(b)</sup>  
 Maria Teresa Melis <sup>(c)</sup>, Valentino Demurtas <sup>(c)</sup>, Sabrina Podda <sup>(c)</sup>, Angelo Zinzi <sup>(d,e)</sup>  
 Paolo Giommi <sup>(c)</sup>

<sup>(a)</sup> Politecnico di Milano – Dip. di Architettura, dell'Ambiente Costruito e dell'Ingegneria delle Costruzioni  
 via Ponzio 31, Milano 20133 – emails: vasil.yordanov@mail.polimi.it; marco.scaioni@polimi.it

<sup>(b)</sup> CNR-IRPI – Via Madonna Alta, 126, Perugia 06128 – email: mariateresa.brunetti@irpi.cnr.it

<sup>(c)</sup> Università degli Studi di Cagliari – Dip. di Scienze Chimiche e Geologiche– Laboratorio TeleGIS  
 via Trentino 51, Cagliari 09127 – email: titimelis@unica.it

<sup>(d)</sup> Istituto Nazionale di Astrofisica – Osservatorio Astronomico di Roma

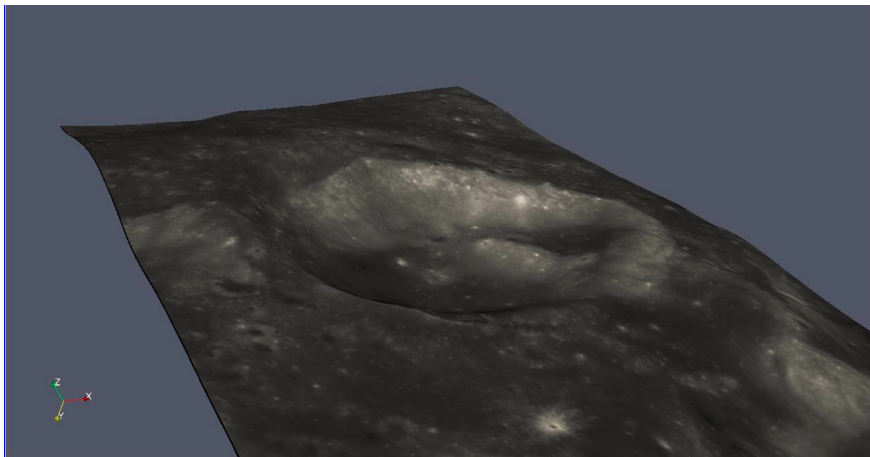
<sup>(e)</sup> Agenzia Spaziale Italiana, ASI Science Data Centre – Roma – email: {zinzi ; paolo.giommi}@asdc.asi.it

### English abstract

Geological slope failure processes have been observed on the Moon surface for decades. However a detailed and exhaustive lunar landslide inventory has not been produced yet. As a part of the “Moon Mapping” cooperative project between Italy and China, an algorithm for lunar landslide detection in impact craters has been proposed. The simple type of impact craters sizing between 5-12 km has been analysed. The Chebyshev polynomials have been used for estimating crater's cross-sectional profiles on the basis of a 100 m x 100 m resolution digital elevation model (WACGDL100 DEM) derived from LROC NASA mission. The presence of landslides in lunar craters is then investigated by analysing the contribution of odd coefficients of the estimated polynomials, since they are representing the asymmetric component of a transversal profile. After the analysis of four orthogonal profiles per crater, we correctly classified 87.7% of cross-sectional profiles really affected by slope failures. On the other side, we obtained a correct classification of 83.3% of cross-sectional profiles without slope failures. Even though a complete successful rate could not be achieved, these results are quite encouraging since the proposed automated procedure would allow to a first scrutiny of the presence of landslides in craters, to be refined afterwards with visual recognition and the analysis of other types of data.

### Abstract esteso

La presenza di frane sulla superficie della Luna è nota da anni grazie alle numerose missioni satellitari che hanno raccolto ampi archivi di immagini. Un esempio di tale tipo di fenomeno è riportato in Figura 1. In particolare, l'analisi dello stato dell'arte della ricerca finalizzata alla localizzazione delle frane all'interno dei crateri di impatto ha evidenziato la necessità di sviluppare tecniche automatizzate che ne consentano la mappatura sull'intera superficie lunare. Recentemente, Brunetti et al. (2015) hanno proposto l'applicazione dell'analisi visiva di immagini acquisite tramite camera WAC e il supporto del modello digitale delle altezze WACGDL100 (100 m di risoluzione al suolo), entrambi ottenuti dalla missione americana NASA LROC (Chin et al. 2007). In Mahanti et al. (2014), l'impiego dell'interpolazione delle sezioni trasversali dei crateri tramite polinomi di Chebyshev è stata proposta e discussa per la caratterizzazione geomorfologica dei crateri di impatto e l'individuazione di anomalie quali quelle dovute alla presenza di fenomeni di dissesto geologico (Mahanti et al., 2015).



