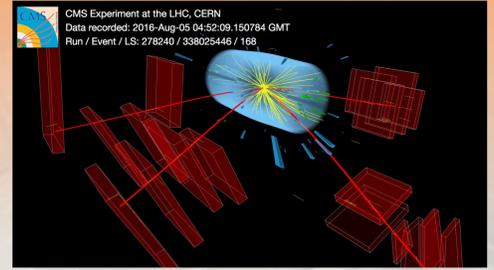


## Abstract

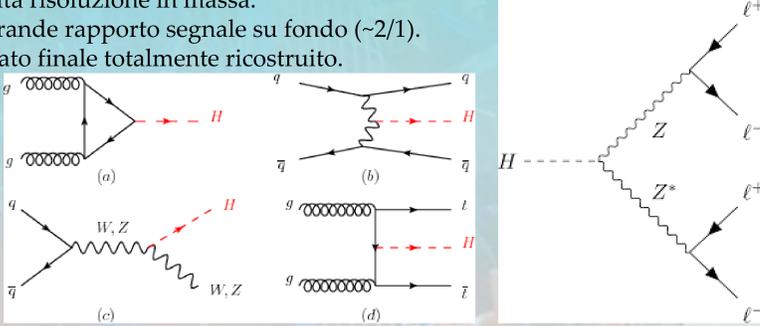
Nel **Modello Standard** (MS) la massa del bosone di Higgs ( $m_H$ ) è una costante fondamentale che **non è predetta** da nessuna teoria e di conseguenza deve essere misurata sperimentalmente. Molte delle proprietà del bosone di Higgs dipendono da  $m_H$ , tra cui la sezione d'urto di produzione, le frazioni di decadimento e le costanti di accoppiamento. Sono presentate le ultime misure di  $m_H$  nel canale di decadimento  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  ( $\ell$  è un elettrone o un muone), chiamato "canale d'oro", all'esperimento CMS (Compact Muon Solenoid) a LHC (Large Hadron Collider) in collisioni protone-protone a  $\sqrt{s} = 13$  TeV, usando una luminosità integrata di  $35.9 \text{ fb}^{-1}$  [2].  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  beneficia di uno **stato finale totalmente ricostruito** e di una **chiara segnatura**, fornendo fino ad adesso il miglior risultato di  $m_H$  (in combinazione con  $H \rightarrow \gamma\gamma$ ). Sono inoltre mostrate le proiezioni di  $m_H$  misurata a CMS a High-Luminosity LHC (HL-LHC) a  $\sqrt{s} = 14$  TeV, usando una luminosità integrata di  $3000 \text{ fb}^{-1}$  [3]. Rispetto all'ultimo risultato di CMS, le proiezioni a HL-LHC beneficiano non solo dell'incremento della luminosità e dell'energia nel centro di massa, ma anche di diversi miglioramenti nell'apparato sperimentale e di una nuova strategia di analisi.



Visualizzazione di un evento con un candidato Higgs che decade in 4 muoni (linee rosse) [1].

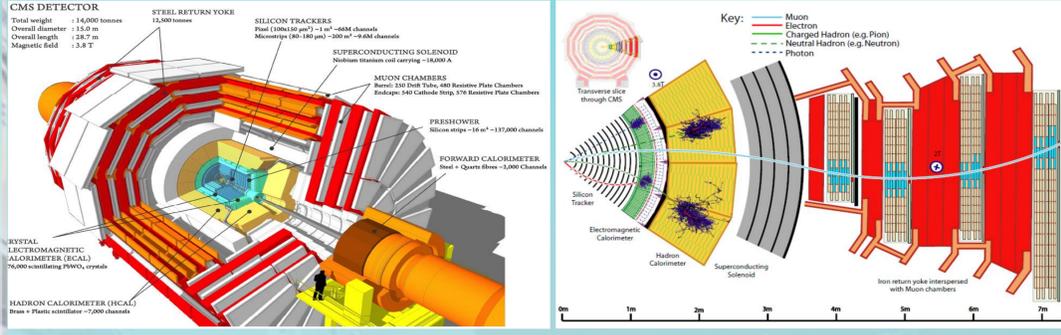
## $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$

- Canali di produzione:  $ggH, qqH, WH, ZH, ttH, bbH, tqH$ .
  - Produzione dominata dalla fusione di due gluoni ( $ggH$ ) ( $\sigma = 48 \text{ pb}$  per  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ ).
- $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ : bassa frazione di decadimento ( $1.25 \times 10^{-4}$ ) ma beneficia di:
  - Alta risoluzione in massa.
  - Grande rapporto segnale su fondo ( $\sim 2/1$ ).
  - Stato finale totalmente ricostruito.



