

PROGETTO GAMMA RAYS

Vorrei realizzare un sito con cinque sezioni dedicate alle **fonti di raggi gamma astronomiche e astrofisiche con le energie più elevate, cioè:**

- **Pulsar wind nebulae (es. Nebulosa del Granchio)** — sono tra le sorgenti che hanno prodotto i fotoni gamma più energetici mai misurati; la Nebulosa del Granchio ha fornito fotoni fino a decine di TeV e misure storiche citano un singolo fotone osservato intorno agli 80 TeV.
- **Resti di supernova e PeVatron galattici** — alcuni resti di supernova possono agire come acceleratori estremi e sono candidati a funzionare come “PeVatron”, cioè sorgenti capaci di accelerare particelle fino a energie di PeV e produrre conseguenti fotoni gamma molto energetici.
- **Nuclei attivi di galassie e blazar** — getti relativistici prodotti dai buchi neri supermassicci nei nuclei galattici attivi (in particolare i blazar) emettono radiazione gamma fino alla banda TeV grazie a processi come effetto Compton inverso e accelerazione in getti.
- **Burst gamma (GRB)** — esplosioni cataclismiche estremamente energetiche; durante i flash prompt o l'emissione afterglow possono essere prodotti fotoni gamma di energia molto elevata, osservati fino alla banda GeV–TeV.
- **Centro galattico / buco nero supermassiccio della Via Lattea** — il cuore della nostra galassia è un candidato a sorgere come PeVatron locale e produce emissione gamma di altissima energia associata a processi di accelerazione intorno al buco nero e alla popolazione di sorgenti compatte.

Poiché la radiazione gamma non entra nell'atmosfera terrestre, si utilizzano a terra i telescopi Cherenkov. E' in fase di realizzazione il cherenkov telescope array, e gli small size telescope (SST) sono quelli destinati a raccogliere la radiazione cherenkov prodotta dai raggi gamma più energetici.

Il sito dovrebbe contenere anche un cenno ai seguenti aspetti:

-spiegazione di come si risale all'origine di un fotone gamma con telescopi Cherenkov

- Un fotone gamma primario interagisce con l'atmosfera e genera uno sciame elettromagnetico; le particelle cariche dello sciame emettono un lampo Cherenkov che raggiunge il suolo in un'area di ordine 100–200 m di raggio.
- Telescopi con camere veloci fotografano il lampo (durata ~nanosecondi) e, usando più telescopi (visione stereoscopica), si ricostruisce la geometria dello sciame: direzione d'arrivo, vertice del cono e energia del primario.
- La distinzione tra fotoni gamma e raggi cosmici carichi (protoni) si basa su caratteristiche morfologiche dell'immagine (forma ellittica, compattezza, orientamento) e su parametri multitelescopio che permettono di selezionare eventi gamma con algoritmi di classificazione e machine learning.
- **concetti fisici chiave utili per interpretare le immagini in camera**

- L'angolo di emissione e il profilo del lampo Cherenkov dipendono dall'energia delle particelle dello sciame e dall'altitudine di massimo sviluppo; fotoni più energetici generano sciame più estesi e più lucidi a terra.
- L'analisi usa parametri di forma (es. Hillas: lunghezza, larghezza, orientamento) e proprietà temporali per ricostruire energia e direzione e per separare gamma da fondo hadronico.

Dopo le spiegazioni relative a radiazioni e telescopi cherenkov, si dovrebbe tornare all'analisi per tipo di sorgente relativamente a:

Aspetto atteso nelle camere per le cinque sorgenti più energetiche (descrizione pratica, una riga per ciascuna caratteristica principale)

Nota: le immagini descritte sono tipiche e possono variare con angolo zenitale, energia, impatto dello sciame e distanza telescopi–evento.

