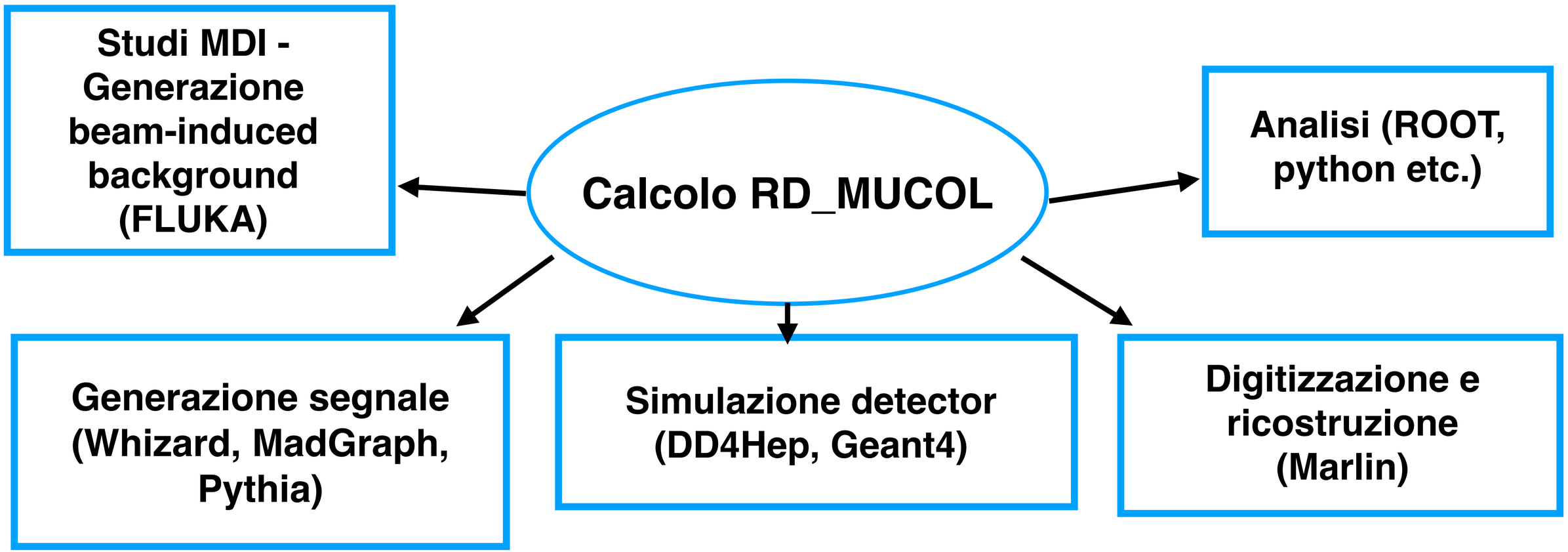
Calcolo RD_MUCOL 2025

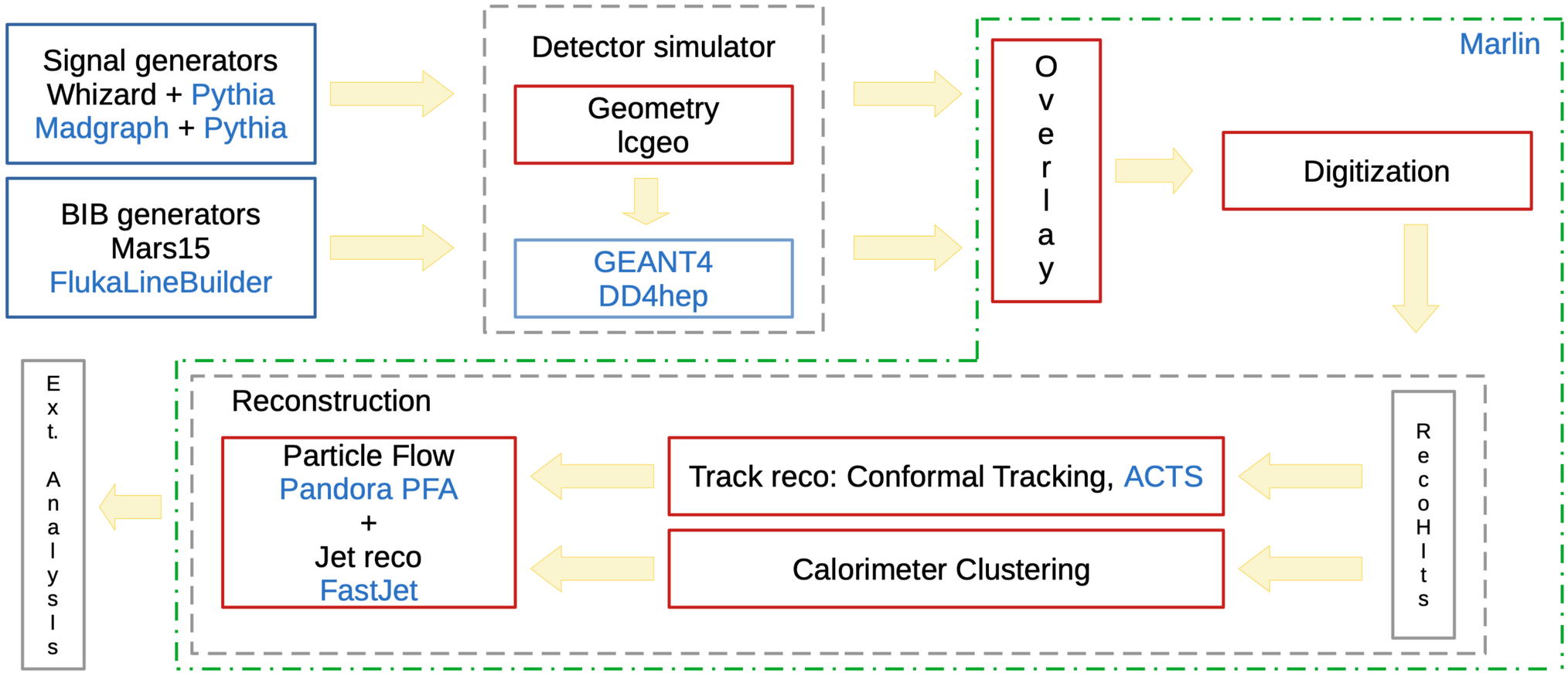
Lorenzo Sestini - INFN Padova

Meeting con i referee di RD_MUCOL - 25/7/2024


Studi MDI - Generazione beam-induced background (FLUKA)
Calcolo RD_MUCOL
Analisi (ROOT, python etc.)
Generazione segnale (Whizard, MadGraph, Pythia)
Simulazione detector (DD4Hep, Geant4)
Digitizzazione e ricostruzione (Marlin)

Struttura software

Branched version di ILCSoft



Software: versione corrente

https://github.com/MuonColliderSoft

Muon Collider Software v.2.9, to be delivered soon. Paolo Andreetto's talk at IMCC annual meeting

The reference Linux distribution is Alma Linux 9

The release must be aligned with Key4HEP (missing reference at the moment)

The software stack includes Gaudi and Key4HEP

Still using forked version for iLCSoft components (LCIO, lcgeo), merging would be better

Package	Version
ACTS	32.0
DD4hep	1.27.2
Gaudi	0.37.2
GEANT4	11.2
EDM4hep	0.10.4
PandoraPFA	4.6.2
Root	6.30.4

Knowledge base

The new site for Muon Collider physics and detector is https://mcd-wiki.web.cern.ch/

Back end on https://gitlab.cern.ch/muon-collider/wiki

Versione 2.9 rilasciata il 18 luglio!!!

Software task force and Key4Hep

Migration to Key4hep: Nazar Bartosik's talk

The main components of our software stack:

1. **LCIO** → **event-data model** [`LCIO::SimCalorimeterHit`, … stored in *.slcio files]
2. **DD4hep** * → **flexible geometry-description language** + interface with GEANT4
3. **Marlin** → **framework for simulation/reconstruction code** + putting it together via *.xml files
4. **Spack** * → **well-structured package manager** + developer-friendly build recipes

* **part of the Key4hep software stack → the 1st part of the migration is done**

Our motivation for the full adoption of Key4hep software stack:

1. **support of intra-event parallelism** → much better computing performance;
2. **shared tools with other experiments** → benefit from external developments.

