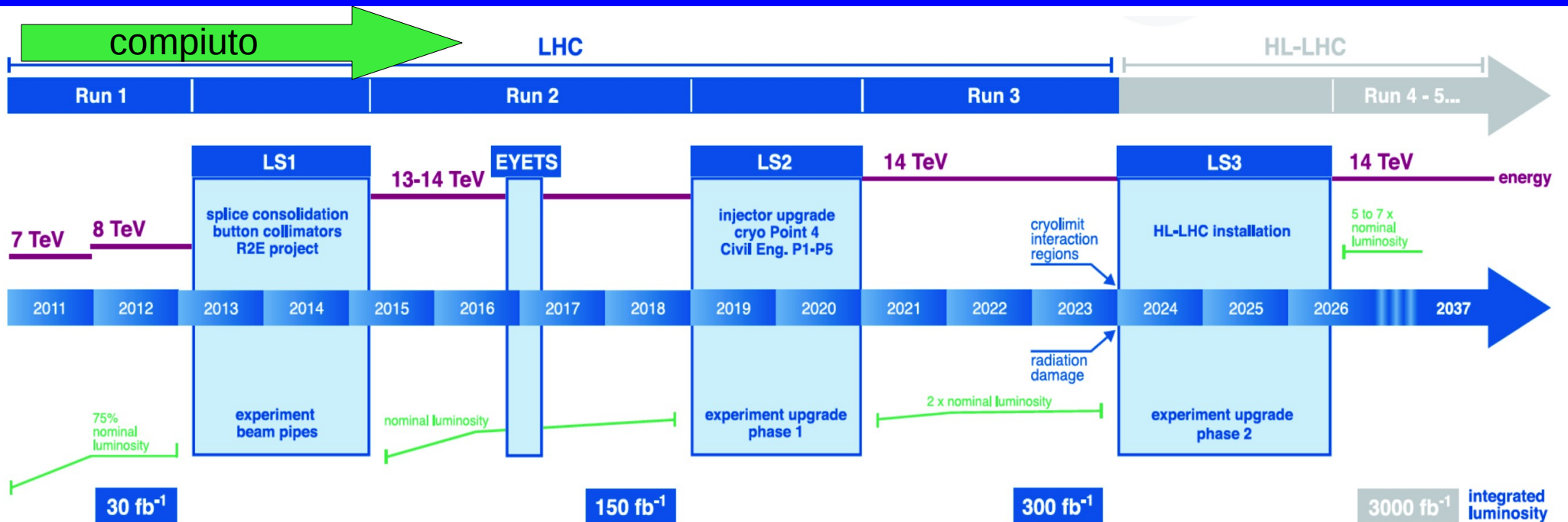


Sviluppo degli esperimenti
ATLAS e CMS a HL-LHC:
prestazioni dei rivelatori e
potenzialità di fisica

IFAE 2016
Genova 30 Marzo-1 Aprile
Marianna Testa LNF

Verso High Luminosity-LHC

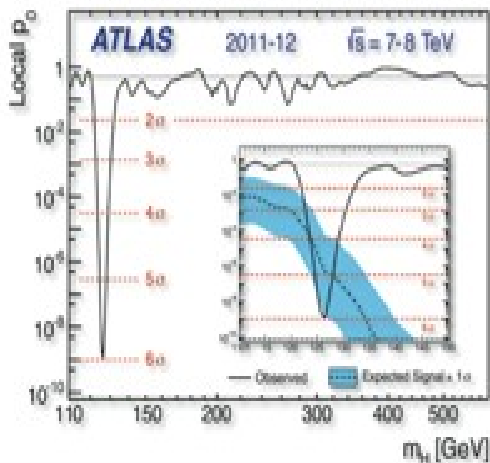


Run 1

Run 2:
energia e
luminosità
di progetto

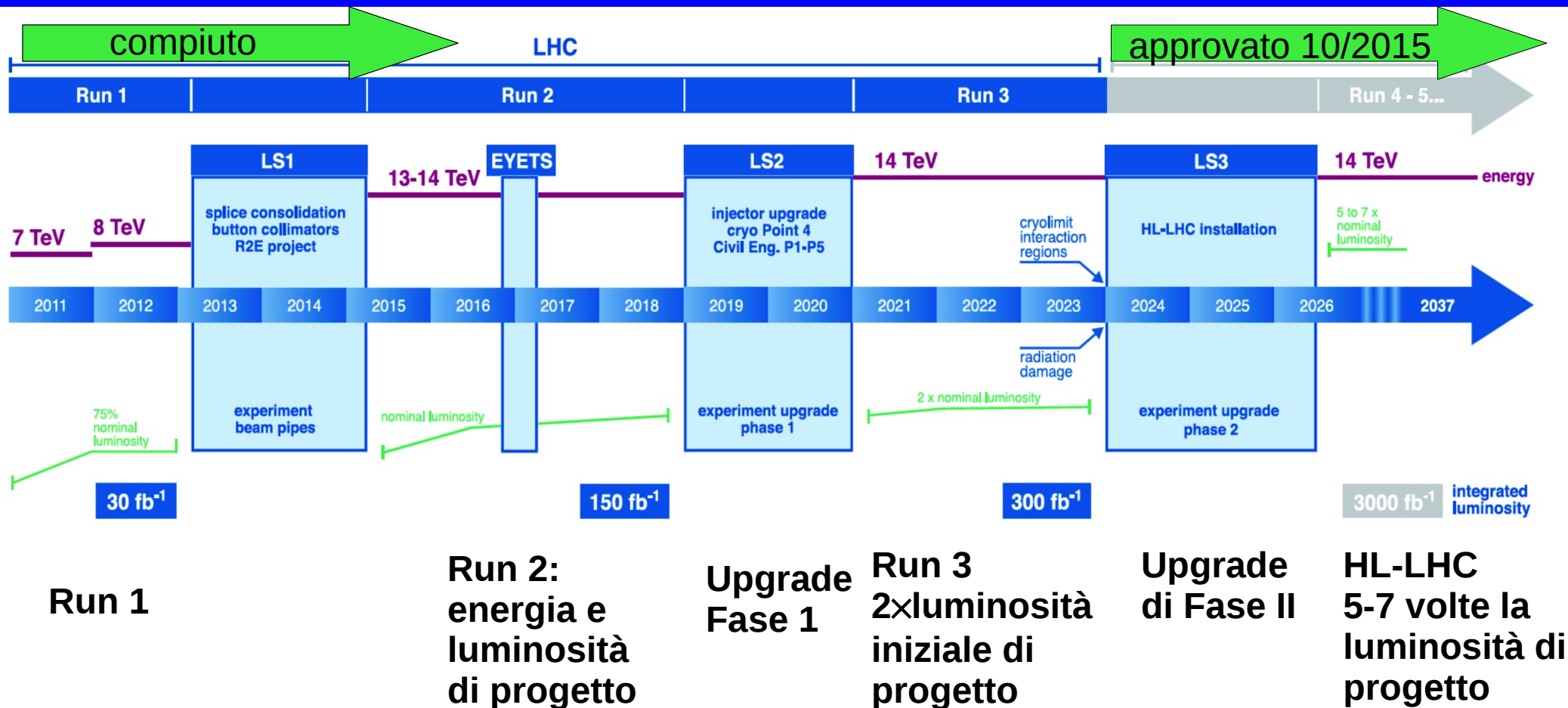
Upgrade
Fase 1
Run 3
2x luminosità
iniziale di
progetto

Upgrade
di Fase II
HL-LHC
5-7 volte la
luminosità di
progetto



- Dopo solo 1% della luminosità integrata finale e con ~metà dell'energia del cdm di progetto
- Il grosso del potenziale di scoperta ancora da usare con ~10 x più dati + ~2 x Energia

Verso High Luminosity-LHC



*“Europe’s **top priority** should be the **exploitation** of the **full potential of the LHC**, including the high luminosity upgrade of the machine and the detectors with a view to collecting 10 times more data than in the initial design, by around 2030”*

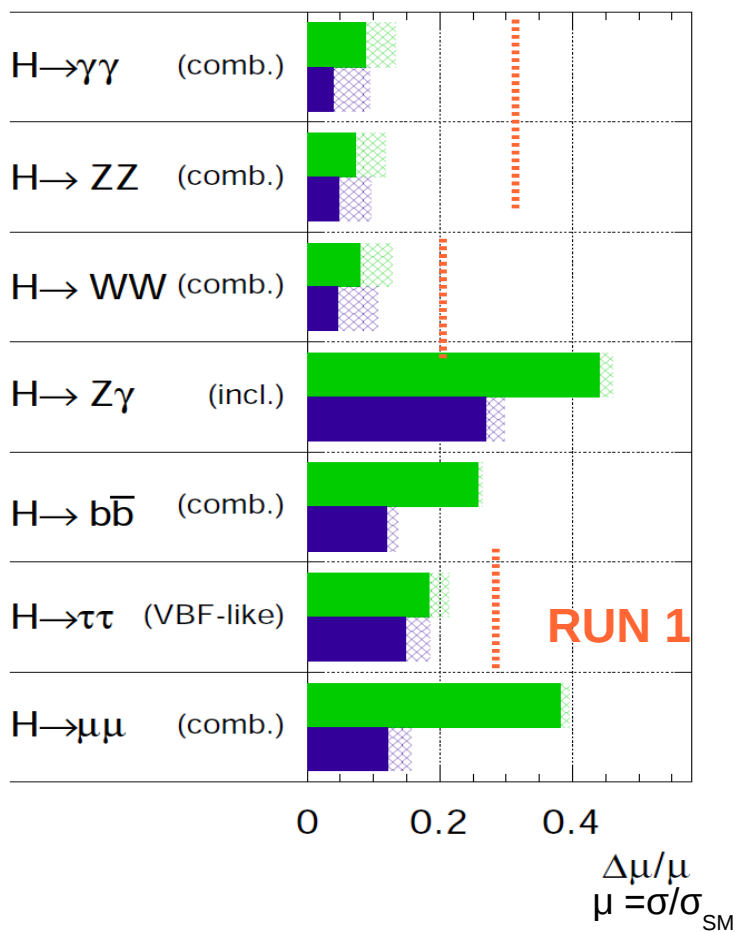
Perché HL-LHC? Fisica del bosone di Higgs

HL-LHC e' un macchina per produrre bosoni di Higgs:
piu' di 100 million con 3000 fb^{-1}

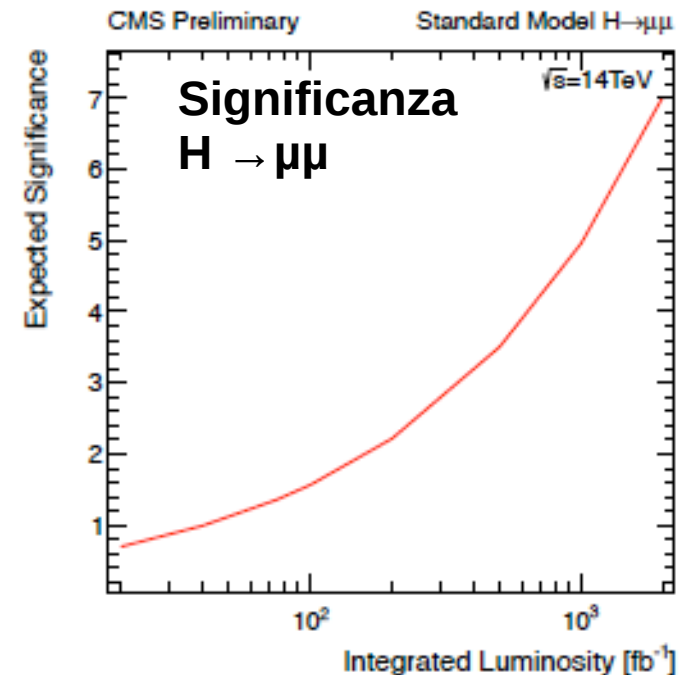
Accoppiamenti del bosone di Higgs con precisione $< 5\%$