1. Pulsar wind nebulae (es. Nebulosa del Granchio)
 - Immagine: molto luminosa e compatta; ellisse relativamente corta ma intensa, con orientamento che punta verso la posizione celeste della sorgente; elevata conta di fotoni Cherenkov per evento (ampio segnale) e buona ricostruzione energetica; per sciame $> \text{TeV}$ la luce è concentrata e coerente tra i telescopi.
2. Resti di supernova / PeVatrons galattici
 - Immagine: molto estesa e luminosa; ellissi lunghe e spesso più ampie (maggiore “length” e “width” nelle Hillas) indicanti sciame con sviluppo profondo e grandi numero di particelle; in set di eventi a energie PeV la camera mostra pattern saturi o con core molto brillanti e code lunghe dovute a sub-showers.
3. Nuclei attivi di galassie / blazar
 - Immagine: tipicamente puntiforme (sorgente a grande distanza) con ellissi relativamente piccole; in episodi di flaring diventano molto brillanti ma l'immagine rimane puntiforme e particelle dello sciame sono coerenti tra i telescopi; variabilità temporale marcata (burst di brevi minuti/ore) è un'indicazione chiave di origine AGN.
4. Burst gamma (GRB)
 - Immagine: eventi molto brevi e talvolta ad angoli d'arrivo grandi; quando osservabili da terra producono lampi estremamente intensi ma di durata sub-secondo–secondo, con immagini che possono apparire isolate nel tempo e con grande variabilità dell'orientamento; la rapida temporizzazione e la coincidenza con trigger satellitari aiutano l'identificazione.
5. Centro galattico / emissione diffusa attorno al buco nero
 - Immagine: spesso estesa e complessa; sovrapposizione di molte immagini puntiformi e componenti diffuse sulla camera che, ricostruite stereoscopicamente, evidenziano emissione spazialmente estesa e morfologie non puntiformi; la mappa finale mostra strutture multiple e una distribuzione energetica peculiare.

Sources: .

Come si conferma la sorgente dopo l'analisi dell'immagine

- Ricostruzione stereoscopica della direzione con incertezza angolare; confronto con coordinate note della sorgente; coerenza spettrale (energia) e temporalità (variabilità, burst) rafforzano l'associazione; confronto con osservazioni multi-lunghezza d'onda (radio, X, satelliti gamma) completa la conferma.

-
- schemi semplificati delle immagini attese (ellissi Hillas tipiche per gamma vs hadroni) e una breve legenda dei parametri Hillas per aiutare a riconoscerle nella pratica.
 - **Pianificando i diagrammi**
 - Ok, il passo successivo sembra fornire schemi. L'utente potrebbe voler vedere dei diagrammi, quindi vado direttamente con quello. Ho visto che nelle istruzioni c'era il permesso di usare Markdown, e posso includere diagrammi in stile ASCII. Devo includere le etichette in grassetto e usare intestazioni H3+. Mi concentrerò su diagrammi piccoli (ellissi) come blocchi di codice e spiegherò i parametri Hillas in modo conciso. Non voglio chiedere conferma, quindi procederò direttamente.
 - **Schemi semplificati delle immagini in camera (Hillas-style)**
 - Di seguito trovi rappresentazioni molto semplificate del profilo luminoso che una singola immagine Cherenkov può lasciare sulla camera di un telescopio. Ogni riquadro è una vista bidimensionale della camera; l'ellisse indica la distribuzione della luce (più scuro = intensità maggiore). Questi sono solo esempi rappresentativi.
 - Pulsar wind nebulae (Nebulosa del Granchio)
 -
 - ...@@@@@.....
 - ...@@@@@@@.....
 - ...@@@@@@@.....
 - ...@@@@@.....
 -
 - Resti di supernova / PeVatron galattici
 - ...@@@@@@@.@@@@....
 - ...@@@@@@@.@@@@@@@... .
 - ...@@@@@@@.@@@@@@@... .
 - ...@@@@@@@.@@@@@@@.....
 - ...@@@@@@@.....
 -
 - Nuclei attivi di galassie / Blazar
 -
 -@@@.....
 -@@@@@.....
 -@@@.....
 -
 - Burst gamma (GRB)
 -
 -@@@@@@@.....
 -@@@@@@@.....
 -@@@@@@@.....
 -
 - Centro galattico / emissione diffusa