Software task force: Federico Meloni's talk

GOAL: review and re-organize the software activities

The mandate includes:

- Software Development Model, including but not limited to
  - Management of software repositories
  - Development, review and management of code
  - Release creation, validation and distribution
- Integration into key4hep
- Fast simulation (Delphes) update and maintenance
- Definition of user support policy and tools
- Tutorials and documentation

Do you think that something is missing? Get in touch!
IMCC-software-task-force@cern.ch

Membri INFN della Task Force

Alessio Gianelle e Paolo Andreetto (INFN-PD)

Nazar Bartosik (INFN-TO)

Risorse calcolo RD_MUCOL

- **Cloud-Veneto**: 200 VCPU, 740 GB di RAM, ~100 TB di storage
- **CNAF**: batch system basato su HTCondor, 150 TB di storage, 6 CE
- **IBISCO-Bari**: risorse condivise con altri progetti allocate al momento della richiesta
- **CERN**: batch system basato su HTCondor, 300 TB di storage su CERN EOS
- **Risorse locali**: Farm Trieste (modalità opportunistica), Pavia etc.
- **Richieste 2023-2024 (ancora da acquisire)**: 150 TB storage e 512 GB di RAM su Terabit/Cloud-INFN
- **Richieste 2025**: altri 150 TB di storage su Cloud-Veneto

Cloud-Veneto

Report sull'utilizzo per periodo	2023-07-24	2024-07-24				
ID progetto	1d4bbed70b794917acaaaa69990873fb					
Istanze attive:	16					
Utilizzo totale VCPU (Ore):	1130997	4				
RAM totale attiva (MB):	753664					
Utilizzo totale memoria (Ore):	4829081160	46				
Dimensione totale disco (GB):	406					
Utilizzo totale disco (Ore):	2060912	63				
Nome Istanza	VCPUs	RAM (MB)	Disco (GB)	Utilizzo (Ore)	Age (Seconds)	Stato
MuonC_V02_07_A	8	32768	25	3059,15	11012944	Attivo
MuonC_v02_07_B	8	32768	25	5829,09	20984713	Attivo
MuonC_32	32	32768	28	3064,66	11032771	Attivo
MuonC_Lorenzo	8	16384	25	880,94	3171368	Attivo
Whizard	32	32768	28	2904,32	10455560	Attivo
MuonC_UI	8	8192	25	3059,32	11013560	Attivo
MuonCServer	2	4096	25	882,22	3176000	Attivo
MuonC_Users01	8	32768	25	8793,11	35850301	Attivo
MuonC_Monster	32	348160	25	788,22	2837602	Attivo
MuonC_Up01	8	32768	25	883,91	3182071	Attivo
MuonC_Users02	8	32768	25	882,36	3176493	Attivo
ILC_Nazar	8	32768	25	2202,08	7927503	Attivo
TestInst	8	32768	25	214,82	773337	Attivo
MuonC_Stream	8	32768	25	3058,83	11011787	Attivo
TestSpack	8	32768	25	47,12	169629	Attivo
MDI	8	16384	25	3059,08	11012684	Attivo

- Risorse in condivisione tra INFN e Università
- **Accesso via INFN IdP, necessita account centralizzato**
- Grazie alla flessibilità della Cloud (ad es. nessun limite ad allocazione RAM o al tempo massimo di esecuzione), riusciamo a girare qualunque tipo di job (generazione, simulazione, ricostruzione etc.)
- Spesso le risorse Cloud-Veneto sono al limite, sia per l'esaurimento dello storage che per le CPU occupate

```
10.64.3.12:/mnt/home   59T  53T  2.4T  96% /users/muoncollider
10.64.3.12:/mnt/data   30T  25T  3.3T  89% /muoncdata
```

CNAF

- **Accesso via VOMS,** istruzioni https://confluence.infn.it/display/muoncollider/Storage+Element
- **In questo momento usato solo come storage**
- Riscontrati problemi dovuti alla durata dei jobs a alla scadenza del proxy, soprattutto per jobs di ricostruzione
- Attuale occupazione Disco: 117 TB/150 TB

IBISCO-Bari

- Le risorse di IBISCO-Bari sono state acquisite da RD_MUCOL nel 2022: 7k HS06 e 300 TB
- Destinata alla produzione campioni di b, c e light jets (full simulation + ricostruzione con BIB) per studiare algoritmi di ricostruzione/identificazione basati su machine learning, e a campioni per lo sviluppo di HCAL
- **Le risorse sono attualmente condivise con gli altri progetti, vengono allocate al momento della loro richiesta**
- L’accesso avviene tramite account a Bari, può essere aperto anche da utenti di altre sedi