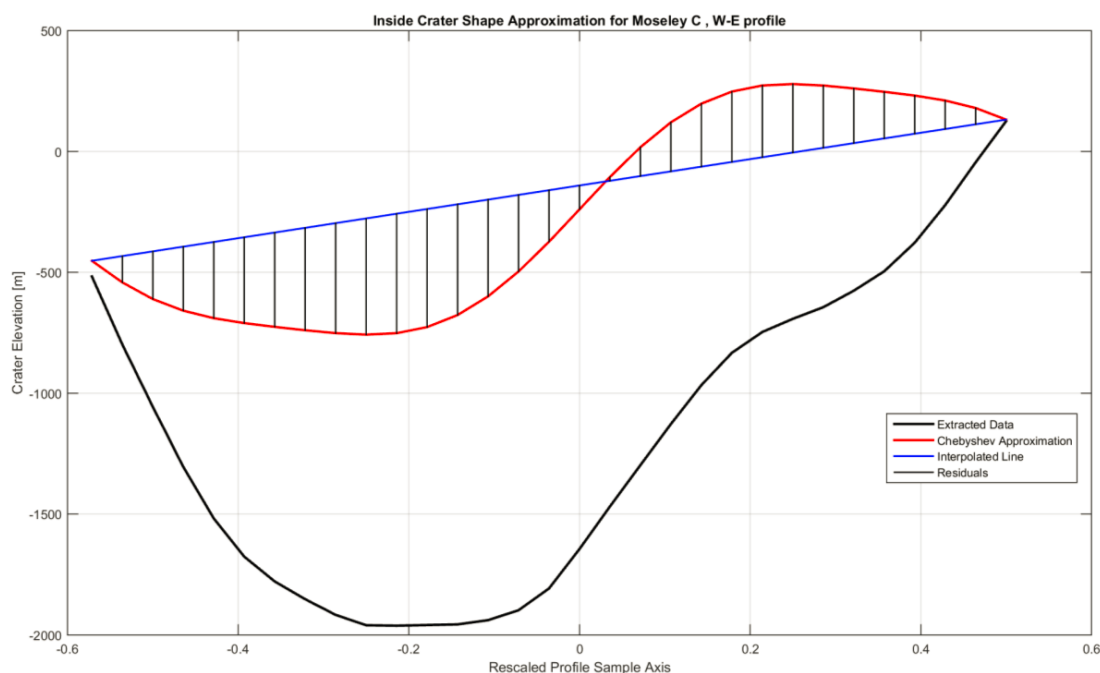
*Figura 1 – Visualizzazione 3D in ambiente ParaView ([www.paraview.org](http://www.paraview.org)) del cratere Moseley C. Il modello digitale delle altezze utilizzato per questa visualizzazione è stato ottenuto dalla missione Cinese Chang'E 1, i cui dati posso essere scaricati tramite la piattaforma MATISSE sviluppata e implementata da ASI – Science Data Centre (Zinzi et al., 2016)*

Nel presente studio questo metodo è stato sviluppato per poter individuare alcuni criteri il più possibile oggettivi per la localizzazione di frane all'interno dei crateri di impatto. L'uso di questi criteri è infatti pensato all'interno di una procedura automatica che possa fornire un elenco dei crateri nei quali sono state individuate frane, da sottoporre a una successiva analisi.

A partire dalla conoscenza della posizione di ciascun cratere di impatto e limitatamente a quelli aventi dimensioni comprese tra 5÷12 km, per ognuno di essi vengono analizzate quattro sezioni trasversali estratte dal WAC100DEM della missione LROC. La risoluzione delle sezioni è di 250 m. I polinomi di Chebyshev consentono di evidenziare in modo esplicito alcuni parametri geomorfologici delle sezioni trasversali considerate, quali la quota media, la pendenza generale, e distinguere la componente simmetrica da quella asimmetrica del profilo. Agendo in modo opportuno sui termini del polinomio interpolante e filtrando alcuni effetti a carattere locale, è possibile evidenziare la presenza di anomalie nella simmetria di ciascun profilo. Dal momento che si vogliono ricercare solo le frane di grandi dimensioni, paragonabili a quelle del cratere stesso, tali anomalie nella morfologia del profilo possono essere interpretate come frane (si veda la Figura 2). Nel corso della ricerca sono state definite e confrontate alcune soglie empiriche e su base statistica per la classificazione dei profili trasversali, la cui efficacia è stata validata utilizzando i crateri già analizzati in Brunetti et al. (2015).