ATLAS Simulation Preliminary

$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$: $\int L dt = 300 \text{ fb}^{-1}$; $\int L dt = 3000 \text{ fb}^{-1}$



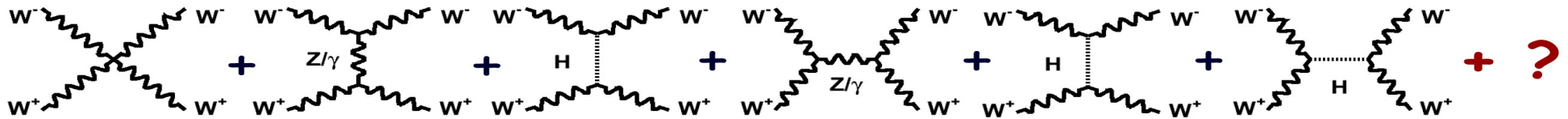
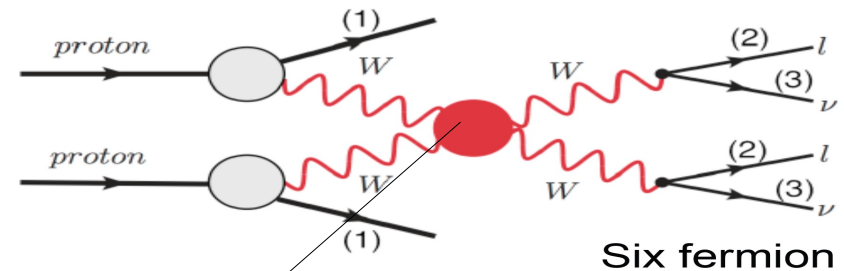
Decadimenti rari:
significanza per $H \rightarrow \mu\mu$: 5-7 σ con 3000 fb^{-1} (3σ ~ for 300 fb^{-1})



$H \rightarrow Z\gamma$, sensibile a nuova fisica,
possibile osservazione del
decadimento SM:
3.9 σ con 3000 fb^{-1} , 2.3 σ con 300 fb^{-1}

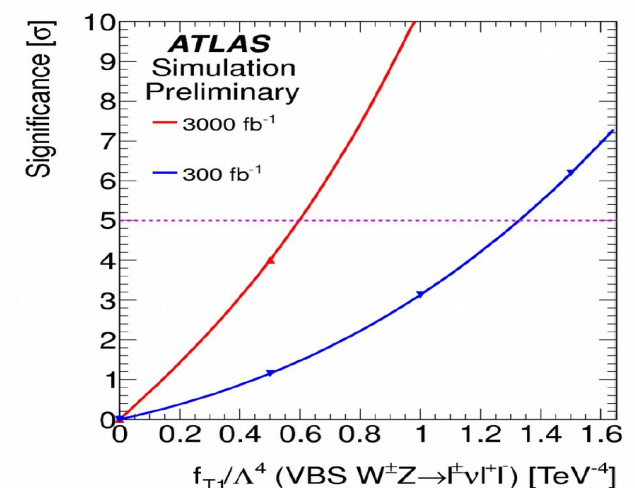
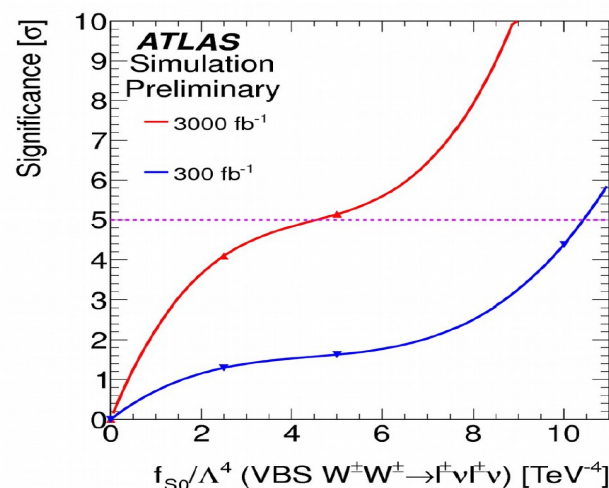
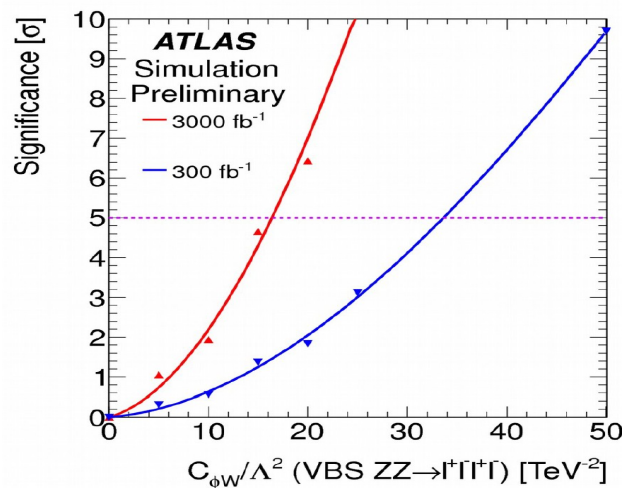
Perché HL-LHC? Scattering tra Bosoni Vettori

- Lo scattering tra bosoni vettori permette di **esplorare il meccanismo di rottura della simmetria elettro-debole**
- Conferma se cancellazione delle divergenze è dovuta al bosone di Higgs



Forte aumento di sensibilità a fisica BSM con 3000fb^{-1}

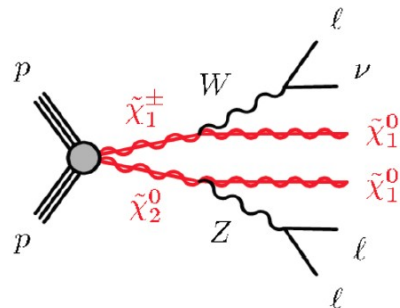
Parametrizzata con operatori a dimensione maggiore



Perché HL-LHC: Ricerche oltre il Modello Standard (SUSY e processi esotici)

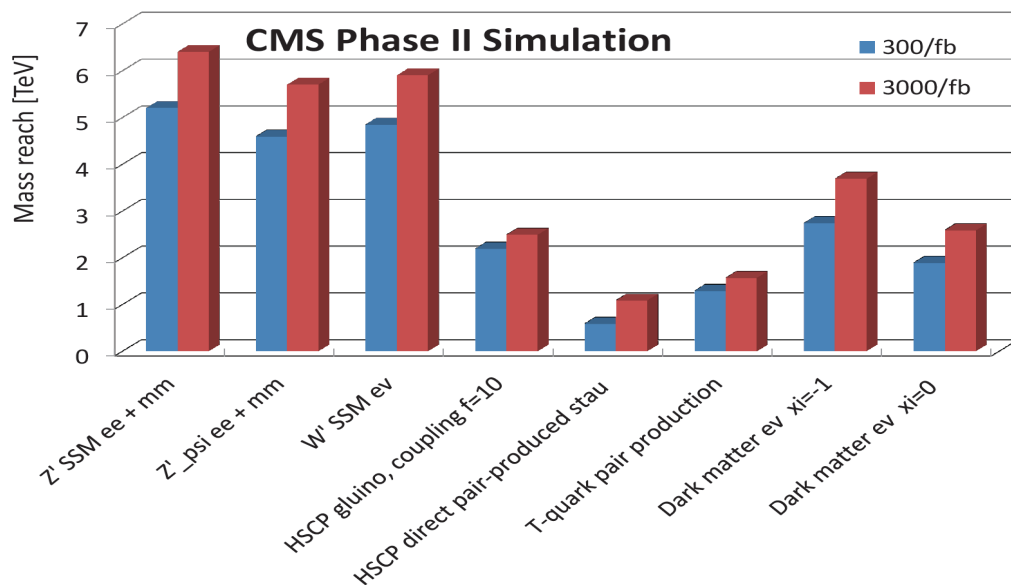
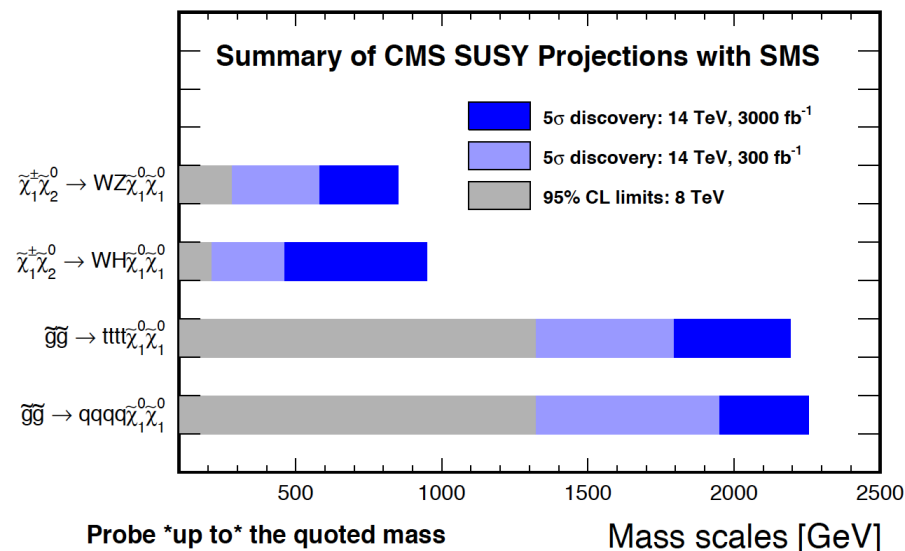
SUSY

- **Maggior beneficio della alta luminosità per processi elettro-deboli**
- *Massimi valori di masse testabili:*
 $\sim +20\%$ per gluini, squarks, stop
 $+50-100\%$ per produzione elettrodebole di χ_1^0 and χ_2^+



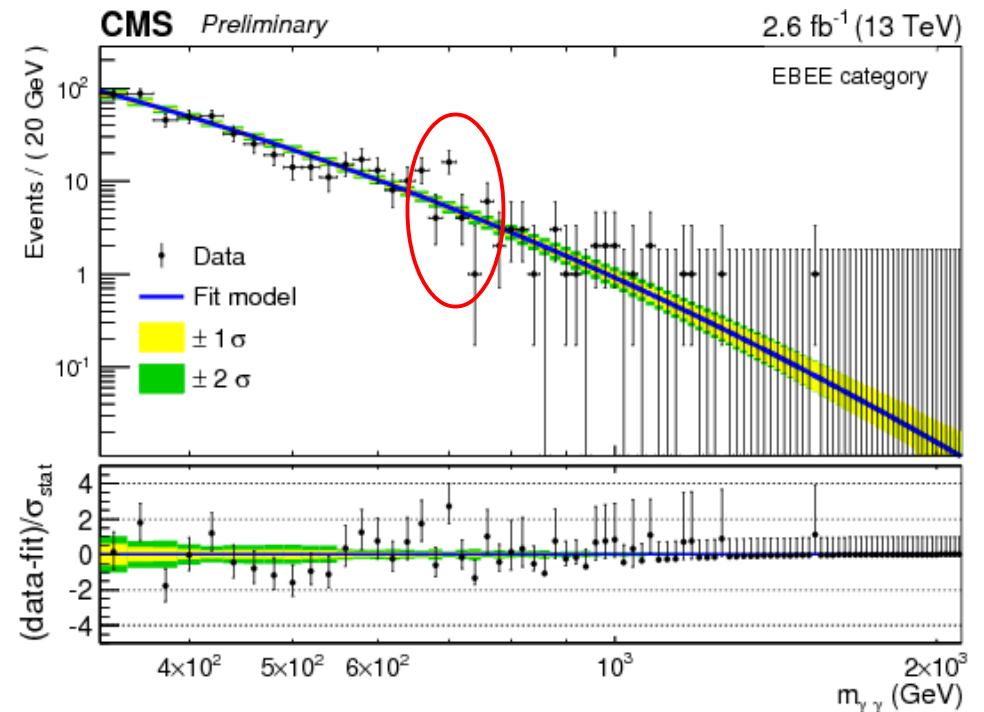
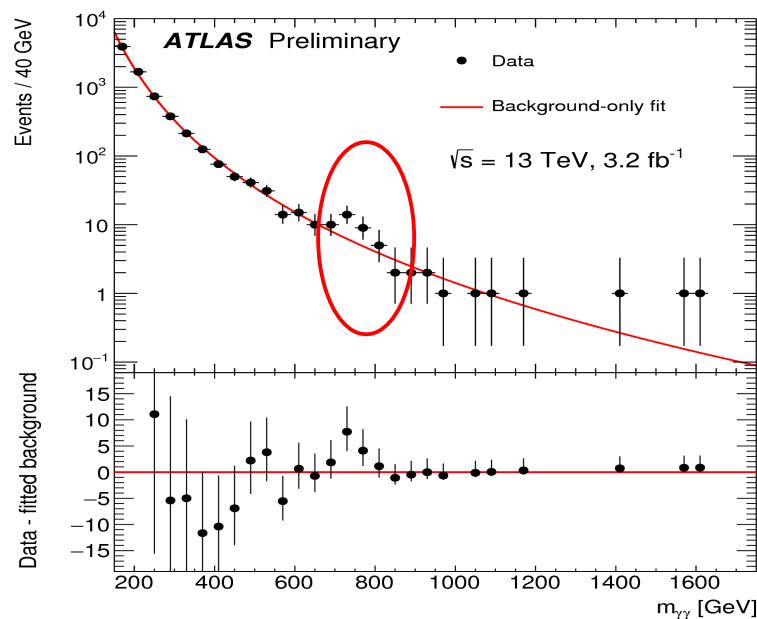
Processi esotici:
 Aumento del $\sim 20\%$ per masse di $O(\text{TeV})$