CERN

- **Risorse non finanziate da INFN**
- **Per poter accedere necessario account al CERN**
- Iscrizione su e-groups *muoncollider-readers*, *muoncollider-writers*, *muoncollider-batch*
- *3*00 TB di spazio disco su EOS
- Attualmente riempito con 131/300 TB
- Tutti e 1000 i bunch crossing di BIB (1.5 TeV) simulati al CNAF sono stati copiati su EOS
- Possibilità di sottomettere jobs con HTCondor, potenzialmente abbiamo delle code dedicate

Next steps

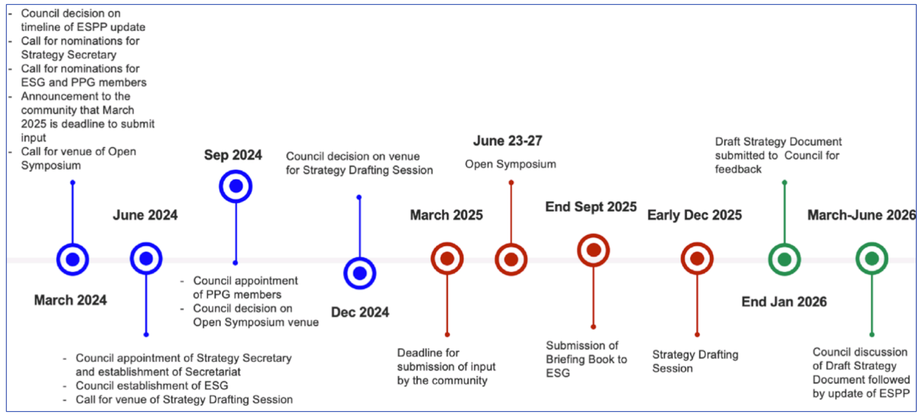
Roadmap for European Strategy

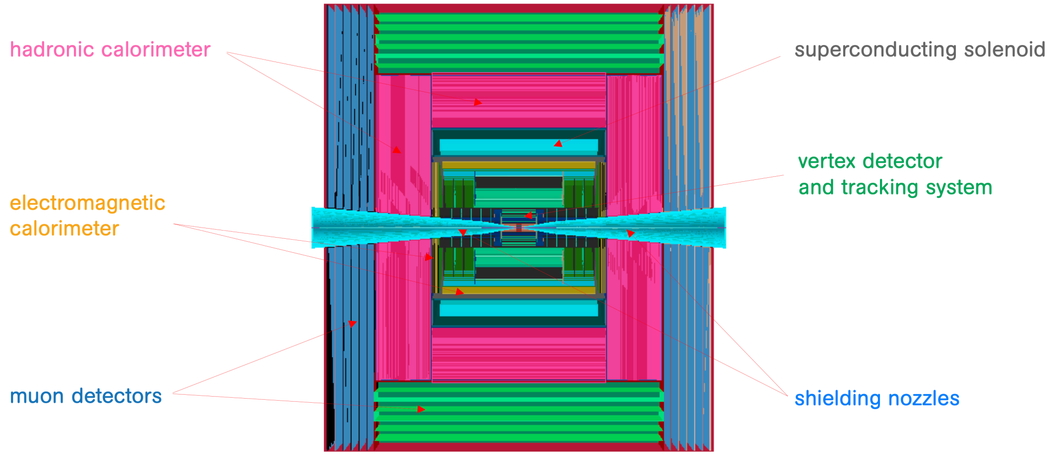
Donatella Lucchesi's talk

- From now on focus on detector concept at √s =10 TeV, priorities identified:
  - Evaluate impact of incoherent pair production and beam halo
  - Define the magnetic field: it is necessary for generating BIB
  - Define interaction region and nozzles, perform BIB validation
  - We can then proceed to BIB generation (10-20% of a bunch crossing), simulation and reconstruction
  - Study detector performance in this condition, as well as benchmark physics channel (e.g. Higgs, Z', disappearing tracks e.g.)
- **Short term roadmap, it must be done in time for the next European Strategy**

Deadline per documenti European Strategy:

Marzo 2025





The MUSIC detector (Muon Smasher for Interesting Collisions).

