

# La pioggia artificiale: che cosa è?

di Alberto Fortelli\* & Nicola Scafetta\*\*

## 1) Introduzione

Il 16 aprile 2024 gli Emirati Arabi Uniti (EAU), e in particolare l'area geografica di Dubai, hanno sperimentato piogge di estrema intensità, che hanno causato estese condizioni alluvionali e danni ingentissimi. Il 29 ottobre 2024 il Compartimento di Valencia (Spagna) è stato investito da una alluvione di smisurata entità, che ha causato danni enormi ed un numero elevatissimo di vittime. Tra le due località, poste a migliaia di km di distanza una dall'altra, potrebbe esistere, però, un fatto in comune: gli eventi meteorologici che le hanno investite sono stati addebitati da una parte dell'opinione pubblica, alle campagne sperimentali di insemminazione delle nubi volte ad indurre o incrementare la quantità di pioggia (cloud seeding). Gli Emirati Arabi Uniti hanno in corso campagne sperimentali di insemminazione delle nubi e l'alluvione del 16 aprile 2024 viene considerato come un evento frutto di una perdita di controllo sul processo da parte degli sperimentatori, un errore umano che ha avuto quale conseguenza precipitazioni con un tempo di ritorno ampiamente superiore ai 50 anni. Il tempo di ritorno è il numero di anni che mediamente intercorre tra l'occorrenza di due eventi estremi di pari caratteristiche di intensità.

Anche per il catastrofico evento di Valencia è stata richiamata questa possibile causa: infatti nel giorno dell'alluvione le correnti atmosferiche provenivano dall'Africa nord-occidentale e in quell'area geografica ricade il Marocco, nazione che da diversi anni sta portando avanti campagne sperimentali di insemminazione delle nubi. Alcune testate giornalistiche (ad esempio, *Il Messaggero* il 31 ottobre 2024) hanno riportato che le sostanze che vengono diffuse nelle nubi (in prevalenza Ioduro d'Argento) possano essersi spostate dalla zona delle sperimentazioni ed aver migrato verso le coste mediterranee della Spagna in seno ai venti che ruotavano in verso an-

tiorario intorno alla "Goccia Fredda" centrata sulla parte meridionale della penisola iberica, in prossimità dello Stretto di Gibilterra (Figura 1).

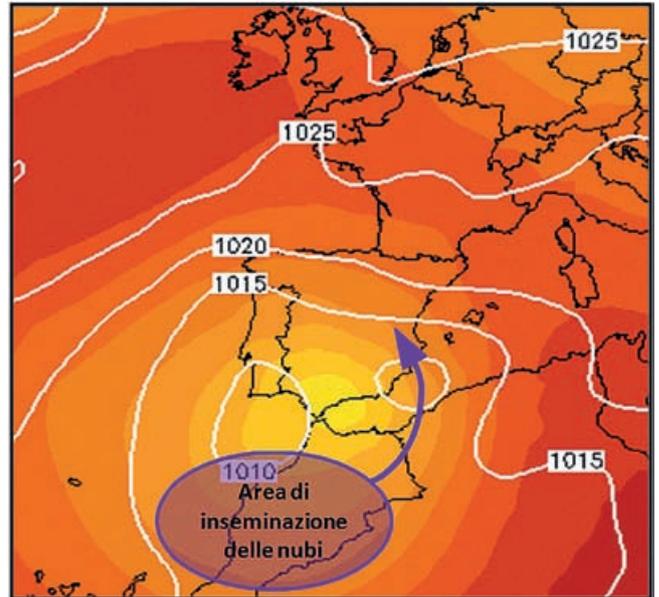


Figura 1. Il vortice depressionario alla quota isobarica di 500 hPa (gradazioni di giallo), rappresentativo della presenza di una "goccia" di aria fredda a tale quota.

L'insemminazione delle nubi viene vista, quindi, con molto sospetto da una larga fetta della popolazione, che inserisce queste tecniche tra quelle che concorrono al Cambiamento Climatico o ne sono parte integrante. Ma è da evidenziare che questa convinzione è del tutto infondata in quanto, anche ponendoci nell'ipotesi che tali campagne di insemminazioni funzionino alla perfezione, gli effetti configurerebbero una modificazione meteorologica a scala locale e non climatica, almeno in termini di stretto rigore terminologico. Ovviamente, bisogna non confondere eventi meteorologici, anche se estremi, con il cambiamento climatico.