e...



Perche' HL-LHC: Ricerche oltre il Modello Standard (SUSY e processi esotici)

Indagare su indizi e/o scoperte osservate nei
Runs 2 & 3



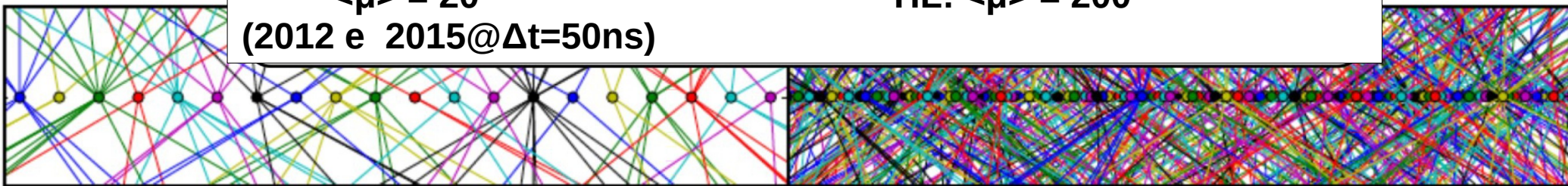
La sfida del Pile-up e soluzioni

Misure e scoperte richiedono luminosità di $5 (7.5) 10^{34} \text{ cm}^{-2}$

➔ # interazioni per incrocio dei pacchetti saranno $\mu = 140 (200)$

$\langle \mu \rangle = 20$
(2012 e 2015@ $\Delta t=50\text{ns}$)

HL: $\langle \mu \rangle = 200$



In questo ambiente “ostico”, si vuole:

- **Basse soglie di trigger:**
 - Per singolo e/μ soglia a $\sim 20 \text{ GeV}$ (run1)
 - La massa del Higgs e' bassa!
- **Selezione e ricostruzione efficiente per tau, Jets e energia trasversa mancante**
- Sia online che offline!



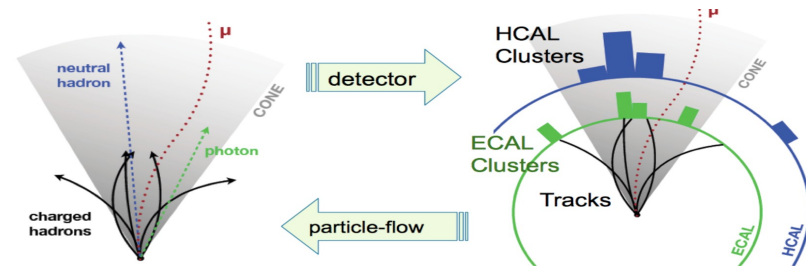
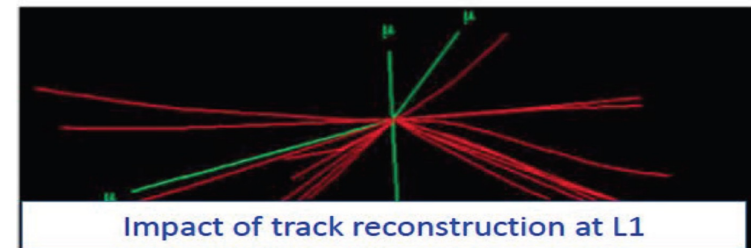
- **Richieste sui rivelatori sottoposti ad alto flusso e in condizioni di alto pileup**

- Granularità più spinta
- Aumento della larghezza di banda
- maggiore resistenza alla radiazione
- minimizzare materiale del tracciatore
- estendere copertura angolare

140 PU events - only 20 shown here

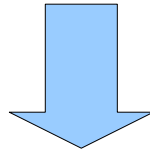
Operating conditions:
one “good” event (e.g Higgs in 4 muons)
+ ~ 20 minimum bias events)

All charged tracks with $p_t > 2 \text{ GeV}$



ATLAS e CMS: richieste sui rivelatori

- **Tolleranza a radiazioni:** $10 \times \text{LHC}$ (da 300 a 3000 fb⁻¹)
- **Elevate prestazioni a 200 interazioni pp / incrocio**
 - Cruciale assegnare particelle al vertice primario per la mitigazione del pile-up
- **Migliorare prestazioni sul livello 1 di trigger**
 - eventi interessanti a frequenza $\times 5-7 \rightarrow 500-750 \text{ kHz}$ (da 100kHz)
 - **Trigger di traccia** at L1
 - Latenza più lunga: 10-20 μs (da qualche μs)
- **Copertura angolare maggiore** fino a $\eta \sim 4$ per il tracciamento



Questi cambiamenti sono obbligatori:

- ♦ Sostituzione del tracciatore (causa radiazione)
- ♦ Sostituzione del calorimetro nella regione in avanti (causa radiazione)
- ♦ Riadattamento dell'elettronica
- ♦ Sistema di trigger (causa alto flusso)

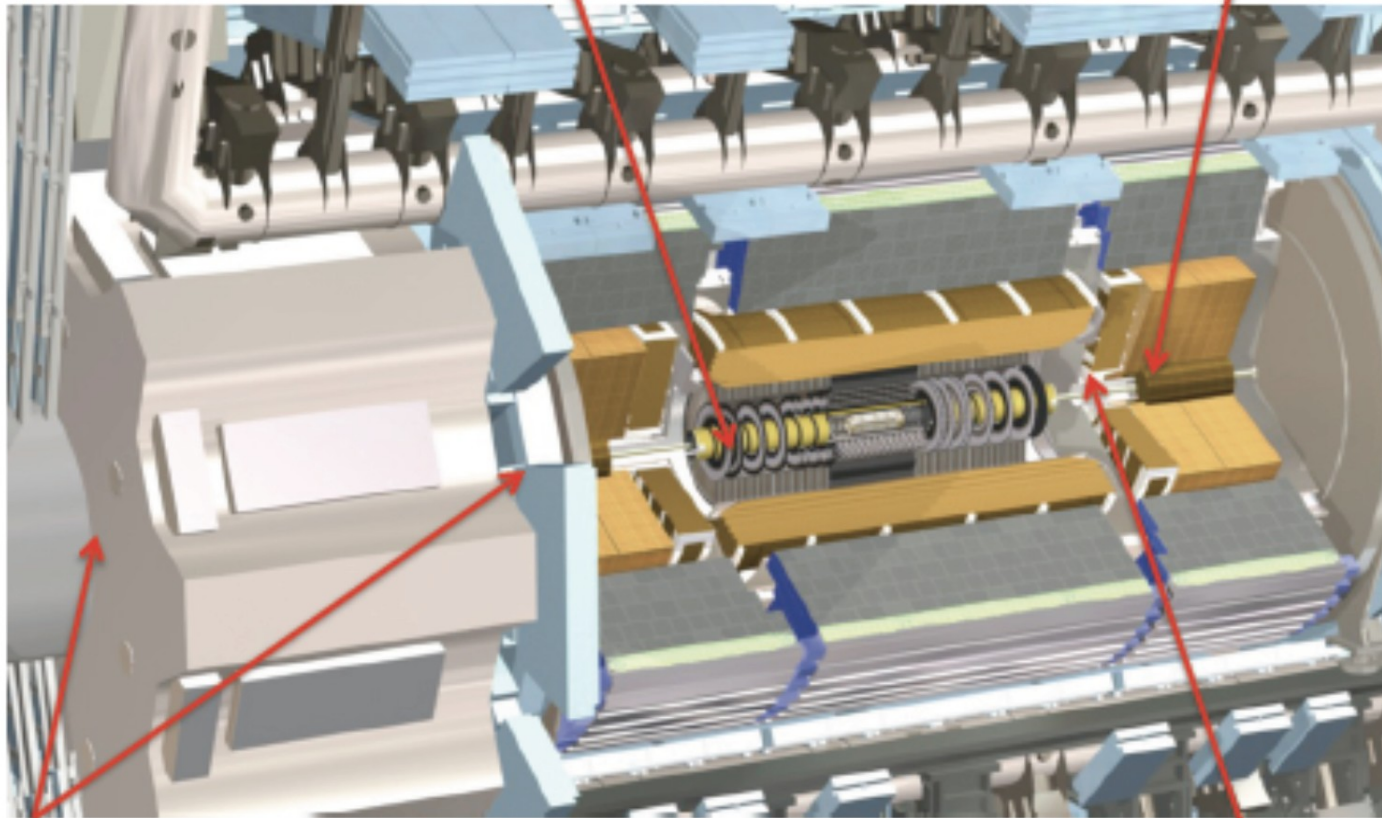
Altri sono in fase di valutazione

- Granularità più fine per i calorimetri
- Rivelatori per misure di tempo, etc..

