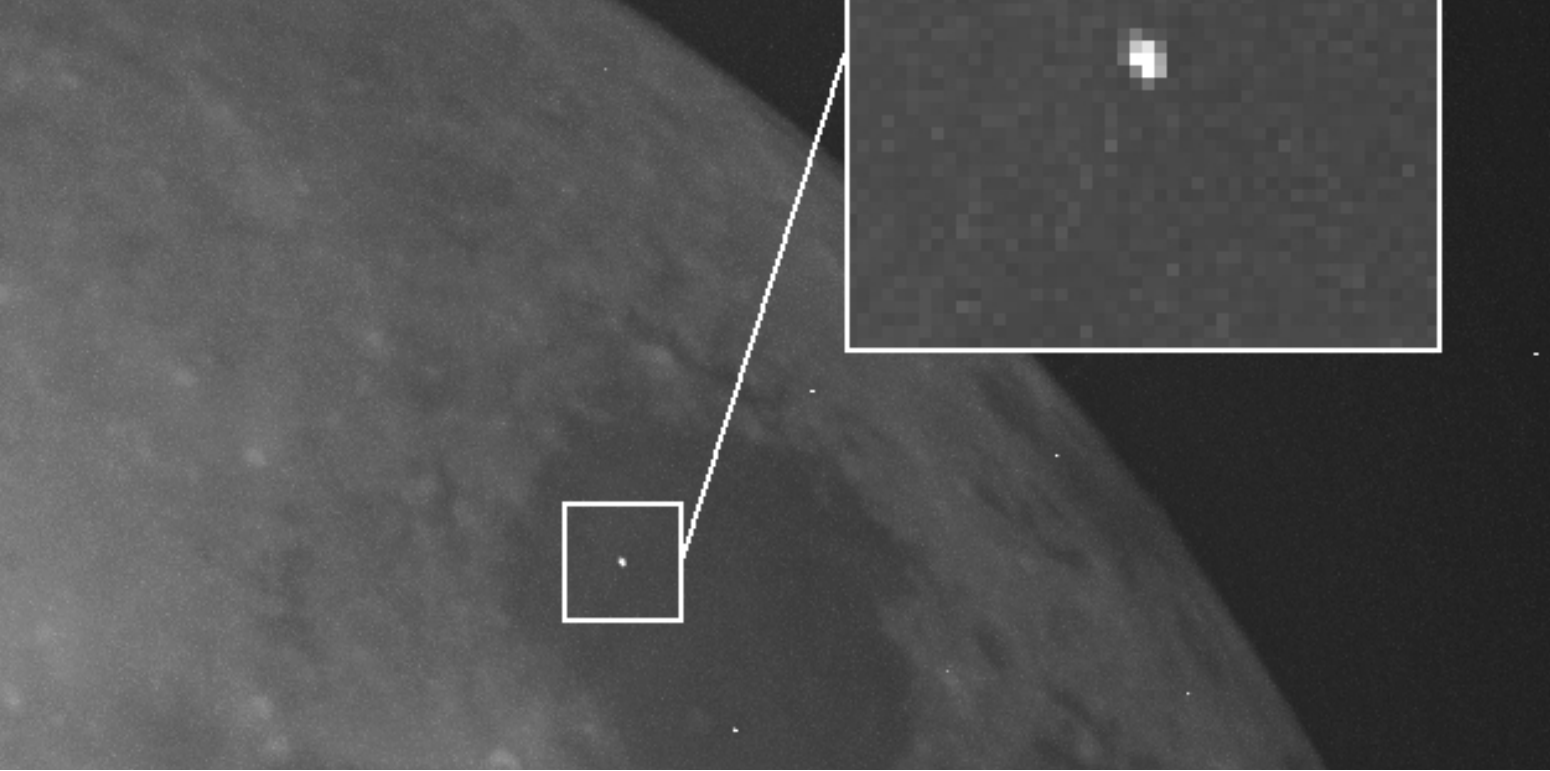


Vincenzo della Vecchia

Independent Researcher,
45th Parallel
Observatory (IAU D43),
Pino Torinese, Italy
ing.v_dellavecchia@libero.it

Impatti lunari: risultati Geminidi 2025 e nuova campagna per il 2026

Lunar impacts: the 2025 Geminids results and the new 2026 campaign

Abstract

During the 12–14 December 2025 Geminid meteor shower campaign, a 0.25 m Ritchey-Chrétien telescope equipped with a Player One Ares-M camera was used to monitor the unilluminated portion of the lunar disk in search of lunar impact flashes (LIFs). A total of 17 candidate impact events were detected, 10 of which were independently confirmed by other observers. For each event, the impact time and selenographic coordinates were measured, providing a dataset suitable for comparison with other amateur and professional lunar impact monitoring programs. The results obtained demonstrate that lunar impact monitoring can be successfully carried out with amateur equipment, producing scientifically useful data.

