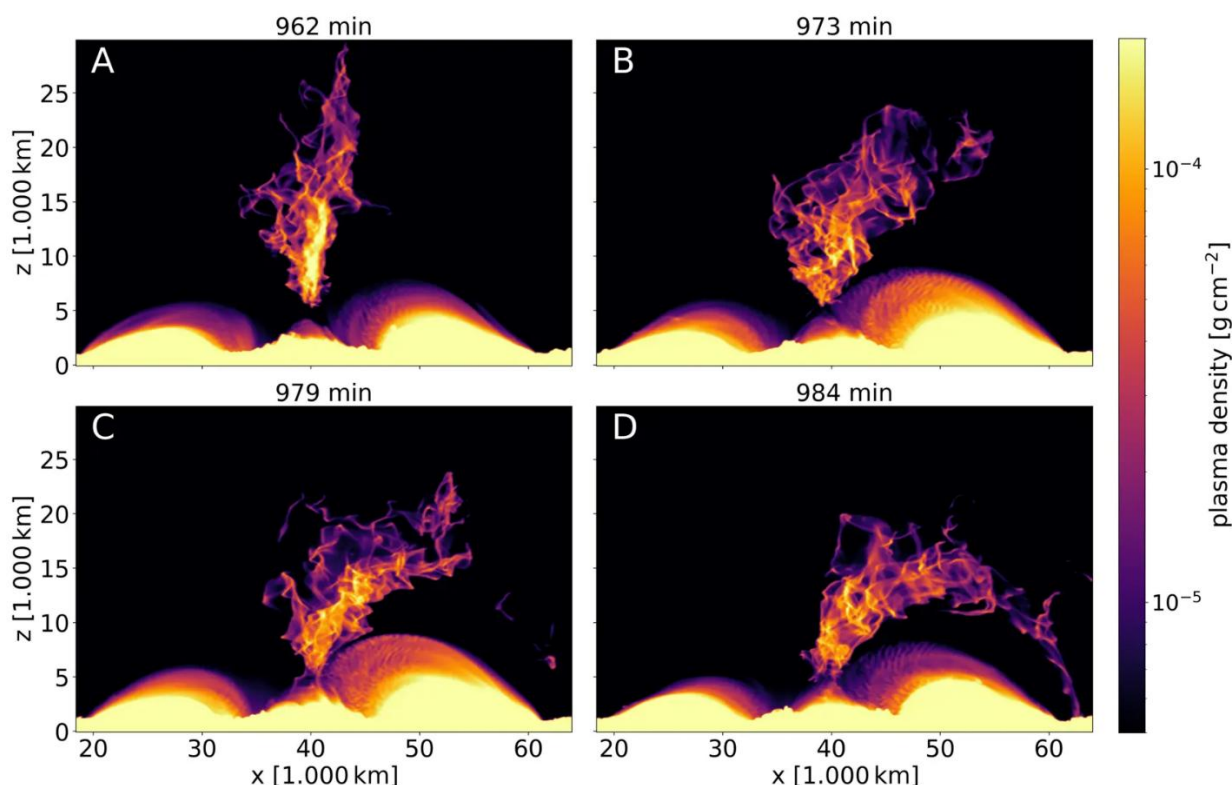


## LA LOGISTICA DELLE PROTUBERANZE SOLARI

*Le protuberanze solari sono strutture di plasma freddo sospese nella corona solare, molto più calda. Possono durare mesi, per poi estinguersi silenziosamente o culminare in eruzioni violente. Simulazioni inedite pubblicate su Nature Astronomy mostrano che la loro stabilità dipende da due meccanismi: iniezioni di plasma dalla cromosfera e condensazione di plasma coronale*

*Da MEDIA INAF del 24 aprile 2026 riprendiamo, con autorizzazione, un articolo di Maura Sandri.*

Con una temperatura superiore a un **milione di gradi**, l'atmosfera del Sole – la corona solare – è incredibilmente calda. Ma non ovunque. Di tanto in tanto, all'interno della corona compaiono enormi strutture di plasma solare significativamente più freddo, circa diecimila gradi, note come **protuberanze solari**. Si estendono fino a diverse migliaia di chilometri e spesso assomigliano a fiamme tremolanti che possono assumere una grande varietà di forme.