ATLAS: miglioramenti per Fase 2

Extend ITK tracker to $2.5 < \eta < 4$: different pixel layouts (extended IBL, disks, rings, pixel granularity,...)

sFCal $3.1 < \eta < 4.9$: FCAL1 with better transv. granularity and reduced pulse length



Trigger w/ fwd tracking:
- L0/L1 capabilities
- vertex information

Muon spectrometer options for $2.7 < \eta < 4.0$:

- 1 pixelated tag chamber before EC toroid
- 2 chs (before/after EC toroid) + 1.5T warm toroid

Segmented timing-preshower detector in front of EMEC/FCAL in $2.5 < \eta < 4$ (MBTS location):
($\sim 100 \mu\text{m}$; $\sim 10 \text{ps}$)

CMS: miglioramenti per Fase 2

New Tracker

- Radiation tolerant - high granularity - less material
- Tracks in hardware trigger (L1)
- Coverage up to $\eta \sim 4$

New Endcap Calorimeters

- Radiation tolerant - increased granularity

Barrel ECAL

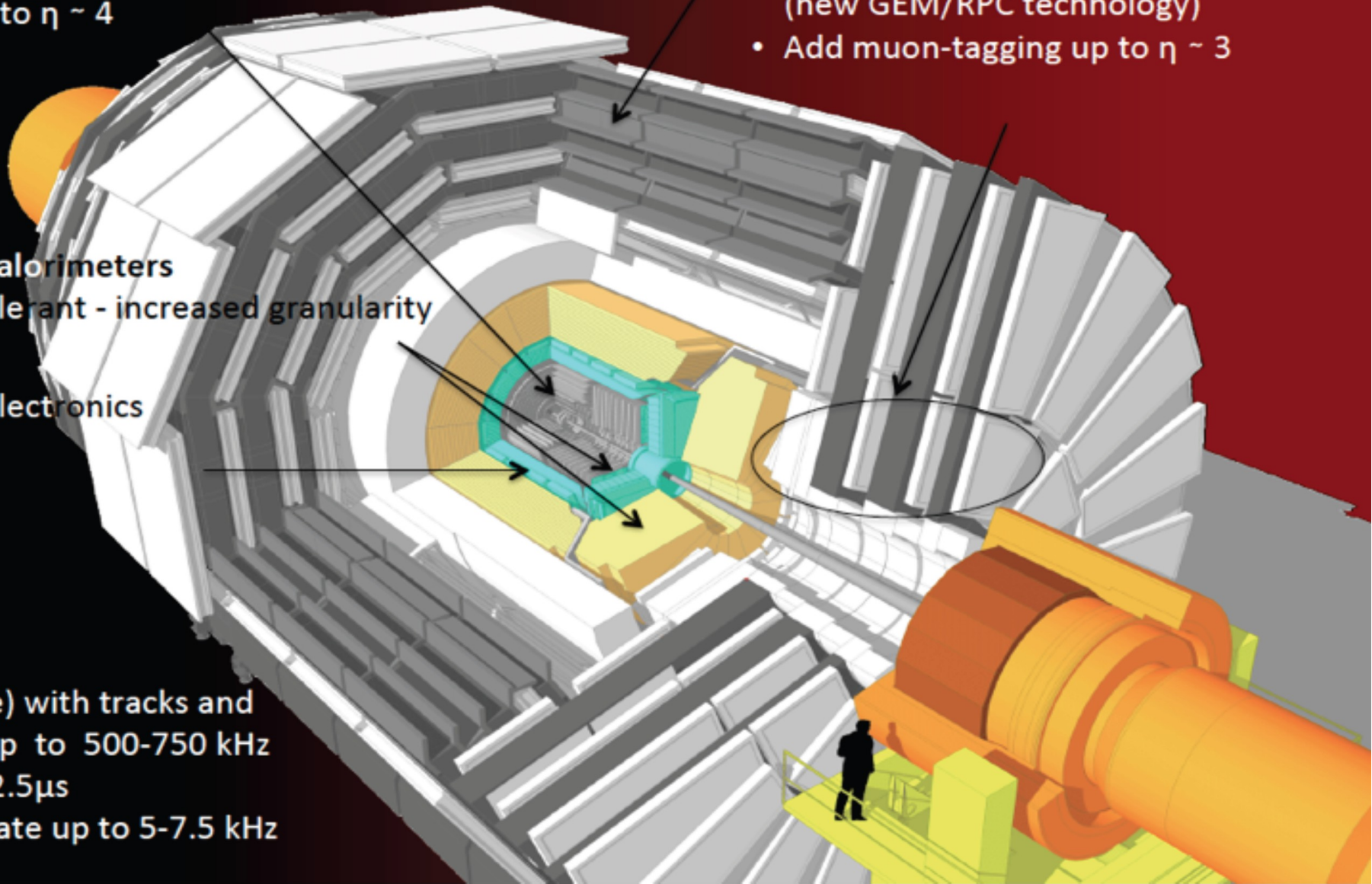
- Replace FE electronics

Trigger/DAQ

- L1 (hardware) with tracks and output rate up to 500-750 kHz
- Latency of 12.5 μ s
- HLT output rate up to 5-7.5 kHz

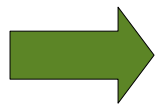
Muons

- Replace FE electronics in barrel DT and endcap CSC inner rings
- Complete CSC system in forward region (new GEM/RPC technology)
- Add muon-tagging up to $\eta \sim 3$

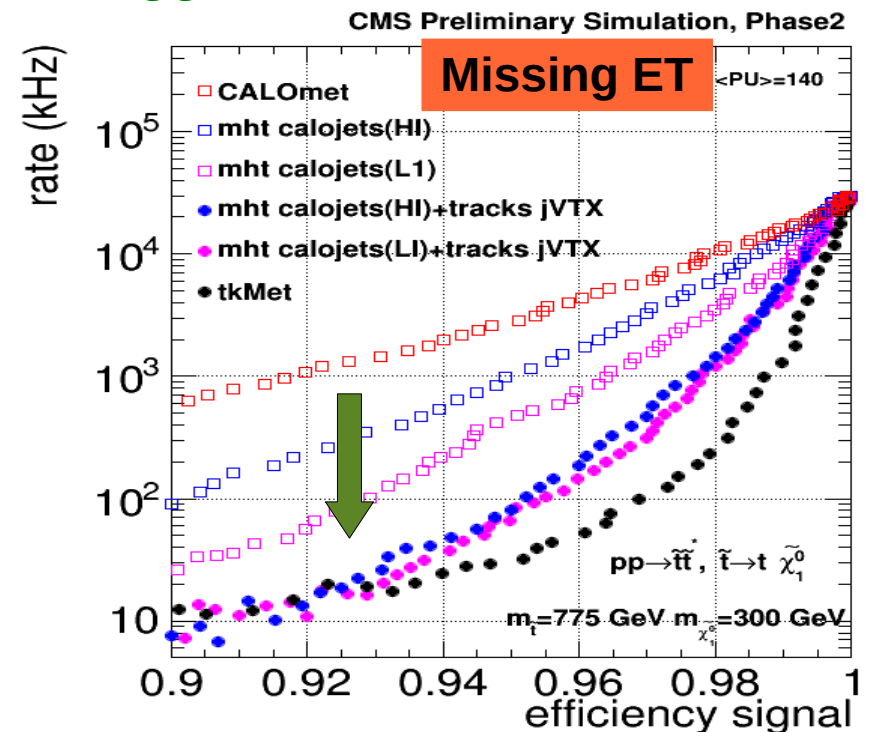
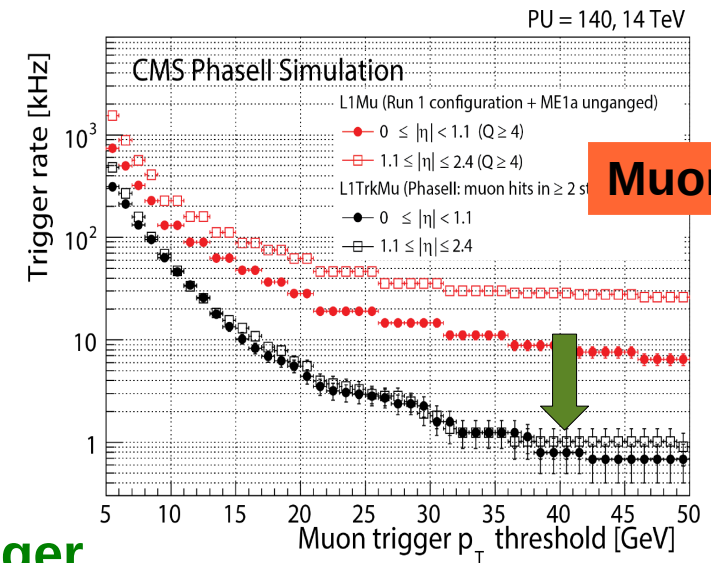
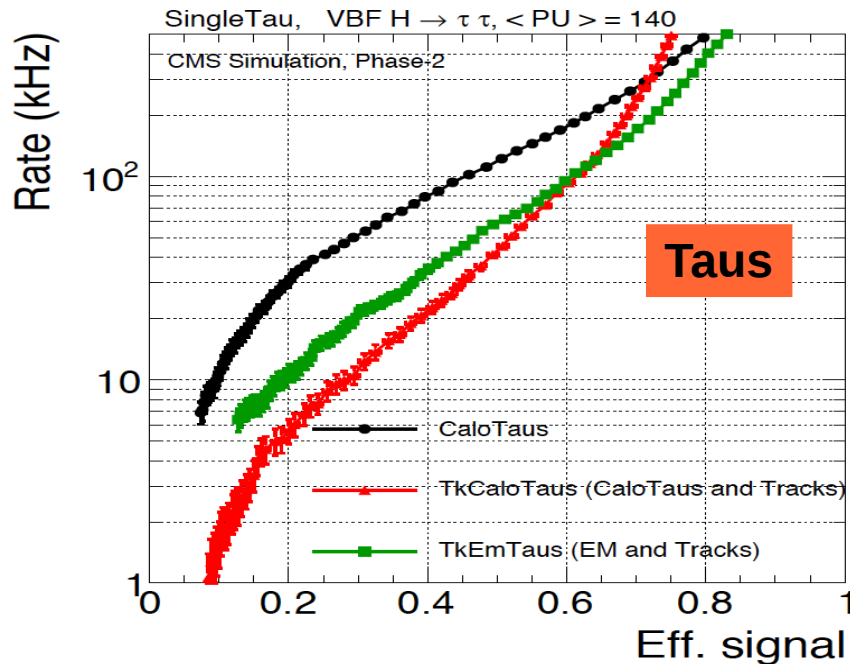


Tracciamento al livello 1 di Trigger

- **Ricostruzione del vertice con tracce di L1**
 - associazione tracce al vertice primario
 - *mitigazione di effetti di pile-up*
- Migliore ricostruzione di muoni, elettroni, jet, tau e Energia trasversa mancante



Riduzione della frequenza di trigger
 → **permette di tenere basse soglie di trigger**



Calorimetria in avanti

Granularità piu' fine

ATLAS: nuovo calorimetro in avanti con granularità $\times 4$ in $3.1 < \eta < 4.9$

CMS: Calorimetro a campionamento ad alta granularità in $1.5 < \eta < 3$

- Migliore **soppressione del pile-up**
- Ricostruzione dei elettroni/ γ
- **sotto-strutture dei jet** piu' visibili

