

**FILAMENTI BIANCHI POLIMERICI: UN'ANALISI CRITICA – aggiornato 2025. Dr. Samuele Venturini**

Sono bianchi, lunghi, appiccicosi e possono essere facilmente scambiati per ragnatele, della famosa seta prodotta dai ragni. Stiamo parlando di filamenti bianchi che dal sottoscritto e da altri ricercatori vengono definiti polimerici e in questo articolo ne spiegheremo la probabile origine e il motivo di queste ed altre loro caratteristiche.

In questa sede vorrei prendere in considerazione tre principali ipotesi che potrebbero spiegare l'origine e la funzione di questi filamenti. La prima riguarda i capelli d'angelo o bambagia silicea, un fenomeno riconosciuto in ambito ufologico che consiste nella caduta di sottili fili in concomitanza con il passaggio, spesso a bassa quota, di OVNI (Oggetti Volanti Non Identificati). Un evento storico di questo tipo è accaduto nel 1954 a Firenze. Nonostante questi filamenti si dissolvano in brevissimo tempo e a contatto con le mani, è stato comunque possibile analizzarli in un laboratorio dell'Istituto di Chimica Analitica dell'Università di Firenze. Il referto indicava questi campioni come strutture macromolecolari contenenti boro, silicio, calcio e magnesio e ipoteticamente potrebbe essersi trattato di vetro borosilicato.

La seconda ipotesi indica questi filamenti come ragnatele prodotti dai ragni durante la migrazione, il fenomeno denominato ballooning. Infine la terza ipotesi illustra la natura artificiale, nanobiotecnologica, di questi filamenti.

Sulla base dei miei studi, ma anche di quelli eseguiti da altri ricercatori indipendenti, vorrei approfondire l'analisi relativa a queste due ultime ipotesi e lasciare come di consueto al lettore degli ottimi spunti di riflessione che saranno utili ad intraprendere ulteriori indagini per meglio comprendere questo fenomeno.

**Ragni, ragnatele e ballooning**

I ragni o aracnidi sono animali invertebrati appartenenti al phylum degli artropodi. Soltanto gli animali appartenenti a questo phylum sono in grado di secernere la seta che consiste in una lunga catena proteica prodotta all'interno di apposite ghiandole in forma liquida che si solidifica a contatto con l'aria. La seta è dunque composta da amminoacidi (principalmente glicina, alanina e serina) e da pirrolidina, idrogeno fosfato di potassio e nitrato di potassio. Queste

ultime tre sostanze rendono la ragnatela igroscopica, acida e le conferiscono una proprietà antibatterica.

Una volta che la seta viene prodotta dalle particolari ghiandole nell'addome del ragno, viene espulsa all'esterno e subisce un processo di polimerizzazione. Mediamente il diametro dei fili di una ragnatela misura 1 – 4  $\mu\text{m}$  (micrometri). La ragnatela presenta anche ottime prestazioni di robustezza ed elasticità.



*FIG. 1 – Ragnatela naturale.*

La produzione della ragnatela è per il ragno un grande investimento di energie, pertanto una volta che la seta perda di funzionalità o risulti compromessa, viene mangiata e digerita da speciali succhi gastrici. In questo modo l'aracnide potrà riciclare la vecchia seta per produrne di nuova.

La ragnatela adempie a molte funzioni tra cui la cattura e la conservazione delle prede, il trasporto (ballooning), la formazione del cocon, l'adesione, ecc.

Essa inoltre è formata da due tipi di filamenti di seta: uno, rivestito da un liquido ghiandolare viscoso, è impiegato per catturare gli insetti; l'altro è composto da un particolare tipo di seta denominata "dragline" (filo teso) molto studiato dai ricercatori per le sue proprietà tecniche come resistenza, pressione, flessibilità ed elasticità.

Il ballooning è una modalità di dispersione dei giovani ragni che, dopo essere saliti su un punto elevato, si aggrappano con le zampe e dalle filiere emettono un filo di seta (filo aeronautico) che viene catturato dalle correnti d'aria calda ascensionali; quando la trazione è sufficiente,

allentano la presa e si lasciano trascinare dal vento. Nella maggior parte dei casi sarà la diminuzione del vento o l'abbassamento di temperatura a provocare l'atterraggio al suolo dove, liberatosi del filo, il ragno inizierà a muoversi liberamente.

Come osserva Brignoli (1982b), "questo tipo di dispersione, al limite tra il trasporto passivo e l'attivo (il ragno decide quando partire, ma non può influire un gran che sull'atterraggio) è ancora assai enigmatico: non si comprende infatti come mai le forme che ne fanno uso abbiano areali nel complesso abbastanza limitati".

Questa tecnica è utilizzata dai giovani ragni o dai ragni adulti di piccole dimensioni per colonizzare nuovi ambienti o sfuggire a condizioni sfavorevoli. Esistono degli articoli scientifici che hanno studiato proprio il ballooning. In alcuni di questi lavori viene dimostrato come la maggior parte dei ragni raggiungano un'altezza di 22 metri mentre a seconda della stagione le altezze possono arrivare fino a 45 metri circa. Sono stati prelevati piccoli ragni (pochi millimetri di lunghezza) anche a quote molto alte (circa 3000 metri di altitudine) sopra l'oceano perché sono stati trasportati dalle forti correnti ascensionali presenti lungo le coste. Il Dipartimento di Entomologia del Texas ha effettuato un campionamento di ragni che eseguono ballooning e ha dimostrato che il numero di individui catturati durante questo loro spostamento è maggiore nei pressi del suolo e molto minore verso l'alto (1500 metri).



Fig. 2 - In questa immagine possiamo notare un ragno (quello di destra) intento a tessere un filo per il ballooning. Come è possibile osservare, il suo spessore è molto piccolo e quasi impercettibile ad occhio nudo, oltretutto ha una trasparenza che lo rende quasi invisibile salvo la presenza di uno sfondo di contrasto. Ciò rappresenta anche quanto si evince dalla letteratura, difatti il filo deve possedere le caratteristiche opportune che lo rendano adatto alle diverse funzioni. La massa e la leggerezza sono alcune di queste.

Il vento e la carenza di risorse alimentari sono tra i fattori che scatenano il ballooning tra alcune popolazioni di ragni.

Tra le specie di aracnidi oggetto di uno studio scientifico proprio in merito alla migrazione, effettuano il ballooning tra maggio e settembre. Questo perché generalmente i ragni, essendo quasi tutti predatori, con l'approssimarsi della stagione fredda, e la conseguente diminuzione delle loro prede, tendono ad andare in letargo (diapausa).

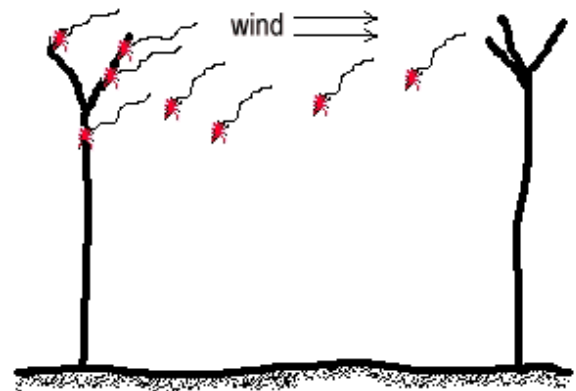
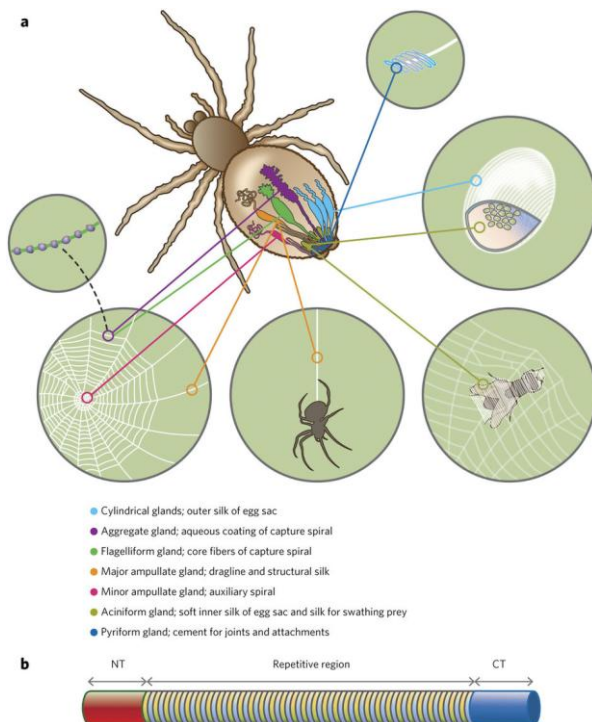


Fig. 3 - Questo schema mostra in modo inequivocabile la funzione e il meccanismo del ballooning: i ragni, soprattutto gli individui giovani e appena nati, secernono, da particolari ghiandole poste sull'addome, una dragline (e altri filamenti a seconda della specie) che in presenza di vento – fattore indispensabile e molto importante – permette loro di spostarsi in direzione orizzontale ma comunque sopraelevata dal terreno, alla ricerca di nuovi luoghi da utilizzare come riparo e come fonte di cibo.