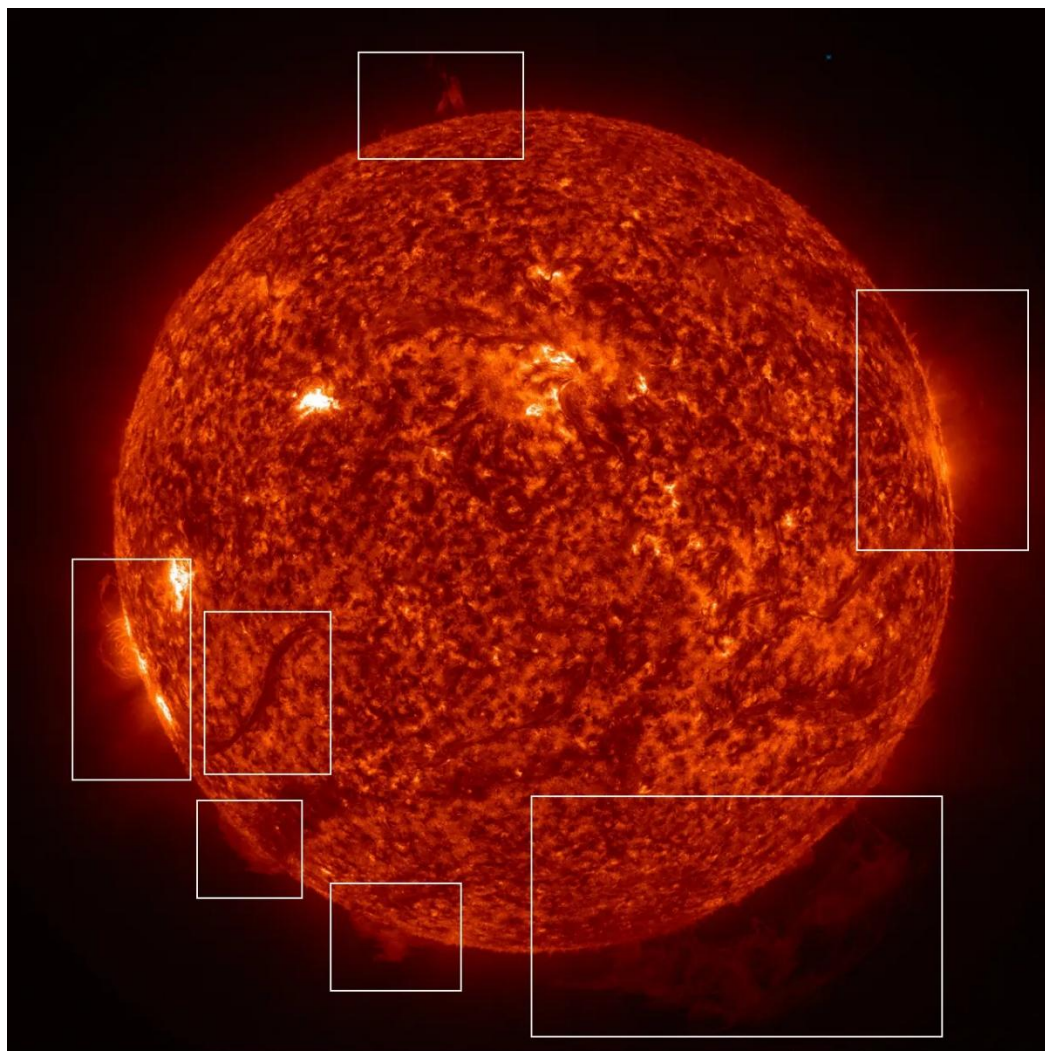


Una sequenza di immagini tratte dalle nuove simulazioni al computer. La protuberanza, simile a una fiamma, si estende fino a circa 20mila chilometri nella corona e cambia continuamente forma. Di tanto in tanto, parte del suo materiale "ricade" negli strati inferiori del Sole (immagine D). Crediti: Mps

Nonostante il loro aspetto delicato, sono enormi "masse di materia": **la loro densità supera di oltre cento volte quella della corona circostante**. In un certo senso, è come se una montagna gigante fosse sospesa a mezz'aria. Le protuberanze possono rimanere stabili per settimane o addirittura mesi, ma

presentano anche un potenziale esplosivo: se non svaniscono silenziosamente, culminano in una massiccia eruzione durante la quale il Sole scaglia particelle cariche nello spazio. E se la nube di particelle si espande verso la Terra, può scatenare violente tempeste solari.