Altri elementi di diffidenza sono dovuti al fatto che le particelle usate per insemminare le nubi, cadendo al suolo con la pioggia, potrebbero andare ad inquinare, raggiungendo poi le falde e potendo entrare nel ciclo vitale dell'Uomo; oppure che il processo di insemminazione non sia controllabile in maniera completa ed efficace e che possano esserci quindi eventi indesiderati, degli incidenti di percorso potenzialmente apportatori di danni anche gravi.

\* Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale (DICEA), Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Claudio, Napoli, Italia.

\*\* Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, Napoli, Italia.

Di seguito cercheremo di analizzare questi aspetti, attribuendo a ciascuno di essi un livello di fondamento scientifico.

## 2) Il fenomeno pioggia

La pioggia è un fenomeno che subisce delle notevoli oscillazioni da un anno all'altro ed il valor medio annuale relativo ad un periodo sufficientemente lungo per avere una significatività statistica ( $N > 30$  anni) è dato dalla somma di valori i cui estremi superiore ed inferiore possono anche essere tra di loro nel rapporto 3:1. Quindi la variabilità è una costante da cui è affetto il parametro climatico "piovosità annua" su una determinata area geografica, soprattutto se quest'ultima si trova alle latitudini medie (tra  $40^\circ$  e  $60^\circ$ ).

Quando si parla di pioggia artificiale molti sono portati, istintivamente, ad immaginare che su una determinata zona, arroventata da un Sole implacabile che splende alto nel cielo, a comando si possa indurre la formazione di nubi gonfie di pioggia che nel giro di pochi minuti rilasciano il loro benefico carico di acqua. Se le cose stessero così, già da tempo si sarebbe provveduto ad eliminare dai dizionari la parola siccità: come vedremo, purtroppo, le cose non stanno esattamente così. I numerosi esperimenti eseguiti hanno dato risultati che lasciano comunque spazio ad un ragionevole ottimismo, ma anche a serie preoccupazioni come sopra indicato.

Partiamo col dire che se non ci sono nuvole, nessuno al mondo, almeno per ora e per quanto è dato sapere, è in grado di produrle: i complessi fenomeni di fisica dell'atmosfera che portano alla produzione ed alla condensazione del vapor acqueo necessitano di quantità di energia così grandi che è anche difficile tradurre in cifre. La prima conclusione alla quale si può giungere è quindi la seguente: sul luogo ove si vuol far piovere ci devono già essere delle nubi. Questa affermazione, che dalla maggioranza delle persone potrebbe essere ritenuta esauriente, da coloro che hanno un minimo di conoscenza in campo meteorologico non può essere considerata soddisfacente per la sua genericità. Infatti, esistono diversi tipi e possibilità di classificazione delle nubi: nubi alte, medie e basse, nubi stratiformi, nubi a sviluppo verticale, nubi orografiche, ecc. Quanto da ultimo affermato ci consente di giungere ad una seconda importante conclusione: per far piovere le nubi ci devono già essere e, per giunta, esse devono avere dei requisiti ben precisi affinché l'inseminazione delle stesse possa dare dei risultati positivi.

A questo punto facciamo la seguente ipotesi: siamo in una giornata meteorologicamente caratterizzata dalla presenza di nubi che, "sulla carta", sono strutturalmente ed in condizioni fisiche adatte per poter essere inseminate e produrre conseguentemente pioggia. Una dizione più corretta potrebbe essere la seguente "... a produrre pioggia o ad incrementarne la quantità". Quest'ultima forma è più

corretta in quanto le nubi che sono "fertili" hanno molto spesso la potenzialità, anche senza inseminazione, di produrre precipitazioni piovose o nevose. Quindi, nel caso si intendesse valutare l'efficacia di una inseminazione, per ridurre l'incertezza dovuta a quest'ultima fondamentale considerazione, bisognerebbe far rientrare le inseminazioni nell'ambito di rigidi schemi di rilevamento di tutti i parametri che descrivono lo stato fisico dell'atmosfera in quella determinata giornata, per ricostruire quale avrebbe potuto essere l'evoluzione dei corpi nuvolosi in assenza di "trattamento inseminativo". Si può anche intuire che il risultato di una singola inseminazione non ci potrà mai dare la certezza che quanto osservato possa ricondursi all'intervento antropico, ma semplicemente ci fornirà un elemento informativo da assoggettare, insieme ad altri, ad una analisi di tipo statistico. Quindi, solo con periodi sufficientemente lunghi di osservazioni, condotte in maniera sperimentalmente corretta, si potrà giungere a conclusioni statisticamente significative in merito alla efficacia dei trattamenti di inseminazione eseguiti.