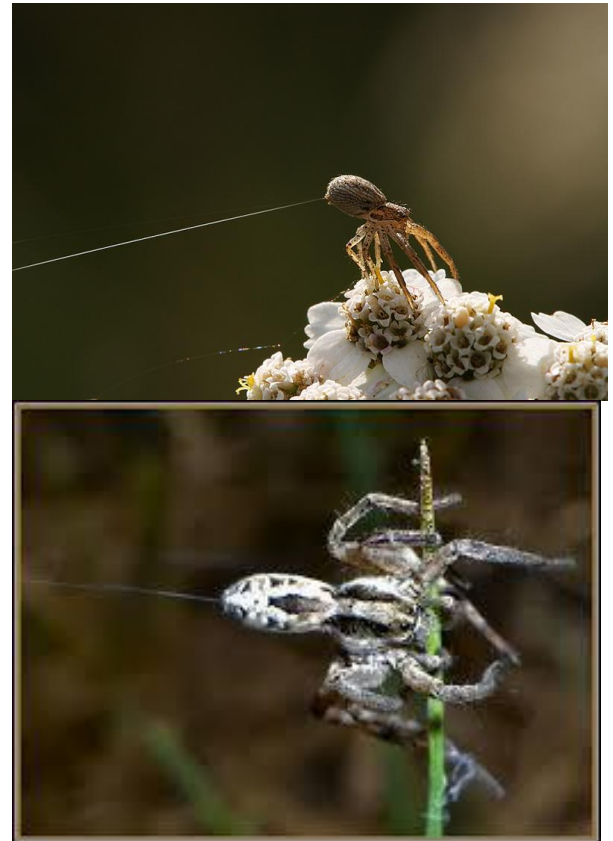
Il ballooning è un comportamento rischioso per i ragni perché li rende facili prede. Da qui l'importanza di non volare troppo in alto ma di

stare ad altezza vegetazione, di produrre una seta finissima, trasparente e di lunghezza minima, giusto l'indispensabile per svolgere appieno la propria funzione.



*Schema che dimostra i vari tipi di seta prodotti dalle rispettive ghiandole.*

Qui sotto alcuni esempi di reale ballooning (comportamento biologico):



### **Riassunto sulle caratteristiche morfo-funzionali del ballooning e dei filamenti bianchi polimerici (ragnacorde):**

I filamenti bianchi polimerici prodotti dai ragni (dragline) sono costituiti da proteine fibrose chiamate *spidroine*, che conferiscono alla seta proprietà straordinarie:

- **Resistenza meccanica:** la seta di ragno, a parità di peso, è più resistente dell'acciaio.
- **Elevata elasticità:** può allungarsi fino al 300% della sua lunghezza originaria senza rompersi.
- **Leggerezza:** un filo può essere lungo metri, ma è quasi impercettibile al tatto e alla vista.
- **Idrofobicità:** resiste all'acqua, permettendo ai ragni di utilizzare i filamenti in condizioni atmosferiche diverse.

I ragni secernono queste fibre da speciali ghiandole poste nell'addome. Le dragline vengono prodotte in particolare da due tipi di ghiandole:

1. Ghiandole major ampullate – responsabili della seta di ancoraggio e strutturale.

2. Ghiandole minor ampullate – producono seta di supporto.

Le funzioni principali delle dragline includono:

- Locomozione (ballooning): i ragni salgono su superfici elevate, alzano l'addome e rilasciano filamenti che, catturando l'aria, permettono loro di spostarsi su lunghe distanze.
- Costruzione della tela: spesso le dragline costituiscono il telaio principale delle ragnatele orbicolari.
- Filo di sicurezza: i ragni lasciano un filo dietro di sé mentre si muovono, utile in caso di caduta.
- Cattura delle prede: in alcuni casi, i ragni usano questi filamenti per costruire trappole.

Il fenomeno del ballooning permette ai ragni di colonizzare nuovi ambienti e si verifica maggiormente nei mesi autunnali, quando molti giovani aracnidi cercano nuove aree dove stabilirsi. Gli eventi di ballooning possono interessare intere popolazioni di ragni, con migliaia di individui che prendono il volo contemporaneamente. Questo spiega perché in certi periodi si osservano enormi accumuli di fili di seta sugli alberi, sui prati o persino nelle città.

#### **Filamenti bianchi: le analisi.**

In questi ultimi anni molte persone si sono accorte di uno strano fenomeno: la caduta di filamenti bianchi "anomali" dal cielo. Dalle innumerevoli testimonianze raccolte si sono potute constatare alcune caratteristiche comuni come la copiosità del fenomeno in vaste zone, la concomitanza del fenomeno con il sorvolo di aerei e una somiglianza alle normali ragnatele ma che a differenza di queste presentavano una maggior tenacità, appiccicosità, elettrostaticità ed un colore bianco intenso.

I filamenti raccolti in diverse località sono stati analizzati in laboratori biologici e sottoposti a identici test dando i medesimi risultati.

Le prime analisi di questi filamenti risalgono al 2002 e il referto fu che i filamenti parevano essere non di origine biologica bensì simili a quelli delle fibre tessili, di tipo sintetico (es. rayon). In particolare, detti filamenti presentavano lungo il decorso un'alternanza di segmenti chiari e di segmenti più scuri e la presenza, anche se non costante, di zone rifrangenti la luce; aspetto, quest'ultimo, tipico delle fibre tessili polimeriche di sintesi. Altri saggi successivi hanno dimostrato

che i filamenti potrebbero essere simili alla seta ma non si tratta di seta naturale. Questo concetto può essere meglio compreso leggendo i brevetti successivi.

E' esemplare la recente ricerca della valentissima giornalista indipendente Carolyn Williams Palit che chiarisce origine e natura delle "ragnatele artificiali", confermando in buona misura le ipotesi di vari ricercatori. I filamenti diffusi con gli aerei, soprattutto nella stagione autunnale, sono un nuovo tipo di chaff che si presta, però, a molteplici applicazioni, non essendo confinati questi ritrovati agli usi militari in senso stretto. Nei laboratori statunitensi, interventi su capre geneticamente modificate, hanno consentito di produrre una specie di seta che risulta un cross-over tra organico ed inorganico. Questo spiega perché i filamenti in oggetto, pur possedendo qualcosa di artificiale, sono bio-compatibili. L'agghiacciante scenario descritto dalla Palit, che ha attinto queste informazioni da siti governativi, investe la biotecnologia, l'industria chimica e dei biosensori per evidenziare come il Morgellons sia un'affezione legata a fibre biosintetiche e ad una possibile loro infestazione, a causa di microorganismi che attaccano sia gli Aracnidi sia le capre.

Qui di seguito invece riporto delle recenti analisi eseguite da un biologo mediante l'utilizzo di un microscopio a fluorescenza cui ho avuto modo di assistere personalmente.

Insieme al filamento bianco sono stati analizzati altri campioni di controllo come una ragnatela, un filo di cotone, un filo di lana, un capello, un pelo e un filo di fibra sintetica (poliestere).

Il filamento bianco presenta differenze strutturali rispetto agli altri campioni, sia a occhio nudo che al microscopio. Nello specifico vorrei mostrare ai gentili lettori il confronto tra il filamento bianco che io definisco polimerico (campione 1) e altri tre campioni di controllo: ragnatela (campione 2), cotone (campione 3), fibra sintetica (campione 4).

Analizzando le immagini dei campioni in luce trasmessa è possibile osservare una struttura ben organizzata e definita per i materiali 2, 3, 4, mentre per il campione 1 la morfologia è univoca e particolare. Aumentando gli ingrandimenti, le strutture di cui è composto questo filamento diventano sempre più piccole, come se ogni filo fosse un polimero in cui sono contenuti altri polimeri più piccoli. Arrivando ad un ingrandimento massimo di 100x (1000 volte se contiamo anche l'oculare) si raggiunge il limite



dello strumento e non si riesce a mettere bene a fuoco il campione. Ciò non risulta così evidente negli altri tre materiali in quanto composti da strutture ben definite. L'eventuale sfocatura di alcuni dettagli delle foto di questi tre campioni è dovuta alla tridimensionalità degli stessi e non alla loro dimensione. Il filamento bianco pare quindi avere una struttura nanometrica.

Anche la fluorescenza presenta differenze tra i quattro campioni.

Anche la consistenza esterna è completamente diversa tra il filamento bianco ed una ragnatela. Quest'ultima infatti si infrange facilmente e oppone relativamente poca resistenza ad essere spezzata da un oggetto. Il filamento bianco è incredibilmente più resistente, elastico ed appiccicoso.

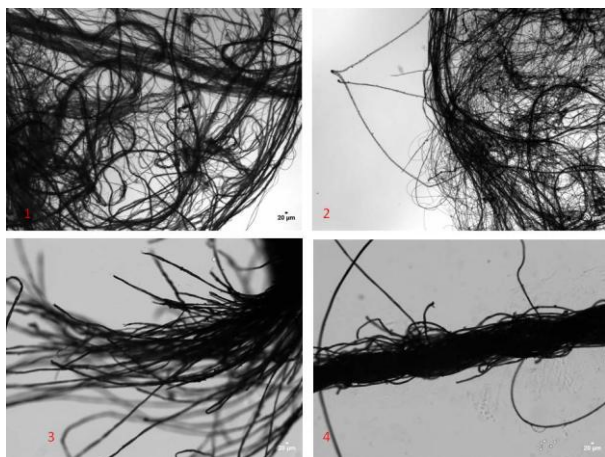


FIG. 4 – Ingrandimento 4x al microscopio dei seguenti campioni: 1) filamento bianco. 2) ragnatela. 3) cotone. 4) fibra sintetica. La barra bianca in basso a destra misura 20 µm.

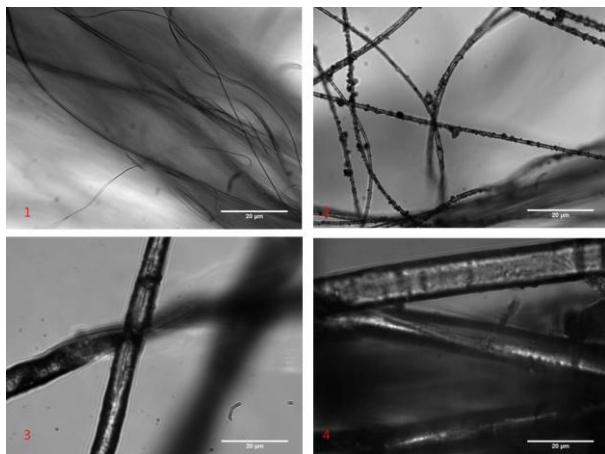


FIG. 5 - Ingrandimento 100x al microscopio dei seguenti campioni: 1) filamento bianco. 2) ragnatela. 3) cotone. 4) fibra sintetica. La barra bianca in basso a destra misura 20 µm.