## L'esperimento CMS a LHC

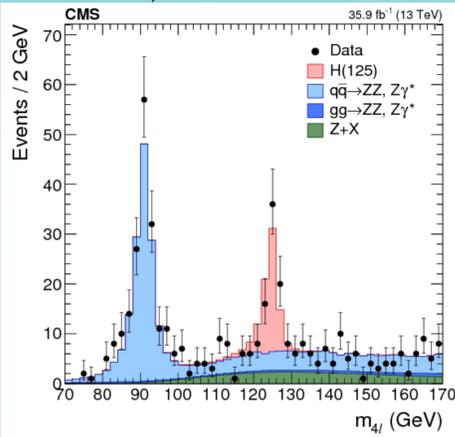
- CMS è composto da un tracciatore di precisione a silicio, un calorimetro elettromagnetico (ECAL) e adronico (HCAL) all'interno di un solenoide superconduttore di 3.8 T, intervallato da rivelatori a gas per la rivelazione dei muoni.



## Strategia di analisi

L'obiettivo dell'analisi è **misurare  $m_H$**  tramite la funzione di likelihood  $\mathcal{L}(m_{4\ell}, D_{kin}^{bkg} | m_H)$ .

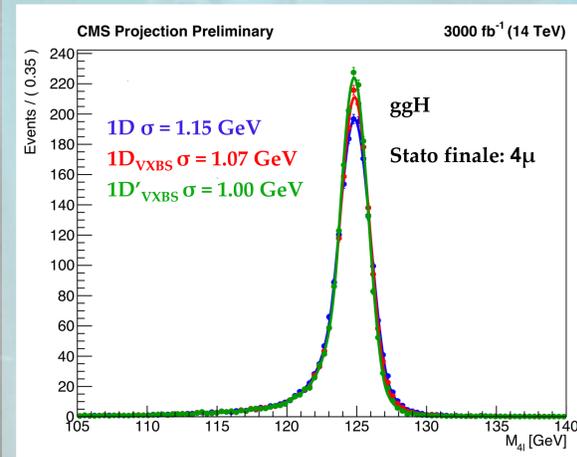
- $D_{kin}^{bkg}$  è una variabile definita come  $\frac{P_{sig}}{P_{sig} + P_{bkg}}$  dove  $P_{sig}$  ( $P_{bkg}$ ) è la probabilità che l'evento sia di segnale (fondo) in base agli angoli e alle altre variabili cinematiche.
- Massa invariante dei quattro leptoni ( $m_{4\ell}$ ) fittata in  $105 < m_{4\ell} < 140 \text{ GeV}$ .
  - $ggH, qqH, bbH, tqH$ : funzione double-sided Crystal Ball (DSCB).
  - $WH, ZH, ttH$ : DSCB convoluta con una funzione di Landau (descrive la possibilità che un leptone dello stato finale venga da  $W, Z, t$ ).
  - $gg/q\bar{q} \rightarrow ZZ$ : funzione polinomiale.
  - $Z+X$  (stimato a partire dai dati): funzione di Landau.



- Vincolo sul bosone Z on-shell**: i momenti trasversi ricostruiti che compongono il bosone Z on-shell vengono ricalcolati (compatibilmente con la loro risoluzione) così che la loro massa invariante è quanto più prossima al valore sperimentale del bosone Z.

### Migliorie nella strategia d'analisi

- Quattro stati finali**:  $4\mu, 4e, 2e2\mu, 2\mu 2e$  (dove negli ultimi due casi la prima coppia di leptoni viene dal bosone Z on-shell).
- VXBS**: le quattro tracce dei leptoni che vengono dal decadimento dell'Higgs sono costrette ad avere un vertice comune compatibile con il beam spot.

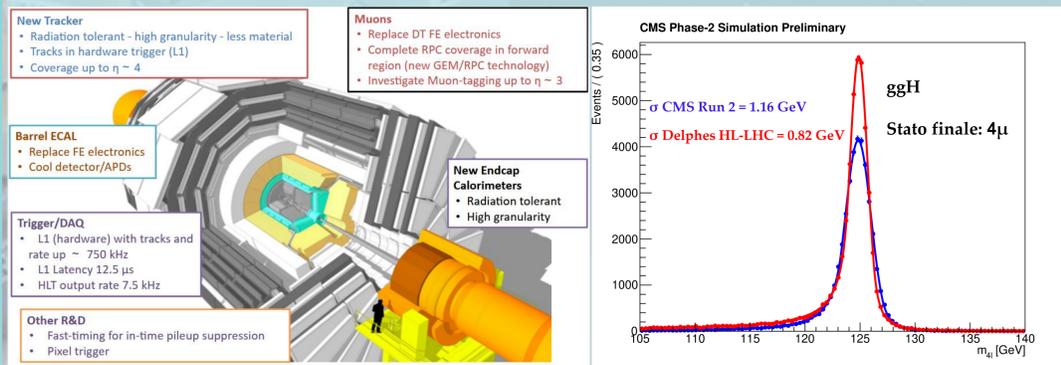


- 1D**: senza  $D_{kin}^{bkg}$ , senza VXBS e senza il vincolo sul bosone Z on-shell.
- 1D<sub>VXBS</sub>**: senza  $D_{kin}^{bkg}$  e senza il vincolo sul bosone Z on-shell.
- 1D'<sub>VXBS</sub>**: senza  $D_{kin}^{bkg}$ .

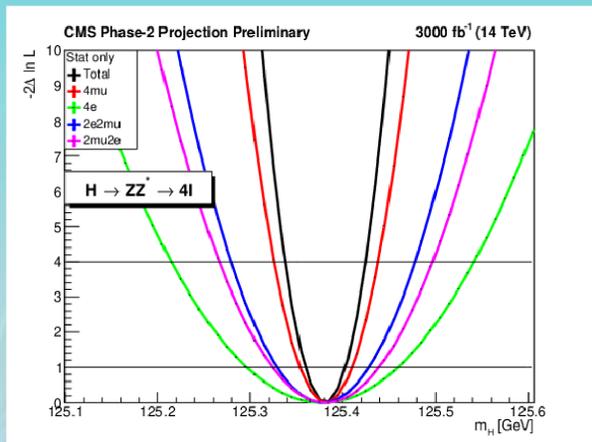
- Eventi classificati in **9 categorie** dell'errore relativo della massa invariante dei quattro leptoni ( $D_{m_{4\ell}} = \sigma_{m_{4\ell}}/m_{4\ell}$ ).
  - I parametri delle DSCBs che descrivono il segnale dipendono da  $D_{m_{4\ell}}$ .
- $m_H$  è stato ottenuto costruendo in ogni categoria di  $D_{m_{4\ell}}$  e per ogni stato finale  $\mathcal{L}(m_{4\ell}, D_{kin}^{bkg} | m_H)$  massimizzando il prodotto delle  $9 \times 4$  likelihoods.
  - In [2] il risultato finale era stato ottenuto senza la categorizzazione su  $D_{m_{4\ell}}$  e massimizzando la funzione di likelihood  $\mathcal{L}(m_{4\ell}, \sigma_{m_{4\ell}}, D_{kin}^{bkg} | m_H)$ .
  - In questo modo si trascura la correlazione tra  $D_{m_{4\ell}}$  e  $D_{kin}^{bkg}$ .

## Upgrade a HL-LHC

- CMS subirà modifiche all'apparato (CMS Phase-2) per poter lavorare a HL-LHC in condizioni di alta luminosità ed a pileup 200.
- La simulazione ottenuta con DELPHES [4] mostra miglioramenti nelle misure.



## Risultati



- Le modifiche di CMS hanno portato un miglioramento nella misura, in particolare si registra una riduzione di  $\sim 25\%$  sulla risoluzione della massa invariante dei  $4\mu$ .
- L'errore atteso su  $m_H$  ottenuto dalla proiezione di CMS a HL-LHC è  **$22 \text{ (stat.)} \pm 20 \text{ (sis.) MeV}$**
- A CMS in [2] si è ottenuta  $m_H = 125.26 \text{ GeV}$  con un errore atteso di  **$240 \text{ (stat.)} \pm 90 \text{ (sis.) MeV}$**
- Il precedente errore statistico, scalato a  $3000 \text{ fb}^{-1}$ , è  $26 \text{ MeV}$ .
  - L'errore statistico ha subito una riduzione oltre il semplice aumento della luminosità.

## Conclusioni

- È stata mostrata l'ultimo valore di  $m_H$  misurato a CMS e la sua proiezione a HL-LHC.
- La nuova misura di  $m_H$  si avvale dei seguenti fattori:
  - Aumento della luminosità integrata e dell'energia nel centro di massa.
  - Migliorie nell'apparato sperimentale.
  - Una nuova strategia d'analisi.
- La proiezione mostra un errore su  $m_H$  ridotto di  $\sim 90\%$ .
  - Si registra un miglioramento del  $\sim 70\%$  rispetto al semplice scale con la luminosità.

## Referenze e contatti

donato.troiano@cern.ch  
 donato.troiano@ba.infn.it

[1] <http://cds.cern.ch/record/2692545>  
 [2] CMS Collaboration, Measurements of properties of the Higgs boson decaying into the four-lepton final state in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ , JHEP11(2017)047  
 [3] CMS-PAS-FTR-21-007  
 [4] The DELPHES 3 collaboration, DELPHES 3: a modular framework for fast simulation of a generic collider experiment, JHEP02(2014)057