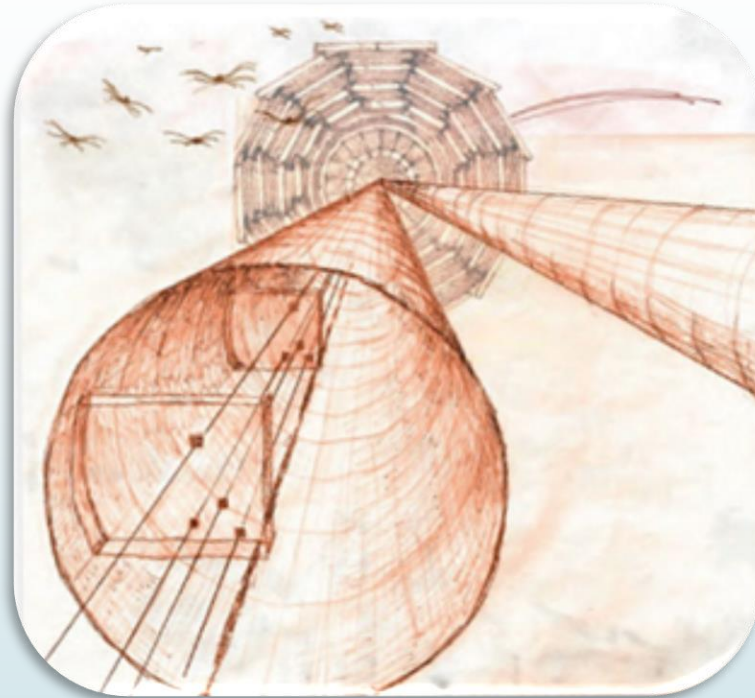


Presente e futuro, fisica con CT-PPS



Fabrizio Ferro **INFN Genova**



CMS ITALIA 2017

Piacenza 29 Novembre – 1 Dicembre 2017

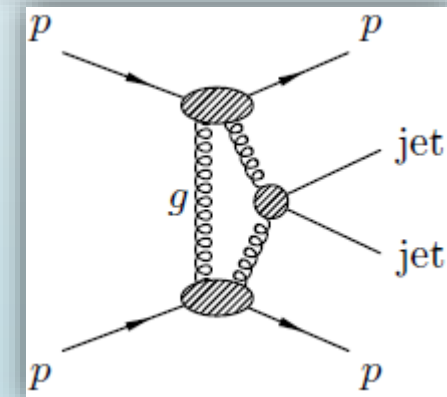
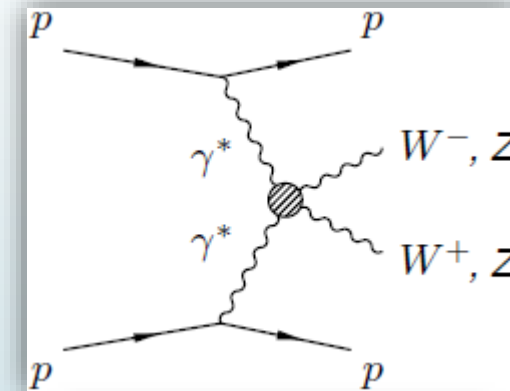
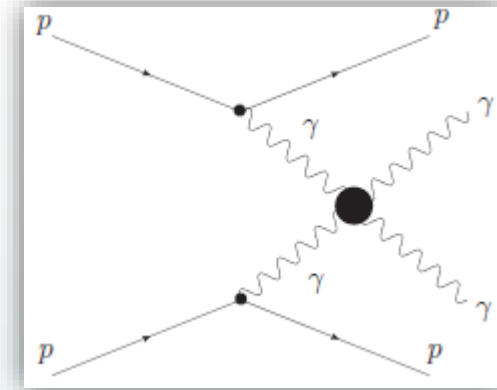
Fisica pp in avanti ad alta luminosita'

CTPPS

2

La ricostruzione di protoni diffusi a piccolo angolo alle energie e luminosità di LHC permette studi di ...

- **Fisica elettrodebole**: collider fotone-fotone (γ^* quasi reali):
 - misura di $\gamma\gamma \rightarrow W^+W^-, \ell^+\ell^-$;
 - ricerca di accoppiamenti quartici anomali (AQGC);
 - ricerca di accoppiamenti vietati: $\gamma\gamma\gamma, ZZ\gamma\gamma$
- **QCD**: collider gluone gluone:
 - test su meccanismi pQCD di produzione esclusiva;
 - caratterizzazione di jet gluonici (piccola componente di quark)
- Ricerca diretta di **Nuova Fisica**:
 - produzione centrale esclusiva di risonanze;
 - studio di stati finali invisibili

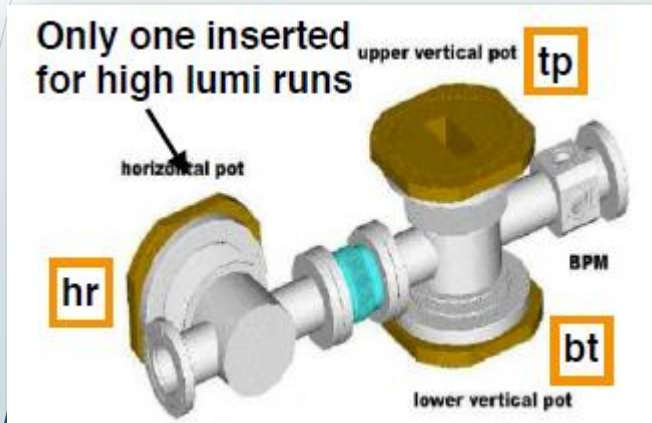


CMS-TOTEM Precision Proton Spectrometer

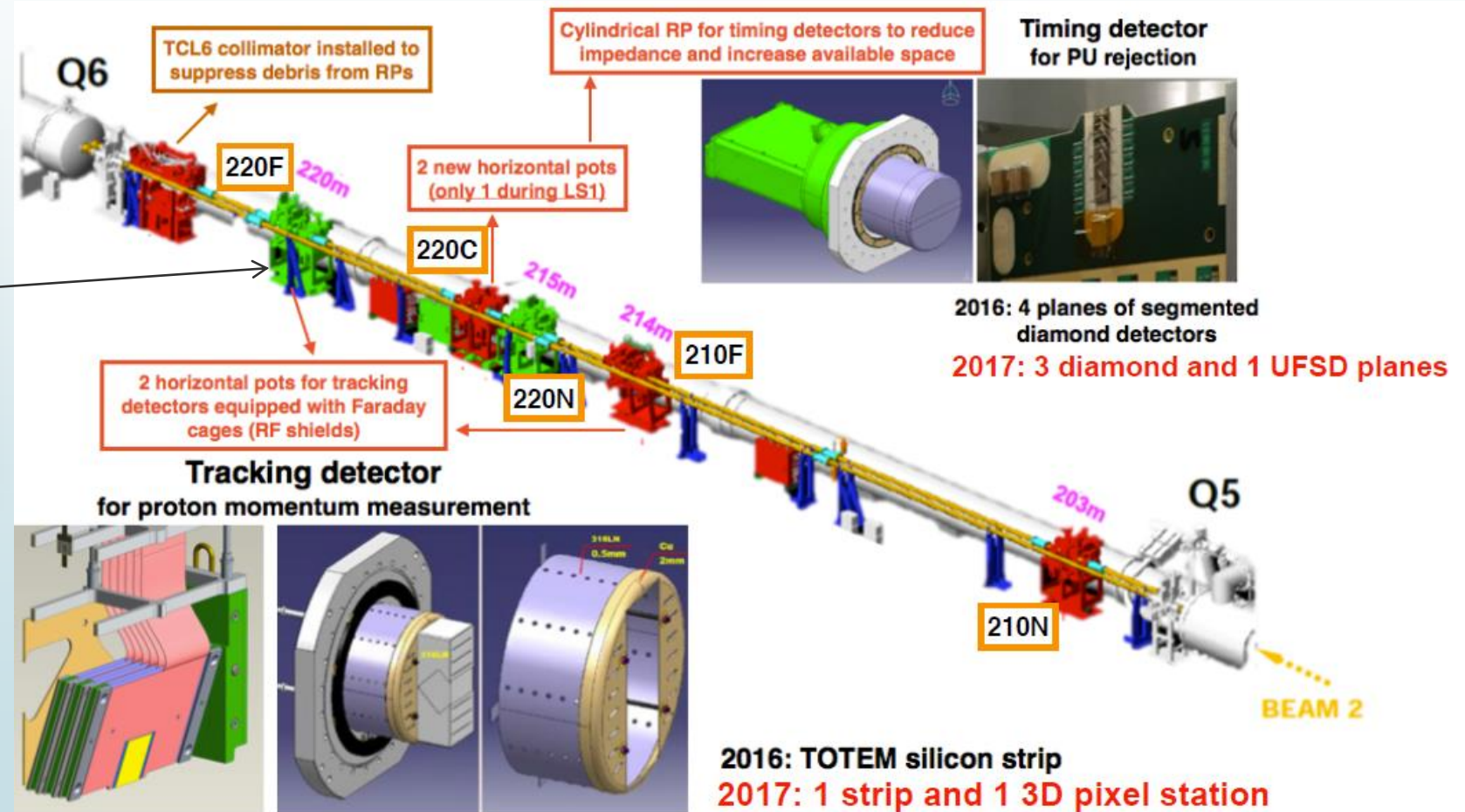
CTPPS

3

- Misura dei **protoni nella regione in avanti** su entrambi i lati di CMS nei run standard di LHC. Lo spettrometro e' realizzato con i magneti stessi di LHC
- **Rivelatori di tracking e di timing** installati in Roman Pots tra i 205 e i 220 m dall'IP



Solo le pots orizzontali rilevanti per la fisica di CTPPS.
Pots verticali usate solo per l'allineamento.