Detector per i 10 TeV:

- **Simulazione beam-induced background**
- **Determinazione delle performance**
- **Benchmark di fisica**
- **Calcolo/storage necessari confrontabili con quello fatto finora con il detector a 3 TeV**

Next steps

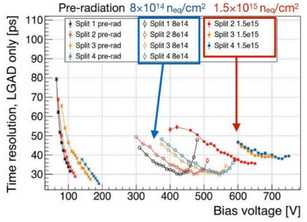
Tracker R&D

Karol Krizka's talk

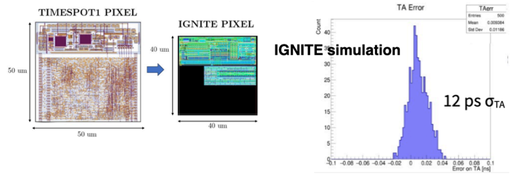
Same pathway as for many experiments:
Radiation hardness
Excellent timing resolution (30-60 ps)

Sensor R&D well advanced
- Low Gain Avalanche Diodes can soon meet our requirements
- R&D for monolithic devices just started, but good option for future

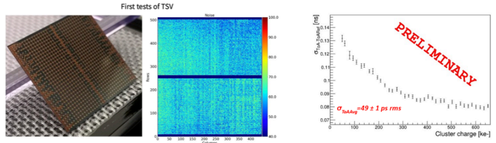
HL-LHC Detector Upgrades, 1.3x1.3 mm2 pixels



Large challenge for ASIC development
- Demonstrator chips already exists



Large scale timing 65 nm ASIC: TimePix4 (σ_t=30 ps) PicoPix (σ_t=60 ps)



Other challenges: readout link, powering, mechanics etc.

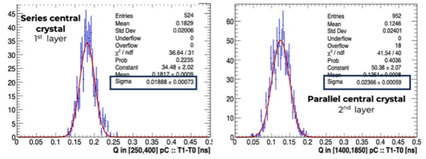
Calorimeter R&D

Elisa Di Meco's talk

CRILIN: semi-homogeneous PbF_2 calorimeter specifically designed for the muon collider ECAL
- Implemented in DD4HEP
- Matches the ECAL requirements

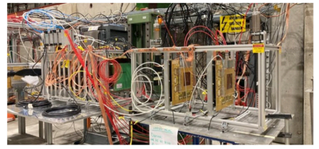
Proto-1 (3x3 crystals x 2 layers 36 channels)

- Testbeams with 450 MeV (LNF-BTF) and 120 GeV (CERN-SPS-H2) electrons
- Time resolution at 120 GeV in the order of 20 ps



Moving upon 9x9 (crystals) x4(layers) prototype thanks to 210kE Italian grant

Micro-pattern Gas Detectors read-out layers for HCAL
- Implemented in DD4HEP
- On-going simulation studies for performance evaluation



RD51 common project:
7 μ-RWELL,
4 MicroMegas,
1 RPWELL

Test beam setup at SPS, Size: 20x20 cm², 1x1 cm² pads

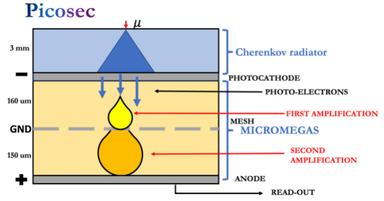
- Testbeam at SPS with high energy muons (MPGD performance)
- Testbeam at PS with low energy pions (calorimeter performance)

Next steps: two testbeams in 2024, 4 large detectors (50x50 cm²) be built in 2024. Common testbeam with CRILIN in 2025

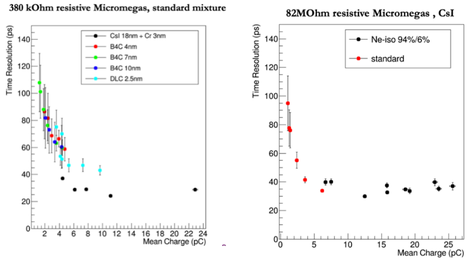
Muon Detector R&D

Matteo Brunoldi's talk

Picosec is an MPGD capable of reaching high performance in terms of **time resolution (order of tens of ps)** and is suitable for future experiments at a Muon Collider facility



Several configurations tested



MgF_2 is the best radiator among the tested ones

Cherenkov radiators

CsI grants higher performances but DLC 2.5nm could be a good alternative

Photocathode

Gas mixture

Ne/iC_4H_{10} 94%/6%
Comparable to the standard but:
- wider operating range
- reduced GWP