Sopra si è fatto riferimento alla significatività statistica dei risultati. Un corretto metodo di indagine prevede necessariamente l'individuazione di un confronto significativo. Un modo ottimale di condurre gli esperimenti potrebbe essere il seguente:

- 1) si individua un'area geografica sufficientemente estesa caratterizzata da un regime pluviometrico omogeneo e ben noto;
- 2) si suddivide tale area in due zone;
- 3) su una di esse (campione) vengono condotti gli esperimenti di inseminazione ed eseguite accurate misurazioni pluviometriche;
- 4) sull'altra (controllo) vengono eseguiti solo rilevamenti dei valori di pioggia caduti.

Se dopo un periodo di almeno qualche anno dovesse riscontrarsi una differenza significativa dal punto di vista statistico tra i valori rilevati nelle due zone (non addebitabile, cioè, ad una variazione casuale della piovosità), potremmo affermare che le inseminazioni hanno prodotto un aumento delle precipitazioni del 10, del 20 o del 30%.

Cercando di riassumere quanto sopra detto possiamo dire che la pioggia è possibile farla cadere solo quando sussistono le condizioni favorevoli: voler risolvere il problema della siccità su di una limitata area geografica mediante la pioggia artificiale (alias: far piovere sui campi inariditi di un consorzio agricolo) è una impostazione della problematica non corretta. Più ragionevole è affermare che si intende perseguire un aumento delle precipitazioni su determinate aree, al fine non solo di far piovere sulle coltivazioni in fase di rinsecchimento (questo sarebbe il massimo successo ipotizzabile) ma, soprattutto, al fine di ottenere incrementi di precipitazioni, anche in zone limitrofe (più favorevoli, per es., alle inseminazioni delle nubi), con conseguenti maggiori ricariche delle falde sotterranee e dei bacini super-

ficiali di accumulo per i diversi usi possibili (irriguo, industriale, consumo umano a valle di processi di potabilizzazione, ecc.).

Gli enormi benefici che possono derivare dalla caduta della pioggia in aree caratterizzate dalla ricorrente scarsità degli apporti di questa idrometeora sono immaginabili da chiunque.

È normale, quindi, che sin dai tempi remoti si sia cercato di trovare sistemi per condizionare l'andamento del tempo meteorologico e far cessare un periodo di tempo meteorologicamente avverso, sia che esso si stia manifestando in termini di quello che comunemente viene definito come maltempo (piogge eccessivamente abbondanti, freddo, venti di tempesta, ecc.), sia in termini di quello che per alcuni è il bel tempo (villeggianti, gitanti della domenica) mentre per altri (agricoltori) può significare la completa perdita dei raccolti di un anno intero.

Mentre le tecniche per far cessare un periodo di maltempo sono del tutto inesistenti, quelle per indurre la caduta delle precipitazioni sono da tempo oggetto di studi con basi scientifiche più o meno solide.

Lo studio della fisica delle nubi, ed in particolare la più chiara comprensione dei processi che portano alla formazione delle goccioline d'acqua che cadranno poi sotto forma di pioggia, ha costituito le fondamenta per cercare un metodo che, imitando e/o stimolando i fenomeni naturali che ne sono alla base, potesse incrementarne o indurne la caduta.

Dopo questa introduzione all'argomento, possiamo passare a descrivere più nel dettaglio quali sono le tecniche che possono essere utilizzate per produrre la pioggia.

### 3) Le tecniche per far piovere

#### a) La "danza della pioggia".

La prima "tecnica" escogitata dall'uomo per far piovere sembra essere stata la "danza della pioggia" (Figura 2). Danzare attorno ad un totem o ad una ceppaia è una pratica che scientificamente non ha alcun fondamento, eppure i casi di successo, a quanto pare, non erano così infrequenti.