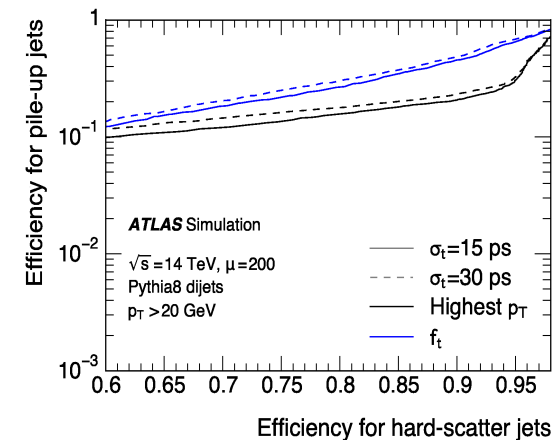
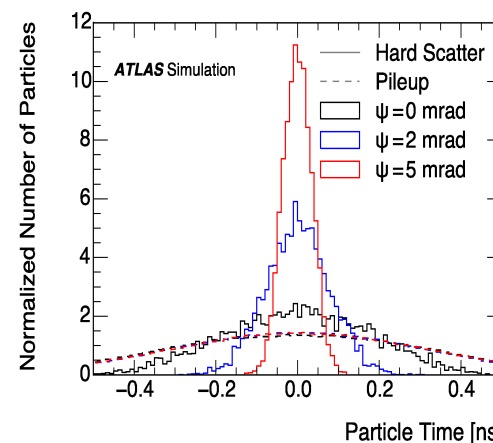
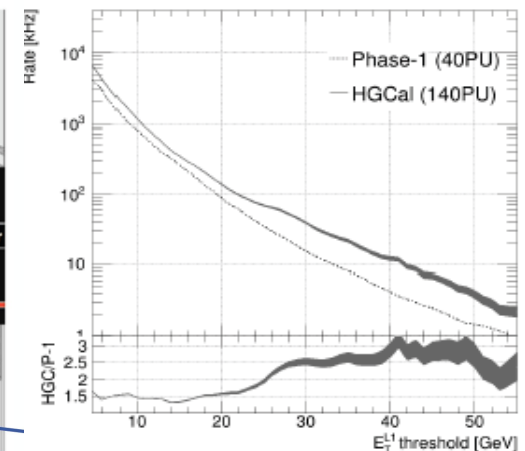
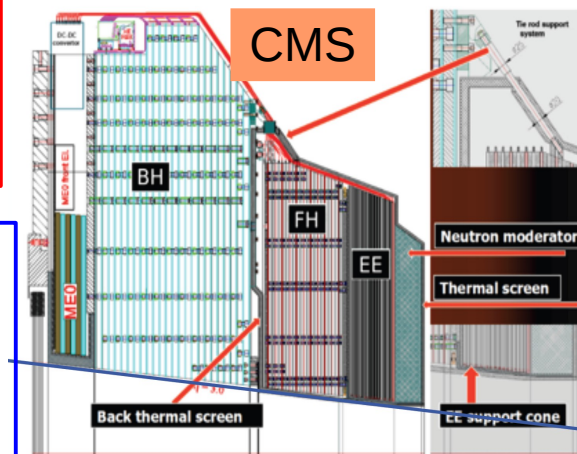
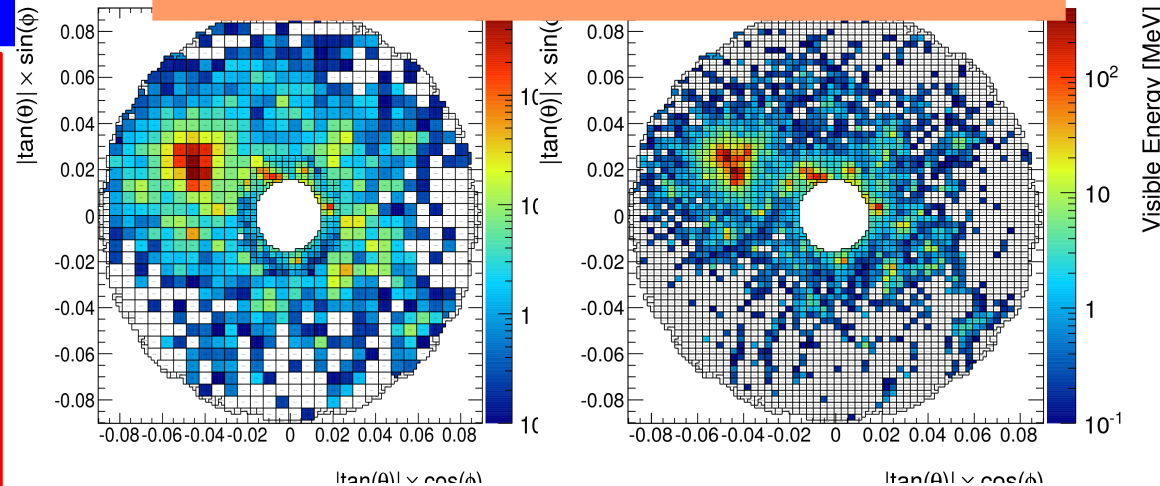
Misure di tempi

ATLAS: nuovo rivelatore ad alta granularità in $2.5 < \eta < 4$

CMS: elettronica con risoluzione temporale di 50-100ps

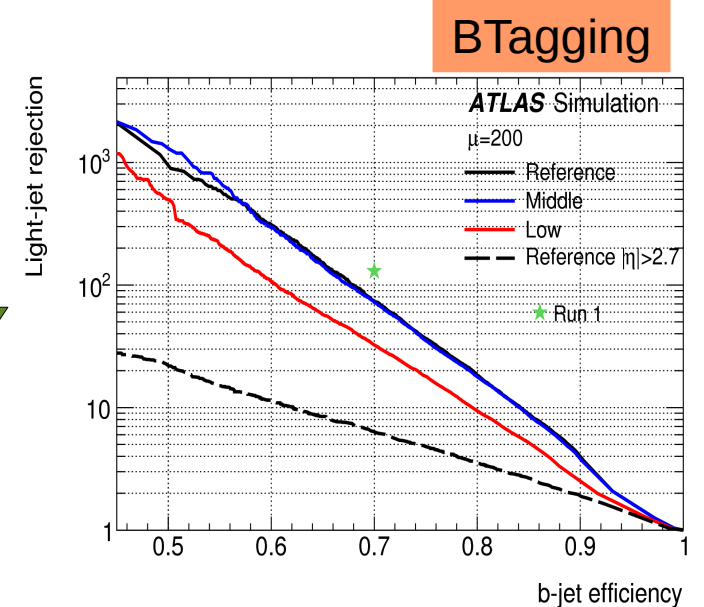
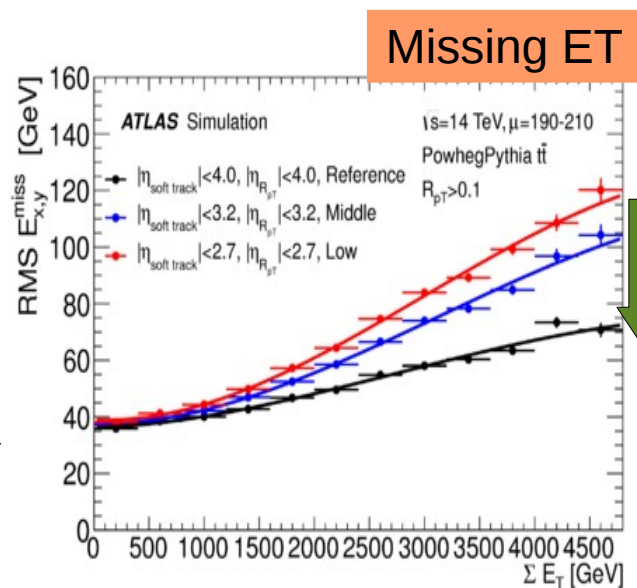
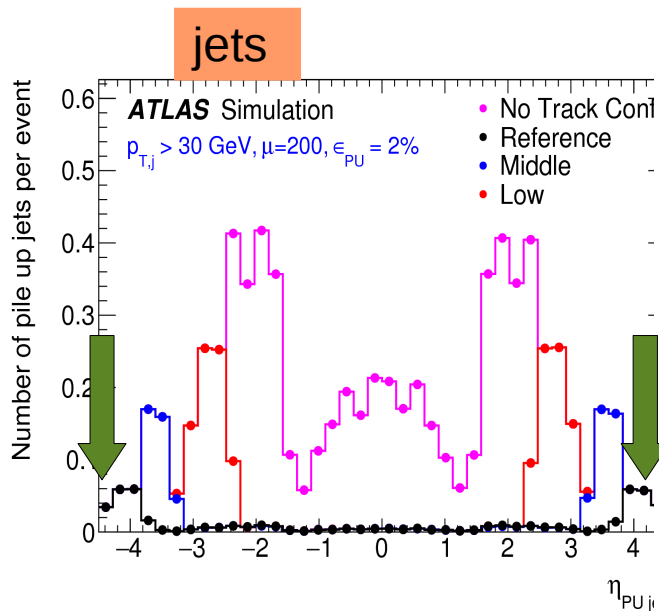
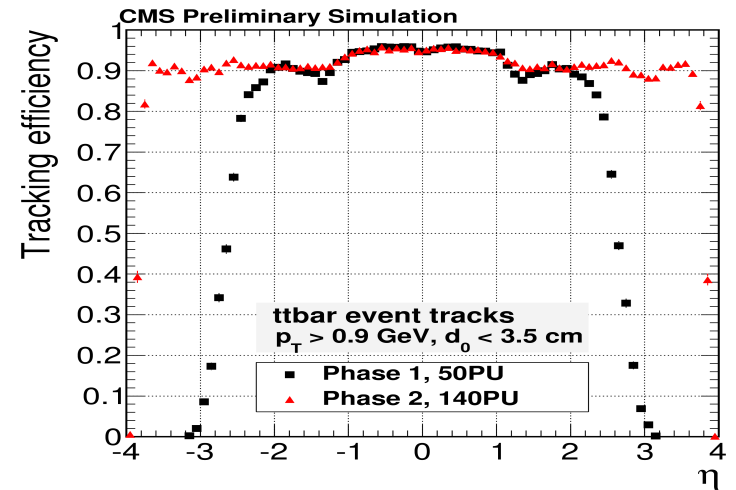
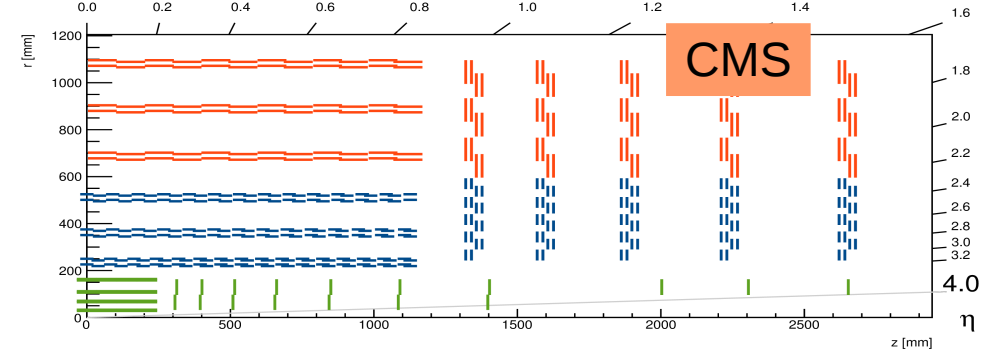
- Soppressione di particelle neutre da collisioni di pile-up
- Uso al **Livello 0 di Trigger**
 - senza informazione di traccia
- Necessario nuovo schema di collisione “crab kissing”

Attuale FCal & sFCAL proposto



Tracciatore in avanti

- **Cruciale per sopprimere segnali di particelle cariche da collisioni di pile-up ad alto η**
- fondamentale per misure di VBF & VBS
- Riduzione di jet da collisioni di pile-up
- Migliore risoluzione in energia trasversa mancante
- Possibile identificazione di B-jet ad alto η
- Tracciamento a livello 1 di trigger ad alto η



Potenzialità di fisica con rivelatori di Fase II

Prestazioni studiate con simulazioni in diversi scenari

CMS

- **Rivelatorie di Fase I con**
interazioni da pile-up/ incrocio dei pacchetti = 50
- **Rivelatori di Fase I “invecchiati” con**
interazioni da pile-up/ incrocio dei pacchetti = 140
simulando danni di radiazioni dopo un'esposizione a 1000fb^{-1}
- **Rivelatori di Fase II con**
interazioni da pile-up/ incrocio dei pacchetti = 140

ATLAS

- Scenario di referenza: tracciatore fino a $|\eta| = 4$
rivelatore per muoni ad alto η ,
- Scenario medio: tracciatore fino a $|\eta| = 3.2$ con meno moduli
- Scenario basso: tracciatore fino a $|\eta| = 2.4$ con meno moduli

Scattering tra bosoni vettori a HL-LHC

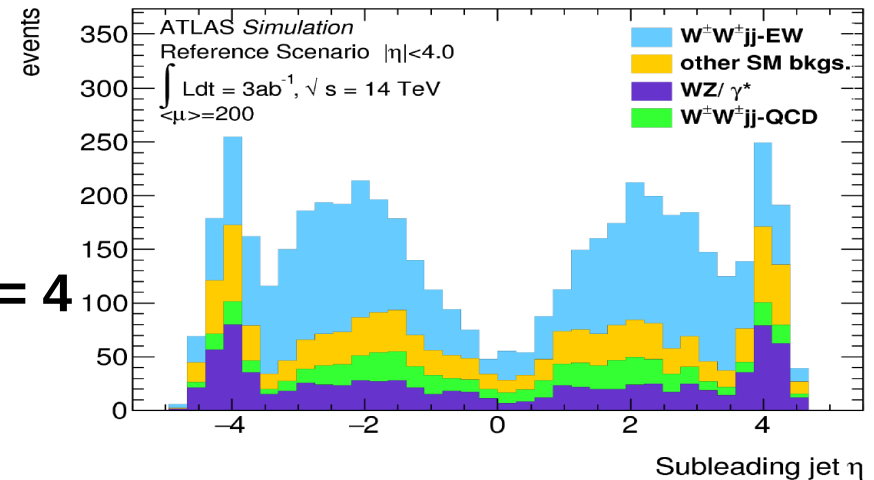
ATLAS:

Con scenario di referenza

- $\times 2$ sensitività dalla maggiore copertura angolare per il veto del 3° leptone
- Eventi con jets da pile-up: 27% $\rightarrow$ 17% con il tracciatore fino a $|\eta| = 4$

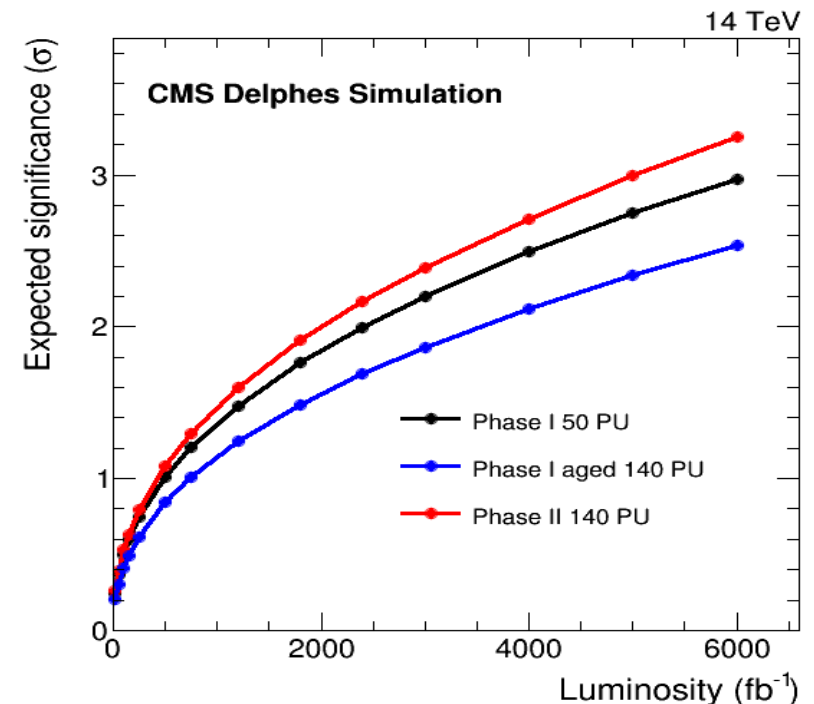
$Z\sigma_B$ = significanza σ = sezione d'urto

Scenario	Z_{σ_B}	$\Delta\sigma/\sigma$
Reference scenario	11.3 ± 0.6	5.9%
Middle scenario	6.06 ± 0.3	11%
Low scenario	5.02 ± 0.2	13%



CMS:

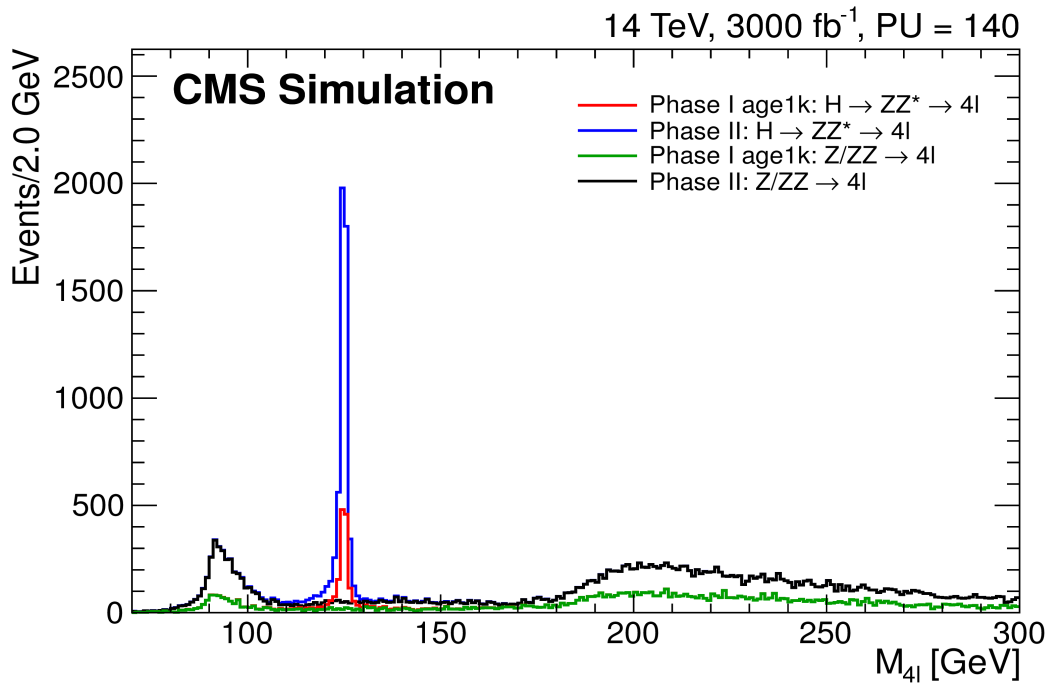
- Calorimetro ad alta granularità in avanti ed tracciatore fino a $|\eta| = 4$
 $\rightarrow$ Migliore prestazione del rivelatore di Fase I



Produzione inclusiva di Higgs $\rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ a HL-LHC

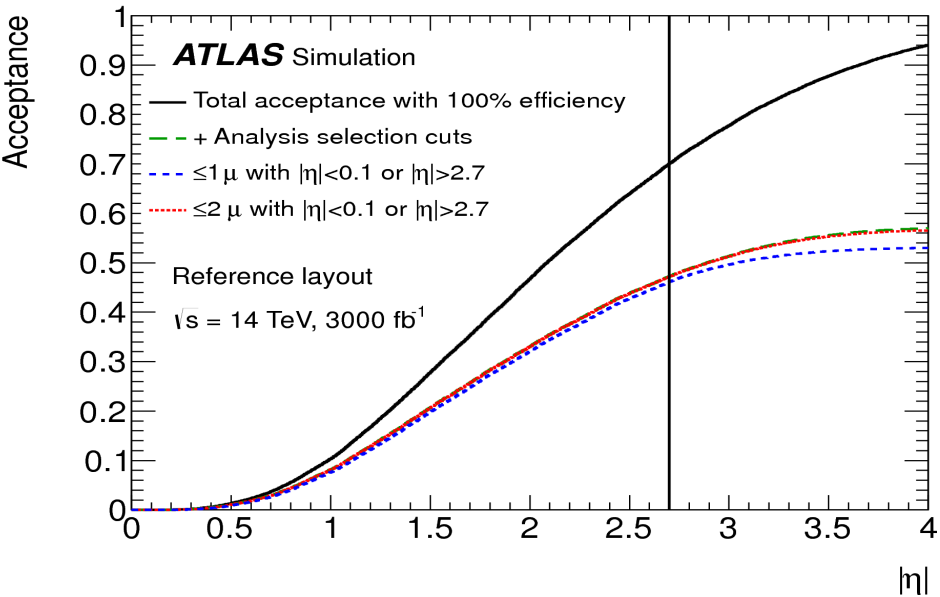
CMS

- Aumento del 20% sul numero eventi con copertura per muoni fino a $|\eta| < 3.0$
- Migliore risoluzione in massa



ATLAS

Aumento del 21% in accettazione con tracciatore fino al $|\eta| < 4.0$

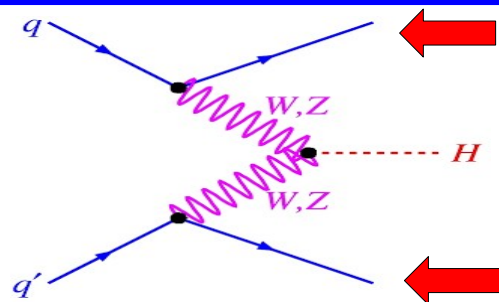


$\mu = \sigma/\sigma_{SM}$

Scenario	$H \rightarrow 4\mu$	$ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu$	$\Delta\mu/\mu$
Reference	2551 ± 51	741 ± 27	0.022
Middle	2104 ± 46	351 ± 19	0.024
Low	2014 ± 45	336 ± 18	0.024

Coverage	Mass ()	Width ()
$ \mu_{max} < 2.7$	124.95 ± 0.01	1.11 ± 0.01
$2.7 < \mu_{max} < 3.2$	125.31 ± 0.07	2.53 ± 0.08
$3.2 < \mu_{max} < 4.0$	125.89 ± 0.17	4.61 ± 0.23

Produzione VBF del bosone di Higgs a HL-LHC



La sfida: individuare i due jet in avanti nell'ambiente ostico in avanti

ATLAS

VBF $H \rightarrow WW \rightarrow e\nu\mu\nu$

- Forte miglioramento da reiezione dei jet di pile-up e migliore b-tagging

VBF $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

- Sensitività al segnale +6%

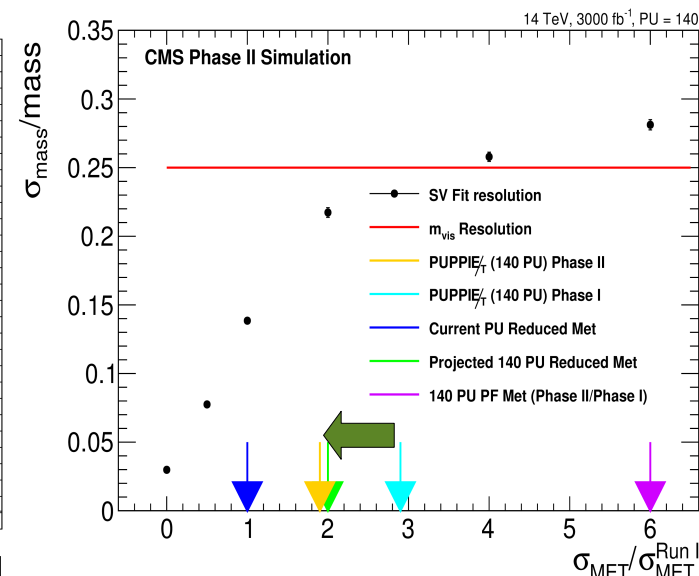
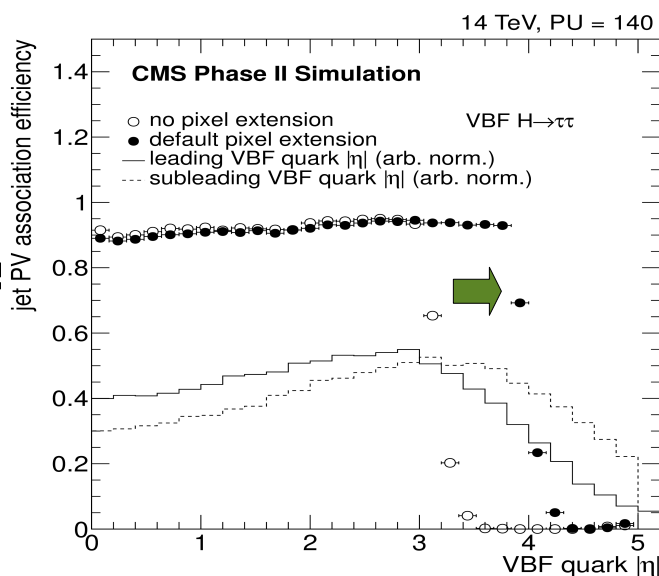
Scenario	VBF $H \rightarrow WW^{(*)}$	VBF $H \rightarrow ZZ^{(*)}$
Reference	0.14	0.134
Middle	0.20	0.137
Low	0.30	0.142