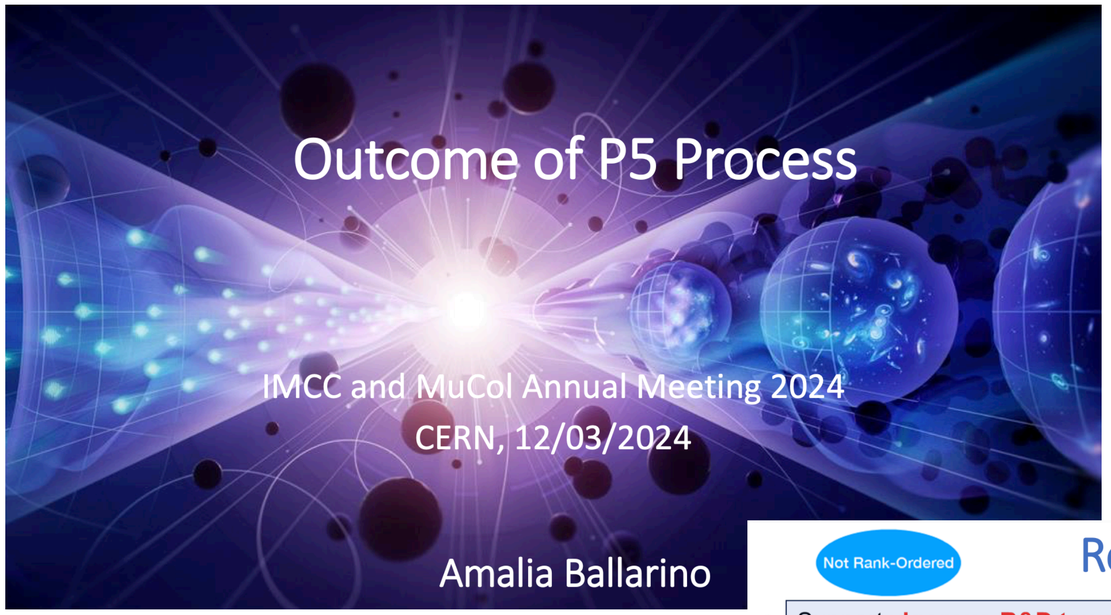
- **Next steps:** Ongoing study aimed at proving the feasibility of a bigger Picosec detector and the scalability of this technology. **New testbeams in 2024**

Intensa attività di sviluppo di detector

La simulazione è fondamentale per:

- **Determinare la tecnologia/configurazione ottimale**
- **Valutare le performance in un ambiente realistico**

Next steps



La comunità USA sta entrando ufficialmente nella collaborazione:

- **Si prevede un espansione delle attività**
- **La condivisione delle risorse di calcolo è fondamentale**
- **Vorremmo che l'INFN rimanesse leader nello sviluppo del detector**

Not Rank-Ordered

Recommendation 4

Exploring the Quantum Universe

a. Support **vigorous R&D toward a cost-effective 10 TeV pCM collider** based on proton, muon, or possible wakefield technologies, including an evaluation of options for US siting of such a machine, with a goal of being ready to build **major test facilities and demonstrator facilities within the next 10 years** (sections 3.2, 5.1, 6.5, and Recommendation 6).
b. Enhance research in **theory** to propel innovation, maximize scientific impact of investments in experiments, and expand our understanding of the universe (section 6.1).
c. Expand the **General Accelerator R&D (GARD)** program within HEP, including stewardship (section 6.4).
d. Invest in R&D in **instrumentation** to develop innovative scientific tools (section 6.3).
e. Conduct **R&D** efforts to define and enable new projects in the next decade, including detectors for an e^+e^- Higgs factory and 10 TeV pCM collider, Spec-S5, DUNE FD4, Mu2e-II, Advanced Muon Facility, and line intensity mapping (sections 3.1, 3.2, 4.2, 5.1, 5.2, and 6.3).
f. Support key **cyberinfrastructure** components such as shared software tools and a sustained R&D effort in computing, to fully exploit emerging technologies for projects. Prioritize **computing and novel data analysis techniques** for maximizing science across the entire field (section 6.7).
g. Develop plans for improving the **Fermilab accelerator complex** that are consistent with the long-term vision of this report, including neutrinos, flavor, and a 10 TeV pCM collider (section 6.6).