A questa apparente efficacia può essere data una spiegazione: per quanto lungo possa essere un periodo di siccità, un giorno o l'altro le piogge ritorneranno sul luogo dove si desidera che piova. La rituale danza della pioggia, ovviamente, non viene attuata alla prima settimana di mancanza di pioggia ma solo quando iniziano a manifestarsi le prime conseguenze sulle colture o sulla disponibilità delle risorse idriche per il bestiame o per gli usi umani. Il ricorso alla danza della pioggia andrà avanti e si intensificherà malgrado gli eventuali insuccessi iniziali: poiché la probabilità che ritorni la pioggia cresce al crescere del lasso di tempo in cui essa è mancata ... tutto quadra! (quest'ultima considerazione è forse un po' troppo semplicistica e quindi passibile di



Figura 2: Immagine che rappresenta Indiani d'America impegnati in una danza propiziatoria finalizzata al ritorno della pioggia.

critica da parte degli statistici, ma rende piuttosto bene il concetto).

Passiamo ora ad analizzare i sistemi su base scientifica che nel corso degli anni sono stati individuati, studiati e perfezionati per produrre la pioggia artificiale.

#### b) I cannoni pluviferi

I forti rumori sono stati spesso associati a copiose precipitazioni piovose. Molte battaglie del passato sono terminate sotto diluvi di pioggia lasciando ipotizzare che, in qualche modo, fosse stato il boato dei cannoni a provarli. Anche al rombo di un tuono segue spesso uno scroscio di pioggia più forte, come se l'onda sonora del tuono avesse rotto un qualcosa che manteneva nel cuore della nube una parte della pioggia. Di conseguenza alcuni ricercatori provarono a sparare cannonate contro le nubi per far piovere. Risultato? Tanti soldi spesi ma di pioggia poca o niente.

#### c) Fuochi accesi al suolo per indurre moti ascensionali

Come è noto praticamente a tutti, le nubi si formano, schematicamente, quando le masse di aria calda ed umida presenti nei bassi strati atmosferici si sollevano e si raffreddano per decompressione adiabatica, sino a raggiungere il punto di rugiada (saturazione), con associata condensazione; questo si associa alla formazione delle nubi e la conseguente caduta della pioggia. Il processo fisico alla base della pioggia è quindi il sollevamento delle masse d'aria calda e umida. Alcuni hanno pensato quindi di poter indurre la formazione di nubi attraverso la creazione di colonne di aria calda prodotte dall'accensione di enormi falò. Quello che non è chiaro ai sostenitori di tale teoria (che, almeno sulla carta, ha una sua logica fisica) è il rapporto di scala tra i fenomeni che avvengono in natura e quelli che è possibile indurre con l'azione dell'uomo mediante un

incendio controllato. Volendo fare un paragone, è come se volessi far bollire una grossa pentola colma d'acqua utilizzando un solo fiammifero.

Il sistema è quindi assolutamente privo di qualsiasi forma di applicabilità, salvo in rarissime occasioni.

In natura può capitare, infatti, che le colonne di aria calda e fumo che si sprigionano da incendi boschivi di notevoli dimensioni possano portare alla formazione dei pyrocumuli, nubi a doppia componente fumo/vapore, nubi dalle quali generalmente non cade mai pioggia. In rare occasioni è però possibile osservare la formazione di pyro-cumulonimbus con associate precipitazioni anche a carattere temporalesco (Figura 3).

Talvolta l'energia connessa all'eruzione di un vulcano, specialmente se la lava si spinge sino al mare o, se si tratta di un vulcano che sorga direttamente dal mare, la contemporanea presenza delle forti correnti ascensionali e la disponibilità in zona di notevoli quantità di vapore, conduce a consistenti ammassi nuvolosi di tipo cumuliforme, con continui rovesci di pioggia mista a ceneri, simili a diluvi di fango, talvolta accompagnati da attività elettrica (Figura 4).

Per produrre un simile risultato entrano in gioco, comunque, le forze connesse ad una eruzione vulcanica che, come si può immaginare, sono talmente grandi da risultare fuori della portata dell'uomo, almeno in forme di gestione pratica e sicura.



Figura 3: La combustione di cespugli produce una colonna ascensionale di aria calda associata a particolato atmosferico, che in alcune occasioni può indurre l'innesco di cellule temporalesche.



Figura 4: Vulcano in eruzione associato a spettacolare attività elettrica.