Valori di $\Delta\mu / \mu$, $\mu = \sigma/\sigma_{SM}$

CMS

VBF $H \rightarrow \tau\tau$

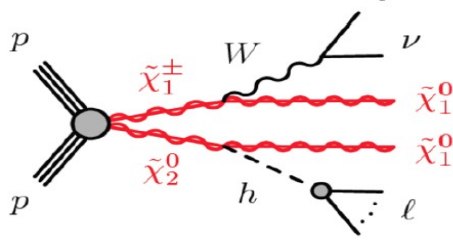
- Sensibile a ricostruzione di tau, jets, electroni, energia trasversa mancante
- Jets VBF individuati fino a $|\eta| \sim 4$
- Trigger L1 di traccia: guadagno in accettazione $\times 5$



SUSY at HL-LHC

ATLAS

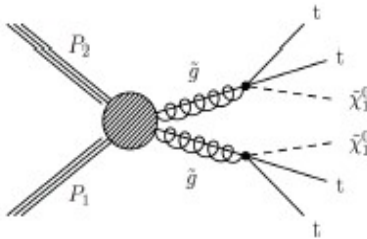
- Produzioni elettrodeboli di $\tilde{\chi}_1^+$ e $\tilde{\chi}_2^0$



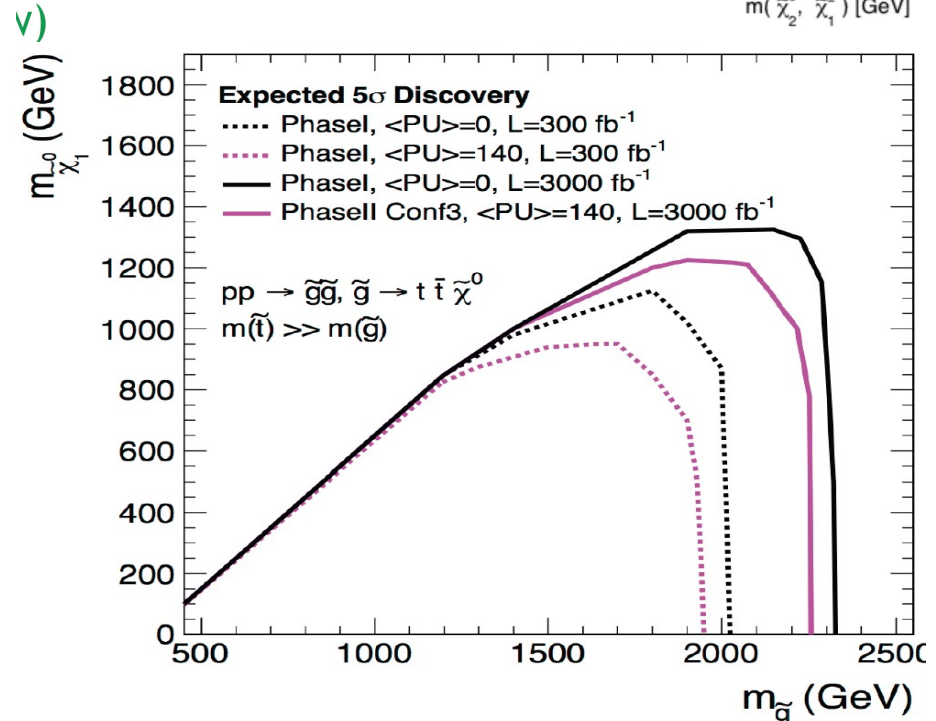
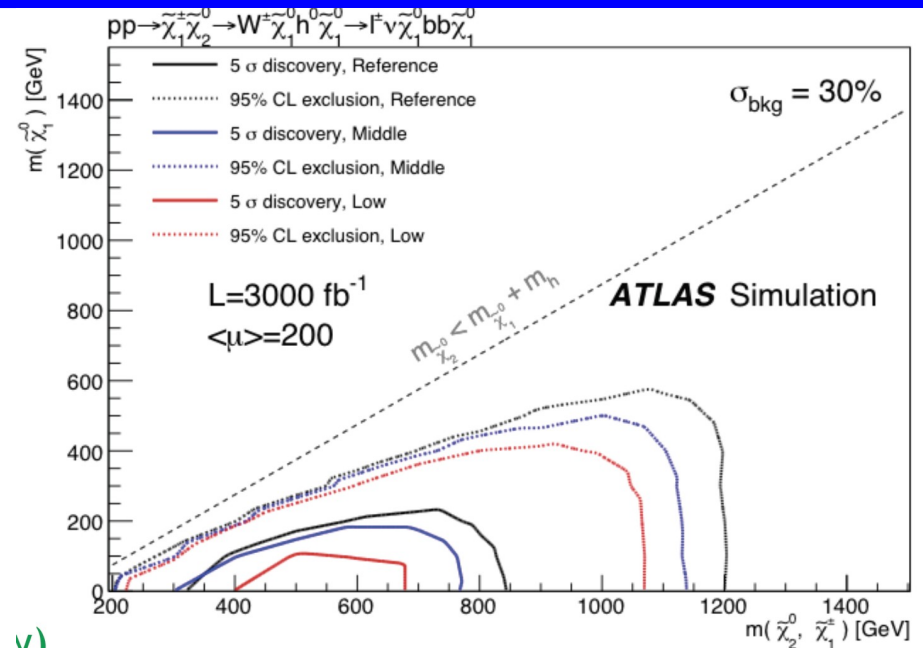
- Guadagno in Massa raggiungibile: 675 → 850 GeV, dovuto a migliore risoluzione in energia trasversa mancante con tracciatore fino a $\eta \sim 4$
- Con detector minimale sarebbero necessari 12000 fb⁻¹ (invece di 3000)

CMS

- Produzione forte di gluini



- Massa raggiungibile del gluino: fino a 2.2 (1.9) TeV con 3000(300) fb⁻¹



Conclusioni

HL-LHC è cruciale per migliorare misure e accedere a stati finali, limitati dalla bassa sezione d'urto ma non dalla cinematica:

- **Higgs: accoppiamenti, decadimenti rari, accoppiamento HH**
- **SUSY: neutralini da produzione elettrodebole**
- **Scattering tra bosoni vettori: accoppiamenti anomali**
- ..

HL-LHC sarà fondamentale per investigare con maggiore statistica eventuali scoperte del Run 2&3

Gli “R&D” in corso e le simulazioni sono cruciali per massimizzare la potenzialità di fisica

Poster: ATLAS pixel detector: readout upgrades for Run2 and beyond,
D'amen Gabriele

Talk: Studio delle prestazioni delle camere MicroMegas per l'upgrade dello spettrometro per muoni dell'esperimento ATLAS, Alessandra BETTI

backup

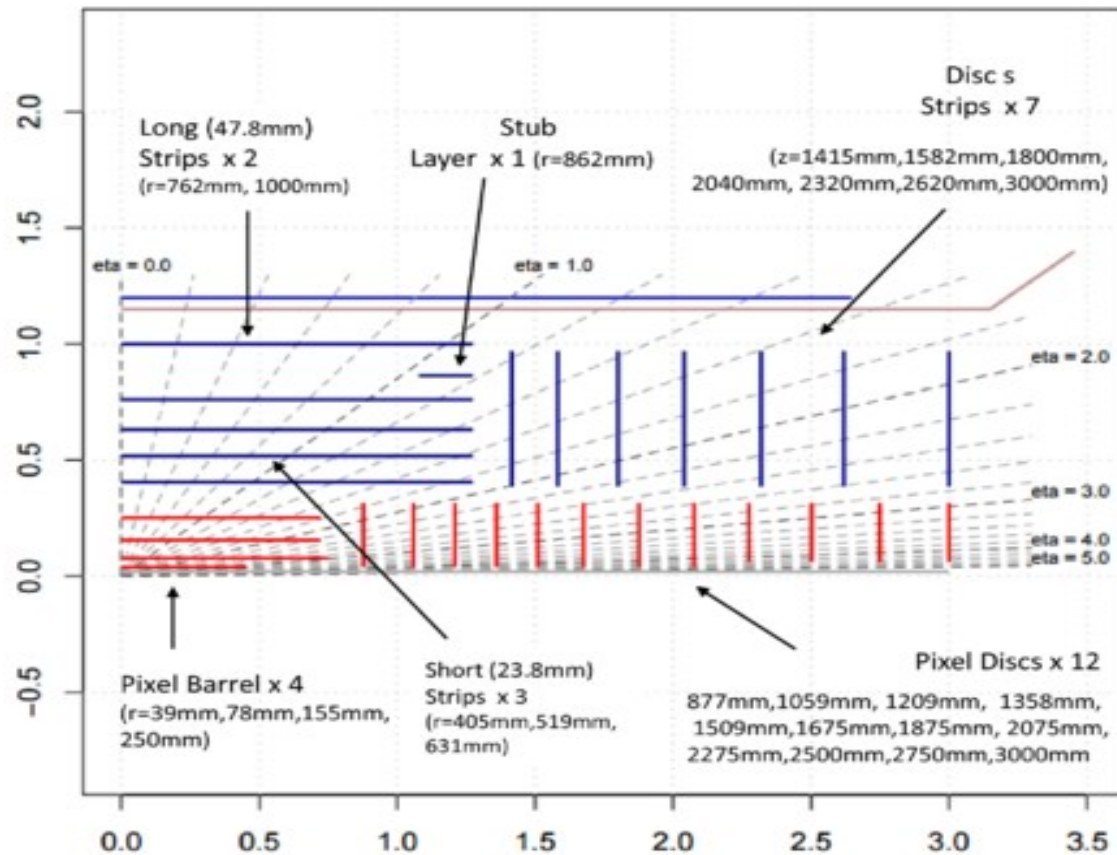
ATLAS Upgrade

- Tracker extension up to $\eta \sim 4$
- Fine granularity forward calorimeter sFcal
- Finely segmented precision timing detector
- Trigger chamber in inner Muon barrel layers

Reference
Scenario
~ 275 MCHF

Inner Barrel RPCs

Inner Barrel RPCs



High precision timing

TDAQ:
400/10 kHz

out of L1/EF

SFCal

Muon
Tagger

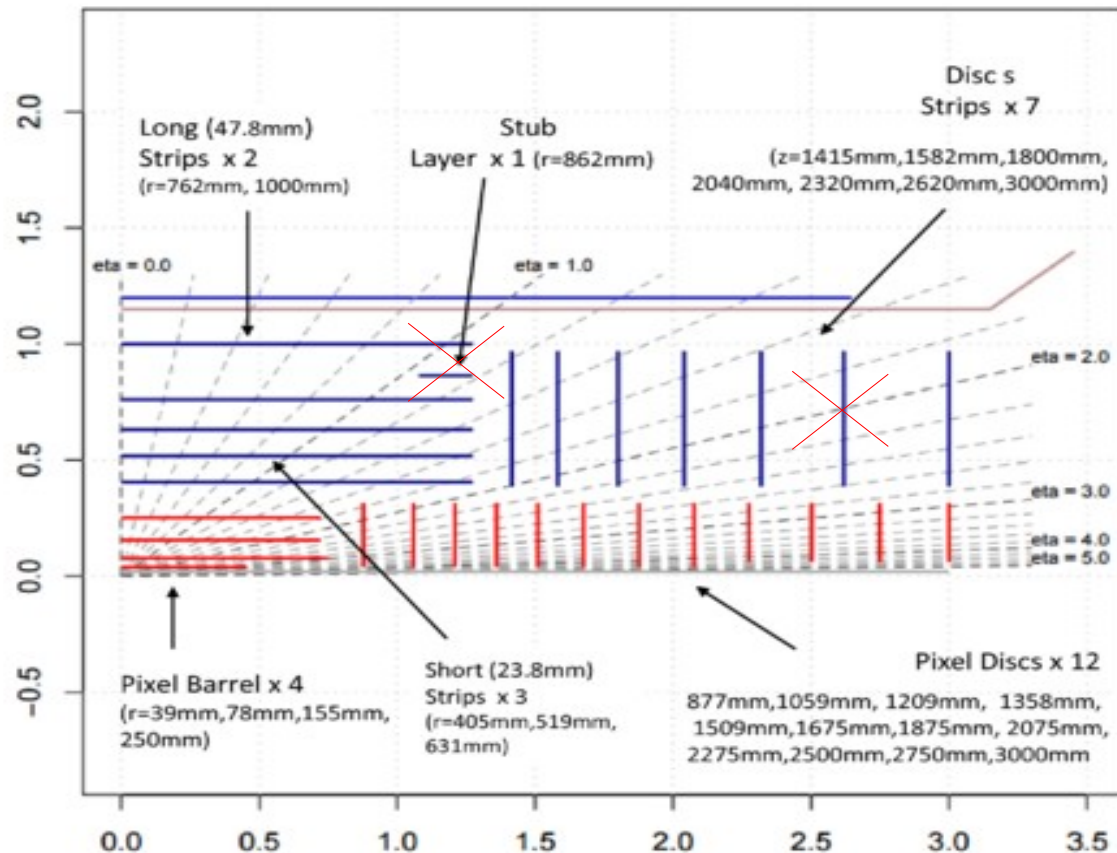
ATLAS Upgrade

Middle Scenario
~ 235 MCHF

- Tracker extension up to $\eta \sim 4$ ~~3.2~~, no stub, 1 less disc
- ~~Fine granularity forward calorimeter sFcal~~
- ~~Finely segmented precision timing detector~~
- Trigger chamber in **half of** inner Muon barrel layers

