

Analogo della craterizzazione lunare: vettore d'impatto

Costantino Sigismondi

prof.sigismondi@icra.it

(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)

Submitted March 31th 2021, accepted April 8th

Abstract The ejecta of impact craters Tycho, Aristarchus and Proclus are studied through “ground analogues” obtained by bird’s dejections. The direction of the ejecta are parallel to the velocity vector of the bird and its height combines free fall velocity with that velocity to obtain the opening angle of the ejecta. A case of vertical fall is also discussed. The Reynolds number regime of the fall is also considered.

Sommario Gli ejecta dei crateri lunari d’impatto Tycho, Aristarco e Proclo sono studiati attraverso degli analoghi terrestri ottenuti dalle deiezioni di gabbiani. La direzione degli ejecta è parallela al vettore velocità dell’uccello, ma la quota di espulsione determina la componente verticale della velocità che si somma vettorialmente a quella dell’uccello determinando l’angolo di apertura degli ejecta. Un caso di caduta verticale e il regime del numero di Reynolds nella caduta sono discussi.

Introduzione: Tycho Aristarchus e Proclus

Tycho è il cratere con raggera più grande della Luna, visibile bene al plenilunio, quasi a occhio nudo, i raggi si dipartono simmetrici in tutte le direzioni; è nell’emisfero Sud al centro.

Aristarchus è nel lato orientale della Luna a Nord dell’Oceano delle Tempeste, il punto più brillante della Luna. Proclus è nel lato Occidentale (primo quarto) presso il mare delle Crisi, e appare come un ventaglio brillante sullo sfondo più antico e più scuro. Tutti sono crateri relativamente “recenti” formatisi tra un miliardo e 300 milioni di anni fa, rispetto alla superficie più scura, bucherellata da micrometeoriti e resa pertanto sempre più scura con l’andar del tempo.



Fig. 1 Modello geometrico per l'albedo lunare (Guérin, 1967).

Le superfici più “giovani” sono proprio quelle più chiare degli ejecta, e si possono identificare a vista sul nostro satellite, anche con un piccolo telescopio.

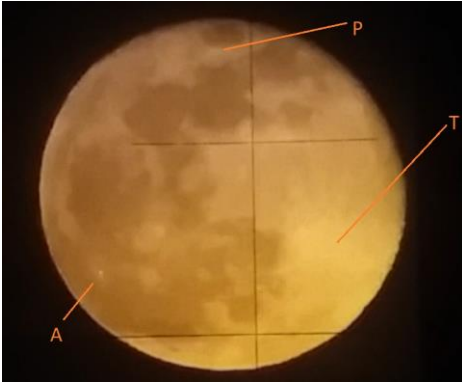


Fig. 2 Luna piena di Pasqua 2021 e le iniziali dei tre crateri.

Analogo a terra: deiezioni di gabbiani in città



Fig. 3 Ejecta lunghi 180 cm per 35 di larghezza: 11° di apertura. Un pezzo è caduto 10 cm sopra: si è rotto in volo?

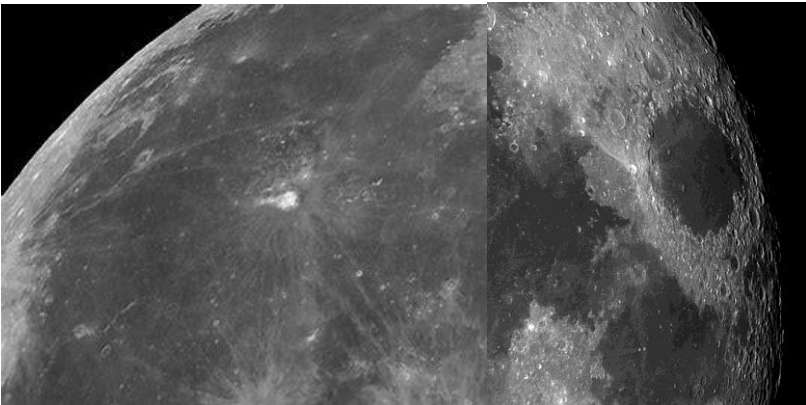


Fig. 4-5 Aristarchus e Proclus: crateri giovani e direzionali.

