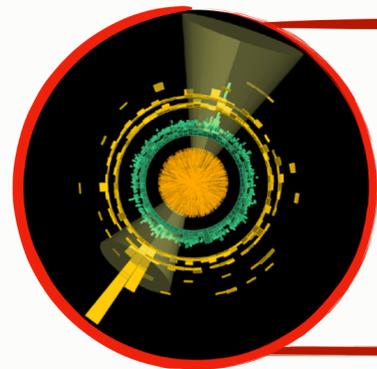


ATLAS ZDC, RPD & HL-ZDC @ INFN Torino

Riccardo Longo
CDS Servizi - Torino
13 Giugno 2025

Fisica di interesse - in brevissimo

Obiettivo principale: studiare la QCD a temperature estreme in collisioni di ioni (AA, pA, pp) utilizzando probes ad alto p_T (jet, adroni pesanti)

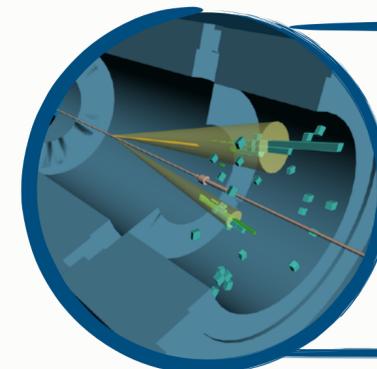


Hot QCD - studio delle proprietà fondamentali del Quark Gluon Plasma

Misure di fattore di modificazione nucleare di diverse proprietà dei jet

Misure di flow diretto di jet e adroni pesanti

Misure di neutroni forward in AA e pA



Cold QCD - studio di effetti di stato iniziale dovuti al nucleo in collisioni di ioni

Misure di cross-section per produzione di dijet in collisioni pA e AA ultraperiferiche

Misure di dijet per studiare effetti di stato iniziale legati alla configurazione del protone

Fisica di interesse e legame all'hardware

Tutte (o quasi) queste **misure** sono **rese possibili dalla presenza di** un paio di calorimetri a zero gradi (**ZDC**) altamente performanti - che includono anche un nuovo detector per la misura del piano di reazione (**RPD**)

Misure di fattore di modificazione nucleare di diverse proprietà dei jet

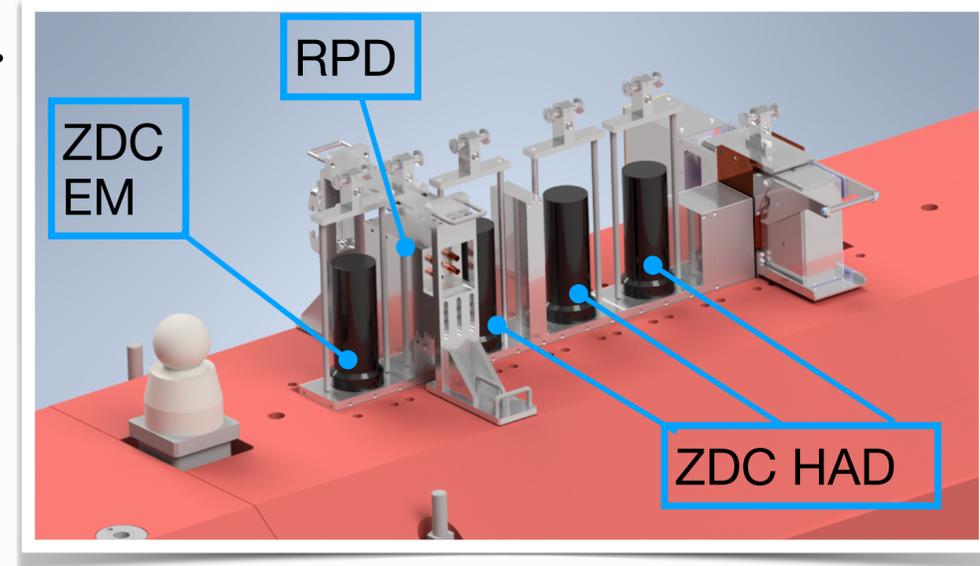
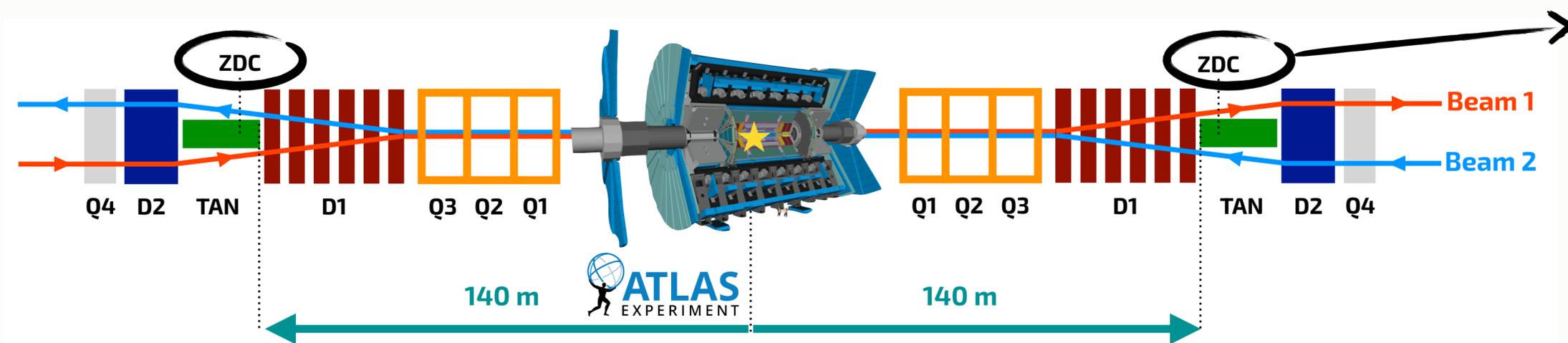
Misure di flow diretto di jet e adroni pesanti

Misure di neutroni forward in AA e pA

Misure di cross-section per produzione di dijet in collisioni pA e AA ultraperiferiche

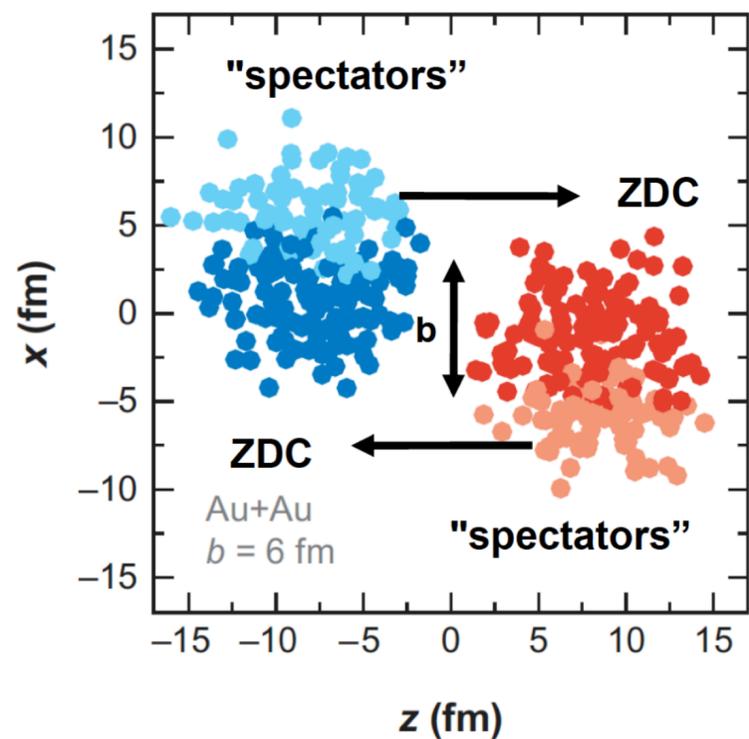
Misure di dijet per studiare effetti di stato iniziale legati alla configurazione del protone

ZDC e RPD: ruolo chiave

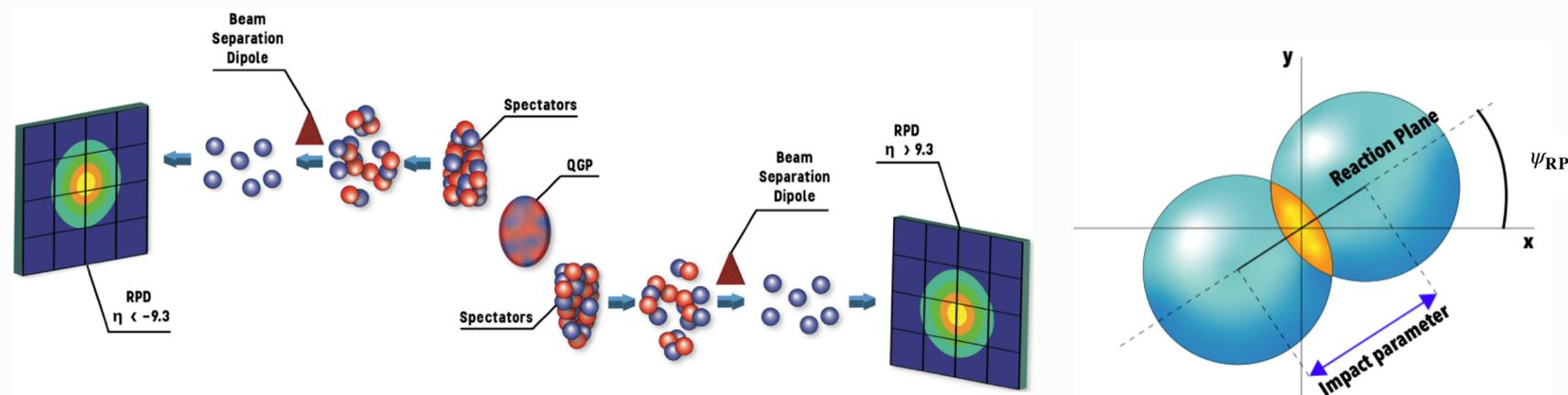


Lo **ZDC** rivela neutroni spettatori che evaporano dalla parte di nuclei non interagente nella collisione lungo la linea di fascio

Ruolo critico nel trigger, nella reiezione del pile-up e nella determinazione della geometria della collisione



Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 57 (2007) 205



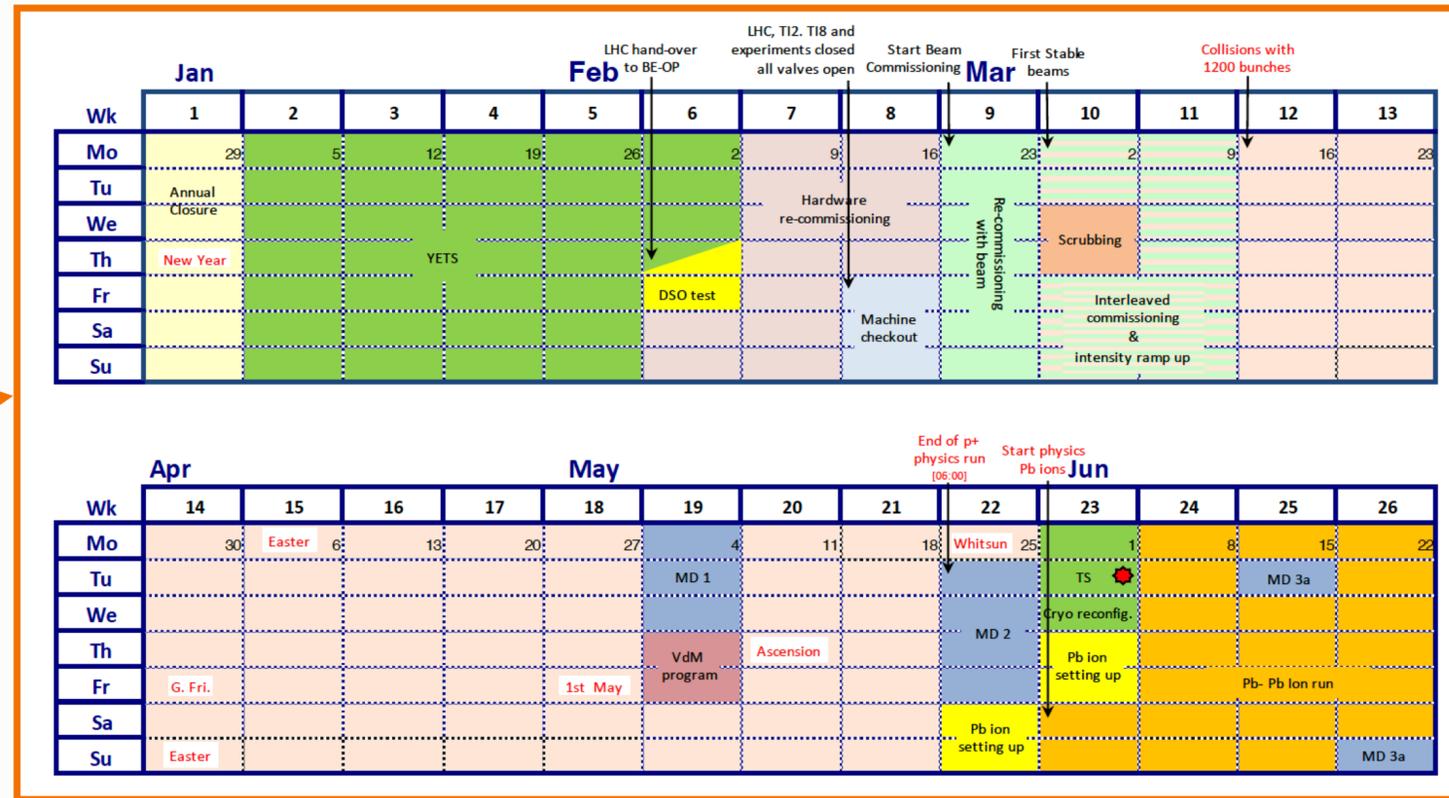
L'RPD misura la deflessione correlata dei neutroni spettatori fornendo una misura del piano di reazione totalmente indipendente dai partecipanti - abilitando misure di flow 'diretto'

ATLAS ZDC e RPD: Timeline a corto raggio

Oggi ↓



'The 2025 Oxygen pirouette'



EDMS
3061265

	25	26	27	28
Monday			pO run	NeNe run
Tuesday			pO run	MD ZDC out
Wednesday		TS 1	OO setup	VdM run
Thursday			LHCf out	
Friday	MD 1			Intensity ramp-up
Saturday		pO setup	Coll. MD	
Sunday			OO run	

-12 giorni dall'installazione

	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Monday									
Tuesday									
Wednesday			TS2						Annual Closure
Thursday		MD 4			MD 5a		Control System admin. days		Xmas
Friday			Pb ion setting up		Pb- Pb ion run			YETS	Xmas
Saturday									
Sunday		Pb ion setting up				MD 5b			

3X prese dati di ioni da adesso a fine 2026

EDMS 2873506

Pb+Pb - target $\geq 2 \text{ nb}^{-1}$

HL-ZDC upgrade: progetto joint ATLAS-CMS

Primo progetto hardware joint tra ATLAS and CMS
Progetto approvato da entrambi gli esperimenti



UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA-CHAMPAIGN

Brookhaven
National Laboratory

COLUMBIA
UNIVERSITY

אונברסיטת בן-גוריון בנגב
Ben-Gurion University of the Negev

Collaborazione con LUCID (INFN Bologna)
per l'elettronica di readout



CMS TC [L.Lazic]

Motivazioni

- Abilitare le stesse capacità di fisica per entrambi gli esperimenti
- **Unire forze e risorse** per R&D su detector radiation-hard
- **Risparmio su grandi ordini** (fused silica materials, PMTs, HV, cables)
- Standardizzazione dell'**integrazione** con l'**HL-LHC** e delle procedure di installazione

HL-ZDC upgrade: progetto joint ATLAS-CMS

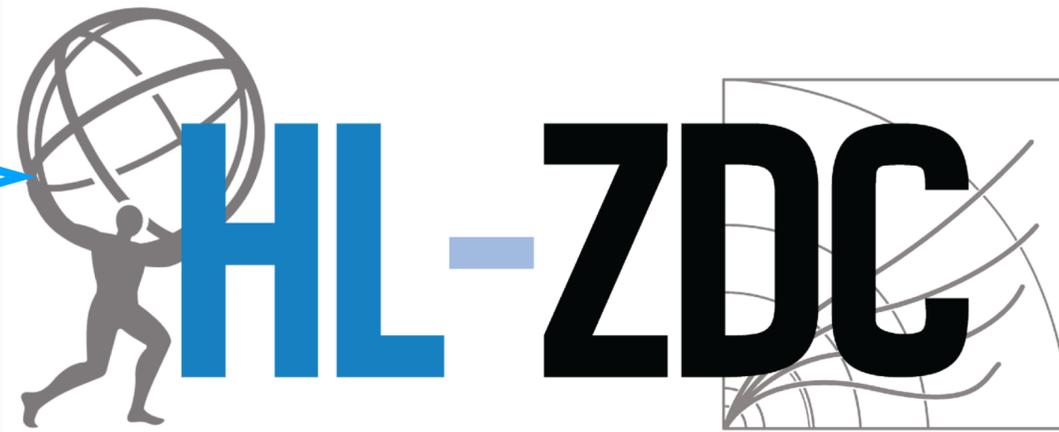


Brookhaven
National Laboratory



Collaborazione con LUCID (INFN Bologna)
per l'elettronica di readout

L'HL-ZDC è una componente fondamentale per il programma di fisica con ioni pesanti di ATLAS e CMS in Run 4 & beyond

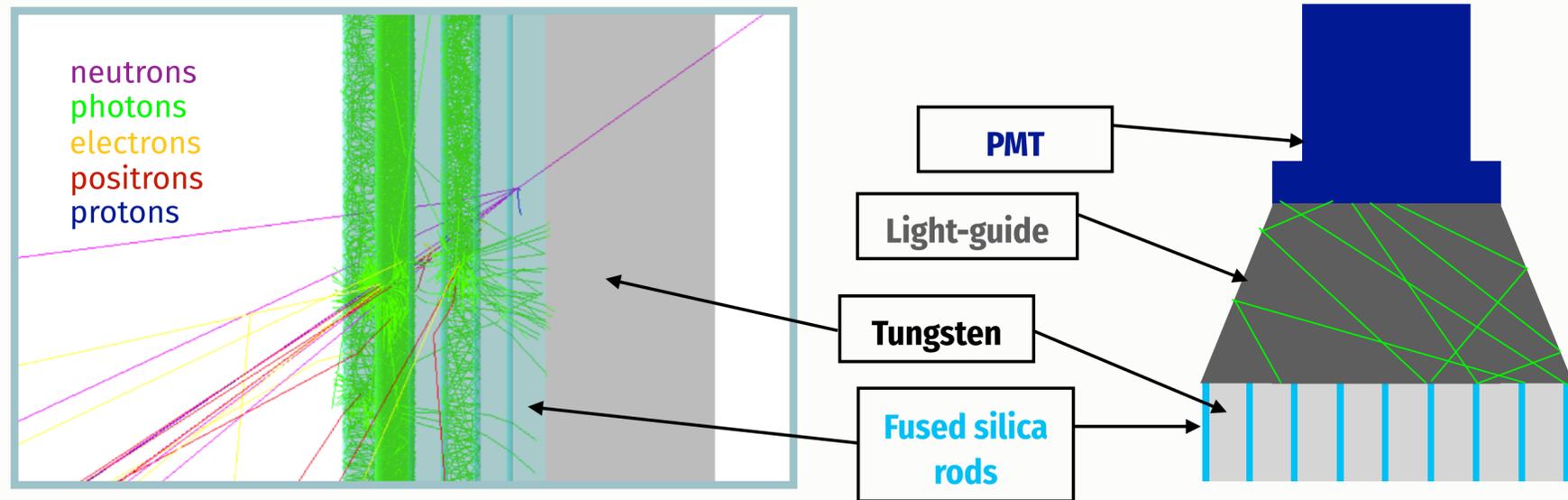


CMS TC [L.Lazic]

