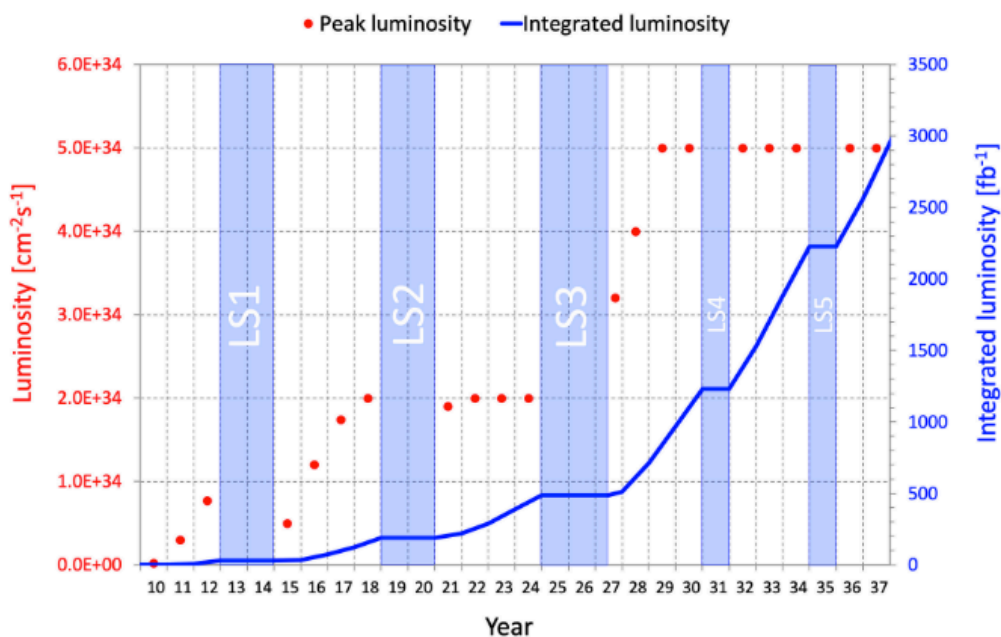


# IL NUOVO TRIGGER DI CMS PER LA FASE 2 DI LHC

Nel Long Shutdown tuttora in corso (LS2), LHC sta ottimizzando i suoi parametri per portare l'energia nel centro di massa a 14 TeV e fornire una luminosità istantanea di  $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  durante il prossimo periodo di presa dati (Run-3). Contrariamente a quanto mostrato nella figura sottostante, LS2 è stato prolungato per tutto il 2021 a causa dell'emergenza per COVID. Il Run-3 si estenderà fino al 2024 e si prevede che possa fornire tra  $350 \text{ fb}^{-1}$  e  $500 \text{ fb}^{-1}$  di luminosità integrata ad ATLAS e CMS. Seguirà il LS3 (2025-27), durante il quale si apporteranno importanti aggiornamenti al collisionatore e agli esperimenti, dopodiché avrà inizio la Fase 2 di LHC (HL-LHC).

Nella Fase 2 il collisionatore dovrebbe raggiungere gradualmente una luminosità istantanea di picco pari a  $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (vedi fig.), con la possibilità di spingerla fino a  $7.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Queste prestazioni consentirebbero di raccogliere da  $400$  a  $450 \text{ fb}^{-1}$  di luminosità integrata all'anno, fornendo potenzialmente una luminosità integrata totale compresa tra  $3000 \text{ fb}^{-1}$  e  $4000 \text{ fb}^{-1}$  a ciascuno dei due esperimenti principali.



Attualmente l'esperimento CMS implementa un sofisticato sistema di trigger a due livelli: il Level-1 trigger (L1), un sistema di selezione hardware basato su schede di elettronica a componenti, e l'High Level Trigger (HLT), un sistema di selezione software. L1 riceve informazioni dai calorimetri e dai rivelatori di muoni, genera una preselezione entro una latenza fissa di  $4 \mu\text{s}$  e ha una velocità di uscita massima di  $100 \text{ kHz}$ . Alla ricezione di un segnale di trigger L1, cioè in corrispondenza di un evento di collisione potenzialmente interessante, tutte le informazioni provenienti dai vari sotto-rivelatori vengono registrate temporaneamente e l'evento viene ricostruito nell'HLT. Con queste informazioni molto più complete, HLT effettua una analisi on-line dell'evento molto più raffinata e riduce

ulteriormente il numero di eventi da archiviare. La velocità di selezione di HLT e la conseguente velocità di archiviazione degli eventi si riduce in media a circa 1 kHz. Durante la Fase 1 il numero di collisioni simultanee protone-protone ad ogni incrocio di bunch (pileup) non ha superato mediamente il valore di 55, ma nelle condizioni estreme di Fase 2 il pileup potrebbe arrivare a 200 e quindi, per selezionare eventi potenzialmente interessanti dal punto di vista della fisica, i sub-detectors e l'elettronica di lettura ad essi associata aumenteranno in complessità. CMS necessiterà di un sistema di trigger e di acquisizione dati con prestazioni eccezionali. L'upgrade del sistema di trigger e di acquisizione previsto manterrà una strategia a due livelli. L1 riceverà inputs dai calorimetri, dallo spettrometro dei muoni e dal tracciatore, che a loro volta saranno sottoposti ad un importante programma di upgrade. La frequenza massima di uscita di L1 passerà dagli attuali 100 kHz a 750 kHz, mentre la latenza totale verrà aumentata dagli attuali 4  $\mu$ s a 12.5  $\mu$ s. Questo consentirà, per la prima volta, l'inclusione di informazioni dal tracciatore e di informazioni calorimetriche ad alta granularità. L'upgrade di L1 è progettato per mantenere l'efficienza di selezione ottenuta durante la prima fase di funzionamento di LHC e per migliorare in modo significativo la selezione di eventi rari o con topologie non convenzionali, che potrebbero indicare l'esistenza di nuova fisica. La latenza più lunga permetterà di utilizzare informazioni sulle tracce e una maggiore granularità delle informazioni provenienti dai calorimetri. Sarà così possibile ricostruire e identificare "oggetti" di livello superiore e utilizzare tecniche all'avanguardia basate su "particle flow" o "machine learning", già impiegate nelle analisi offline, per valutare quantità globali complesse, come la misura dell'energia trasversale mancante, o implementare tecniche di mitigazione del pileup. Infine, le misure di precisione trarranno vantaggio dall'estensione dello spazio delle fasi disponibile dovuto ad una maggiore copertura del trigger nella regione in avanti del rivelatore, o dalla capacità di sfruttare meglio gli stati finali completamente adronici.

Sulla base dell'esperienza di Fase 1, questa funzionalità la si otterrà tramite

- un ampio uso di FPGA di ultima generazione e processori all'avanguardia
- l'uso di collegamenti ottici ad alta velocità per facilitare l'aggregazione dei dati dall'intero rivelatore e consentire elaborazioni globali complesse, come la misura dell'energia trasversale mancante o l'implementazione di tecniche di mitigazione del pileup.
- l'implementazione di un'architettura flessibile e modulare, che può essere riconfigurata per adattarsi a diverse condizioni di funzionamento di HL-LHC o a diverse esigenze fisiche. Risorse aggiuntive consentiranno di calcolare quantità più sofisticate, per fornire un menu fisico più ricco e aumentare la selettività.

Infine, nel nuovo trigger di Fase 2 viene proposto un sistema di scouting a 40 MHz che raccoglierà le primitive di trigger prodotte dai sub-detectors e gli "oggetti di trigger" prodotti a vari livelli del sistema. Il concetto di trigger scouting si basa sull'uso di "oggetti fisici" ricostruiti come sottoprodotto del processo di trigger per eseguire la riduzione e l'analisi dei dati, ma memorizzando solo informazioni di alto livello per eventi selezionati, superando così i limiti di velocità di archiviazione del DAQ. Il sistema di scouting di Livello 1 utilizzerà oggetti e quantità ricostruiti di Livello 1 in modo simile, selezionandoli e analizzandoli on-line alla velocità di collisione. Questo sistema ha l'ulteriore vantaggio di consentire la ricerca sistematica delle correlazioni tra più incroci di gruppi contigui di bunch e può essere utilizzato per esaminare gli eventi di collisione e identificare potenziali caratteristiche tipiche, non raggiungibili attraverso i processi di selezione dei trigger standard. Per integrare e mettere in servizio con successo questo complesso trigger L1 aggiornato, è stato scelto un approccio

simile a quello adottato nell'upgrade di Fase 1, in cui parte del nuovo sistema funzionerà in parallelo con il sistema corrente durante le operazioni di Run-3.