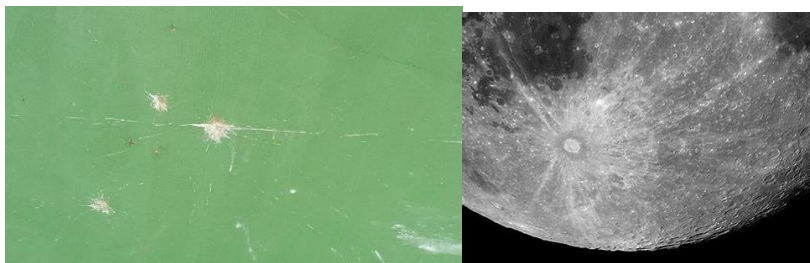


Fig. 6-7 Ejecta simmetrici analogo del cratere Tycho.

Valutazione della velocità di impatto supponiamo il gabbiano a 50 m di altezza. La velocità di caduta libera da lì è $v=g \cdot t$, con il tempo t ricavato dall'equazione $h=\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$, da cui $t=\sqrt{(2s/g)}$ e quindi $v=\sqrt{(2hg)}=31$ m/s [~ 113 km/h]. Se il gabbiano volava 10 m/s, l'angolo d'impatto con il terreno era pari a $\alpha=90^\circ-z$, con $z=\arctan(10/31) \sim 18^\circ$; $\alpha \sim 72^\circ$. Questo angolo si riduce se l'altezza di volo è inferiore. A 25 metri d'altezza (appena sopra i cipressi che circondano il campo) la velocità di caduta libera è $v=22$ m/s, combinata con $v=10$ m/s dà $\alpha \sim 66^\circ$.

Prendendo un valore intermedio tra le velocità di caduta verticale di 26 m/s, combinato con 10 m/s da una velocità d'impatto di 28 m/s, circa 100 km/h, difficilmente replicabile sperimentalmente con "gavettoni".

L'angolo di apertura di 11° - 22° degli ejecta è legato al rapporto tra le velocità di "esplosione" a terra del materiale in caduta, dalla compattezza simile all'acqua e la velocità trasversa d'impatto. Questa resta sempre 10 m/s, ossia quella del volo dell'uccello, che viene conservata nella caduta libera, sia pure in regime turbolento. Ad 1.8 m dall'impatto gli ejecta si sono allargati tra 18 e 36 cm nello stesso tempo, cioè tra 1 e 2/10 della presunta velocità trasversa, che se assunta pari al doppio, cioè 20 m/s, comunque implica fino a 4 m/s di velocità di allargamento degli ejecta. Questi partono da una goccia di circa 3 cm di diametro, con una certa coesione, che a circa 30 m/s impatta al suolo; esplode in 1 ms (tempo di

attraversamento di quel diametro a 30 m/s); di conseguenza l'energia cinetica si trasforma, in un urto anelastico, nella strisciata di materiale su quel triangolo isoscele ampio 11° e altezza 180 cm. Per le cadute in verticale, invece, la lunghezza è circa 120 cm in entrambe le direzioni, ed è dovuta alla sola componente di caduta libera. Se la distanza degli ejecta dal punto d'impatto è proporzionale all'energia cinetica, con l'aggiunta della componente trasversale abbiamo $v_{25}^2 + v_t^2 \sim 180$, mentre la sola componente verticale $v_{25}^2 \sim 120$, da cui $v_t^2 \sim 60$, da cui deduciamo una velocità di volo di circa $v_t \sim 8$ m/s, consistente con i dati in letteratura.

Urto anelastico e bilancio dell'energia totale

La deiezione arrivando a terra perde tutta l'energia cinetica, che in parte va a disgregare in molti pezzi rompendo un legame, in parte ridistribuisce la materia a distanze variabili dal punto d'impatto. Queste distanze sono simmetriche al punto d'impatto in caso di caduta in verticale, mentre si dipanano conservando la direzione del vettore d'impatto per caduta obliqua. Supponendo l'altezza di deiezione pari a 25 metri, ossia appena sopra la quota dei cipressi che circondano il campo, viene stimata una velocità di volo di 8 m/s dal confronto con ejecta simmetrici associati a una caduta verticale

Conclusioni: un analogo non realizzabile con droni abbiamo studiato impatti inclinati a 65° - 72° e velocità dell'ordine dei 30 m/s ossia oltre 100 km/h. Lanci di gavettoni o droni non arrivano a tanto. L'"esplosione" al suolo avviene in un millisecondo, tempo in cui si rompe l'energia di legame dell'amalgama fino a quel momento in caduta libera, forse già in rottura per effetto della caduta in regime turbolento (secondo frammento in fig. 3). Con una componente trasversa di 8 m/s gli ejecta si dispongono nella direzione del vettore d'impatto e l'angolo di apertura è già molto stretto, solo 11° .