Motivazioni

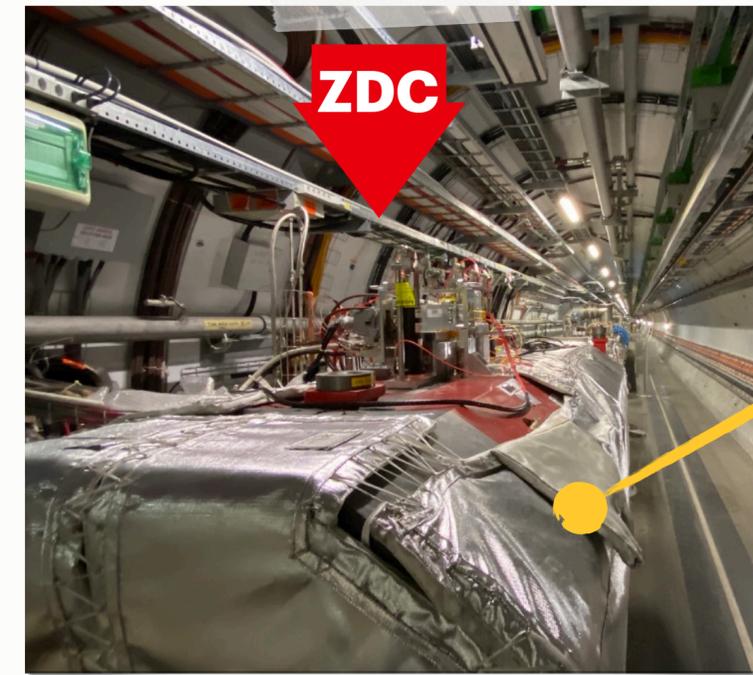
- Abilitare le stesse capacità di fisica per entrambi gli esperimenti
- **Unire forze e risorse** per R&D su detector radiation-hard
- **Risparmio su grandi ordini** (fused silica materials, PMTs, HV, cables)
- Standardizzazione dell'**integrazione** con l'**HL-LHC** e delle procedure di installazione

ZDC e RPD in Run 4: challenges

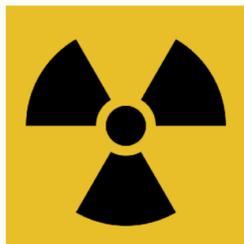


Calorimetro a campionamento W-fused silica

Luce Cherenkov generata dalla componente carica della shower dei neutroni



Assorbitore TAN:
50 mSv/h dopo 1
anno di run *pp* in
Run 3 (2024),
prima
dell'installazione
ZDC



Alti livelli di radiazione sul detector

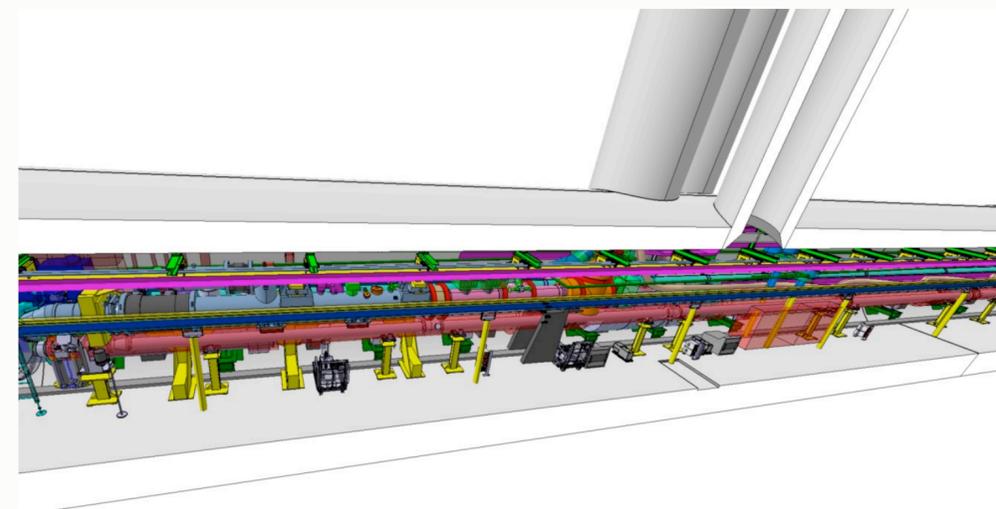
~MGy/nb⁻¹ di Pb+Pb al picco in Run 3.
Ulteriore aumento atteso in Run 4 (nuove ottiche di fascio)



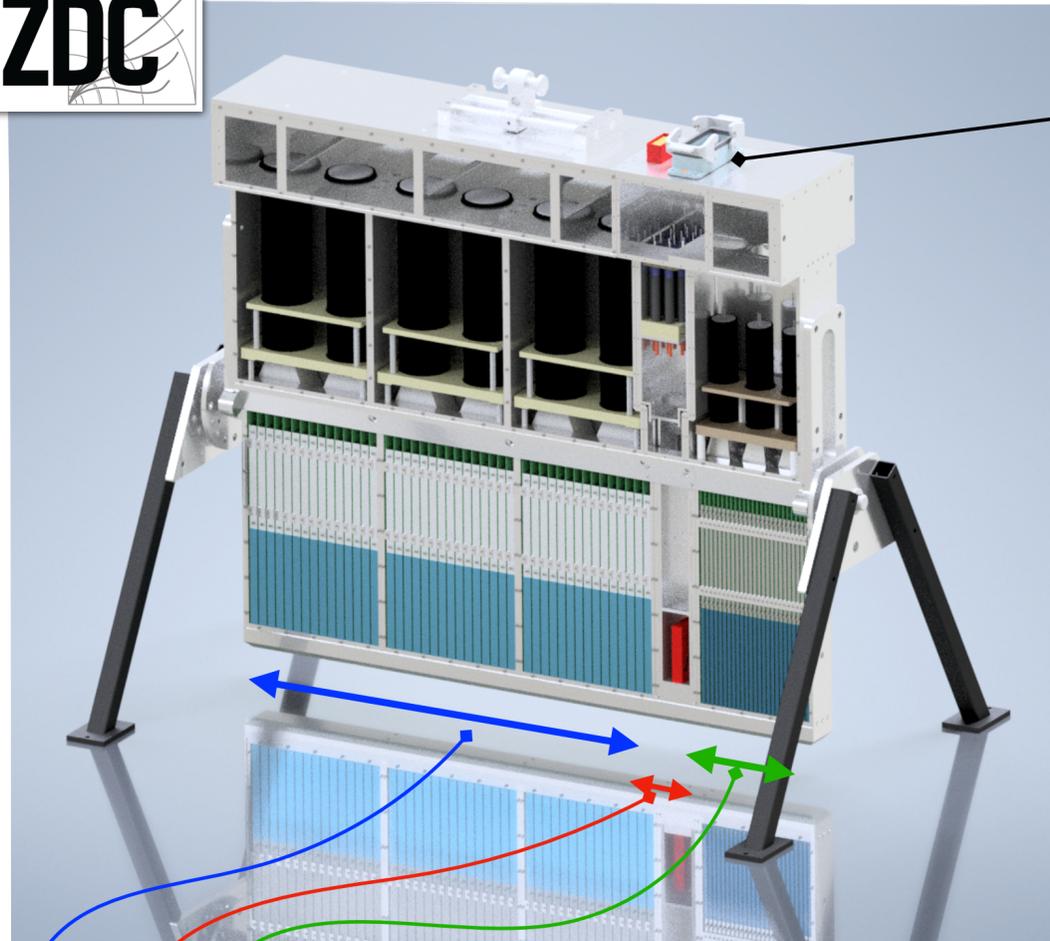
Spazio per l'implementazione del
detector ulteriormente ridotto
(10 cm in Run 3, 4.6 cm in Run 4++)

Integrazione complessa con il nuovo tunnel HL-LHC

Totale upgrade delle LSS porterà fino a 3-4 volte più
strumentazione in ~lo stesso spazio



ZDC e RPD in Run 4: il design HL-ZDC



Detector patch panel

Connessione del detector tramite pochi connettori multi-pin - per limitare al minimo l'esposizione alla radiazione

25 canali di readout ↔ **25 PMT**
3 EM +
16 RPD +
6 HAD

HL-ZDC design - 3 Sezioni

Calorimetro EM

RPD

Calorimetro HAD

K.D.Young (HL-ZDC Project engineer) in visita a Torino in questi giorni



HL-ZDC: Timeline a lungo raggio

Oggi ↓

'Fase di sintesi' post-test beam

Costruzione di 4x HL-ZDC (2x ATLAS, 2x CMS)



Fase di **R&D**
Oltre 2026: solo analisi di materiali resistenti alla radiazione irraggiati all'LHC

Inizio costruzione dell'**HL-ZDC** pre-production detector

HL-ZDC **pre-production** detector
Test beam @ SPS [tbc]

'**Full system test**' nel nuovo tunnel HL-LHC

Installazione e prima presa dati

Forte incertezza legata all'attuale situazione governativa su timeline fondi => si riflette direttamente sulla timeline del progetto

Finanziamenti esistenti per R&D e HL-ZDC



R&D

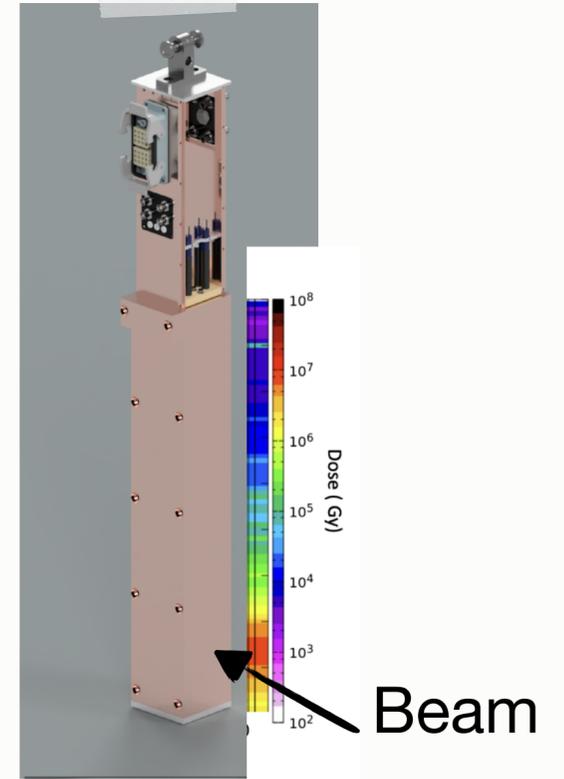
- Finanziamenti NSF-BSF: 2021-2024, 2024-2027 (solo hardware - RL co-PI)
- Goal: studi di resistenza alla radiazione di radiatori Cherenkov e PMTs durante il run pp 2026

Progetto Rita Levi Montalcini (parte hardware)

- Strumentazione di un laboratorio ZDC/RPD in Italia per partecipare al progetto HL-ZDC
 - Particolare focus su analisi di materiali resistenti alla radiazione e design dell'RPD
- Analisi dei dati ZDC ed RPD in Run 3 per informare il design e la costruzione dell'HL-ZDC

Costruzione del detector

- Finanziamento DOE (solo Hardware, RL co-PI e project manager)
- 2.7 M\$ + contingenza ma da ridiscutere su base annua
- Finanziamento su 5 anni. 2025: \$350k - approvato a inizio anno ma non ancora erogato (tempi tecnici biblici dovuti a licenziamenti di massa + cambi di normative...)



