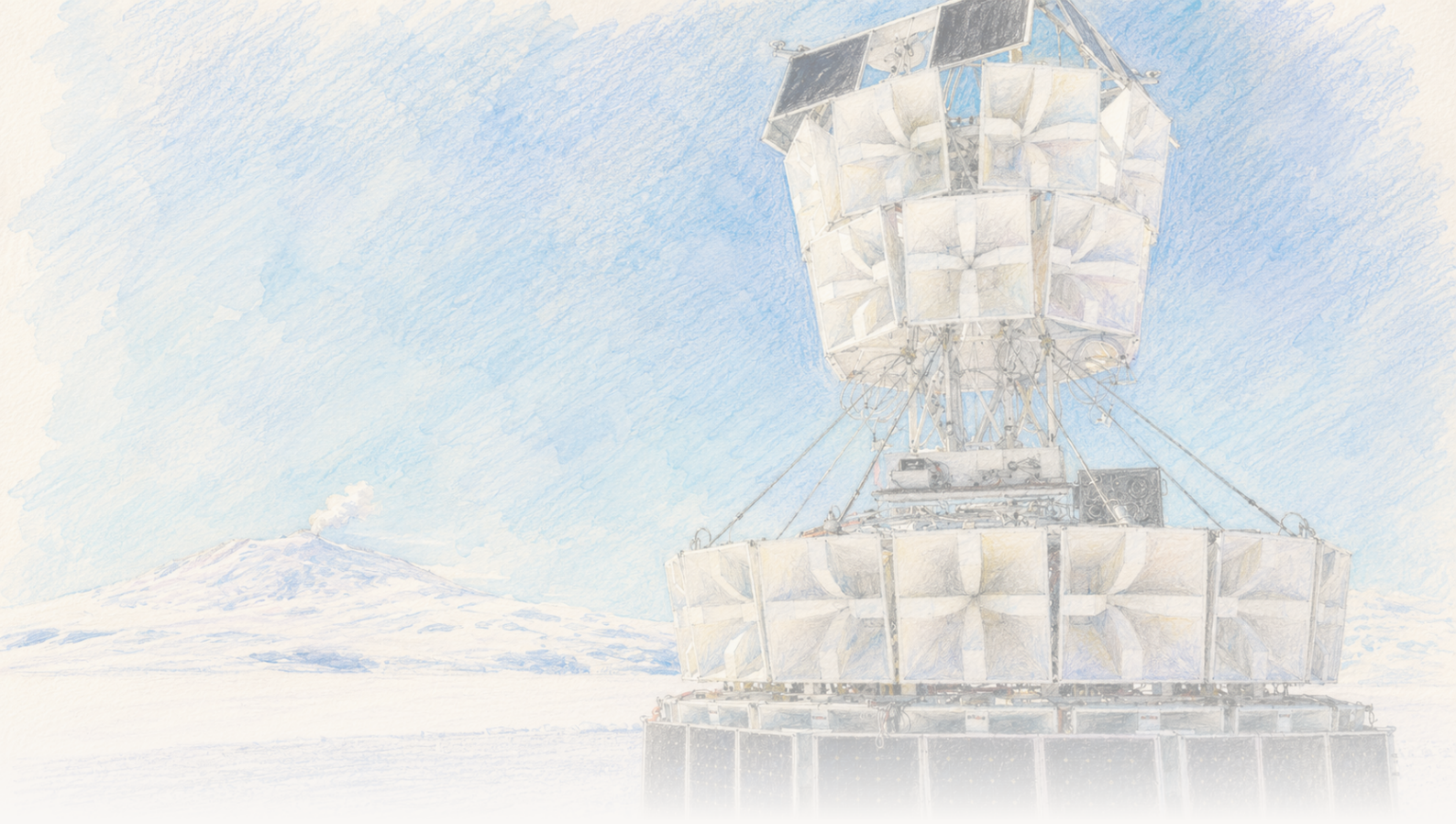




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Due impulsi radio anomali sopra l'Antartide restano senza spiegazione, e l'ipotesi della "nuova particella" perde forza