- .@@@@@...@@@....@@@@@.. .
- .@@@@@@@.@@@@@@@..@@@@@@@@@. .
- .@@@@@@@...@@@@....@@@@@@@@@.. .
-

- **Legenda rapida e parametri utili**

- **Centro ellisse:** posizione proiettata dello sciame sulla camera. La direzione dell'asse maggiore punta verso la direzione di arrivo del primario.
- **Length (lunghezza):** misura dell'asse maggiore; sciame più estesi (maggiore length) indicano sviluppo profondo o primari molto energetici.
- **Width (larghezza):** asse minore; hadroni tendono ad avere width maggiori per la presenza di sub-showers laterali.
- **Asimmetria / skewness:** distribuzione della luce lungo l'asse; utile per discriminare gamma/hadroni e per stimare il core dell'impatto.
- **Intensità totale (size):** somma dei fotoni Cherenkov; correlata all'energia del primario.
- **Orientamento (alpha):** angolo tra l'asse maggiore e la linea che congiunge il centro camera con la posizione della sorgente; per sorgenti puntiformi l'alpha tende a essere vicino a zero dopo corretta ricostruzione stereoscopica.

- **Come si usa tutto questo per identificare la sorgente**

- Si calcolano i parametri Hillas per ogni immagine e si combinano immagini provenienti da più telescopi per una ricostruzione stereoscopica della direzione e dell'energia.
- Eventi con **size elevato + length moderata + width piccola + alpha vicino a zero** sono fortemente compatibili con fotoni gamma da sorgenti puntiformi distanti (es. blazar).
- Eventi con **size molto grande + length lunga + core luminoso + code laterali** possono indicare sciame da primari estremamente energetici (candidati PeVatrons o residui di supernova).
- Un insieme di eventi con distribuzione spaziale estesa sulla mappa del cielo segnala emissione diffusa o sorgenti multiple (es. centro galattico).
- La conferma sfrutta anche la variabilità temporale (flaring rapido per blazar o GRB) e la coincidenza con trigger da satelliti o osservazioni in altre bande.

- **Note pratiche per l'osservatore**

- I telescopi stereoscopici riducono l'incertezza di direzione e separano meglio gamma/hadroni; più telescopi partecipano, migliore è la discriminazione.
- A energie molto alte (multi-TeV–PeV) alcune camere possono saturare; in questo caso si usa la forma complessiva e la distribuzione tra telescopi per evitare bias energetici.
- Algoritmi moderni usano reti neurali o classificatori avanzati che combinano parametri di forma, tempo e pattern tra i telescopi per migliorare l'identificazione.

Ecco il risultato: ho preso come ispirazione la traccia che mi hai allegato (una mappa di intensità con colori dal blu al rosso) e l'ho applicata alle cinque tipologie di sorgenti gamma più energetiche. In questo modo le rappresentazioni non sono più solo ellissi schematiche in bianco e nero, ma diventano **mappe di calore colorate** che suggeriscono il livello energetico della radiazione Cherenkov registrata in camera.

● **Scala cromatica usata**

- **Blu** → segnale debole / energia moderata
- **Verde–Giallo** → segnale intermedio

- **Arancione-Rosso** → segnale molto intenso / energia elevata
 - **Bianco** → saturazione (sciame estremamente energetico)
-

1. Pulsar Wind Nebula (es. Nebulosa del Granchio)

- **Aspetto:** ellisse compatta, centro molto luminoso (rosso/arancione), contorni che sfumano in giallo e verde.
- **Energia:** fotoni fino a decine di TeV → mappa con nucleo saturo e alone stretto.