Paper di R&D negli ultimi 3 anni
NIM.A 1055 (2023) 168523,
PRAB 25 (2022) 9, 091001,
PRAB 25 (2022) 5, 053001,
EPJ 276 (2023) 05003

ZDC, RPD & HL-ZDC in sezione: richieste

1 Richiesta per l'**officina meccanica**

- Costruzione di una dark box per test di PMT e misure ottiche su radiatori Cherenkov
 - Tempistica: 1° trimestre 2026
 - Progettazione fatta dal progetto

1 Richiesta per il **laboratorio di elettronica**

- Cablaggio di N 8 (4+4) PMTs forniti da Hamamatsu
- 4 PMTs a Gennaio (irradiation setup), 4 entro fine Aprile (pre-production detector)
- Stimata in circa 16h di un tecnico
- Richiesta conservativa - potrebbe essere ridotta



Design preliminare



Stadi di booster per garantire linearità ad alte correnti

Per tubi piccoli ($\phi < 3$ cm)
Hamamatsu non fornisce i booster su cavi coassiali
=> serve schermatura con calza + messa a terra

Organico e responsabilità in ATLAS

Organico di partenza

(~6 FTE a regime entro fine anno)

Staff

- Riccardo Longo [RTDB - Montalcini]
- Ivan Gnesi [RTDB]

Studenti di dottorato

- 1 nuovo dottorando Montalcini da Novembre 2025 (bando aperto)
- 1 dottorando in cotutela con Praga dall'autunno (WIP)
- 2 dottorandi di Longo dagli USA (Housenga, Hoppesch)

Responsabilità in ATLAS e nel progetto HL-ZDC

Presenti e per l'anno 2026

- Convener del sotto-gruppo di fisica con jet in ioni pesanti (Longo, 2023 - fino ad Agosto 2025)
- Convener del gruppo di fisica con ioni pesanti (Longo, da Ottobre 2025)
- Coordinatore Tecnico dello ZDC e dell'RPD (Longo, dal 2022)
- HL-ZDC Upgrade Co-PI e project manager (Longo, dal 2022)

Backup



Laboratorio di Elettronica

Richiesta preventiva e conservativa (e.g. potrebbe ridursi ma non aumentare)

Da rivalutare in Autunno in base allo stato del progetto e ai tempi di consegna previsti per i PMT

Esperimento (sigla nel database INFN)	ATLAS
Ruoli di responsabilità nazionali ed internazionali ricoperti all'interno della collaborazione/esperimento da personale della Sezione	Convener per Jet in ioni pesanti in ATLAS (Longo – fino a 08/2025) Convener per tutta la fisica di ioni pesanti in ATLAS (da 10/2025) Coordinatore tecnico per ZDC e RPD (Longo) Project Manager per progetto HL-ZDC (Longo)
Numero di FTE coinvolti (ricercatori e tecnologi) nel gruppo locale, compresi dottorandi e post-doc	2 al momento del CdS (4 dall'autunno – con 2 nuovi dottorandi)
Responsabile scientifico locale dell'attività richiesta	Riccardo Longo
Servizio in cui si richiede l'attività (Servizio di Progettazione Meccanica, Officina Meccanica, Centro di Calcolo, Laboratorio di Elettronica)	Laboratorio di Elettronica
Altri servizi a cui si richiedono attività strettamente correlate alla presente (indicare solo il nome del servizio)	Altri servizi sono richiesti all'officina meccanica ma non sono strettamente correlati con questa richiesta.
Specificare se si tratta di nuova attività o continuazione di attività già approvata e supportata in anni precedenti. In caso di attività pluriennali in corso indicare l'anno di inizio e l'anno previsto per la conclusione	Nuova attività
Descrizione tecnica sintetica dell'attività richiesta (max 1 pagina) Dove applicabile, la descrizione deve fornire elementi quantitativi, indicando, ad esempio, il numero di pezzi meccanici da fabbricare, il numero di schede di elettronica da assemblare o testare, il numero di chip da bondare, etc..). Non sono ammesse schede complessivamente superiori a due pagine.	I nuovi calorimetri a zero gradi (HL-ZDCs) di ATLAS e CMS per l'High-Luminosity LHC si basano su rivelazione di luce Cherenkov con fotomoltiplicatori (PMT) di diverse dimensioni a seconda della sezione del detector in cui sono impiegati (EM, RPD, HAD). Questi PMT sono dotati di una linea di HV principale, di alcune linee (1-3, a seconda del tipo di PMT) di HV booster per stabilizzare la linearità della risposta ad alti rate, di una linea di ground e di una linea di segnale. Per i PMT delle sezioni EM e RPD i booster vengono forniti da Hamamatsu su cavi non coassiali e non terminati. E' pertanto necessario terminare i cavi e implementare una schermatura adeguata per quest'ultimi (ad esempio, con una calza metallica portata a terra). Dato che queste linee sono designate a portare alto voltaggio, e che i tubi andranno testati in laboratorio, è consigliabile che l'implementazione sia fatta da personale specializzato. Per l'anno 2026, a seconda dei tempi di consegna dei PMT, potrebbe essere necessario cablare fino a 8 fototubi (caso peggiore). Assumendo 4-6h per il primo fototubo, per valutare la migliore implementazione della schermatura e la messa a terra, i fototubi successivi dovrebbero richiedere non più di 1.5h ciascuno, per un totale di circa 16h per tutto il lavoro.

Milestones	4 fototubi a Gennaio 2026 + altri 4 fototubi entro Aprile 2026
Ulteriori annotazioni	Questa richiesta è sottomessa in maniera preventiva, per verificare se il Laboratorio di Elettronica di Torino avesse la capacità di accomodare questa richiesta in caso di necessità. Essendo da poco arrivato a Torino ed essendo la programmazione per l'anno venturo imminente, ho preferito listare eventuali necessità che potrebbero poi non andarsi a manifestare. In autunno avrò un quadro più chiaro della situazione ma volevo iniziare a esplorare se il Laboratorio avesse 1. Un tecnico con expertise in lavori di questo tipo e 2. la persona in questione avesse le disponibilità richieste.

Officina Meccanica

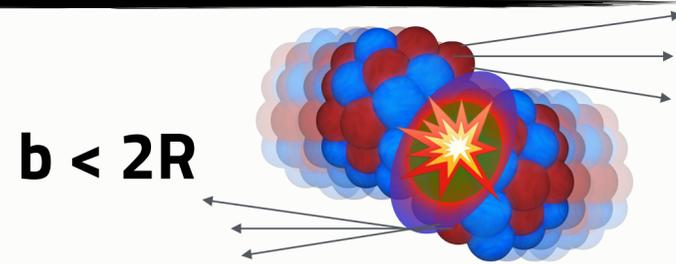
Progettazione esterna
Solo realizzazione richiesta



Esperimento (sigla nel database INFN)	ATLAS
Ruoli di responsabilità nazionali ed internazionali ricoperti all'interno della collaborazione/esperimento da personale della Sezione	Convener per Jet in ioni pesanti in ATLAS (Longo – fino a 08/2025) Convener per tutta la fisica di ioni pesanti in ATLAS (da 10/2025) Coordinatore tecnico per ZDC e RPD (Longo) Project Manager per progetto HL-ZDC
Numero di FTE coinvolti (ricercatori e tecnologi) nel gruppo locale, compresi dottorandi e post-doc	2 al momento del CdS (4 dall'autunno – con 2 nuovi dottorandi)
Responsabile scientifico locale dell'attività richiesta	Riccardo Longo
Servizio in cui si richiede l'attività (Servizio di Progettazione Meccanica, Officina Meccanica, Centro di Calcolo, Laboratorio di Elettronica)	Officina Meccanica
Altri servizi a cui si richiedono attività strettamente correlate alla presente (indicare solo il nome del servizio)	Altri servizi sono richiesti al laboratorio di elettronica ma non sono strettamente correlati con questa richiesta.
Specificare se si tratta di nuova attività o continuazione di attività già approvata e supportata in anni precedenti. In caso di attività pluriennali in corso indicare l'anno di inizio e l'anno previsto per la conclusione	Nuova attività
<p>Descrizione tecnica sintetica dell'attività richiesta (max 1 pagina)</p> <p>Dove applicabile, la descrizione deve fornire elementi quantitativi, indicando, ad esempio, il numero di pezzi meccanici da fabbricare, il numero di schede di elettronica da assemblare o testare, il numero di chip da bondare, etc..).</p> <p>Non sono ammesse schede complessivamente superiori a due pagine.</p>	<p>I nuovi calorimetri a zero gradi (HL-ZDCs) di ATLAS e CMS per l'High-Luminosity LHC si basano su rivelazione di luce Cherenkov con fotomoltiplicatori (PMTs) di diverse dimensioni. Una vasta gamma di test per gli HL-ZDC, sia sulla resistenza alla radiazione dei radiatori Cherenkov che sulle performance degli stessi PMT, si basa sulla disponibilità di una camera oscura (Dark Box, DB) che fornisca una serie di connessioni BNC a SHV sulla sua superficie, così da poter connettere strumentazione al suo interno. Tipicamente, 8 connessioni SHV, 10 connessioni BNC e 2 connessioni per fibra ottica sono consigliabili per assicurare abbastanza flessibilità nell'utilizzo della DB per diversi compiti nell'ambito del progetto HL-ZDC. La DB sarà dotata di chiusura ermetica alla luce e di interni scuri per evitare riflessione. Il design della DB potrà essere effettuato da un ingegnere di progetto (e.g. non graverà sulla Sezione), ma produrre l'hardware a Torino sarebbe funzionale. La disponibilità della DB abiliterà il gruppo ATLAS di Torino a testare i PMTs per l'HL-ZDC (iniziando dal pre-production detector, che verrà costruito nel 2026) e ad effettuare misure di trasmittanza di materiali irraggiati.</p>
Milestones	Se possibile, produzione della DB nel primo trimestre 2026.
Ulteriori annotazioni	Nel caso non fosse possibile ottenere la DB nel primo trimestre o in generale l'officina fosse sotto stress, sarebbe possibile commissionare la realizzazione della DB presso terzi.

