

# Documento di modellizzazione scientifica e meccaniche del gioco di simulazione concettuale dell'astrofisica delle alte energie

## "Gamma-ray: from source to detection"

### Note introduttive

*Gamma-ray* è un gioco di simulazione concettuale. La sua strutturazione riproduce il metodo della ricerca sperimentale alle alte energie: dalla definizione della sorgente, alla propagazione del segnale, alla scelta dello strumento, fino alla validazione statistica del risultato.

Le grandezze introdotte non ripropongono formule fisiche reali ma rappresentano dipendenze qualitative tra energia, spettro, distanza e osservabilità.

I valori numerici corrispondono agli esponenti di ordini di grandezza usando la scala logaritmica ( $\log_{10} 10^x$ ).

Il lancio di 1 dado a 6 facce (1d6) serve a definire valori casuali.

### 1. Sorgente di raggi gamma

Si prende 1 carta *Gamma-ray source* sulla quale sono riportate le seguenti informazioni:

- *Zona di appartenenza*: 1 (Sistema Solare); 2 (Via Lattea); 3 (Universo vicino); 4 (Universo lontano).
- *valori di energia* in GeV rappresentativi del range energetico della sorgente ( $E_{min} - E_{med} - E_{max}$ );
- *indice spettrale* ( $I\Gamma$ ) con valori interi da 2 per uno spettro "duro" (molti fotoni ad alta energia, riduzione minore) a 5 per uno spettro "morbido" (pochi fotoni ad alta energia, riduzione maggiore);
- *valori di distanza* in anni luce ( $ly$ ) rappresentativi del range di distanze tipico della sorgente ( $D_{min} - D_{med} - D_{max}$  esprimendo anche le distanze della Zona 1 in  $ly$  al fine di confrontare i fenomeni locali con quelli cosmici in modo omogeneo).

### 2. Segnale intrinseco iniziale della sorgente.

Il *segnale intrinseco iniziale* ( $Si$ ) rappresenta la rilevabilità teorica dei raggi gamma emessi dalla sorgente prima di considerare gli effetti di propagazione e/o strumentali. È ottenuto considerando:

- un *indice energetico* ( $iE$ ) per rappresentare l'energia dei fotoni gamma;
- l'*indice spettrale* ( $i\Gamma$ ) per rappresentare il fattore di riduzione del segnale legato allo spettro alle alte energie della sorgente;
- un'*attenuazione dovuta alla distanza* ( $aD$ ), che non si applica alla zona 1, per rappresentare la riduzione del segnale dovuta alla distanza della sorgente tenendo conto della dispersione geometrica del flusso luminoso.

Si lancia 1d6 per stabilire quale dei tre valori di energia riportati sulla carta *Gamma-ray source* va considerato ( $E_{min}$  con 1 o 2;  $E_{med}$  con 3 o 4;  $E_{max}$  con 5 o 6). L' $iE$  corrisponde all'esponente della potenza di base 10 del valore dell'energia considerato espresso in elettronvolt eV (si ricorda che  $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ );

Si rilancia 1d6 per stabilire quale dei tre valori di distanza riportati sulla carta *Gamma-ray source* va considerato ( $D_{min}$  con 1 o 2;  $D_{med}$  con 3 o 4;  $D_{max}$  con 5 o 6) e si fa corrispondere l' $aD$  all'esponente della potenza di base 10 della distanza considerata misurata in anni luce ( $ly$ ).

Il segnale intrinseco iniziale ( $S_i$ ) è dato da  $S_i = iE - i\Gamma - aD$

Un valore positivo ma basso indica che, anche se la sorgente è fisicamente reale, il segnale potrebbe non essere rilevabile. Se  $S_i \leq 0$ , invece, il rilevamento non potrà avvenire.

### 3. Segnale di transito (propagazione cosmica e multi-messaggeria)

Il segnale di transito ( $S_t$ ) rappresenta la rilevabilità dei raggi gamma dopo aver affrontato il viaggio cosmico considerato che i fotoni gamma possono interagire con materia, campi e radiazione di fondo.