Introduzione

Uno sciame meteorico può essere studiato non soltanto attraverso le meteore osservate nell'atmosfera terrestre, ma anche attraverso gli impatti dei meteoroidi sulla superficie lunare. La Luna è priva di un'atmosfera densa e, di conseguenza, i piccoli corpi che la raggiungono non producono una meteora analoga a quella terrestre. L'impatto può tuttavia generare un breve lampo ottico (flash), osservabile dalla Terra con strumentazione adeguatamente sensibile.

L'assenza di un'atmosfera significativa cambia radicalmente la natura dell'evento rispetto a quello che osserviamo sulla Terra. Il meteoroido non viene progressivamente frenato e riscaldato durante l'ingresso in atmosfera, ma conserva una parte molto elevata della propria energia cinetica fino al contatto con il suolo. L'energia viene quindi depositata in un volume molto piccolo e in un intervallo di tempo brevissimo, producendo una zona di materiale vaporizzato e fuso, *ejecta* incandescenti e un impulso luminoso che può essere registrato anche a distanza astronomica. Il flash rappresenta perciò la manifestazione ottica di un processo di impatto molto più energetico e complesso del semplice punto luminoso che compare nel video.

Le Geminidi costituiscono un'opportunità particolarmente interessante per questo tipo di monitoraggio, perché il massimo dello sciame (12-14 di dicembre) è sempre cospicuo, anche se cadendo d'inverno risulta comprensibilmente meno seguito dagli amatori rispetto alle Perseidi. La campagna osservativa qui descritta (condotta all'interno del progetto LIF del CNR [6]) richiedeva di monitorare la porzione non illuminata della Luna per il maggior tempo possibile, alla ricerca di flash da impatto riconducibili alle Geminidi. Per ogni candidato LIF, era richiesto di riportare con cura l'istante dell'impatto e la posizione sulla superficie lunare (latitudine e longitudine). Alla campagna hanno partecipato numerosi amatori, tra cui il sottoscritto, ed anche professionisti, con risultati che hanno ampiamente ripagato la costanza degli osservatori.

Le Geminidi sono un obiettivo particolarmente adatto per questo tipo di studio anche in ragione della velocità relativamente alta degli impattori (intorno ai 30-35 km/s). Una velocità elevata entra direttamente nell'energia cinetica, che cresce appunto con il suo quadrato, e rende quindi anche piccoli meteoroidi potenzialmente capaci di produrre flash di magnitudine accessibile a telescopi amatoriali. Va da sé che