ZDC: Event classification and trigger in HI

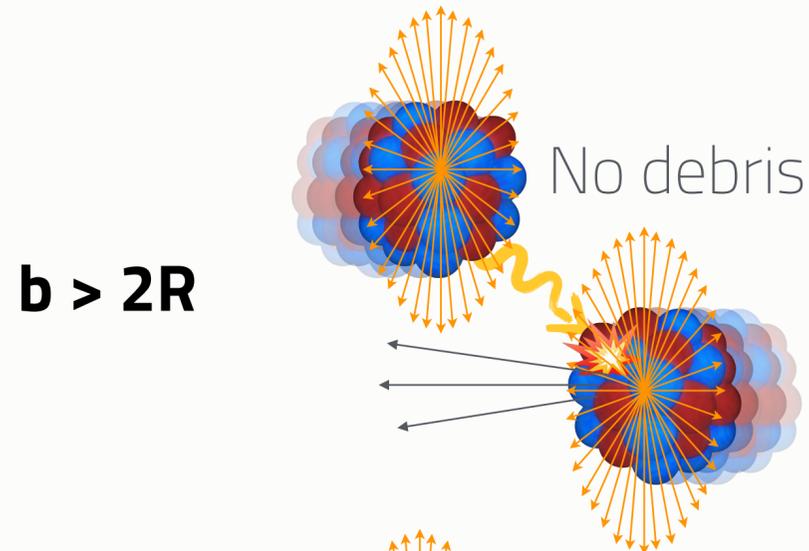
**COLLISIONI
ADRONICHE**



Xn Xn

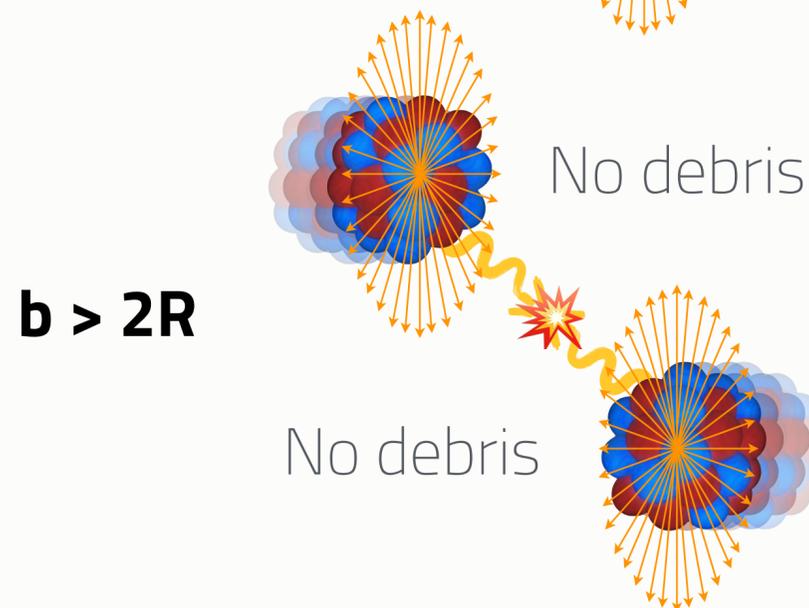
Possiamo classificare eventi heavy-ion di diversa natura attraverso le topologie dei neutroni forward rivelati dallo **ZDC**