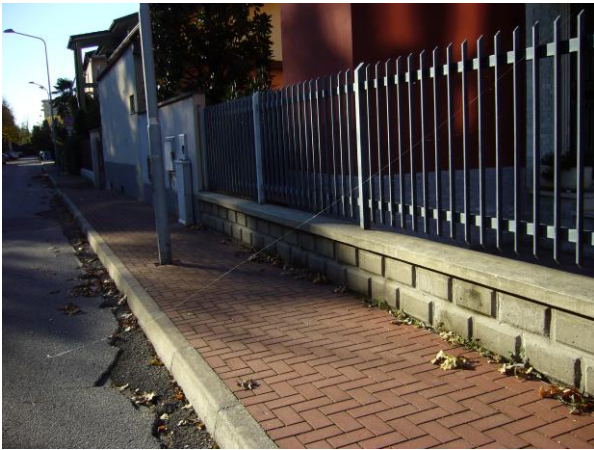
In data 14 novembre 2017 nel Sud Ovest di Milano si è osservato un evento massiccio di caduta di questi filamenti bianchi. Le caratteristiche salienti osservate sono le seguenti:

- Colore bianco acceso (Fig. 6)
- Lunghezza dei singoli filamenti considerevole (filamenti lunghi anche 4-5 metri – Fig. 7)
- Piegamenti su loro stessi a formare matasse (Fig. 8)
- Presenza di insetti alati e detriti vegetali su alcuni filamenti
- Trasporto passivo dovuto alle correnti
- Una volta “agganciato” l’ostacolo (albero, palo, auto, ecc.) non si spostano più (Fig. 9)
- Elevata elasticità e appiccicosità
- Ciclicità quasi regolare del fenomeno
- Similitudine con le ragnatele del propriamente detto ballooning sopra i campi agricoli (Fig. 10)

Su 100 prelievi dal 2008 al 2017, solo su 1 ho osservato chiaramente un ragno (Fig. 11). Non mi è possibile però stabilire se fosse stato il ragno a produrre il filamento oppure il ragno si è legato dopo allo stesso.



Fig. 6 – filamento bianco



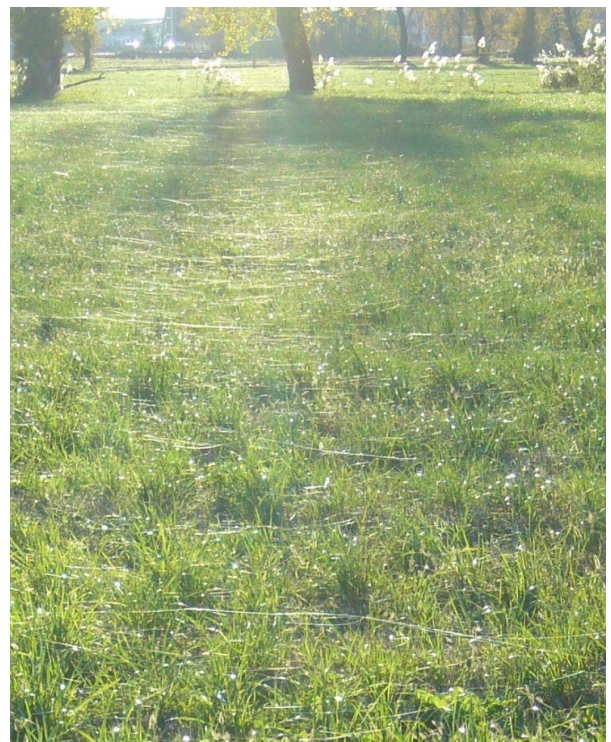
*Fig. 7 – lunghezza notevole del filamento bianco*



*Fig. 8 – matasse ripiegate di filamenti bianchi*



*Fig. 9 – trasporto dei filamenti bianchi*



*Fig. 10 – effetto naturale del ballooning*





*Fig. 11 – ragno appeso a un filamento raccolto in aria prima di toccare un ostacolo.*

**Biopolimeri o ragnatele geneticamente modificate? Cosa dicono i documenti scientifici.**

Vorrei elencare qui di seguito solo alcuni dei numerosi brevetti che trattano di filamenti di seta geneticamente modificata, di nanofibre e di nanomedicina. Ho voluto mostrare anche foto significative presenti all'interno dei documenti citati per poterle così confrontare con le ragnatele naturali e i filamenti bianchi raccolti di origine incerta.

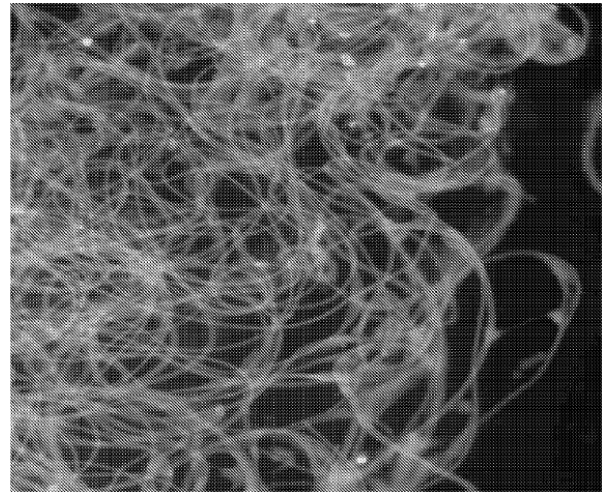
**US 7157615 – Production of biofilaments in transgenic animals.** Ovvero produzione di biofilamenti (come seta di ragno) negli animali transgenici.

**US 20060248615 – Synthetic spider silk proteins and expression thereof in transgenic plants.** Ovvero proteine sintetiche della seta di ragno e loro produzione in piante transgeniche.

**US 20050054830 – Methods and apparatus for spinning spider silk protein.** Ovvero metodi e apparecchi per la filatura delle proteine della seta di ragno, per fabbricare prodotti commerciali e industriali.

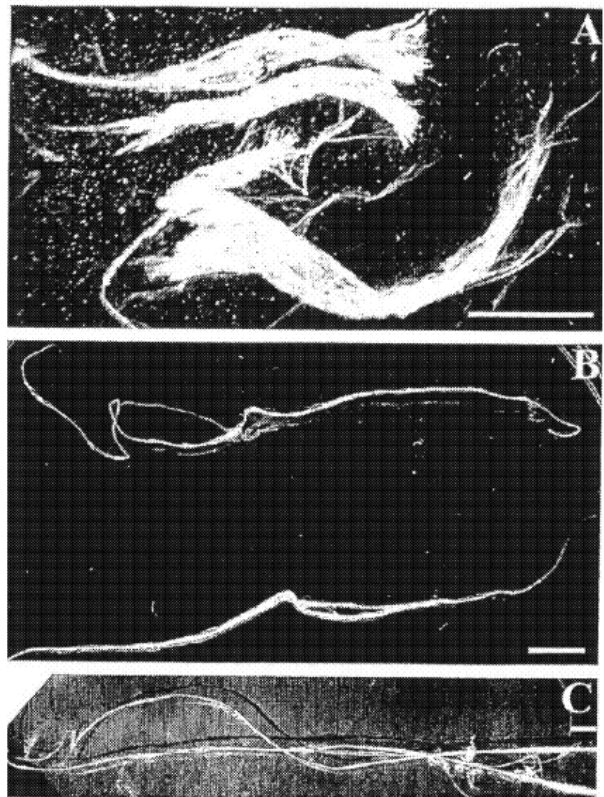
**US 8030024 – Synthesis of spider dragline and/or flagelliform proteins.** Ovvero sintesi della dragline di ragno e/o proteine flagelliformi da impiegare nei settori della biotecnologia e della medicina rigenerativa.

**US 20100228359 – Implant of cross-linked spider silk threads.** Ovvero impianto reticolato di fili di seta di ragno da impiegare per la produzione di impianti tissutali in campo medico.



**US 20090226969 – Spider silk proteins and methods for producing spider silk proteins.**

Ovvero proteine della seta di ragno e metodi per produrre le proteine della seta di ragno. Tale invenzione permette la produzione di proteine della seta di ragno idrosolubili e in grado di auto-assemblarsi in polimeri desiderati. Tra gli impieghi indicati figura la coltivazione di cellule eucariote sulle fibre create.



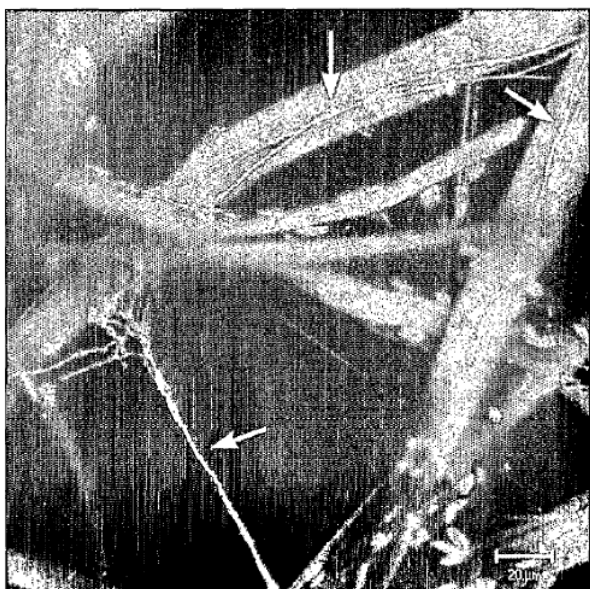
**US 20100191328 – Tissue-engineered silk organs.** Ovvero organi di seta mediante ingegneria tissutale. Questi organi sono non-immunogenici e biocompatibili.

**US 20050260706 – Silk biomaterials and methods of use thereof.** Ovvero biomateriali di seta e metodi di utilizzo degli stessi.