Per le sorgenti in Zona 1 (Sistema Solare) il segnale di transito ( $S_t$ ) è posto uguale al segnale intrinseco iniziale ( $S_i$ )  $S_t = S_i$  e si passa direttamente alla strategia di rilevamento (punto 4).

Per tutte le altre sorgenti si scelgono 2 carte *Cosmos* coperte su 18 disponibili che, rappresentando fenomeni fisici reali, possono risultare dei bonus (B) e/o dei malus (M).

Il segnale di transito ( $S_t$ ) è dato da  $S_t = S_i + B - M$

Se  $S_t \leq 0$  significa che, purtroppo, il segnale intrinseco iniziale è stato disperso nel viaggio cosmico.

### 4. Strategia di rilevamento

Si sceglie la tecnologia di rilevamento più adatta e si determina il valore del segnale finale da sottoporre al test di significatività (punto 5).

#### 4.1 Segnale finale rilevato direttamente con satellite (modello "Fermi-LAT")

I fotoni gamma vengono rilevati direttamente dal satellite che offre un monitoraggio continuo nel tempo ma con un'area di raccolta limitata fisicamente dalle dimensioni del modulo spaziale.

Il satellite risulta ideale per basse energie e, quindi, se il valore dell'energia iniziale della carta *Gamma-ray source*  $E \leq 10^{+2}$  GeV si ottiene un bonus di +1 al segnale di transito.

Il segnale finale ( $S_f$ ) rilevato è dato da  $S_f = S_t - 1$

#### 4.2 Segnale finale rilevato indirettamente con telescopi Čerenkov (modello "CTA")

I fotoni gamma non vengono rilevati direttamente ma interagiscono con l'atmosfera producendo uno sciame atmosferico che emette luce Čerenkov raccolta su una grande area da telescopi operativi solo di notte.

I telescopi sono ideali per alte energie e, quindi, se il valore dell'energia iniziale della carta *Gamma-ray source*  $E \geq 10^{+3}$  GeV si ottiene un bonus di +1 al segnale di transito.

Si sceglie 1 carta *Atmosphere* coperta su 9 disponibili ma, prima di scoprirla, è possibile decidere se detrarre  $-1$  al segnale di transito ( $S_t$ ) per essere immuni agli effetti delle "Nuvole passeggera" (meteo monitoring).

Rappresentando condizioni atmosferiche reali, la carta può generare un bonus (B) o un malus (M).

Il segnale finale ( $S_f$ ) è dato da  $S_f = S_t + B$  oppure da  $S_f = S_t - M$

### 5. Validazione scientifica con il test di significatività ( $\sigma$ )

Il segnale finale ( $S_f$ ) deve emergere dal rumore di fondo ( $Bkg$ ). Se il valore non risulta già definito dalla carta *Atmosphere*, si lancia 1d6:  $Bkg = 1$  (disturbo leggero) con 1, 2 o 3 e  $Bkg = 4$  (disturbo elevato) con 4, 5 o 6.

Si procede con il calcolo della *significatività* ( $\sigma$ ):

$$\sigma \approx \frac{Sf}{\sqrt{Bkg}}$$

Con  $\sigma \geq 5$  si tratta di una "*scoperta*" ( $5\sigma$ ) da pubblicare e si riparte con 3 nuove carte *Gamma-ray source*;

Con  $\sigma \geq 3$  si tratta di una "*rilevazione valida*" ( $3\sigma$ ) e si riparte con 2 nuove carte *Gamma-ray source*;

Con  $\sigma < 3$  il segnale non è distinguibile dal rumore e si riparte con 1 nuova carta *Gamma-ray source*.

## **6. Fine del gioco, "archivio delle scoperte" e vincita**

Il gioco termina quando non sono più disponibili carte *Gamma-ray source* nel mazzo comune.

I giocatori contano le carte accumulate nel proprio "*archivio delle scoperte*" e chi possiede il numero maggiore risulta il miglior *Gamma-ray researcher*.