In un recente articolo pubblicato sulla rivista *Nature Astronomy*, i ricercatori del Max Planck Institute for Solar System Research (Mps) in Germania presentano uno studio su come si formano le protuberanze solari e su quale sia il **segreto della loro longevità**. I loro risultati rivelano che sono all'opera molteplici processi che mantengono un equilibrio costante tra la perdita e l'apporto di materia.



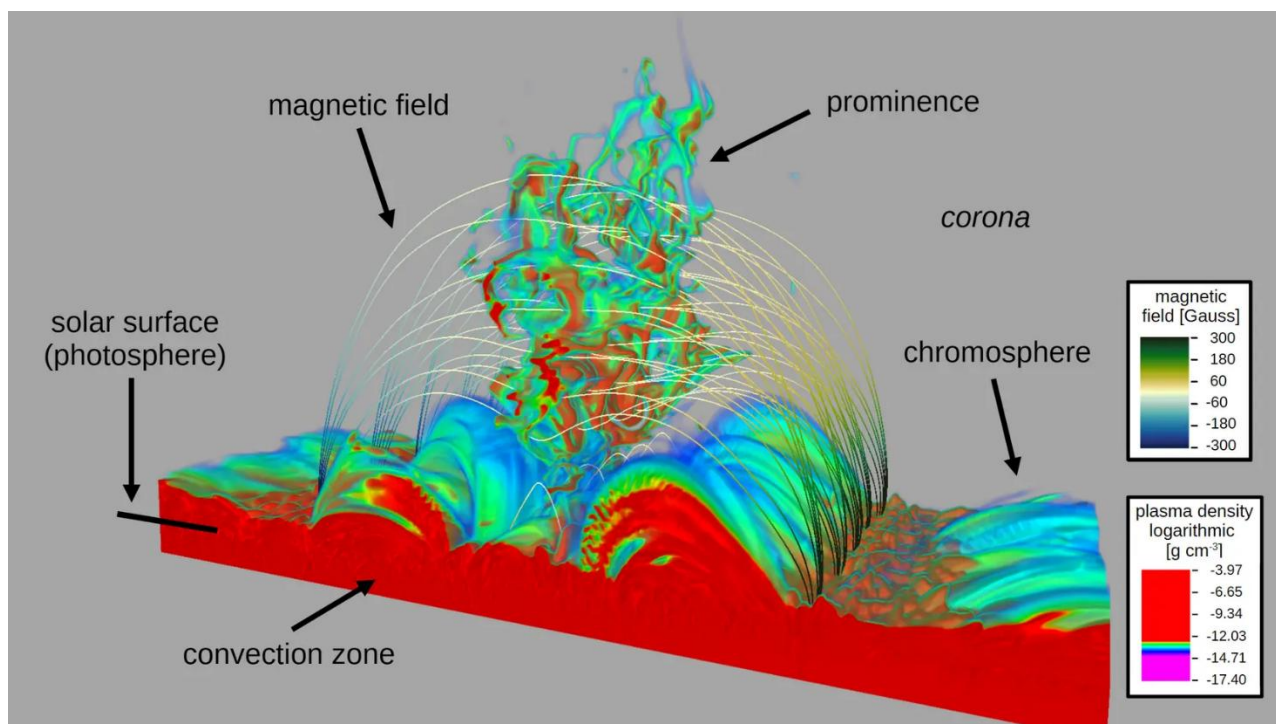
Le protuberanze solari assumono una grande varietà di forme e dimensioni, talvolta anche contemporaneamente, come dimostra in modo impressionante questa immagine del Sole dell'11 febbraio 2014. Mentre la maggior parte delle protuberanze assomiglia a fiamme fluttuanti, altre assumono una forma ad anello. Le protuberanze ai margini del Sole appaiono luminose all'osservatore, mentre quelle sul disco solare appaiono scure. Crediti: Nasa/Sdo/Gsfc Visualization Studio/Virtual Solar Observatory; white frames: Mps