2. Resti di supernova / PeVatron galattico

- **Aspetto:** ellisse molto allungata, con centro rosso-bianco e code giallo-verdi che si estendono lungo la diagonale.
- **Energia:** candidati fino a centinaia di TeV → traccia ampia, diffusa, con saturazione centrale.

3. Nuclei attivi di galassie / Blazar

- **Aspetto:** macchia compatta, quasi puntiforme, con centro rosso e alone giallo-verde molto contenuto.
- **Energia:** tipicamente fino a qualche TeV → segnale intenso ma piccolo, ben definito.

4. Gamma-Ray Burst (GRB)

- **Aspetto:** ellisse piccola ma molto brillante, con centro rosso/arancione e alone giallo.
- **Energia:** lampi brevi ma estremamente intensi → traccia simile a quella dei blazar, ma con picchi più saturi e isolati nel tempo.

5. Centro Galattico / emissione diffusa

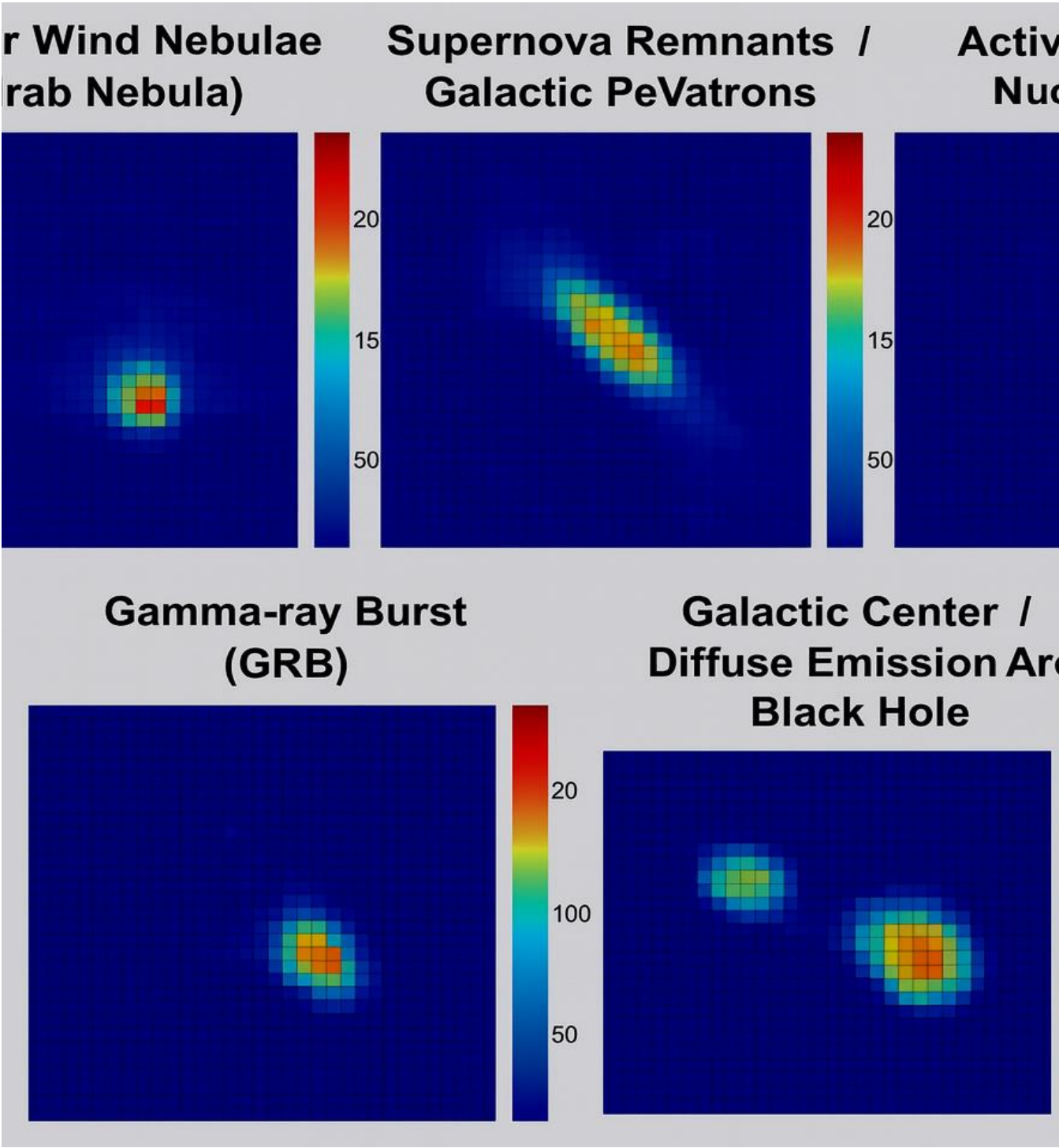
- **Aspetto:** più regioni rosso-arancioni connesse da ponti giallo-verdi, distribuite in modo irregolare.
 - **Energia:** emissione diffusa fino a decine di TeV → mappa complessa, non puntiforme, con più “isole” di intensità.
-