Evoluzione del setup sperimentale

CTPPS

4

2016

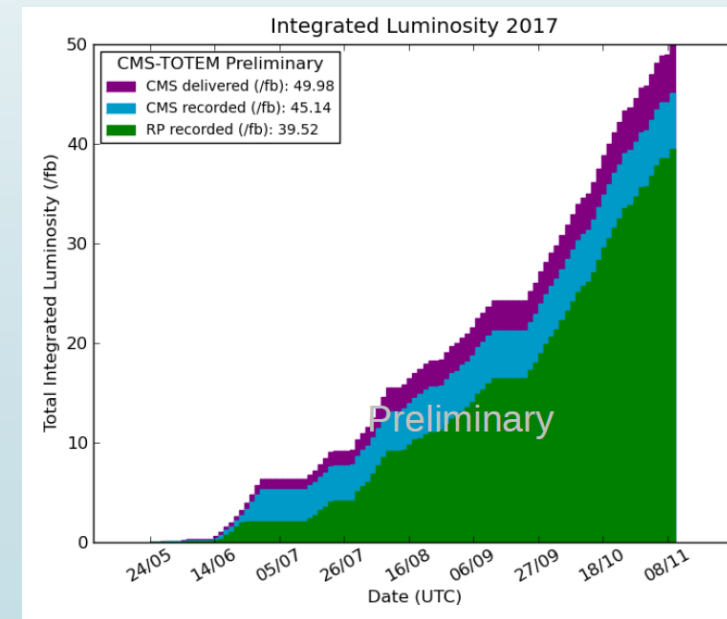
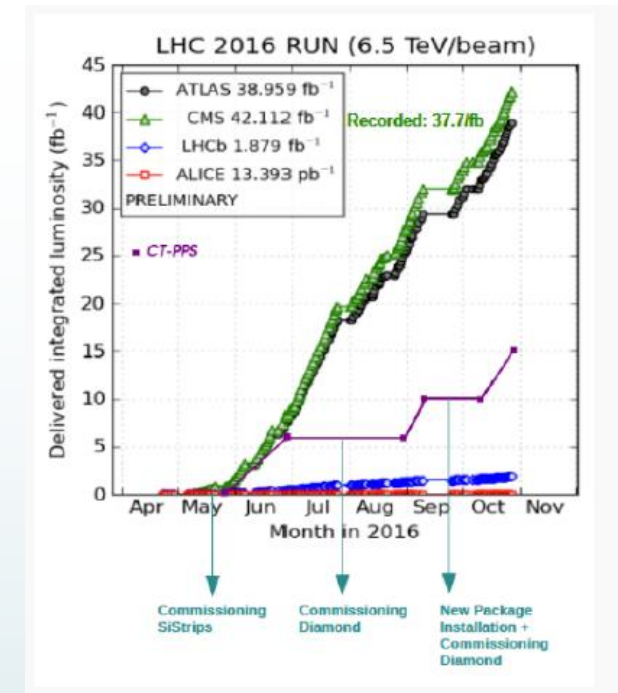
- Inizio presa dati con un anno di anticipo
- 2 pots per lato equipaggiate con 10 piani di Si strips (Totem)
- 1 pot per lato con 4 piani di Diamanti (Totem) per la misura del TOF del protone
- **~15 fb⁻¹ di dati a 13 TeV**

2017

- 1 pot per lato equipaggiata con 10 piani di Si strips (Totem)
- 1 pot per lato equipaggiata con 6 piani di **3D Si pixels (CMS Genova e Torino)¹**
- 1 pot per lato con 3 piani di Diamanti (Totem) e 1 di **UFSD (CMS Torino)²**
- **~40 fb⁻¹ di dati a 13 TeV**

¹ **Prima installazione di pixels 3D in CMS**

² **Prima installazione di Ultra-Fast Silicon Detectors in un esperimento HEP**





GE



TO

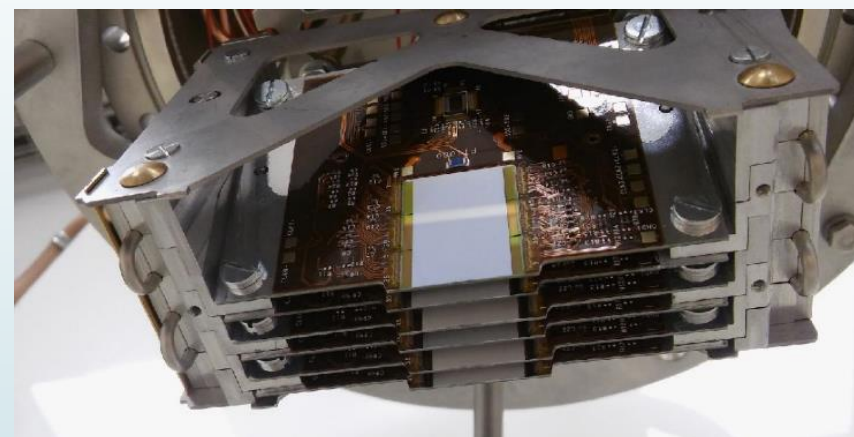
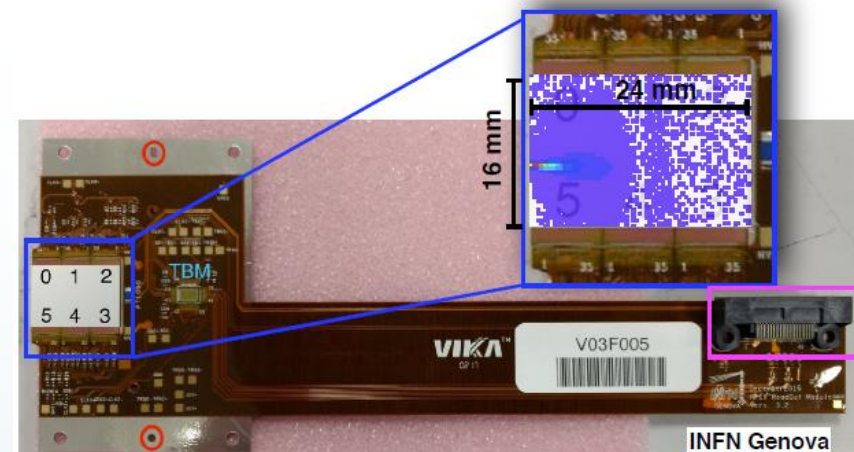
Tracciatore a pixel 3D

Hardware

- ▶ 6 piani di sensori 3D bump-bondati a chip psi46dig ROC (v. pixel fase I)
- ▶ Piani wire-bondati a circuiti flex a loro volta collegati a una Portcard che gestisce il fan-out dei segnali ottici
- ▶ FECs e FEDs come per il pixel tracker di fase I
- ▶ Rivelatori installati a Marzo e in presa dati dall'inizio dei runs 2017

Software

- ▶ Online: sviluppato a partire da POS (pixel fase I)
- ▶ Offline: codice di ricostruzione completo rilasciato in CMSSW_9_4_0 per la re-Reco di fine Novembre

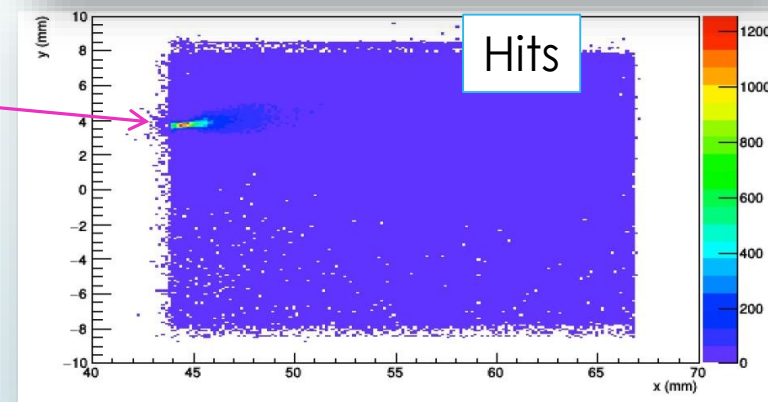
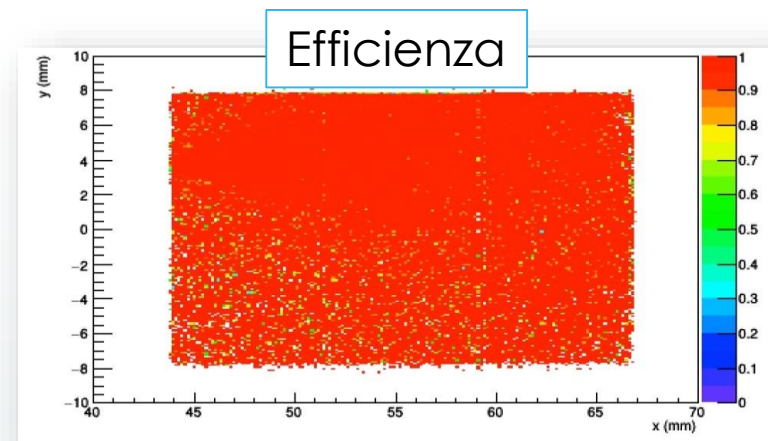


Performance del tracciatore a pixel

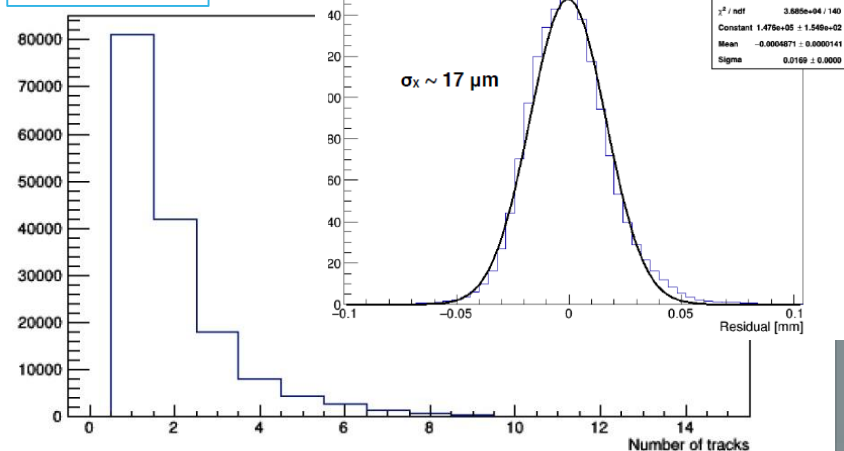
CTPPS

6

- **Detector in presa dati durante tutti i run con pots inserite**
- **Tracce ricostruite disponibili per l'analisi.** Campione completo dopo la re-Reco
- **Risoluzione consistente con i dati di testbeam**
- Segnale concentrato in pochi pixels
- Conseguenze dell'irraggiamento non-uniforme dei pixels del ROC
 - progressivo spostamento del ritardo temporale del segnale nei pixel piu' irraggiati rispetto a quelli meno
 - dopo $\sim 10\text{fb}^{-1}$ i chips piu' irraggiati sono in sync con il BX successivo
 - rivelatore spostato in alto durante TS2 per usare pixels meno irraggiati
 - negli ultimi runs 3 piani in sync con BX, 3 piani in sync con BX+1 per minimizzare le perdite (probabili ripercussioni sull'analisi)



Tracce

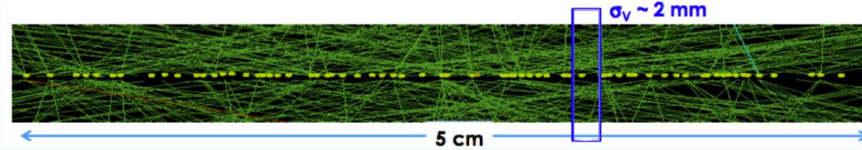


Rivelatori di TOF dei protoni

CTPPS

7

- Uso del TOF per ridurre l'effetto del pile-up



- Risoluzione desiderata 10-30ps

INFN PI

- Diamanti ~80ps per piano

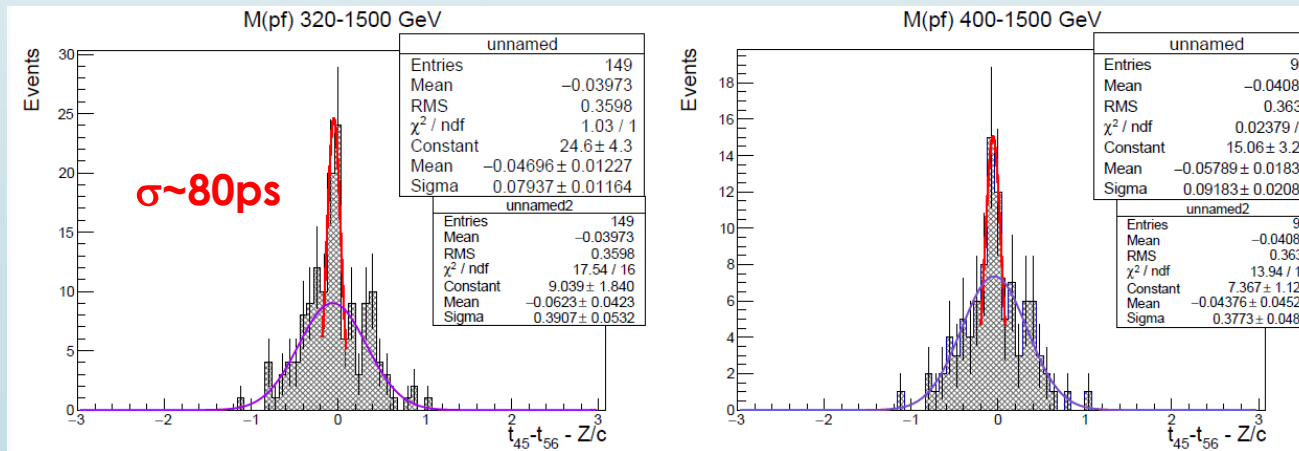
INFN TO

- UFSD ~30ps per piano ma problemi di rad-hardness
 - R&D a Torino per sviluppare un nuovo ASIC per integrare amplificatore e discriminatore

INFN BA/PI

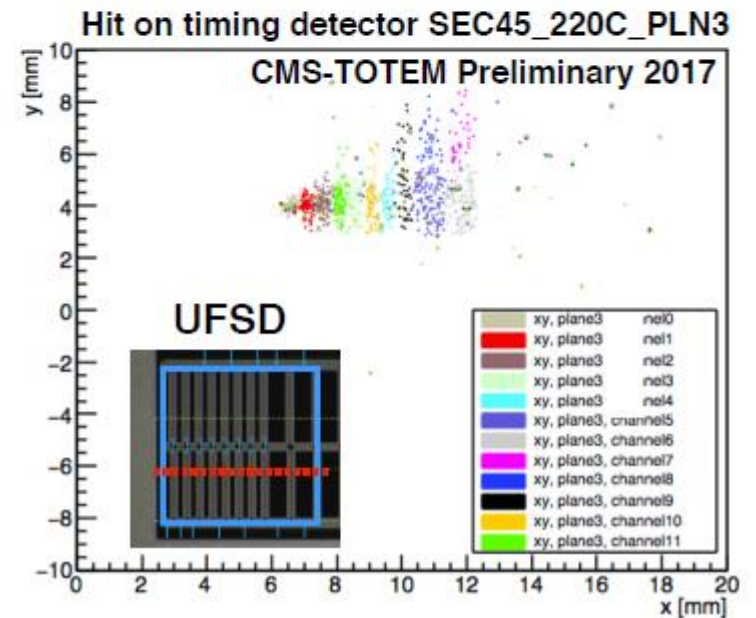
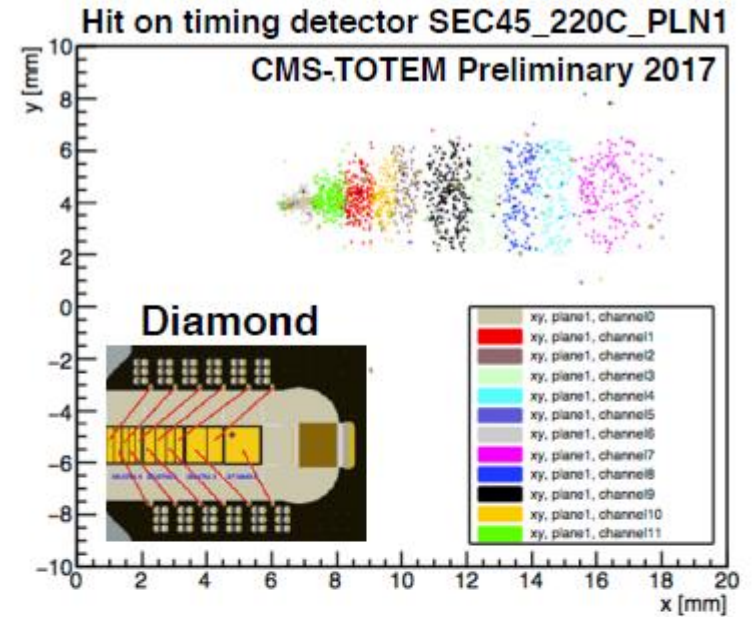
- Distribuzione del clock (RF e ottico) con jitter < 2 ps
 - Clock interno (PLL) degrada la risoluzione oltre 200 ps

Risoluzione preliminare sui dati da Diamanti



CMS Italia 2017

F.Ferro - INFN Genova



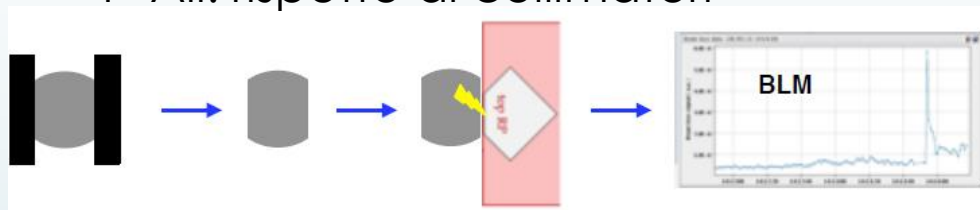
Allineamento

- Per ricostruire i parametri cinematici del protone e' necessario un ottimo allineamento, sapere in particolare dove ci si trova rispetto al fascio (non banale)

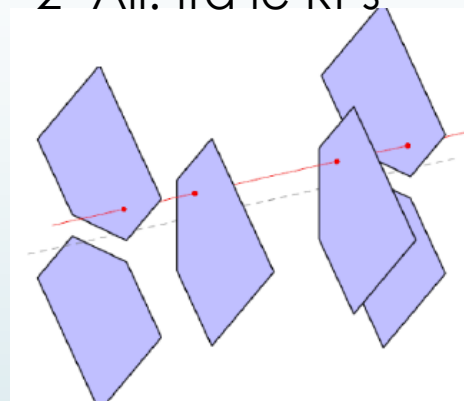
CTPPS

8

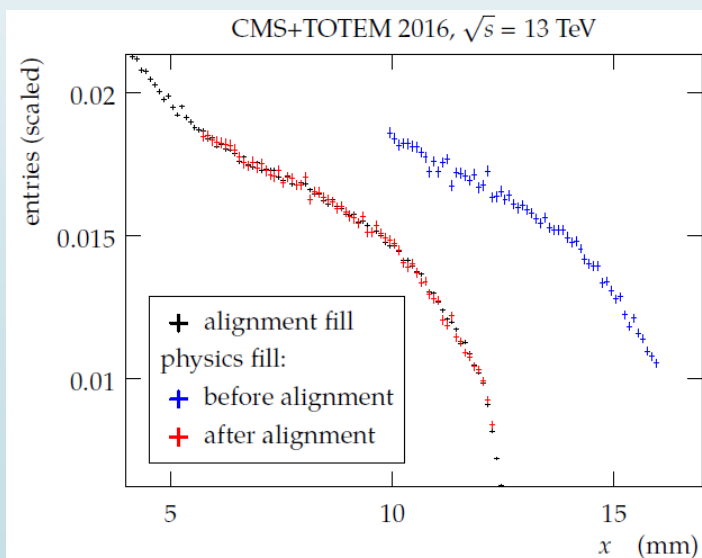
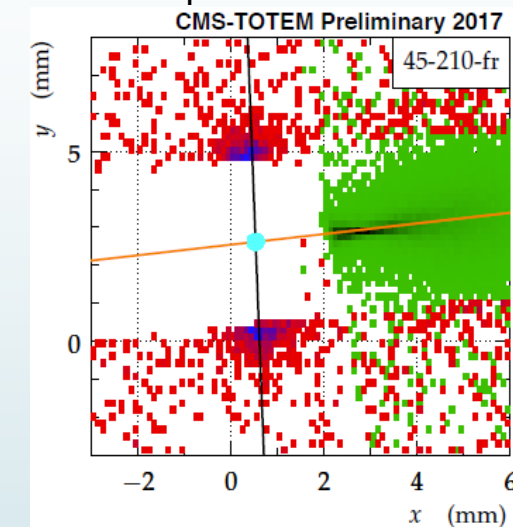
1- All. rispetto ai collimatori



2- All. tra le RPs



3- All. rispetto al fascio

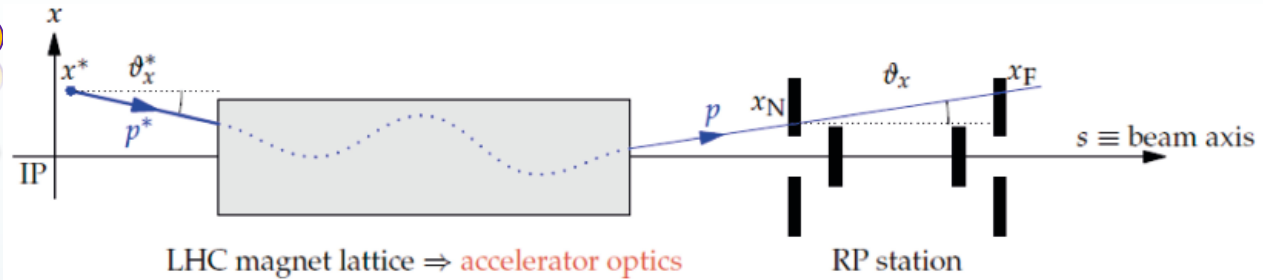


Allineamento durante fills speciali di calibrazione ed estrapolato ai fills di fisica

Cinematica del protone e ottica del fascio

CTPPS

9



- (x^*, y^*) : posizione del vertice
- (Θ_x^*, Θ_y^*) : angolo di scattering: $t \approx -p^2(\Theta_x^{*2} + \Theta_y^{*2})$
- $\xi = \Delta p/p$: perdita di momento

Measured in RP

$$\begin{pmatrix} x \\ \Theta_x \\ y \\ \Theta_y \\ \Delta p/p \end{pmatrix}_{RP} = \underbrace{\begin{pmatrix} v_x & L_x & 0 & 0 & D_x \\ v'_x & L'_x & 0 & 0 & D'_x \\ 0 & 0 & v_y & L_y & 0 \\ 0 & 0 & v'_y & L'_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Product of all lattice element matrices}} \begin{pmatrix} x^* \\ \Theta_x^* \\ y^* \\ \Theta_y^* \\ \Delta p/p \end{pmatrix}_{IP5}$$

Values at IP5 to be reconstructed

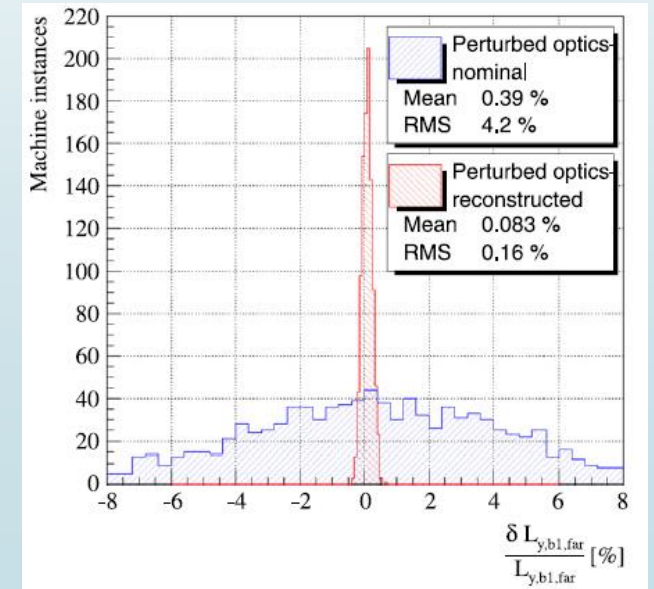
$$x_{RP} = L_x \Theta_x^* + v_x x^* + D_x \xi$$

$$y_{RP} = L_y \Theta_y^* + v_y y^*$$

- L_x, L_y : lunghezza efficace (sensibilita' all'angolo di scattering)
- v_x, v_y : ingrandimento (sensibilita' alla posizione del vertice)
- D_x : dispersione (sensibilita' alla perdita di momento); $D_y \sim 0$

Ricostruzione della cinematica del protone invertendo le equazioni di trasporto

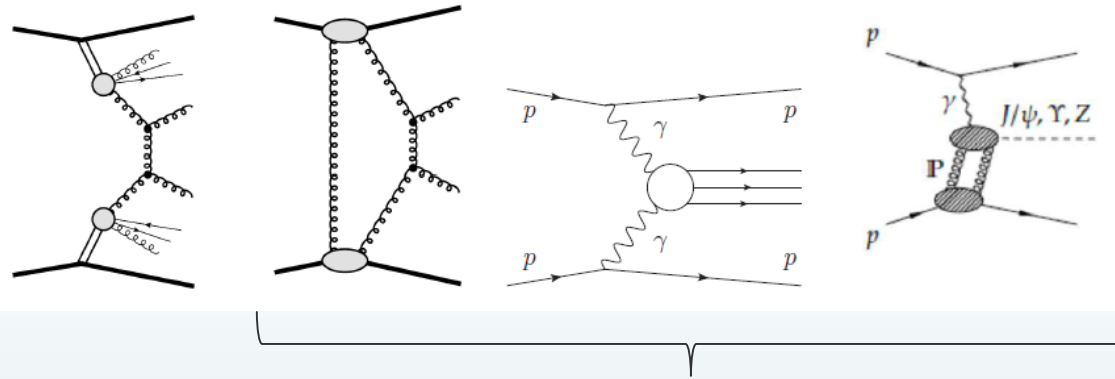
Necessaria ottima comprensione dell'ottica



Fisica con protoni ricostruiti: accettazione

CTPPS

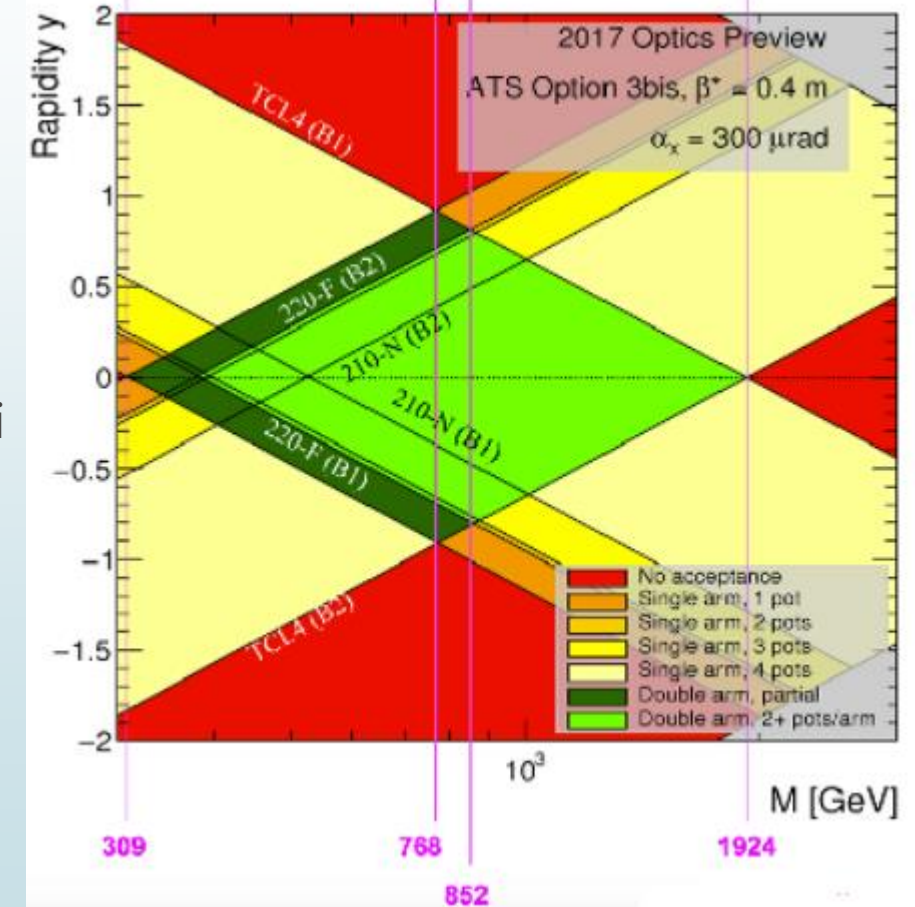
10



Produzione centrale esclusiva

- Sistema completamente vincolato dalla misura nel rivelatore centrale e dalla misura della cinematica dei protoni
- $M = \xi_1 \xi_2 s$, $y = \frac{1}{2} \ln(\xi_1 / \xi_2)$
- Accettazione per masse tra i ~300 e i ~1900 GeV per rapidità "centrali"
- Taglio a basse masse dovuto alla dispersione D_x
- Taglio ad alte masse dovuto al taglio dei collimatori

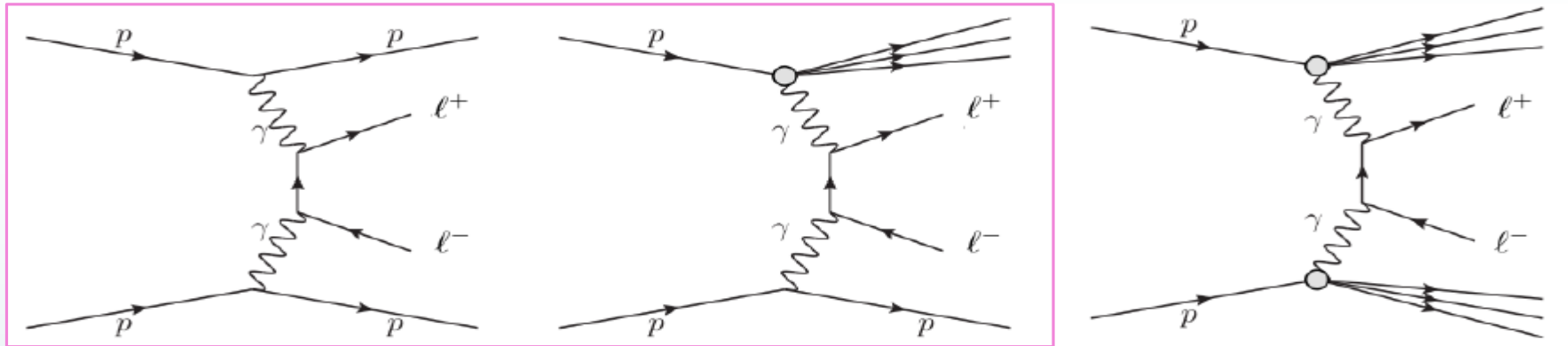
Accettazione di CT-PPS



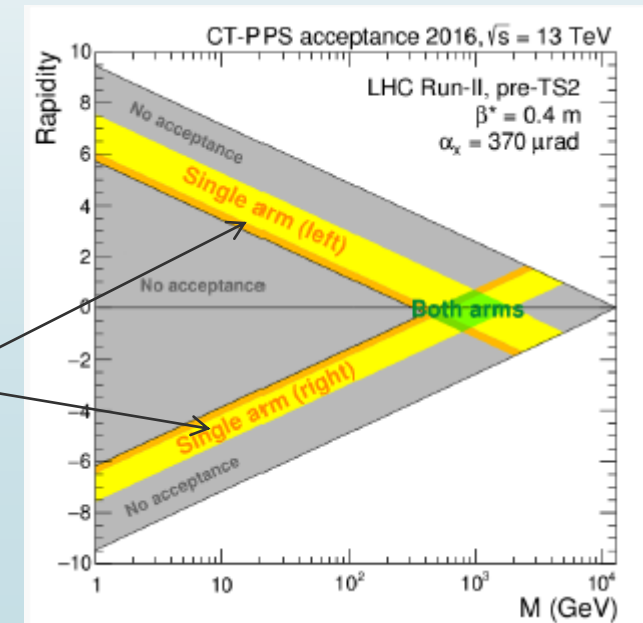
Produzione centrale esclusiva di di-leptoni

CTPPS

11



- Esplorare la correlazione cinematica tra il sistema dileptonico e i protoni in avanti
- Permettere una validazione incrociata di ottica e allineamento
- Osservare per la prima volta la fusione di $\gamma\gamma$ alla scala elettrodebole con uno o con entrambi i protoni identificati
 - L'uso di eventi con un solo protone taggato aumenta l'accettazione a bassa massa



Strategia dell'analisi sui di-leptoni

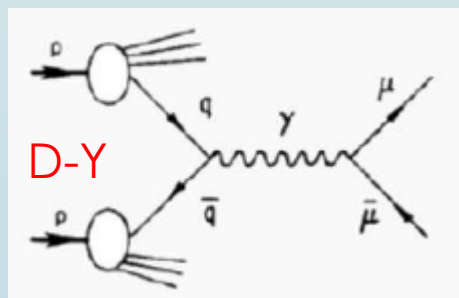
- Selezionare eventi di-leptonici col rivelatore centrale effettuando tagli opportuni (v. prossima slide)
- Sfruttare la correlazione tra la misura diretta del protone e del sistema centrale

$$\xi(l^+l^-) = \frac{1}{\sqrt{s}} (p_T(l^+)e^{\pm\eta(l^+)} + p_T(l^-)e^{\pm\eta(l^-)})$$

- $\pm\eta$ corrispondono alla direzione del protone
- equazione esatta nel caso di due protoni ma utilizzabile anche nel caso singolo diffrattivo

Fondi principali

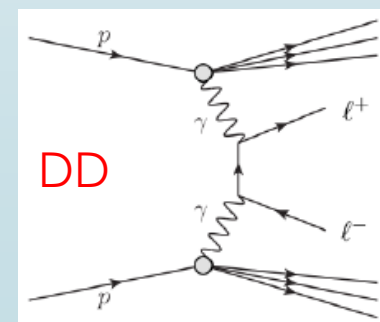
- Drell-Yan** o **doppio diffrattivo** in sovrapposizione con protoni non correlati (singolo diffrattivi, halo)



D-Y

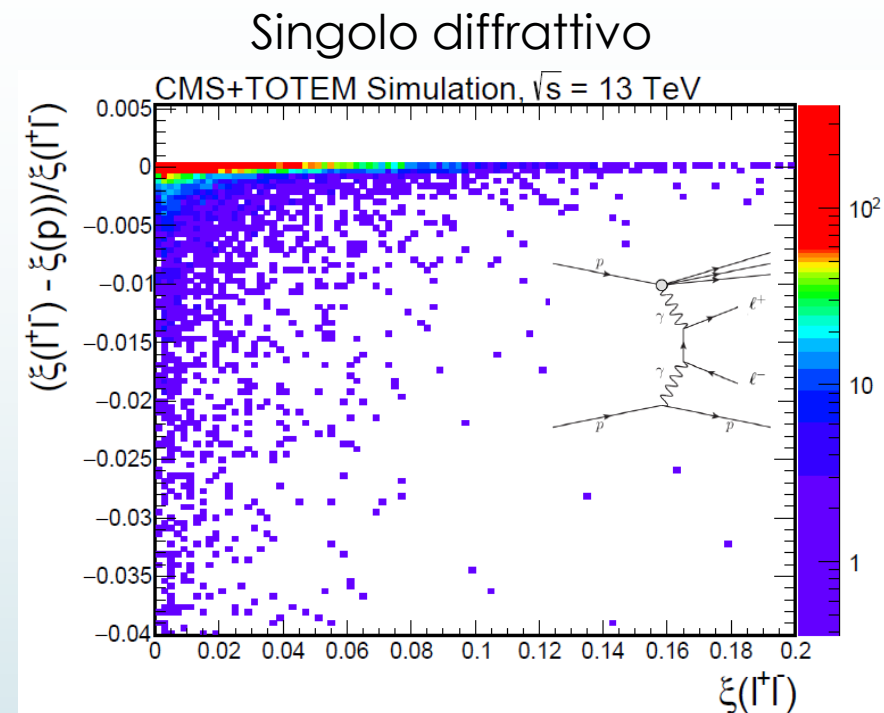
+ p scorrelato

oppure



DD

+ p scorrelato

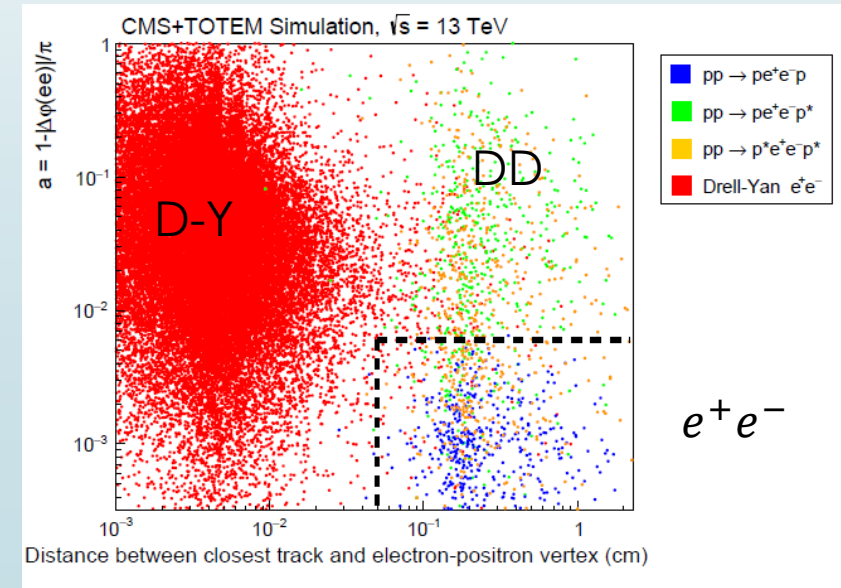
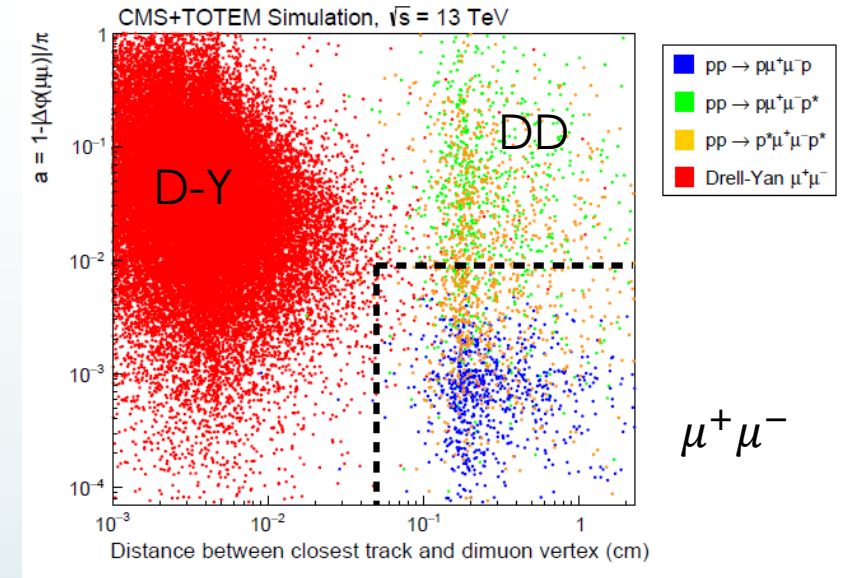


Di-leptoni: selezione degli eventi

CTPPS

13

- Analisi di $\sim 10\text{fb}^{-1}$ di dati 2016
- MC
 - LPAIR per gli eventi diffrattivi
 - MadGraph5_aMC@NLO per D-Y
- Selezione nel rivelatore centrale
 - 2 leptoni di segno opposto
 - $p_T(l^\pm) > 50\text{ GeV}$
 - $M(l^+l^-) > 110\text{ GeV}$ (fuori dal picco della Z)
 - Isolamento del vertice (no tracce entro 0.5 mm)
 - Acoplanarita' dei leptoni in Φ : $a = \left| 1 - \frac{\Delta\varphi}{\pi} \right|$
 - $a < 0.009$ per i muoni
 - $a < 0.006$ per gli elettroni
- Correlazione tra $\xi(l^+l^-)$ e $\xi_i(p_i)$
 - $|\xi(l^+l^-) - \xi_i(p_i)| < 2\sigma$



Stima del fondo data-driven

- Dai dati vengono selezionati protoni di background da eventi del picco della Z
- Stima del contributo D-Y
 - conteggio degli eventi nel picco della Z in cui $|\xi(l^+l^-) - \xi_i(p_i)| < 2\sigma$
 - estrapolazione tramite MC nella regione di massa del segnale
- Stima del contributo Doppio diffrattivo
 - eventi DD simulati da LPAIR vengono sovrapposti a protoni presi dai dati e si contano il numero di eventi in cui $|\xi(l^+l^-) - \xi_i(p_i)| < 2\sigma$
- Inoltre, il numero di eventi attesi doppio diffrattivi con protone taggato $e' < 1$

Complessivamente

Background atteso per i di-muoni: $1.49 \pm 0.07(\text{stat}) \pm 0.53(\text{syst})$ eventi

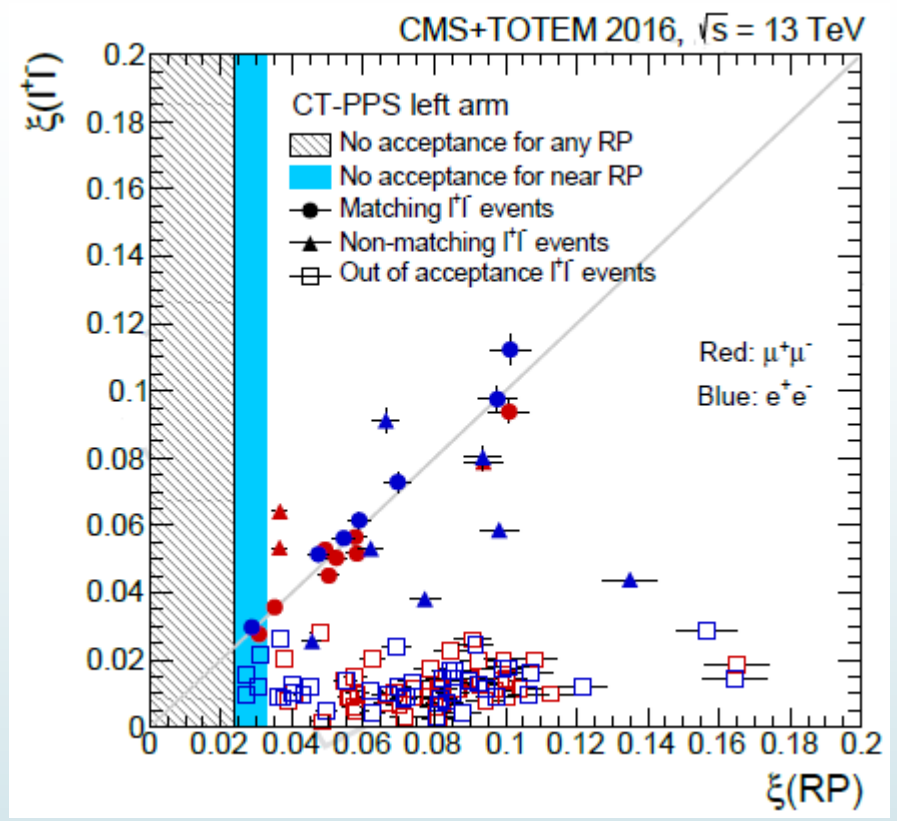
Background atteso per i di-elettroni: $2.36 \pm 0.09(\text{stat}) \pm 0.47(\text{syst})$ eventi

Correlazione e selezione del segnale

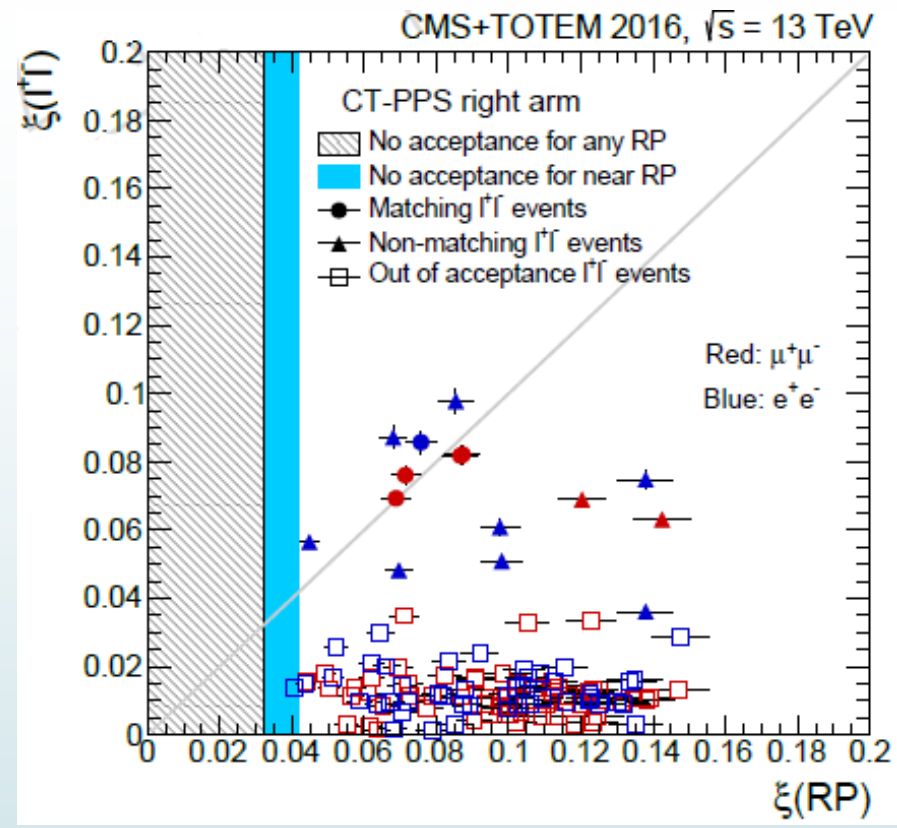
CTPPS

15

lato positivo



lato negativo



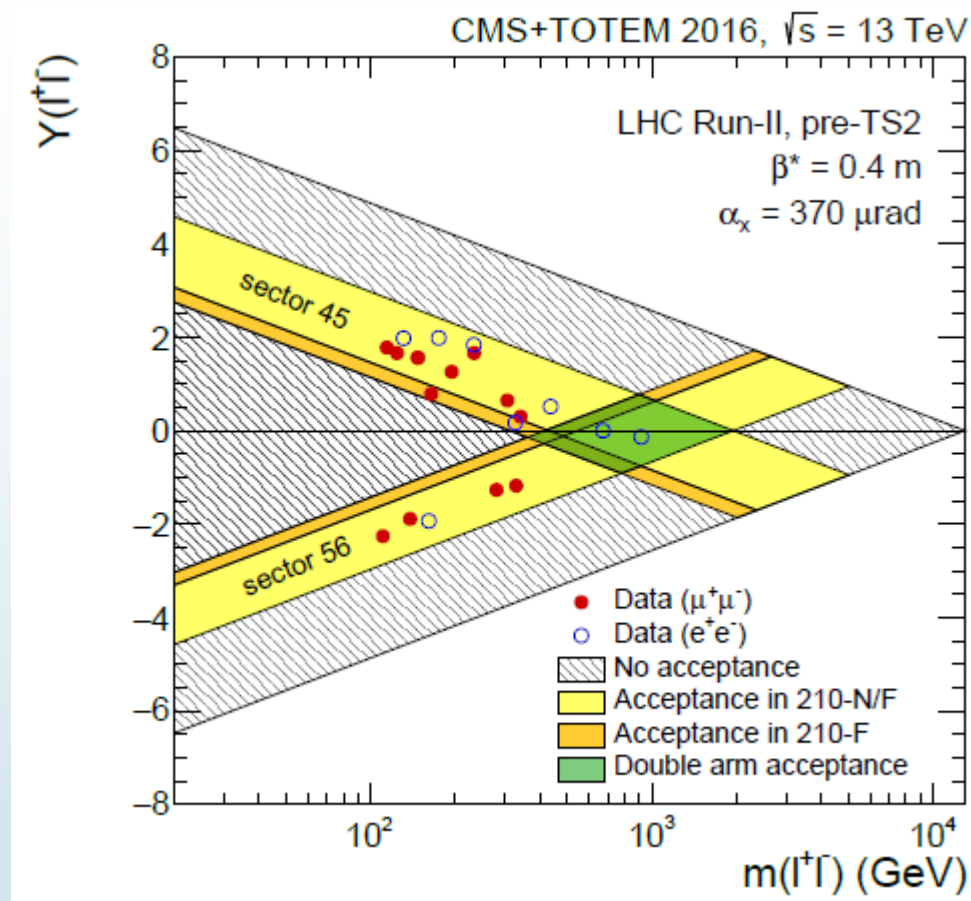
- $\mu^+\mu^-$: 17 eventi con $\xi(\mu\mu)$ nell'accettazione, di cui 12 con $|\xi(\mu^+\mu^-) - \xi_i(p_i)| < 2\sigma$. **Significativita' $\sim 4.3\sigma$**
- e^+e^- : 23 eventi con $\xi(ee)$ nell'accettazione, di cui 8 con $|\xi(e^+e^-) - \xi_i(p_i)| < 2\sigma$. **Significativita' $\sim 2.6\sigma$**

Significativita' combinata $\sim 5.1\sigma$

Rapidita' e massa dei candidati di-leptoni

CTPPS

16



- Primi eventi $\gamma\gamma$ con protoni taggati alla scala elettrodebole
- Tutti i di-leptoni osservati hanno un solo protone taggato

Produzione di coppie di fotoni

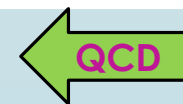
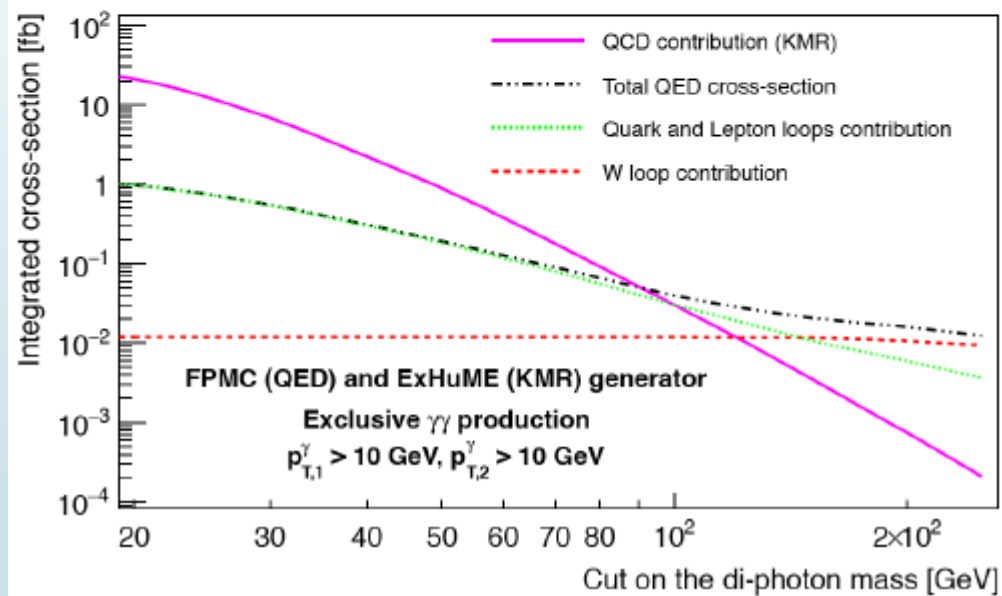
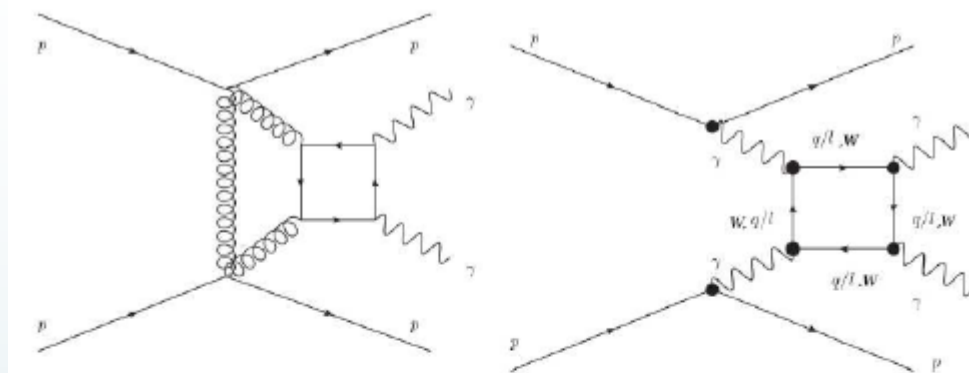
CTPPS

17

- Produzione QCD dominante a basse masse $M < \sim 100$ GeV
- Produzione QED dominante ad alte masse $M > \sim 100$ GeV



- A masse elevate due protoni taggati + due fotoni \rightarrow probabilita' molto elevata di processo indotto da fotoni

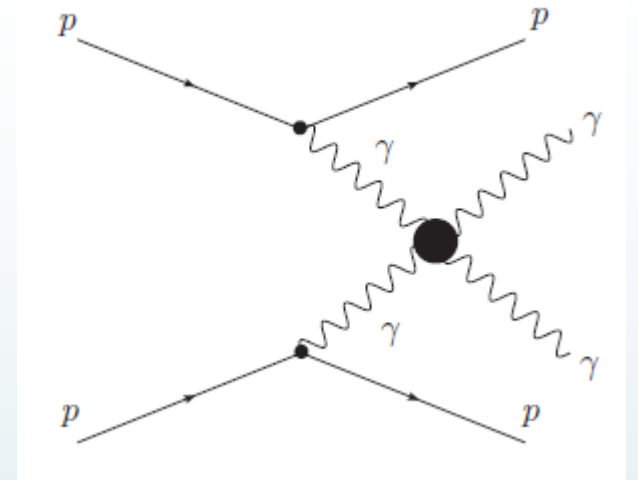


Accoppiamenti quartici anomali

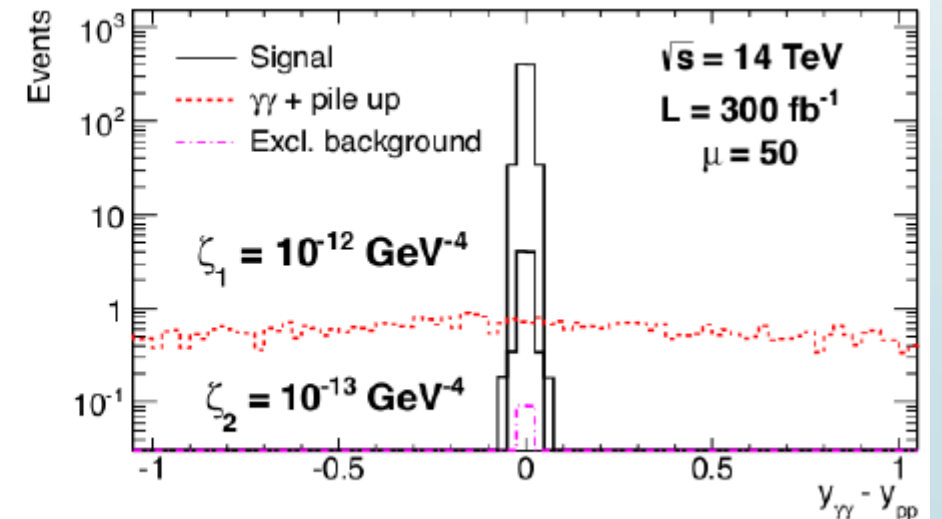
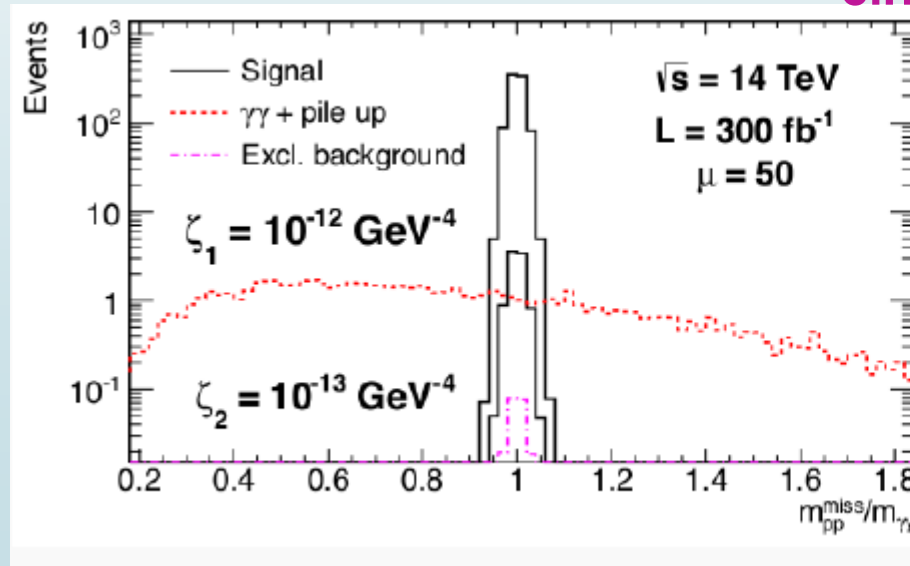
CTPPS

18

- ▶ Accoppiamenti $\gamma\gamma\gamma$ previsto in modelli extra-dimensions e composite Higgs
- ▶ Coppia esclusiva di fotoni nello stato finale
- ▶ Coppia di protoni taggati nello stato finale
- ▶ Background atteso ~ 0 con $\sim 300 \text{ fb}^{-1}$
- ▶ Timing non necessario



Simulazione



Stato delle analisi

- ▶ $\gamma\gamma \rightarrow \mu\mu, ee$: **PPS-17-001** (dati 2016). Paper pronto per la **CWR**. **INFN-TO**
- ▶ $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$: in corso, PPS-17-002 (dati 2016). Primi limiti sull'accoppiamento $\gamma\gamma\gamma\gamma$ anomalo. Atteso per l'inverno 2018-19 con anche i dati 2017-18.
- ▶ $\gamma\gamma \rightarrow WW$: in corso (in programma di usare dati 2016-17-18). **INFN-TO**
- ▶ $\gamma\gamma \rightarrow ZZ$: da iniziare
- ▶ $\gamma\gamma \rightarrow \gamma Z$: in corso (in programma di usare dati 2016-17-18).
- ▶ $gg/\gamma\gamma \rightarrow t\bar{t}$: produzione esclusiva di $t\bar{t}$. Studi preliminari di fattibilità' (in programma di usare dati 2016-17-18 se fattibile). **INFN-GE**
- ▶ $gg \rightarrow \text{jets}$: necessario timing per soppressione del pile-up. Da iniziare.
- ▶ Low mass SUSY, missing momentum: necessari almeno 100fb^{-1} e timing di precisione al Run 3. Studi di fattibilità' iniziati.

Programmi per il 2018



➤ Tracciatore

- tracciamento con **2 stazioni di pixel per lato** (sostituzione delle strips con pacchetti di pixels e swap dei pacchetti esistenti)



➤ Timing

- TOF con **2 piani di Diamanti e 2 doppi-piani di Diamanti per lato**
- R&D sugli UFSD per migliorare la resistenza alle radiazioni



➤ Analisi

- finalizzazione delle analisi in corso con i nuovi dati
- riproduzione dell'analisi sui di-leptoni con i nuovi dati (benchmark)



- Discussione in corso con la macchina sulle ripercussioni dell'uso di **ottica "dinamica"**
 - luminosity levelling, crossing angle levelling
 - atteggiamento costruttivo da parte di LHC

Programmi per il Run III

CTPPS

21

- ▶ Run III risulta essere la **naturale continuazione** del programma iniziato a Run II, come già previsto nell'MoU CMS-TOTEM
- ▶ I $\sim 100\text{fb}^{-1}$ attesi da Run II sono il “minimo indispensabile” per il programma di fisica previsto e approvato: **necessaria piu' statistica**
- ▶ **Non** appaiono necessari “**major upgrades**” per adattarsi alle condizioni di running di LHC
- ▶ **Investimenti necessari** per mantenere/costruire i rivelatori, risolvere le problematiche aperte e adattarsi alle condizioni di Run III
 - ▶ danni non uniformi al pixel ROC (nuova generazione da PSI?)
 - ▶ risoluzione del timing: 5-10 piani di doppi-Diamanti per risoluzione ottimale
- ▶ Run III massimizzerebbe il valore aggiunto dell'integrazione CMS-TOTEM
- ▶ Forte determinazione di CTPPS a runnare anche per il Run III

HL-LHC?

CTPPS

22

- ▶ I canali di fisica studiati da CTPPS trarrebbero sicuramente beneficio da un ordine di grandezza di statistica in più
- ▶ Alto pile-up probabilmente gestibile con risoluzioni di tempo dell'ordine di pochi ps
- ▶ Dalle discussioni con gli esperti di macchina risulta possibile una copertura cinematica simile a quella attuale
- ▶ Studi sull'ottica in stretta collaborazione con la macchina e con ATLAS
- ▶ LOI in preparazione

Conclusioni

CTPPS

23

- ▶ CTPPS ha preso piu' di 50 fb^{-1} tra il 2016 e il 2017 nei run standard di LHC
- ▶ Con le operazioni del 2016 e 2017 CT-PPS ha confermato per la prima volta la fattibilita' e l'utilita' di uno spettrometro di protoni che operi stabilmente ad alta luminosita' in un collider adronico
- ▶ Il programma sta avanzando come previsto dal TDR e stanno uscendo le prime pubblicazioni
- ▶ Una delicata fase di commissioning dovuta alla "prima volta" di certe tipologie di rivelatori non ha impedito di iniziare a fare Fisica
- ▶ Il setup sperimentale verra' ulteriormente migliorato nel 2018
- ▶ L'assorbimento della parte TOTEM di CTPPS e' in fase avanzata e dovrebbe concludersi prima dell'inizio dei runs 2018 (v. J.Butler-MB208)
- ▶ CTPPS (o meglio PPS) intende estendere il programma di fisica al Run III
- ▶ **L'INFN ha un ruolo fondamentale** in PPS sia come funding, sia come man-power, sia come responsabilita' (vice-project manager, IB-chairman, Tracker project managers, DPG convener)

Collaborazione CMS-TOTEM per l'analisi dei runs speciali a bassa luminosita' continua (v. talk di R.Ciesielski alla CMS week la prossima settimana).

Back-up

TOTEM CMS Discussions - I



- The CMS internal discussion group met on Nov. 9
- The external group met with TOTEM on Nov. 13
- TOTEM expected to complete its experimental program with a 14 TeV run before LS2. That run will now take place after LS2. This led TOTEM to review their commitments and plans.
 - TOTEM collaborators and institutes renewed their commitment to do the 14 TeV measurements after LS2 at the Collaboration Board in June this year.
 - It was decided to continue TOTEM as a standalone experiment until the 14 TeV measurement in 2021, thus fulfilling the TOTEM approved physics program, and then declare the experiment as completed.
 - CMS has been assuming this in its planning
- In parallel, the TOTEM institutes quite generally do not want to delay the process of becoming members of CMS and want to do it even before TOTEM completes its experimental program.
 - This applies to all TOTEM institutes except for a few, mainly a three institute consortium from the Czech republic, who are forbidden by their funding agency to join CMS because of prior arrangement related to the support of ATLAS
 - Of those institutes who are able to join, some are already members of CT-PPS and some were not.

TOTEM CMS Discussions - II



- TOTEM sees the current CT-PPS arrangement as a bridge to full integration with CMS, i.e. : full integration of CT-PPS into CMS now (rather than maintaining the double-experiment structure in force with the present CT-PPS MoU), and merging of TOTEM into CMS after the 14 TeV measurement in 2021.
 - They would like all of TOTEM institutes currently in CT-PPS to join CMS as soon as possible (by the spring)
 - In fact, All allowed members and institutes of TOTEM have now joined CT-PPS
 - They propose to transfer to CMS all present contributions of TOTEM to CT-PPS as soon as possible
 - People
 - Equipment (including legacy equipment)
 - Funding
- Under this plan, the years 2018-2021 will be a transition period when some people will have dual membership in CMS and TOTEM

TOTEM CMS Discussions - III



- The general arrangement
 - The detector system will be called "Precision Proton Spectrometer" or "PPS" and will be constituted like any other detector subsystem with its own IB, committees, and internal organization, which will include a DPG
 - TOTEM and CMS agree that there is no need for a new Physics Analysis Group (PAG). The PPS system will deliver tagged protons and proton pairs and will compute the associated kinematic quantities. The analysis of states in the CMS solenoidal spectrometer in conjunction with proton tags will be carried out in the PAG appropriate to that final state.
 - There is still a discussion as to whether we need a separate DPG and POG or one group can handle all functions. This is not viewed as a major issue but will continue to be discussed
- There including are many issues
 - M&O A and B
 - Equipment issues
 - Continuing support of TOTEM people stationed at CERN
- We have a good chance to have most TOTEM Institutes in CMS by the end of April

Three Joint Working groups will be set up to resolve each of these problems

J.Butler – MB208

Pixel detector - # Tracks vs PU

The number of tracks reconstructed by the pixel detector shows a clear correlation with the number of PU events.

Due to the high pile-up of this year, the percentage of **single tracks for events with activity in the pot** goes down to 40%, showing the advantage of a pixel detector w.r.t. a strip one.

Percentage of showers (**black points**) is directly proportional to PU and at the maximum luminosity reaches 10%.