#### *d) Bruciatori al suolo per aumentare la presenza di nuclei di condensazione e solidificazione*

Questo sistema è stato più volte sperimentato mediante l'inserimento sul territorio di lunghe file di bruciatori che nelle intenzioni dei sostenitori di tale metodologia avrebbero dovuto produrre i piccolissimi nuclei di materiale particellato che il calore stesso prodotto dai bruciatori, in concatenazione con i moti ascensionali di origine naturale, avrebbe dovuto portare in quota, sino alle nubi situate in aree geografiche sottovento ai bruciatori. All'interno delle nubi questi nuclei avrebbero dovuto fungere da elementi di base per la condensazione e, quindi, favorire la pioggia. Anche in questo caso il principio, come nel caso precedente, ha una sua valenza solo teorica. Il sollevamento indotto dal calore prodotto dai bruciatori è del tutto insufficiente a portare in quota i nuclei. Dopo una fase iniziale di salita alquanto rapida (decisa spinta di galleggiamento dovuta alla forte differenza di temperatura con l'aria circostante) il moto ascensionale rallenta per poi cessare, almeno per quanto concerne l'aliquota indotta dai bruciatori. Altre considerazioni che è possibile fare, e tutte concorrenti a smontare le velleità di tale metodo, sono relative al processo di dispersione che subiscono i nuclei igroscopici nel volume enorme di atmosfera e sulla irregolarità spaziale e temporale della distribuzione delle correnti aeree al variare della quota, che potrebbe portare lontano dalla zona "obiettivo" i nuclei prodotti. Senza considerare che possono essere presenti degli strati atmosferici a gradiente termico verticale nullo o invertito rispetto a quello normale, con inibizione totale dei moti ascensionali. In conclusione, questo è un metodo dal quale ci si possono attendere risultati modestissimi o nulli.

e) *Inseminazione delle nubi dall'alto con ioduro d'argento.*

Questo metodo è senz'altro quello che ha portato ai risultati nel complesso più incoraggianti, con alcuni casi di successo veramente spettacolari.

Il primo punto fermo negli studi volti a produrre pioggia artificialmente risale al 1946 quando Vincent Schaefer, nel corso di uno storico esperimento di laboratorio, constatò che immettendo particelle di anidride carbonica allo stato solido (ghiaccio secco) in un contenitore pieno di una nebbia di goccioline in stato di soprassaturazione (liquide, cioè, anche se a temperatura di diversi gradi sotto gli 0°C) poteva osservarsi la genesi di milioni di cristalli di ghiaccio. Il Prof. Schaefer fece seguire all'esperimento di laboratorio un tentativo di riproduzione in natura di quello che si era potuto osservare nel piccolo modello di atmosfera creato nei laboratori della General Electric. Con un aereo sorvolò una compatta distesa di nubi stratiformi che ricoprivano il territorio del Massachusetts, lasciando cadere sulle nubi stesse piccolissime palline di ghiaccio secco. In corrispondenza di alcune delle zone "inseminate", al suolo si manifestò la caduta di precipitazioni nevose, quasi certamente riconducibili all'eseguito trattamento insemminativo delle nubi. Pochi anni dopo, il Prof. Vonnegut scoprì che lo ioduro d'argento, avendo una struttura cristallina molto simile a quella del ghiaccio, aveva la capacità di indurre una rapida genesi di cristalli di ghiaccio per contatto con le goccioline soprassature.

Da quanto sopra riportato emerge chiaramente che per giungere alla pioggia indotta artificialmente la strada era obbligata: utilizzare lo ioduro d'argento. Ma come?

Quando si vuol sfruttare una scoperta scientifica e trovare le tecniche migliori di sfruttamento, subentra subito l'aspetto economico, l'unico vero fattore limitante e condizionante gli sviluppi delle tecniche applicative.

È evidente che se per far cadere 1 mm di pioggia su un km<sup>2</sup> (corrispondenti, in volume, a 1000 m<sup>3</sup>, un milione di litri) devono adottarsi tecnologie che portano a spendere milioni di euro o di dollari, il metodo non può essere utilmente preso in considerazione.

In quest'ottica, quella cioè di trovare sistemi economicamente vantaggiosi, si può inquadrare anche la tecnica dei bruciatori al suolo che, come visto, non offre però alcuna garanzia di risultati.

Prima di iniziare con la descrizione dei procedimenti di inseminazione ripetiamo un concetto di basilare importanza: per produrre pioggia artificiale le nubi già devono esserci e devono peraltro possedere caratteristiche ben precise.