Due impulsi radio insoliti registrati anni fa da un esperimento antartico su pallone non hanno ancora una spiegazione condivisa; una ricerca dedicata del Pierre Auger Observatory non ha trovato traccia degli sciame che implicherebbero, rendendo molto meno probabile la lettura esotica della "nuova particella" ma lasciando irrisolta l'anomalia.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Search for the Anomalous Events Detected by ANITA Using the Pierre Auger Observatory*, Pierre Auger Collaboration, Physical Review Letters 134, 121003 (2025) · DOI: [10.1103/PhysRevLett.134.121003](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.121003)



Le 48 antenne di ANITA puntano verso il ghiaccio antartico da una gondola alta 25 piedi.

Christian Miki / University of Hawai'i at Mānoa fair-use assertion

Il pallone, il ghiaccio e due impulsi dal basso

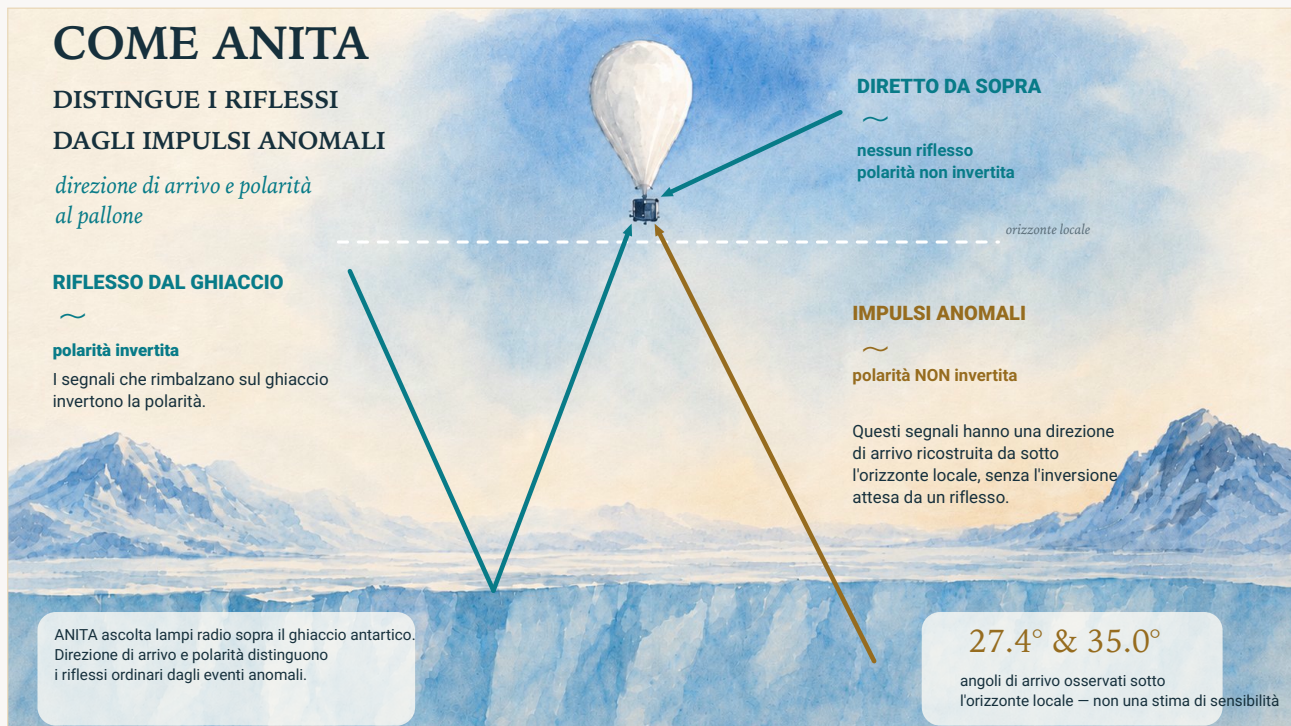
Per gran parte della sua vita operativa, l'Antarctic Impulsive Transient Antenna — ANITA — resta appesa sotto un pallone NASA, a una trentina di chilometri di quota, e deriva per settimane sopra il posto più vuoto della Terra, ascoltando.

Quello che ascolta sono segnali radio dallo spazio. Quando una particella ad altissima energia — un raggio cosmico o un neutrino — colpisce l'aria o il ghiaccio, si frantuma in uno sciame di particelle più piccole, e quello sciame emette un brevissimo lampo radio. L'Antartide è quasi ideale per catturarli: chilometri di ghiaccio pulito e freddo che la radio attraversa quasi come fosse vetro, e niente per centinaia di chilometri a sporcare il segnale. Il lavoro di ANITA è catturare quei lampi e leggere, dalla loro forma e dal loro tempo di arrivo, che cosa li ha prodotti.

La maggior parte di ciò che sente si comporta bene. Alcuni lampi arrivano direttamente dall'alto. Molti altri sfiorano il ghiaccio e rimbalzano verso l'antenna, e portano con sé un indizio chiaro: il rimbalzo capovolge l'onda (un'inversione della *polarità* del segnale), una firma che i fisici sanno

leggere a colpo d'occhio. È così che distingui una riflessione dalla cosa reale.

Due volte, però, è arrivato qualcosa che ha rotto lo schema.



Al pallone, un impulso che arriva direttamente dall'alto arriva non capovolto, mentre un impulso riflesso arriva con polarità invertita — il segno normale di un rimbalzo sul ghiaccio. I due impulsi anomali arrivano invece da una direzione *ricostruita* molto sotto l'orizzonte locale — eppure senza quella inversione, dove una riflessione li avrebbe capovolti. “Dal basso” descrive quella direzione di arrivo, non una particella che sale fuori dalla Terra.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

In un volo del 2006 e in un altro del 2014, ANITA ha catturato un impulso da molto *sotto* l'orizzonte — rispettivamente 27,4° e 35,0° sotto — come se fosse salito fuori dal continente, senza *nessuna* inversione. Quindi non una riflessione. Qualcosa che ha davvero viaggiato verso l'alto, fuori dal ghiaccio, verso il pallone.

Ecco perché questo è quasi scandaloso. Per raggiungere l'antenna con un angolo verso l'alto così ripido, qualunque cosa abbia prodotto l'impulso doveva risalire attraverso il corpo del pianeta: sei o settemila chilometri di roccia solida. Quasi nulla può farlo. L'unica particella nota che attraversa la materia ordinaria quasi come se non ci fosse è il neutrino, che passa attraverso l'intera Terra senza quasi accorgersene. L'idea naturale, quindi, è che un neutrino sia salito attraverso la roccia, abbia colpito un atomo appena sotto il ghiaccio e abbia prodotto uno sciame di particelle diretto verso l'alto, il cui lampo radio è stato catturato da ANITA. Il problema è il rovescio della medaglia: un neutrino abbastanza energetico da produrre *questo* segnale è, in realtà, troppo facile da fermare. Attraverso tutta quella roccia dovrebbe essere assorbito molte volte. E un flusso di neutrini abbastanza intenso perché due siano comunque passati avrebbe dovuto comparire nei grandi rivelatori costruiti proprio per catturarli. Nessuna spiegazione ordinata chiudeva davvero il conto.

Così i due impulsi sono rimasti lì, rifiutandosi di comportarsi. Non una scoperta — due eventi non

sono mai una scoperta — ma nemmeno nulla. Una vera anomalia: interessante proprio perché nessuno poteva ancora dire se fosse una crepa nel Modello Standard della fisica o soltanto una stranezza del ghiaccio, dell'antenna o dei calcoli.

Questo è il punto in cui un certo tipo di racconto tira fuori la parola *misterioso*, abbassa le luci e chiede che cosa possa vivere sotto l'Antartide. Resisti. La domanda vera non è mai stata *quale mostro c'è nel ghiaccio*. Era quella paziente, poco glamour, che fa davvero avanzare la scienza: **come lo verifichi?**

Che cosa hanno fatto gli autori

C'è un modo pulito per testare le spiegazioni eccitanti. Se gli impulsi di ANITA vengono da un flusso reale e ricorrente di sciame diretti verso l'alto — che siano prodotti da normali neutrini tau o da qualche nuova particella proposta — allora un rivelatore abbastanza grande, che osservi proprio quegli eventi, dovrebbe catturarne una parte.