**US 20090123967 – Modified spider silk proteins.** Ovvero proteine della seta di ragno modificate. Viene indicato il potenziale uso nei campi della medicina e della cosmesi.

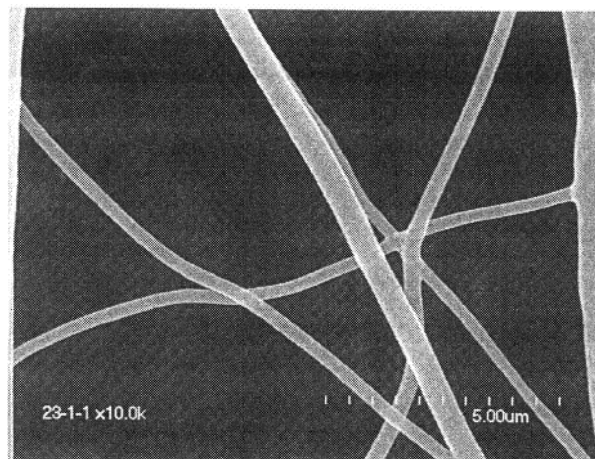
**US 201000298877 – Recombinant spider silk proteins.** Ovvero proteine ricombinanti della seta di ragno. L'utilizzo è previsto nei settori delle biotecnologie, della medicina, nel rivestimento degli aerei e in altri settori tecnici.

**US 20090099580 – Methods and apparatus for enhanced growth of peripheral nerves and nervous tissue.** Ovvero metodi e apparati per incrementare la crescita di nervi periferici e di tessuto nervoso.

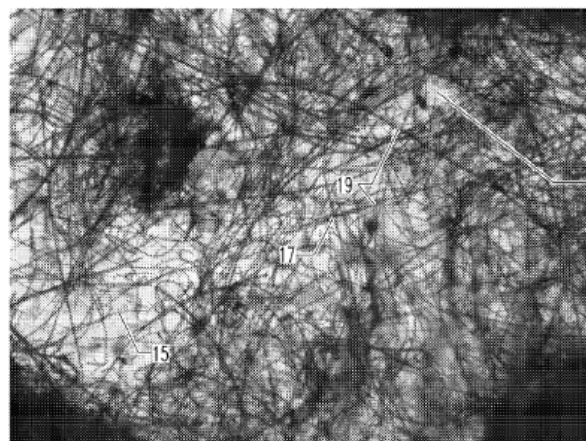


*In questa immagine tratta dal brevetto sopra citato si possono notare, segnalati dalle frecce, dei filamenti di crescita molto simili alle strutture presenti nei filamenti bianchi di ricaduta.*

**US 20080242171 – Production of nanofibers by melt spinning.** Ovvero produzione di nanofibre mediante filature fusa. L'impiego è previsto anche nel campo biomedico.



**US 201022136086 – Dynamic bioactive nanofiber scaffolding.** Ovvero strutture di nanofibre dinamiche e bioattive. Anche in questo caso l'impiego è previsto nel settore dei biomateriali e nella biomedicina (nanomedicina).



Anche questa immagine è fortemente paragonabile alle immagini acquisite al microscopio dei filamenti bianchi caduti in questi anni dal cielo.

**US 20080187996 – Nanofibers, nanofilms and methods of making/using thereof.** Nanofibre, nanofilm e metodi per produrre/usare gli stessi. Nella descrizione del brevetto viene indicato che queste nanofibre sono composte da ossidi metallici, polimeri organici e da una combinazione di entrambe. Tra i metalli compaiono il titanio, il manganese, il cobalto, lo zirconio, il molibdeno, il vanadio, il nichel, il ferro, ma anche composti di silicio. Il campo di applicazione è la nanomedicina.

Sulla rivista **Discover Magazine** del settembre 2011 è apparsa la notizia della creazione di una ragnatela artificiale mediante l'impiego di microrganismi (batteri *E. coli*) ingegnerizzati



geneticamente per produrre seta. La foto illustra un'incredibile somiglianza con i filamenti bianchi polimerici.

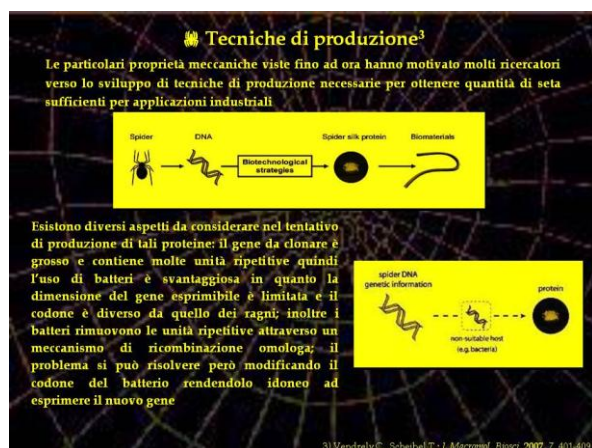


FIG. 4 – Capsula petri con dentro filamenti di seta di ragno artificiali. Università di Bayreuth, Germania.

### Le considerazioni, le ipotesi.

Sulla base dei dati tutt'ora raccolti si può ipotizzare che i filamenti bianchi non sembrano prettamente naturali perché le ragnatele o le dragline presentano caratteristiche differenti.

Si è sempre notata una copiosa ricaduta di questi filamenti bianchi prevalentemente durante le prime settimane del mese di novembre, proprio in concomitanza con l'aratura dei terreni agricoli. Valutando alcuni articoli di letteratura scientifica in merito al ballooning (tecnica che usano alcuni aracnidi per lo spostamento) e alle ragnatele, e in base alle osservazioni eseguite tramite la microscopia ottica e altre analisi, è possibile constatare che i filamenti bianchi polimerici non sembrano vere ragnatele e non siano di sicura origine naturale. Sono potenzialmente biocompatibili e presentano strutture a mio parere artificiali accostabili alla nanotecnologia.



*Le tecniche e i campi di applicazione sono variegati a livello biomedicale e industriale.*

Sulla base delle analisi fin qui svolte espongo i miei dubbi aventi solo il nobile scopo di stimolare ulteriori analisi e approfondimenti. Rimangono valide entrambe le ipotesi: si tratta di particolari tele di ragno atte al fenomeno del ballooning oppure è altro? Personalmente dopo anni di osservazioni mi sento di non escludere ambo le ipotesi chiedendo così maggiori dettagli.

È importante quindi indagare bene, con scrupolo, senza pregiudizi e senza dare nulla per scontato, su tutti quei fenomeni che potrebbero essere potenzialmente deleteri per la natura che ci circonda e quindi per noi stessi, ma anche per quei fenomeni che possono aiutarci a comprendere meglio il meraviglioso mondo della Natura che ancora ci serba innumerevoli sorprese.

### Analisi, Considerazioni e Integrazioni scientifiche 2021 – Filamenti Bianchi Polimerici di origine naturale: le ragnacorde.

Questo studio – il primo in Italia – segue quello precedente (aggiornato al 2017) redatto sempre dal sottoscritto a cui si aggiungono importanti analisi e considerazioni relative al fenomeno in oggetto. Nello specifico viene dimostrato e spiegato come questi filamenti bianchi polimerici non siano ragnatele nell'accezione etimologica del termine perché non svolgono la funzione idonea a tale sostanza e struttura (la ragnatela appunto). Nonostante ciò, queste osservazioni dirette e sul campo mi portano a indicare che, sulla base dei fatti e delle nuove conoscenze acquisite, i filamenti bianchi polimerici del 04 e 05 novembre 2021 siano strutture biologiche prodotte da alcuni aracnidi per svolgere una funzione particolare e idonea solo a tale conformazione. Dopo una descrizione dettagliata delle caratteristiche ambientali e biologiche dei suddetti filamenti e in assenza di altri dati evidenti, ho deciso di nominare tali strutture con il termine "ragnacorde" proprio per la particolare funzione cui sono deputati a svolgere.

### I parametri ambientali

Ho osservato in questi anni le cadute copiose di filamenti bianchi polimerici in maniera ricorrente e congruente alla stagione autunnale. Nella

fattispecie: nel mese di novembre, poco dopo perturbazioni atmosferiche, durante le giornate autunnali ma soleggiate e con la presenza di una leggera brezza. Tale periodo corrisponde – in termini fenologici e ecobioevolutivi di alcune specie di aracnidi – alla diffusione delle nuove generazioni di ragni per la colonizzazione di nuovi territori poco prima dell'inverno. Parallelamente a ciò si nota anche una congruenza con l'aratura e la coltivazione dei cereali autunno-vernini (orzo, segale, avena, triticale, frumento), ossia piante erbacee annuali il cui ciclo fenologico si inquadra nell'ambito di un'annata agraria che spazia dall'autunno all'estate.

Veniamo ai parametri ambientali in cui è stata effettuata la raccolta dei campioni e l'osservazione dei dati. I giorni sono stati il 04 e il 05 novembre 2021.

Il meteo provinciale:

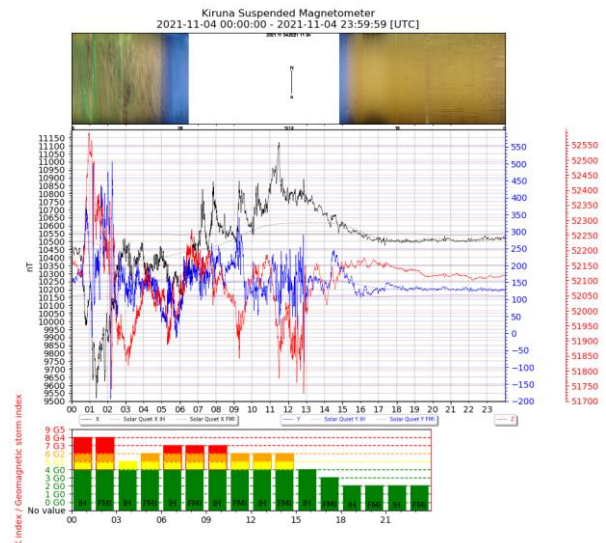


Il meteo locale (foto dell'autore):



Si notano i grossi cumulonembi relativi al fronte di maltempo trascorso (foto del 04/11/2021).