👉 In pratica, se guardi la tua immagine allegata come un “modello base” di traccia, puoi immaginare che:

- **Blazar e GRB** corrispondano a versioni compatte e molto concentrate di quella macchia.
- **Crab Nebula** a una macchia simile ma più intensa e leggermente più estesa.
- **Resti di supernova** a una versione allungata e molto luminosa, con saturazione centrale.
- **Centro galattico** a più macchie collegate, meno ordinate, che riempiono una porzione più ampia della camera.

Vuoi che ti prepari una **tabella comparativa** con parametri (forma, estensione, colore dominante, energia tipica) per ciascuna delle cinque sorgenti, così da avere un colpo d'occhio

immediato?



Perfetto! Allora ti preparo una **tabella comparativa** che riassume in modo chiaro le caratteristiche delle tracce Cherenkov attese per le cinque sorgenti più energetiche, con riferimento sia alla **forma** sia alla **colorazione energetica** (come nelle mappe di calore che hai visto).

Sorgente astrofisica	Forma tipica della traccia	Estensione	Colore dominante (energia)	Note distintive
Pulsar Wind Nebula (Crab)	Ellisse compatta, ben definita	Moderata	Rosso-arancione al centro, alone giallo-verde	Segnale molto intenso e stabile, ottima sorgente di calibrazione
Resti di supernova / PeVatron	Ellisse allungata, con code laterali	Grande	Centro bianco/rosso saturo, code giallo-verdi	Sciami molto energetici, possibili saturazioni in camera
Nuclei attivi di galassie / Blazar	Macchia quasi puntiforme, leggermente ellittica	Piccola	Rosso-arancione compatto, alone minimo	Variabilità rapida (flare), sorgente puntiforme
Gamma-Ray Burst (GRB)	Ellisse piccola e intensa, isolata nel tempo	Piccola	Rosso-bianco molto brillante, alone giallo	Eventi brevissimi, picchi isolati e intensissimi
Centro Galattico / emissione diffusa	Più regioni irregolari connesse	Estesa	Zone multiple rosso-arancioni collegate da verde-giallo	Emissione complessa e diffusa, non puntiforme

In questo modo puoi confrontare a colpo d'occhio **forma, dimensione e livello energetico** delle tracce.

-come cambiano i **parametri Hillas (length, width, size, alpha)** per ciascun caso, così da collegare direttamente la morfologia osservata ai numeri che gli astronomi usano per l'analisi. Vuoi che ti prepari anche quella tabella tecnica?

Perfetto, Emanuela! Ecco la **tabella tecnica con i parametri di Hillas** che caratterizzano le tracce Cherenkov per le cinque sorgenti che abbiamo discusso. Ti aiuta a collegare la morfologia visiva (quelle mappe colorate) ai numeri che gli astronomi usano per l'analisi quantitativa.