Il Pierre Auger Observatory in Argentina — il più grande rivelatore di raggi cosmici mai costruito — è in una buona posizione per cercarli. Usando il suo Fluorescence Detector, la collaborazione ha cercato sciame d'aria diretti verso l'alto (in arrivo dal basso, con angoli zenitali superiori a 110° ed energie sopra 0,1 EeV) nei dati dal 2004 al 2018. Cruciale: la selezione completa è stata fissata *prima* di esaminare l'intero dataset — un'analisi "cieca", così il risultato non poteva essere massaggiato verso una risposta desiderata.

Che cosa hanno trovato

Dopo l'unblinding, è sopravvissuto **un solo** evento candidato — pienamente compatibile con $0,27 \pm 0,12$ eventi attesi da normali raggi cosmici occasionalmente ricostruiti per errore come diretti verso l'alto. In altre parole: nessun vero segnale upward-going; solo il rumore di fondo che ci si aspetterebbe.

La forza del risultato sta nel confronto. Se gli impulsi di ANITA venissero da un flusso stabile di sciame diretti verso l'alto, Auger avrebbe dovuto registrarne **molti** — circa 34-69 eventi per uno spettro energetico plausibile, e almeno circa 8 anche sotto assunzioni deliberatamente conservative. Ne ha trovato uno, compatibile con il fondo. Gli autori descrivono questo come "strong disagreement" con l'interpretazione degli sciame upward-going.

Che cosa probabilmente significa

Una non-rilevazione di questa dimensione è informativa. Se gli eventi di ANITA venissero da una popolazione reale di particelle in arrivo da quelle direzioni — neutrini tau ordinari o le ipotetiche nuove particelle proposte per spiegarli — la lunga esposizione di Auger avrebbe dovuto catturarne

un numero consistente. Non è successo. Questo esclude di fatto la spiegazione del “flusso diffuso di sciame diretti verso l’alto” — la categoria in cui ricade la maggior parte delle idee oltre il Modello Standard — salvo condizioni speciali costruite ad hoc.

Restano spiegazioni che *non* sono un flusso di particelle che producono sciame: la più discussa è un effetto di riflessione o propagazione particolare del ghiaccio e della geometria vicino all’orizzonte, oppure un artefatto strumentale o di analisi. Nessuna è confermata. Quindi il riassunto onesto è: l’interpretazione più eccitante ha appena preso un colpo serio, e la causa resta sconosciuta.

Che cosa questo non dimostra

- Non identifica che cosa siano i due impulsi. “Sfavorisce fortemente nuova fisica” non significa “risolto”.
- Non conferma una causa ordinaria. Un candidato principale — riflessioni da sotto la superficie antartica — resta un’ipotesi, non un risultato.
- Non rileva nulla “da sotto il ghiaccio” in senso letterale. Le antenne di ANITA pendono da un pallone *sopra* l’Antartide; “dal basso” descrive la direzione ricostruita di arrivo di un impulso radio, non un suono, una voce o qualunque cosa emessa dall’interno del ghiaccio.
- Non supporta affermazioni su una nuova particella confermata. La versione più condivisa di questa storia punta nella direzione opposta rispetto all’evidenza.

Quanto è forte l’evidenza?

Modesta, e dichiarata come tale.

- L’interesse oltre il Modello Standard poggia essenzialmente su **due** eventi, da due voli di ANITA.
- Questo paper è un **risultato nullo**: potente per escludere possibilità, ma incapace di dire che cosa gli eventi *siano*.
- L’esclusione è quantitativa e forte (decine di eventi attesi, un evento visto simile al fondo), ma colpisce l’interpretazione del “flusso di sciame diretti verso l’alto”, non ogni causa concepibile.
- Una spiegazione ordinaria principale (riflessione vicino alla superficie) è plausibile ma non dimostrata; alcune alternative (certi modelli di radiazione di transizione) sono state sfavorite da altri lavori.
- Nessun esperimento ha riprodotto indipendentemente l’anomalia originale.