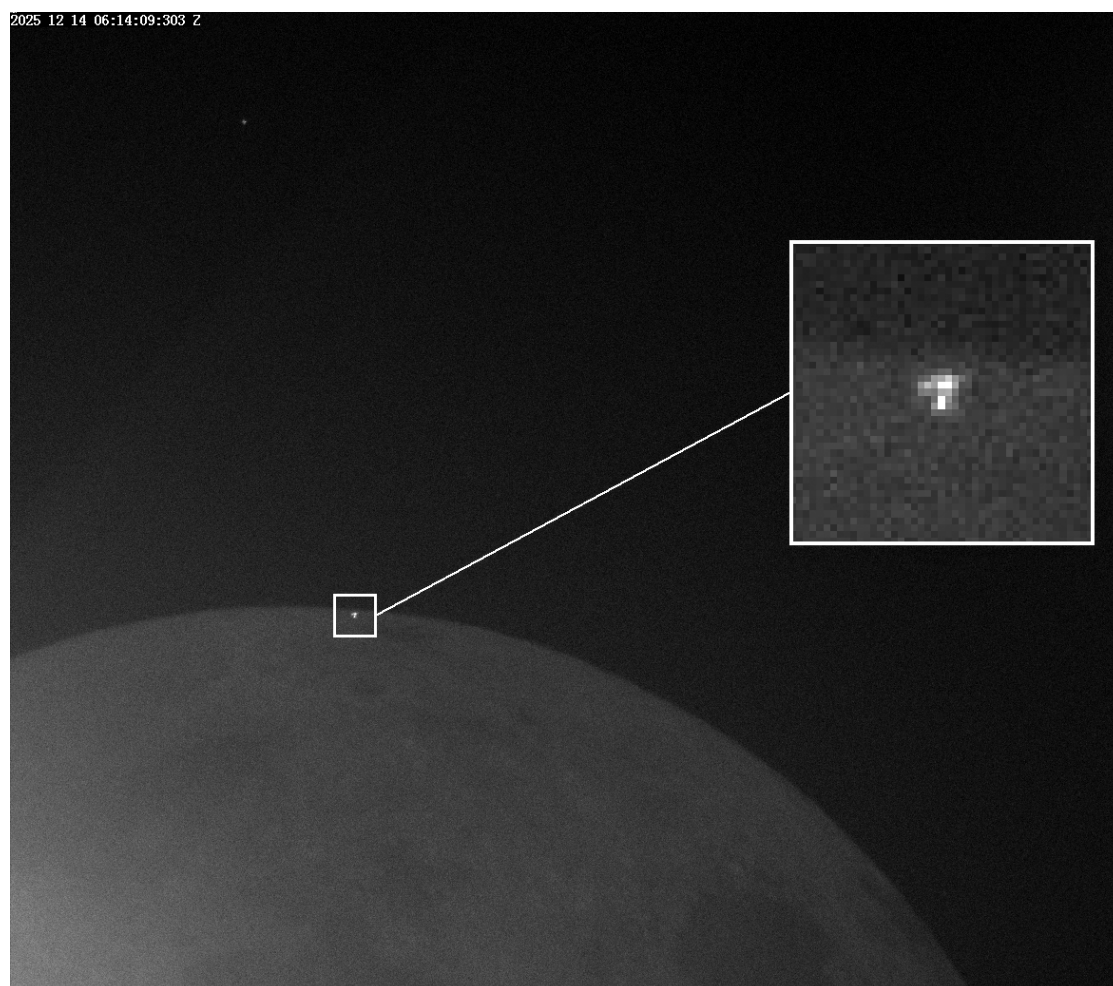


Figura 1. Impatto lunare (con zoom) registrato il 14 dicembre 2025, alle ore 06:14:09 (numero 16 in tabella 1). La magnitudine stimata è intorno alla 7.5 [3]. Si noti il timestamp in alto a sinistra.



Figura 2.

Questo impatto (corrispondente al numero 10 in tabella 1) compare chiaramente su 2 frames, come mostrato nei riquadri piccoli in alto. Essi sono un ritaglio dell'area del flash nei frames immediatamente precedenti e seguenti l'impatto. Il software utilizzato è ALFI [5].

l'effettiva rilevazione è dipendente dalla fase e dalla geometria lunari, dalla qualità del cielo e dalla superficie effettivamente monitorata, oltre che naturalmente dalle possibilità strumentali.

Le Geminidi si distinguono anche per un altro aspetto: esse sono infatti associate all'asteroide near-Earth (3200) *Phaethon*, un caso insolito perché la maggior parte degli sciami meteorici annuali sono invece generati da comete. La particolare natura di Phaethon e la struttura del suo flusso meteoroidico rendono quindi le Geminidi un bersaglio interessante anche dal punto di vista della popolazione di meteoroidi di dimensioni maggiori, cioè proprio quella fascia che può produrre impatti lunari otticamente rilevabili [1].

Le campagne di monitoraggio hanno mostrato, tra le altre cose, che la registrazione degli impatti può essere utilizzata per studiare la distribuzione dei meteoroidi nelle dimensioni da centimetri a decimetri e, attraverso opportuni modelli, per ricavare stime della massa e dell'energia degli impattori [2].

Quanto precede rende chiaro come questo lavoro di ricerca,

oltre a dare grande soddisfazione personale all'amatore, sia anche molto apprezzato dal punto di vista scientifico, senza richiedere strumentazione particolarmente costosa e sofisticata.