INFN Cloud

- **Richiesta di calcolo 2023 per RD_MUCOL è stata di un server per la INFN cloud (150 TB storage e 512 GB di RAM) -> è stata reiterata anche per il 2024**
- Macchine HPC acquistate su fondi PNRR (Terabit) sono in arrivo solo adesso a Padova quindi dovremmo acquisire presto quanto richiesto
- Sono stati fatti degli studi di pre-produzione**:** Storage Area di test, VM con framework muon collider
- Ma alcuni aspetti di INFN cloud sono ancora in fase di sviluppo (ad es. sistema di autenticazione e amministrazione)
- **Poiché per noi è fondamentale condividere le risorse con membri della collaborazione non-INFN (principalmente USA) è necessario che questi aspetti vengano chiariti**

Richieste 2025

- **Richieste 2025:** 150 TB di storage su Cloud-Veneto
- Questa richiesta è specifica per Cloud-Veneto: viene usata intensivamente e lo storage è al limite
- Se possibile, **chiederemmo di acquisirli in anticipo nel 2024**, visto che la deadline per la European Strategy è marzo 2025. **Nel 2024 non abbiamo avuto nuove risorse!**
- **Non ci sarebbero problemi con i tempi di acquisto**: Cloud-Veneto può anticipare lo storage su server già presenti a Padova, e acquistarne nuovi alla fine dell'anno

Backup

Software: distribuzione

Da presentazione Paolo Andreetto ad IMCC 2023: https://indico.cern.ch/event/1250075/contributions/5349837/attachments/2667866/4623577/IMCC_Computing.pdf

The build system/continuous integration is still based on ILC Software tools
We plan to move to spack as a part of the migration to key4hep

The Muon Collider Software is distributed in the following ways:

- A docker container published in https://hub.docker.com/r/infnpd/mucoll-ilc-framework and in the CERN CVMFS
- An apptainer image published by INFN https://xfer-archive.cr.cnaf.infn.it:8443/muoncoll/SoftwareReleases (*)
- A set of RPM packages for Alma Linux 9 https://nexus.pd.infn.it/artifacts/repository/repo-files/mcsoft.repo

* OpenID Connect token required

On-going tasks

Migration to key4hep:

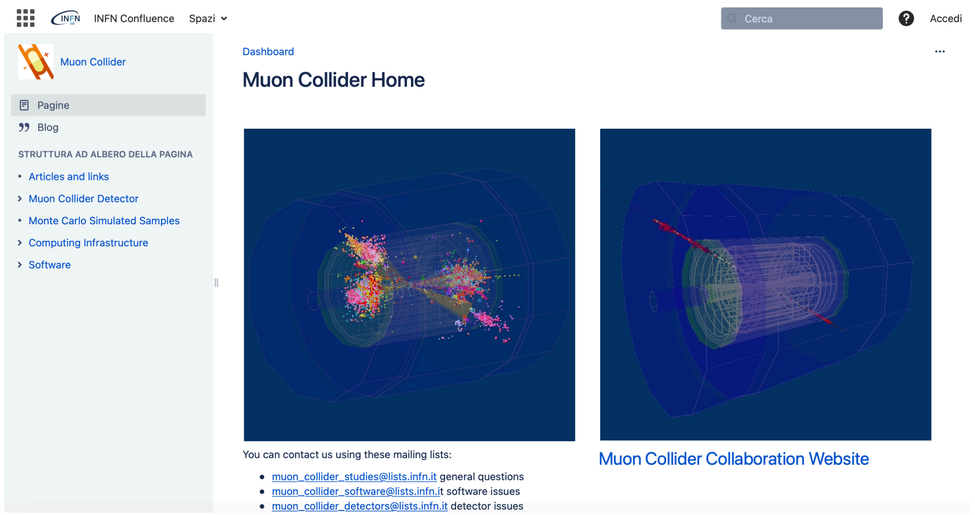
- Software management based on spack
- EDM4hep model for Muon Collider workflow
- Analysis of Gaudi framework (multithreading support)

Definition of a release validation workflow

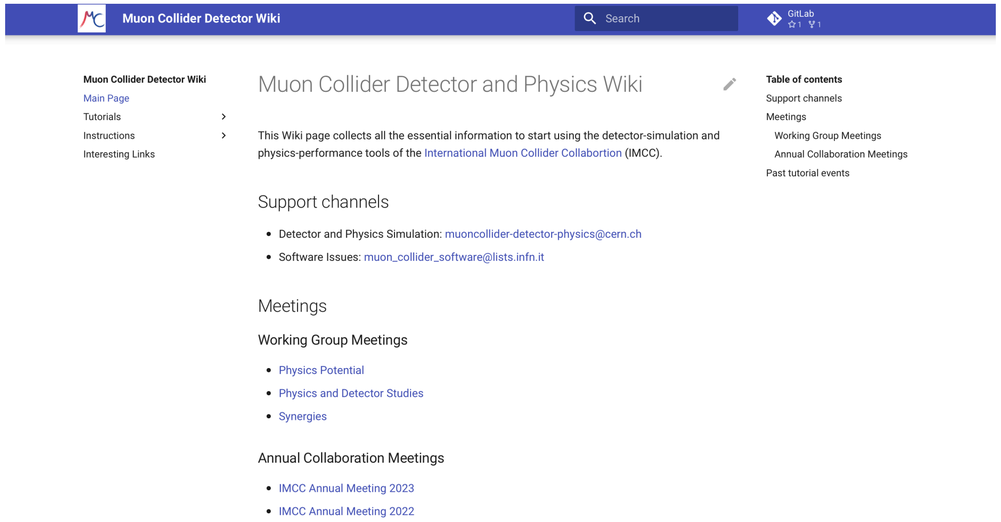
Migrazione a key4hep : Nazar Bartosik, Paolo Andreetto

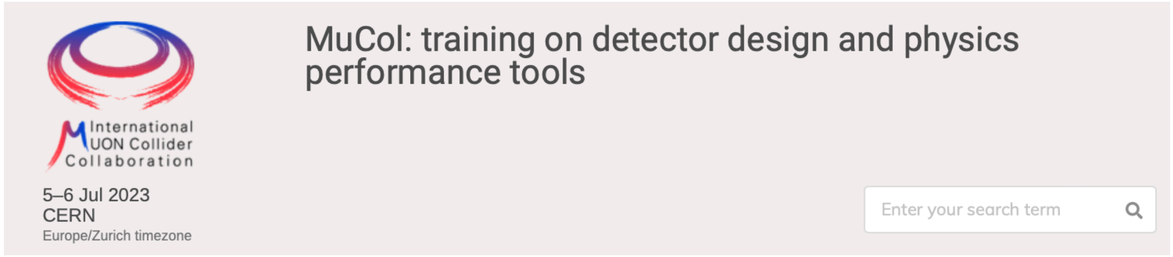
Software: documentazione e tutorial

https://confluence.infn.it/display/muoncollider



https://mcdwiki.docs.cern.ch





Training al CERN
5-6 luglio 2023
46 partecipanti

Campioni simulati (lista non esaustiva)

Campioni full simulation ricostruiti (segnale a 3 TeV+BIB):
- H → bb 3k eventi in totale (1.5k eventi in due configurazioni diverse)
- μ μ → bb 3k eventi in totale (1.5k eventi in due configurazioni diverse)
- μ μ → cc 1.5k eventi
- μ μ → light jets 1.5k eventi
- H → WW: 10k eventi
- Fondi H → WW 40k eventi
- H → cc: 20k eventi
- Z → cc: 10k eventi
- H → bb: 10k eventi
- Z → bb: 10k eventi
- HH → bbbb: 80k eventi (10k per ogni ipotesi di trilinear coupling)
- Fondi HH: 20k eventi
- Campioni per misura Higgs width: 53k eventi
- Campioni per studi su calorimetro Crilin: 20k eventi (jets, fotoni)
- Campioni per studi su HCAL: 10k eventi (jets)

Campioni per studi di tracking (particle guns):
-muons: 1800k particelle + 60k particelle ricostruite con il BIB
-pions: 240k particelle
-electrons: 120k particelle
-photons: 100k particelle

Campioni con solo segnale (full simulation + ricostruzione senza BIB):
- HH → (4b) 10k eventi per 7 valori diversi del coupling (70k in totale)
- 10k eventi di μ μ → 4b + 10k eventi di μ μ → H b b (fondi HH)
- 60k eventi di μ μ → bb
- 60k eventi di μ μ → cc
- 60k eventi di μ μ → light jets
- 100k eventi μ μ → μ μ (per studi misura luminosità)
- 100k eventi μ μ → μ μ Bhabha (per studi misura luminosità)
- 40k eventi di H → μ μ + 4M eventi fondo
- Dark Photons: 60k eventi di segnale + 420k eventi di fondo

Lista completa:
https://confluence.infn.it/display/muoncollider/Monte+Carlo+Simulated+Samples