~~Inner Barrel RPCs~~

Inner Barrel RPCs



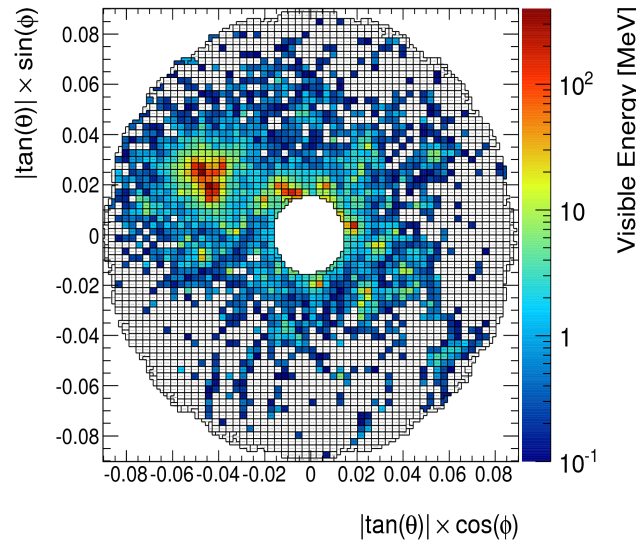
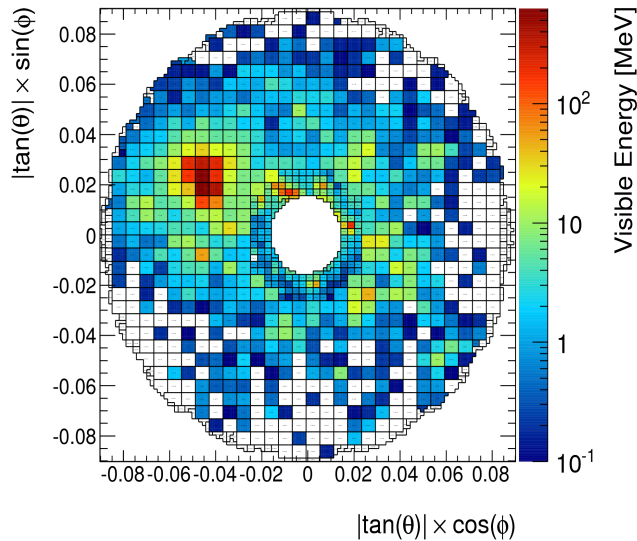
High precision timing

~~TDAQ:~~
~~400/10 kHz~~
~~200/5 kHz~~
out of L1/EF

~~SFCal~~

~~Muon
Tagger~~

new forward calorimetry



Issue at HL-LHC: The high energy density in FCal cause argon bubble formation (boiling)

sFCal with higher granularity (X4) in $3.1 < \eta < 4.9$

Better pile-up suppression
Crucial for VBF, VBS and signature with E_{miss}.

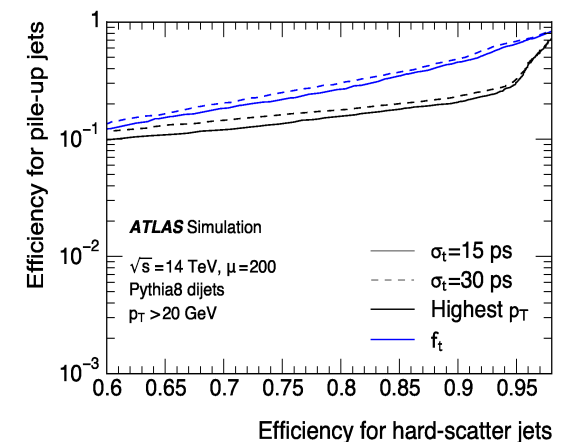
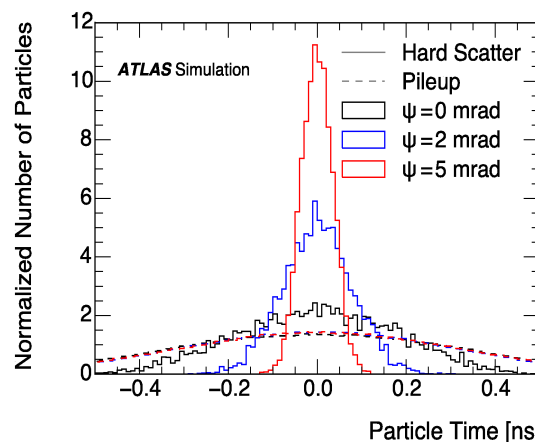
High Granular Timing Detector in front of EMEC/FCAL in $2.5 < \eta < 4$

aim is PileUp suppression

Separate Hard Scatter jets from Pile-Up jets
exploiting crab kissing colliding scheme

might even serve as new L0Time trigger

increased visibility of jet substructure



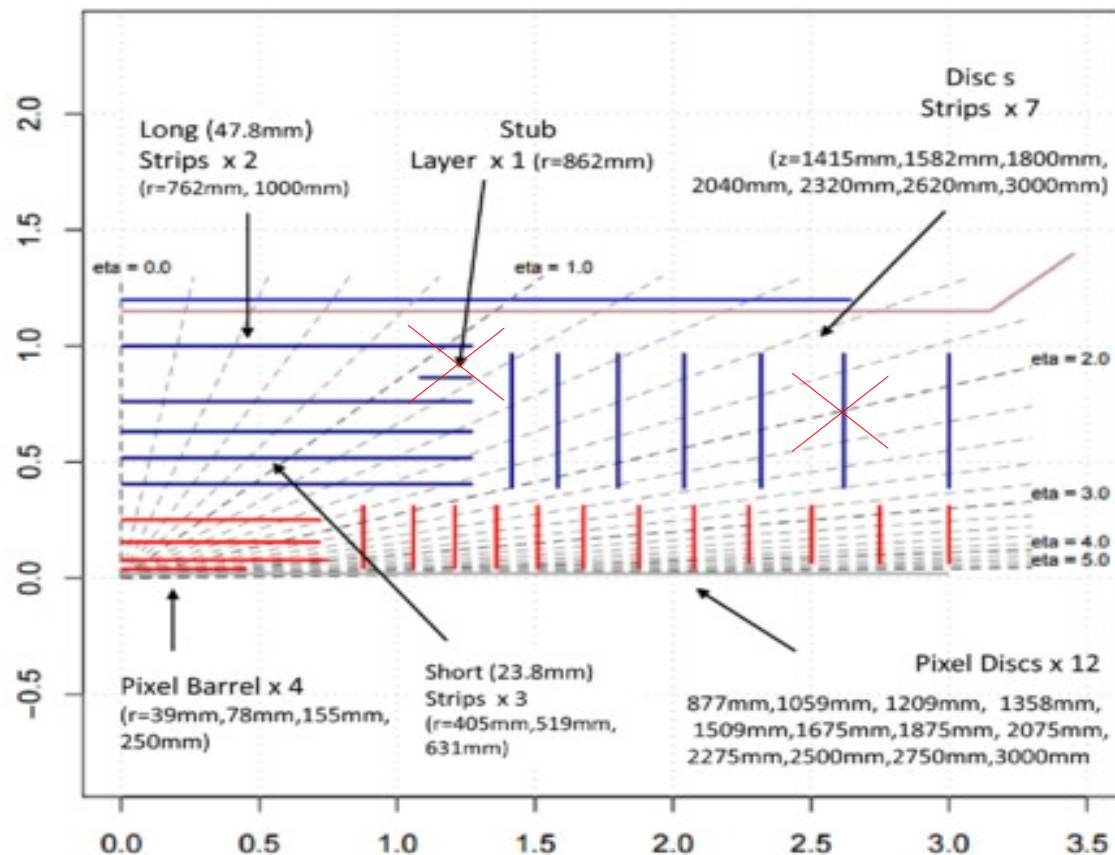
ATLAS Upgrade

Low Scenario
~ 200 MCHF

- No Tracker extension, 1 disc and 1 barrel strip layers removed and 2 stereo barrel layers strip removed
- Trigger chamber in half of inner Muon barrel layers

~~Inner Barrel RPCs~~

~~Inner Barrel RPCs~~



High precision timing

~~TDAQ:~~
~~400/10 kHz~~
~~200/5 kHz~~
out of L1/EF

~~SFCal~~

~~Muon
Tagger~~

CMS upgrade requirements

- Before the start of the HL-LHC operation CMS will have recorded $\sim 300 \text{ fb}^{-1}$ of data
 - Beyond this exposure performance of detector components such as the central tracker will significantly degrade
- Occupancies at the HL-LHC requires increased granularity
 - The segmentation in the tracker needs to be improved to control fake rates
 - Endcap calorimeter with fine segmentation
- Pileup mitigation
 - Extended forward tracking coverage for jet tagging
 - Improved calorimeter; timing and high granularity
- Trigger
 - Need to maintain low thresholds, e.g. for Higgs studies
 - Incorporate tracking at first level trigger
 - Increase bandwidth ($100 \rightarrow 750 \text{ kHz}$) and latency ($3 \rightarrow 12.5 \text{ ns}$)
 - Requires updates to readout electronics for
 - Calorimeter and Muons

ATLAS/ CMS upgrade requirements for Phase II

Evaluate longevity of the Phase 1 detectors and electronics

- Full tracking system needs replacement before LS3 (ATLAS & CMS)
- ECAL and HCAL endcap: transparency loss cause 50% acceptance loss in the L1 trigger. Full replacement CMS
- Muon detectors considered safe, but replacement of FE electronics foreseen
- Issues related to rate / occupancy / Pile-up at the HL-LHC
 - PU mitigation relies on particle flow techniques and excellent vertexing
 - Increased granularity of the tracking system and of the endcap calorimeters
 - Possibility of precision timing of showers to mitigate pileup of neutral particles
- Extended encap coverage: VBF physics
 - Extend tracking up to $|\eta| < 4$ (ATLAS & CMS)
 - calorimeters up to $|\eta| < 4$ (ATLAS & CMS)
 - Extend muon tagging station to up $|\eta| < 4$ (ATLAS & CMS)
- Further upgrade of the trigger system to cope with $5E34$
 - Tracker trigger capability up to $|\eta| < 2.4$
 - New L1 trigger architecture, L1 rate up to 1 MHz, latency up to 10 us
 - New muon detectors for $1.5 < |\eta| < 2.4$

$H \rightarrow \mu\mu$

ATLAS

-

CMS

- Benefits from reduction of material and better spatial resolution of the tracker
- coupling precision improves
- from 8% to 5% with Phase upgrade