Parte sperimentale

La mia campagna osservativa è stata condotta nelle tre notti comprese tra il 12 e il 15 dicembre 2025, anche se solo quelle intorno al picco (13 e 14 dicembre) hanno permesso di rilevare candidati impatti. Il sistema di acquisizione era costituito da un telescopio Ritchey-Chrétien da 10 pollici di apertura e rapporto focale ridotto a $f/5.6$, equipaggiato con una camera Player One Ares-M (sensore IMX 533). Il campo di vista (FoV) risultante del setup indicato è di circa $27^\circ \times 27^\circ$, sufficienti a coprire la parte in ombra del disco lunare che mostrava una fase di circa il 25%. Come già ricordato, il monitoraggio avviene infatti sulla parte buia della Luna, dove il contrasto tra un eventuale flash e la superficie risulta massimo. È importante che l'orologio del PC sia sincronizzato adeguatamente, con una precisione intorno

al secondo, per garantire un corretto confronto tra osservazioni provenienti da osservatori diversi. Per comodità, è possibile aggiungere un *timestamp* al video direttamente dal software di acquisizione (SharpCap in questo caso).

Per non diminuire significativamente la quantità di luce raccolta, non è stato utilizzato nessun filtro. Questa scelta è legata alla natura stessa del segnale ricercato: il flash è molto breve e la quantità totale di fotoni raccolti può essere modesta. In queste condizioni ogni elemento ottico aggiuntivo che riduca il flusso può peggiorare il rapporto segnale-rumore e rendere più difficile la rivelazione degli eventi più deboli. La strategia osservativa consiste quindi nel privilegiare sensibilità e rapidità di acquisizione, accettando una maggiore esposizione ai segnali spuri che dovranno essere eliminati nella fase di analisi dati.

Gli impatti sono più rapidi di quello che si potrebbe pensare: tipicamente 1/10 di secondo, ed è consigliabile quindi una frequenza di acquisizione tra i 20 e i 30 frames al secondo in modo tale che uno stesso evento possa essere registrato su più di un frame, il che deprime fortemente a favore della sua realtà fisica. Per questo tipo di ricerca, sono estremamente utili (per non dire assolutamente indispensabili) dei software dedicati che analizzano i singoli frame dei video lunari, alla ricerca di aree in cui compaia un evento localizzato di luminosità anomala se confrontata con la superficie lunare circostante. Purtroppo, questi software (ALFI, LunarScan) non sono infallibili e particolare attenzione deve essere posta alla discriminazione di artefatti come pixel caldi, raggi cosmici, scie di satelliti ecc., che vengono sistematicamente scambiati per veri LIF dai programmi automatici rendendo sempre indispensabile la validazione da parte dell'occhio umano.

Risultati e discussione

La tabella seguente riepiloga i risultati della campagna osservativa. Essa lista ben 17 eventi, tutti registrati nei due giorni prima e dopo il picco dello sciame. Per ciascun evento sono riportati il numero progressivo, l'istante UTC (ricavabile dal *timestamp*) e le coordinate selenografiche di longitudine e latitudine (misurabili ad esempio con WinJupos), oltre alle eventuali note. Un evento si considera confermato quando almeno un altro osservatore lo ha ripreso nella stessa posizione e nello stesso istante. Un candidato LIF, per essere considerato tale con una certa confidenza, deve passare alcuni test di consistenza interna: la sua Point Spread Function, ad esempio, dev'essere stellare (gaussiana), in quanto eventi con PSF piatta e/o che ricadono su un solo pixel sono quasi certamente artefatti dovuti al sensore.

La gran mole di dati accumulati durante la campagna mi ha permesso di mettere a punto un metodo alternativo per la rilevazione di impatti, in alcuni casi sfuggiti ai software specializzati. L'idea è ottenere uno stack dei singoli fotogrammi dei video registrati usando il valore massimo assunto da ciascun pixel anziché la media (maximum stacking). Una tecnica di

questo tipo conserva i picchi transitori e può quindi rendere più evidenti segnali brevi e localizzati che sarebbero "diluiti" da una semplice operazione di media o mediana. Il metodo non è pensato per sostituire i validissimi software in uso per la detection automatica, ma può essere utilizzato come strumento complementare [4]. L'immagine di stack finale ottenuta con questa procedura non è di lettura immediata, ma contiene una gran mole di informazioni. Un occhio allenato riesce a distinguere immediatamente un artefatto da un possibile impatto (v. fig. 3).