Entrambe le tipologie di soglie utilizzate hanno fornito risultati soddisfacenti nell'applicazione sperimentale a un numero totale di 51 crateri. Le percentuali di sezioni trasversali classificate correttamente sono risultate pari rispettivamente all'87,7% per quelle effettivamente interessate da frane e all'83,3% per quelle ancora integre. Ulteriori informazioni possono essere recuperate in Yordanov (2016). Questi risultati sono stati ottenuti tramite soglie di selezione empiriche, che hanno fornito risultati sensibilmente migliori rispetto alle soglie definite su base statistica. Sebbene una classificazione esaustiva e priva di errori non sia stata ottenuta, i risultati sono stati piuttosto incoraggianti perché la procedura sviluppata ha consentito di ottenere in modo automatico un'analisi preliminare sulla presenza di frane all'interno dei crateri di impatto, che potrà poi essere raffinata tramite l'analisi visiva. Si sta inoltre studiando l'impiego di altre tipologie di dati telerilevati per poter fornire un supporto all'identificazione delle frane. Per esempio, si sta pensando all'impiego delle immagini multispettrali acquisite dalla missione Cinese Chang'E 1 (Wu et al., 2010).

Questa ricerca si è svolta nel contesto del progetto di ricerca bilaterale tra l'Italia e la Repubblica della Cina Popolare denominato "Moon Mapping" (Scaioni et al. 2016). I ricercatori dei gruppi partecipanti hanno la possibilità di utilizzare i dati acquisiti dai satelliti cinesi della serie Chang'E, che sono equipaggiati con diversi sensori, tra i quali un altimetro laser e alcune camere per l'acquisizione di immagini multispettrali. L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) si occupa di coordinare il progetto dal lato italiano (<http://solarsystem.asdc.asi.it/moonmapping/>).



*Figura 2 – Sezione trasversale Est-Ovest del cratere Moseley C. Il profilo topografico è rappresentato dalla linea nera, la linea rossa costituisce la componente simmetrica dei polinomi approssimanti di Cebishev, mentre la retta blu ne rappresenta l'approssimazione lineare rispetto alla quale sono stati calcolati i residui punto per punto. Lo scarto quadratico medio dei residui è risultato in questo caso pari a  $\sigma=279,1$  m.*

## Ringraziamenti

I ringraziamenti principali vanno all'Agenzia Spaziale Italiana e al Center of Space Exploration of China Ministry of Education. Gli autori ringraziano inoltre l'Addetto Scientifico (Prof. Plinio Innocenzi) presso l'Ambasciata d'Italia a Pechino e tutti i colleghi coinvolti nelle attività legate al progetto "Moon Mapping". Un ringraziamento particolare a tutti gli studenti coinvolti in questo progetto. Si ringrazia infine la NASA per avere fornito i dati utilizzati.

## Bibliografia

Brunetti M.T., Xiao Z., Komatsu G., Peruccacci S., Guzzetti F. (2015), "Large rockslides in impact craters on the Moon and Mercury", *Icarus*, 260: 289-300.  
 Chin G., e altri (2007), "Lunar Reconnaissance Orbiter overview: The instrument suite and mission", *Space Science Review*, 129: 391-419.

- Mahanti P., Robinson M., Humm D., Stopar J. (2014), "A standardized approach for quantitative characterization of impact crater topography", *Icarus*, 241: 114-129.
- Mahanti P., Robinson M., Thompson T. (2015), "Characterization of lunar crater wall slumping from Chebyshev approximation of lunar crater shapes", in: Proc. "Annual Meeting of the Lunar Exploration Analysis Group (LEAG)", 20-22 Ottobre 2015, Columbia, Maryland, Stati Uniti, articolo No. 2081.
- Scaioni M., e altri (2016), "The 'Moon Mapping' Project to Promote Cooperation between Students of Italy and China", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B6: 71-78.
- Yordanov V.S. (2016), "Mapping Landslides in Lunar Impact Craters Using Chebyshev Polynomials and DEM's", Tesi di laurea, Politecnico di Milano, Corso di laurea CERM.
- Wu Y., e altri 9 (2010) "A preliminary experience in the use of Chang'E-1 IIM data", *Planetary and Space Science*, 58(14-15): 1922-1933.
- Zinzi A., e altri (2016), "MATISSE: A novel tool to access, visualize and analyse data from planetary exploration missions", *Astronomy and Computing*, 15: 16-28.