Il campo geomagnetico:



I giorni 03 e 04 novembre sono stati interessati da una forte tempesta geomagnetica causata da due CME (espulsioni di massa coronale) solari.

## Ballooning e elettromagnetismo

Alcuni ragni di famiglie diverse come *Linyphiidae* (ragni tessitori di lenzuola), *Araneidae* (ragni tessitori di sfere), *Lycosidae* (ragni lupo) e *Thomisidae* (ragni granchio), possono disperdersi per via aerea con l'aiuto dei loro filamenti (bianchi) polimerici. Se i ragni percepiscono le condizioni atmosferiche appropriate per il volo tramite il "ballooning" allora si arrampicano fino alla posizione più alta per loro e sollevano l'addome come se fossero in punta di piedi in modo da posizionare l'addome al livello più alto e tessendo i filamenti ossia le ragnacorde. Un altro metodo di decollo è chiamato "rafting" in cui i ragni rilasciano le ragnacorde da una posizione sospesa, facendo affidamento sulla loro dragline. Il ballooning viene efficacemente utilizzato dai ragni (soprattutto i giovani dopo la schiusa delle uova) per evitare il cannibalismo nel loro nido dato che sono densamente popolati per via dell'alto numero di uova deposte (per assicurare il successo della specie). Viene anche effettuata la dispersione per evitare la competizione per le risorse. Anche esemplari di ragni per la ricerca di un nuovo compagno effettuano il ballooning. La maggior parte dei ragni che praticano il ballooning misurano entro i 3 mm di lunghezza e 0,5-10 mg di peso, tuttavia esistono osservazioni di ballooning anche tra ragni più grandi che superano i 3 mm e i 5 mg di peso (tra i 10 e i 150



mg). In laboratorio sono stati osservati e misurati i filamenti di ballooning di alcuni ragni e le misure sono state:

- Filamenti composti da 50-60 fibre ciascuno;
- Lunghezza di filamenti pari a  $3,22 \pm 1,31$  metri (da 1,2 a 6,1 metri);
- Diametro: 121-323 nm (nanometri).

Quest'anno ho notato copiose ricadute di questi filamenti bianchi polimerici a ridosso di una CME e le conseguenti tempeste geomagnetiche. Mi domando se tali eventi geospaziali abbiano un ruolo effettivo nel ballooning e se gli aracnidi siano in grado di percepire il campo geomagnetico e in particolare le tempeste geomagnetiche così da valutare anche questo parametro nel comportamento di ballooning.

Gli aracnidi sono stati trovati anche a 4 km di altezza nel cielo e sono capaci di disperdersi per centinaia di km di distanza. Per fare ciò i ragni salgono su una prominenza, rilasciano i filamenti polimerici e appena arriva la giusta brezza volano via facendosi trasportare. Il circuito elettrico globale e il risultante gradiente di potenziale atmosferico forniscono una forza aggiuntiva che è stata proposta per spiegare il ballooning. Uno studio ha dimostrato che i ragni rilevano i campi elettrici in condizioni atmosferiche naturali. Il comportamento del ballooning è innescato da tali campi elettrici. I tricobotri inoltre rispondono meccanicamente ai campi elettrici e ai flussi d'aria. Altri studi hanno dimostrato come i ragni granchio per esempio utilizzino decine di fibre su scala nanometrica (da qui il termine "polimerici") per la loro dispersione aerea.

## I dati

Ragnatela: Struttura di fili sottili, costruita dai ragni per catturare la preda e formata da una sostanza (seta) contenuta negli organi sericipari allo stato fluido o gommoso la quale, appena emessa dalle filiere, si solidifica all'aria (può essere regolare, di forma e con disposizione dei fili uguale, o irregolare). [cit. Treccani].

Fatta questa premessa, elenco i dati raccolti in questi giorni di rilevamenti sul campo.

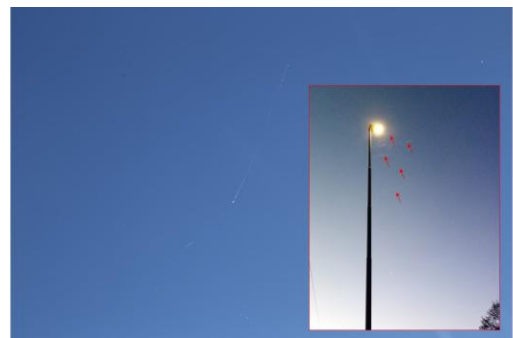
Osservazione dei campi agricoli al 04/11/2021 (foto dell'autore):



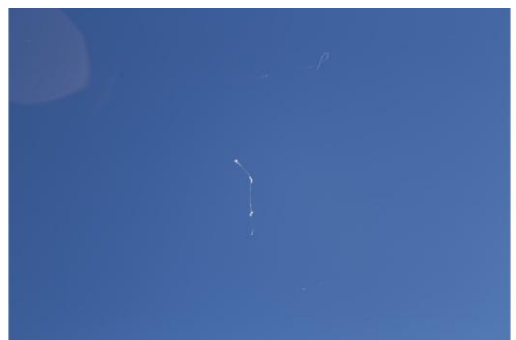
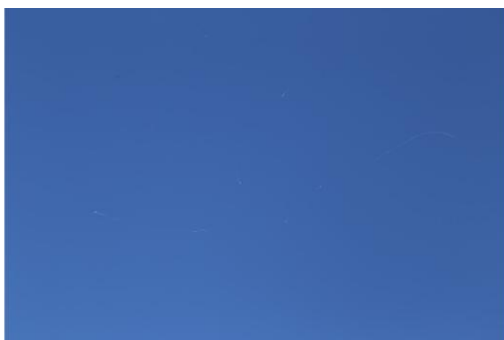
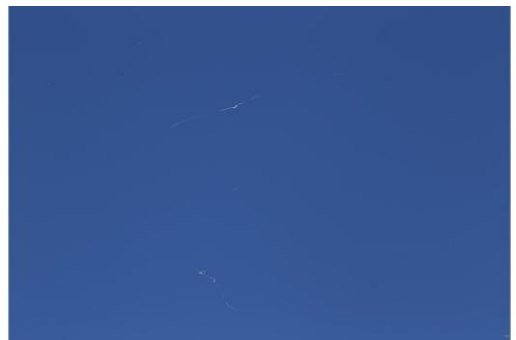
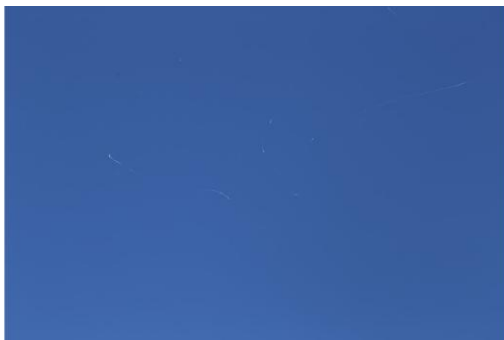
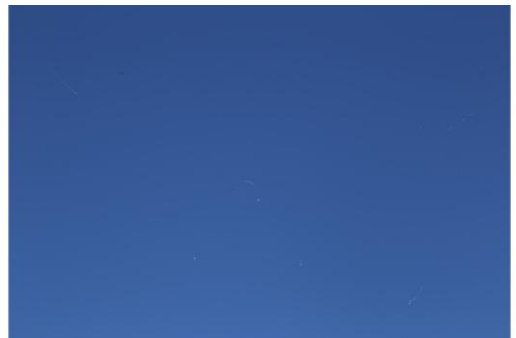
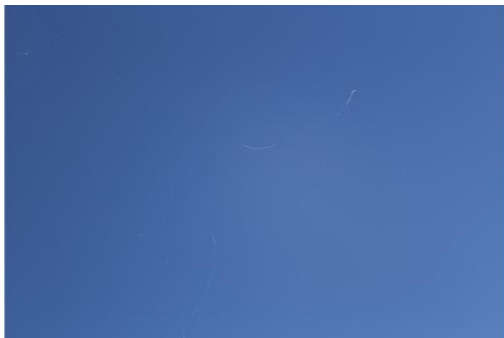
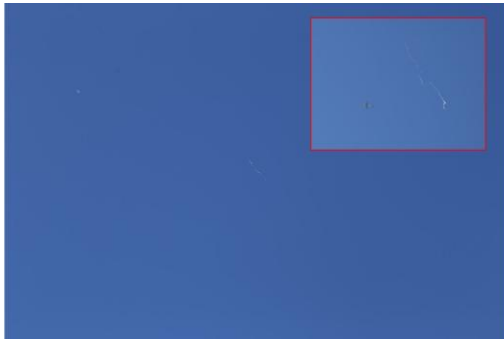
Si notano in controluce i filamenti, trasparenti ma rifrangenti la luce solare che ricoprono come ogni anno, aree molto vaste di campi agricoli e incolti. Qui sotto un ingrandimento di un filamento lungo un'ergine (foto dell'autore):