Attraverso complesse simulazioni al computer, i ricercatori modellano l'interazione tra i campi magnetici e il plasma all'interno del Sole. Nel farlo, prendono in considerazione non solo l'atmosfera solare, dove si manifestano le protuberanze, ma anche, per la prima volta, gli strati più profondi e più freddi della nostra stella. Lì, al di sotto della superficie visibile del Sole, flussi turbolenti di plasma generano il complesso campo magnetico del Sole, in costante mutamento, che si estende fino alla corona.

«Nell'atmosfera solare, il **campo magnetico è la forza motrice**. Inoltre, svolge un ruolo decisivo in tutti i processi che contribuiscono alla formazione e al mantenimento delle protuberanze», spiega **Lisa-Marie Zeßner-Ondratschek**, ricercatrice dell'Mps e prima autrice della pubblicazione. Altrettanto determinante è il gradiente di temperatura all'interno di questi strati. Con una temperatura massima di 20mila gradi, l'atmosfera solare inferiore – la cromosfera – è significativamente più fredda della corona; la superficie solare sottostante raggiunge appena i seimila gradi.



Per i suoi calcoli, la ricercatrice si è concentrata sulle protuberanze più piccole, che si estendono “solo” fino a ventimila chilometri nella corona. Ha ipotizzato un’architettura del campo magnetico che spesso accompagna le protuberanze: le linee del campo magnetico assumono la forma di un doppio arco nella corona. Assomigliano alle due gobbe di un dromedario o a due montagne adiacenti in una catena montuosa. **La protuberanza si forma nell’avvallamento tra le “gobbe”.**



Le nuove simulazioni al computer si basano su una struttura del campo magnetico spesso associata alle protuberanze: le linee del campo magnetico nella corona formano un doppio arco con una leggera depressione al centro. Come dimostrano i calcoli, la protuberanza, simile a una fiamma, si forma in questa depressione e vi rimane intrappolata. Sono stati presi in considerazione tutti gli strati rilevanti del Sole, dalla corona, l’atmosfera esterna del Sole, fino a parti della zona di convezione al di sotto della superficie solare. Crediti: Mps

Come dimostrano le simulazioni al computer, è una sorta di processo di iniezione a mettere in moto la protuberanza. Spinta da movimenti turbolenti del campo magnetico su piccola scala, la cromosfera espelle raffiche di plasma freddo; questa massa fluttuante rimane intrappolata nell’avvallamento del campo magnetico nella corona. A questo punto entra in gioco la sofisticata logistica di rifornimento delle protuberanze: sebbene parte del plasma freddo “piova” ripetutamente negli strati sottostanti, due processi compensano le perdite: il materiale viene regolarmente espulso dalla cromosfera; inoltre – sebbene in misura minore – il plasma caldo fluisce dalla corona lungo le linee del campo magnetico verso l’avvallamento, si raffredda e lì si “condensa”.

«I nostri calcoli mostrano, in modo più realistico che mai, come entrambi i processi interagiscano per rifornire le protuberanze di materiale e mantenerle così in vita», dice Zeßner-Ondratschek. Le simulazioni precedenti, che avevano considerato solo l’atmosfera solare, erano in grado di modellare principalmente la condensazione nella corona. La nuova pubblicazione colma quindi una grave lacuna nelle nostre conoscenze e dimostra in modo impressionante che anche i processi all’interno del Sole sono cruciali per comprendere – e forse un giorno prevedere – la natura eruttiva della nostra stella.

**Maura Sandri**

<https://www.media.inaf.it/2026/04/24/logistica-protuberanze-solari/>

Lisa-Marie Zeßner, Robert H. Cameron, Sami K. Solanki e Damien Przybylski, “Self-consistent numerical simulations for the formation and dynamics of solar prominences”, *Nature Astronomy*, published: 22 April 2026

Ronny Keppens, “A giant leap for virtual solar prominences”, *Nature Astronomy, News & Views*, published: 22 April 2026