**COLLISIONI
FOTO-NUCLEARI**



Xn 0n

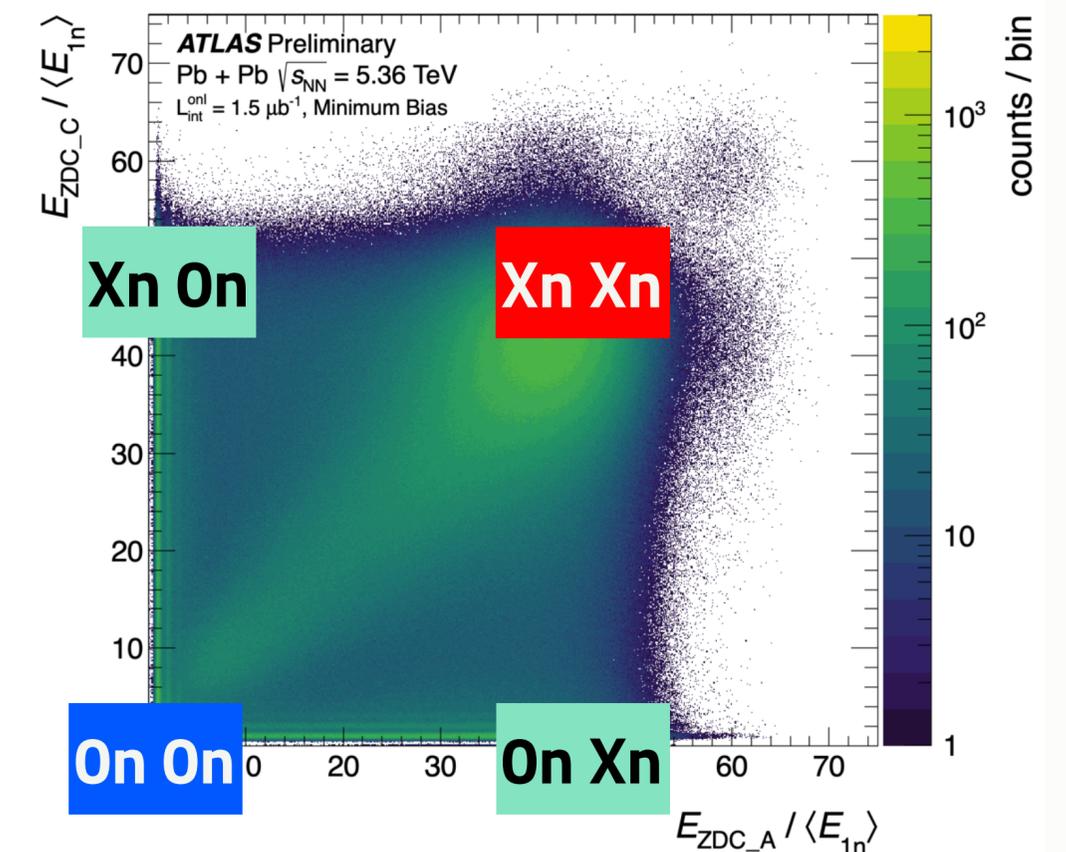
**COLLISIONI
LUCE SU LUCE**



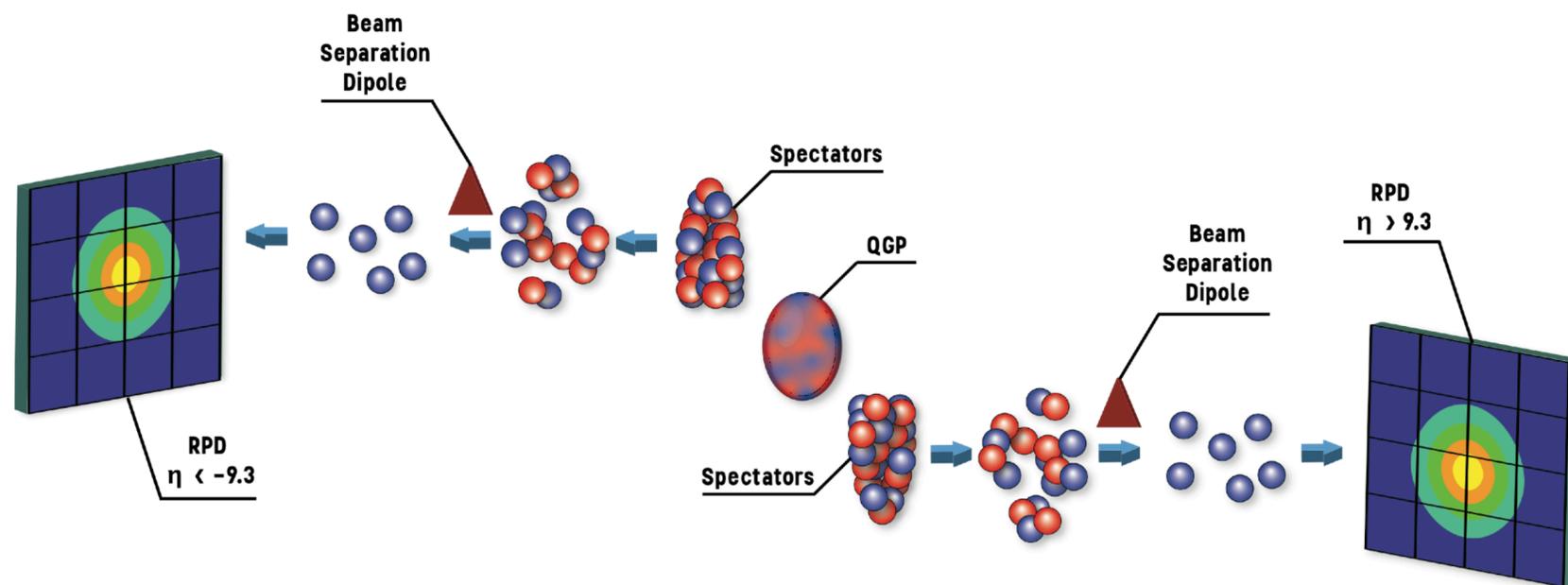
0n 0n



Made by GS Hoppesch



RUN3++: ADDITION OF REACTION PLANE DETECTOR



The Reaction Plane Detector is a new addition to the HL-ZDC upgrade

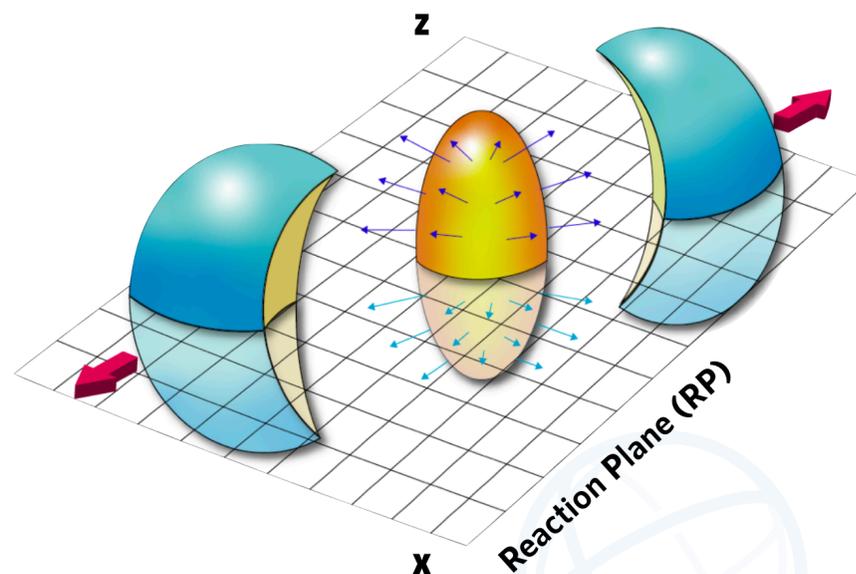
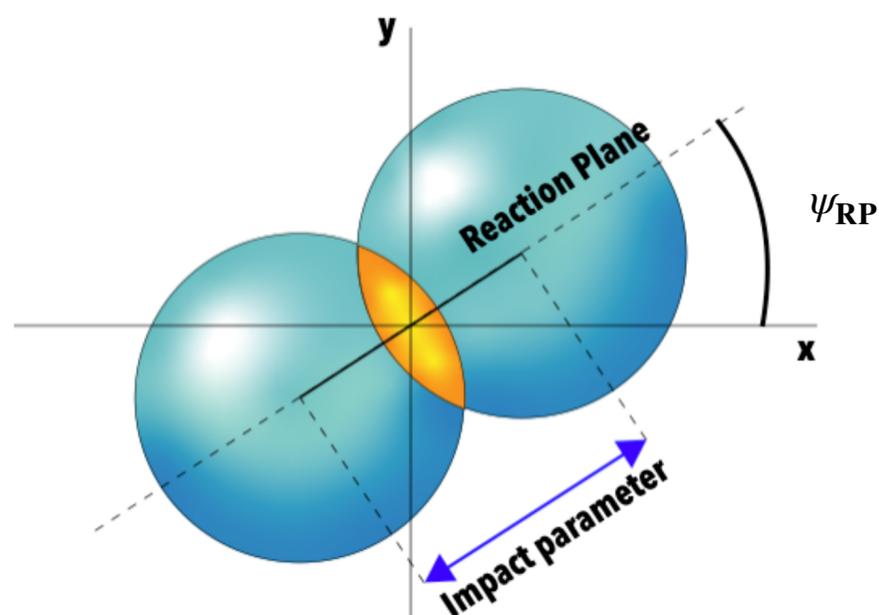
The RPD measures the **reaction plane** of HI collisions by looking at the **correlated deflection of spectator neutrons**

Enables directed flow (v_1) program

Detector designed to detect multiple neutrons at TeV scale

=> Must be tested in the LHC

=> Instrumentation in ATLAS in Run 3
(Illinois led)



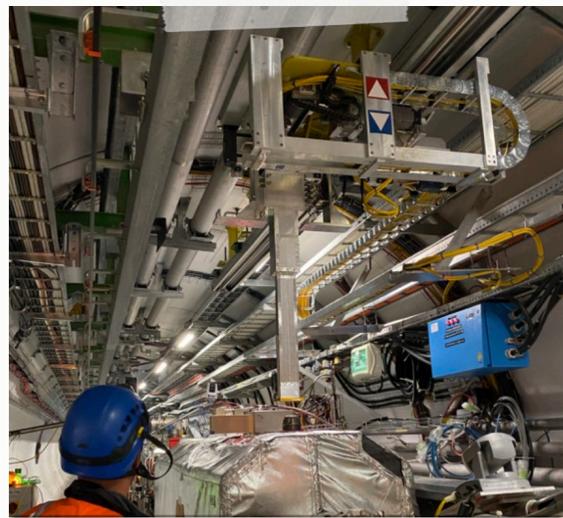
Costruzione dell'RPD



2021: Costruzione primo prototipo RPD & test beam @ SPS



2021-22 Sintesi dell'esperienza del test beam & aggiornamento del design



2023 Full System test & installazione di nuovi PMTs



2022 Test Beam dei nuovi RPD con lo ZDC @ SPS



Prime segnali in control room ad ATLAS!



2023 Ultimo test beam & messa in opera all'LHC

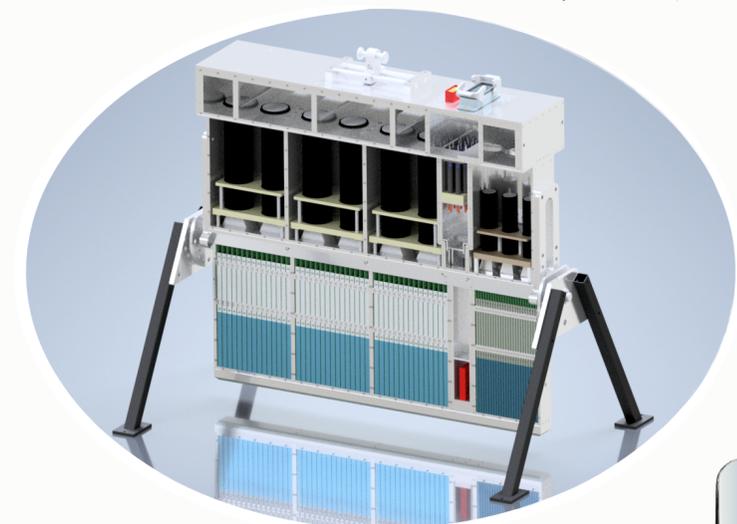


Coinvolgimento hardware

- Ruolo prominente di Longo e dei suoi dottorandi nelle operazioni **ZDC ed RPD** durante **Run 3**
 - Detector installati solo per le prese dati di ioni pesanti - dove svolgono un ruolo fondamentale (trigger, reiezione di eventi pile-up, studio dei neutroni spettatori)
 - Tipicamente, circa 1/1.5 mesi di presa dati all'anno
 - Il gruppo partecipa anche in manutenzione durante gli YETS
- Lo **ZDC** fa parte dei **forward detector** in ATLAS (con **LUCID** e AFP)
- Ruolo di leadership nell'**upgrade ZDC e RPD** per l'HL-LHC (detector unico denominato **HL-ZDC**)
 - Progetto Montalcini di Longo legato all'identificazione di materiali resistenti alla radiazione per l'HL-ZDC
 - Longo **Co-PI e Project Manager** del progetto HL-ZDC, recentemente approvato dal DOE (fondi solo per l'acquisto delle componenti del detector, no personale)
 - **Collaborazione con** gruppo **LUCID** di **Bologna** (sviluppo congiunto dell'elettronica di readout)
 - 4 HL-ZDC da costruire, 2x ATLAS e 2x CMS (**1° progetto hardware joint** tra i due esperimenti)
- Possibilità di instrumentare a Torino un laboratorio ZDC di base principalmente con fondi Montalcini
 - Main focus iniziale su test componenti del detector e analisi di resistenza alla radiazione di materiali
- Detector cruciale per **abilitare il programma di ioni pesanti ad ATLAS dopo LS3**
 - 3 mesi di presa dati con ioni pesanti attesi in totale per Run 4.
 - Nel caso di estensione del programma di ioni a Run 5, il detector potrà essere riutilizzato.



Publicazioni di R&D di Longo e studenti negli ultimi 3 anni
NIM.A 1055 (2023) 168523,
PRAB 25 (2022) 9, 091001,
PRAB 25 (2022) 5, 053001,
EPJ 276 (2023) 05003



Analisi: track-record e interessi sul breve periodo

Expertise

Esperienza nell'utilizzo di jet e adroni pesanti in:

1. Collisioni ione-ione per misure di proprietà microscopiche del Quark Gluon Plasma (Longo) e idrodinamica (Gnesi) **[Hot QCD]**

- Pubblicazioni: **PRC 110 (2024) 5, 054912**
- 3 Analisi in corso

2. Collisioni protone-ione e ione-ione ultraperiferiche per studi di effetti di stato iniziale legati alla struttura del protone e del nucleo **[Cold QCD]**

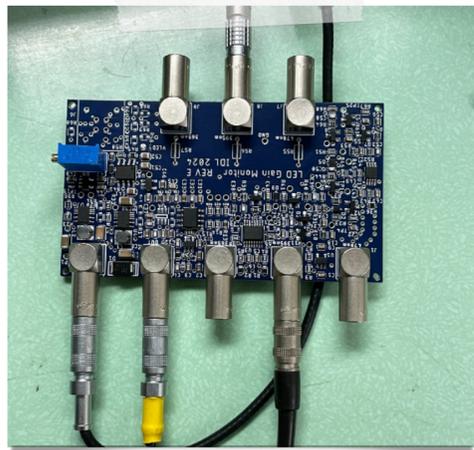
- Pubblicazioni: **PRL 132 (2024) 10, 102301; arXiv:2504.02638 (sub. PLB)**
- 1 Analisi in corso

Prossimi obiettivi

- Utilizzare i primi dati di O+O all'LHC per cercare di individuare la dimensione critica del sistema di collisione necessaria per osservare perdita di energia partonica
- Utilizzare l'intero dataset di Pb+Pb acquisito in Run 3 per misure di Hot QCD e Cold QCD utilizzando jet e adroni pesanti
- Gran parte delle misure faranno leva sul calorimetro a Zero Gradi (ZDC) e/o sul Reaction Plane Detector (RPD) per trigger, selezione di eventi etc. - valorizzando lo sforzo del gruppo sui forward detector (slide successiva).