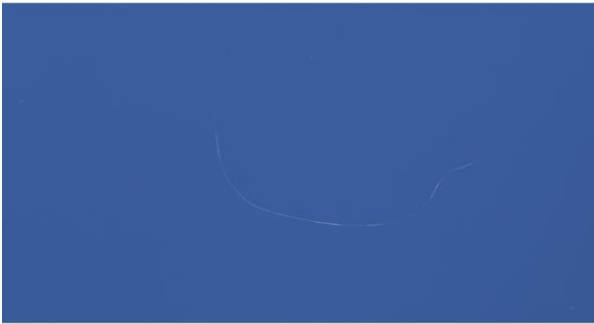
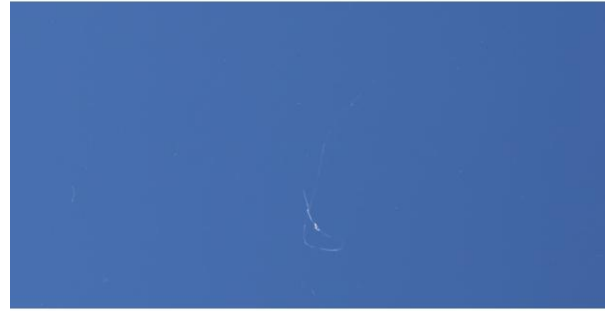
Dal cielo si sono osservati cadere in maniera copiosa moltissimi filamenti bianchi, molti dei quali si sono ritrovati attaccati, e in movimento simile a una bandiera, lungo le cime di alberi, pali della luce e cartelli stradali come mostrato in questa figura (le frecce rosse indicano i filamenti), (foto dell'autore):



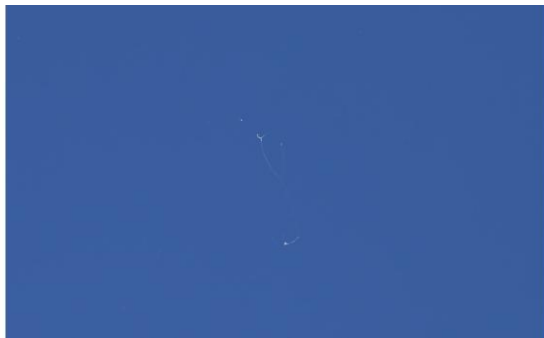
Il giorno 05/11/2021 dalle 11.30 circa alle 15.30 circa sono state fatte importanti e approfondite osservazioni sul campo. Di seguito un elenco di alcune immagini di filamenti bianchi polimerici che fluttuavano in aria (foto dell'autore):



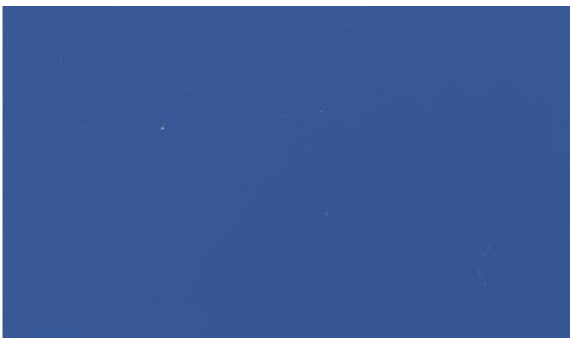
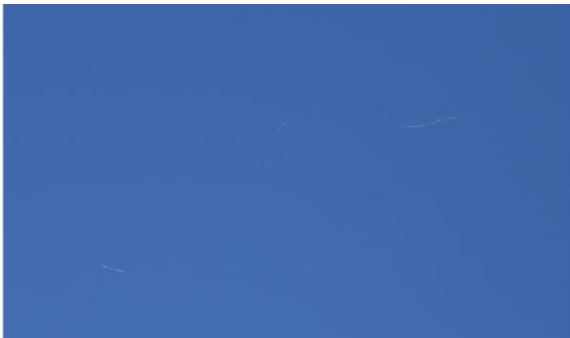




Altri filamenti sono stati fotografati mentre cadevano per terra percorrendo per diversi metri ad altezza uomo il piano campagna (foto dell'autore):



Alcuni di questi si sono fermati sia sul terreno naturale (o agricolo) che sull'asfalto. Qui sotto una immagine che ritrae un filamento bianco polimerico e a sinistra una provetta con all'interno dei campioni di tale materiale raccolto dallo scrivente (foto dell'autore):



I filamenti sembrano composti da due parti principali:

- Il **nodo**: avvolgimenti di filamenti che conferiscono la forma aggrovigliata alla struttura. Possono esserci più "nodi" in una stessa struttura. La presenza di due nodi, ciascuno all'estremità di un filamento bianco polimerico, tende a piegare la corda (per esempio a U, a S, a

O, oppure a strutture multiple o combinate alle precedenti).



Ciò interferisce con l'aerodinamica del filamento, dei parametri ambientali e, quindi, influisce sul trasporto dello stesso.

- La **corda**: la parte più lunga alla cui estremità è generalmente attaccato il ragno.

Struttura **nodo-corda** di un filamento a mezz'aria (foto dell'autore):

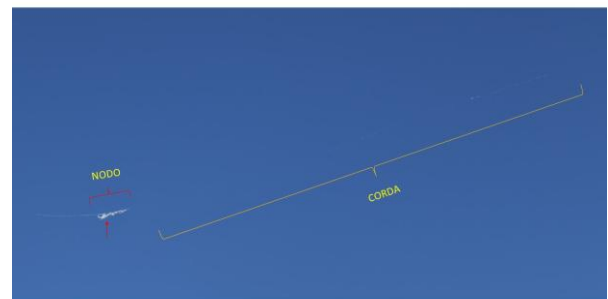


Ipotizzo che una funzione del nodo principale (ossia quello più grosso e aggrovigliato) possa essere quella di fungere da "peso" all'intera struttura per sfruttare la gravità e permettere al ragno così di avvicinarsi verso il basso e ridurre al minimo la permanenza fluttuante in aria (come mostrato nella figura sottostante).



L'atterraggio potrebbe essere dipendente dalle interazioni elettromagnetiche con il suolo. L'urbanizzazione, la presenza di automobili e di oggetti metallici in grado di facilitare la conduzione elettrica (macchine, lampioni, ecc.) può influenzare il sito di atterraggio e quindi condiziona il successo di sopravvivenza degli aracnidi.

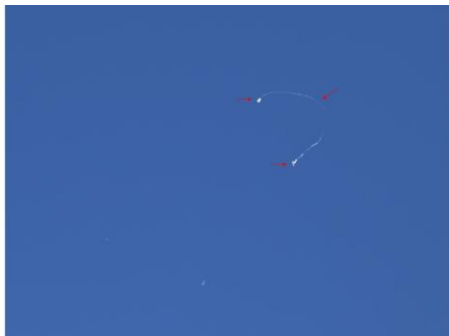
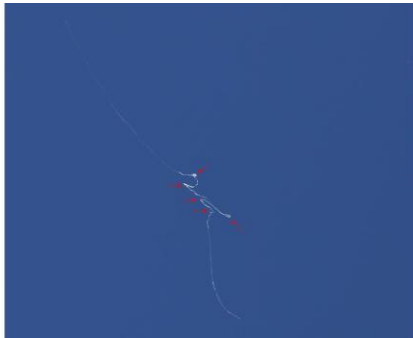
Qui sotto è illustrata la struttura "nodo-corda" di un tipico filamento bianco polimerico (foto dell'autore):



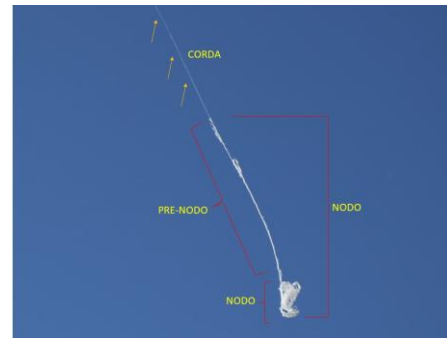
Di seguito invece un elenco di immagini rappresentative della funzione dei nodi e delle corde. Mentre i nodi intermedi hanno una funzione prevalentemente strutturale (i ripiegamenti del filamento), le corde potrebbero servire primariamente al volo sia in termini dinamici che di fluttuazione nell'aria. Il nodo principale, quello più grosso, oltre a fungere da "peso" promuovendo la direzione verso il basso (e quindi l'atterraggio del filamento stesso) svolge anche una funzione di "àncora" ossia favorisce l'ancoraggio appunto ai supporti appuntiti come rami, pali e simili. Ricordo che le punte (di alberi, rami, foglie, oggetti) manifestano quel fenomeno fisico che va sotto il nome "potere disperdente delle punte". Significa che gli oggetti (naturali e/o artificiali) sono caricati elettricamente. Interagiscono cioè in termini elettromagnetici con i filamenti bianchi polimerici.



Si elencano alcune immagini esplicative delle caratteristiche sopra citate (foto dell'autore):



Caratteristica di un filamento in cui si può osservare anche la presenza di un "pre-nodo" ossia una sottostruttura del nodo che conferisce determinate proprietà al filamento stesso (foto dell'autore):



## I ragni

Ho osservato piccoli ragni effettuare la produzione dei filamenti da ballooning su posizioni rialzate presso gli argini in ambiente rurale mediante la tipica posizione del *tip-toe* e prendere il volo con la giusta corrente d'aria in arrivo. Ho osservato piccoli ragni effettuare ballooning e quindi fluttuare nell'aria con filamenti trasparenti (non bianchi) ma ho visto anche ragni di medie dimensioni effettuare ballooning appesi a questi filamenti bianchi polimerici.

Questa foto ritrae un ragno che mi è parso di vedere a occhio fluttuare con un filamento bianco polimerico (dato da confermare), (foto dell'autore):



Questo invece è un ragno ritrovato nella zona di ricaduta di copiosi filamenti bianchi polimerici (foto dell'autore):



Ipotizzo che i ragni di medie dimensioni producano un particolare tipo di filamento polimerico adatto a interagire con le condizioni atmosferiche (umidità, correnti, pressione e soprattutto elettromagnetismo).

Tendenzialmente i filamenti bianchi polimerici presentano una parte lunga filamentosa e una parte terminale aggrovigliata che funge anche come un "paracadute" e che fornisce alla struttura le caratteristiche di una maggior permanenza in aria, in quota e di trasporto. L'appiccicosità dei filamenti ha la funzione di far aggrappare (atterrare) la struttura con il ragno su supporti verticali alti, in particolare la chioma degli alberi, così da poter trovare subito rifugio e nascondersi da eventuali predatori.