Immaginiamo allora di essere in presenza di un *Cumulus congestus*, nube che, pur presentando un forte sviluppo verticale, non ha ancora fatto il salto di qualità finale, quello che la trasforma in un *Cu-*

*mulonimbus*, la nube temporalesca per eccellenza, con uno sviluppo verticale che la porta ad occupare tutto lo spessore della troposfera. Spesso i *Cumulus congestus*, per una serie di motivi legati alla struttura fisica dell'atmosfera, non riescono a fare questo passo finale.

Ma cosa potrebbe provare a fare l'uomo per aiutare il *Cumulus congestus* a diventare un maestoso *Cumulonimbus* e a produrre, di conseguenza, grandi quantità di pioggia?

Si potrebbe prendere un aereo, attrezzarlo con dei razzi o dei bruciatori che possano produrre miliardi di microscopici cristalli di ioduro d'argento; dovrebbe poi alzarsi in volo e dirigersi nel cuore della nube, intorno ai 4000-5000 metri sul livello del mare, ove dovrebbe sganciare i razzi o accendere i bruciatori per disseminare all'interno della nube i cristalli di ioduro d'argento (Figura 5); dovrebbe poi allontanarsi rapidamente dalla nube per poter osservare da una certa distanza cosa succede. A questo punto si dovrebbe osservare il *Cumulus congestus* gonfiarsi, quasi esplodere verso l'alto, come se fosse stato azionato un enorme ventilatore diretto dalla base della nube verso l'alto. Nel giro di pochi minuti ci si potrebbe rendere conto del fatto che il *Cumulus* si è trasformato dapprima in un *Cumulonimbus calvus* e poi in un *Cumulonimbus incus capillatus* dal quale stanno cadendo copiose piogge.

Quanto raccontato non è frutto della fantasia: tutto, infatti, è realmente accaduto in un giorno dell'estate del 1970 in Florida, sulle Paludi Everglades. In quell'occasione l'esperimento fu condotto dalla dottoressa Joanne Simpson, direttrice del Laboratorio Sperimentale di Meteorologia della U.S. Oceanic and Atmospheric Administration. Quell'esperimento si rivelò uno dei più grandi successi in materia di induzione o incremento delle precipitazioni: dalla nube insemminata, dalla quale molto probabilmente non sarebbe caduta neppure una goccia di pioggia, cadde un volume di acqua che secondo stime approssimate doveva ammontare a circa 15.000.000 metri cubi.

Il metodo descritto è, quindi, quello che offriva agli albori delle ricerche ed offre tuttora le più elevate probabilità di successo. Ma che cosa era successo all'interno della nube? Che cosa aveva portato a quel risultato così eclatante?

Quando i cristalli di ioduro d'argento avevano invaso la nube, essi erano andati a costituire i nuclei di solidificazione delle microscopiche goccioline allo stato soprassature costituenti la nube stessa. L'improvviso passaggio dallo stato liquido a quello solido (congelamento) aveva liberato calore, calore che si era subito reso disponibile quale carburante addizionale per i moti verticali verso l'alto all'interno della nube. Da qui la fase di accelerazione e rin vigorimento della dinamica di sviluppo della nube, con trasformazione in un grandioso *Cumulonimbus*, nube apportatrice di pioggia, spesso anche troppo

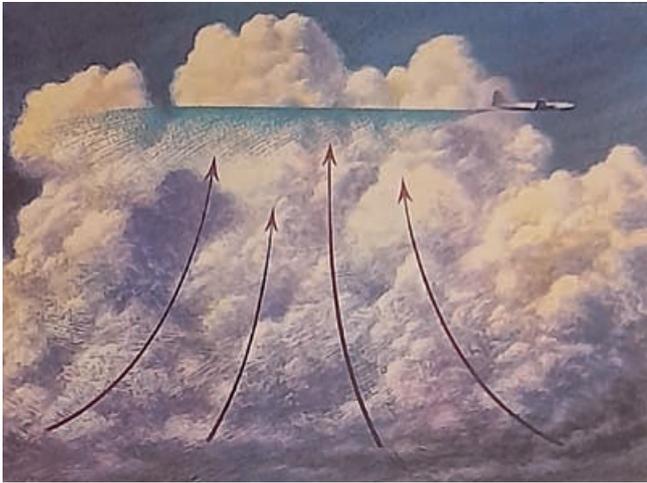


Figura 5: Un velivolo dotato di bruciatori rilascia nella parte sommitale della nube trilioni di microscopici cristalli di ioduro d'argento.

intensa per poter essere sfruttata in modo completo e talvolta così violenta da provocare danni. Resta solo da dire che la fase di sviluppo che si è descritta era stata resa possibile dalla grande disponibilità di aria calda ed umida che giaceva sulle Everglades, in corrispondenza della base dell'ammasso nuvoloso: se così non fosse stato l'esperimento non avrebbe certamente avuto lo stesso successo.

#### 4) Conclusioni

L'uso dello ioduro d'argento e altri esperimenti hanno avuto successo: ciò significa, indiscutibilmente, che la pioggia può essere indotta o incrementata. Ma è proprio questo un punto cruciale: la pioggia può essere condizionata ma quello che resta in dubbio è la completa prevedibilità e quantificazione preliminare, o a consuntivo, degli incrementi di pioggia osservati.

Spesso si ascoltano affermazioni del tipo: "Con l'inseminazione delle nubi è possibile incrementare le precipitazioni del 40%". Ma così come viene proposta la frase non ha molto senso. Manca il passaggio fondamentale della fissazione del valore di riferimento rispetto al quale si andranno a valutare gli incrementi eventualmente osservati. Tale incremento è relativo a quello che potrà osservarsi nel corso di un singolo esperimento di inseminazione o all'esito di un programma di durata pluriennale? In altri termini, esso sarà riferito alla quantità di precipitazioni che cadono dal singolo ammasso nuvoloso inseminato o al parametro climatico "piovosità media annua"? Per far chiarezza sull'argomento è indispensabile portare all'opinione pubblica dati scientificamente corretti in maniera facilmente comprensibile: ciò per evitare inutili ed eccessive aspettative, ma senza smorzare la quota di giustificato ottimismo che i risultati possono indurre. E per poter giungere ai risultati, che sono prevedibilmente positivi, non bisogna far

altro che attivarsi, in maniera seria e rigorosa, evitando improvvisazione o superficialità.

Il primo e fondamentale passo è, quindi, quello di procedere ad una approfondita fase progettuale, articolata su diversi fronti e che preveda non solo la pura e semplice inseminazione ma anche approfondite caratterizzazioni meso- e microclimatiche delle aree individuate come elettive per gli esperimenti, la realizzazione di infrastrutture mirate alla razionalizzazione dei consumi ed alla massimizzazione degli accumuli delle acque di origine pluviale.

Per quanto concerne i fattori che portano una ampia fetta della popolazione ad essere scettica circa l'effettiva utilità di queste tecniche, e anche timorosa in considerazione dei rischi ambientali ai quali si potrebbe andare incontro (inquinamento del suolo e delle acque sotterranee) e al contributo in termini di enfattizzazione del cambiamento climatico, è possibile affermare che le concentrazioni di tali sostanze nelle acque piovane che raggiungono il suolo è modesta e non risulta tale da poter ingenerare una contaminazione tale da generare un rischio significativo per gli esseri umani. Peraltro, tali particelle, almeno l'aliquota che resta inutilizzata in quanto non coinvolta nel processo di induzione della pioggia, tendono a disperdersi e a diffondersi nell'enorme volume dell'atmosfera, con concentrazioni che decadono rapidamente sino a valori molto bassi non appena ci si allontani dal sito dell'inseminazione.

Le alluvioni di Dubai e di Valencia, alla luce di queste considerazioni, sono state causate da fenomenologie meteorologiche estreme, frutto di una sinergica e perversa combinazione di fattori strutturali dell'atmosfera, tutti concorrenti alla massimizzazione dell'intensità dei fenomeni: la componente antropica, almeno come fattore di enfattizzazione del fenomeno meteorologico in sé, non è presente o, se presente, dovrebbe avere giocato un ruolo molto marginale rispetto ai sopra citati fattori.

#### Bibliografia

*Meraviglie e misteri della Natura intorno a noi*, Selezione dal Reader's Digest. Milano, 1974.  
Edmondo Bernacca, *Che tempo farà. Manuale pratico di Meteorologia*, Arnoldo Mondadori Editore, 1973.

#### Sitografia

<https://laferrariil.wixsite.com/website-1/post/landanza-della-pioggia> [https://www.aoml.noaa.gov/hrd/hrd\\_sub/cseed.html](https://www.aoml.noaa.gov/hrd/hrd_sub/cseed.html)