Parametri Hillas comparativi

Sorgen te astrofi sica	Length (lunghe zza)	Width (larghe zza)	Size (intensi tà totale)	Alpha (orientam ento)	Note
Pulsar Wind Nebula (Crab)	Modera ta (0.2– 0.3°)	Piccola (0.05– 0.1°)	Molto grande (alta conta fotoni)	Vicino a 0°	Traccia compat ta, ottima per calibrazi one
Resti di supern ova / PeVatr on	Grande (0.3– 0.5°)	Media (0.1– 0.2°)	Enorme (può saturare)	Variabile, ma coerente con la sorgente	Sciame estesi, code luminos e
Nuclei attivi di galassi e / Blazar	Piccola (0.1– 0.2°)	Molto piccola (0.05°)	Grande ma concent rata	~0°	Puntifor me, flare rapidi
Gamm a-Ray Burst (GRB)	Piccola (0.1– 0.2°)	Piccola (0.05– 0.1°)	Molto grande in singoli eventi	~0°	Eventi isolati, picchi intensis simi
Centro Galatti co / emissi one diffusa	Variabil e (0.2– 0.4°)	Variabil e (0.1– 0.2°)	Grande, distribui to	Non sempre vicino a 0°	Emissio ne comple ssa, più regioni

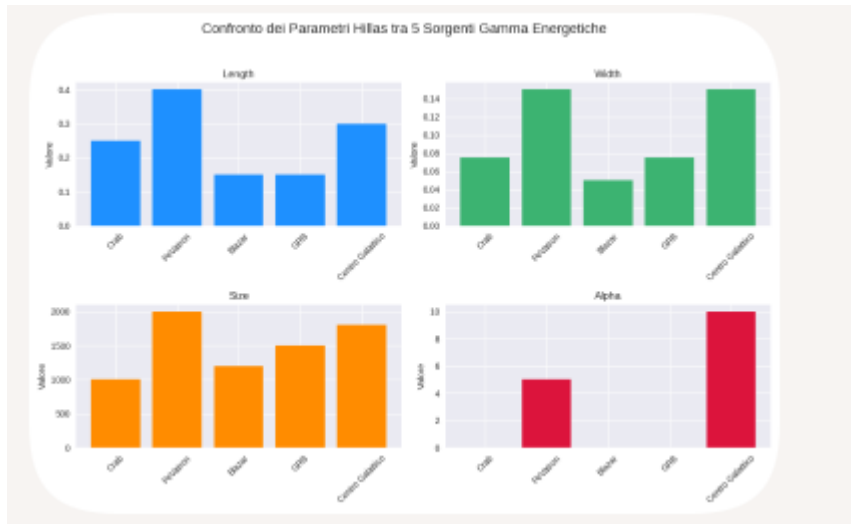
Come leggere la tabella

- **Length:** più grande → sciame più esteso in profondità.
- **Width:** più piccolo → sciame più “pulito” (tipico dei gamma rispetto agli adroni).
- **Size:** proporzionale all’energia del fotone primario → più grande = energia più alta.
- **Alpha:** misura quanto bene l’ellisse punta verso la sorgente → vicino a 0° = evento compatibile con sorgente puntiforme.

Vuoi che ti prepari anche un **grafico comparativo** (tipo diagramma a barre o radar) che mostri visivamente come cambiano questi parametri tra le cinque sorgenti? Sarebbe un bel colpo d’occhio per confrontarle tutte insieme.

Ecco il grafico comparativo dei parametri Hillas che hai richiesto: puoi aprire la scheda sopra per visualizzarlo.