I rilevamenti sul campo hanno dimostrato come effettivamente sia valida e confermata l'ipotesi che sicuramente i filamenti bianchi polimerici osservati il 04 e il 05/11/2021 siano di origine naturale.

Esistono inoltre due tipi di filamenti o "ragnacorde":

- I filamenti bianchi polimerici: con molta probabilità prodotti da ragni di medie dimensioni. Si definiscono tali se vi sia presente una porzione comunque evidente (piccola o grande che sia) di nodo o corda bianchi.
- I filamenti trasparenti polimerici: prodotti dai ragni di piccole dimensioni come quelli mostrati nelle figure sottostanti.

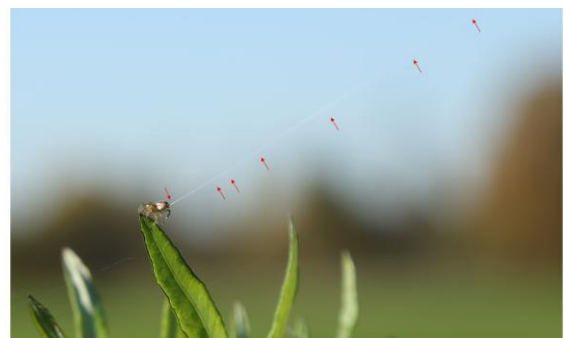
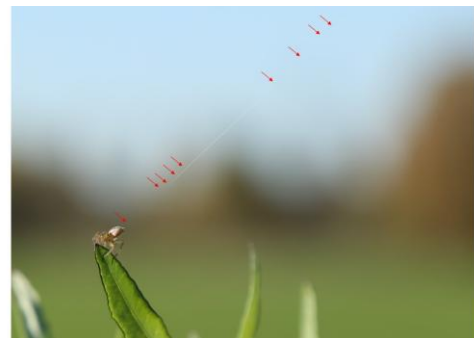
Il ragno di piccole dimensioni ripreso con la fotocamera mentre effettua il ballooning (foto dell'autore):



Alcune sequenze del ballooning del ragno sopra fotografato (foto dell'autore):



Si noti in controluce, e in riflesso, il filamento polimerico (foto dell'autore):

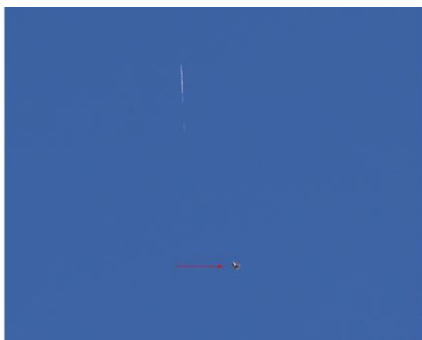




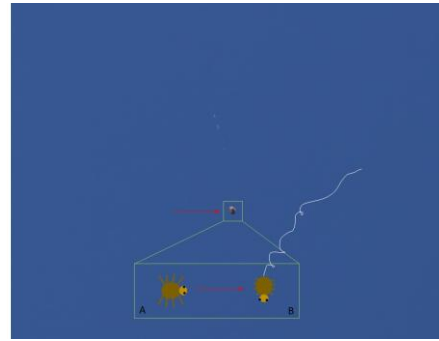


A occhio nudo si sono osservati prevalentemente piccoli ragni appesi a questi filamenti. Nello specifico i piccoli ragni presentavano filamenti trasparenti polimerici, mentre la stragrande maggioranza delle volte i filamenti bianchi polimerici fluttuavano senza apparentemente la presenza dell'aracnide. Sono stati osservati comunque ragni di medio-piccole dimensioni sui filamenti bianchi polimerici.

Qui due scatti fotografici che dimostrano la presenza del ragno nei filamenti da ballooning (foto dell'autore):

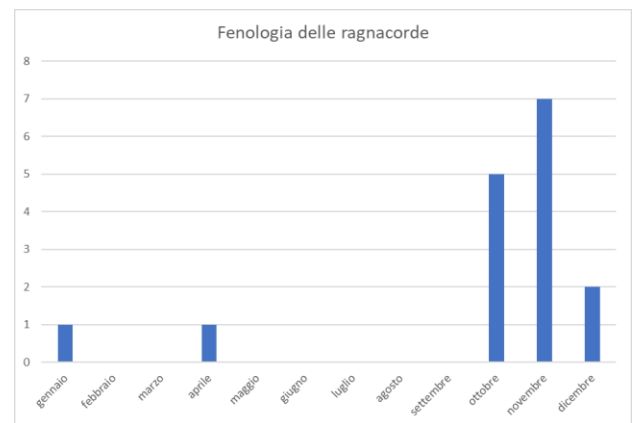


Osservando da vicino la dinamica del ballooning ho notato che il ragno mentre è in volo assume una posizione "a uovo" ossia raggomitola le zampe verso il proprio corpo così da assumere una forma geometricamente più sferica possibile. Presumo che ciò sia un comportamento atto a evitare il più possibile attriti e turbolenze durante il trasporto (foto dell'autore):



## Fenologia

Dal 2009 al gennaio 2025 ho preso nota dei giorni e dei periodi in cui ho osservato in provincia di Milano (e sulla base di testimonianze oculari raccolte anche a Roma) la presenza di ragnacorde. Come si può notare è stata misurata una particolare fenologia che corrisponde proprio al comportamento del ballooning. I mesi in cui appare con alta frequenza il fenomeno in questione sono proprio quelli autunnali: ottobre, novembre e dicembre (grafico 1). Essendo un fenomeno biologico è normale aspettarsi e osservare il manifestarsi di tale comportamento anche in altri periodi. Ciò dipende da numerosi fattori come la specie, l'etologia degli individui, le condizioni ambientali e la demografia degli aracnidi.



*Grafico 1 – distribuzione periodica dell'osservazione delle ragnacorde.*

## Dubbi e domande

Durante lo studio di questo interessantissimo, e per certi aspetti ancora poco conosciuto, fenomeno mi sono posto ulteriori quesiti che dovrò indagare anche grazie agli studi sia pubblici che privati di altri ricercatori.

Perché i filamenti assumono quelle configurazioni? Perché sono così lunghi? Perché investire così tanta energia in termini biologici? È rischioso per il ragno il ballooning in queste condizioni? Oppure le caratteristiche dei filamenti bianchi polimerici presentano dei parametri tali per cui il rischio di essere predati è ridotto al minimo? I raggi UV del Sole hanno un ruolo nell'interazione con questi filamenti? Penso per esempio al processo fotochimico di polimerizzazione a raggi ultravioletti.

In particolare mi chiedo: perché i filamenti presentano lunghezze, consistenze e conformazioni così differenti? Qual è l'origine di tali peculiarità? Esiste una interazione consapevole tra le condizioni del campo geomagnetico e il ballooning da parte dei ragni? Il colore delle ragnacorde (bianco acceso) serve come dissuasore per eventuali predatori?

#### **Ulteriori integrazioni su alcune proprietà delle ragnacorde**

Il processo mediante il quale i ragni sintetizzano e assemblano le spidroine per formare i filamenti può essere descritto come una forma di polimerizzazione naturale. Questo processo parte dalla sintesi dei monomeri (aminoacidi) in polimeri proteici (spidroine) grazie all'attività ribosomiale. Include l'auto-assemblaggio controllato in condizioni ambientali specifiche (all'interno delle ghiandole e durante l'estrusione) per formare strutture fibrillari. Produce materiali con proprietà meccaniche eccezionali, frutto di milioni di anni di evoluzione e ottimizzazione biologica.

Quindi, sebbene il meccanismo sia diverso rispetto alla polimerizzazione chimica industriale, il concetto di assemblaggio di unità ripetitive in una struttura lunga e funzionale è del tutto applicabile alla formazione dei filamenti di seta, rendendoli un affascinante esempio di polimerizzazione naturale.

I filamenti, durante il loro percorso aereo (ballooning), possono sviluppare una carica elettrostatica. Questa carica può far sì che il filamento attragga particelle e molecole presenti nell'aria, dando l'impressione di "appiccicosità" dovuta all'adesione di particelle contaminanti o di umidità. In ambienti con alta umidità, anche una fibra ormai consolidata potrebbe trattenere una leggera umidità superficiale, che, insieme ad eventuali residui delle secrezioni, può conferirle

una sensazione leggermente adesiva o "gommosa". Tuttavia, questo non rappresenta lo stato strutturale principale della seta, bensì una caratteristica superficiale influenzata dalle condizioni ambientali.

L'elettrostaticità dei filamenti di seta è il risultato combinato della loro composizione chimica (con gruppi ionizzabili nelle spidroine), del processo fisico di estrusione e asciugatura che facilita la separazione delle cariche, e delle interazioni triboelettriche con l'aria e le particelle presenti nell'ambiente. Questi meccanismi fanno sì che, una volta emessi e solidificati, i filamenti possano accumulare cariche elettriche, influenzando il loro comportamento nell'ambiente (ad esempio, favorendo l'adsorbimento di particelle e altre molecole). Le spidroine, le proteine che costituiscono la seta, contengono gruppi funzionali (ad esempio, gruppi amminici e carbossilici) possono ionizzarsi in funzione del pH e delle condizioni ambientali. Questo porta alla presenza di cariche sulla superficie del filamento.

La disposizione molecolare e la conformazione della fibra possono influenzare la distribuzione locale delle cariche, rendendo alcune aree più cariche di altre.

Quando il filamento viene estruso e interagisce con l'aria, il movimento e il contatto con particelle atmosferiche possono generare una separazione di cariche, fenomeno noto come effetto triboelettrico. Durante il volo, il filamento può strofinarsi contro particelle di polvere o altre superfici presenti nell'atmosfera, incrementando ulteriormente l'accumulo di carica elettrica.

Durante il passaggio dalla soluzione proteica liquida alla fibra solida, il rapido cambiamento di condizioni (evaporazione dell'acqua, variazione del pH, e shear stress nel dotto) può contribuire a generare o separare le cariche elettriche.