HL-ZDC DETECTOR DEVELOPMENT

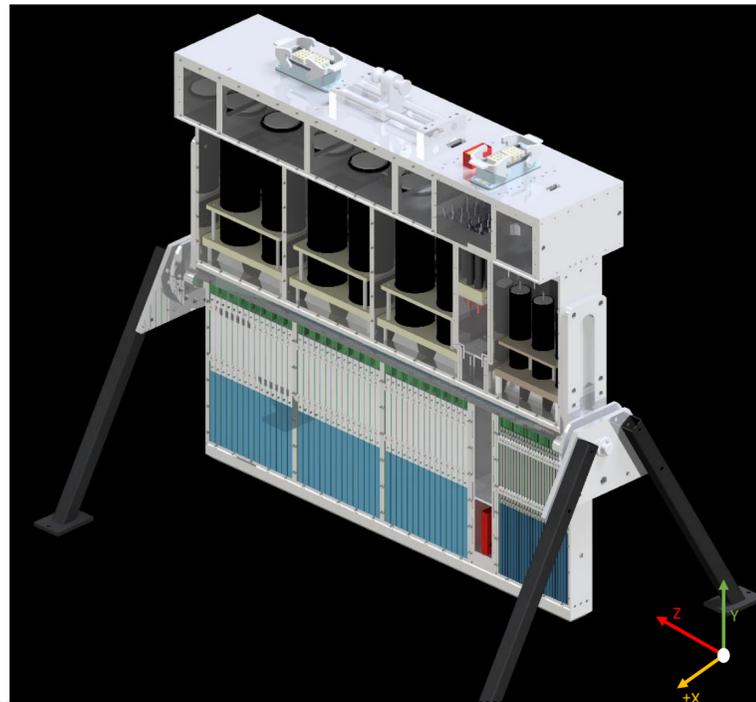
LED calibration system



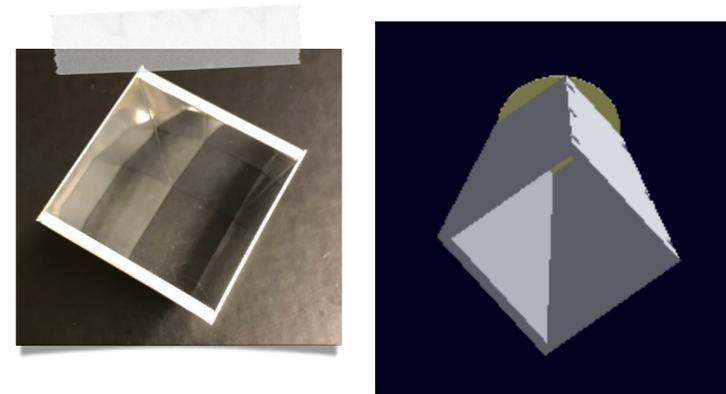
Developed w/ KU
Tested &
integrated @
UIUC

3x colors alternatively pulsed in LHC
abort gap by firing different triggers

Detector Design

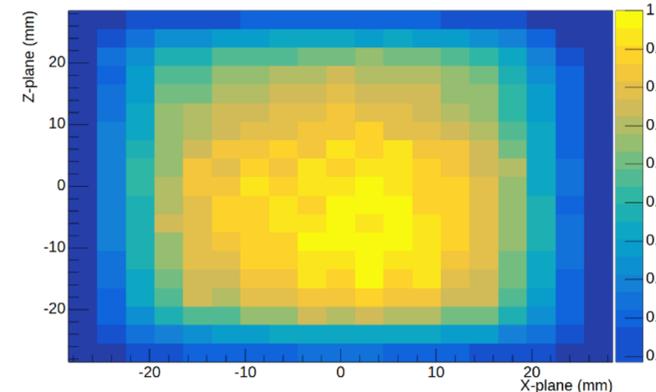


Light guides optimization

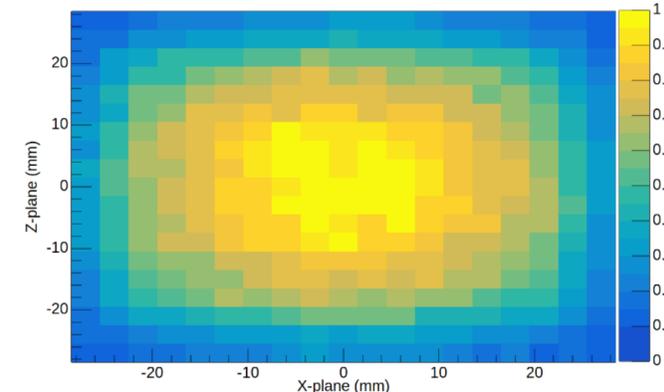


Geant4 MC simulation
for fast-optimization of
LG geometries (PAPAS -
soon on Software-X)

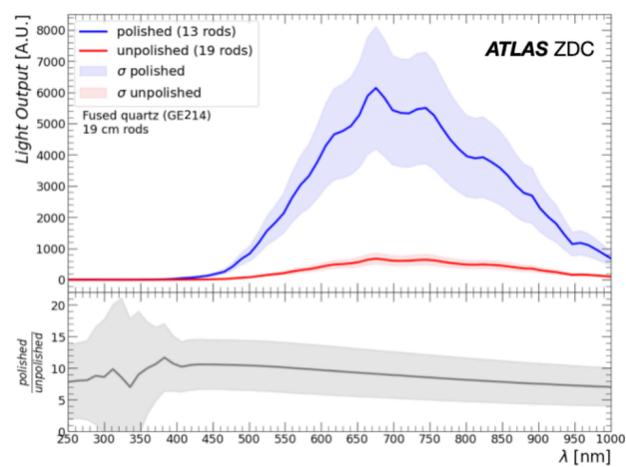
Experiment



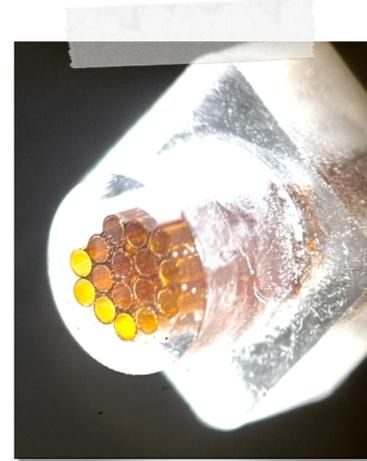
Simulation



Optical interfaces



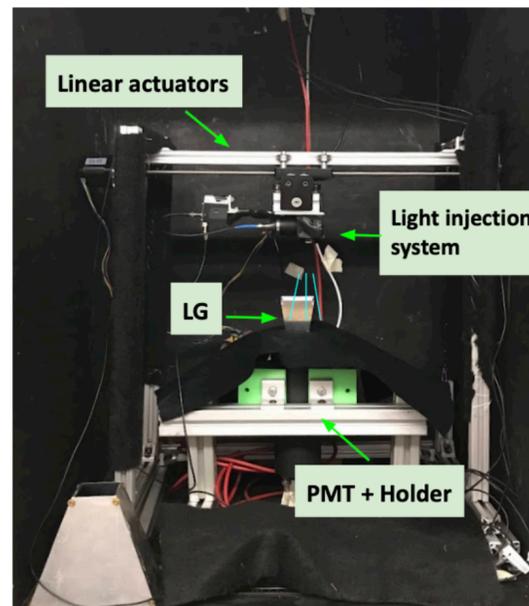
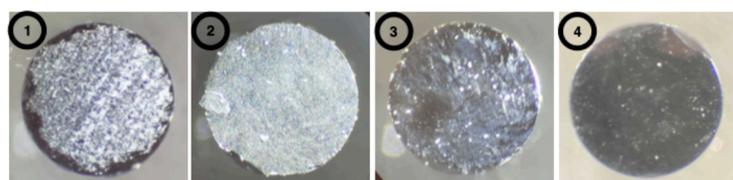
Polishing of fused-silica rods



RPD fiber-PMT interface



Mirror-finished LG



Validation of the simulation
w/ table-top setup

HL-ZDC DETECTOR DEVELOPMENT



Material Research



Collaboration w/ **world-leading firms** in **fused silica** glass & fibers production to identify the best radiators for the HL-ZDC.
Continuing in Run 3 (w/ also CERN FLUKA and BRAN teams)



BRAN

Heraeus Fused Silica + Polymicro fibers inserted in the **BRAN**
Full Run 3 irradiation (**25++ MGy expected**)

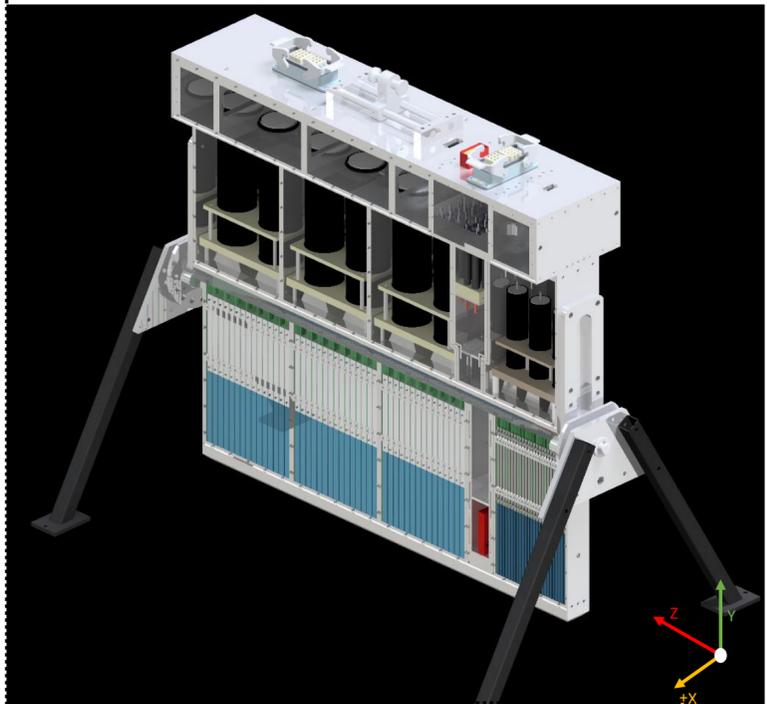
Riccardo Longo



RPD Back

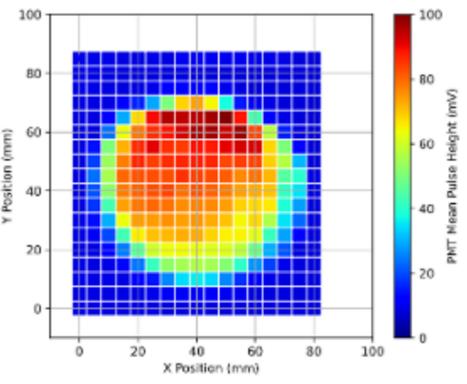
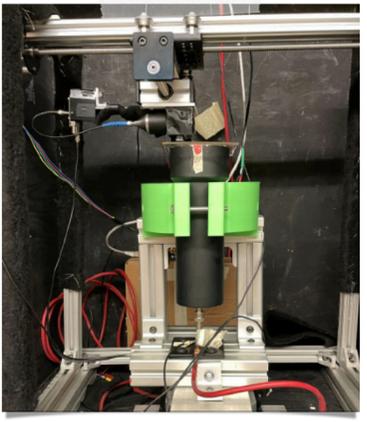
Polymicro fibers irradiated in the RPD in 2023 HI run
Typical irradiation of 1 PbPb run