N.	UTC	Long. (°)	Lat. (°)	Note
1	2025-12-13 04-26-10	+48.6	-27.1	Confermato
2	2025-12-13 05-29-46	+78.3	+12.5	Confermato
3	2025-12-13 05-48-56	+40.6	+31.7	Confermato
4	2025-12-13 05-49-46	+65.9	-4.6	
5	2025-12-13 05-59-09	+91.2	-14.3	Confermato
6	2025-12-14 04-07-30	+57.8	+13.3	
7	2025-12-14 04-14-56	+63.5	-24.1	Confermato
8	2025-12-14 04-36-55	+1.3	+34.5	
9	2025-12-14 04-37-57	+35.1	+1.7	Confermato
10	2025-12-14 04-55-37	+61.0	+37.9	
11	2025-12-14 05-10-18	+85.7	-9.8	
12	2025-12-14 05-23-17	+81.6	-11.6	Confermato
13	2025-12-14 05-25-23	+56.6	+21.0	Confermato
14	2025-12-14 05-32-28	+35.2	+11.5	
15	2025-12-14 05-38-58	+61.0	+33.6	Confermato
16	2025-12-14 06-14-09	+83.8	+72.7	Confermato
17	2025-12-14 06-23-34	+38.9	+19.0	

Tabella 1. LIF rilevati dall'autore durante la campagna delle Geminidi del 13-14 dicembre 2025. Ben 10 di questi risultano ad oggi ufficialmente confermati, ovvero ripresi da altri osservatori nello stesso istante e posizione.

Un timing accurato è essenziale come detto per consentire eventuali confronti indipendenti. Le coordinate selenografiche aggiungono una seconda dimensione fondamentale al dato temporale e consentono, analogamente, di confrontarlo con una eventuale osservazione indipendente dello stesso impatto.

Dal punto di vista fisico, l'energia disponibile nell'impatto è descritta in prima approssimazione dall'energia cinetica $E = \frac{1}{2}mv^2$. Anche per masse relativamente piccole, velocità dell'ordine delle decine di chilometri al secondo (tipiche dei LIF) producono energie sufficienti a generare una breve emissione ottica. La luminosità osservata non rappresenta tuttavia direttamente tutta l'energia cinetica: solo una frazione dell'energia viene convertita in radiazione osservabile. Per avere un'idea, le magnitudini raggiunte dai flash in questa campagna sono comprese tra la 7 e la 10, e l'impatto ripreso in fig. 1 è stato generato da un meteoroido di massa stimata pari a soli 140 grammi [3].

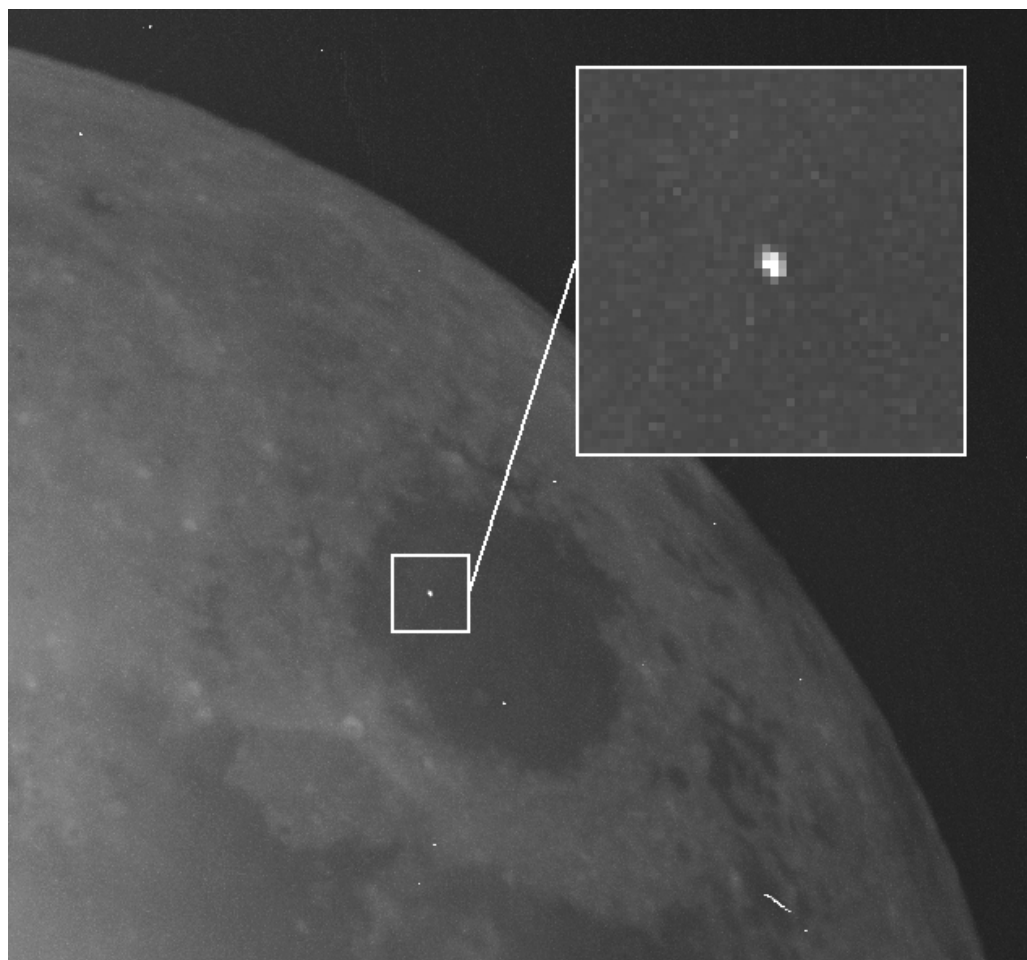


Figura 3. Risultato finale della procedura di maximum stacking su uno dei video della campagna. Solo il flash evidenziato dal quadrato bianco (nella zona del Mare Crisium) rappresenta un possibile impatto, mentre gli altri sono tutti artefatti (soprattutto hot pixel).

Conclusioni e prospettive

La campagna del 12-14 dicembre 2025, coronata da un numero di eventi confermati che ha ampiamente superato le aspettative degli stessi ricercatori, mostra che la ricerca di flash da impatto può essere condotta con una strumentazione amatoriale relativamente modesta, al contempo con la certezza di produrre dati di sicura utilità scientifica.

L'interesse di campagne di questo tipo è aumentato ulteriormente negli ultimi anni, perché i flash possono essere messi in relazione non soltanto con la popolazione dei meteoroidi, ma anche con la fisica degli impatti e, in prospettiva, con osservazioni sismiche della superficie lunare. Il monitoraggio ottico costituisce quindi una tecnica relativamente semplice che può contribuire a una rete più ampia di osservazioni, soprattutto quando più stazioni possono confrontare istante e posizione degli eventi [3].

L'appuntamento per chi è interessato a questo campo di ricerca è il prossimo picco delle Geminidi del 12-14 dicembre 2026, dove è attesa un'attività non inferiore a quella del 2025. I lettori interessati a partecipare possono far riferimento al sito del progetto LIF del CNR [6] e, per informazioni generali, a quello della Sezione Luna UAI [7], che da tempo conduce un programma di osservazione e studio degli impatti lunari.

Riferimenti

- [1] Ortiz J. L., Madieto J. M., Morales N., Santos-Sanz P., Acciuntuno F. J., *Lunar impact flashes from Geminids: analysis of luminous efficiencies and the flux of large meteoroids on Earth*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 454, 344–352 (2015).
- [2] Suggs R. M., Moser D. E., Cooke W. J., Suggs R. J., *The flux of kilogram-sized meteoroids from lunar impact monitoring*, Icarus, 238, 23–36 (2014).
- [3] Sheward D., Delbo M., Avdellidou C., V. della Vecchia et al., *Twin impact lunar telescope network: lunar impact flash observations of the 2025 Geminids*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, (2026), arXiv:2607.29481.
- [4] Della Vecchia V., *Detection of lunar impact flashes using maximum-based image stacking*, Journal of Advanced Physics and Interdisciplinary Science, 1, 1–3 (2026).
- [5] Cook A., ALFI (Automatic Lunar Flash Investigation), <https://users.aber.ac.uk/atc/alfi.htm>
- [6] Lunar Impact Flashes (LIF) Project, https://lif.mi.imati.cnr.it/home_page.php?status=start
- [7] Sezione Luna UAI https://luna.uai.it/index.php/Pagina_principale