L'evaporazione dell'acqua non solo fissa la struttura della seta, ma può anche lasciare dietro di sé una superficie che tende ad accumulare cariche, soprattutto in condizioni di bassa umidità.

L'umidità può influenzare la mobilità delle cariche sulla superficie del filamento. In ambienti con bassa umidità, le cariche tendono a dissiparsi meno rapidamente, favorendo l'accumulo elettrostatico.

Le particelle di polvere o altri inquinanti possono essere attratte dalla superficie carica del

filamento, contribuendo al fenomeno dell'elettrostatica.

La seta dei ragni, inclusi i filamenti usati nel ballooning, si forma attraverso un processo di auto-assemblaggio che dà origine a strutture gerarchiche con componenti a scala nanometrica. Questi nanodomini (come le regioni di  $\beta$ -sheet) e le nanofibrille sono alla base delle proprietà uniche della seta. Le ragnacorde quindi, come correttamente osservato durante le mie analisi al microscopio, presentano effettivamente delle strutture su scala nanometrica, da qui il primo nome che ho conferito a tali formazioni biologiche ossia "filamenti bianchi polimerici".

Il colore bianco dei filamenti (ragnacorde) dei ragni deriva principalmente dalla loro organizzazione strutturale a scala micro e nanometrica, che provoca un efficace scattering della luce. In assenza di pigmenti o sostanze coloranti, è proprio questa dispersione della luce, dovuta alle disomogeneità interne e alla superficie irregolare del filamento, a conferirgli il caratteristico aspetto bianco e opaco. Le spidroine, le proteine che compongono la seta, sono intrinsecamente trasparenti o quasi incolori. Quindi, il materiale di base non possiede un colore proprio, come avviene per molti polimeri biologici. La seta è costituita da una rete gerarchica di domini ordinati (come i  $\beta$ -sheet) e zone amorfe. Questa organizzazione a scala micro e nanometrica crea molteplici interfacce interne con differenti indici di rifrazione. e disomogeneità e le interfacce interne (microfibrille, spazi vuoti, variazioni di densità) favoriscono la dispersione (scattering) della luce incidente in tutte le direzioni. Il fenomeno è analogo a quello che rende la neve bianca, in cui la luce viene diffusa in modo uniforme attraverso una rete di cristalli di ghiaccio. Il contatto del filamento con l'aria e l'eventuale presenza di piccole irregolarità o microvuoti sulla superficie possono contribuire ulteriormente al fenomeno di diffusione della luce, rafforzando l'effetto bianco. Poiché il materiale non assorbe selettivamente lunghezze d'onda della luce visibile, la luce bianca, contenente tutte le componenti spettrali, viene riflessa e diffusa. Durante il processo di filatura, le spidroine si auto-assemblano in modo da formare strutture fibrillari che, pur essendo estremamente sottili, creano una superficie con molteplici micro-irregolarità. Queste irregolarità, insieme al contrasto tra le parti dense e quelle meno dense, sono responsabili della riflessione

diffusa di tutta la luce, dando così un aspetto bianco al filamento.

Le ragnacorde prodotte per il ballooning interagiscono con l'ambiente in modo complesso. Il loro aspetto quasi trasparente o bianco e la loro struttura allungata possono fornire un certo grado di mimetismo e rendere difficile per alcuni predatori identificarle chiaramente. Tuttavia, questo non elimina il rischio: uccelli e altri predatori aerei possono comunque catturare ragni durante il volo, anche se il comportamento e le proprietà fisiche dei filamenti possono contribuire a minimizzare, almeno parzialmente, la probabilità di predazione. In definitiva, il ballooning rimane una strategia di dispersione che comporta dei rischi, ma i benefici in termini di colonizzazione di nuovi habitat superano questi svantaggi evolutivi.

### **Sostanze tossiche e geoingegneria (scie chimiche)?**

Alla luce delle nuove informazioni, dei nuovi studi che ho compiuto, delle ricerche e delle argomentazioni arricchite con i nuovi dati in mio possesso, reputo remota la possibilità che si tratti di filamenti polimerici artificiali o prodotti mediante biotecnologie. La fenologia, la stagionalità e le caratteristiche tipiche delle ragnacorde mi fanno propendere per l'origine naturale e biologica di questi filamenti bianchi polimerici.

Ho letto alcuni articoli in cui si sarebbero trovate sostanze tossiche nei filamenti bianchi polimerici e gli autori di tali articoli imputavano questo fenomeno a uno spargimento deliberato di sostanze inquinanti mediante l'uso di questi filamenti che verrebbero aviodispersi. Sebbene questa sia un'ipotesi da tenere in considerazione, le numerose prove e i numerosi dati raccolti fino a ora rendono tale speculazione alquanto improbabile, almeno fino a prova contraria. Rimane da capire perché siano state trovate sostanze tossiche come metalli e benzene per esempio durante le analisi chimiche di questi filamenti bianchi polimerici?

I filamenti vengono prodotti internamente dai ragni, mediante la sintesi di spidroine (proteine ad alto peso molecolare) all'interno di specifiche ghiandole. Durante questo processo, la composizione chimica è rigidamente determinata dalla sequenza degli aminoacidi (principalmente carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto e, in minor



quantità, zolfo), senza incorporare contaminanti esterni. Durante il ballooning, i ragni rilasciano questi filamenti mentre vengono trasportati da correnti d'aria che possono portarli a decine o centinaia di metri di altezza. A tali altitudini, i filamenti sono esposti a un ambiente atmosferico variegato, che può contenere particelle e molecole di diversa natura, tra cui benzene, metalli pesanti e altre sostanze inquinanti.

Come abbiamo visto poc'anzi i filamenti di seta possiedono proprietà superficiali interessanti: possono essere "appiccicosi" e sviluppare cariche elettrostatiche. Queste proprietà favoriscono l'**adsorbimento superficiale**, un processo simile a quanto osservato con la pioggia o la polvere del deserto, in cui le particelle inquinanti aderiscono alla superficie del materiale esposto.

È importante sottolineare che si tratta di un'adesione a livello superficiale e non di un'incorporazione nel reticolo polimerico della spidroina.

Se si raccolgono e analizzano i filamenti dopo il loro viaggio nell'atmosfera, è plausibile che si possano rilevare tracce di inquinanti (come benzene o metalli pesanti) che si sono depositati sulla loro superficie.

Alcuni studi hanno effettivamente utilizzato ragnatele (o simili strutture di seta) come indicatori ambientali per monitorare la presenza di metalli pesanti e altre sostanze inquinanti nell'aria.

In questo senso, la mia ipotesi risulta coerente: la ragnacorda, similmente a particelle atmosferiche come la polvere del deserto o le gocce di pioggia, potrebbe fungere da "trappola" per vari contaminanti durante il percorso aereo.

Quindi, anche se la composizione intrinseca dei filamenti (spidroine) non prevede l'inclusione di sostanze inquinanti durante la loro formazione, il lungo percorso nell'atmosfera e le proprietà superficiali (sticky ed elettrostatiche) possono portare all'adsorbimento di particelle e molecole presenti nell'ambiente, inclusi inquinanti come benzene e metalli pesanti. Questi contaminanti sarebbero rilevabili in analisi successive, ma rimangono depositi superficiali e non parte integrante della struttura proteica del filamento.

## Conclusioni

L'analisi di questi dati può spiegare il motivo per cui a livello microscopico i filamenti bianchi polimerici siano diversi dalle ragnatele in quanto

non si tratta appunto di ragnatele ossia di strutture adibite a quel ruolo (la predazione) bensì trattasi di strutture estremamente specializzate solo a quel tipo di comportamento ossia il ballooning. A tal proposito definisco per la prima volta e sulla base dei dati raccolti, un nuovo termine così spiegato:

**Ragnacorda:** Struttura di filamenti polimerici su scala nanometrica, prodotta da alcuni ragni, solo ed esclusivamente per effettuare il ballooning, allo stato fluido o "gommoso" la quale, appena emessa dalle apposite ghiandole, si solidifica all'aria (può essere di forma e con disposizione piuttosto variegata ma nella conformazione generale si notano sempre almeno un nodo e una corda). Subisce cioè un processo naturale di polimerizzazione.

Se si osserva una correlazione tra due o più fattori, ciò non significa che vi sia necessariamente un nesso di causa-effetto tra i medesimi. Potrebbero essere situazioni sovrapponibili o concomitanti ma indipendenti seppur interagenti.

Le altre ipotesi, compresa quella dell'origine aviodispersiva dei filamenti, rimangono valide, seppur in tale contesto scarsamente improbabile. Ulteriori studi potranno chiarire meglio la genesi, le caratteristiche e la dinamica evolutiva di tale fenomeno.

Nuove indagini potranno chiarire meglio lo studio dei filamenti bianchi polimerici.

## Alcuni Riferimenti:

- Moonsung Cho et al. - An observational study of ballooning in large spiders: Nanoscale multifibers enable large spiders' soaring flight – PLOS Biology, 2018
- Moonsung Cho et al - The Importance of a Filament-like Structure in Aerial Dispersal and the Rarefaction Effect of Air Molecules on a Nanoscale Fiber: Detailed Physics in Spiders' Ballooning - Integrative and Comparative Biology (2020)
- Spider Flight – uw.edu (2011)
- <http://www.aracnofilia.org>
- Meteorological Aspects of Spider Ballooning - BISHOP, LESLIE – Environmental Entomology, Volume 19, Number 5, October 1990, pp. 1381-1387(7)

- Dean, D. A. and W. L. Sterling. 1985. Size and phenology of ballooning spiders at two locations in eastern Texas. J. Arachnol., 13 :111-120
- A review of the evolution and mechanisms of ballooning by spiders inhabiting arable farmland - Ethology Ecology & Evolution 14: 307-326, 2002

## Supplemento 1

Tabella della fenologia delle ragnacorde in Italia dal 2009:

