



“BB-Lab”

Laboratori “BCI” e “BLU” KM3NeT4RR

Francesco Benfenati Gualandi
INFN - Sezione di Bologna



Per raggiungere la performance di risoluzione angolare di $O(0.1)^\circ$ è fondamentale:

- **Sincronizzazione temporale** dei DOM



- ➔ Distribuzione timing con precisione del nanosecondo su migliaia di nodi su distanze di km

- ➔ sistema CERN White Rabbit

- *Broadcast* - custom (ORCA e ARCA Fase 1)
- Standard (ARCA Fase 2)

Entrambe simulate (assieme) nei laboratori di Bologna

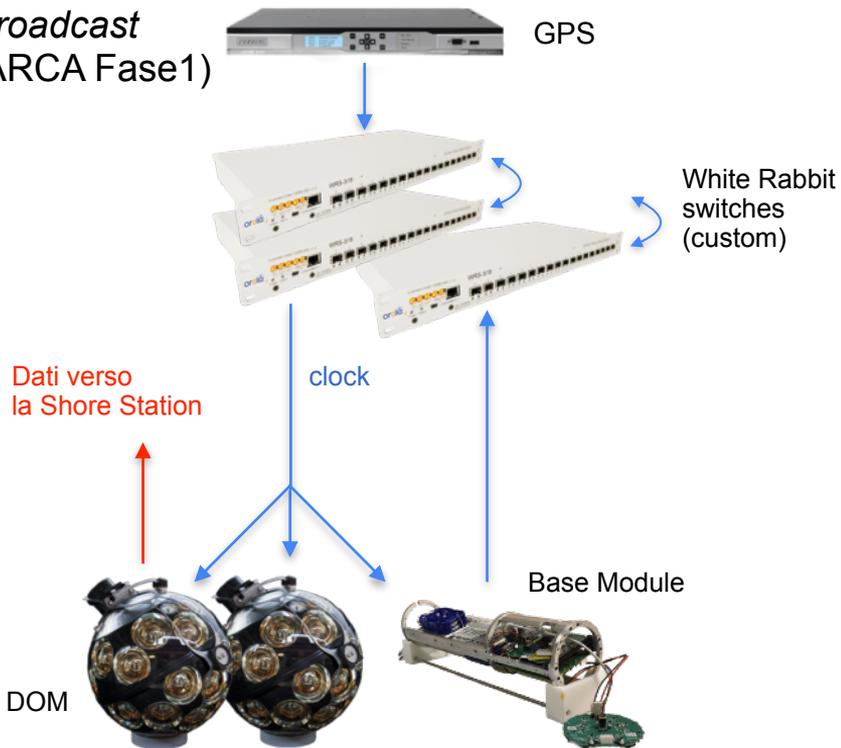
White Rabbit switch



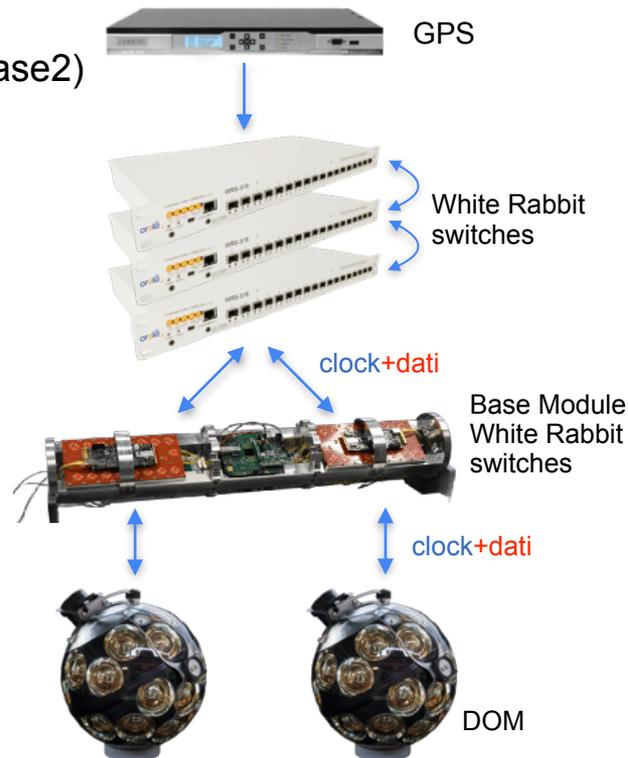
Central Logic Board (DOM)



Broadcast (ARCA Fase1)



Standard (ARCA Fase2)



Per raggiungere la performance di risoluzione angolare di $O(0.1)^\circ$ è fondamentale:

- **Posizionamento** dei DOM



- Determinazione della posizione con precisione di $O(10)$ cm

- Sistema di posizionamento acustico

Parametri rilevanti:

- Velocità del suono in acqua
- Velocità/direzione delle correnti marine

- *Calibration Unit* dedicate alla misura dei parametri ambientali



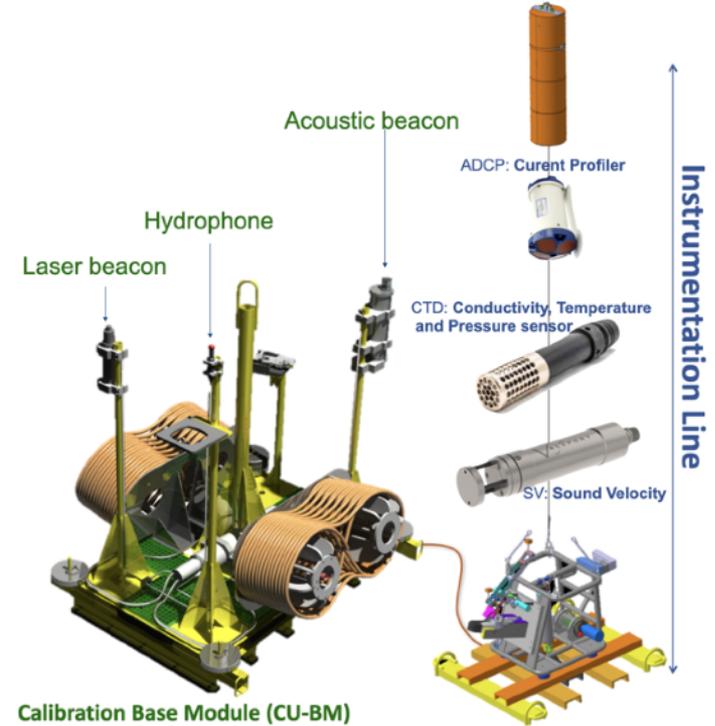
Calibration Unit

Calibration Base: 1 idrofono e 1 beacon acustico (+ 1 laser in ORCA)

Instrumentation Unit: cavo e sensori induttivi

- Misuratore di velocità del suono
- Misuratore di correnti marine
- Sensore di Conduttività, Temperatura, Pressione

Collegata alla shore station come una Detection Unit



- Grandi volumi strumentati
- Proprietà ottiche dell'acqua marina (lunghezze di assorbimento e scattering di fotoni blue-verdi = ~50-100 m)
- Buona risoluzione angolare ($O(0.1^\circ)$) per fare astronomia

⇒ Numerosi elementi attivi (migliaia di DOMs per km^3) installati progressivamente

⇒ Design della **DAQ deve essere scalabile**

Vincoli
fisici

- Gli elementi della Acquisizione dati (schede CLB) lavorano sotto condizioni estreme (obbligatorio **minimizzare la complessità del processamento dati sott'acqua**)

⇒ approccio **ALL DATA TO SHORE** (*trigger-less streaming readout*)

Vincoli
strutturali

- Rapporto segnale-rumore è estremamente basso:

- 1) Muoni atmosferici
- 2) Decadimenti del ^{40}K (~costanti)
- 3) Bioluminescenza (occasionale)

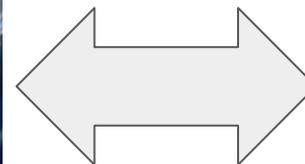
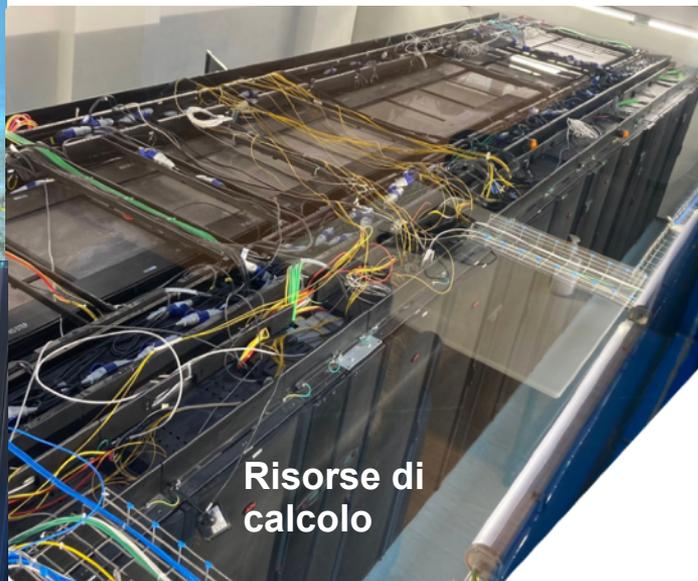
⇒ Flusso di dati verso terra molto alto: **~0.3 Gb/s per Detection Unit**

⇒ **Necessaria una infrastruttura di switch a banda larga e un alto livello di filtraggio**



Sistema di Acquisizione Dati in "produzione"

Test bench a Bologna



Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU

MUR
Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

BB-LAB

BCI - Bologna Common Infrastructure BLU - Bologna Laboratory for User-ports

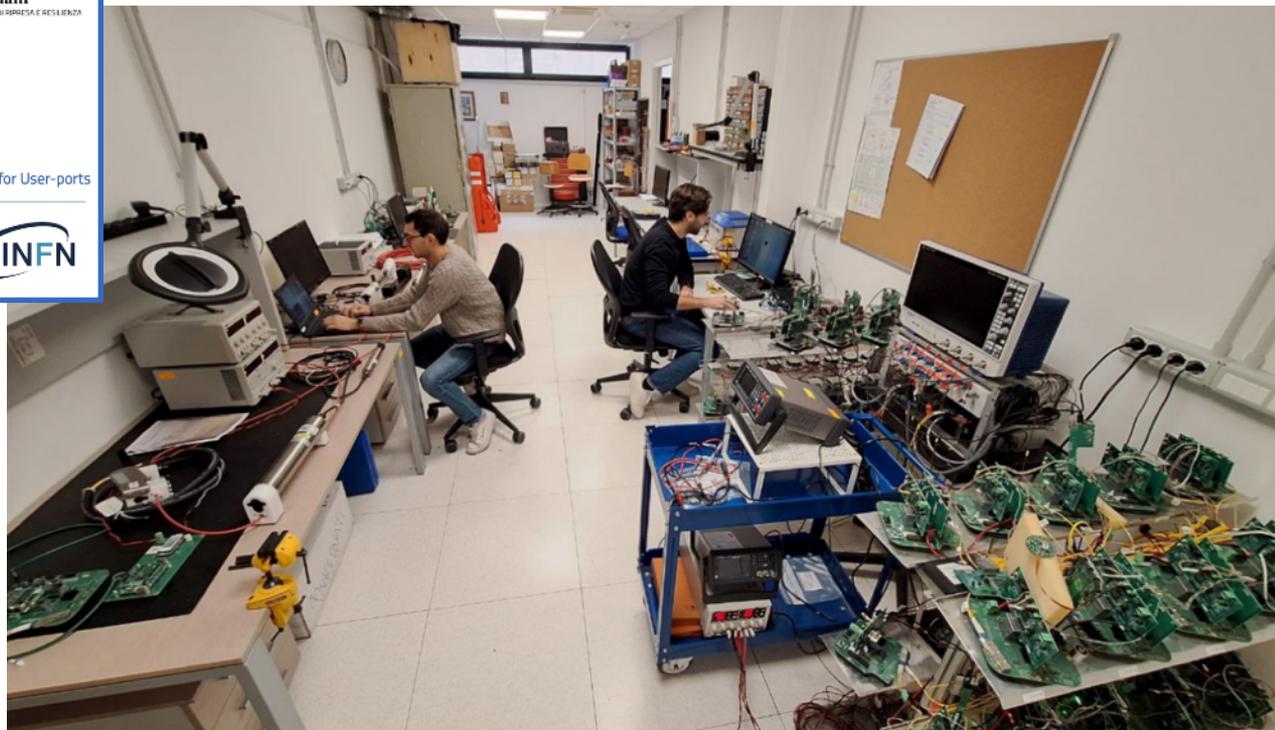
PIANO NAZIONALE RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)
MISSIONE 4, "Istruzione e Ricerca"
COMPONENTE 2, "Dalla ricerca all'impresa"
INVESTIMENTO 3.1, "Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione";
PROGETTO IR0000002 - KM3NeT4RR,
CUP: I57G21000040001

INFN

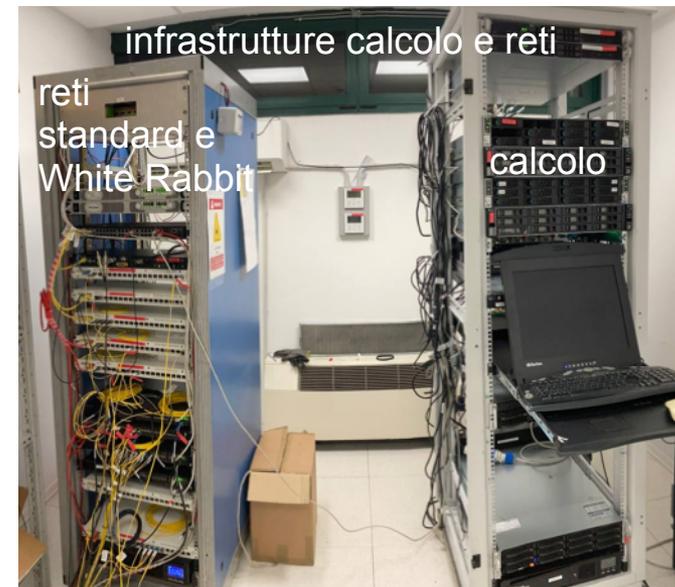
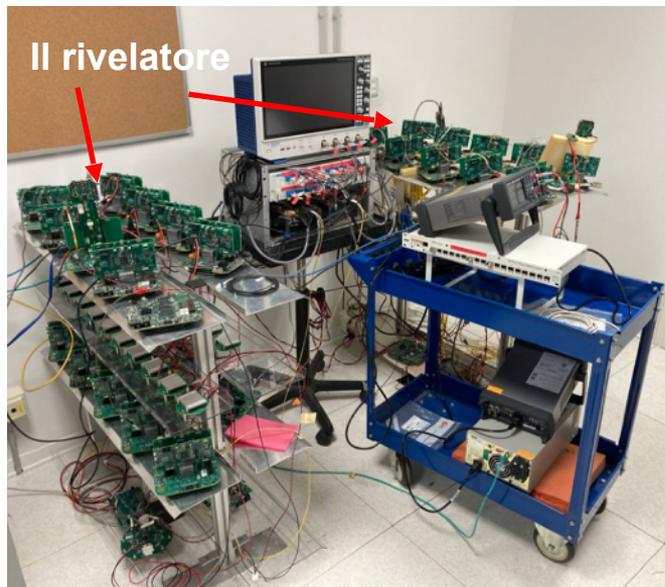
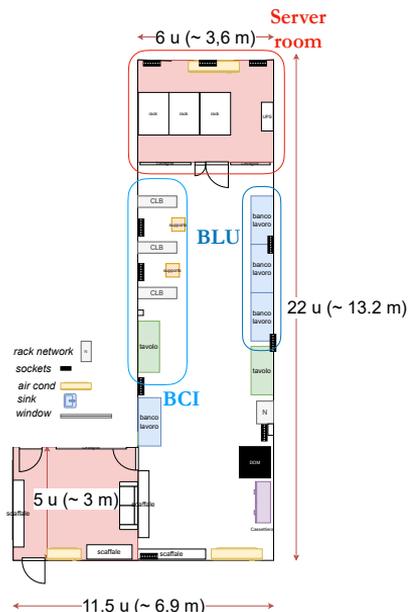
~0.8 M€ di finanziamento
per INFN-Bologna (~0.5 M€
per laboratori BCI + BLU)

Studio, progettazione e test
del sistema di
DAQ di KM3NeT

Contributi da istituti di ricerca
italiani ed europei



Bologna Common Infrastructure (BCI)



Riproduzione dell'intera catena di acquisizione. Progettazione/test e sviluppo hw e sw - partnership decennale con **DELL**, **SINCRON SISTEMI** e **E4**



Bologna Common Infrastructure (BCI)

- Ristrutturazione e adeguamento del nuovo laboratorio
- Ulteriore stringa con nuove CLBv6 (in produzione)
- Nuove schede per simulare i PMT e i sensori acustici
- Tutto il necessario per integrare le stringhe sotto un'unica DAQ (fibre ottiche, SFP, HV-LV converters,...) che comprenda ARCA Fase 1 e Fase 2
- White Rabbit switch
- Servers
- GPUs
- Alimentatori da banco, generatore di frequenza, multi metro, Time Counter, Spectrum Analyzer...
- Materiale di consumo (componenti per elettronica, cavi LEMO...)



10

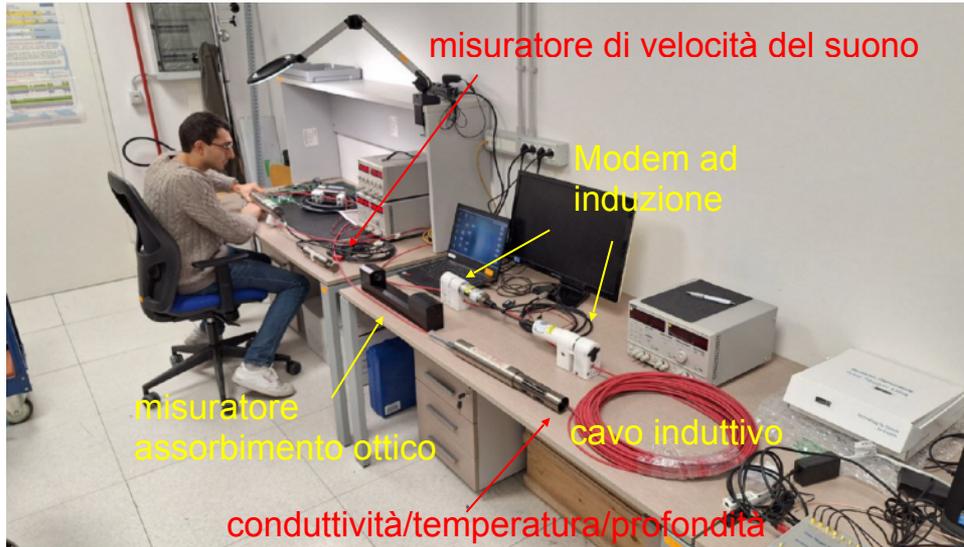




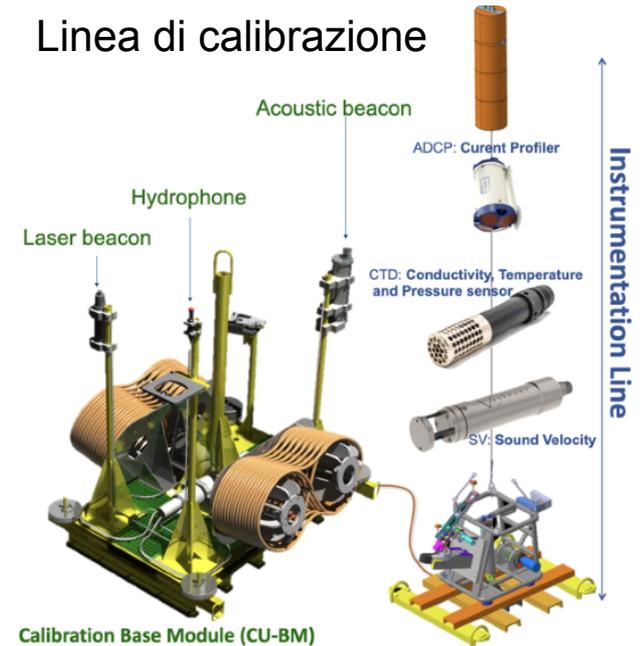
Grande lavoro e contributo da parte di tutti i servizi per il trasloco, assemblaggio, cablaggio, messa in sicurezza, ecc. per la realizzazione del laboratorio!



Bologna Laboratory for User-ports (BLU)



Linea di calibrazione



Studio e sviluppo delle interfacce per il controllo e l'utilizzo di (nuovi) sensori
Riproduzione della Calibration Unit di KM3NeT e della sua DAQ



Bologna Laboratory for User-ports (BLU)

- Alimentatore 375V
- Modem Induttivo
- Accoppiatore induttivo
- Misuratore CTD
- Modem induttivi integrati (con/senza batteria) per sensori non induttivi
- Cavo di test



Lunghi e proficui sodalizi che vanno oltre la mera relazione commerciale



DELLTechnologies



Conclusioni

I laboratori BCI e BLU, in linea con le tempistiche del progetto KM3NeT4RR, sono operativi e ampiamente utilizzati dalla collaborazione KM3NeT

Grazie a tutti coloro che in Sezione hanno reso possibile questa inaugurazione!



KM3NeT4RR @Bologna

The KM3NeT4RR project involves also the INFN-Bologna Section for both WP2&WP7:

Operating Unit: INFN-BO
Project contact person: Tommaso Chiarusi (tommaso.chiarusi@bo.infn.it)

Bologna Common Infrastructure (BCI) DAQ, temporal synchronization, networking, computing, test&development of DAQ HW+FW, DOM dark box

Bologna Laboratory for User-ports (BLU) ^{NEW} Test&development of environmental instrumentation (FW+SW), integration with KM3NeT DAQ

Bologna Base-Module Integration Laboratory (BBMIL) DU Base Module integration for WFRS implementation

Current status: all tenders assigned, orders are under shipping, works for preparing the new room/laboratory have started...

INFN - National Institute of Nuclear Physics
INFN - Bologna Section of the International Particle and Radiation Detectors - June 26, 2023

Presentazione alla conferenza
“International Particle and Radiation
Detector” 2023

Proceeding in Journal Of Instrumentation:
“The K3NeT4RR project in Bologna”,
DOI 10.1088/1748-0221/19/01/C01041



SPARE



- Grandi volumi strumentati
- Proprietà ottiche dell'acqua marina (lunghezze di assorbimento e scattering di fotoni blue-verdi = ~50-100 m)
- Buona risoluzione angolare ($O(0.1^\circ)$) per fare astronomia

⇒ Numerosi elementi attivi (# DOMs > $O(1000)/\text{km}^3$) installati progressivamente

⇒ Design della **DAQ deve essere scalabile**

Vincoli
fisici

- Gli elementi della Acquisizione dati (schede CLB) lavorano sotto condizioni estreme (obbligatorio **minimizzare la complessità del processamento dati sott'acqua**)

⇒ approccio **ALL DATA TO SHORE** (*trigger-less streaming readout*)

Vincoli
strutturali

- Rapporto segnale-rumore è estremamente basso:

1) Rate di muoni rate (dominato dagli atmosferici): $O(10)$ Hz for ARCA21

2) Decadimenti del ^{40}K (~costanti): $O(10)$ kHz/PMT

3) Bioluminescenza (occasionale): $O(100)$ kHz/PMT

⇒ Flusso di dati verso terra molto alto: ~ 0.3 Gb/s x DU)

⇒ **Necessaria una infrastruttura di switch a banda larga e un alto livello di filtraggio**



Timing synchronization

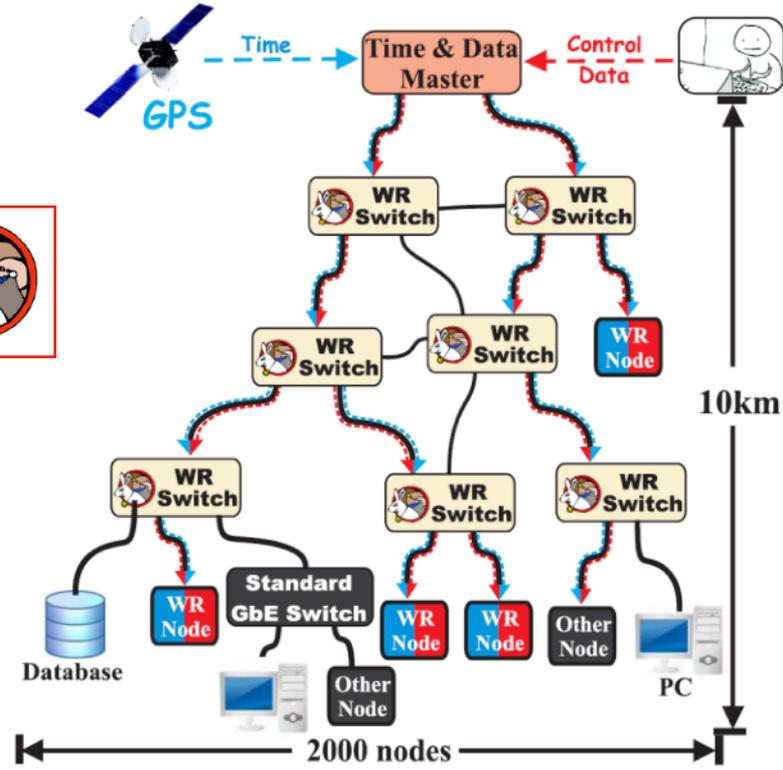


Developed at CERN



“WRS” = White Rabbit Switch

- Enhanced synchronous ethernet: Ethernet + PTP protocol
- Synchronization: accuracy better than 1 ns precision (tens of ps st.dev skew max)
- Deterministic, reliable, and low latency control-data delivery



Currently used releases in KM3NeT DAQ:
Hardware: **WRS-18p-hw-v3.4**
Firmware: WR-Core **v4.2** (customised by Seven Solutions for KM3NeT); **v5.0.1**
Ongoing evaluation of **v6.x**



KM3NeT4RR

Progetto PNRR

Finanziato con i fondi PNRR - MISSIONE 4, “Istruzione e Ricerca” ; COMPONENTE 2, “Dalla ricerca all’impresa” ; INVESTIMENTO 3.1, “Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione”, PROGETTO IR0000002 - KM3NeT4RR,

~0.8 M€ di finanziamento per INFN-Bologna



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Laboratorio n. 1: BB-LAB

Acquisizione dati

Laboratorio n. 2: BILBO

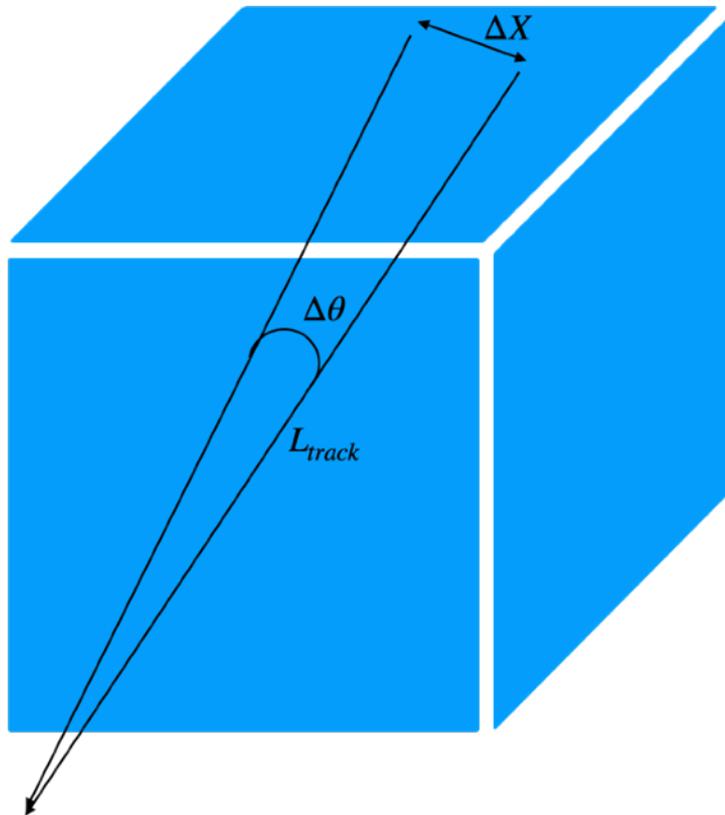
Integrazione dei moduli di base



REQUISITI PER FARE ASTRONOMIA



focus su spazio e tempo



$\Delta\theta$: il possibile errore angolare
Per fare Astronomia deve essere piccolo
(possibilmente minore del raggio della Luna, 0.25°)

Assunzioni

$$L_{traccia} = 1km$$

$$\Delta\theta = 0.1^\circ$$

$$v_{luce}^{-1} = 5 \frac{ns}{m} \text{ in acqua}$$

Calcoli

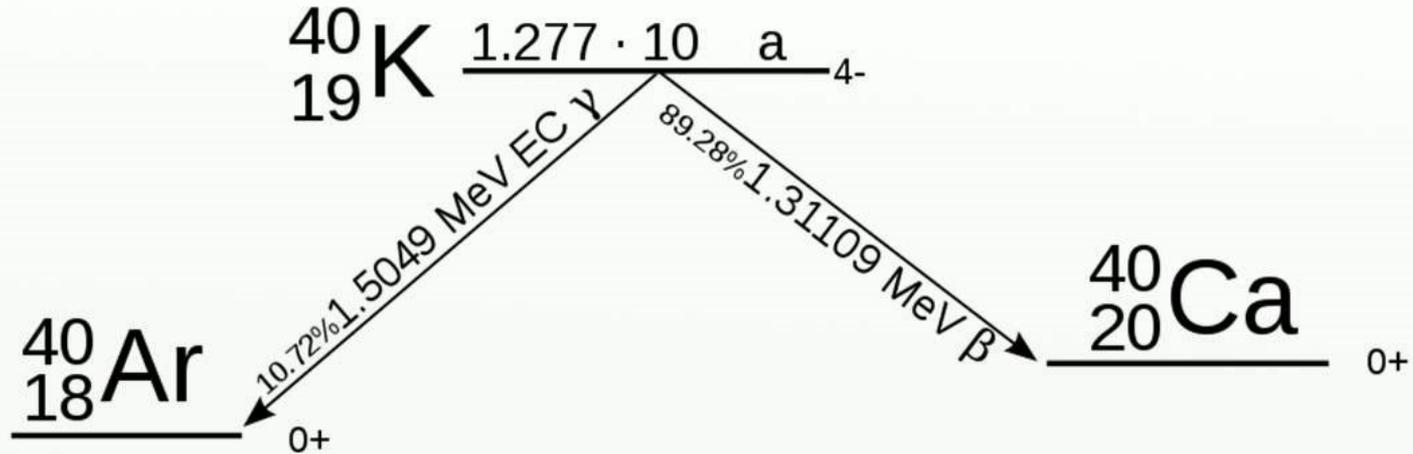
$$\Delta X = L_{traccia} \times \tan \Delta\theta \sim 1.7m$$

$$\Delta X = 1.7m \rightarrow \Delta t < 10 ns$$

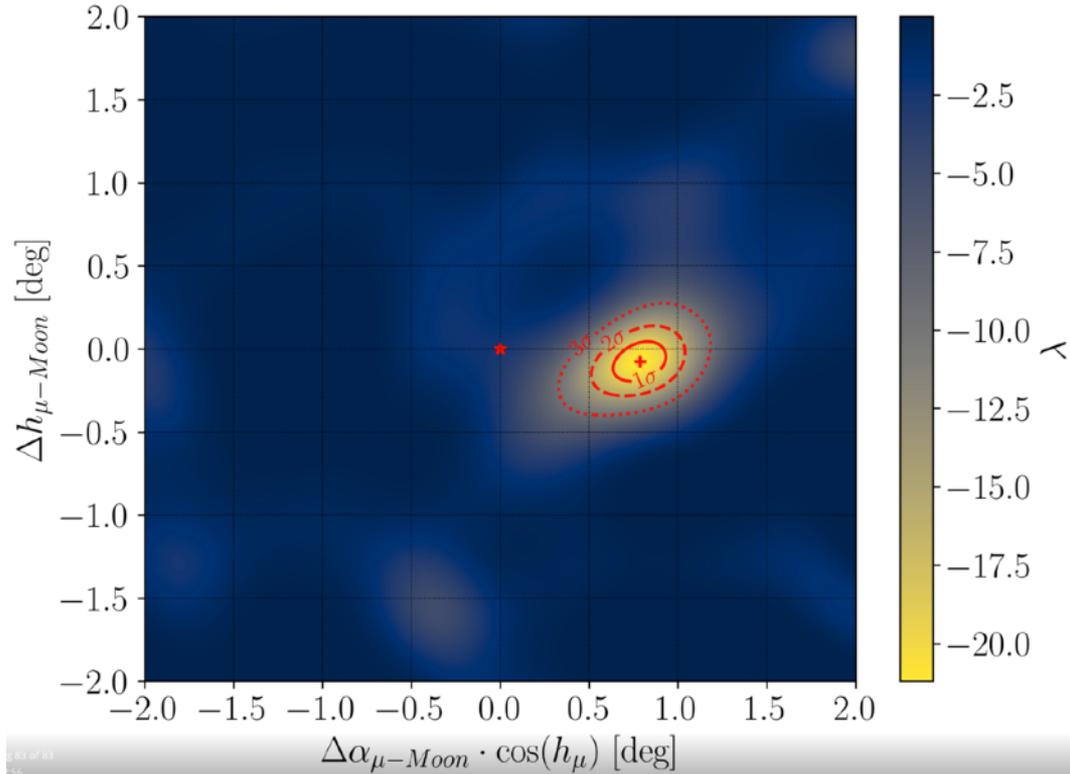
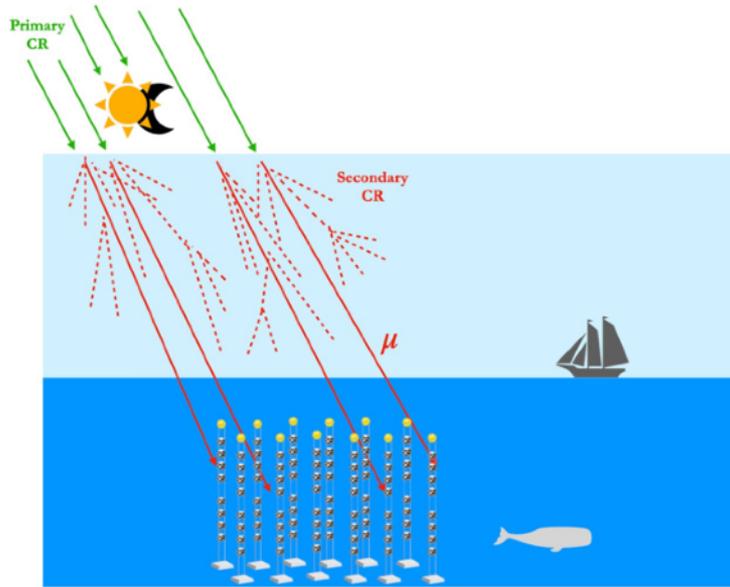
Alta accuratezza spaziale e temporale!

Decadimento Potassio 40

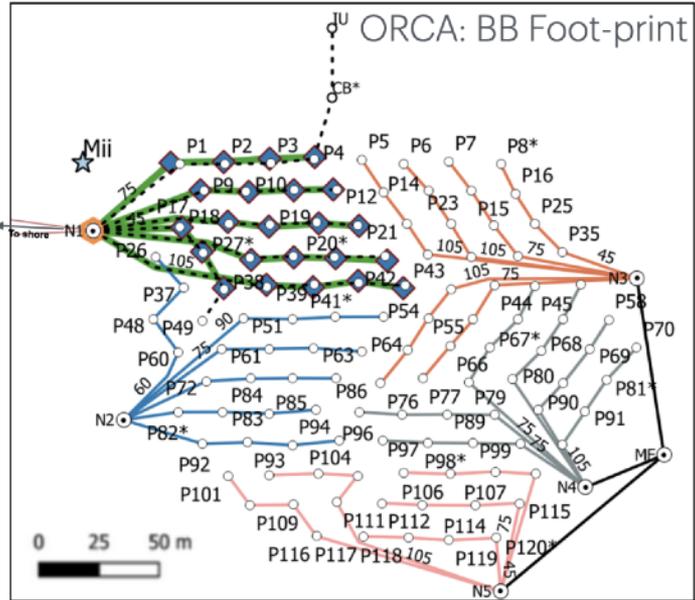
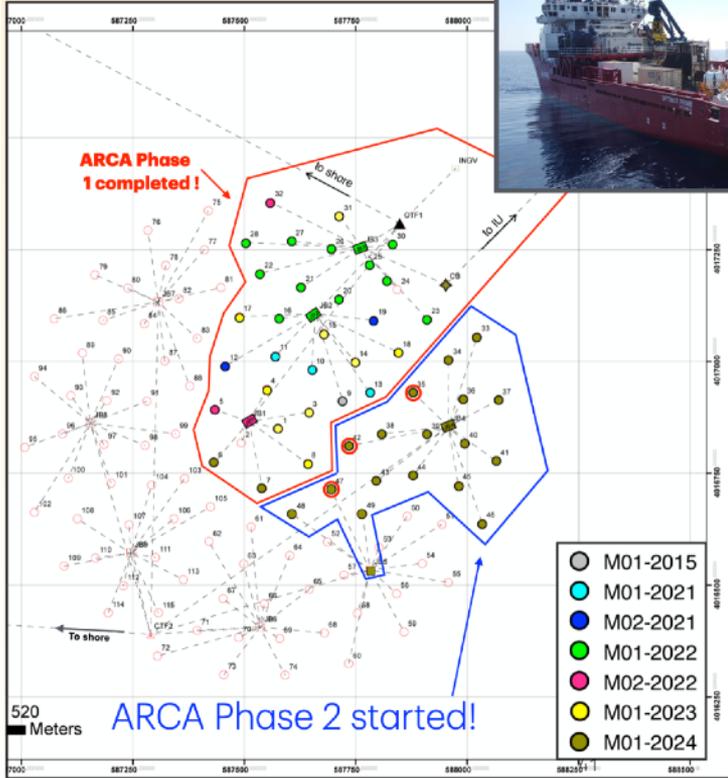
Potassium-40



Studio del posizionamento assoluto con l'ombra della Luna



ARCA BB#1 Foot-print



Almost completed the first node ~ 20% ORCA

M01-2024 operations ended 21/10/2024 ~0.14 km³



The Central Logic Board (Xilinx Kintex7 FPGA based)

Node of a submersed 1GbE ethernet network connected to shore via optical fibers.
Timing (<1 ns accuracy, 100 ps precision) is distributed to all DOMs via the White Rabbit Technology



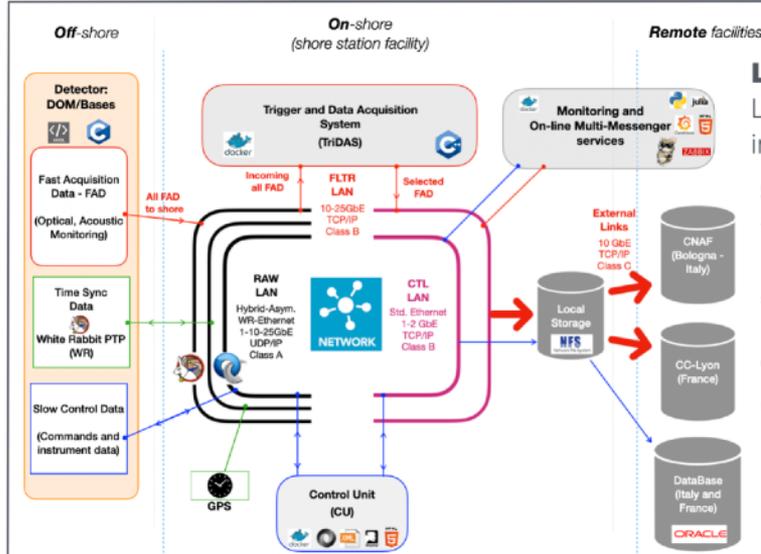
Relevant optical background due to ^{40}K and bioluminescence



3" PMT single rate (@ 0.5 p.e.)
~6 kHz ARCA / <8 kHz ORCA

Trigger-less streaming readout DAQ model (aka "all data to shore").

All complexity of data-filtering performed onshore in the computing resources in the shore station

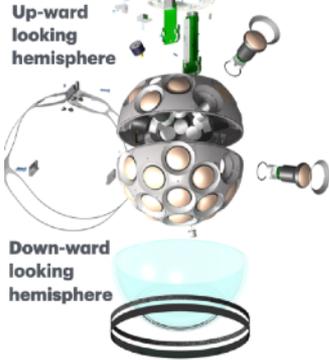


Large throughput from the detector $O(100$ Gbps)
Large band - high performance network infrastructure on shore

Scalable on-shore computing facility (Tier-0)
to allow for data taking during detector stages of installation. Data reduction by $1:10^3$
=> **recorded data to disk: $O(1)$ TB/day**

10-100 GbE connectivity to remote facilities (permanent storage centres, central data-base,
Multi-messenger alert process stations)

DAQ: EPJ Web of Conferences 280, 08004 (2014)
DAQ: Comput. Phys. Commun. 256 (2020) 107333
Electronics: J. Astron. Telesc. Instrum. Syst. 7(1), 016001 (2021)
DOM: Eur. Phys. J. C (2014) 74: 3033





Realizzazione e test di
varia strumentazione

Acquisizione dei dati

Calibrazione del rivelatore

Fisica e Astronomia

Astronomia Multi-messaggera

Analisi dati



To do **Astronomy** => **sub-degree** angular resolution

=> Positioning accuracy ~ **O(10) cm**
 Not trivial for not static structures

=> time synchronisation among sensors ~ **O(1) ns**
 Challenging on a wide area

Angular resolution affected by the light-scattering in the medium

$$L_{sc} = \frac{1}{\mu_b}$$

Energy resolution affected by the light-absorption in the medium

$$L_{abs} = \frac{1}{\mu_a}$$

$$\mu_{att} = \mu_{sc} + \mu_{abs} = \frac{1}{L_{att}}$$

To **study Physical phenomena** => good **energy determination**

Muon tracks (generally not contained):
 underestimated $E_\mu \rightarrow E_\nu$ determination

Showers (generally contained): calorimetry
 => more precise E_ν estimation