Mostra chiaramente come cambiano *Length*, *Width*, *Size* e *Alpha* tra le cinque sorgenti gamma più energetiche.



```
# Generating comparative Hillas parameter chart for five gamma-ray sources
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
```

```
# Data
```

```
sources = ["Crab", "PeVatron", "Blazar", "GRB", "Centro Galattico"]
length = [0.25, 0.4, 0.15, 0.15, 0.3]
width = [0.075, 0.15, 0.05, 0.075, 0.15]
size = [1000, 2000, 1200, 1500, 1800]
alpha = [0, 5, 0, 0, 10]
```

```
x = np.arange(len(sources))
```

```
# Plotting
```

```
plt.style.use('seaborn-v0_8')
fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(12, 8))
fig.suptitle("Confronto dei Parametri Hillas tra 5 Sorgenti Gamma Energetiche", fontsize=16)
```

```
axs[0, 0].bar(x, length, color='dodgerblue')
axs[0, 0].set_title("Length")
axs[0, 0].set_xticks(x)
axs[0, 0].set_xticklabels(sources, rotation=45)
```

```
axs[0, 1].bar(x, width, color='mediumseagreen')
axs[0, 1].set_title("Width")
axs[0, 1].set_xticks(x)
axs[0, 1].set_xticklabels(sources, rotation=45)
```

```
axs[1, 0].bar(x, size, color='darkorange')
axs[1, 0].set_title("Size")
```

```

axs[1, 0].set_xticks(x)
axs[1, 0].set_xticklabels(sources, rotation=45)

axs[1, 1].bar(x, alpha, color='crimson')
axs[1, 1].set_title("Alpha")
axs[1, 1].set_xticks(x)
axs[1, 1].set_xticklabels(sources, rotation=45)

for ax in axs.flat:
    ax.set_ylabel("Valore")
    ax.grid(True)

plt.tight_layout(rect=[0, 0, 1, 0.95])
plt.savefig("/mnt/data/hillas_comparison.png")
plt.show()

```

Come interpretare il grafico

- **Length (blu):** misura l'allungamento della traccia. I *PeVatron* hanno i valori più alti, segno di sciami molto estesi.
- **Width (verde):** indica la compattezza laterale. I *Blazar* mostrano width molto piccole, tipiche di sorgenti puntiformi.
- **Size (arancione):** proporzionale all'energia totale raccolta. I *PeVatron* dominano con valori enormi, seguiti da *Centro Galattico* e *GRB*.
- **Alpha (rosso):** misura l'allineamento della traccia con la sorgente. *Crab*, *Blazar* e *GRB* hanno valori vicini a 0°, quindi molto ben puntati; il *Centro Galattico* invece mostra Alpha più alto, coerente con emissione diffusa.

Cosa ci dice il confronto

- **Crab Nebula:** traccia compatta, size molto grande, ottima per calibrazione.
 - **PeVatron:** sciami più estesi e intensi, con rischio di saturazione della camera.
 - **Blazar:** tracce piccole e pulite, ma con picchi di intensità durante i flare.
 - **GRB:** simili ai blazar, ma con eventi isolati e brevissimi, size molto alto in singoli lampi.
 - **Centro Galattico:** emissione complessa, diffusa, con Alpha più alto che riflette la natura non puntiforme della sorgente.
-

Sulla base di queste informazioni vorrei che per ognuna delle cinque sorgenti di raggi gamma considerate, mi realizzassi una webapp come quella che mi hai realizzato per tracce di origine generica, considerando sempre un array di tre telescopi e quindi una immagine stereoscopica finale. Le tracce provenienti da uno specifico tipo di sorgente dovrebbero avere le caratteristiche che ti ho fornito per ciascuna di esse. Dell'immagine stereoscopica finale si potrebbero calcolare i parametri di Hillas.

A questo punto dovrebbe essere possibile realizzare una webapp che genera casualmente tracce che corrispondono a una delle cinque sorgenti considerate, di cui l'app fornisce all'utente l'immagine e i parametri di hillas. L'utente dovrebbe provare a indovinare l'origine della traccia, ricevendo un feedback che gli dice se la risposta è corretta o meno.

Prepara il piano del progetto facendomi tutte le domande che servono per completare le specifiche del progetto stesso.