È un vincolo netto sopra un piccolo rompicapo testardo, non una scoperta.

Perché conta

Le spiegazioni proposte arrivavano fino a particelle esotiche nuove. Invece di inseguire quella più eccitante, il campo ha fatto la cosa poco glamour: ha testato l'idea contro un rivelatore indipendente, molto più grande, e i dati hanno detto no. Uno strumento successore più grande e più sensibile, PUEO, è in costruzione per guardare di nuovo.

L'anomalia potrebbe ancora rivelarsi ordinaria. Questo non la renderebbe un fallimento. Stringere il cerchio attorno a una misura inspiegata finché non si dissolve o non costringe a una vera scoperta è il lavoro — e vale la pena seguirla proprio perché la risposta onesta, per ora, è ancora “non lo sappiamo”.

Riassunto pulito

Due impulsi radio dai voli antartici di ANITA del 2006 e del 2014 sembrano arrivare da angoli molto sotto l'orizzonte che il Modello Standard fatica a spiegare. Una ricerca dedicata del 2025 con il Pierre Auger Observatory ha trovato un solo evento candidato, compatibile con il fondo, dove se gli impulsi venissero da un flusso di sciame diretti verso l'alto se ne sarebbero attesi decine. Questo sfavorisce fortemente l'interpretazione esotica della “nuova particella” e punta verso un effetto di riflessione, propagazione o strumentazione specifico di ANITA — ma la causa resta davvero sconosciuta. Non è una nuova particella confermata, e non è un segnale misterioso dall'interno del ghiaccio.

Controllo senza fuffa

Che cosa mostra il paper: una ricerca cieca di Pierre Auger (2004-2018) per sciame d'aria diretti verso l'alto ha trovato un candidato, compatibile con il fondo atteso di 0,27 eventi da raggi cosmici. Se le anomalie di ANITA venissero da un flusso di sciame di questo tipo, Auger avrebbe dovuto vederne circa 34-69 (o almeno ~8 sotto assunzioni conservative). Questo sfavorisce fortemente l'interpretazione upward-going shower, inclusi scenari oltre il Modello Standard con “nuove particelle”.

Che cosa è plausibile ma non dimostrato: un effetto di riflessione o propagazione radio vicino al ghiaccio e all'orizzonte, oppure un artefatto strumentale o di analisi specifico di ANITA.

Che cosa non mostra: che gli eventi siano causati da una nuova particella; che siano segnali da sotto il ghiaccio; che sia coinvolto qualcosa di paranormale, artificiale o udibile; che la causa sia ora nota.

Limiti principali: l'interesse oltre il Modello Standard poggia su circa due eventi; questo è un risultato nullo che vincola ma non identifica; l'esclusione colpisce specificamente l'interpretazione del “flusso di sciame”; nessuna riproduzione indipendente dell'anomalia originale.

Quanta fiducia dovrebbe avere un lettore generale? Alta fiducia che questa *non* sia una nuova particella confermata e *non* un segnale dall'interno del ghiaccio, e che l'interpretazione del flusso esotico

sia ora fortemente sfavorita. Bassa fiducia sulla causa vera, che resta aperta. Posizione appropriata: curiosità per un'anomalia irrisolta che molto probabilmente è ordinaria.

Fonti

Phys. Rev. Lett. 134, 121003 (2025)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.121003>

Original ANITA-I event (Gorham et al. 2016)

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.117.071101>

Original ANITA-III event (Gorham et al. 2018)

<https://arxiv.org/abs/1803.05088>

Subsurface-reflection explanation (Shoemaker et al. 2020)

<https://arxiv.org/abs/1905.02846>

PUEO successor instrument — white paper (2021)

<https://arxiv.org/abs/2010.02892>