Detector Design

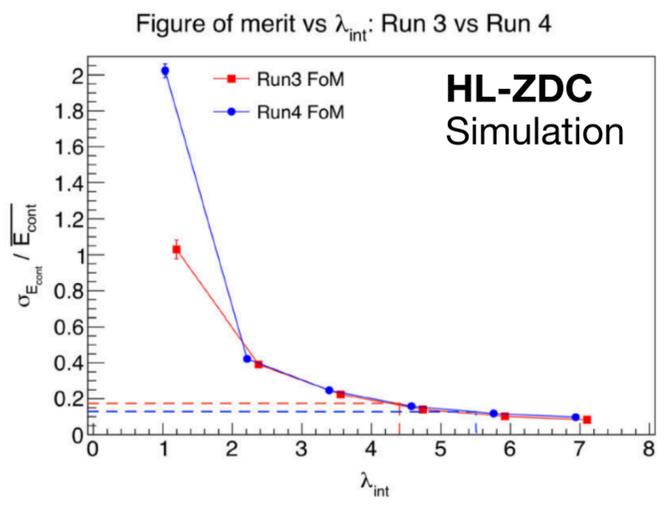


PMTs

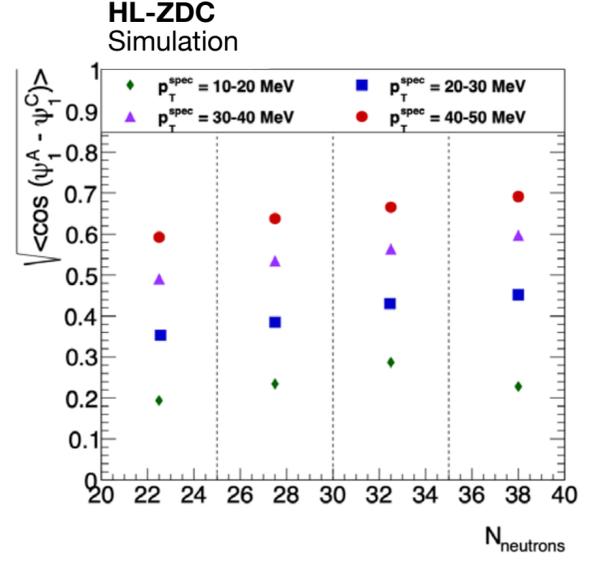
Test of PMT candidates for HL-ZDC
Characterization of PMT window response for precise simulation of the HL-ZDC



Simulations

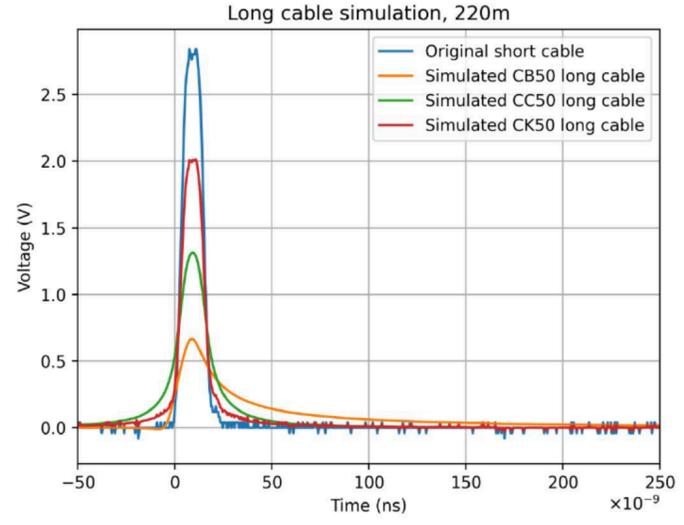


ML Reconstruction



Machine Learning (ML) reconstruction tested on MC, to be deployed on Run 3 data when ATLAS MC/data agreement is satisfactory

Cables



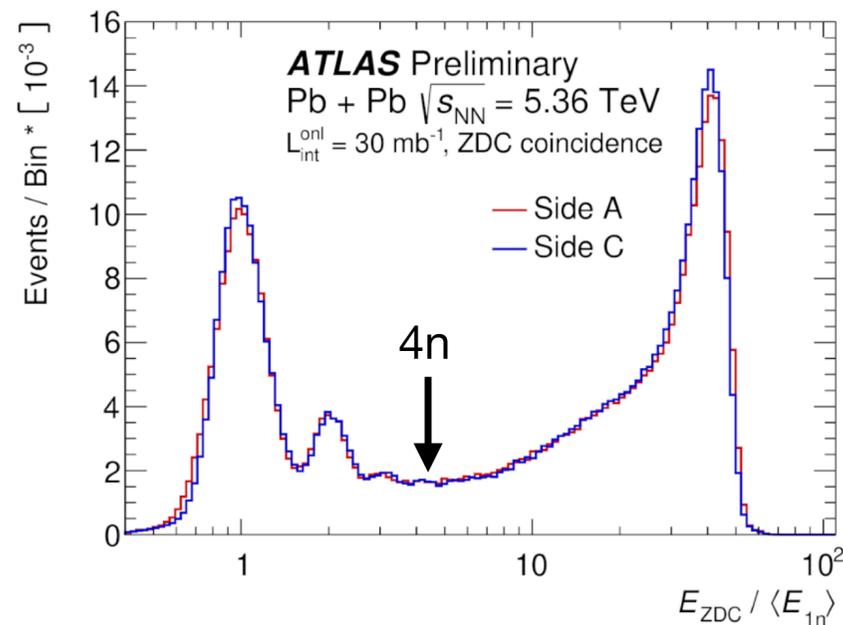
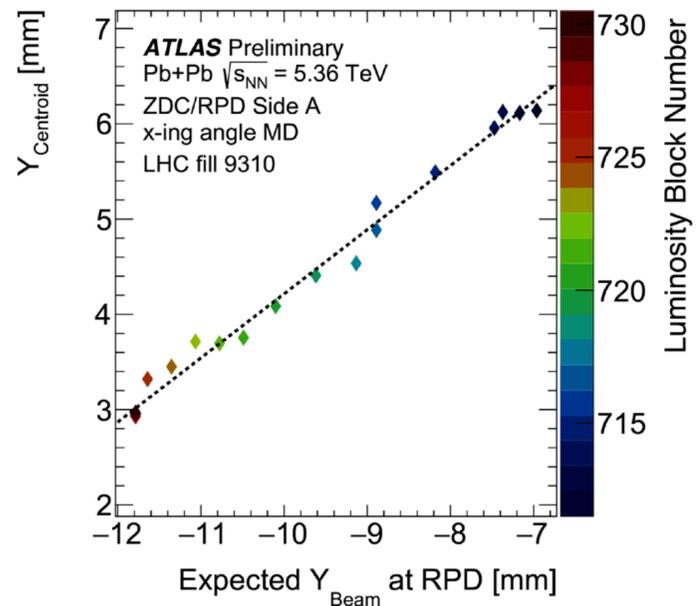
Characterization of **transfer function** of different cables to readout the HL-ZDC in ATLAS



2023 ZDC/RPD installation

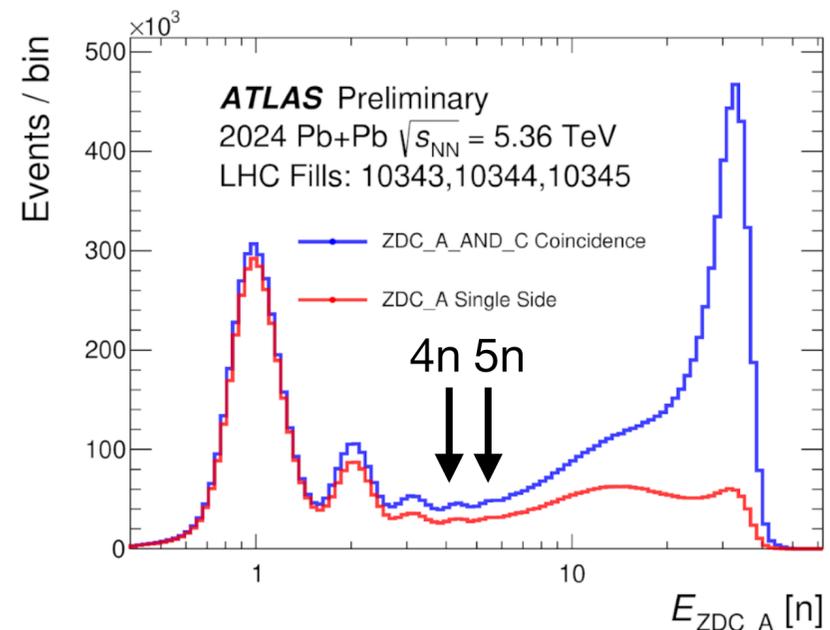
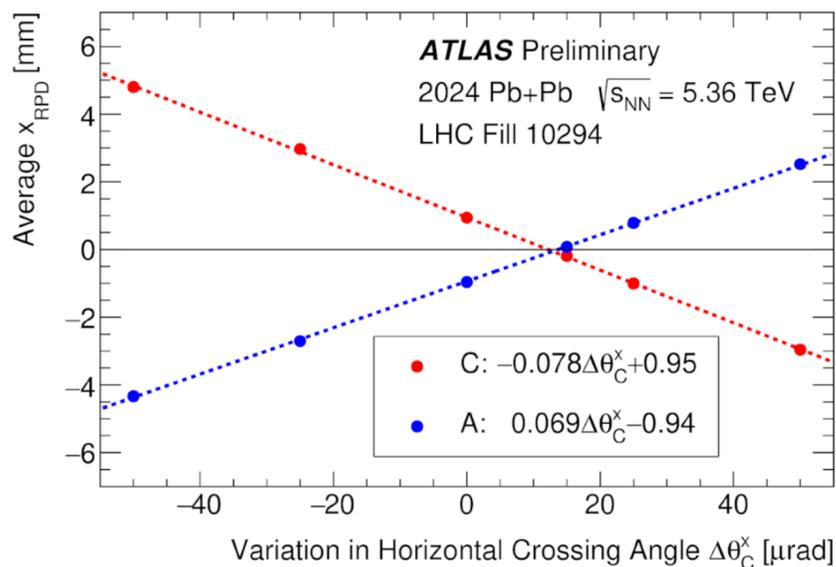


2024 ZDC/RPD installation



2023: ZDC 1n, 2n, 3n peaks visible, hint of 4n

The RPD tracks both vertical and horizontal movement of the beam



2024: ZDC 1n, 2n, 3n, 4n peaks visible, hint of 5n
 => **Better 1n resolution!**

Made by GS Housenga & Hoppesch

